

DIGITALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Controlo de Empreitadas

FRANCISCO FREITAS DIAS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

JUNHO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha família

“I find that the harder I work, the more luck I seem to have.”

Thomas Jefferson

AGRADECIMENTOS

Um grande obrigado à minha família, à qual dedico esta dissertação. Sem a ajuda e a motivação de todos nunca conseguiria estar aqui a escrever estas palavras. Um agradecimento especial aos meus pais e ao meu irmão por todo o apoio que me deram ao longo de toda a vida e particularmente ao longo de todo este percurso académico. Não posso deixar de agradecer à minha avó que, ao longo destes anos todos, não deixou de acender as suas velinhas, sempre com a esperança no coração de que tudo iria correr bem.

Quero agradecer ao meu orientador, ao Prof. Alfredo Soeiro, por toda a motivação e partilha de conhecimento num tema que lhe é tao familiar, exigindo sempre o melhor de mim, permitindo aprofundar o meu conhecimento numa área tão importante da Eng. Civil.

Obrigado à A400 – Projetistas e Consultores de Engenharia e à BuildGest por me terem acolhido nas suas instalações, proporcionando um local de grande profissionalismo, de ajuda e de colaboração entre todos. Agradeço em particular à equipa da BuildGest pela cedência de todo o material necessário para a elaboração desta dissertação e por todos os comentários positivos que me foram transmitidos.

Quero agradecer especialmente ao Eng. João Fontes e ao Eng. Tiago Campelo por toda a ajuda e atenção ao longo do desenvolvimento desta dissertação, arranjando sempre disponibilidade para me auxiliar, guiando todo o meu trabalho do princípio ao fim.

A todos os meus amigos um grande obrigado. Tive o prazer de partilhar várias etapas da minha vida convosco, as quais não teriam sido tão bem-sucedidas sem o vosso apoio. Um agradecimento especial à Sara e ao Miguel pelas inúmeras aventuras felizes que experienciámos ao longo dos últimos anos e por todos os momentos em que me motivaram para crescer como ser humano. Obrigado por terem mudado a minha vida.

Aos colegas de Eng. Civil da FEUP que me ajudaram ao longo deste percurso académico, a todos muito obrigado.

RESUMO

Atualmente, a digitalização está a transformar significativamente a indústria da construção em todo o mundo e o seu impacto no controlo de empreitadas é um tema de elevado interesse. Esta dissertação pretende analisar os efeitos da digitalização da construção no controlo de projetos de construção através da utilização do *Building Information Modelling* (BIM), averiguando os respetivos impactos, desafios e oportunidades. Com a utilização de ferramentas vocacionadas para o BIM é possível criar modelos virtuais detalhados dos projetos, permitindo uma visualização precisa das atividades e do progresso da obra. Um dos fatores mais importantes da digitalização é o facto de proporcionar uma melhor comunicação entre as várias especialidades intervenientes na construção, permitindo uma gestão mais eficiente dos projetos e de tomadas de decisão mais conscientes.

No âmbito do controlo financeiro de empreitadas, o BIM oferece diversos benefícios significativos. De facto, através do *software Bexel Manager*, é possível realizar uma estimativa de custos mais precisa e detalhada comparativamente com os métodos tradicionais, sendo possível associar diretamente aos elementos do modelo todo o tipo de informações relevantes para o controlo financeiro das obras. Todo este processo reduz a probabilidade de erros e de imprecisões nas estimativas orçamentais, contribuindo para uma gestão financeira mais eficiente e diminuindo significativamente o volume de trabalho da equipa de fiscalização responsável.

Assim, procurando a automatização do controlo financeiro num projeto de construção, construiu-se um modelo BIM 4D/5D no *Bexel Manager*. As variáveis tempo e custo foram associadas ao modelo tridimensional de uma obra real a fim de interligar todos os dados sobre o planeamento construtivo e de todos os custos relevantes para o projeto de estruturas da obra. Além disso, de forma a facilitar o controlo e o acompanhamento dos custos e prazos ao longo do ciclo de vida do projeto, foram introduzidas no modelo informações atualizadas sobre o progresso real da obra, as quais foram obtidas através de autos de medição. Este *software* permitirá à equipa de fiscalização realizar uma análise visual do impacto das alterações inseridas na variação dos prazos, preços e de outros fatores que eventualmente possam afetar os custos do projeto, possibilitando uma melhor compreensão das causas dos desvios orçamentais da obra.

Este trabalho pretende demonstrar que a utilização de métodos digitais no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) representa um avanço significativo no controlo de empreitadas e que a utilização de *softwares* e metodologias associadas ao BIM são o futuro da construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Digitalização, *Bexel Manager*, Controlo Financeiro; Análise de Dados

ABSTRACT

Currently, digitalization is significantly transforming the construction industry worldwide, and its impact on project control is a topic of great interest. This dissertation aims to analyze the effects of construction digitalization on the control of construction projects through the use of Building Information Modeling (BIM), investigating its respective impacts, challenges, and opportunities. By utilizing BIM-specific tools, it is possible to create detailed virtual models of projects, allowing for precise visualization of activities and progress of the construction. One of the most important factors of digitalization is its ability to facilitate better communication among the various specialties involved in construction, enabling more efficient project management and informed decision-making.

In the realm of financial project control, BIM offers several significant benefits. In fact, using Bexel Manager software, it is possible to generate more accurate and detailed cost estimates compared to traditional methods, as all relevant information for financial control can be directly associated with the elements of the model. This entire process reduces the likelihood of errors and inaccuracies in budget estimates, contributing to more efficient financial management and significantly reducing the workload of the supervisory team.

Thus, aiming to automate financial control in a construction project, a 4D/5D BIM model was constructed using Bexel Manager. Time and cost variables were linked to the three-dimensional model of a real construction project to interconnect all data regarding construction planning and relevant costs for the project's structures. Additionally, in order to facilitate cost and schedule control throughout the project's lifecycle, updated information on the actual progress of the construction, obtained through measurement reports, was incorporated into the model. This software will allow the supervisory team to visually analyze the impact of changes on variations in schedules, prices, and other factors that may potentially affect project costs, enabling a better understanding of the causes of budget deviations in the construction project.

This work aims to demonstrate that the use of digital methods in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) sector represents a significant advancement in project control and that the use of software and methodologies associated with BIM is the future of the construction industry.

KEYWORDS: BIM, Digitalization, Bexel Manager, Financial Control, Data Analysis.

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2

2. ESTADO DA ARTE 5

2.1. UTILIZAÇÃO DO BIM NA DIGITALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO	5
2.2. FUNCIONALIDADES DO BIM	6
2.2.1. Interoperabilidade.....	6
2.2.2. Dimensões BIM	7
2.3. BIM NO CONTROLO DE EMPREITADAS	8
2.3.1. Controlo do Planeamento.....	8
2.3.2. Controlo de Orçamentos e Quantidades.....	9
2.3.3. <i>Software</i> BIM	12
2.4. CASOS DE ESTUDO ACERCA DO CONTROLO DAS DIMENSÕES 4D E 5D DE UM MODELO BIM	13
2.4.1. Utilização do <i>Standard</i> IFC na Estimativa de Custos	13
2.4.2. Utilização de <i>Software</i> BIM no Controlo do Planeamento de Empreitadas.....	14
2.4.3. Automatização do Processo de Extração de Quantidades de Modelos BIM	16
2.4.4. Utilização de <i>Software</i> BIM no controlo de Custos e Prazos de Empreitadas	19

3. ANÁLISE DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E OBJETIVOS 27

3.1. REVISÃO E ANÁLISE DO CAPÍTULO 2	27
3.2. ANÁLISE DOS CASOS DE ESTUDO SOBRE O BIM NO CONTROLO DE EMPREITADAS	31
3.2.1. Caso de Estudo I.....	32
3.2.2. Caso de Estudo II	33
3.2.3. Caso de Estudo III	34
3.2.4. Caso de Estudo IV	35
3.2.5. Caso de Estudo V	36
3.2.6. Caso de Estudo VI	37

3.2.7. Caso de Estudo VII.....	38
3.2.8. Caso de Estudo VIII.....	39
3.2.9. Caso de Estudo IX.....	39
3.2.10. Caso de Estudo X.....	40
3.2.11. Caso de Estudo XI.....	41
3.3. ANÁLISE CRÍTICA E OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE CONTROLO FINANCEIRO DE EMPREITADAS UTILIZANDO FERRAMENTAS BIM.....	41

4. PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O CONTROLO FINANCEIRO DE EMPREITADAS UTILIZANDO FERRAMENTAS BIM

4.1. DIGITALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO PARA O CONTROLO DE EMPREITADAS	45
4.2. BEXEL MANAGER SOFTWARE	46
4.3. DADOS PARA O CONTROLO DIGITAL DE EMPREITADAS	47
4.3.1. Modelo BIM 3D	47
4.3.2. Planeamento Construtivo da Obra	50
4.3.3. Mapa de Trabalhos e Quantidades	50
4.4. METODOLOGIA DE TRABALHO	51
4.4.1. 1ª Fase: Exportação do modelo BIM para o <i>Bexel Manager</i>	52
4.4.2. 2ª Fase: Identificação dos elementos modelados através do método escolhido.....	52
4.4.3. 3ª Fase: Medição das quantidades dos elementos contidos no modelo BIM	53
4.4.4. 4ª Fase: Associação de Custos aos Elementos do Modelo no <i>Bexel Manager</i>	54
4.4.5. 5ª Fase: Exportação do planeamento construtivo da obra para o <i>Bexel Manager</i>	56
4.4.6. 6ª Fase: Realização de autos de medição em obra e introdução da informação recolhida no <i>Bexel Manager</i>	57
4.4.7. 7ª Fase: Extração de informação do <i>Bexel Manager</i>	57

5. APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA PROPOSTA

5.1. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	59
5.2. CRIAÇÃO DO MODELO BIM 4D/5D.....	60
5.2.1. Exportação do Modelo BIM para o <i>Bexel Manager</i>	60
5.2.2. Identificação dos Elementos Modelados	61
5.2.3. Extração/Medição de Quantidades do Modelo BIM	62
5.2.4. Associação dos Custos aos Elementos do Modelo	64

5.2.5. Criação do Planeamento Construtivo e Associação das Tarefas aos Elementos	65
5.3. MONITORIZAÇÃO DA OBRA EM TEMPO REAL	69
5.3.1. Introdução da Informação dos Autos de Medição no <i>Bexel Manager</i>	70
5.3.2. Extração da Informação do <i>Bexel Manager</i> para a Análise do Caso de Estudo	71
 6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO	 75
6.1. CONCLUSÕES GERAIS	75
6.2. PONTOS CRÍTICOS E DIFICULDADES	76
6.3. TRABALHOS FUTUROS	77
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 79
ANEXOS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- O BIM no ciclo de vida da construção [6]	6
Figura 2.2- Dimensões do BIM [12].....	7
Figura 2.3- Método das linhas de balanço (LOB) [14]	9
Figura 2.4- Controlo orçamental de uma obra [15]	9
Figura 2.5- <i>Level of Development</i> (LOD) de um modelo BIM [21].....	11
Figura 2.6- Ilustração da diferença entre LOD de um modelo completo e de elementos individuais [20]	11
Figura 2.7- Correção do chão arquitetónico do modelo que provoca excesso de quantidade [34]	18
Figura 2.8- Correção da sobreposição da parede com a coluna do modelo que provoca excesso de quantidade [34].....	18
Figura 2.9- Fluxo de trabalho do sistema protótipo [18].....	19
Figura 4.1- Exemplo do sistema de classificação <i>OmniClass</i>	48
Figura 4.2- <i>Property Sets</i> a exportar do <i>Revit</i> para o <i>Bexel Manager</i>	49
Figura 4.3- Propriedades do planeamento construtivo a exportar do <i>MS Project</i> para o <i>Bexel Manager</i>	50
Figura 4.4- Criação do modelo BIM 4D/5D	51
Figura 4.5- Processo de monitorização digital da obra em tempo real.....	52
Figura 4.6- Processo de atribuição de códigos <i>Omniclass</i> aos pilares modelados.....	53
Figura 4.7- Exemplo do método estatístico (adaptado de [47])	56
Figura 5.1- Modelo <i>Revit</i> do caso de estudo (A400/BuildGest, 2023).....	59
Figura 5.2- <i>Add-in</i> de exportação do modelo <i>Revit</i> para <i>Bexel's BX3</i>	60
Figura 5.3- Janela de exportação do <i>add-in</i>	60
Figura 5.4- Organização do modelo BIM na interface do <i>Bexel Manager</i>	61
Figura 5.5- Criação da <i>Custom Breakdown</i> no <i>Bexel Manager</i>	61
Figura 5.6- <i>Custom Breakdown</i> do modelo no <i>Bexel Manager</i>	62
Figura 5.7- Criação da extração de quantidades no <i>Bexel Manager</i>	63
Figura 5.8- Medição das quantidades no <i>Bexel Manager</i>	63
Figura 5.9- Associação de custos aos elementos modelados no <i>Bexel Manager</i>	65
Figura 5.10- Planeamento Construtivo no <i>MS Project</i> da fase de estruturas do caso de estudo	65
Figura 5.11- Seleção de todos os elementos do piso 1 do modelo BIM	66
Figura 5.12- Utilização da função de associação direta da tarefa aos elementos selecionados	67
Figura 5.13- Verificação da associação dos elementos à tarefa respetiva	67

Figura 5.14- Adição do custo das escadas à tarefa de construção do Piso 1	68
Figura 5.15- Custos totais previstos do caso de estudo	68
Figura 5.16- Criação do planeamento respetivo ao progresso real da obra.....	70
Figura 5.17- Processo de introdução dos dados de progresso real da obra	71
Figura 5.18- Comparação entre o orçamento previsto e o real através do Diagrama de <i>Gantt</i> do caso de estudo	72
Figura 5.19- Custos previstos e reais do caso de estudo	72
Figura 5.20- Comparação entre o orçamento acumulado previsto e real do caso de estudo	73
Figura 5.21- Comparação entre o orçamento mensal previsto e real do caso de estudo	74

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1- Número total de casos de estudo por secção	28
Tabela 3.2- Análise da secção 2.4.1	28
Tabela 3.3- Análise da secção 2.4.2	29
Tabela 3.4- Análise da secção 2.4.3	30
Tabela 3.5- Casos de estudo recolhidos sobre a utilização de ferramentas BIM no controlo de empreitadas.....	31
Tabela 3.6- Principais problemas da utilização do BIM no controlo financeiro de empreitadas	42
Tabela 4.1- Comparação entre o <i>Bexel Manager</i> , <i>Vico Office</i> e o <i>Navisworks</i> acerca das funcionalidades e objetivos principais	45
Tabela 4.2- Cálculo por semelhança do €/m ³ dos pilares modelados	55
Tabela 5.1- Cálculo do €/m ³ dos elementos modelados.....	64

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ACEM – *Automatic compound element modification*

AEC – *Arquitetura, Engenharia e Construção*

AVAC – *Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado*

BAS – *Building Automation Systems*

BCEQTI – *BIM-based compound element quantity takeoff improvement*

BCS – *Building Control Systems*

BIM – *Building Information Modelling*

BIS – *Building Information Systems*

CAD – *Computer-Aided Design*

CPM – *Critical Path Method*

ETAR – *Estação de Tratamento de Águas Residuais*

FM – *Facility Management*

HDS – *High Definition Scanning*

IFC – *Industry Foundation Classes*

IFC+ - *Industry Foundation Classes Plus*

IoT – *Internet of Things*

LBS – *Location Based Schedule*

LCC – *Life Cycle Costing*

LCSA – *Life Cycle Sustainability Assessment*

LOB – *Line of Balance*

LoD – *Level of Detail*

LOD – *Level of Development*

LOIN – *Level of Information Needed*

MEP – *Mechanical, Electrical and Plumbing*

MOFBI – *Multiple-Objective Forensic-Based*

MTQ – *Mapa de Trabalhos e Quantidades*

PCCES – *Public Construction Cost Estimation*

RA – *Realidade Aumentada*

RV – *Realidade Virtual*

TCST – *Time-Cost-Safety Trade-off*

WBS – *Work Breakdown Structure*

1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos últimos anos, a adoção do *Building Information Modeling* (BIM) no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem vindo a aumentar significativamente [1]. Esta metodologia permite a criação e gestão de informações digitais de um projeto de construção desde a fase de conceção até à respetiva manutenção. Desta forma, o BIM desempenha um papel fundamental na coordenação e no controlo das empreitadas, automatizando os processos envolvidos e facilitando a colaboração entre as várias especialidades intervenientes nos projetos de construção.

De facto, o controlo financeiro de empreitadas é uma das áreas críticas na construção civil visto que envolve a gestão eficiente de todas as atividades planeadas e recursos financeiros ao longo do ciclo de vida de uma obra. Tradicionalmente, este controlo é realizado manualmente com base em estimativas e orçamentos prévios, o que muitas vezes resulta em desvios e imprecisões que afetam o controlo financeiro da empreitada. Com a introdução do BIM, todo este processo pode ser automatizado tendo em conta que é possível criar modelos virtuais tridimensionais altamente detalhados, inserindo informações precisas sobre os elementos construtivos, os materiais utilizados, os custos associados e as datas de execução das inúmeras tarefas de uma obra, realizando simulações e análises financeiras automáticas ao longo do seu desenvolvimento.

A vantagem mais relevante do BIM no controlo financeiro é a capacidade de monitorizar e comparar o progresso real da obra com o planeado. Com base nos dados atualizados do modelo BIM, é possível verificar se os custos estão dentro do esperado, permitindo identificar facilmente as causas dos desvios orçamentais, possibilitando a adoção das respetivas medidas corretivas. Essa visibilidade em tempo real da empreitada permite uma maior transparência e um maior controlo sobre todos os recursos financeiros envolvidos. Esta funcionalidade é extremamente útil para as equipas de fiscalização visto que, de uma forma bastante automatizada, conseguem controlar o desenvolvimento da obra de uma forma mais eficiente, diminuindo significativamente a carga de trabalho envolvida.

Neste contexto, este trabalho pretende demonstrar que, apesar das inúmeras vantagens da utilização do BIM na fiscalização de obras, ainda é um processo com bastante intervenção humana, necessitando assim de uma grande melhoria na automatização e na interligação dos vários processos envolvidos no controlo digital de empreitadas, nomeadamente na extração automática de quantidades, no planeamento construtivo e no controlo dos custos associados à construção da obra.

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

O trabalho a desenvolver nesta dissertação tem o objetivo de controlar através de processos digitais uma obra que, atualmente, se encontra na fase de construção de estruturas. Esta dissertação será desenvolvida em ambiente empresarial nas instalações da A400/BuildGest e o caso de estudo no qual será aplicado toda a metodologia desenvolvida corresponde a um edifício multifamiliar localizado no Porto, Portugal. Pretende-se que, a partir dos resultados obtidos neste trabalho, a equipa de fiscalização da BuildGest consiga aprofundar o conhecimento sobre a digitalização na construção, identificando as maiores dificuldades associadas à utilização do BIM no controlo de empreitadas. A continuação deste trabalho permitirá que, no futuro, a metodologia BIM possa ser aplicada em projetos de construção com maior facilidade e eficiência.

Visando atingir o objetivo principal desta dissertação será criado um modelo BIM 4D/5D do caso de estudo, ou seja, será utilizada a informação contida no planeamento construtivo da obra e no Mapa de Trabalhos e Quantidades (MTQ) fornecido pelo empreiteiro de forma que todos os elementos modelados tridimensionalmente estejam associados ao respetivo custo e à respetiva tarefa. Desta forma, toda a informação necessária para o controlo da empreitada será interligada, obtendo um modelo BIM com quantidades de informação suficientes para o controlo dos prazos e dos custos da obra. Na elaboração deste modelo serão utilizados vários *softwares* tais como o *Revit* e o *MS Project*, os quais permitem criar o modelo BIM 3D e o planeamento construtivo da obra, respetivamente. Em trabalhos como este a interoperabilidade entre *softwares* é um fator muito importante e, desta forma, será utilizado o *software Bexel Manager* da *Bexel Consulting*, o qual permite importar os ficheiros elaborados através das ferramentas mencionadas, facilitando bastante o processo.

Como foi mencionado, através do *Bexel Manager* será possível construir o modelo BIM 5D, possibilitando a introdução de informação atualizada sobre o progresso real da obra, a qual será obtida através de autos de medição realizados pela equipa de fiscalização da BuildGest. Assim, através das várias funcionalidades do *Bexel Manager*, será possível realizar várias análises sobre a obra: análise orçamental através de uma comparação profunda entre o orçamento previsto e o orçamento real da obra; análise do progresso real da construção da obra, avaliando possíveis atrasos da mesma.

Nesta dissertação será demonstrada toda a metodologia e respetiva aplicação no caso de estudo, propondo diversas formas e métodos de realizar as diferentes fases envolvidas do controlo digital de empreitadas.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, tentando criar um seguimento lógico entre eles, demonstrando assim todo o conhecimento obtido através da investigação realizada e da aplicação do mesmo num caso de estudo real.

O primeiro capítulo corresponde à introdução do tema geral da dissertação e da apresentação dos objetivos que o autor permite atingir a fim de aprofundar o conhecimento acerca da utilização de ferramentas digitais no controlo de empreitadas, nomeadamente nos custos e prazos de projetos de construção.

O segundo capítulo aborda o estado da arte, ou seja, apresenta o conhecimento teórico e os temas chave a compreender sobre o tema da dissertação. Este apresenta também um componente de investigação, apresentando estudos realizados em todo o mundo sobre a utilização do BIM no controlo de empreitadas, focando em particular os processos mais importantes a serem automatizados: transição de dados entre

softwares BIM; extrações automáticas de quantidades; controlo e automatização do planeamento construtivo das obras; controlo financeiro de projetos de construção.

O terceiro capítulo apresenta uma análise crítica do ponto de vista do autor sobre todos os casos de estudo apresentados no Capítulo 2, visando avaliar os pontos fortes e fracos da utilização do BIM no controlo de empreitadas, retirando conclusões sobre os principais problemas encontrados e propondo objetivos para o desenvolvimento de uma proposta consciente.

O quarto capítulo pretende demonstrar todo o processo de desenvolvimento da metodologia BIM para que possa ser aplicada num caso de estudo real. Neste são apresentadas as diversas fases da construção do modelo BIM 4D/5D e da sua utilização para a monitorização da obra em tempo real, propondo vários métodos para a sua elaboração de uma forma eficiente e coerente.

O quinto capítulo demonstra a aplicação da metodologia proposta no Capítulo 4. Esta é aplicada na fase de estruturas do caso de estudo mencionado anteriormente, demonstrando a execução de todo o processo e da tentativa de ultrapassar as várias adversidades correntes da utilização do BIM na fiscalização de obras.

O sexto e último capítulo desta dissertação corresponde às conclusões finais e à proposição de possíveis desenvolvimentos futuros na área da digitalização da construção, explicitando eventuais trabalhos que, aos olhos do autor, seriam interessantes para a evolução no controlo de empreitadas através de métodos digitais.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. UTILIZAÇÃO DO BIM NA DIGITALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Atualmente, os projetos de construção estão a tornar-se cada vez mais complexos. Desta forma, a necessidade e procura pela automação e digitalização de projetos tem aumentado progressivamente.

A digitalização pode ser definida como a adoção ou aumento da utilização digital ou tecnologia computacional por uma organização, indústria ou país [2]. O setor da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), apesar de ter vindo a demonstrar um crescimento notável na área da digitalização, quando comparado com as outras indústrias, continua a ser um dos setores onde a digitalização apresenta os níveis mais baixos. A digitalização da informação pode ser revolucionária para o setor AEC através da recolha de conjuntos de dados individuais pelas diferentes partes associadas ao projeto, os quais poderão ser reunidos, validados e combinados de forma a auxiliar o planeamento e a tomada de decisões, evitando conflitos. [1].

De facto, com o intuito de digitalizar a informação na construção, o conceito *Building Information Modelling* (BIM) foi introduzido na indústria AEC como um método e uma tecnologia que melhorasse a comunicação e coordenação de projetos; reduzisse erros e omissões; aumentasse a produtividade e reduzisse os custos e durações em todas as fases do ciclo de vida de um projeto [3]. A vantagem mais significativa para a eficiência e eficácia no processo BIM está em colocar todos os dados possivelmente relevantes num único local, organizando a informação por dimensões, começando a partir da representação geométrica da construção (3D). Outras informações que podem ser associadas ao modelo poderão ser informações de custos, planeamento, sustentabilidade, sequência de operações, características físicas e outras propriedades do modelo [4]. A utilização do BIM tem crescido significativamente nos anos mais recentes e tem sido utilizado como suporte de várias especialidades em diferentes fases desde o desenho até ao *Facility Management* (FM) de projetos de construção [5].

O modelo 3D do projeto consiste de objetos inteligentes e ricos em informação. Estes objetos fazem parte de um processo onde é possível realizar uma recolha de dados rápida e eficiente a qualquer altura do projeto. A integração destes objetos e da respetiva informação num só modelo permitem formar uma base de dados do projeto de construção. Esta base de dados, a qual foi criada durante a fase de desenho, é uma plataforma adequada para o controlo dos projetos com a informação adicionada durante a fase de construção e ao longo do ciclo de vida de todo o projeto (Figura 2.1) [3].

Assim, o BIM é uma metodologia vocacionada para a indústria AEC que permite interligar num só modelo digital todo o trabalho desenvolvido pelos profissionais das diversas áreas e especialidades deste

setor, aumentando consideravelmente a comunicação/interação entre eles ao longo de todo o ciclo de vida de um projeto.



Figura 2.1- O BIM no ciclo de vida da construção [6]

2.2. FUNCIONALIDADES DO BIM

2.2.1. INTEROPERABILIDADE

Como foi referido, a metodologia BIM tem como objetivo interligar as várias especialidades do setor AEC num só modelo e, desta forma, é essencial que os *softwares* de trabalho BIM consigam comunicar entre si, transmitindo a informação necessária, independentemente do seu formato.

A questão da interoperabilidade está presente em várias áreas em que a colaboração, a interação e a troca de dados são necessárias. Esta questão é particularmente importante no setor AEC, onde a evolução das práticas e a adoção da metodologia BIM intensificaram a necessidade de colaboração entre as diversas especialidades ao longo do ciclo de vida de um projeto construtivo [7]. Tendo em conta que existem inúmeros programas dedicados ao BIM no mercado e que, no mesmo projeto, os intervenientes provavelmente não utilizam os mesmos, esta questão da interoperabilidade é de elevada importância. Os maiores benefícios da interoperabilidade não estão apenas na automatização da troca de dados, mas como também na melhoria dos fluxos de trabalho, eliminação de passos e na melhoria de todos os processos envolvidos [8]. Assim, de uma forma geral, surgiu a necessidade de arranjar um mecanismo *standard* de troca de informação entre plataformas BIM sem a ocorrência de erros.

Com o objetivo de tentar solucionar este problema, a empresa *buildingSMART* desenvolveu as *Industry Foundation classes* (IFC). As IFC podem ser definidas como um esquema desenvolvido para definir um conjunto extensível de representações de dados consistentes de informações para trocas entre aplicações de *software* do setor AEC [8]. Os ficheiros IFC definem todos os componentes de um edifício de um projeto de engenharia civil, ou seja, cada ficheiro é formado por um objeto, todas as suas propriedades e ligações com os objetos contidos no mesmo modelo BIM. [9].

O IFC é então o *standard* maioritário em todo o processo BIM, o qual desempenha um papel muito importante visto que é o *standard* responsável por partilhar informação global durante todo o ciclo de vida de um projeto, em todas as especialidades relacionadas com a indústria de AEC e FM. Atualmente, grande parte das empresas responsáveis pelo desenvolvimento de *software* BIM adotaram o *standard* IFC e, desta forma, toda a troca de informações entre os diferentes *softwares* é realizado de forma automática [10]

Uma das atividades mais importantes em projetos de construção é a estimação de custos e, com o intuito de digitalizar este processo e facilitar o controlo financeiro dos projetos, a utilização do BIM e do *standard* IFC tem sido alvo de estudo e de avaliação [10]. A utilização do *standard* IFC já é alvo de estudo há mais de duas décadas, demonstrando que a sua utilização é fundamental no aumento da eficiência da troca de informação entre *softwares*. Desta forma, este *standard* permite que o BIM apresente uma maior fiabilidade, começando assim a ser utilizado mais regularmente pelas empresas do setor AEC.

2.2.2. DIMENSÕES BIM

Como já foi referido, a metodologia BIM tem como objetivo concentrar grandes quantidades de informação num só modelo. Quanto maior for a quantidade de informação num modelo BIM, maior é a necessidade de a separar por camadas de forma a facilitar a sua compreensão. Assim, foi associada a certos tipos de informação a dimensão “nD”. Esta designação caracteriza o âmbito dimensional que vai além das clássicas três dimensões do espaço euclidiano [11].

As dimensões de modelos BIM vão do 3D ao 10D (Figura 2.2), no entanto este trabalho irá abordar o controlo financeiro de empreitadas onde o foco principal será o planeamento construtivo e estimação de custos, ou seja, as dimensões 4D e 5D.



Figura 2.2- Dimensões do BIM [12]

A quarta dimensão (4D) de um modelo BIM representa o fator tempo e tem a capacidade de retratar o ciclo de vida da construção de um edifício, dividindo a construção por fases de execução. A quinta

dimensão (5D) associa o fator custo ao modelo BIM onde é possível associar valor aos elementos que constituem o edifício agilizando o processo de orçamentação [11]. Esta dimensão está normalmente associada à funcionalidade de extração de quantidades de modelos BIM, a qual será alvo de estudo nesta dissertação.

2.3. BIM NO CONTROLO DE EMPREITADAS

2.3.1. CONTROLO DO PLANEAMENTO

O planeamento construtivo de um projeto de construção é bastante delicado considerando que todas as tarefas devem ser encadeadas da melhor forma possível e a articulação das mesmas deve assegurar a eficiência e fluidez de todo o processo. Esta tarefa apresenta algumas dificuldades devido à imprevisibilidade da construção e à fragmentação entre as várias equipas que atuam sobre a obra [13].

De forma a executar o planeamento das atividades da construção distinguem-se dois métodos, o método do caminho crítico (CPM) e o método das linhas de balanço (LOB).

O método CPM é a técnica mais comum na construção e baseia-se numa estrutura dividida por atividades. As tarefas são encadeadas de uma forma lógica especificando a relação de dependência entre as mesmas. Este método é, por norma, representado através de um diagrama de *Gantt* ou por um gráfico de barras em que a unidade de medida é o tempo. Este método é muito simples e, assim, apresenta bastantes falhas tais como a desconsideração pelos aspetos espaciais, os ritmos de produção e a passagem entre atividades. O método CPM demonstra assim algumas limitações no que toca à interpretação, visto que torna mais difícil a identificação de erros ou até possíveis otimizações [13].

Com o intuito de melhorar o desempenho do planeamento de tarefas, surgiu o método LOB que, ao contrário do CPM, se baseia em localizações. O método LOB é um método gráfico de calendarização em que o fluxo de trabalho do projeto é mais explícito. O diagrama deste método utiliza linhas que apresentam os diferentes tipos de atividades que são executadas pelas várias equipas de trabalho em diferentes localizações. Este método permite uma melhor interpretação do projeto e uma maior otimização do controlo da produção [13].

O método LOB é representado através de um gráfico onde as variáveis são uma escala temporal/calendário e as localizações (Figura 2.3). As linhas apresentadas representam as atividades em função das variáveis referidas. A inclinação das linhas depende do ritmo de produção ou da produtividade. Este método oferece grandes vantagens ao utilizador tais como: programação das atividades em determinada data e localização; intervalos temporais ou espaciais entre atividades; ritmo de produção; comparação visual entre os ritmos de produção das várias atividades; descontinuidades e dependências entre atividades [13].

Com a introdução do BIM no controlo de projetos de construção, o planeamento construtivo foi alvo de grande estudo de forma a ser digitalizado. O desenvolvimento de um modelo 5D permite interligar as atividades da construção aos respetivos elementos do modelo para além de adicionar as quantidades e custos no mesmo modelo [13]. A utilização das ferramentas BIM em conjunto com o método LOB permite, assim, a criação de um fluxo de informação bastante eficiente e rápido onde grandes quantidades de informação são digitalizadas permitindo um maior controlo da empreitada.

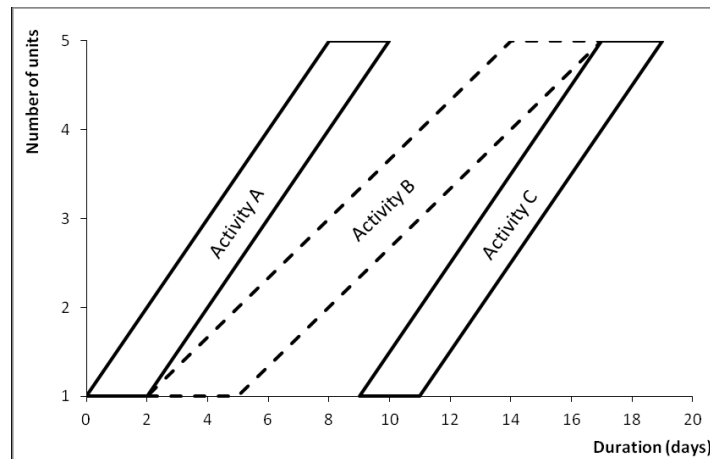


Figura 2.3- Método das linhas de balanço (LOB) [14]

2.3.2. CONTROLO DE ORÇAMENTOS E QUANTIDADES

2.3.2.1. Controlo orçamental de empreitadas

No controlo e fiscalização de uma obra existe uma área funcional dedicada à economia do projeto. Esta trata de questões relacionadas com custos e faturação e integra todos os procedimentos relacionados com o registo e tratamento da informação. Há determinados procedimentos ao abrigo desta área tais como: conta da empreitada, controlo orçamental, previsão de custos, autos de medição e faturação [15].

Os autos de medição são o ato de obra pelo qual se avaliam as quantidades de trabalho efetuadas. Deste modo, são imprescindíveis para a avaliação periódica (mensal) dos trabalhos concretizados, sendo utilizados no cálculo de valores/custos da obra. No desenvolvimento deste trabalho vai ser realizado um controlo orçamental de um projeto, ou seja, será feita uma comparação entre as previsões e faturação real dos custos da obra (Figura 2.4).

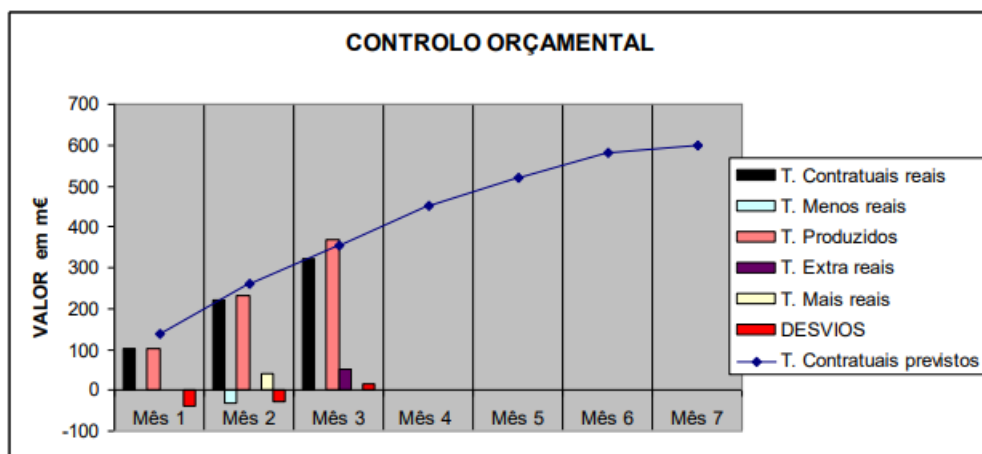


Figura 2.4- Controlo orçamental de uma obra [15]

A extração de quantidades é uma das tarefas fundamentais para o controlo orçamental de um processo construtivo, visto que é a fundação para vários de tipos de outras tarefas - os elementos do edifício são quantificados e essas quantidades são utilizadas para estimar o seu custo e carga de trabalho relevante.

Toda esta informação é reunida num documento designado “Mapa de Trabalhos e Quantidades” (MTQ) onde é possível estruturar e organizar toda a informação relativa a medições, produtividade e custos. A extração de quantidades é aplicada durante todo o processo construtivo. É realizada em fases iniciais do projeto, funcionando como uma base preliminar de custos estimados para o projeto e será regularmente atualizada no decorrer da construção para auxiliar na estimativa do custo do projeto e das durações das atividades de construção [16].

Tradicionalmente, as extrações de quantidades e estimativas são realizadas através de desenhos 2D que são fornecidos pelos arquitetos [17]. Este processo é realizado de forma manual ou recorrendo a ferramentas CAD. As duas formas envolvem a medição de todos os elementos desenhados em plantas/alçados/cortes, estando, assim, extremamente sujeito ao erro humano [16].

2.3.2.2. Modelação BIM para a extração de quantidades

Na procura pela digitalização no setor AEC, a introdução do BIM apresenta uma grande evolução em várias áreas da construção, sendo uma delas a dimensão 5D, já mencionada anteriormente. Um dos processos principais desta dimensão é a automatização da extração de quantidades a partir de um modelo BIM com o objetivo principal de estimar os custos do projeto, reduzindo significativamente o volume de trabalho.

A extração de quantidades a partir de modelos BIM é mais rápida, mais precisa e mais fiável do que o método de extração tradicional, no entanto a qualidade do modelo é um tema muito importante [18]. A qualidade do modelo surge assim como uma questão fundamental para a extração de quantidades. De forma a medir a qualidade surge o conceito de *Level of Development* (LOD) que pode ser definido como o nível de detalhe da geometria e da informação anexada a cada elemento do modelo BIM ao longo das várias fases do projeto [18]. A escala de LOD consiste em vários níveis (Figura 2.5), a cada um associado um nível de detalhe diferente tal como apresentado abaixo [19]:

- LOD 100 – Informação aproximada com representações genéricas do modelo;
- LOD 200 – Geometria aproximada do tamanho, forma e localização do elemento;
- LOD 300 – Representação do elemento como um sistema específico ou objeto com tamanho, forma, localização e quantidade;
- LOD 350 – Equivalente ao LOD 300 com a adição de interoperabilidade com outros elementos;
- LOD 400 – Modelação suficiente do elemento de forma a funcionar como base de produção para o fabricante;
- LOD 500 – O elemento modelado é uma réplica exata do elemento real.

O LOD representa a quantidade de informação fiável, ou seja, já pensada e fixada pelos intervenientes do projeto. Surge assim como contraste o conceito de *Level of Detail* (LoD) que descreve através da mesma escala a quantidade de detalhe incluído no modelo independentemente da sua fiabilidade. Normalmente os elementos apresentam um nível de LoD superior ao nível de LOD visto que muita informação contida no elemento vai sendo alterada durante a fase de construção permitindo aos desenhadores de explorar várias alternativas do projeto [20].

De forma a especificar a informação pedida em determinadas fases do projeto ou de alguma tarefa em particular foi introduzido na Europa um *standard* denominado por *Level of Information Needed* (LOIN). Este *standard* é definido para cenários específicos dependendo das necessidades do projeto e tem como principal objetivo ultrapassar as limitações do LOD. De uma forma geral, o conceito de LOD está focado na definição da geometria e da informação do tipo de elemento e o LOIN requiere informação adicional acerca do objetivo do modelo [20].

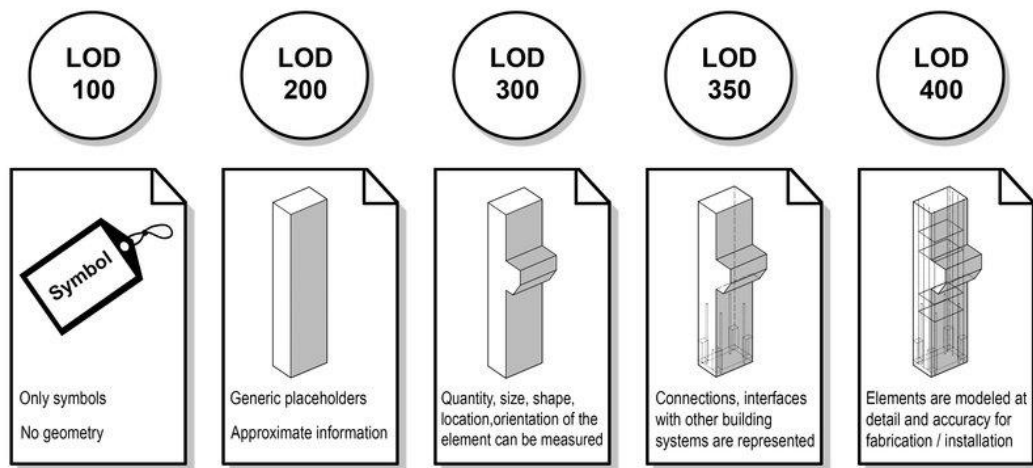


Figura 2.5- *Level of Development* (LOD) de um modelo BIM [21]

É importante ter em consideração que as especificações apresentadas não são as únicas utilizadas em projetos de construção e que podem diferir entre países, no entanto todas as especificações defendem que cada nível apresenta a descrição geométrica e semântica da informação e que a mesma se torna mais fiável à medida que o nível aumenta [20]. Por norma, a utilização dos termos apresentados deve ser aplicada a elementos individuais de um modelo e não a um modelo completo, visto que grande parte dos constituintes de um projeto de construção implicam níveis LOD diferentes (Figura 2.6) [20]. A definição dos termos apresentados é crucial para uma extração de quantidades automática eficaz e fiável. Para além disso, quanto maior for o nível de LOD, maior será a precisão da extração.

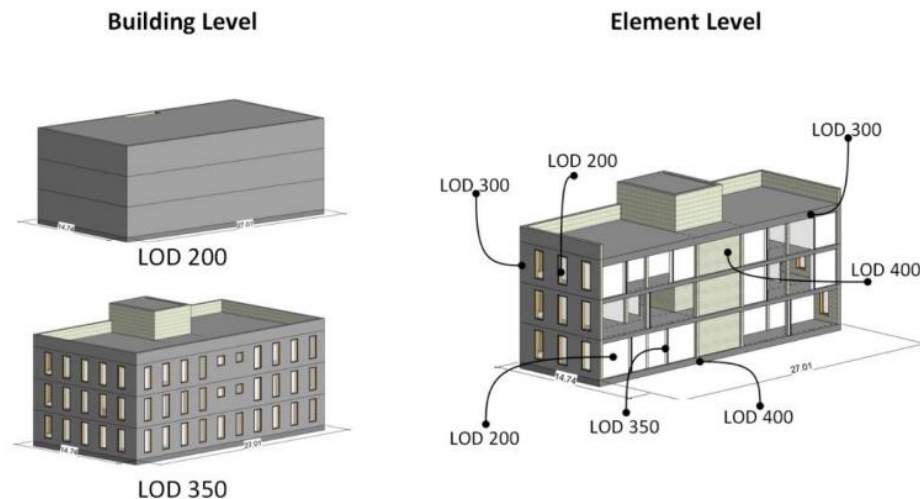


Figura 2.6- Ilustração da diferença entre LOD de um modelo completo e de elementos individuais [20]

2.3.3. SOFTWARE BIM

O surgimento da necessidade de digitalização da informação na indústria de AEC provocou um grande desenvolvimento na área do BIM e, desta forma, na criação e evolução de programas informáticos para as várias especialidades de projetos de construção.

De forma a atender a esta necessidade, várias empresas como a *AutoDesk*, a *Trimble*, a *UDA Construction Online*, a *Cype*, a *Graphisoft* e a *Bentley* começaram a desenvolver *software* BIM com o intuito de oferecer ao utilizador a melhor experiência nos projetos de construção. Estes *softwares* foram desenvolvidos com o principal objetivo de conseguir aglomerar informações para além da representação tridimensional dos projetos. Existe uma grande competitividade entre as empresas dedicadas a esta área e, desta forma, existe uma grande diversidade de *software* dedicado a funções diferentes. Algumas das funções que apresentam mais benefícios para os projetos são: modelação estrutural e de arquitetura, análise estrutural, gestão de obra, deteção de conflitos e controlo geral dos projetos de construção (controlo do planeamento, controlo de custos da obra, entre outros). Tendo em conta a grande diversidade de *softwares*, todos os *softwares* BIM implicam, por norma, uma fase de avaliação e estudo de forma a averiguar qual o mais apto e mais eficiente para a empresa e os respetivos projetos em que serão aplicados. As licenças destes *softwares* implicam gastos monetários elevados, os quais podem ser difíceis de suportar por empresas mais pequenas, sendo assim crucial avaliar as vantagens que o *software* iria oferecer aos vários intervenientes dos projetos de construção.

Tendo em conta o objetivo desta dissertação, alguns *softwares* salientam-se. O *Autodesk Revit* e o *Archicad* (*Graphisoft*) têm funções semelhantes na área do design e da modelação 3D. Estes *softwares* permitem a modelação de formas, estruturas e sistemas 3D com grande precisão paramétrica; simplificam trabalhos de documentação; permitem a colaboração de equipas de especialidades distintas com vários tipos de ferramentas. O *Revit* apresenta também uma extensão de programação visual muito relevante para a extração automática de quantidades, o *Dynamo*. Esta ferramenta tem sido alvo de vários estudos de automatização do processo de quantificação de materiais.

Na área da digitalização no controlo de empreitadas, *softwares* como o *Autodesk Navisworks*, o *Bexel Manager* e o *Vico Office* da *Trimble* focam-se na coordenação de obras. Os últimos dois salientam-se, pois permitem a criação/simulação/revisão de modelos BIM com outras dimensões tais como o planeamento, os custos e o *Facility Management*. Estes dão a possibilidade ao utilizador de criar planeamentos construtivos e extrair quantidades do modelo no programa escolhido ou de importar informações de programas como o *MS Project* e *MS Excel*. Neste tipo de *software* a interoperabilidade é um fator muito importante, visto que implica a interligação de grandes camadas de informação que normalmente são produzidas através de *softwares* diferentes.

De forma a utilizar as ferramentas BIM na totalidade da cadeia construtiva, é possível utilizar *softwares* de controlo de qualidade em obra que se baseiam no controlo da construção através de uma *cloud*, permitindo aos vários intervenientes do projeto de construção de comunicar e colaborar. De facto, *softwares* como o *Procore*, o *Autodesk Build*, o *Fieldwire* da HILTI e o *Primavera* da Oracle são cada vez mais procurados por grandes empresas de construção com o objetivo principal de facilitar a gestão/coordenação de obras. Este tipo de *softwares* têm a capacidade de integrar outras plataformas externas, armazenando vários tipos de formatos de ficheiros e concentrando os dados da obra num só local acessível a todos os intervenientes.

2.4. CASOS DE ESTUDO ACERCA DO CONTROLO DAS DIMENSÕES 4D E 5D DE UM MODELO BIM

A utilização de *software* BIM para a automação do planeamento construtivo e do controlo financeiro de projetos de construção tem sido alvo de estudo ao longo das duas últimas décadas. Nesta secção, serão apresentados casos de estudos, divididos em subcapítulos, sobre a aplicação de vários *softwares* BIM na digitalização e automatização do controlo de empreitadas. Apesar do foco desta dissertação ser o controlo financeiro das empreitadas, serão apresentados casos de estudo sobre a automatização dos vários processos que integram este controlo – estimativa de custos, extração de quantidades e planeamento.

2.4.1. UTILIZAÇÃO DO *STANDARD* IFC NA ESTIMATIVA DE CUSTOS

Casos de estudo mais recentes tentaram analisar, de uma forma geral, a aplicabilidade do *standard* IFC não só na estimativa de custos de modelos BIM de projetos de construção, como também em várias áreas que englobam a construção de edifícios.

2.4.1.1. Estimativa de custos de um modelo BIM através de algoritmos baseados em dados IFC [22]

Foi desenvolvido na China um processo semiautomático de algoritmos chave para a estimativa de custos no processo seletivo de projetos de construção baseado em ficheiros IFC que, ao ser aplicado, permite uma avaliação mais eficiente da estimativa de custos dos projetos de arquitetura e estruturas. [22].

Os algoritmos-chave e o mapa geral de processos para o processo semiautomático foram formulados através de várias fases que podem ser resumidas por [22]:

1. Decomposição automática dos elementos do modelo em produtos de construção;
2. Classificação semiautomática dos custos dos produtos de construção através de uma série de algoritmos;
3. Extração automática de quantidades a partir do modelo para obter os custos totais;

Todo o processo de algoritmos programados em C++ foi utilizado de forma a desenvolver um *software* baseado em BIM para a estimativa de custos denominado por *BIM-Estimate*. O programa *IFC Engine DLL* foi utilizado com o intuito de ler e escrever os dados IFC e transformar os vários tipos de formas [22].

2.4.1.2. Integração da *Internet of Things* (IoT) na modelação de edifícios para a análise do ciclo de vida de um edifício [23]

Apresentaram uma solução para integrar a IoT na fase inicial de modelação de edifícios utilizando ferramentas BIM através de uma extensão IFC mais recente denominada por *Industry Foundation Classes Plus* (IFC+). A extensão IFC+ mencionada foi criada com adições de novos tipos de entidades capazes de suportar cenários de IoT. A integração da IoT em fases iniciais de modelação de edifícios pode trazer grandes benefícios na avaliação e análise de todo o ciclo de vida de um edifício – estimação de custos; *facility management*; simplificação de tarefas executadas por programadores através da integração de *Building Automation Systems* (BAS), *Building Information Systems* (BIS) e *Building Control Systems* (BCS) na infraestrutura de IoT [23].

Esta proposta representa uma abordagem baseada em objetos digitais com o objetivo principal de transformar as especificações de ambiente de construção inteligente em IFC+ em *software* consumível,

suportando cenários de IoT. A proposta foi aplicada num projeto de construção através de várias fases que podem ser resumidas por [23]:

1. Desenho do edifício através de *software* CAD. Desenvolvimento de um *software* denominado por *IFC2Handle* que permite gerar e descarregar os ficheiros IFC+ dos ficheiros IFC originais gerados pelo *software* CAD;
2. Transformar as entidades IFC+ em objetos digitais;
3. Processo de construção do edifício utilizando metodologias e técnicas BIM;
4. Implantação do cenário IoT;
5. Utilização de aplicações para o controlo do edifício e dos objetos digitais;
6. Configuração da IoT após construção do edifício – novos elementos podem ser adicionados mais tarde.

O método proposto é bastante complexo, mas apresenta uma grande evolução na área da IoT e da digitalização da construção. A utilização das entidades IFC+ e os objetos digitais demonstraram uma redução significativa do tempo de desenvolvimento do modelo, do trabalho de integração de vários *softwares*, de configuração e especificação de erros nas interfaces de programação de aplicações causados pela intervenção humana [23].

2.4.2. UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE BIM NO CONTROLO DO PLANEAMENTO DE EMPREITADAS

Um dos principais focos do controlo de empreitadas é o controlo do planeamento construtivo. Este pertence a uma das dimensões BIM mais estudadas e mais desenvolvidas visto que, no desenvolvimento de projetos construtivos, engloba muita informação e pormenores que podem ser digitalizados.

Ao longo do desenvolvimento desta secção foi possível encontrar um padrão nos vários casos de estudo apresentados e, desta forma, a sua apresentação é de menor dimensão comparativamente com os outros casos de estudo. O planeamento de empreitadas através do BIM é um processo que pode ser automatizado, mas que, de uma forma geral, é um processo bastante simples e de fácil aplicação devido à utilização de apenas um ou dois *softwares* distintos.

2.4.2.1. Utilização do *Vico Office* para o desenvolvimento de um modelo BIM 4D [24]

Foi exportado um modelo BIM de um projeto real modelado em *Revit* para o *software Vico Office*. Desenvolveu um modelo 4D de um projeto de estruturas de betão armado de um edifício de três pisos onde tentou automatizar o controlo do planeamento (tarefas e respetivos custos) obtendo simulações das linhas de balanço, permitindo à equipa de fiscalização um controlo mais eficiente da estimativa dos custos dos trabalhos da obra [24].

Todo o processo de desenvolvimento do modelo 4D envolveu a utilização de várias funcionalidades do *Vico Office* onde se criou o planeamento, respetivas linhas de balanço e uma simulação da construção do edifício em questão [24].

2.4.2.2. Desenvolvimento de uma aplicação móvel para o controlo do planeamento em obra realizado através de ferramentas BIM [25]

Envolveu o desenvolvimento de uma aplicação móvel em linguagem *Android* com o objetivo de interligar os *softwares* BIM com o quotidiano da obra. Esta aplicação foi vocacionada para o controlo do planeamento permitindo o registo de toda a informação relevante para o desenvolvimento das tarefas

diárias da obra por todos os intervenientes. Um dos focos principais da aplicação é a interação do utilizador com o planeamento construtivo realizado através de ferramentas BIM. Pretende-se que a aplicação protótipo possa ser utilizada com formação escassa, ou seja, no utilizador possa usufruir das vantagens BIM de uma forma fácil e cómoda [25].

2.4.2.3. Análise do planeamento da construção de uma ETAR através de *software* BIM [26]

Foi implementado o BIM no controlo da fase de planeamento do projeto de *Mechanical Electrical and Plumbing* (MEP) de uma ETAR, desenvolvendo um processo iterativo de fluxos de trabalho tentando promover a fluidez na troca de informação entre *softwares* BIM [26].

O trabalho desenvolvido pretendeu demonstrar os benefícios da utilização de ferramentas BIM no que toca o aumento da produtividade e automatização de processos. Este processo implicou a utilização dos *softwares* BIM *Revit* e *Navisworks* e o *MS Excel* e *Project* na criação dos cronogramas construtivos. O estudo prático pretendeu também analisar a interoperabilidade de *softwares* através de vários fluxos de trabalho [26].

2.4.2.4. Integração de um método de análise de decisões num modelo BIM para a obtenção de um cronograma de projeto [27]

Desenvolveram uma estrutura que permite realizar compensações entre recursos no cronograma de determinado projeto. Esta investigação utilizou um modelo BIM e o respetivo MTQ extraído no qual implementaram um método de análise de decisões baseado em indicativos para determinar o melhor cronograma para a execução do projeto. Este método, introduzido no modelo de forma a determinar a melhor opção, é denominado por *Multiple-Objective Forensic-Based* (MOFBI). A avaliação desta proposta foi realizada através da sua aplicação em três projetos com problemas de planeamento diferentes [27].

2.4.2.5. Proposta de sistema que elabora o planeamento ideal para as empreitadas [28]

De forma a realçar os benefícios da utilização do BIM 4D, foi proposto um sistema que inclui um mecanismo que recolhe, armazena e transfere informação acerca das quantidades extraídas dos materiais (aço e betão) para dar suporte à elaboração de um cronograma de projeto. O sistema proposto utiliza a extração de quantidades através do modelo BIM de forma a simular as operações e estratégias necessárias para a construção do planeamento de construção ideal. A criação do modelo BIM 4D é obtido de uma forma bastante automatizada, visto que o planeamento permanece interligado com todos os elementos contidos no modelo BIM 3D [28].

2.4.2.6. Desenvolvimento de um sistema de automação do planeamento na fase de construção de andaimes de um projeto de construção [29]

Os andaimes são um processo fundamental em grande parte dos projetos de construção. De forma a desenvolver um modelo 4D com a criação de andaimes de uma forma mais eficiente, propuseram um método que permite definir automaticamente os procedimentos de instalação com base em regras BIM e criar um sistema automático de andaimes [29].

Este sistema digital permite criar automaticamente modelos 3D dos andaimes, calculando o número de andaimes necessários através das posições e do espaço ocupado no modelo BIM. Desta forma, o sistema protótipo proposto cria de uma forma automatizada todo o planeamento da construção dos andaimes, diminuindo significativamente todo o processo de modelação dos mesmos no modelo BIM [29].

2.4.2.7. Estudo da aplicação de ferramentas BIM na modelação e planeamento num projeto em São Paulo, Brasil [30]

Foram desenvolvidos modelos 4D num caso real prático no Brasil para demonstrar que o uso do BIM 4D requiere um planeamento consistente e bem elaborado e de identificar as limitações de aplicação do BIM. O caso de estudo utilizado foi um complexo residencial de três torres de vários pisos em São Paulo, Brasil. Foram elaborados modelos BIM onde se identificaram as maiores limitações da modelação BIM, sendo a principal o tempo despendido em modelação. Apesar das limitações encontradas, os autores concluíram que os resultados de modelação e de planeamento apresentam mudanças significativas no processo de controlo da obra [30].

2.4.2.8. Automatização do planeamento construtivo do aeroporto de Vitória em Espírito Santo, Brasil [31]

A construção de um aeroporto implica o envolvimento de uma grande quantidade de especialidades e, deste modo, grandes quantidades de informação relevante para a execução do projeto. A utilização de ferramentas BIM é então uma das formas mais viáveis de elevar o desempenho de todo o processo construtivo. De facto, no aeroporto de Vitoria no Brasil utilizaram vários *softwares* BIM com o intuito de automatizar todo o processo do planeamento construtivo, integrando as tarefas num modelo BIM, criando assim um modelo BIM 4D. A utilização do BIM demonstrou uma grande qualidade no atendimento aos cronogramas definidos, automatizando consideravelmente todo o processo e permitindo gerir mais eficientemente a informação [31].

2.4.2.9. Construção de um modelo BIM 4D de uma habitação de interesse social no Brasil para automação do planeamento [32]

Desenvolveram, no Brasil, um estudo sobre a associação de ferramentas BIM ao planeamento construtivo, utilizando como caso prático de estudo uma habitação de pequeno porte. Para efeitos de estudo, foi construído o modelo 3D do projeto de arquitetura e de hidráulica. Para a criação do modelo BIM 4D, foram os utilizados as ferramentas *MS Project* (cronograma) e o *Autodesk Navisworks*. Este último permitiu a interligação do modelo tridimensional e o respetivo cronograma de tarefas [32].

2.4.3. AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE QUANTIDADES DE MODELOS BIM

No processo da digitalização e do controlo de empreitadas a partir de modelos BIM surge um processo muito importante, a extração automática de quantidades. Este processo tem vindo a ser alvo de estudo de forma a ser melhorado em vários aspetos tais como: aumento da velocidade e precisão da extração; diminuir/evitar erros de modelação;

2.4.3.1. Desenvolvimento de um *add-in* no *Revit* para a melhoria da automatização da extração de quantidades de um modelo BIM [33]

Foi desenvolvido um caso de estudo com o objetivo de reestruturar os processos de especificação e extração de quantidades de forma a torná-los mais automatizados, precisos, integrados, rápidos e baratos. Este estudo foi realizado num escritório de arquitetura, no Porto, onde foi analisado o fluxo de trabalho existente, no qual se verificou que, no processo de extração de quantidades, existem vários passos que implicam tarefas manuais repetitivas e de grande consumo de tempo que podem ser digitalizadas. Consequentemente, o autor mapeou todo o processo e reestruturou-o de forma a obter um novo fluxo de trabalho que diminui significativamente os processos manuais de modelação da informação. O novo fluxo implicou a alteração de algum *software* utilizado e, tendo em conta a importância da interoperabilidade de programas nesta questão, o autor optou por utilizar apenas o *Revit*, o *MS Access* e o um novo *add-in* [33].

De facto, o autor desenvolveu um *add-in* utilizando a linguagem de programação *Python* através da Interface de Programação de Aplicações do *Revit* que se baseia em questões relacionadas com a padronização, modelagem da informação e gestão do banco de dados. A solução desenvolvida pelo autor é uma solução digital fundamentada em BIM que permite gerar um relatório de especificações e quantidades de uma forma automática, incorporando também uma estimativa do custo preliminar da obra. Esta solução foi aplicada em dois casos práticos reais – um projeto de arquitetura de uma casa unifamiliar nova e uma renovação de uma casa unifamiliar [33].

O novo fluxo de trabalho que incorpora o *add-in* desenvolvido pelo autor demonstrou uma grande evolução na eficiência da extração automática de quantidades, visto que diminuiu significativamente o tempo do processo e limitou as intervenções manuais de modelagem de informação, prevenindo o erro humano [33].

2.4.3.2. Utilização do *Dynamo* no aumento da precisão da extração automática de quantidades de elementos compostos a partir de modelos BIM [34]

Propuseram um método denominado por *BIM-based compound element quantity takeoff improvement* (BCEQTI) que permite melhorar a precisão das quantidades extraídas de elementos compostos desenhados em modelos BIM que estão incompletos/incorretos. Este método utiliza a funcionalidade *clash detection* dos *softwares* BIM de forma a eliminar as falhas/excessos das quantidades do modelo [34].

O objetivo principal do método era automatizar e melhorar a precisão de todo o processo de extração de quantidades de um modelo BIM onde o foco principal passou por eliminar todas as áreas sobrepostas do modelo (Figura 2.7)(Figura 2.8). É possível verificar nas figuras apresentadas exemplos de sobreposições de elementos onde o excesso de quantidades é abundantemente visível bem como a respetiva correção através do método BCEQTI [34].

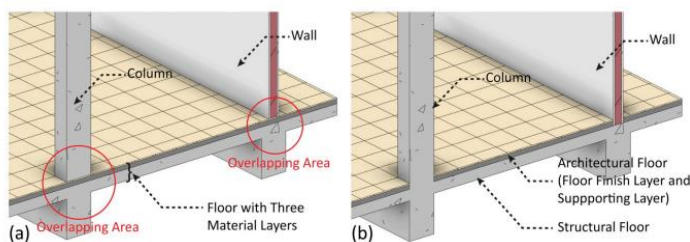


Figura 2.7- Correção do chão arquitetónico do modelo que provoca excesso de quantidade [34]

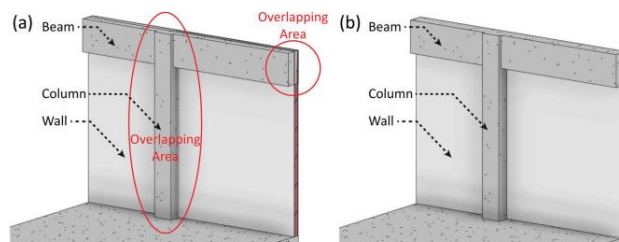


Figura 2.8- Correção da sobreposição da parede com a coluna do modelo que provoca excesso de quantidade [34]

O método BCEQTI foi desenvolvido através da extensão de programação visual *Dynamo* do software *Revit*. O desenvolvimento do método implicou várias fases de cálculo para os diferentes componentes dos modelos. Este método foi aplicado em quatro casos de estudo distintos – três casos correspondem a edifícios simples apenas para validar o método proposto; o quarto caso de estudo corresponde a um projeto real de um edifício residencial [34].

Na aplicação nos casos de estudo mencionados, o método protótipo BCEQTI apresentou um aumento significativo na eficiência da extração de quantidades do modelo BIM e a sua precisão demonstrou-se bastante consistente nos quatro casos de estudo [34].

2.4.3.3. Utilização do *Dynamo* na modificação automática de elementos compostos em modelos BIM [18]

Em continuação do estudo apresentado anteriormente acerca da automatização de extrações de quantidades a partir de modelos BIM, os autores propuseram um método para modificar automaticamente elementos desenhados em modelos BIM de forma a melhorar a automatização de todo o processo de extração automática de quantidades. Este estudo foca-se na extração de quantidades de elementos compostos onde a extração é pouco precisa devido ao facto de as diferentes camadas que os compõem não serem ajustáveis livremente. De facto, a modificação manual de cada elemento implica erros e um significativo investimento de tempo e recursos financeiros. De forma a melhorar todo este processo, os autores criaram um método que modifica automaticamente os elementos compostos de um modelo BIM tornando as diferentes camadas em elementos individuais e eliminando regiões sobrepostas [18].

A criação deste sistema protótipo foi validado a partir da sua aplicação em dois casos de estudo distintos. A primeira aplicação foi num edifício residencial de dois andares e a segunda num escritório de seis andares. O sistema desenvolvido denominado por *Automatic compound element modification* (ACEM)

apresenta um fluxo de trabalho de vários passos (Figura 2.9), foi desenvolvido através da utilização do *software Revit* e respetiva extensão de programação visual *Dynamo* [18].

A aplicação do ACEM demonstrou-se eficiente dado que nos dois casos de estudo se verificou uma grande melhoria na precisão das quantidades extraídas a partir dos modelos BIM. Para além da precisão demonstrada, o ACEM reduziu significativamente o tempo de trabalho de modelação e alteração dos modelos [18].

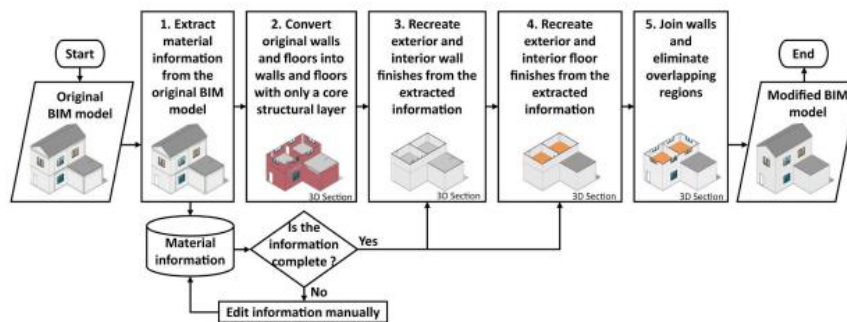


Figura 2.9- Fluxo de trabalho do sistema protótipo [18]

2.4.3.4. Utilização do *Dynamo* na eliminação de áreas sobrepostas entre componentes BIM [35]

Elaboraram uma proposta de automatização de extração de quantidades a partir de modelos BIM utilizando a extensão de programação visual *Dynamo* do *software Revit*. Esta proposta centrou-se na automatização da extração de quantidades de cofragem e na criação de modelos de cofragem. De forma a avaliar a utilidade da proposta, esta foi aplicada num modelo caso de estudo - edifício de dois andares em betão armado com pátio. [35].

O modelo estrutural BIM foi desenvolvido em *Revit*, no qual foram desenhados detalhadamente todos os componentes relevantes para o estudo. O método proposto tem dois objetivos principais: eliminar as áreas sobrepostas entre os mesmos/diferentes componentes estruturais de forma a obter áreas corretas; extrair quantidades de cofragem. Todo o processo automático é realizado através do *Dynamo*. Este é responsável por detetar todas as interseções e sobreposições entre os componentes estruturais do modelo, filtrar as quantidades de cofragem, criar painéis de cofragem e exportar todos os resultados obtidos para uma folha de cálculo. Os autores desenvolveram assim um fluxo de trabalho que o utilizador deve seguir a fim de obter a quantificação e visualização das áreas [35].

Os autores chegaram a resultados positivos com a utilização do método proposto. As quantidades de cofragem demonstraram-se bastante precisas para todos os componentes estruturais quando comparadas com o processo manual de extração de quantidades. Para além disso, a duração da estimativa foi reduzida significativamente [35].

2.4.4. UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE BIM NO CONTROLO DE CUSTOS E PRAZOS DE EMPREITADAS

O controlo financeiro de uma obra engloba o controlo de várias atividades. Este é realizado através da estimativa dos custos de todos os trabalhos e materiais envolvidos na obra em questão. Este controlo, quando realizado de forma tradicional, é muito moroso e está sujeito a muitos erros de medições. Com

o objetivo de digitalizar este processo, têm vindo a ser realizados vários estudos em casos práticos da implementação da metodologia BIM e das suas vantagens.

Os casos de estudo apresentados nesta secção abordam a interligação dos processos demonstrados individualmente nas secções anteriores. Estes serão alvo de uma análise mais pormenorizada no Capítulo 3 a fim de desenvolver uma metodologia BIM de controlo financeiro de empreitadas que possa ser explorada no futuro pela BuildGest e por outras empresas do setor AEC.

Tendo em conta a importância dos casos de estudo desta secção, estes serão identificados por ordem, de forma a facilitar o processo de análise no Capítulo 3 desta dissertação.

2.4.4.1. Caso de Estudo I - Criação de um modelo BIM 5D para o controlo financeiro da construção de um hotel no Porto [36]

Foi desenvolvido um estudo sobre a utilização de ferramentas BIM no controlo financeiro de empreitadas aplicando-as no projeto de construção de um hotel. O principal objetivo deste estudo era realizar a monitorização da obra utilizando funcionalidades BIM, de forma a interligar grandes quantidades de informação no mesmo programa, facilitando o trabalho da equipa de fiscalização [36].

De forma a realizar o controlo financeiro da obra, foi elaborado um modelo BIM 5D no *software Bexel Manager*, o qual permite registar os elementos que vão sendo executados durante o processo construtivo. A criação deste modelo foi dividida em cinco fases de execução que podem ser resumidas por [36]:

1. Elaboração do modelo 3D em *Revit* e exportação para o *Bexel Manager* através de um ficheiro IFC, o qual contém todos os *property sets* relevantes para o estudo;
2. Atribuição de códigos *OmniClass* a todos os elementos do projeto de estruturas do modelo *Revit* de forma a organizá-los no *Bexel Manager* para os passos seguintes;
3. Medição automática das quantidades de acordo com a *Work Breakdown Structure* (WBS) do empreiteiro de forma a poder comparar as medições obtidas com as apresentadas no MTQ;
4. Criação de um sistema de classificação de custos no *Bexel Manager* de forma a explicitar ao programa de que forma é que os custos dos objetos devem ser calculados;
5. Criação de um planeamento no *MS Project* e devida exportação para o *Bexel Manager*. Todos os trabalhos contidos no planeamento foram associados aos elementos do modelo correspondentes.

A criação do modelo 5D ficou concluída com a ligação entre os elementos do modelo, as informações de custos e do planeamento da obra. De forma a obter o controlo financeiro foi introduzida no modelo a informação relativa ao progresso real do caso de estudo obtida através de autos de medição ao longo do estudo e comparada com o orçamento inicial previsto [36].

2.4.4.2. Caso de Estudo II - Utilização de *Laser Scanning* na construção de um modelo BIM 5D de um Continente em S. João da Madeira e do edifício Santa Marta [37]

Foi realizado um trabalho acerca da utilização de ferramentas BIM ao nível do planeamento e orçamentação de obras. O objetivo principal deste estudo era demonstrar a contribuição positiva do BIM na digitalização da informação através da diminuição das discrepâncias das interações entre os métodos de planeamento e orçamentação já existentes [37].

Este trabalho foi aplicado em dois casos de estudo reais – pavilhão Continente Bom Dia em S. João da Madeira e edifício Santa Marta em Cascais. Nestes foram aplicadas metodologias BIM de forma a

controlar os respetivos prazos e custos das obras. De forma a tentar automatizar o planeamento e a orçamentação deste projeto, de diminuir significativamente a duração do mesmo e de evitar erros foi utilizada a ferramenta de digitalização 3D denominada por *Laser Scanning*. Esta ferramenta proporciona um novo nível de digitalização na indústria de AEC, visto que é capaz de captar digitalmente a geometria e radiometria de objetos através da utilização de raios laser. Esta tecnologia é caracterizada pela sua velocidade, precisão e capacidade de detalhe, garantindo um nível elevado de informação fiável e precisa, podendo ser aplicada em fases diferentes da construção [37].

Para uma análise comparativa do planeamento e orçamentação do projeto, a autora desenvolveu dois modelos – um através de *Laser Scanning* e outro através de modelação 3D no *Revit*. Inicialmente, foi desenvolvido o modelo 3D no *Revit* e o planeamento no *MS Project*, os quais foram exportados para o *Navisworks* de forma a construir o modelo 5D do projeto. O segundo modelo foi realizado através de levantamentos de *Laser Scanning* em que foram utilizados dois *softwares* – o *Leica Cloudworx* e o *Cyclone Jetstream*. Estes dois últimos foram utilizados em sintonia de forma a elaborar uma renderização ultrarrápida das nuvens de pontos obtidas no levantamento [37].

A autora comparou os levantamentos obtidos através de *Laser Scanning* com a geometria dos elementos estipulados e o planeamento de tarefas do projeto, analisando os custos e eventuais atrasos de tarefas concluindo que a obra estava atrasada, demonstrando as vantagens da utilização do *Laser Scanning* em obra [37].

2.4.4.3. Caso de Estudo III - Desenvolvimento de um modelo BIM 5D de uma moradia em Celorico de Basto [38]

Com o objetivo de demonstrar as funcionalidades e potencialidades da tecnologia BIM no setor empresarial e a sua interação com processos organizacionais tradicionais, foi desenvolvido um modelo 5D de um projeto. Este modelo 5D diz respeito ao controlo do planeamento construtivo e à estimativa de custos de um projeto de construção [38].

O caso de estudo diz respeito a uma moradia unifamiliar em Arnoia, Celorico de Basto. De forma a construir o modelo 5D foram utilizados vários *softwares*. Para a modelação 3D do projeto de estruturas, deteção de conflitos e para a extração de quantidades foi utilizado o *Revit*, no qual se exportou o mapa de quantidades obtido para o *MS Excel*. Foi também utilizado o *Navisworks Manage* para uma nova deteção de conflitos e para o planeamento construtivo. A metodologia BIM 5D foi obtida ao efetuar o orçamento da empreitada através dos mapas de quantidades obtidos no *Revit*. Este orçamento foi comparado com o orçamento calculado através de métodos tradicionais a fim de averiguar as vantagens da utilização de ferramentas BIM. Apesar das diferenças de custos não terem sido muito elevadas, a utilização de métodos BIM demonstrou-se muito mais rápida e expedita do que o método tradicional [38].

2.4.4.4. Caso de Estudo IV - Criação do modelo BIM 5D das instalações da SAKTHI Portugal SP21 em Aveiro [39]

Foi criado um modelo BIM 5D de uma obra com o objetivo de comparar a metodologia BIM com os métodos tradicionais utilizados no planeamento construtivo e orçamentação de projetos de construção. Este controlo foi realizado a fim de averiguar as vantagens da digitalização da informação, evitar atrasos no cumprimento de prazos e de precaver possíveis derrapagens orçamentais [39].

De forma a fazer uma boa avaliação da metodologia BIM, esta foi aplicada num caso de estudo real que consistiu na construção das instalações da SAKTHI Portugal SP21 em Águeda, Aveiro. A metodologia BIM focou-se nas especialidades com maior importância e maior volume de obra, iniciando-se pela produção do modelo virtual no *software Revit* das especialidades de arquitetura, estruturas e “Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado” (AVAC). A qualidade destes modelos foi posteriormente avaliada através do *Solibri Model Checker* até atingir os níveis aceitáveis pela empresa responsável. A construção das dimensões 4D e 5D foi obtida através do *software Vico Office* [39].

Neste programa, a digitalização do planeamento construtivo foi construída tendo em conta o método das linhas de balanço (LOB), visto que permite avaliar de uma forma rápida a produtividade associada a cada tarefa em várias localizações. Assim, o planeamento permitiu a construção de uma simulação 4D. A dimensão 5D foi construída a partir da atribuição de custos obtidos através do “Gerador de Preços CYPE” a um mapa de quantidades. Após a finalização da construção do modelo 5D foi realizado o orçamento da obra obtido apenas pela metodologia BIM e comparado com o orçamento tradicional. Este caso de estudo demonstrou-se relevante na avaliação da implementação BIM na empresa responsável visto que apresentou um valor orçamental mais preciso comparativamente com o método tradicional e diminuiu significativamente o volume de trabalho por parte dos intervenientes do projeto [39].

2.4.4.5. Caso de Estudo V - Análise financeira de uma ETAR na Argélia através de ferramentas BIM [40]

Com o objetivo de analisar e otimizar o sistema de gestão de obras de uma empresa, foi desenvolvida e aplicada num caso de estudo uma estrutura de codificação interna que permite a organização de elementos: a produção da WBS do projeto e uma plataforma de trabalho que reúne toda a informação extraída do modelo BIM numa base de dados que relaciona as quantidades, tempos e preços relativos ao projeto. Este sistema foi elaborado de uma forma dinâmica, ou seja, permite fazer alterações no desenvolvimento do projeto atualizando automaticamente a análise pretendida [40].

Este projeto foi aplicado num caso de estudo real – projeto piloto do modelo da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Bou Ismail na Argélia. A aplicação de uma nova estrutura de trabalho focou-se na otimização dos processos de gestão de forma a aumentar a efetividade e reduzir margens de risco [40].

De forma a desenvolver o projeto foi necessário juntar alguma informação – modelos 3D, mapa de trabalhos, preços e código EFACEC. Utilizando *softwares* como o *Revit*, *Navisworks*, *MS Excel* e *MS Project*, esta informação foi utilizada para vários processos: simulação e análise do plano de trabalhos; reestruturação do plano de trabalhos; análise e controlo de custos; otimização do processo de aprovisionamentos. Através destes processos foi possível obter vários resultados tais como: lista de quantidades; mapa de preços; relatórios de análise financeira; plano de trabalhos; simulação do planeamento; processo de trabalho. Todo este projeto permitiu construir um documento que retrata todos os procedimentos a adotar em cada projeto de execução [40].

2.4.4.6. Caso de Estudo VI - Utilização do *Vico Office* na estimativa de custos da construção de um hospital [41]

Elaboraram um fluxo de trabalho do controlo financeiro da perspetiva do estimador utilizando o *software Vico Office*. Todo este projeto foi desenvolvido com vários objetivos: gerar extrações automáticas de quantidades; construir sequências e animações do planeamento construtivo; estudar a interoperabilidade

do programa com outros *softwares* – *Revit*, *AutoCad*, *SketchUp* e *Rhino*; gerar extrações de quantidades precisas em modelos diferentes [41].

Este projeto foi aplicado num caso de estudo real de um hospital com o intuito de digitalizar grandes quantidades de informação. Envolveu a modelação, o planeamento e extração de quantidades através de vários *softwares*, interligando toda a informação adquirida no *Vico Office* de forma a realizar um controlo imediato dos custos envolvidos na construção do hospital [41].

O processo iniciou-se por criar um modelo 3D no *Revit* onde todos os elementos construtivos foram classificados por níveis *Uniformat II* de forma a ser exportado para o *Vico Office*, onde todo o projeto foi trabalhado e desenvolvido. De forma a facilitar a extração de quantidades, as zonas do edifício foram divididas para serem categorizadas mais facilmente através da função *Location Based Schedule Manager* (LBS). Todos os elementos relevantes para extração de quantidades foram organizados através de códigos, famílias e tipos. Após várias fases de automação a extração de quantidades é realizada de forma rápida e precisa obtendo-se um relatório de quantidades [41].

Para a elaboração do modelo 5D é também necessário construir o planeamento construtivo onde todas as quantidades obtidas na fase anterior são associadas às tarefas respetivas. Neste caso de estudo é demonstrado que, utilizando várias funcionalidades de um só *software*, é possível digitalizar grandes quantidades de informação relevante para o controlo de um projeto de construção [41].

2.4.4.7. Caso de Estudo VII - Incorporação de LCC num modelo BIM 5D [42]

Realizaram uma avaliação sobre a possibilidade de incorporar o custo do ciclo de vida de um projeto num modelo BIM 5D. O *Life Cycle Costing* (LCC) tem em consideração todos os custos e rendimentos relevantes durante todo o tempo de vida de um edifício. Este tem inúmeras aplicações tais como o *Facility Management* (FM) [42].

Tendo em conta que os *softwares* existentes ainda não apresentam grandes condições de acomodar as variáveis nem de calcular as probabilidades necessárias para o LCC, os autores decidiram incorporar esse cálculo numa plataforma de BIM 5D. Para isso foi utilizado o *software CostX 5D BIM*, dado que apresenta capacidades e funcionalidades de folha de cálculo e, desta forma, permite adicionar novas colunas, linhas e fórmulas que se interligam entre elas. Este processo representa uma mudança importante para o fluxo de trabalho do BIM 5D, visto que simplifica o processo de LCC através do processamento de informação BIM. De forma a averiguar a possibilidade de integração do LCC no modelo BIM 5D, foi utilizado um método denominado por *Thinking Aloud cooperative evaluation* que permite ter algum *feedback* acerca das quantidades envolvidas [42].

O *software* escolhido permite obter de uma forma rápida a extração de quantidades a partir de desenhos 2D e modelos BIM aglomerando-as numa folha de cálculo. O cálculo do LCC foi a fase mais importante e mais demorada uma vez que implicou a utilização de vários *standards* internacionais e de *Work Breakdown Structure* (WBS) diferentes. Os autores desenvolveram assim uma metodologia de forma a integrar os cálculos efetuados num modelo BIM. Esta metodologia foi posteriormente avaliada de forma a perceber a sua capacidade de utilização em cenários reais, onde foi possível concluir que as folhas de cálculo são benéficas para o cálculo probabilístico do LCC devido à sua capacidade de integrar grandes quantidades de variáveis [42].

2.4.4.8. Caso de Estudo VIII - Construção de curvas de progresso na construção de um edifício em Taiwan utilizando ferramentas BIM [43]

Foi realizada uma proposta relativa à integração do planeamento e dos custos num modelo BIM com o principal objetivo de conseguir estabelecer curvas de progresso de construção (curvas S) baseadas nos custos de construção de um projeto de construção. O modelo proposto define os critérios de pesquisa (custo do elemento, objeto, piso e zona) e identifica precisamente os elementos para extração de quantidades e dos custos associados ao material e à tarefa respetiva. Este modelo consiste em quatro fases [43]:

1. Desenvolver um modelo BIM com todos os parâmetros de informação necessários. O modelo é desenvolvido com um LOD 300 e cada elemento construtivo é associado a um material específico e respetivo custo. Desta forma, cada elemento BIM apresenta parâmetros geométricos, parâmetros de desenho adicionais e informações de custo do material;
2. Executar algoritmos de pesquisa para a extração de quantidades. Esta pesquisa é feita através de vários critérios;
3. Identificar os preços unitários contratuais para calcular os custos da atividade. Estes preços são obtidos utilizando o *software Public Construction Cost Estimation (PCCES)*;
4. Transmitir os custos das atividades para o MS Excel de forma a construir as curvas de progresso S.

Esta proposta foi aplicada num caso prático real em Taiwan onde foi avaliada a eficiência da utilização do método apresentado. Neste caso de estudo foi possível construir um modelo BIM com um planeamento construtivo associado minuciosamente detalhado e com os custos de todos os elementos associados à tarefa respetiva, produzindo assim uma curva de progresso baseada nos custos construtivos [43].

2.4.4.9. Caso de Estudo IX - Construção de um fluxo de trabalho de monitorização do planeamento/produção de projetos de construção [44]

No Brasil, propuseram uma estrutura conceitual de monitorização do planeamento/produção no qual integraram o fluxo de trabalho desenvolvido nos processos de modelação BIM 3D. Esta proposta foi elaborada com o principal objetivo de aumentar a compreensão do fluxo de trabalho de integração das informações sobre a estimativa de custos, do planeamento e da monitorização da produção num modelo BIM. A fim de estudar a aplicabilidade desta proposta, os autores analisaram dois projetos diferentes de forma a identificar e definir os requisitos necessários para a implementação dos processos estudados em escritório em casos reais. [44].

Após uma análise cuidada dos processos envolvidos nos dois projetos estudados, os autores definiram uma estrutura conceptual para os objetivos propostos inicialmente. Esta estrutura pode ser resumida por [44]:

- Integração da estimativa de custos no modelo BIM 3D;
- Integração do planeamento e monitorização da produção no modelo BIM;
- Integração do planeamento e da monitorização da produção no modelo BIM 3D;
- Integração da estimativa de custos, do planeamento e da monitorização da produção no modelo BIM.

2.4.4.10. Caso de Estudo X - Construção de um modelo de programação não linear para o planeamento de projetos de construção [45]

Produziram um modelo que tem em conta elementos essenciais no planeamento de um projeto de construção – tempo, custo e segurança. Os autores estudaram a possibilidade de reduzir os custos e a duração riscos de acidentes tentando definir a solução ótima para o problema de tempo-custo-segurança. Este estudo implicou a produção de vários componentes importantes. Foi utilizado o método do caminho crítico (CPM) para determinar a maior duração e maior custo do projeto. A este foi associado um índice de risco de forma a adicionar a avaliação de segurança para o processo de tomada de decisão. O problema em questão, denominado por *Time-Cost-Safety Trade-off* (TCST), foi formulado como um modelo de programação não-linear [45].

De forma a estudar a aplicação deste método foi utilizado como caso de estudo um projeto de construção fictício de um edifício de um andar onde foram criados cinco cenários possíveis de acontecimentos distintos. Este modelo apresentou vários resultados onde se concluiu que ao adicionar riscos ao *Time-Cost-Safety* (TCT) tem um grande impacto de otimização no planeamento através da prevenção de acidentes por atividades de colisão [45].

2.4.4.11. Caso de Estudo XI - Digitalização do processo construtivo da sede da PHC no TAGUSPARK em Portugal [46]

De forma a coordenar e monitorizar a construção da sede da PHC, desenvolveram um plano de execução BIM, permitindo às equipas de projeto uma maior colaboração. A utilização do BIM teve vários usos principais, nomeadamente a produção de desenhos a partir dos modelos, a coordenação da obra e o controlo de quantidades e custos. Ao longo do processo de modelação, recorreram a várias ferramentas BIM tais como o *Autodesk Revit* e o *Pro Structures* da *Bentley*. Os autores aplicaram o BIM em obra envolvendo todos os intervenientes do processo construtivo e possibilitando tomadas de decisão mais eficazes. Para uma otimização significativa na execução da obra os autores desenvolveram uma metodologia de dez fases [46].

3

ANÁLISE DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E OBJETIVOS

Este capítulo será reservado para uma análise crítica dos casos de estudo mencionados no Capítulo 2. Esta análise é crucial para o desenvolvimento de uma proposta que respeite os objetivos desta dissertação.

3.1. REVISÃO E ANÁLISE DO CAPÍTULO 2

O controlo de uma empreitada implica monitorizar várias atividades em simultâneo. A quantidade de fatores e de intervenientes no decorrer de uma obra são elevados e, desta forma, no capítulo anterior, foi realizada uma revisão bibliográfica extensa, com o intuito de avaliar as necessidades e os avanços da digitalização nas várias atividades envolvidas no controlo de uma empreitada. As ferramentas BIM têm sido uma das opções mais viáveis no que toca à digitalização e automatização na indústria de AEC, como tal, foram apresentados casos práticos de estudo acerca do controlo do planeamento, dos custos e das quantidades. Este, abrange, como já foi referido anteriormente, as dimensões BIM 4D e 5D, as quais se demonstraram, através da revisão bibliográfica realizada, as dimensões mais estudadas e aplicadas em vários países ao longo das duas últimas décadas.

A revisão bibliográfica apresentada tentou abranger várias formas de automatizar processos que, tradicionalmente, são bastante morosos e implicam grandes volumes de trabalho pelos respetivos intervenientes. Assim, o principal objetivo desta foi demonstrar que, na busca do controlo mais eficaz e mais eficiente, é necessário automatizar e melhorar pequenos processos, a fim de obter o controlo do projeto no geral. Para além disso, esta revisão demonstrou uma grande relevância e um grande impacto por parte da utilização de ferramentas digitais na indústria de AEC e, desta forma, a elaboração de uma análise crítica é fundamental. Assim, a análise do Capítulo 2 terá como objetivo os seguintes pontos:

- Analisar os métodos e ferramentas propostas para o planeamento construtivo e para a estimativa de custos nas fontes mencionadas, a fim de averiguar a possibilidade da sua utilização e o devido impacto em casos práticos distintos;
- Averiguar a empregabilidade das ferramentas e *softwares* utilizados nos casos de estudo apresentados para possível melhoria dos trabalhos futuros;
- Retirar conclusões e analisar as diferentes barreiras enfrentadas pelos autores no desenvolvimento dos respetivos métodos.

Tendo em conta o objetivo desta dissertação, os casos de estudo mais relevantes são aqueles em que são digitalizados todos os dados necessários para o processo de controlo dos prazos e dos custos da

empreitada. Assim, as secções 2.4.1, 2.4.2 e 2.4.3 desta dissertação serão analisadas de uma forma generalizada na Tabela 3.2, Tabela 3.3 e

Tabela 3.4, enquanto a secção 2.4.4 será analisada caso a caso.

Tabela 3.1- Número total de casos de estudo por secção

Secção	Nº Casos
Utilização do <i>standard</i> IFC na estimativa de custos	2
Utilização de <i>Software</i> BIM no Controlo do Planeamento de Empreitadas	9
Automatização do Processo de Extração de Quantidades de Modelos BIM	4
Utilização de ferramentas BIM no controlo de custos e prazos em empreitadas	11
Total	26

Tabela 3.2- Análise da secção 2.4.1

Utilização do *standard* IFC na estimativa de custos

Fontes:

1. “Estimativa de custos semiautomática e em conformidade com as especificações para licitação de projetos de construção com base em dados IFC do modelo de design” [22]
2. “IFC+: Rumo à integração da IoT nas fases iniciais do projeto de edificações” [23]

Resumo/Objetivos: A utilização do *standard* IFC é alvo de estudo em vários países e é extremamente relevante na interoperabilidade entre *softwares* BIM utilizados na indústria de AEC. É uma questão complexa que necessita de análise e avaliação em casos práticos. A troca de informação entre *softwares* BIM implica, por norma, um volume de trabalho significativo de forma que não se perca informação crucial. Assim, a aplicabilidade do *standard* IFC tenta resolver este problema, diminuindo erros e aumentando a viabilidade de modelos BIM.

Os casos de estudo apresentados utilizam o *standard* IFC na transmissão de dados entre *softwares* BIM dos elementos modelados. O objetivo principal é automatizar o processo de estimativa de custos dos materiais extraídos automaticamente a partir de modelos BIM. Esta análise é realizada através da criação de algoritmos e da utilização de extensões IFC em casos reais/simulados de projetos de construção.

Análise Crítica: O *standard* IFC apresenta um grande potencial na melhoria da interoperabilidade de *softwares* BIM. Apesar da grande complexidade envolvida no processo de aplicação deste *standard*, os estudos apresentados conseguiram demonstrar a sua utilidade na produção de modelos BIM semiautomáticos. As principais vantagens encontradas foram: redução significativa do tempo de trabalho ao longo do ciclo de vida do projeto de construção; diminuição do erro humano causado por processos mundanos e repetitivos. O processo de interligação de *softwares* através de ficheiros de informação IFC permite a troca direta de informação detalhada sobre os vários elementos do modelo BIM, no entanto, está extremamente dependente da qualidade das informações inseridas no mesmo. Atualmente, grande parte das empresas fabricantes e fornecedoras do setor AEC não apresenta consistência e confiabilidade suficiente no desenvolvimento dos modelos.

Na área da digitalização da construção a entidade IFC demonstrou também uma interligação bastante promissora com o conceito de Indústria 4.0, nomeadamente na área da IoT e dos objetos digitais. No entanto, a utilização do *standard* IFC na indústria de AEC ainda necessita de uma grande avaliação e estudo em casos práticos reais, de forma a averiguar a sua utilidade em vários tipos de projetos de construção. Os processos envolvidos na criação de modelos BIM semiautomáticos ainda apresentam níveis de complexidade elevados, implicando a intervenção de técnicos especializados e de elevado volume de trabalho no desenvolvimento do modelo BIM.

Tabela 3.3- Análise da secção 2.4.2

Utilização de Software BIM no Controlo do Planeamento de Empreitadas

Fontes:

1. Utilização de Ferramentas BIM no Planeamento de Trabalhos de Construção - Estudo de Caso [24]
2. Implementação de Metodologias BIM na preparação e controlo de obras - Utilização de Aplicação Android em Obra [25]
3. Otimização do planeamento dos trabalhos MEP com recurso a modelos BIM [26]
4. “Integrar um novo FBI de múltiplos objetivos com BIM para determinar o compromisso entre recursos no agendamento do projeto” [27]
5. “Integrar modelos de informação de construção com simulações de processo de construção para suporte ao agendamento do projeto” [28]
6. “Desenvolvimento de um sistema de simulação 4D baseado em BIM para o planeamento do cronograma de construção” [30]
7. Soluções para projetos de engenharia em BIM para aeroportos - Estudo de caso do aeroporto de Vitória [31]
8. O BIM aplicado no planeamento em obra de habitação de interesse social – Estudo de Caso [32]

Resumo/Objetivos: O planeamento construtivo é crucial para o desenvolvimento eficiente de um projeto de construção e o seu controlo é um dos focos principais por parte das equipas de fiscalização. O planeamento de uma obra tem vários objetivos, dos quais se destacam: controlo do cumprimento do cronograma definido, o qual visa garantir a execução das atividades dentro dos prazos estabelecidos inicialmente, monitorizando o progresso das mesmas, adotando medidas de forma a evitar atrasos; monitorizar a qualidade da construção a fim de garantir as especificações do projeto e do respeito pelos padrões de qualidade estabelecidos; coordenar as equipas de trabalho e garantir uma comunicação eficaz entre os intervenientes do projeto. A utilização de ferramentas BIM na digitalização do planeamento tem como objetivo agilizar as metas apresentadas, automatizando vários processos e diminuindo assim a necessidade da intervenção humana em múltiplos cenários. Os casos de estudo apresentados demonstram alguns dos processos de otimização do planeamento construtivo aplicando o BIM.

Análise Crítica: A utilização de ferramentas BIM no controlo do planeamento construtivo é alvo de grande estudo e discussão na indústria de AEC. Os casos de estudo apresentados demonstraram grandes progressos no aumento da eficiência do planeamento através da criação de modelos BIM 4D. A utilização destes modelos demonstrou-se bastante eficaz na coordenação e na integração das várias especialidades envolvidas num projeto de construção. Várias atividades de otimização do planeamento, incapazes de serem reproduzidas pelo ser humano, foram atingidas através da utilização

de ferramentas BIM e de algoritmos produzidos para esse efeito – identificação de interferências, otimização da sequência de atividades, antecipação de conflitos, criação de simulações.

É importante referir que o controlo do planeamento está bastante dependente da qualidade e da quantidade dos dados inseridos no modelo, no entanto, apesar do maior volume de trabalho inicial no desenvolvimento do modelo BIM, a utilização deste tipo de ferramentas demonstrou-se bastante eficaz, contribuindo para um maior desempenho das equipas intervenientes na obra ao longo de todo o desenvolvimento da mesma. A funcionalidade mais relevante para o desenvolvimento desta dissertação é a atualização dos dados ao longo do ciclo de vida do projeto, permitindo fiscalizar as atividades. Apesar da necessidade da intervenção humana, esta demonstrou-se possível.

Tabela 3.4- Análise da secção 2.4.3

Automatização do Processo de Extração de Quantidades de Modelos BIM

Fontes:

1. “Especificação coordenada e quantificação através da modelação digital” [33]
2. “Melhorar a precisão da quantificação baseada em BIM para elementos compostos” [34]
3. “Modificação automatizada de elementos compostos para quantificação precisa baseada em BIM” [18]
4. “Quantificação automatizada de formas para cofragem baseada em BIM - Uma estrutura para avaliação e geração de modelos de navegação para mapeamento de dados de posicionamento interno” [35]

Resumo/Objetivos: O processo de extração de quantidades de um projeto de construção é uma atividade crucial no desenvolvimento de uma obra. Esta tem vindo a ser estudada a fim de poder ser realizada automaticamente através de extensões e programas informáticos, os quais são associados aos modelos BIM a fim de extrair quantidades com a menor intervenção humana possível. As ferramentas desenvolvidas têm como objetivos principais: aumentar a eficiência e a precisão de todo o processo, minimizando os cálculos manuais e o consequente erro humano; acelerar o processo da estimativa de custos, visto que todas as quantidades podem ser associadas ao respetivo custo, calculando automaticamente os custos do projeto; melhorar a qualidade dos dados extraídos dos modelos BIM, criando padrões de consistência dos dados, atingindo resultados mais confiáveis. Esta secção pretende demonstrar que a digitalização do controlo de uma empreitada está dependente da digitalização de processos mais pequenos e que, para um controlo geral da obra bem executado e fiável, a automatização dos mesmos é essencial.

Análise Crítica: A automatização do processo de extração de quantidades de modelos BIM representa uma grande evolução na digitalização da informação na indústria de AEC e os casos de estudo apresentados são a representação disso. Estes demonstraram uma grande melhoria na precisão da extração de quantidades, dado que reduziram significativamente o erro humano, comum nos cálculos manuais. O *Dynamo*, a extensão de programação visual do *Revit*, demonstrou grandes progressos nesta automatização. Através da programação informática provocou um grande aumento na eficiência e na precisão da extração de quantidades. Os processos de modificação automática de elementos e de eliminação de regiões sobrepostas propostos são extremamente relevantes nesta área, visto que abordam o assunto onde, neste tipo de ferramentas, existem mais dúvidas. Apesar dos resultados terem sido bastante positivos, estes podem ser bastante influenciados pela complexidade do modelo. Além disso, a necessidade de validação dos resultados obtidos ainda representa um grande

atraso na utilização deste tipo de ferramentas. De facto, atualmente, os *softwares* BIM ainda não são totalmente confiáveis, logo devem ser comparados com os métodos tradicionais. Desta forma, em modelos muito grandes e complexos, envolvem grandes quantidades de trabalho. Estes métodos de automatização da extração de quantidades a partir de modelos BIM não vão ser utilizados ao longo desta dissertação, no entanto, são extremamente relevantes na demonstração da evolução da digitalização dos processos envolvidos no controlo de empreitadas.

3.2. ANÁLISE DOS CASOS DE ESTUDO SOBRE O BIM NO CONTROLO DE EMPREITADAS

Como foi mencionado no início deste capítulo, os casos de estudo apresentados no Capítulo 2 acerca do controlo dos custos e prazos de empreitadas vão ser analisados um a um a fim de compreender o avanço da digitalização da informação nesta área. A utilização do BIM permite que as várias equipas de gestão de projetos tenham uma visão bastante completa sobre todos os custos associados a um projeto de construção ao longo de todo o ciclo de vida, ou seja, desde a sua conceção até à sua manutenção. A capacidade de criar modelos virtuais detalhados e da integração de informações sobre o planeamento e sobre o orçamento em tempo real representa uma revolução na fiscalização de obras. É possível monitorizar de uma forma automatizada todos os processos envolvidos na obra minimizando a intervenção humana.

Os casos de estudo apresentados tentam analisar e demonstrar os benefícios da utilização de ferramentas BIM e da sua aplicação prática em projetos de construção reais. É de salientar que são utilizados vários tipos de *software* BIM, tendo em conta o objetivo de cada autor e da obra onde são aplicados. De uma forma geral os casos apresentados tentam analisar vários pontos, dos quais se destacam:

1. Análise da estimativa de custos da obra através da comparação de métodos tradicionais e metodologias BIM a fim de identificar desvios entre os custos estimados e os custos reais;
2. Identificação e análise das práticas da implementação do BIM com o objetivo de identificar e enfrentar alguns dos desafios envolvidos – utilização de *software*, normas;
3. Análise do impacto da utilização de ferramentas BIM na redução de custos do projeto de construção, otimizando o planeamento construtivo e respetivas sequências de atividades.

Os casos de estudo apresentados serão analisados de um ponto de vista crítico com o intuito de avaliar os pontos fortes e fracos das propostas apresentadas e determinar os pontos chave para o desenvolvimento de uma metodologia no próximo capítulo.

Tabela 3.5- Casos de estudo recolhidos sobre a utilização de ferramentas BIM no controlo de empreitadas

Autor	Título	Casos
[36]	Metodologias BIM no Controlo Financeiro de Empreitadas	Caso de Estudo I
[37]	BIM na Gestão de Obra: Digitalização 3D como Ferramenta integrada para o controlo do Planeamento e Orçamentação da Obra	Caso de Estudo II
[38]	Planeamento e controlo de projetos de construção com recurso ao BIM	Caso de Estudo III

[39]	Utilização do BIM 4D e 5D enquanto metodologia avançada para o planeamento, preparação e monitorização de obras	Caso de Estudo IV
[40]	A utilização do BIM na otimização do planeamento operacional dos projetos e o seu contributo na organização	Caso de Estudo V
[41]	“Fluxo de trabalho no <i>Vico Office</i> – Caso de estudo de BIM 5D da perspetiva do estimador”	Caso de Estudo VI
[42]	“Incorporar custos ao longo do ciclo de vida num modelo BIM 5D”	Caso de Estudo VII
[43]	“Aplicando a modelação de informações de construção para integrar o cronograma e o custo na criação de curvas de progresso da construção”	Caso de Estudo VIII
[44]	“Estrutura conceptual para integrar estimativa de custos e programação com BIM”	Caso de Estudo IX
[45]	“Otimização da troca entre o tempo e o custo ao incorporar riscos de acidentes no planeamento do projeto”	Caso de Estudo X
[46]	Digitalização da construção em Portugal – A nova sede da PHC no Taguspark	Caso de Estudo XI

3.2.1. CASO DE ESTUDO I

3.2.1.1. Proposta/Objetivos

Este estudo propôs o desenvolvimento de um modelo BIM 4D/5D do projeto estrutural real de um hotel. O objetivo principal deste estudo era utilizar o modelo BIM construído para o controlo em tempo real da construção do edifício. A proposta baseia-se na utilização do *software* de *Cost Management Bexel Manager* em parceria com o *MS Project*, o *MS Excel* e o *Revit*, a fim de executar a monitorização da obra. O *software Bexel Manager* foi escolhido tendo em conta certas necessidades a fim de atingir os objetivos propostos, tais como [36]:

1. Medição de quantidades;
2. Elaboração de relatórios financeiros mensais pormenorizados;
3. Controlo do progresso de obra em tempo real;
4. Quantificação da taxa de execução de elementos do modelo;
5. Registo de trabalhos;
6. Associação de informação de custos a elementos do modelo;
7. Atribuição de custos a trabalhos não modelados;
8. Representação visual das zonas executadas e não executadas da obra.

A proposta do autor envolveu uma metodologia de várias fases a fim de conseguir extrair toda a informação relevante do modelo BIM 5D para o controlo financeiro do projeto.

3.2.1.2. Conclusões e Análise Crítica

O autor realizou três autos de medição dos quais retirou três análises mensais de custos. Estas análises permitiram realizar várias comparações, nomeadamente entre o planeamento e o progresso real e entre as zonas executadas e não executadas. Através do *software Bexel Manager* e da introdução de dados de progresso, o custo atual da obra e o respetivo diagrama de *Gantt* são atualizados segundo os desenvolvimentos reais da obra. Através desta ferramenta foi possível obter duas análises gráficas, nomeadamente [36]:

1. Análise gráfica do progresso da execução da obra e dos custos ao longo do tempo, obtendo uma comparação entre a informação real e a informação planeada.
2. Comparação visual a cores dos elementos construídos e não construídos até a uma determinada data, introduzida pelo utilizador, possibilitando a apresentação do modelo do projeto através de um esquema de cores;

Ao interligar todos estes resultados, o objetivo principal foi cumprido. A junção de toda a informação resultou num relatório de progresso real da obra. De uma forma geral, o controlo financeiro da obra foi executado com sucesso através do *software Bexel Manager*, visto que foi possível criar um modelo BIM 4D/5D onde todos os dados relativos ao planeamento, propriedades dos elementos e custos foram interligados, permitindo a atualização e a adição de informações em tempo real [36].

Os resultados do estudo proposto são bastante satisfatórios e demonstram que, atualmente, a monitorização e a fiscalização das empreitadas de projetos de construção podem ser acompanhadas com utilização de ferramentas BIM. A escolha do *software* apresenta ainda uma grande relevância, dado que o *software* utilizado está muito dependente dos objetivos do utilizador. Apesar dos resultados positivos, o desenvolvimento de um modelo 5D necessita de grandes quantidades de informação de várias áreas para ser confiável e, desta forma, pode não ser viável para grande parte das empresas. O controlo financeiro foi realizado apenas para o projeto de estruturas do hotel, o qual foi bastante demorado, implicando que a realização deste controlo para a totalidade do hotel fosse de uma carga de trabalho extrema, para além de muito dispendioso. A necessidade de constante atualização por parte do responsável a fim de obter os dados reais do desenvolvimento da obra representou outra barreira importante, visto que mesmo com a utilização de ferramentas BIM, existe ainda uma grande necessidade da intervenção humana.

Apesar das dificuldades encontradas, o autor atingiu os objetivos pretendidos e os resultados obtidos foram bastante esclarecedores no que toca ao controlo da empreitada e aos benefícios que as ferramentas BIM podem trazer ao setor AEC. A análise financeira mensal obtida demonstrou uma grande evolução na digitalização da informação e o que no futuro poderá ser aplicado em todos os projetos de construção. Potencialmente a metodologia apresentada pode ser estudada e aplicada em casos práticos diferentes utilizando *softwares* BIM distintos, incluindo a modelação de outras especialidades da construção.

3.2.2. CASO DE ESTUDO II

3.2.2.1. Proposta/Objetivos

Esta proposta foi apresentada com o intuito de construir um modelo BIM de dois casos reais práticos – o edifício Santa Marta e um Continente Bom Dia em S. João da Madeira. A construção dos modelos teve o objetivo principal de obter um MTQ automático utilizando ferramentas BIM. O processo de desenvolvimento do modelo do edifício Santa Marta passou por várias fases essenciais, nomeadamente a construção dos modelos 3D no *Revit* e a construção de um planeamento construtivo no *MS Project*, a fim de o associar aos elementos modelados. A construção do modelo foi realizada através do *software*

Navisworks, onde se interligou toda a informação relevante e se exportou para um ficheiro Excel, elaborando o MTQ [37].

Como foi mencionado, foi também proposto o desenvolvimento do modelo BIM do Continente Bom Dia de S. João da Madeira através da tecnologia de *Laser Scanning* onde o objetivo foi semelhante - construir o modelo 3D através da construção de uma nuvem de pontos, construir um planeamento construtivo fictício e associar toda a informação de forma a criar um modelo BIM 4D/5D e criar um MTQ através da exportação dos resultados obtidos [37].

3.2.2.2. Conclusões e Análise Crítica

A autora construiu com sucesso os modelos BIM do projeto de estruturas dos dois casos de estudo, focando-se numa modelação detalhada das fundações, pilares, vigas, capitéis, lajes, paredes e escadas. Relativamente ao caso do edifício Santa Marta foi possível construir o planeamento construtivo e interligar toda a informação no *Navisworks*, construindo um modelo BIM e o respetivo MTQ através da extração de quantidades e custos do modelo, realizando assim uma orçamentação do projeto. Este orçamento obtido através de ferramentas BIM foi comparado com o orçamento obtido através de métodos tradicionais, tendo sido obtido diferenças significativas. No caso do Continente Bom Dia de S. João da Madeira a autora realizou um trabalho semelhante, realizando a comparação do modelo 3D com as nuvens de pontos obtidas através dos levantamentos por *Laser Scanning*. Após toda a análise e extração dos dados do modelo, foi possível concluir que a obra do Continente Bom Dia se encontrava atrasada e que, desta forma, as utilizações das ferramentas digitais foram positivas para a monitorização da obra [37].

O ponto chave deste estudo foi a comparação do modelo BIM 3D com a nuvem de pontos obtida através da tecnologia de *Laser Scanning*. O resultado obtido no caso de estudo do Continente Bom Dia de S. João da Madeira foi bastante satisfatório, demonstrando que esta tecnologia e os *softwares* associados apresentam capacidades cada vez mais avançadas, tornando o trabalho do ser humano mais simples. Apesar disso, o trabalho realizado encontrou uma barreira bastante significativa da utilização do *Laser Scanning* no setor AEC – a modelação tem de ser feita de acordo com os levantamentos efetuados e, desta forma, num modelo BIM com os vários ramos da construção modelados, implica levantamentos individuais a fim de conseguir obter um modelo coerente e fiável. Esta dificuldade implica um trabalho acrescido por parte dos intervenientes na obra, mas que, pode ser benéfico a longo prazo. Do ponto de vista do controlo financeiro esta análise podia ter sido realizada associando os modelos obtidos com *softwares* de controlo de orçamento, obtendo assim uma simulação construtiva com uma evolução dos custos ao longo do desenvolvimento da obra.

3.2.3. CASO DE ESTUDO III

3.2.3.1. Proposta/Objetivos

Esta proposta diz respeito à elaboração de um modelo BIM 4D/5D de uma habitação unifamiliar em Arnoia, Celorico de Basto. O autor propôs-se a elaborar este modelo a fim de ajudar e facilitar a gestão do projeto e de analisar os benefícios da utilização das ferramentas BIM no controlo de empreitadas. O objetivo principal deste trabalho foi a estimativa dos custos do projeto, tentando automatizar este processo tradicionalmente demorado. De forma a atingir os objetivos propostos, o autor propôs uma metodologia de três fases distintas de trabalho utilizando vários *softwares*. A proposta de metodologia passa por [38]:

1. Elaboração do modelo BIM 3D no *Revit* utilizando plantas desenhadas em *AutoCad* como *input*. A modelação deve ser apenas do projeto de estruturas do edifício para simplificar o estudo. O *output* desta fase deve ser a deteção de conflitos e um mapa de quantidades;
2. Exportação do modelo BIM do *Revit* para o *Navisworks*. Elaborar o planeamento construtivo e a deteção de conflitos, comparando-a com a obtida no *Revit* na primeira fase. Todas as tarefas devem ser interligadas com os elementos correspondentes;
3. Realizar o orçamento da empreitada através do MTQ obtido no *Revit*, extraindo toda a informação para uma folha de cálculo em *MS Excel*. Estes valores devem ser comparados com o orçamento obtido através de métodos tradicionais a fim de averiguar as vantagens da utilização de *software* BIM no controlo financeiro de empreitadas.

3.2.3.2. Conclusões e Análise Crítica

A metodologia proposta foi aplicada no caso de estudo mencionado onde foi possível construir o modelo BIM 4D/5D do mesmo. Tendo em conta os objetivos propostos, a comparação entre os mapas de quantidades obtidos através de métodos tradicionais e através de ferramentas BIM foram bastante explícitos. Em todos os materiais do projeto de estruturas as quantidades obtidas foram diferentes entre os dois métodos. A estimativa de custos realizada apresentou assim uma diferença de €679.38, onde o valor orçamental produzido pela metodologia BIM foi superior [38].

O ponto forte deste trabalho foi a comparação entre o controlo financeiro tradicional e o controlo através de ferramentas BIM. Apesar das ferramentas digitais utilizadas terem diminuído significativamente o volume de trabalho pelos orçamentistas, a discrepância obtida após a realização dos orçamentos demonstra que o cálculo realizado automaticamente pode não ser viável em certos cenários. A obtenção de um MTQ coerente e fiável apresenta ainda uma grande dependência do nível de desenvolvimento do modelo BIM. Neste estudo não foi realizado um bom trabalho de preparação para a extração de quantidades automática e, desta forma, ocorreram alguns erros de medições e consequente custo, nomeadamente: as cofragens das vigas foram calculadas de igual forma em todas as vigas do projeto; as lajes de vigotas foram modeladas por blocos de camadas e não por elementos. Pequenas falhas como estas implicam erros significativos nas quantidades e na viabilidade da utilização de ferramentas BIM no controlo financeiro de empreitadas. No entanto, o objetivo do estudo foi concretizado visto que foi possível analisar os benefícios da digitalização da informação e, tal como foi demonstrado, estas ferramentas são cada vez mais benéficas para a digitalização na construção.

3.2.4. CASO DE ESTUDO IV

3.2.4.1. Proposta/Objetivos

Esta proposta refere-se ao desenvolvimento de um modelo BIM 4D/5D das instalações da SAKTHI Portugal SP21, mais especificamente à Unidade Industrial denominada por “Júpiter”, situada em Águeda, Aveiro. O objetivo deste estudo passa por realizar a monitorização da obra em contexto BIM das especialidades de estruturas, arquitetura e AVAC. A fim de realizar uma avaliação sobre os benefícios da utilização de ferramentas BIM, o autor definiu uma metodologia onde explicita as várias fases pelo qual o trabalho deve passar para realizar um controlo da obra. Esta metodologia demonstra também os *softwares* que o autor pretende utilizar, tais como o *Revit*, o *Solibri Model Checker* e o *Vico Office*. Cada um destes *softwares* deve ser utilizado de acordo com os objetivos pretendidos para essa fase do processo. O *Revit* trata da modelação 3D da Unidade “Júpiter”, o *Solibri Model Checker* avalia a qualidade dos modelos e o *Vico Office* é um *software* de *Cost Management*, ou seja, permite ao

utilizador criar o planeamento construtivo, realizar extrações de quantidades, associar custos aos materiais e tarefas concluindo o processo com um orçamento global da obra [39].

3.2.4.2. Conclusões e Análise Crítica

Através da aplicação da metodologia apresentada pelo autor foi possível obter uma grande diversidade de resultados. Os mais relevantes são relativos à extração de quantidades e ao planeamento obtido através do método das linhas de balanço onde foi possível interligar os custos dos materiais com as tarefas respetivas criando um diagrama LOB e um diagrama de barras no *Vico Office*. O controlo financeiro através de ferramentas BIM apresentou resultados bastante satisfatórios quando comparados com o método tradicional, apresentando uma diminuição de 7% no valor orçamental total, proporcionando uma margem de lucro significativa para a empresa [39].

O estudo apresentado apresenta um grande potencial e uma grande evolução no estudo orçamental de empreitadas. É de salientar o facto do autor ter realizado o estudo com várias especialidades da construção, visto que permite analisar e avaliar mais aprofundadamente o impacto da utilização de ferramentas BIM no controlo financeiro de obras de grande porte. O orçamento obtido concluiu que, apesar do maior volume de trabalho, digitalizar grandes quantidades de informação a longo prazo não só facilita as atividades de fiscalização, mas como também proporciona margens de lucro superiores. A construção de modelos tridimensionais muito detalhados pode ser extremamente benéfica nas empresas que dedicam grande esforço no seu desenvolvimento, dado que facilitam bastante várias atividades, nomeadamente a extração de quantidades.

Uma das barreiras importantes encontradas neste tipo de estudos é que as propagações de erros ou desvios podem provocar grandes discrepâncias nos valores finais e, desta forma, uma análise profunda aos resultados obtidos é crucial. Muitos erros podem estar associados à interoperabilidade de *softwares*. Esta é uma realidade importante a ter em conta, visto que muita informação é perdida nas transições de *software*, especialmente quando o desenvolvimento do modelo envolve múltiplas equipas distintas. Apesar dos resultados satisfatórios, a maior falha foi a necessidade de exportar os ficheiros relativos aos elementos de estruturas, arquitetura e AVAC para o *Vico Office* por falta de compatibilidade de *softwares*, provocando erros de quantidades e consequente custo.

3.2.5. CASO DE ESTUDO V

3.2.5.1. Proposta/Objetivos

Este caso envolve o estudo do projeto de construção de uma ETAR em Bou Ismail, localizada na Argélia. O desenvolvimento deste trabalho tem o objetivo de otimizar o planeamento operacional através da utilização de ferramentas BIM. De forma a atingir este objetivo, o autor propôs o desenvolvimento de um ficheiro central capaz de reunir dados relevantes para o controlo da obra de uma forma organizada, com capacidade de atualização dinâmica, nomeadamente nas quantidades, planeamento e nos custos. O autor optou pela utilização do *Navisworks* como *software* central para interligação da informação. O resultado a atingir seria um documento final com todos os procedimentos a adotar nos vários projetos seguindo o conceito do BIM [40].

3.2.5.2. Conclusões e Análise Crítica

O principal objetivo deste estudo foi de realizar um balanço geral da faturação da obra, o qual foi atingido com sucesso. O autor construiu uma plataforma através de *software* BIM onde todos os dados relativos a preços, tempos e quantidades foram relacionados de forma automática, construindo gráficos de análise financeira. Os valores de faturação foram executados para a secção de construções civis e para a de equipamentos mecânicos. Os valores obtidos foram os valores reais da obra, os quais foram comparados com os planeados, obtendo-se um cronograma financeiro mensal onde foi possível concluir quais os órgãos da obra que necessitavam de mais atenção, evitando atrasos da construção [40].

Neste caso a questão da interoperabilidade entre *softwares* BIM foi muito bem trabalhada e representa um grande avanço na utilização deste tipo de ferramentas na gestão de obras. Sendo a otimização do planeamento operacional de projetos o foco principal do estudo, retira-se a conclusão de que, para tal, tanto a conjugação das ferramentas digitais como a sua utilização em simultâneo é fundamental. A construção do ficheiro central representa uma grande evolução no setor AEC permitindo às empresas centralizar grandes quantidades de informação num só local.

Neste caso em particular, o código EFACEC foi útil na interligação dos dados do modelo, demonstrando que o processo de classificação dos elementos é essencial para a troca de informação ao longo do desenvolvimento da obra. Apesar do trabalho desenvolvido ter sido bem-sucedido, a questão da interoperabilidade ainda representa uma das maiores barreiras na monitorização de obras. Através de ferramentas BIM, a melhoria deste processo deve ser um dos focos principais a fim de obter uma gestão mais eficiente e fiável. Este caso de estudo é relevante para o desenvolvimento desta dissertação, focando em pontos muito importantes, os quais devem ser respeitados a fim de elaborar um bom controlo financeiro recorrendo a ferramentas BIM.

3.2.6. CASO DE ESTUDO VI

3.2.6.1. Proposta/Objetivos

Este estudo foi proposto com a intenção de analisar e avaliar a utilidade do *software* de *Cost Management Vico Office* da *Trimble*. Este foi utilizado num caso real de um projeto de construção de um hospital. Com a aplicação neste caso, pretendeu-se gerar quantidades automáticas e sequências de tarefas de forma a construir um fluxo de trabalho eficiente no *Vico Office*. Esta aplicação prática foca-se também na questão da interoperabilidade de *softwares*, visto que pretende interligar vários de forma a construir um modelo BIM o mais completo possível. Este artigo tem um foco grande na perspetiva do estimador, tentando assim aumentar consideravelmente a eficiência do trabalho a desenvolver pelo mesmo [41].

3.2.6.2. Conclusões e Análise Crítica

A aplicação do *software* no caso prático do hospital apresentou vários resultados positivos. Destes destacou-se uma análise financeira completa da construção do edifício através de gráficos de análise orçamental e diagramas de linhas de balanço, permitindo uma monitorização total e bastante completa de todo o desenvolvimento da obra ao longo das várias fases da construção. Através das várias funcionalidades do programa foi possível obter resultados bastante avançados e estimativas dos custos envolvidos no projeto. Os autores conseguiram assim integrar grandes quantidades de informação no modelo BIM do hospital [41].

Uma das partes fundamentais da utilização de ferramentas BIM por parte das empresas de construção civil é a escolha do *software* ideal entre a enorme oferta do mercado, tendo em conta objetivos os definidos. Desta forma, análises como o estudo mencionado são fundamentais visto que apresentam um grande foco num *software* e analisam todas as suas funcionalidades e interações com formatos de ficheiros distintos. A análise do *Vico Office* é o ponto chave deste trabalho e a sua aplicação num caso prático demonstra a sua aplicabilidade em projetos de construção reais. Este estudo foca vários objetivos a atingir no trabalho desta dissertação.

O controlo financeiro realizado através do modelo construído atingiu resultados bastante satisfatórios, demonstrando que o controlo de empreitadas de forma digital implica grandes quantidades de trabalho inicial por parte de intervenientes especializados no *software* em questão. No entanto, quando criado o modelo, é possível realizar atualizações dinâmicas, facilitando muito a monitorização ao longo do desenvolvimento da obra. Relativamente à extração de quantidades, quando utilizadas as várias funcionalidades do *Vico Office*, verificou-se uma grande automatização.

3.2.7. CASO DE ESTUDO VII

3.2.7.1. Proposta/Objetivos

Os autores propuseram um método com o objetivo de incorporar o custo do ciclo de vida de um projeto num modelo BIM 5D. Este projeto pretende ser bastante inovador, visto que até a data do estudo o BIM 5D era quase exclusivamente utilizado para avaliação de custos relativos às quantidades dos projetos de construção. O trabalho implica o estudo e análise do cálculo probabilístico do custo de ciclo de vida de uma obra, integrando-o num modelo BIM, criando assim um modelo bastante avançado e complexo, capaz de prever os custos relacionados com todas as fases de vida do edifício [42].

3.2.7.2. Conclusões e Análise Crítica

Um dos maiores desafios desta proposta foi o cálculo do custo do ciclo de vida da obra, dado que se baseia em métodos estatísticos. Este cálculo foi obtido através da utilização de *softwares* e baseou-se em múltiplas folhas de cálculo com o intuito de realizar uma estimativa confiável. Todos os custos obtidos através do método proposto foram exportados para o modelo BIM 5D. Este modelo apenas continha os custos e quantidades dos elementos do modelo, ao qual foram adicionadas grandes quantidades de dados novos. O resultado mais relevante neste processo foi a folha de cálculo dos custos do ciclo de vida do edifício, devido à grande dificuldade na obtenção de uma estimativa fiável [42].

Este trabalho demonstrou resultados positivos, no entanto, a complexidade associada ao mesmo representa uma grande barreira para a utilização de métodos semelhantes. Embora o estudo da integração do custo de ciclo de vida em modelos BIM seja de grande relevância, a sua utilização em casos práticos reais é, atualmente, não viável. Outro fator importante a ter em conta é o facto do custo de ciclo de vida ainda não ser uma variável muito importante para a maioria das empresas da área e, desta forma, a utilização de métodos como o apresentado são ainda insignificantes. No entanto, este estudo demonstrou que a utilização de folhas de cálculo para cálculo probabilístico apresenta vantagens consideráveis devido ao facto de conseguir acomodar grandes quantidades de dados e de variáveis diferentes. Desta forma, esta proposta representa uma base sólida para trabalhos futuros acerca da utilização de ferramentas BIM no controlo da construção ao longo de todo o ciclo de vida de projetos construtivos. É também importante referir que o modelo BIM 5D já existente não foi criado para cálculo do custo do ciclo de vida, demonstrando que a proposta apresentada pode ser aplicada em qualquer modelo BIM 5D no qual haja necessidade de lhe associar o custo do ciclo de vida da obra.

3.2.8. CASO DE ESTUDO VIII

3.2.8.1. Proposta/Objetivos

Este trabalho apresenta uma proposta de integração do planeamento construtivo e dos custos associados à obra num modelo BIM, permitindo construir linhas de progresso. Os autores pretendem calcular todos os custos associados a cada tarefa de forma a estabelecer uma ligação entre toda a informação. Tendo o objetivo principal apresentado, propôs-se o desenvolvimento de uma metodologia de quatro fases diferentes, aplicando-a num caso prático real em Taiwan, avaliando a aplicabilidade do método e das vantagens associadas à utilização de ferramentas BIM em projetos de construção. Assim, pretendeu-se automatizar um processo que, por métodos tradicionais, implica a realização de várias fases [43].

3.2.8.2. Conclusões e Análise Crítica

A metodologia proposta foi aplicada num projeto de construção em Taiwan que foi modelado em BIM 3D. Neste caso, o nível de desenvolvimento do modelo era bastante relevante para o funcionamento correto do fluxo de trabalho desenvolvido. A aplicação da proposta demonstrou uma grande melhoria em vários fatores importantes, nomeadamente na extração de quantidades e na distribuição dos custos pelas tarefas, conseguindo atingir resultados mais precisos e fiáveis quando comparados com os obtidos através de métodos tradicionais. Embora a precisão dos resultados tenha sido bastante satisfatória, foi possível encontrar bastantes erros de medições, provocando alterações nos custos finais da obra e nas respetivas curvas de progresso [43].

Um dos pontos fortes desta proposta é, sem dúvida, a relação criada entre o custo dos elementos modelados e as respetivas tarefas. Tendo em conta o objetivo de automatizar o processo do controlo financeiro da empreitada, é de criticar o facto de todos os custos serem inseridos manualmente. No entanto, embora que o método apresentado seja demorado e implique uma carga de trabalho significativa, é importante referir que o estudo em questão representa um grande avanço na utilização de ferramentas BIM para a construção de curvas de progresso e para o controlo do projeto de construção. Esta proposta demonstrou um nível elevado de aplicabilidade noutros projetos semelhantes, contendo informação relevante para a digitalização no controlo de empreitadas.

3.2.9. CASO DE ESTUDO IX

3.2.9.1. Proposta/Objetivos

Esta proposta consiste no desenvolvimento do conceito de uma estrutura de trabalho que permita integrar a informação relativa ao planeamento construtivo e à estimativa de custos de projetos de construção. Esta estrutura deve permitir às equipas de fiscalização uma monitorização mais eficiente através da utilização de ferramentas digitais. Os autores propuseram também, através deste caso de estudo, a avaliação da aplicabilidade dos processos envolvidos no desenvolvimento da estrutura de trabalho. Para além disso, foi aprofundado o conhecimento sobre a possibilidade da criação de fluxos de trabalho benéficos no controlo das várias atividades de monitorização de empreitadas. Este estudo implicou a utilização do conceito BIM integrando as variáveis tempo e custo, ou seja, a criação de um modelo BIM 4D/5D [44].

3.2.9.2. Conclusões e Análise Crítica

De forma a realizar um estudo mais aprofundado sobre a utilização da estrutura de trabalho proposta, os autores aplicaram-na em dois projetos de construção distintos, visando definir os requisitos essenciais para uma boa transição entre o trabalho de escritório e o trabalho de campo. A construção dos fluxos de trabalho baseou-se nas necessidades de cada projeto individualmente, produzindo assim dois diferentes.

Esta proposta demonstrou-se bastante idealista, obtendo-se resultados fracos relativamente à integração dos diferentes *softwares*, não conseguindo fornecer níveis de coordenação e comunicação eficazes entre as várias equipas intervenientes. A avaliação dos custos envolvidos e do planeamento de tarefas não foi satisfatória, visto que não foi possível integrar numa só ferramenta digital toda a informação relevante para a construção. A transmissão de dados entre o campo e o escritório demonstrou ser fragmentada ou demasiado agrupada, implicando trabalho de compreensão por parte da equipa de escritório. Com a análise desta proposta é possível retirar a conclusão de que, para um controlo eficiente de empreitadas através de ferramentas BIM, a integração de todos os dados num só *software* é essencial. Todos os elementos integrantes do projeto devem ser aglomerados de forma a facilitar a transição do escritório para o campo, monitorizando a obra mais eficientemente.

Apesar dos resultados encontrados, o estudo correspondeu aos objetivos traçados sobre a análise de estruturas de trabalho para o controlo financeiro de empreitadas, demonstrando as várias dificuldades a superar na área, facilitando trabalhos futuros.

3.2.10. CASO DE ESTUDO X

3.2.10.1. Proposta/Objetivos

O caso de estudo apresentado tem o objetivo de produzir um modelo capaz de estimar acidentes em obra através de fatores de risco, definindo a solução ótima de planeamento de tarefas. Este trabalho tenciona utilizar formas de programação não-linear e métodos de planeamento, solucionando o problema de *Time-Cost-Safety Trade-off* (TCST). De forma a analisar o método proposto os autores utilizam como caso de estudo um edifício de um andar, onde apresentam vários cenários distintos, avaliando e validando o modelo de tomada de decisões proposto [45].

3.2.10.2. Conclusões e Análise Crítica

Como foi mencionado, de forma a validar o modelo proposto, este foi aplicado a vários cenários fictícios de onde se conseguiu retirar as soluções ótimas. Estas soluções apresentam grandes diferenças entre elas, nomeadamente nos custos totais, nas sequências de tarefas interrompidas por acidentes e nas penalizações devido aos fatores de risco de cada uma. Quando adicionado o modelo proposto, os autores obtiveram gráficos que permitiram verificar uma grande otimização entre os vários cenários. O ponto crítico deste estudo é o facto de, após a aplicação do modelo proposto, os fatores de risco demonstraram um grande impacto no planeamento de tarefas e uma consequente otimização significativa.

O estudo em questão, apesar de não utilizar ferramentas BIM e de não ser diretamente aplicável nesta dissertação, aborda um assunto de extrema importância. Os acidentes em obra são uma grande realidade e os estudos para a sua prevenção devem ser considerados no planeamento de projetos de construção. A utilização de ferramentas digitais e de modelos mais avançados pode ser uma das respostas mais viáveis para este problema. Tendo em vista o controlo financeiro de empreitadas, a conciliação de *software* BIM a modelos como o proposto pode representar enormes avanços para o controlo das várias variáveis

envolvidas, principalmente no planeamento, o qual demonstrou ser muito influenciado pelos acidentes em obra.

3.2.11. CASO DE ESTUDO XI

3.2.11.1. Proposta/Objetivos

Os autores propuseram-se a utilizar ferramentas BIM de forma a desenvolver um plano de execução digital e acompanhar as equipas intervenientes ao longo das várias dificuldades na construção da sede da PHC no TAGUSPARK, em Portugal. Tal como foi mencionado no Capítulo 2, os objetivos principais foram a produção de desenhos, a coordenação e o controlo de quantidades e custos. Este estudo visou a gestão e a coordenação da obra utilizando as ferramentas BIM e os modelos construídos na monitorização em obra [46].

3.2.11.2. Conclusões e Análise Crítica

Este estudo é relevante dado que digitaliza a informação no setor AEC, aumentando significativamente os processos de projeto/obra/operação. De facto, o ponto chave desta proposta é a transição das ferramentas BIM para a fase de execução da obra, permitindo um grande envolvimento de todas as equipas intervenientes no projeto e a comparação dos modelos desenvolvidos com a execução em obra, otimizando todo o processo de controlo. Através da metodologia aplicada foi possível construir a matriz de responsabilidade dos modelos BIM, onde se definiu os responsáveis pela otimização orçamental e pela execução da obra das várias especialidades. É de salientar o pormenor da transposição direta do projeto para a obra através de *High Definition Scanning* (HDS), a qual permitiu uma grande redução nos erros humanos associados. De uma forma geral, a proposta teve resultados positivos visto que o processo de implementação BIM permitiu uma colaboração clara e informada entre as várias especialidades da obra e numa grande evolução das capacidades digitais. Conclui-se, também, que a utilização das ferramentas BIM na fase da obra permitiu otimizar consideravelmente os processos de controlo ao longo do desenvolvimento da obra. Desta fase pode-se retirar um ponto crítico - a diminuição do tempo necessário para tomadas de decisão, o qual é de extrema importância em projetos de construção de grande porte e com muitas especialidades envolvidas.

Este caso de estudo trata de um assunto importante para a digitalização no controlo de empreitadas, visto que representa um grande avanço na utilização de *software* para o controlo digital dos projetos de construção. Este controlo é fundamental no futuro tendo em conta o aumento da complexidade dos projetos construtivos. A partir deste caso de estudo é possível retirar a conclusão que a tecnologia atual já permite a criação de modelos BIM fiáveis e que devem ser utilizados a fim de facilitar todos os processos envolvidos.

3.3. ANÁLISE CRÍTICA E OBJETIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE CONTROLO FINANCEIRO DE EMPREITADAS UTILIZANDO FERRAMENTAS BIM

Tendo em conta a análise crítica realizada ao longo deste capítulo acerca das várias atividades envolvidas no controlo de empreitadas, podem ser retiradas várias conclusões sobre inúmeros aspetos, nomeadamente os requisitos essenciais para uma utilização viável de *software* BIM no setor AEC e os problemas principais da utilização deste tipo de ferramentas no controlo financeiro de empreitadas, os quais são apresentados de seguida na Tabela 3.6.

Tabela 3.6- Principais problemas da utilização do BIM no controlo financeiro de empreitadas

Interoperabilidade de softwares: O primeiro e principal problema encontrado através da análise realizada foi o da interoperabilidade de *softwares*, o qual demonstrou ser um dos mais comuns na utilização do BIM. O controlo financeiro de uma empreitada implica o controlo de várias variáveis, as quais são estudadas e avaliadas através da utilização de vários programas informáticos. No entanto, toda a informação tem de ser adicionada e interligada num *software* de *Cost Management*, implicando assim que o *software* escolhido possua a capacidade de recolher essa informação sem qualquer perda de dados. O *software* com a maior capacidade de recolher informação de ferramentas distintas possui uma grande vantagem no mercado.

Associação de informação aos elementos modelados: A segunda dificuldade encontrada foi a associação de várias camadas de informação aos elementos modelados. De facto, apesar da tentativa de simplificação da utilização dos *softwares* por parte das empresas, atualmente, a associação da informação aos objetos é ainda um dos processos mais difíceis e morosos. Este processo é o mais importante para a criação de um modelo BIM que permita à equipa de fiscalização realizar um bom controlo da empreitada. Este será um dos focos principais no desenvolvimento da metodologia no Capítulo 4.

Nível de detalhe: Este problema está associado à falta de elementos modelados. Os modelos BIM devem apresentar níveis de detalhe e de quantidades de informação elevados para um controlo eficiente no futuro. A falta de elementos modelados implica extrações de quantidades incoerentes e relatórios orçamentais incompletos. Este problema será também uma das preocupações principais no desenvolvimento desta dissertação em que, após a análise realizada, deverá ser resolvido através da criação de métodos que permitam à equipa de fiscalização de contornar esta situação, da diluindo os custos dos elementos não modelados nos objetos modelados.

Tendo em conta os problemas referidos, um ponto importante a resolver é o *software* BIM a utilizar no controlo de empreitadas. Através da análise dos vários casos de estudo apresentados foi possível confirmar que, da grande oferta de ferramentas BIM no mercado, alguns demonstram ser mais benéficos. A utilização do *Autodesk Revit* apresenta vantagens claras para a modelação 3D, extração de quantidades e deteção de conflitos, sendo um dos *softwares* mais utilizados por parte das empresas do setor AEC. Relativamente aos *softwares* de *Cost Management* reparou-se numa maior diversidade de utilização, dos quais se destacaram o *Autodesk Navisworks*, o *Bexel Manager* e o *Vico Office*. As utilizações destes *softwares* foram analisadas em vários casos práticos, de onde se retirou a conclusão que, embora impliquem práticas e funcionalidades semelhantes, a sua utilização deve ser testada e avaliada durante períodos de tempo consideráveis, de forma que as empresas de construção possam atingir os próprios objetivos definidos.

A partir desta análise é possível propor objetivos para o desenvolvimento de novas metodologias e modelos, visando construir modelos BIM capazes de acompanhar todo o processo de fiscalização de uma obra. De forma a desenvolver uma metodologia eficaz de controlo de prazos e custos no próximo capítulo, pretende-se cumprir os seguintes pontos:

1. **Precisão da estimativa de custos** - o modelo BIM deve ser bastante detalhado de forma a conter grandes quantidades de informação, possibilitando assim uma extração automática de quantidades fiável, minimizando os erros e desvios orçamentais. A integração de várias especialidades envolvidas no projeto de construção implica um elevado volume de trabalho, mas, como demonstrado, é altamente benéfico para um controlo mais eficiente da obra. É

necessário ter em conta que a metodologia deve ser testada inicialmente para apenas uma especialidade de forma a corrigir o seu funcionamento, analisando assim a sua aplicabilidade futura;

2. **Interligação de toda a informação relevante num só local** – a utilização de vários *softwares* BIM é comum no desenvolvimento do modelo 3D e do planeamento, no entanto, de forma a realizar o controlo mais eficiente da obra, todos os ficheiros devem ser importados para um *software* de *Cost Management* onde os elementos modelados vão ser associados às tarefas respetivas. É de salientar que é necessário ter atenção à questão da interoperabilidade, operando sempre com ficheiros e *softwares* compatíveis;
3. **Gerar análises financeiras automáticas** – com a utilização de ferramentas BIM este processo deve ser bastante automatizado. Com um modelo BIM detalhado a extração de informação relevante para o controlo da empreitada (quantidades, materiais, custos, cronogramas) é muito mais rápida e precisa. O método a desenvolver deve ser capaz de comparar os custos reais com os custos previstos inicialmente, gerando relatórios e gráficos orçamentais automatizados para as equipas respetivas. Estes relatórios devem ser bastante pormenorizados e elaborados mensalmente para serem entregues ao cliente;
4. **Facilitar a monitorização ao longo de todo o projeto** – a monitorização das obras deve ser acompanhada pelo *software* BIM em tempo real. Este deve permitir ao utilizador atualizar todo o progresso da obra com dados relevantes, conseguindo identificar desvios orçamentais e atrasos, permitindo corrigi-los através de medidas corretivas.
5. **Possibilitar o controlo financeiro da obra em campo** – é importante haver uma boa interligação digital entre a equipa de escritório e a equipa de campo. O *software* de *Cost Management* deve permitir a transição de dados entre as várias especialidades e respetivos intervenientes através de *softwares* de controlo de qualidade em obra. A interoperabilidade entre *softwares* deve ser assegurada de forma que todos os dados estejam disponíveis e possam ser utilizados na fiscalização da obra.

4

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA O CONTROLO FINANCEIRO DE EMPREITADAS UTILIZANDO FERRAMENTAS BIM

4.1. DIGITALIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO PARA O CONTROLO DE EMPREITADAS

Como foi abordado no capítulo anterior, de forma a realizar a digitalização da informação relevante para o controlo de uma empreitada é necessário recorrer à utilização de um *software* de *Cost Management*. A escolha deste *software* deve ser realizada de uma forma ponderada de acordo com as necessidades da empresa responsável pela fiscalização dos projetos de construção.

Após a apresentação e análise dos casos de estudo realizada no Capítulo 3, foi possível concluir que, do leque de opções de *softwares* de gestão da construção, destacam-se: o *Vico Office* da *Trimble*, o *Navisworks* da *Autodesk* e o *Bexel Manager* da *Bexel Consulting*. Estes *softwares* oferecem ao utilizador bastantes recursos avançados de visualização, análise e colaboração. No entanto, apresentam diferenças significativas entre eles em determinados aspetos. Com a Tabela 4.1, pretendeu-se comparar intuitivamente os *softwares* para que a sua escolha se tornasse mais fácil. Deste modo, foram identificados quatro parâmetros chave nos quais seriam comparados: funcionalidades, interoperabilidade, nível de detalhe e facilidade de utilização.

Tabela 4.1- Comparação entre o *Bexel Manager*, *Vico Office* e o *Navisworks* acerca das funcionalidades e objetivos principais

Funcionalidades: O *Vico Office* é focado na análise de custos e em cronogramas de construção, fornecendo ao utilizador uma gestão eficaz dos projetos evitando atrasos e erros de orçamento. O *Bexel Manager* fornece uma plataforma mais completa para a gestão de projetos de construção, permitindo criar modelos BIM precisos onde são incluídos o planeamento construtivo, análises e simulações de projetos, gerindo vários documentos e diferentes fluxos de trabalho. Pelo contrário, o *Navisworks* apresenta funcionalidades mais focadas para a deteção de conflitos e de visualização de modelos BIM 3D. Em suma, tendo em conta o objetivo desta dissertação, as funcionalidades do *Vico Office* e do *Bexel Manager* seriam mais benéficas.

Interoperabilidade: Nesta categoria destaca-se o *Bexel Manager*, este apresenta uma grande capacidade de interligação de vários *softwares* BIM e outras ferramentas, facilitando significativamente o trabalho das várias equipas envolvidas nos projetos. O *Vico Office* permite também uma boa integração dos vários *softwares* disponíveis no mercado, embora não tão eficiente

como o *Bexel Manager*. O *Navisworks* apresenta níveis de interoperabilidade mais limitada, visto que apenas demonstra boas interligações com outros *softwares* da *Autodesk*.

Nível de Detalhe: Nesta categoria destacam-se o *Bexel Manager* e o *Vico Office*, onde é possível criar modelos BIM de várias dimensões, ou seja, com grandes quantidades de informação. O *Navisworks*, sendo mais focado na visualização e análise de modelos 3D, no que toca a gestão e controlo da informação, é menos detalhado que os outros *softwares* mencionados.

Facilidade de utilização: O *Bexel Manager* e o *Vico Office* são usualmente caracterizados pela sua interface intuitiva e de fácil utilização, não sendo necessário uma grande especialização de forma a utilizá-los com sucesso. Já o *Navisworks*, sendo um *software* mais utilizado para o manuseamento e visualização de modelos BIM, apresenta uma interface mais complexa e mais exigente.

O objetivo principal desta dissertação é de criar uma metodologia de controlo dos custos e prazos através de ferramentas BIM, podendo ser utilizado por equipas de fiscalização de uma forma eficiente, reduzindo significativamente o volume de trabalho dos engenheiros responsáveis por esse controlo. Desta forma, após a análise dos vários *softwares* na Tabela 4.1 e tendo em conta o objetivo desta dissertação, o *software* a utilizar ao longo deste trabalho será o *Bexel Manager*, o qual será utilizado num caso prático real no Capítulo 5, avaliando a aplicabilidade do método proposto neste capítulo.

4.2. BEXEL MANAGER SOFTWARE

Como foi mencionado anteriormente, o *Bexel Manager*, produzido pela *Bexel Consulting*, é um *software* de gestão de projetos vocacionado para todas as atividades relevantes para o controlo de custos e do planeamento de projetos de construção através do BIM. Este permite às equipas intervenientes nos projetos de identificar desvios orçamentais em tempo real, conseguindo tomar medidas corretivas caso seja necessário. De forma a abordar a capacidade de controlo deste *software*, as suas funcionalidades serão descritas nos seguintes pontos:

1. **Controlo do Planeamento** – o *Bexel Manager* permite criar ou importar WBS's e planos de obra dos projetos, definindo assim todas as atividades da obra e prazos, atribuindo-lhes todas as informações que possam ser relevantes. Todos os elementos do modelo 3D podem ser associados às tarefas respetivas, permitindo criar simulações da construção da obra e, fundamentalmente, realizar a monitorização do progresso do projeto em tempo real, introduzindo informações novas quando necessário. Desta forma, é possível identificar as tarefas atrasadas e as consequências associadas. É possível quantificar a taxa de execução das tarefas a qualquer momento do projeto, fornecendo à equipa de fiscalização um controlo da obra constante em tempo real.
2. **Controlo de custos/orçamento** – tendo em conta o objetivo de elaborar o controlo orçamental da obra, as funcionalidades do *software* associadas aos custos são essenciais. O *Bexel Manager* permite ao utilizador atribuir toda a informação de custos aos elementos modelados do projeto. Este permite assim construir uma ponte de informação entre os elementos, os custos e a respetiva tarefa presente no cronograma associado ao modelo. O estabelecimento desta ligação é muito importante para a obtenção de uma análise financeira automatizada. Uma funcionalidade relevante é a associação de custos a trabalhos não modelados, permitindo assim completar os custos da obra sem necessidade de recorrer ao trabalho moroso de modelação. Este *software* contém também funcionalidades relacionadas com a medição de quantidades, a qual pode ser personalizada de acordo com a WBS definida pelo empreiteiro. Ao associar os

custos aos elementos será possível analisar toda a informação obtida acerca das quantidades e dos custos dos respetivos materiais. As funcionalidades dos custos, quando associadas às do planeamento, permitem criar um modelo BIM 5D de onde é possível extrair grandes quantidades de informação relevante para o controlo financeiro de um projeto de construção. Este controlo pode ser realizado em tempo real, visto que o *Bexel Manager* permite introduzir informação a qualquer momento, alterando automaticamente os resultados produzidos. Para um controlo financeiro eficiente, toda a monitorização da obra deve ser realizada em tempo real e, desta forma, é crucial que, ao longo do desenvolvimento da obra, sejam realizados autos de medição visando introduzir no *software* a informação obtida, conseguindo avaliar a progressão da obra e identificar os eventuais problemas que possam existir.

3. **Visualização/análise de resultados** – A visualização e análise da informação presente no *software* é crucial para um controlo digital de empreitadas. O *Bexel Manager* tem a capacidade de produzir vários tipos de resultados, tais como:
 - a. Relatórios de custos – produção de relatórios bastante detalhados onde é possível incluir o orçamento previsto e o orçamento real. Os valores reais vão alterando consoante as informações que vão sendo introduzidas ao longo do desenvolvimento da obra. Os relatórios produzidos podem ser personalizados para as diversas fases da obra, permitindo obter dados consoante as necessidades da equipa de fiscalização. A previsão de custos consiste numa ferramenta importante para a equipa de gestão, visto que permite receber informações precisas dos custos futuros e dos prazos do projeto, identificando as causas e consequências das diversas ações ocorridas até ao momento.
 - b. Produção de gráficos – uma das formas mais eficientes de controlo é a partir da visualização gráfica. Este *software* apresenta painéis de controlo personalizáveis, permitindo obter vários tipos de gráficos. Estes podem estar associados a diversos recursos de onde se destacam os gráficos de tendências de custos e de prazos. Salienta-se que os resultados relativos aos prazos podem também ser apresentados através de diagramas de *Gantt* ou de linhas de balanço, dando assim ao utilizador a possibilidade de utilizar os métodos CPM e LOB, apresentando a informação com análises de variação, ou seja, identificando automaticamente as principais causas dos desvios e atrasos.

4.3. DADOS PARA O CONTROLO DIGITAL DE EMPREITADAS

O trabalho prático a desenvolver no Cap. 5 será exclusivamente no *Bexel Manager*, no entanto, é muito importante mencionar e avaliar os dados necessários para um controlo coerente e eficiente. Este irá implicar a monitorização de custos e prazos, interligando toda a informação num só *software* criando um modelo BIM 5D. Para a criação do mesmo são necessárias três fontes de informação fundamentais: modelo BIM 3D, MTQ e planeamento construtivo. Cada um destes deve seguir certos parâmetros a fim de facilitar o trabalho no *Bexel Manager*. Estes, tendo em conta os níveis elevados de interoperabilidade do *Bexel Manager* com outras ferramentas digitais, podem ser construídos utilizando ferramentas externas distintas.

4.3.1. MODELO BIM 3D

O controlo financeiro de um projeto de construção através de ferramentas BIM está extremamente dependente da modelação tridimensional do mesmo e de toda a informação nele contida. No trabalho prático a desenvolver nesta dissertação será utilizado o *software Autodesk Revit* para a criação do modelo

BIM 3D do caso real, onde será aplicada a metodologia de controlo de custos e prazos proposta neste capítulo.

4.3.1.1. Métodos de identificação dos elementos modelados

Tendo em conta a quantidade de elementos diferentes que constituem o modelo e das diferentes características de cada um, o *Revit* permite classificá-los segundo vários tipos de informações, nomeadamente sobre o piso onde está inserido, dimensões, geometria, família, entre outros. Esta classificação permite distinguir todos os objetos do modelo, tornando cada um destes num objeto único. Estes, quando exportados, são extremamente importantes, visto que permitem organizar no *Bexel Manager* toda a informação proveniente do modelo BIM 3D. Este método é uma das formas mais simples de identificação dos elementos de estruturas, permitindo ao utilizador a identificação e a organização das paredes, vigas, lajes e pilares no *Bexel Manager*, realizando assim uma associação direta entre os elementos modelados com as tarefas presentes no MTQ. Esta identificação é também extremamente útil para futuras extrações de quantidades, permitindo obter automaticamente as quantidades de todos os elementos contidos no projeto. É relevante mencionar que, apesar deste método implicar volumes menores de trabalho, não pode ser utilizado em modelos de obras de grande porte e pormenor, visto que não permite especificar certas condições que possam ser necessárias em tais projetos.

De facto, em projetos com características mais específicas onde é necessário diferenciar elementos pertencentes à mesma família, devem ser utilizados métodos diferentes. O mais comum implica a utilização de códigos de classificação. Estes são diferentes consoante o sistema de classificação escolhido para o projeto. Existem vários sistemas de classificação que podem ser utilizados e a sua escolha está bastante dependente de vários fatores, nomeadamente a região onde está inserida a obra, as preferências da empresa responsável e os requisitos específicos do projeto de construção. De uma forma geral, destacam-se os sistemas *OmniClass*, *UniClass*, *MasterFormat* e *UniFormat* que são utilizados em todo o mundo por uma grande variedade de empresas do setor AEC. Apresenta-se na Figura 4.1 um exemplo do sistema de classificação *OmniClass*.

- ▲ 21-01 - Substructure
 - 21-01 10 - Foundations
 - 21-01 20 - Subgrade Enclosures
 - 21-01 40 - Slabs-on-Grade
 - 21-01 60 - Water and Gas Mitigation
 - 21-01 90 - Substructure Related Activities
- ▲ 21-02 - Shell
 - ▲ 21-02 10 - Superstructure
 - ▲ 21-02 10 10 - Floor Construction
 - 21-02 10 10 10 - Floor Structural Frame
 - 21-02 10 10 20 - Floor Decks, Slabs, and Toppings
 - 21-02 10 10 30 - Balcony Floor Construction
 - 21-02 10 10 40 - Mezzanine Floor Construction
 - 21-02 10 10 50 - Ramps

Figura 4.1- Exemplo do sistema de classificação *OmniClass*

Em grande parte dos projetos faz sentido ser utilizado o sistema *OmniClass* visto que engloba tabelas de alguns dos outros sistemas, contendo assim uma quantidade significativa de códigos distintos, permitindo realizar uma boa distinção entre todos os elementos contidos no modelo BIM. Este sistema consiste em tabelas com códigos únicos, os quais são organizados de uma forma hierárquica, distinguindo todos os objetos e separando-os pelas respetivas categorias e família (Figura 4.1). Esta classificação é bastante específica tendo em conta a quantidade de objetos disponíveis no setor AEC e, quanto mais específico for o objeto, maior será o respetivo código de classificação.

Um dos métodos de identificação também utilizado no setor AEC, nomeadamente pela A400/BuildGest, passa por identificar manualmente os elementos modelados, atribuindo uma designação a cada um de forma a separar todos os objetos existentes no modelo. Por norma, este trabalho é realizado pelos projetistas, não sendo necessário atribuir estas designações pela equipa de fiscalização, diminuindo significativamente o volume de trabalho.

4.3.1.2. Propriedades para exportação

Como foi dito anteriormente, os dados presentes no modelo BIM do *Revit* são bastante relevantes, logo devem ser construídos tendo em conta o objetivo final, ou seja, realizar o controlo dos custos no *software Bexel Manager*. Tendo em conta este objetivo, é necessário definir as propriedades dos elementos do modelo BIM que devem ser exportadas através de um ficheiro IFC ou por exportação direta para o *Bexel Manager*. Estas propriedades são denominadas por *property sets* e são fundamentais na utilização de metodologias BIM para o controlo de projetos de construção.

De facto, neste estudo em específico, as propriedades fundamentais são: geometria dos elementos visando obter a medição da quantidade de todos os materiais do modelo; designação dos elementos modelados ou respetivos códigos de classificação *OmniClass* para que seja possível organizar toda a informação no *Bexel Manager*. É relevante mencionar que o modelo *Revit* corresponderá apenas ao modelo estrutural do caso prático, o qual vai ser modelado com um LOD 300. Esta informação é muito importante pois este nível de desenvolvimento implica que apenas existe informação sobre as quantidades, o tamanho, forma e localização dos elementos, as quais serão exportadas para o *Bexel Manager* (Figura 4.2). Desta forma, informações sobre as ligações entre elementos e outros pormenores não serão apresentados no modelo, nomeadamente armaduras e cofragens.

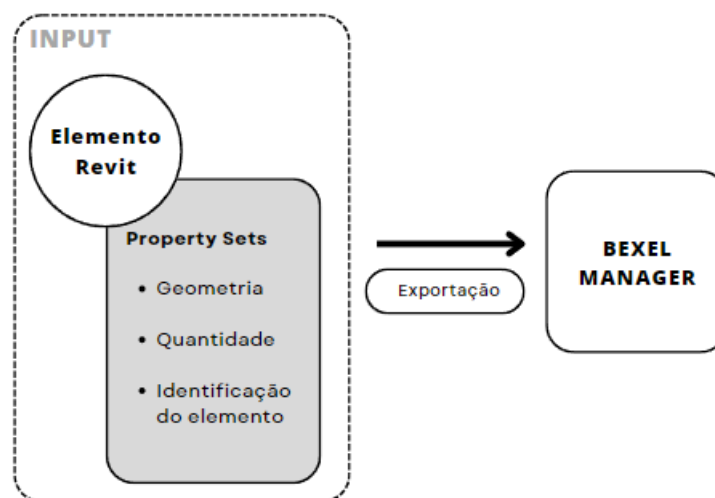


Figura 4.2- *Property Sets* a exportar do *Revit* para o *Bexel Manager*

4.3.2. PLANEAMENTO CONSTRUTIVO DA OBRA

O controlo de toda a calendarização do processo construtivo e das tarefas inerentes ao mesmo é crucial para o controlo dos prazos da obra. Do ponto de vista orçamental, todas as tarefas implicam vários custos, tais como os custos dos materiais e os custos do trabalho envolvido em determinada tarefa. Apesar do *Bexel Manager* permitir ao utilizador a criação de todo o planeamento, no desenvolvimento deste trabalho irá ser utilizado o *MS Project* devido ao facto de facilitar significativamente o respetivo processo de elaboração do mesmo. É também relevante mencionar que o planeamento a utilizar ao longo deste trabalho será fornecido ao autor pela A400/BuildGest, o qual será entregue num ficheiro do *MS Project* e, desta forma, apenas será necessário importar a informação para o *Bexel Manager* (Figura 4.3).

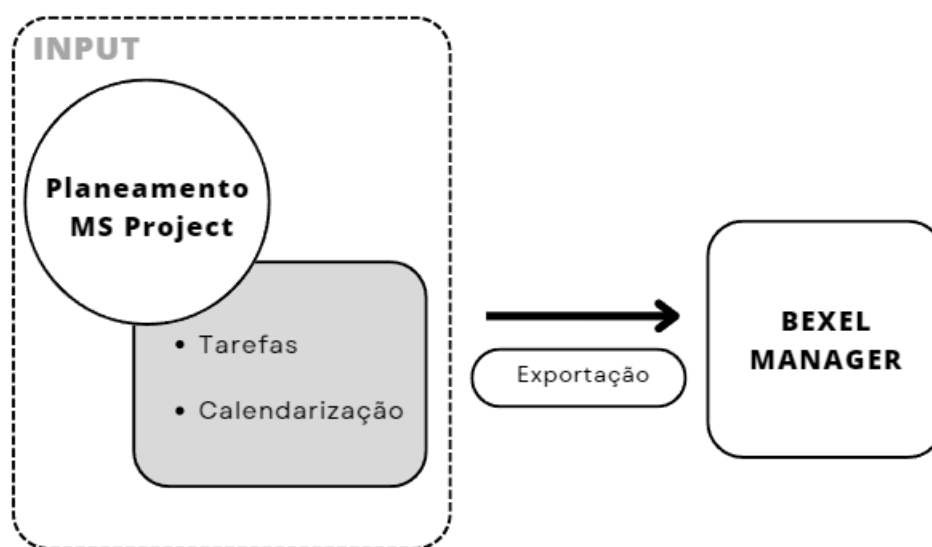


Figura 4.3- Propriedades do planeamento construtivo a exportar do *MS Project* para o *Bexel Manager*

4.3.3. MAPA DE TRABALHOS E QUANTIDADES

O MTQ é fornecido pelo empreiteiro e é uma peça fundamental para o controlo financeiro de qualquer projeto de construção. Este explicita todos os trabalhos necessários para a execução total da obra, as quantidades de todos os materiais envolvidos nas respetivas tarefas e os custos unitários de cada material, demonstrando assim o orçamento previsto da obra.

Esta informação é crucial para o controlo financeiro e vai ser utilizada no *Bexel Manager*. No entanto, não será simplesmente exportado como os referidos anteriormente para o *Bexel Manager*, devendo apenas ser utilizado como fonte de informação dos custos fornecidos pelo empreiteiro para a construção da totalidade da obra. O orçamento contido no MTQ deve ser utilizado também para a comparação com os valores obtidos através das ferramentas BIM ao longo do desenvolvimento da obra a fim de identificar os possíveis desvios do orçamento inicial. O MTQ é também a fonte primária de informação sobre todos os trabalhos não modelados que são cruciais para o desenvolvimento no projeto de estruturas, nomeadamente: construção de estaleiro e possíveis demolições; trabalhos de geotecnia; movimento de terras; fundações. Todas estas atividades têm um custo associado, o qual deverá ser incluído no modelo BIM de forma a obter valores reais do orçamento da obra.

4.4. METODOLOGIA DE TRABALHO

Esta secção corresponde à apresentação da proposta metodológica para a realização do controlo de um projeto de construção através da interligação de ferramentas BIM no *software Bexel Manager*. Esta proposta pretende continuar o trabalho proposto em [36], tentando automatizar o processo, propondo outras formas de realizar algumas das fases da metodologia mencionada na Figura 4.4 e na Figura 4.5. Como já foi mencionado, este trabalho decorreu no escritório da A400/BuildGest, a qual tem o objetivo de digitalizar grandes quantidades de informação visando facilitar o processo do controlo de empreitadas. Assim, no futuro, poderão criar uma metodologia que possa ser aplicada à maioria dos projetos de construção, destacando-se assim das outras empresas de fiscalização. Desta forma, o trabalho desenvolvido nesta dissertação tem o propósito de fornecer informação à A400/BuildGest acerca das dificuldades do controlo digital de empreitadas, aplicando a metodologia num caso de estudo diferente ao do trabalho desenvolvido em [36]. É relevante mencionar que, de uma forma geral, o processo de criação do modelo BIM 4D/5D e de monitorização em obra é semelhante ao desenvolvido por [36]. No entanto, será vocacionado para uma nova obra, tentando assim potencializar a digitalização de um novo caso de estudo, o qual será apresentado no Capítulo 5. Neste será apresentada a tentativa de melhoria de todo o processo apresentado em [36], demonstrando novos processos que permitam digitalizar toda a informação necessária para criar um modelo BIM capaz de controlar os custos e prazos do caso de estudo.

Após a apresentação dos dados necessários para este controlo e dos objetivos da proposta, segue-se então a metodologia que permite interligar toda a informação recolhida num só *software*, de forma que possa ser utilizada para a monitorização da obra em tempo real. Esta metodologia será aplicada no Capítulo 5 num caso prático real, de forma que se possa tirar conclusões sobre a sua utilização em projetos reais, avaliando a sua eficiência e aplicabilidade em obras futuras.

Para uma melhor compreensão, a metodologia será dividida em diversas fases, as quais vão ser explicadas neste capítulo e aplicadas/apresentadas em pormenor no Capítulo 5. Nas figuras seguintes são apresentados diagramas que resumem as fases da metodologia proposta. De forma a simplificar a sua explicação, serão utilizados exemplos referentes ao caso prático real onde será aplicada a proposta.

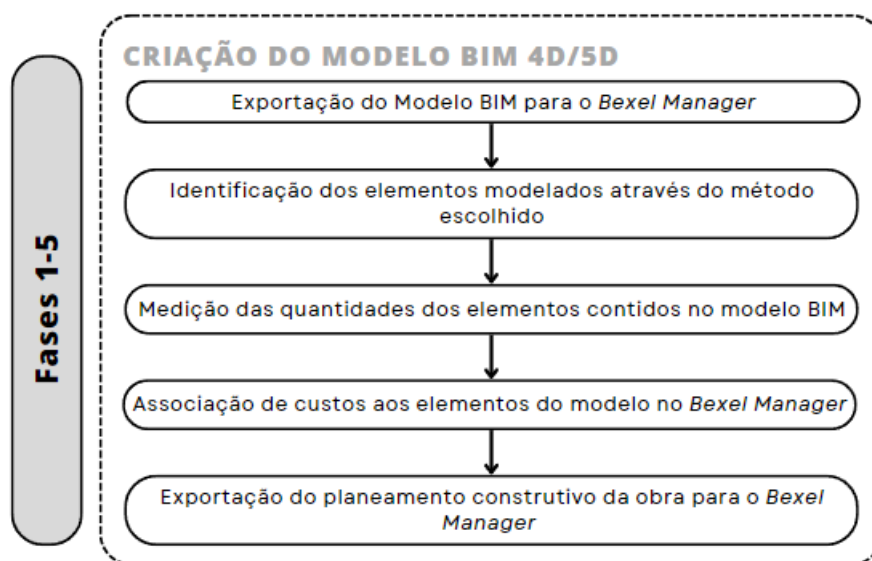


Figura 4.4- Criação do modelo BIM 4D/5D

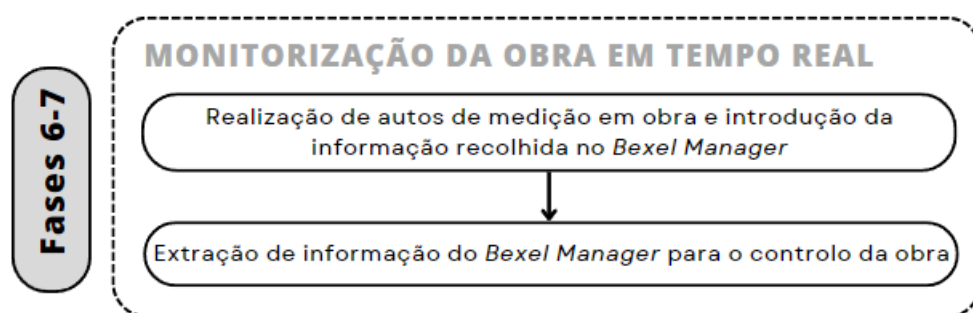


Figura 4.5- Processo de monitorização digital da obra em tempo real

4.4.1. 1ª FASE: EXPORTAÇÃO DO MODELO BIM PARA O *BEXEL MANAGER*

O modelo BIM desenvolvido no *Revit* deve ser exportado para o *Bexel Manager* através de um ficheiro IFC ou através de um *add-in* que exporta o conteúdo do modelo diretamente para o formato de ficheiro *Bexel's BX3*. Neste caso em particular a exportação será realizada através do *add-in* mencionado, dado que implica menos passos e menor probabilidade de erro. É nesta fase em que é crucial a exportação das “*property sets*” mencionadas na secção 4.3.1.2 de forma que toda a informação relevante para o controlo financeiro seja transmitida para o *Bexel Manager*. Esta exportação irá permitir ao utilizador a visualização do modelo BIM através da interface do *Bexel Manager*, possibilitando a utilização das funcionalidades do *software*. Neste ponto é relevante mencionar que é importante verificar que tipo de informações é que foram inseridas pelos projetistas no modelo e de que forma é que estão organizadas no *Bexel Manager*.

4.4.2. 2ª FASE: IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS MODELADOS ATRAVÉS DO MÉTODO ESCOLHIDO

Tal como foi mencionado, esta fase pode ser realizada através de várias hipóteses, atendendo ao projeto construtivo no qual vai ser realizado o controlo digital.

Uma das possibilidades é a utilização de códigos de classificação *OmniClass*, a qual implica trabalho adicional de associação dos códigos aos respetivos elementos no *Revit* caso não tenham sido associados pelos projetistas. É bastante comum existirem objetos sem código atribuído, tornando esta fase bastante morosa. É muito importante referir que não é possível realizar um bom controlo financeiro digital sem que todos os elementos do modelo estejam identificados e, neste caso, tenham um código atribuído. A utilização destes códigos vai permitir estruturar toda a informação contida no *Bexel Manager*, aumentando a sua consistência e precisão. Desta forma, todos os elementos são identificados, evitando omissões e promovendo a qualidade da informação disponível para os respetivos intervenientes.

O método proposto por [36] para a ligação código-elemento é por tarefa, isto é, todos os elementos pertencentes à mesma tarefa referida no MTQ devem ser identificados com o mesmo código de classificação *OmniClass*, distinguindo assim os elementos pelas tarefas correspondentes. Este método permite interligar diretamente todos os objetos do modelo ao MTQ fornecido pelo empreiteiro da obra. Utilizando como exemplo os pilares de betão armado, é possível observar o processo de atribuição dos códigos *OmniClass* na Figura 4.6. É relevante mencionar que existem elementos não modelados aos quais não podem ser associados nenhum código, como é o caso das armaduras e das cofragens dos pilares. Esta questão vai ser trabalhada nas próximas fases de forma que não haja omissões.

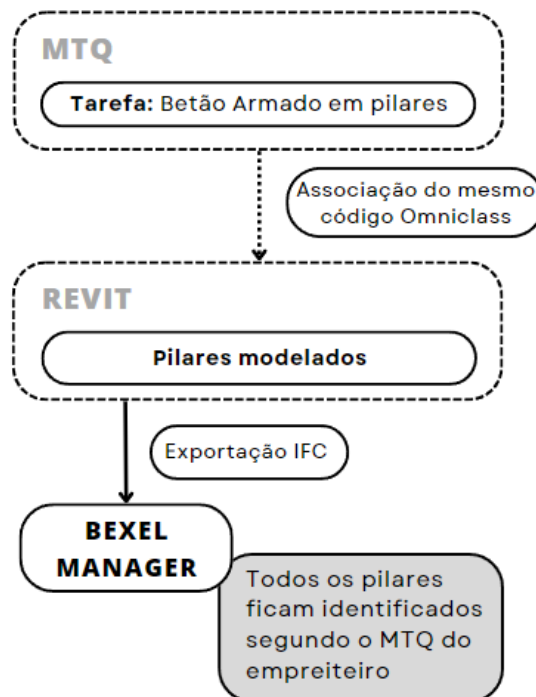


Figura 4.6- Processo de atribuição de códigos *Omniclass* aos pilares modelados

Tendo em conta que um dos objetivos principais desta dissertação é tentar automatizar e simplificar alguns dos processos propostos por [36], nesta fase será utilizada a classificação direta dos elementos modelados no *Revit*, exportando-os para o *Bexel Manager*. Por outras palavras, o modelo desenvolvido pela A400/Buildgest foi modelado com bastante informação adicional, permitindo assim identificar facilmente todos os elementos contidos no modelo BIM, sem necessidade de realizar o trabalho moroso de associação de códigos *OmniClass* a todos os elementos do modelo. Na realização deste trabalho serão então utilizadas as designações associadas aos objetos pelos projetistas da A400/BuildGest. As designações mencionadas apresentam uma sigla representativa e um número correspondente ao número do elemento nesse piso (Ex: P10 – Pilar de betão armado nº10). Desta forma, estas serão apresentadas no modelo BIM da seguinte forma:

- Lajes de fundação (LF);
- Muros de suporte (MS);
- Pilares de betão armado (P);
- Paredes de betão armado (Pa);
- Vigas de betão armado (V);
- Lajes Maciças (LM);
- Núcleos de betão armado (Nu);

4.4.3. 3ª FASE: MEDIÇÃO DAS QUANTIDADES DOS ELEMENTOS CONTIDOS NO MODELO BIM

A medição de quantidades é fundamental para o desenvolvimento das próximas fases, ou seja, a obtenção de valores orçamentais coerentes está muito dependente desta fase. As quantidades obtidas através de ferramentas BIM devem ser comparadas com as contidas no MTQ fornecido pelo empreiteiro, logo esta medição deve ser realizada e organizada de acordo com o mesmo, a fim de facilitar toda a

organização do processo. Apesar da medição de quantidades ser um processo bastante simples e automatizado, existem alguns pormenores que devem ser averiguados.

A ferramenta de extração de quantidades no *Bexel Manager* pode ser organizada por preferência do utilizador e, neste caso em específico, deve ser separada em vários grupos seguindo uma determinada ordem. Esta ordem deve ser escolhida tendo em conta as tarefas presentes no MTQ e no planeamento respetivo. Assim, a organização deverá ter a ordem seguinte:

1. **Nível/piso do edifício** – Todos os elementos da obra são construídos por nível, logo as quantidades devem ser definidas para cada piso e não para a obra no total, separando assim a informação segundo as tarefas definidas no planeamento da obra, facilitando o processo de interligação de outras componentes nas fases seguintes;
2. **Família de elementos** – Separação dos elementos modelados por família, ou seja, todos os pilares, lajes, paredes e vigas são separados de forma a obter quantidades o mais próximo possível do valor real.
3. **Designação** – Utilização desta propriedade para separar os elementos de uma forma detalhada, permitindo ao utilizador identificar mais facilmente todos os elementos modelados. Quando separados por famílias, alguns elementos distintos são associados no mesmo grupo e, desta forma, ao utilizar as designações dos projetistas da A400, é possível separá-los. Pode ser tomado como exemplo os núcleos de betão armado que, quando separados por família, são agrupados às paredes, causando erros de orçamento visto que os núcleos e as paredes possuem custos distintos.

O modelo BIM do caso de estudo apenas contém informação sobre os elementos de betão visto que não existem cofragens e armaduras modeladas. Desta forma, apenas será extraído do modelo o volume de betão e o número de elementos por família. Nesta fase é bastante útil exportar a extração de quantidades obtida no *Bexel Manager* para o *MS Excel*, conseguindo assim trabalhar de uma forma mais eficiente, facilitando também a comparação entre as quantidades obtidas digitalmente e as quantidades do MTQ.

Esta fase é crucial para a digitalização da construção e deve ser tratada com cuidados especiais. A modelação pormenorizada no *Revit* tem grandes implicações na extração de quantidades. A utilização de métodos para o aumento da precisão das extrações de quantidades como os propostos na secção 2.4.3 são um grande passo para a otimização deste processo e, conseqüentemente, para uma melhoria significativa do controlo digital de empreitadas. A criação de um *add-in* no *Revit* [33] e a utilização do *Dynamo* em [18], [34] representam uma grande evolução neste departamento, devendo ser consideradas em trabalhos como este onde o objetivo é melhorar a digitalização na construção.

4.4.4. 4ª FASE: ASSOCIAÇÃO DE CUSTOS AOS ELEMENTOS DO MODELO NO *BEXEL MANAGER*

Uma das componentes principais e mais importantes de um modelo BIM 5D é o fator custo. De forma a realizar o controlo financeiro digital de uma empreitada é necessário associar um custo a todos os elementos que constituem o modelo. Todos os custos envolvidos na fase de construção de estruturas estão definidos no MTQ fornecido pelo empreiteiro, os quais devem ser integrados no *Bexel Manager*.

Aqui entra um pormenor muito importante relativo ao nível de desenvolvimento do modelo BIM, visto que se o mesmo tiver um LOD superior a 300, será possível extrair quantidades do betão, cofragens e armaduras, facilitando muito o trabalho de associação de custos, sendo possível atribuir um custo unitário a cada um deles individualmente. Tendo em conta que, neste caso, no modelo BIM, apenas estão modelados os elementos de betão, logo a associação dos custos implica resolver uma questão importante: como atribuir um custo a um elemento não modelado?

Tentando responder a esta questão o autor propõe três métodos distintos utilizando os pilares de betão armado como exemplo prático.

- O método proposto e utilizado em [36] que tem como objetivo principal calcular o preço por m³ do mesmo objeto na totalidade do projeto de construção. Este método implica dividir o preço total do elemento (pilar) retirado do MTQ pelo volume de betão extraído no *Bexel Manager*, obtendo-se o custo total de betão, cofragem e armadura necessários para construir 1m³ de pilar. Este método permite assim contornar a modelação das cofragens e das armaduras, diluindo o custo das mesmas no volume de betão.

A utilização deste método pode implicar um erro de cálculo considerável, visto que o preço total dos pilares de betão armado do MTQ está calculado para um volume de betão diferente do obtido através do *Bexel Manager* e, em teoria, se esta quantidade for menor, a quantidade de cofragem e armadura será menor também, diminuindo significativamente o custo total dos pilares.

- Tendo em conta o problema abordado no método anterior, o autor propõe um segundo método com o intuito de tentar reduzir o erro de cálculo do primeiro método. Utilizando a mesma técnica de diluição dos custos da cofragem e armaduras no betão, propõe-se que este cálculo seja efetuado por semelhança de proporção, ou seja, calcular proporcionalmente as quantidades necessárias de cofragem e armadura para a volume de betão extraído no *Bexel Manager*, obtendo o custo total por objeto (betão, cofragem e armadura). Este cálculo está exemplificado na Tabela 4.2, onde é possível observar a azul a quantidade de volume de betão extraído no *Bexel Manager* e as respetivas quantidades de cofragem e armadura calculadas para esse mesmo volume. Este método deve ser realizado para todas as componentes do projeto, das quais se vai obter o custo total por objeto (valor a amarelo), inserindo-os no *Bexel Manager*.

Tabela 4.2- Cálculo por semelhança do €/m³ dos pilares modelados

		MTQ			Bexel Manager	
		Un.	Qt.	€/Un.	Qt.	Custo Total
Pilares	Betão	m3	29,44	114,71	33,98	3897,85
	Cofragem	m2	342,05	16,78	394,74	6623,79
	Armadura	kg	13343,39	1,48	15398,94	22790,44
					€/m3	980,46 €

- O segundo método apresenta ainda algum erro, visto que a relação betão-cofragem-armadura não é completamente proporcional e, desta forma, o cálculo realizado por semelhança irá apresentar erros. Assim, o autor propõe um terceiro método estatístico que será útil em grandes empresas de construção com presença em bastantes obras. O objetivo é realizar um estudo estatístico a partir de uma amostra considerável de obras, no qual se vai avaliar a relação entre as quantidades de betão, cofragem e armadura. Este estudo iria avaliar as quantidades necessárias de cofragem e armadura para um determinado volume de betão, obtendo assim um valor estimado mais próximo do valor real. É relevante mencionar que, neste estudo, apenas deveriam ser utilizados valores de obras reais com características semelhantes à do caso de estudo.

Este estudo estatístico implicaria a utilização de métodos estatísticos como o método dos mínimos quadrados, permitindo obter gráficos com os vários pontos e a linha estimada correspondente.

Seriam necessários dois gráficos distintos para cada elemento do modelo BIM - um com a relação entre a volume de betão (m^3) e a área (m^2) de cofragem e o outro com a relação entre o volume (m^3) de betão e o peso (Kg) de armadura. Com a criação dos respetivos gráficos (Figura 4.7) é então possível retirar os valores de cofragem e armadura para o volume de betão extraído do *Bexel Manager*, calculando um custo total por metro cúbico do pilar mais aproximado da realidade.

Este método não será aplicado no Cap. 5 visto que necessita de grandes quantidades de informação confidencial e, desta forma, deveria ser experimentado autonomamente pela A400/Buildgest averiguando a sua aplicabilidade.

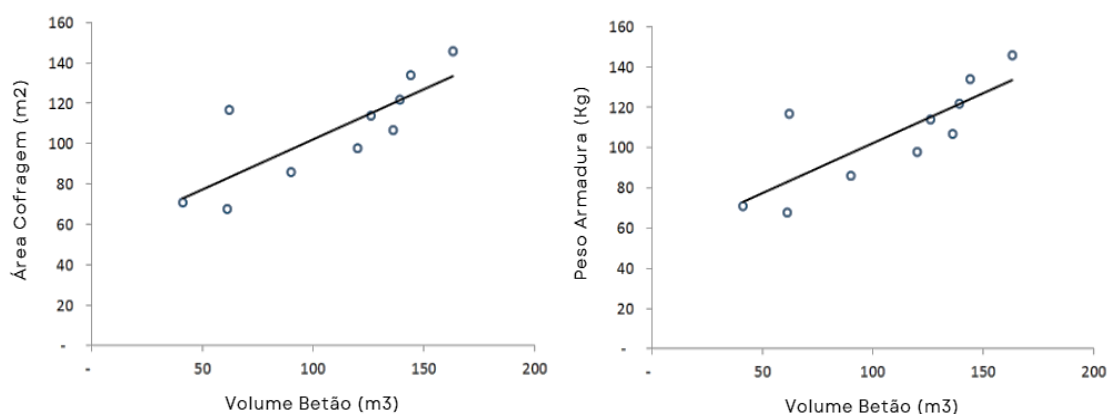


Figura 4.7- Exemplo do método estatístico (adaptado de [47])

Após a utilização de um dos métodos apresentados para o cálculo do preço por metro cúbico de cada objeto, será possível associá-lo ao respetivo elemento existente no *Bexel manager*, atribuindo assim um valor de custo total a todos os elementos modelados. É importante mencionar que os trabalhos não modelados (Ex: Estaleiro e Demolição Geral) não podem ser descartados, visto que são cruciais para o valor orçamental total da obra. No entanto, visto que não estão modelados, devem ser adicionados como tarefas no *Bexel Manager* com o custo fornecido pelo empreiteiro. Esta passo será aprofundado na próxima fase desta metodologia.

4.4.5. 5ª FASE: EXPORTAÇÃO DO PLANEAMENTO CONSTRUTIVO DA OBRA PARA O *BEXEL MANAGER*

A fim de facilitar este processo, o planeamento construtivo da obra deve ser criado através de ferramentas externas vocacionadas para essa função tais como o *MS Project*, exportando toda a informação para o *Bexel Manager*.

Nesta fase é necessário associar todas as tarefas contidas no planeamento aos elementos correspondentes no *Bexel Manager*, a fim de interligar toda a informação. Este processo é bastante direto visto que todos os elementos pertencentes ao projeto, estejam estes modelados ou não, já foram definidos e já possuem um custo associado, tornando esta fase num processo bastante simples. É de notar que, por norma, bastantes elementos são associados à mesma tarefa. Existem bastantes tarefas que implicam a construção de vários objetos ao mesmo tempo, como é o caso da construção de elementos verticais e da laje num determinado piso, a qual envolve a associação dos pilares, vigas, paredes, núcleos e laje desse mesmo piso à mesma tarefa. Nesta fase deve ter-se também em conta os custos dos trabalhos não modelados,

os quais devem ser acrescentados ao planeamento como custos fixos pois não existem elementos modelados aos quais possam ser associados.

No fim da 5ª Fase fica concluída a construção do modelo BIM 4D/5D, onde todos os elementos estão associados ao respetivo custo e à respetiva tarefa, permitindo assim obter um controlo geral da empreitada. Caso seja necessário, neste ponto, o *Bexel Manager* permite obter gráficos de orçamento de toda a obra e os respetivos gráficos de *Gantt* ou de Linhas de Balanço. Estes permitem realizar uma avaliação inicial do projeto e de realizar uma análise crítica de um ponto de vista geral, permitindo que a equipa de fiscalização possa propor ao empreiteiro possíveis alterações que beneficiem o desenvolvimento da obra.

4.4.6. 6ª FASE: REALIZAÇÃO DE AUTOS DE MEDIÇÃO EM OBRA E INTRODUÇÃO DA INFORMAÇÃO RECOLHIDA NO *BEXEL MANAGER*

Atendendo aos objetivos desta dissertação, o modelo BIM construído deve permitir à equipa de fiscalização realizar o controlo financeiro ao longo do desenvolvimento da obra e, para isso, surgem mais alguns procedimentos para que o progresso real da obra possa ser comparado com a previsão inicial.

Esta fase tem o fim de obter dados do progresso atual de desenvolvimento da obra. Para um controlo eficiente da empreitada, a equipa de fiscalização deve monitorizar o desenvolvimento da obra através de autos de medição, os quais devem ser realizados no mínimo uma vez por mês. Estes pretendem fornecer à equipa de fiscalização informação sobre o progresso real da construção da obra. Os dados obtidos podem ser inseridos no *Bexel Manager*, adquirindo assim quantidades de informação suficientes para realizar comparações de valores e de identificar desvios orçamentais e atraso de tarefas. No *Bexel Manager* devem ser inseridas as taxas de progresso de todas as tarefas numa determinada data, comparando assim a construção prevista com a atual.

4.4.7. 7ª FASE: EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÃO DO *BEXEL MANAGER*

Esta fase dedica-se à extração da informação necessária do *Bexel Manager*, visando realizar o controlo da empreitada. A apresentação da informação pode ser realizada de vários formatos diferentes, devendo ser apresentada atendendo às preferências da equipa de fiscalização, tornando o processo o mais eficiente possível.

As fases 6 e 7 são realizadas várias vezes ao longo do desenvolvimento da obra, pretendendo realizar o seu controlo, ou seja, cada vez que se realiza um novo auto de medição em obra, deve ser inserida no *Bexel Manager* a nova informação atualizada. Por fim, toda a informação deve ser extraída na forma de gráficos e diagramas, realizando assim um controlo digital do progresso da obra.

5

APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA PROPOSTA

5.1. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Como supramencionado, de forma a avaliar a aplicabilidade da metodologia proposta no Capítulo 4, esta será aplicada num caso de estudo real. Este corresponde à construção de um edifício multifamiliar situado na Rua de Santos Pousada, localizada no Porto, em Portugal. Esta obra encontra-se atualmente em fase de construção, a qual é fiscalizada pela *BuildGest*.

No desenvolvimento desta dissertação, a metodologia proposta será aplicada no projeto de estruturas do edifício, o qual foi modelado através do *Revit* (Figura 5.1). De forma a realizar o controlo da obra foram também fornecidos ao autor o MTQ do empreiteiro responsável e o planeamento construtivo da fase de estruturas e fundações da obra. Tal como foi apresentado no Capítulo 4, utilizando a informação disponibilizada, será criado um modelo BIM 4D/5D no *Bixel Manager* a fim de realizar o controlo dos custos e dos prazos ao longo do desenvolvimento da obra, conseguindo identificar possíveis atrasos na construção e os consequentes desvios orçamentais.

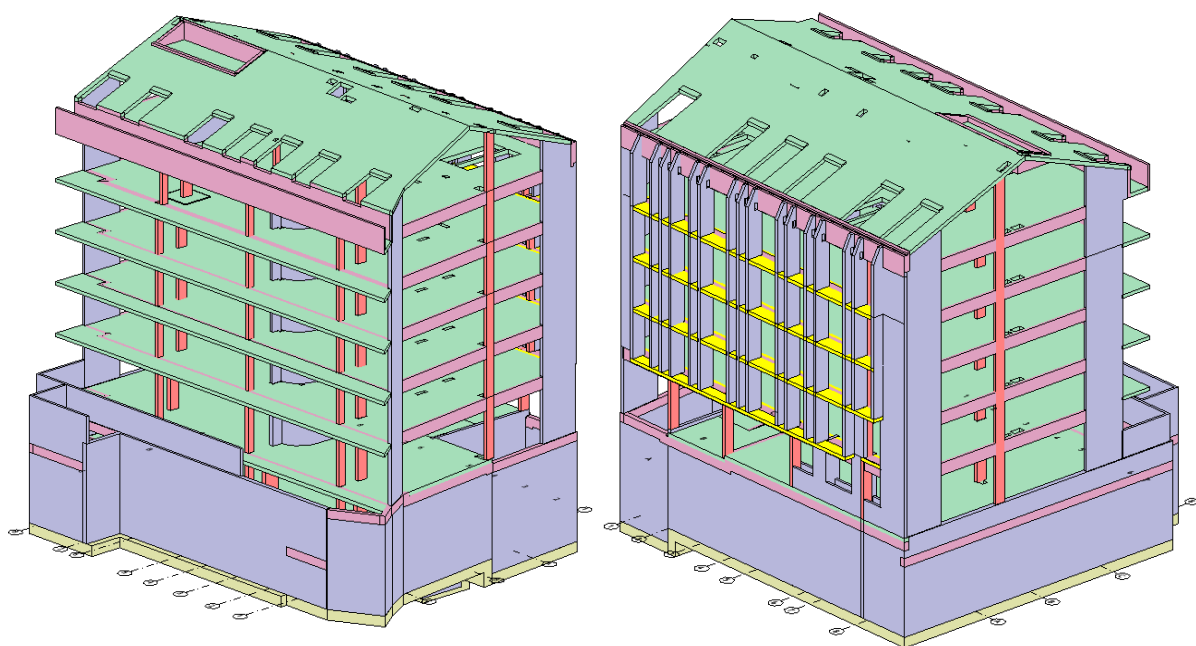


Figura 5.1- Modelo *Revit* do caso de estudo (A400/BuildGest, 2023)

5.2. CRIAÇÃO DO MODELO BIM 4D/5D

5.2.1. EXPORTAÇÃO DO MODELO BIM PARA O BEXEL MANAGER

Esta fase não é complexa, no entanto, deve ser realizada tendo em conta alguns parâmetros. Tal como foi mencionado no Capítulo 4, a exportação dos *property sets* do *Revit* para o *Bexel Manager* são cruciais para o controlo financeiro. Assim, aproveitando o facto do *Bexel Manager* possuir níveis elevados de interoperabilidade com outros *softwares* BIM, este processo foi realizado através de um *add-in* desenvolvido pela *Bexel Consulting* que, quando adicionado ao *Revit*, permite ao utilizador transformar o modelo BIM e todas as suas propriedades no formato de ficheiro *Bexel's BX3*. Este pode ser aberto diretamente no *Bexel Manager*, permitindo ao utilizador a visualização imediata do modelo no *software*. O *add-in*, quando adicionado ao *Revit*, pode ser utilizado através da aba de suplementos do *Revit* (Figura 5.2). Esta ferramenta permite exportar diferentes tipos de propriedades, no entanto, neste caso em específico, foram exportadas as propriedades de todos os elementos do modelo BIM, como é possível verificar na Figura 5.3.

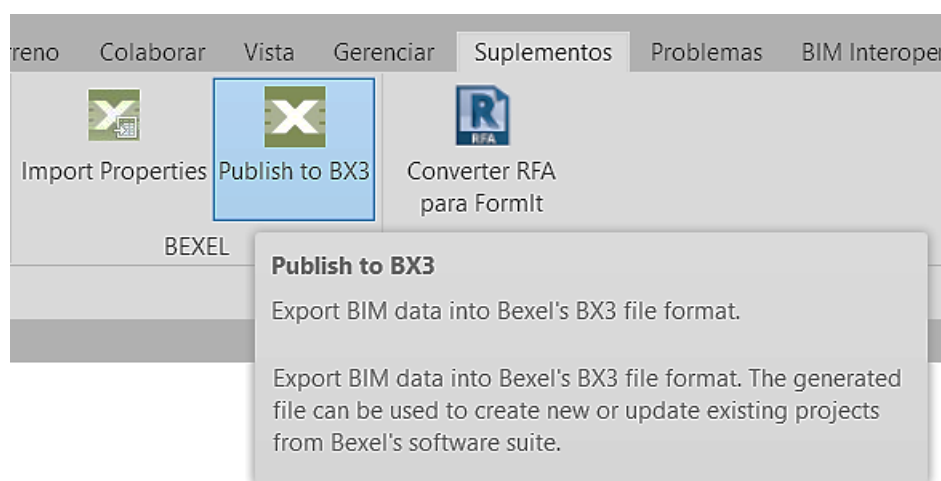


Figura 5.2- Add-in de exportação do modelo Revit para Bexel's BX3

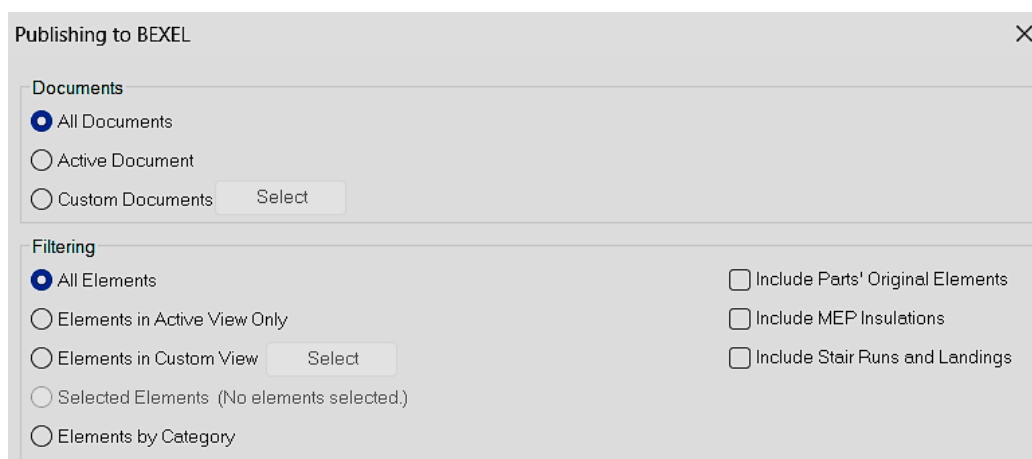


Figura 5.3- Janela de exportação do add-in

Após a exportação do modelo *Revit*, este pode ser diretamente aberto no *Bexel Manager*, iniciando, assim, o processo de criação do modelo BIM 4D/5D. É possível observar através da Figura 5.4 a interface do *Bexel Manager*, no qual se pode verificar o modelo estrutural do caso de estudo e a organização automática de todos os elementos de estruturas existentes no modelo BIM. Esta organização dividiu os elementos em cinco grupos principais distintos, nomeadamente vigas, lajes, pilares, fundações e paredes (Figura 5.4).

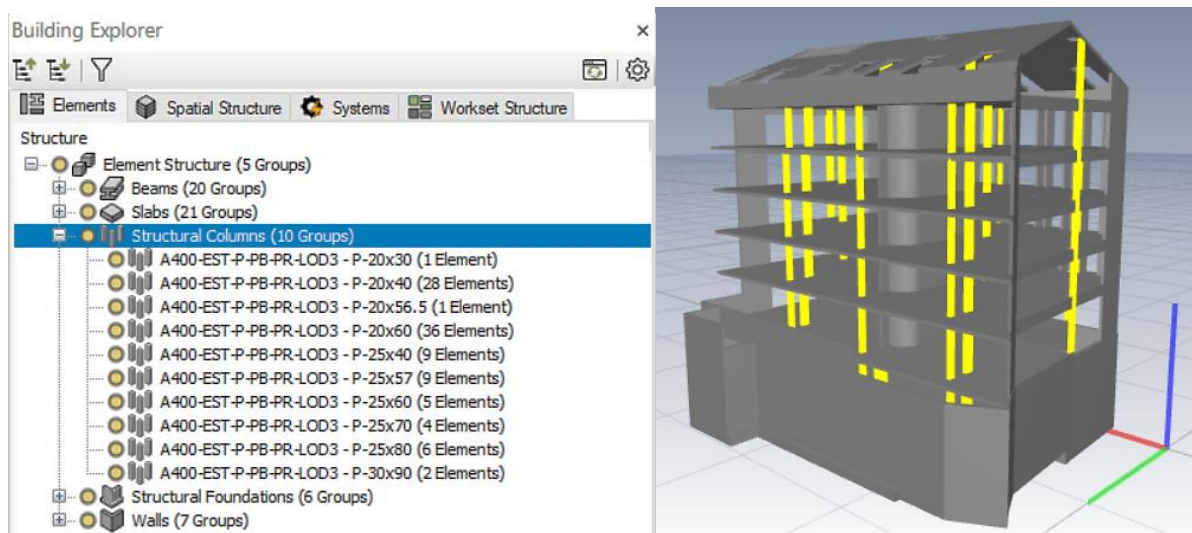


Figura 5.4- Organização do modelo BIM na interface do *Bexel Manager*

5.2.2. IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS MODELADOS

De forma a realizar o controlo da empreitada do caso de estudo, o processo de identificação dos elementos presentes no modelo BIM é fundamental. Tal como explicado no Capítulo 4 esta fase será simples, devido ao facto da A400/Builgest ter realizado um modelo BIM bastante pormenorizado, identificando, adequadamente, todos os elementos do projeto na fase de modelação no *Revit*. Esta identificação pode ser verificada através de uma funcionalidade no *Bexel Manager* denominada por *Custom Breakdown* que permite organizar toda a informação do modelo. Esta organização foi elaborada para todo o projeto, dividindo os elementos por piso, por família de elementos e pela respetiva designação atribuída (Figura 5.5).

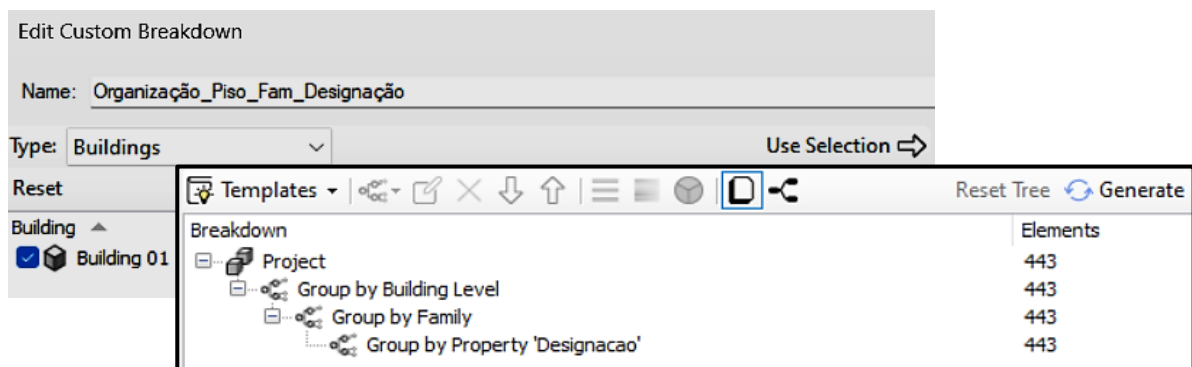


Figura 5.5- Criação da *Custom Breakdown* no *Bexel Manager*

Após a criação da *Custom Breakdown*, o *Bexel Manager* organiza todos os elementos do modelo pela ordem escolhida. Como é possível observar na Figura 5.6, utilizando o piso 1 do modelo como exemplo, todos os elementos foram agrupados tendo em conta a respetiva família e designação, permitindo identificar facilmente todos os elementos contidos no piso 1. Pode-se observar também a identificação dos elementos realizada pelos projetistas, utilizando abreviaturas para facilitar a designação dos vários objetos, tal como os pilares (P) salientados na Figura 5.6. Todos os objetos têm uma designação, não sendo necessário recorrer a sistemas de classificação. Salienta-se o facto de que existe um piso *undefined* no modelo com três elementos contidos, no entanto, através da utilização da interface do *Bexel Manager*, estes foram identificados como vigas estruturais situadas no piso -2.

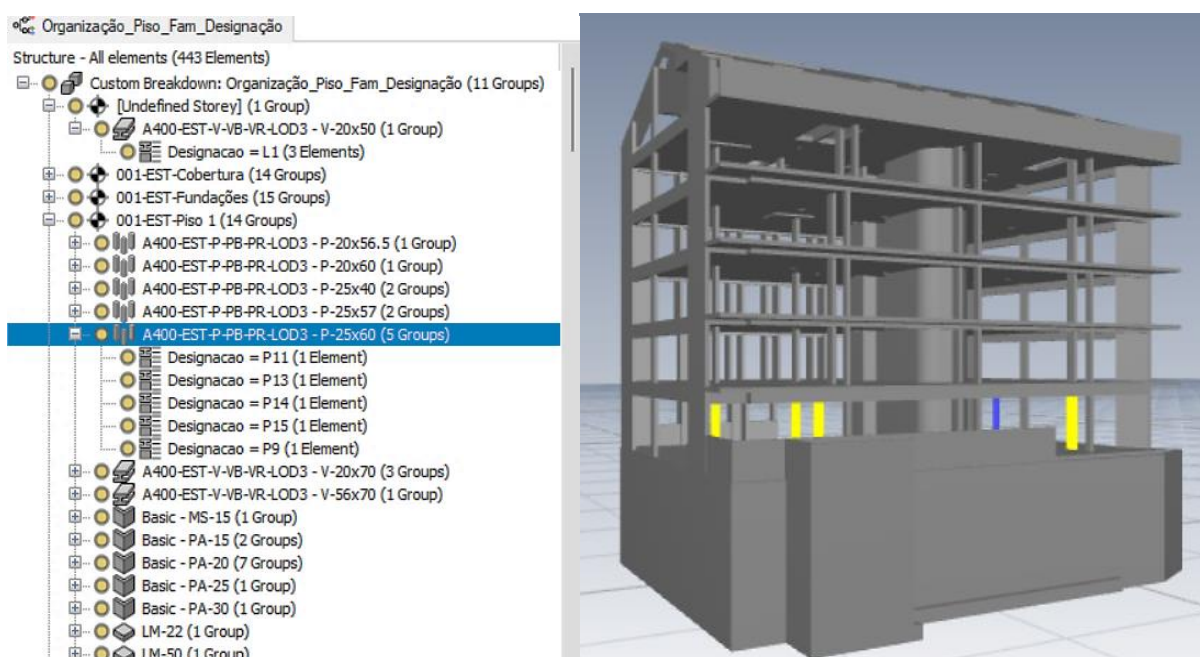


Figura 5.6- *Custom Breakdown* do modelo no *Bexel Manager*

5.2.3. EXTRAÇÃO/MEDIÇÃO DE QUANTIDADES DO MODELO BIM

O *Bexel Manager* permite realizar a tarefa da extração de quantidades de uma forma intuitiva e automática. Tal como foi mencionado no Capítulo 4, esta medição deve ser realizada pensando nas necessidades das próximas fases, ou seja, a extração de quantidades do *Bexel Manager* foi organizada tendo em conta as tarefas presentes no MTQ fornecido pela A400/BuildGest.

Utilizando o menu de extração de quantidades do *Bexel Manager*, é possível indicar ao *software* a nossa preferência de organização das quantidades e das medidas que devem ser calculadas. A extração de quantidades foi criada utilizando a mesma ordem da *Custom Breakdown* da fase anterior, adicionando o cálculo do volume dos elementos e a contagem dos elementos (Figura 5.7).

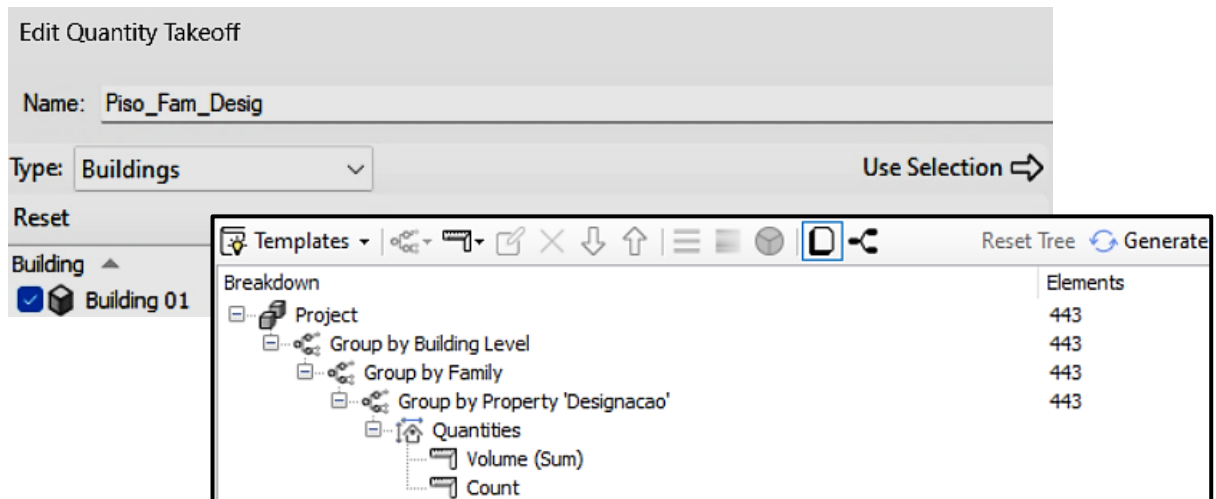


Figura 5.7- Criação da extração de quantidades no *Bixel Manager*

Após a criação da extração de quantidades no *Bixel Manager*, o *software* produz uma tabela com o volume e a contagem de todos os elementos do modelo organizados por piso, por família e por designação (Figura 5.8). Utilizando a interoperabilidade do *Bixel Manager* com outros *softwares*, esta informação pode ser exportada para outras ferramentas de cálculo como o *MS Excel*, o qual será utilizado na fase seguinte. Este irá facilitar o tratamento da informação e o cálculo dos custos associados a cada um dos elementos do modelo. Apesar dos elementos estarem identificados, nesta fase é necessário ter em consideração que alguns objetos podem estar a ser utilizados para outras funções, necessitando de correção.

É relevante frisar que as cofragens e armaduras não estão modeladas, logo não é possível extrair quantidades desses elementos. Caso estivessem modelados, o *Bixel Manager* permite adicionar na criação da extração de quantidades (Figura 5.7) as medições necessárias para as cofragens e armaduras, ou seja, área (m²) e peso (kg), respetivamente.

Piso_Fam_Desig		
Structure - All elements (443 Elements)	Volume (Sum)	Count
001-EST-Piso 1	131.213 m ³	57
A400-EST-P-PB-PR-LOD3 - P-20x56.5	0.395 m ³	1
A400-EST-P-PB-PR-LOD3 - P-20x60	0.840 m ³	2
A400-EST-P-PB-PR-LOD3 - P-25x40	1.050 m ³	3
A400-EST-P-PB-PR-LOD3 - P-25x57	1.492 m ³	3
A400-EST-P-PB-PR-LOD3 - P-25x60	2.550 m ³	5
Designacao = P11	0.525 m ³	1
Designacao = P13	0.525 m ³	1
Designacao = P14	0.525 m ³	1
Designacao = P15	0.450 m ³	1
Designacao = P9	0.525 m ³	1
A400-EST-V-VB-VR-LOD3 - V-20x70	6.187 m ³	7
A400-EST-V-VB-VR-LOD3 - V-56x70	7.154 m ³	1
Basic - MS-15	6.056 m ³	4
Basic - PA-15	1.740 m ³	7
Basic - PA-20	22.681 m ³	18
Designacao = Nu1	4.130 m ³	3
Designacao = Nu2	7.419 m ³	4
Designacao = Pa10	1.973 m ³	1
Designacao = Pa11	1.297 m ³	1
Designacao = Pa12	1.645 m ³	1
Designacao = Pa13	1.750 m ³	1

Figura 5.8- Medição das quantidades no *Bixel Manager*

5.2.4. ASSOCIAÇÃO DOS CUSTOS AOS ELEMENTOS DO MODELO

Para obter um controlo financeiro fiável, a presente fase é crucial e, desta forma, deve ser realizada com extremo cuidado. Nesta etapa será associado um custo a todos os elementos no modelo BIM. Considerando que as cofragens e as armaduras não estão modeladas, os custos respetivos foram diluídos no volume do betão através do segundo método explicado no Capítulo 4, ou seja, calculando, por proporção, as quantidades de cofragem e armadura para o volume de betão extraído no *Bexel Manager*, utilizando as áreas e os pesos do MTQ como referência.

Efetivamente, este cálculo foi realizado para todos os elementos modelados e, para facilitar o processo, foi construída no *MS Excel* uma tabela com os valores de betão, cofragem e armadura fornecidos pelo empreiteiro. Nesta tabela foram também inseridas as quantidades totais extraídas do *Bexel Manager* de cada elemento (números a azul). A partir destes foi realizado o cálculo por semelhança das cofragens e das armaduras para cada objeto, obtendo o preço por metro cúbico de cada objeto (Tabela 5.1).

Tabela 5.1- Cálculo do €/m³ dos elementos modelados

		Un.	MTQ			Bexel Manager		€/m³ Elemento
			Qt.	€/Un.	Custo Total	Qt.	Custo Total	
Laje Fundação (LF)	Betão	m3	217,61	114,71 €	24 962,04 €	218,17	25 026,37 €	277,86 €
	Cofragem	m2	179,61	19,08 €	3 426,96 €	180,07	3 435,79 €	
	Armadura	kg	21672,73	1,48 €	32 075,64 €	21728,58	32 158,29 €	
Vigas Fundação	Betão	m3	2,48	114,71 €	284,48 €	3,26	374,12 €	847,70 €
	Cofragem	m2	14,32	19,08 €	273,23 €	18,83	359,32 €	
	Armadura	kg	195,94	1,48 €	289,99 €	257,68	381,37 €	
Muros de Suporte (MS)	Betão	m3	40,08	114,71 €	4 597,58 €	44,15	5 064,62 €	426,58 €
	Cofragem	m2	266,35	17,21 €	4 583,88 €	293,41	5 049,54 €	
	Armadura	kg	5348,58	1,48 €	7 915,90 €	5891,92	8 720,04 €	
Pilares (P)	Betão	m3	29,44	114,71 €	3 377,06 €	33,98	3 897,30 €	980,46 €
	Cofragem	m2	342,05	16,78 €	5 739,60 €	394,74	6 623,79 €	
	Armadura	kg	13343,39	1,48 €	19 748,22 €	15398,94	22 790,44 €	
Paredes (Pa)	Betão	m3	90,57	114,71 €	10389,2847	86,85	9 963,04 €	417,13 €
	Cofragem	m2	418,70	17,15 €	7 180,71 €	401,52	6 886,10 €	
	Armadura	kg	13655,23	1,48 €	20 209,74 €	13095,00	19 380,60 €	
Núcleos (Nu)	Betão	m3	64,33	114,71 €	7 379,29 €	63,53	7 287,52 €	645,44 €
	Cofragem	m2	620,50	17,15 €	10 641,58 €	612,78	10 509,23 €	
	Armadura	kg	15878,55	1,48 €	23 500,25 €	15681,07	23 207,99 €	
Vigas (V)	Betão	m3	52,98	114,71 €	6 077,34 €	49,36	5 662,32 €	567,08 €
	Cofragem	m2	456,19	18,11 €	8 261,60 €	425,04	7 697,42 €	
	Armadura	kg	10611,61	1,48 €	15 705,18 €	9886,94	14 632,68 €	
Lajes Maciças (LM)	Betão	m3	622,75	114,71 €	71 435,65 €	639,11	73 311,96 €	358,01 €
	Cofragem	m2	2815,91	17,61 €	49 588,18 €	2889,872	50 890,64 €	
	Armadura	kg	68871,61	1,48 €	101 929,98 €	70680,57	104 607,25 €	

Após a conclusão do processo de cálculo mencionado, os valores obtidos foram inseridos no *Bexel Manager* através do menu *Cost Editor*. Neste foi possível criar um sistema de classificação de custos do modelo utilizando a funcionalidade *Creation Wizard*. Esta permite criar um sistema a partir da extração de quantidades anteriormente elaborada. Salienta-se a Figura 5.9 que, para a mesma família de paredes existem dois elementos distintos, os núcleos e as paredes de betão armado. A partir das suas identificações foi então possível associar o custo respetivo a cada elemento, criando assim um *Cost Item*. Criando este sistema, a associação dos custos aos elementos é, embora simples, um pouco morosa e suscetível a erro. Nesta fase todos os elementos modelados obtêm um custo associado, permitindo ao utilizador realizar uma estimativa imediata do orçamento relativo aos elementos do projeto de estruturas do caso de estudo, revelando-se, desde já, benéfico para a equipa de fiscalização.

📁 A400-EST-V-VB-VR-LOD3 - V-56x70	A400-EST-V-VB-VR-LOD3 - V-56x70	1	
📁 Basic - MS-15	Basic - MS-15	1	
📁 Basic - PA-15	Basic - PA-15	2	
📁 Basic - PA-20	Basic - PA-20	7	
⚙️ Basic - PA-20.1	Designacao = Nu1		645,44 €
⚙️ Basic - PA-20.2	Designacao = Nu2		645,44 €
⚙️ Basic - PA-20.3	Designacao = Pa10		417,13 €
⚙️ Basic - PA-20.4	Designacao = Pa11		417,13 €
⚙️ Basic - PA-20.5	Designacao = Pa12		417,13 €

Figura 5.9- Associação de custos aos elementos modelados no *Bexel Manager*

5.2.5. CRIAÇÃO DO PLANEAMENTO CONSTRUTIVO E ASSOCIAÇÃO DAS TAREFAS AOS ELEMENTOS

De acordo com o capítulo anterior, o planeamento construtivo da obra do caso de estudo foi elaborado utilizando o *MS Project* (Figura 5.10), dado que permite criar o planeamento de uma forma mais fácil e eficiente. Este foi importado para o *Bexel manager* através do menu *Schedule Editor*, responsável pela associação das tarefas e respetiva calendarização ao modelo BIM.

	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
1	🔗	Auto de Consignação	1 day	Wed 04/01/23	Wed 04/01/23	
2	🔗	Estaleiro	164 days	Wed 04/01/23	Mon 21/08/23	1SS
3	🔗	Demolição Geral	24 days	Wed 04/01/23	Mon 06/02/23	1SS
4	🔗	Escavação de Plataforma para Estacas (aprox -2 m abaixo cota de soleira)	6 days	Tue 24/01/23	Tue 31/01/23	3FS-10 days
5	🔗	Execução de Estacas	20 days	Wed 01/02/23	Tue 28/02/23	4
6	🔗	Escavação para a plataforma	5 days	Wed 01/03/23	Tue 07/03/23	5
7	🔗	Abertura de caboucos para maciços de encabeçamento	10 days	Wed 08/03/23	Tue 21/03/23	6
8	🔗	Demolição de Cabeça de Estacas	8 days	Fri 10/03/23	Tue 21/03/23	7FF
9	📅	4 Betão Armado	115 days	Tue 14/03/23	Mon 21/08/23	
10	🔗	Maciços de encabeçamento	15 days	Tue 14/03/23	Mon 03/04/23	8SS+2 days
11	🔗	Sapatas e Muros piso -2	25 days	Tue 21/03/23	Mon 24/04/23	10SS+5 days
12	🔗	Elementos Verticais e Laje Piso -1	14 days	Thu 20/04/23	Tue 09/05/23	11FS-3 days
13	🔗	Elementos Verticais e Laje Piso 1	14 days	Wed 10/05/23	Mon 29/05/23	12
14	🔗	Elementos Verticais e Laje Piso 2	13 days	Wed 31/05/23	Fri 16/06/23	13
15	🔗	Elementos Verticais e Laje Piso 3	10 days	Sat 17/06/23	Thu 29/06/23	14
16	🔗	Elementos Verticais e Laje Piso 4	9 days	Sat 01/07/23	Wed 12/07/23	15
17	🔗	Elementos Verticais e Laje Piso 5	9 days	Fri 14/07/23	Wed 26/07/23	16
18	🔗	Elementos Verticais e Laje Piso 6	9 days	Thu 27/07/23	Tue 08/08/23	17
19	🔗	Cobertura	9 days	Wed 09/08/23	Mon 21/08/23	18
20	🔗	Ensolaramento Geral Piso -1	10 days	Tue 27/06/23	Mon 10/07/23	13FS+20 days

Figura 5.10- Planeamento Construtivo no *MS Project* da fase de estruturas do caso de estudo

O planeamento da obra, quando importado para o *Bexel Manager*, apenas apresenta a informação relativa às tarefas e à respetiva calendarização. Assim, cabe ao utilizador associar todos os elementos do modelo às respetivas tarefas, completando a criação do modelo BIM 4D/5D. Na interface do *Bexel manager*, a fim de facilitar a visualização dos dados, foram adicionadas colunas relativas ao custo total previsto, custo real das tarefas e ao número de elementos. Inicialmente, a coluna do custo total encontra-se vazia, no entanto, no final da ligação elementos-tarefas, esta deve ficar preenchida com o custo total previsto para a tarefa respetiva. A coluna do custo real das tarefas será utilizada na 6ª Fase quando forem introduzidas informações sobre o progresso real da obra.

O objetivo desta dissertação foca-se no projeto de estruturas, o que resulta num planeamento mais reduzido do que aquele que seria observado se o foco fosse generalizado para a totalidade do projeto. No futuro, deverá ser avaliada a replicabilidade deste processo à larga-escala, de forma a automatizar todo o processo.

O processo de associação dos elementos às tarefas envolve vários passos e, deste modo, este será exemplificado através da associação de todos os elementos do piso 1 do modelo à tarefa correspondente, ou seja, à construção dos elementos verticais e laje desse mesmo piso. O processo inicia-se na *Custom Breakdown*, criada anteriormente, onde serão selecionados todos os elementos do piso 1 (Figura 5.11).

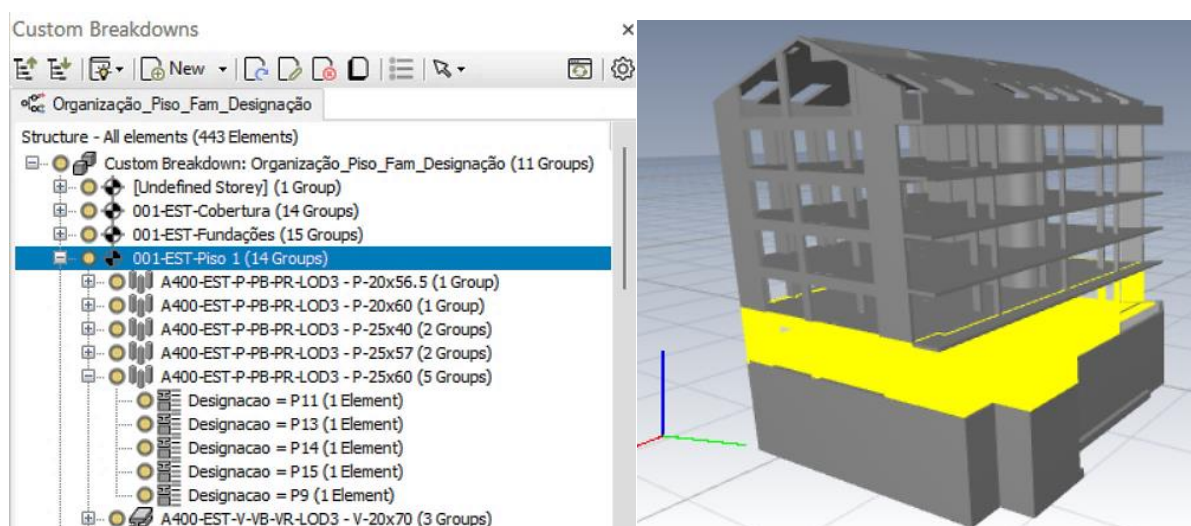


Figura 5.11- Seleção de todos os elementos do piso 1 do modelo BIM

Com todos os elementos do piso 1 selecionados, será necessário aceder à tarefa respetiva no planeamento utilizando a função *New Direct Link*, sendo possível associar a tarefa diretamente aos elementos selecionados anteriormente (Figura 5.12).

É de notar que, nesta secção, as figuras 5.12 à 5.15 não apresentam a melhor legibilidade possível, no entanto, nem todos os dados existentes nas figuras são extremamente relevantes. Estas são apresentadas apenas com o intuito de esclarecer o método de aplicação proposto, ou seja, como foram introduzidos os dados sobre os prazos e a calendarização da obra no *Bexel Manager*.

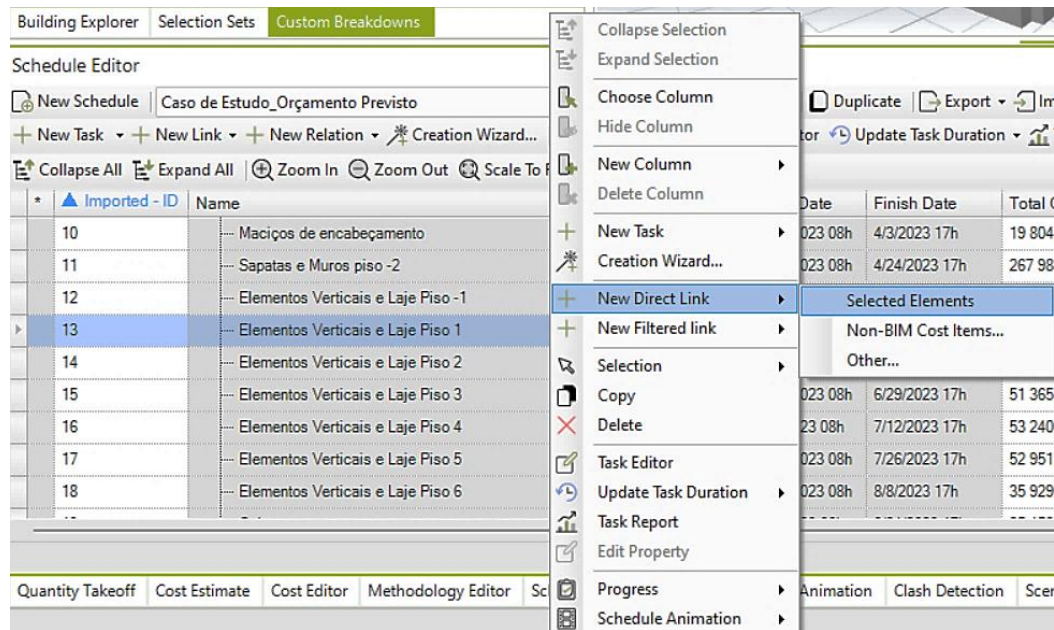


Figura 5.12- Utilização da função de associação direta da tarefa aos elementos seleccionados

Concluída esta associação, todos os elementos existentes no piso 1 do modelo BIM foram associados à respetiva tarefa. No entanto, esta deve ser verificada através do menu *Task Editor* da tarefa em questão, averiguando se todos os elementos são apresentados na lista de atividades. Através da Figura 5.13, é possível verificar as abas necessárias para aceder ao menu mencionado. Neste é apresentado uma lista de todos os elementos associados à respetiva tarefa, onde foi possível confirmar que todos os elementos do piso 1 foram devidamente associados.

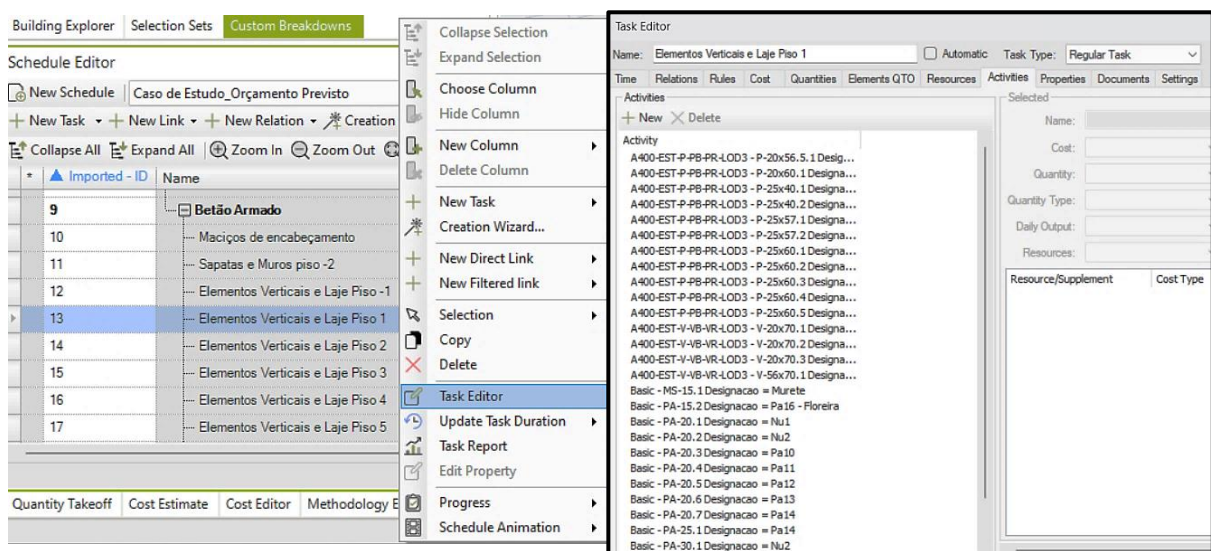


Figura 5.13- Verificação da associação dos elementos à tarefa respetiva

Este processo deve ser realizado para todos os elementos modelados, ou seja, todos os objetos presentes no modelo BIM devem estar associados a alguma tarefa. Nesta fase devem ser também adicionados os

custos totais dos trabalhos não modelados presentes no planeamento construtivo. O *Bexel Manager* permite adicionar ao próprio planeamento todos os custos necessários (Figura 5.15). Um pormenor relevante é o custo das escadas, dado que não existe uma tarefa direta à qual possa ser adicionado o custo total da construção das mesmas. Assim, o custo total da construção das escadas (€10 528.42) foi dividido pelos sete pisos onde estariam inseridas, implicando um custo de escadas de €1 504,06 por piso. Este valor foi adicionado como um custo fixo na aba de atividades de cada uma das tarefas que deveriam conter a construção de escadas de betão armado (Figura 5.14). Considerando que estes trabalhos não estão modelados, o custo adicionado corresponde ao fornecido pelo empreiteiro, presente no MTQ.

Resource/Supplement	Cost Type	Unit Cost	Quantity Type	Type	Unit	Quantity
Material - Supplement	Automatic	0				
Labor - Supplement	Automatic	0				
Equipment - Supplement	Automatic	0				
Other - Cost	Fixed	1504.06				
Subcontractor - Cost	Automatic	0				
Material						
Labor						
Equipment						

Figura 5.14- Adição do custo das escadas à tarefa de construção do Piso 1

Schedule Editor						
New Schedule Caso de Estudo_Orçamento Previsto Edit Delete Duplicate Export Import Report New Task New Link New Relation Creation Wizard... Copy Delete Task Editor Update Task Duration Task Report Selection Collapse All Expand All Zoom In Zoom Out Scale To Fit Com						
Name	Duration	Start Date	Finish Date	Total Cost	Actual Cost	Element Count
Untitled : Caso de Estudo	1312 wh	1/4/2023 08h	8/21/2023 17h	968 067,32 €	0,00 €	443
Auto de Consignação	8 wh	1/4/2023 08h	1/4/2023 17h	0,00 €	0,00 €	0
Estaleiro	1312 wh	1/4/2023 08h	8/21/2023 17h	64743,03	0,00 €	0
Demolição Geral	192 wh	1/4/2023 08h	2/6/2023 17h	50 857,34 €	0,00 €	0
Escavação de Plataforma para Estacas (aprox -2 m aba...	48 wh	1/24/2023 08h	1/31/2023 17h	4 012,38 €	0,00 €	0
Execução de Estacas	160 wh	2/1/2023 08h	2/28/2023 17h	123 366,34 €	0,00 €	0
Escavação para a plataforma	40 wh	3/1/2023 08h	3/7/2023 17h	39 781,72 €	0,00 €	0
Abertura de caboucos para maciços de encabeçamento	80 wh	3/8/2023 08h	3/21/2023 17h	14 500,00 €	0,00 €	0
Demolição de Cabeça de Estacas	64 wh	3/10/2023 08h	3/21/2023 17h	2 000,00 €	0,00 €	0
Betão Armado	920 wh	3/14/2023 0..	8/21/2023 17h	668 806,51 €	0,00 €	0
Maciços de encabeçamento	120 wh	3/14/2023 08h	4/3/2023 17h	19 804,05 €	0,00 €	0
Sapatas e Muros piso -2	200 wh	3/21/2023 08h	4/24/2023 17h	267 983,00 €	0,00 €	61
Elementos Verticais e Laje Piso -1	112 wh	4/20/2023 08h	5/9/2023 17h	47 689,76 €	0,00 €	50
Elementos Verticais e Laje Piso 1	112 wh	5/10/2023 08h	5/29/2023 17h	59 900,98 €	0,00 €	57
Elementos Verticais e Laje Piso 2	104 wh	5/31/2023 08h	6/16/2023 17h	52 976,67 €	0,00 €	60

Figura 5.15- Custos totais previstos do caso de estudo

Através da Figura 5.15 é possível observar o orçamento total da obra e dos custos individuais de cada tarefa. Só é possível obter estes valores através da associação dos custos a todos os elementos e trabalhos, que, por sua vez, através desta fase, devem ficar associados a uma tarefa do planeamento construtivo.

Após concluída esta fase, o modelo BIM 4D/5D do caso de estudo está concluído, possibilitando a análise de toda a informação nele contida através das várias funcionalidades do *Bexel Manager*. Este permite criar automaticamente o diagrama de *Gantt* (Anexo A.1), o gráfico das Linhas de Balanço da obra (Anexo A.2) e gráficos de orçamento (Anexos A.3 e A.4), facilitando o trabalho da equipa de fiscalização. O gráfico das Linhas de Balanço apresenta uma maior relevância nesta fase, uma vez que permite analisar mais facilmente o cronograma das atividades. Esta análise permite à equipa de fiscalização analisar falhas na calendarização e, caso necessário, propor alterações ao empreiteiro. Analisando as Linhas de Balanço em A.2, verifica-se que não existem espaços de grande dimensão entre as atividades, ou seja, o cronograma adequadamente construído e automatizado, iniciando cada atividade logo após a anterior ter sido concluída.

Estes gráficos serão utilizados mais detalhadamente na 7ª Fase de forma que, através dos mesmos, seja possível fazer a comparação entre os custos previstos com os custos reais da obra, permitindo realizar um controlo da obra em tempo real.

É de salientar que o processo de criação do modelo BIM 4D/5D apresentado pode ser replicado e utilizado como um guião em casos de estudos diferentes. Nesta dissertação pretendeu-se demonstrar o processo de digitalização de uma empreitada real através do BIM, apresentando as principais dificuldades associadas e a tentativa de automatização das várias fases envolvidas. Apesar da semelhança com [36], salienta-se a tentativa de melhoria de algumas das fases da metodologia, nomeadamente:

- O processo de identificação dos elementos modelados foi bastante automatizado, diminuindo significativamente o volume de trabalho associado à utilização de sistemas de classificação *OmniClass*;
- Diminuição do erro de cálculo associado aos custos dos objetos através da utilização de um método diferente e apresentação de um possível método estatístico que poderia automatizar bastante o processo de associação de custos a elementos não modelados;
- Demonstração de resolução de problemas diferentes encontrados ao longo do trabalho, como é o exemplo da construção das escadas de betão armado.

5.3. MONITORIZAÇÃO DA OBRA EM TEMPO REAL

Após concluída a construção do modelo BIM no *Bexel Manager*, é possível dar início ao processo de monitorização da obra em tempo real. É através desta fase que é realizado o controlo dos custos e prazos do caso de estudo e, deste modo, esta será a fase mais relevante para a equipa de fiscalização da BuildGest. Nesta etapa serão inseridos valores reais do progresso da obra no modelo BIM, os quais são obtidos através de autos de medição. A introdução da informação atualizada será realizada mensalmente no modelo, dado que os autos de medição apenas são realizados em obra uma vez por mês.

O controlo da empreitada será realizado digitalmente através das várias funcionalidades de controlo do *Bexel manager*, permitindo à equipa de fiscalização realizar vários tipos de análises.

5.3.1. INTRODUÇÃO DA INFORMAÇÃO DOS AUTOS DE MEDIÇÃO NO *BEXEL MANAGER*

Como já foi apresentada, a interface do *Bexel Manager*, apesar de conter inúmeras opções, é simples e intuitiva. Desta forma, a informação do progresso real da obra é facilmente introduzida no *software*. Através do menu *Schedule Editor* é possível duplicar o planeamento anteriormente criado, o qual corresponde ao orçamento total previsto da obra, ou seja, já contém toda a informação sobre os custos dos elementos, os quais também já estão associados às respetivas tarefas e calendarização correspondente (Figura 5.16).

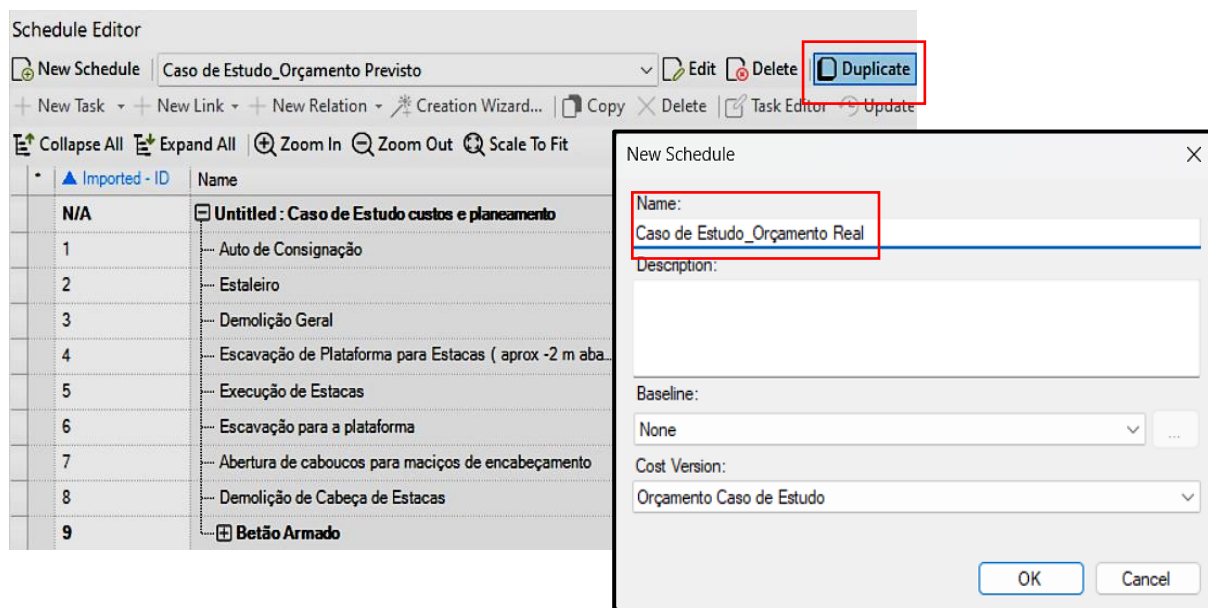


Figura 5.16- Criação do planeamento respetivo ao progresso real da obra

Após ter sido criado o planeamento para o orçamento real, podem ser adicionados no *software* os dados atualizados da obra. Este processo foi realizado através da função *Progress*, a qual permitiu adicionar uma nova entrada de informação no *software*. É possível identificar através da Figura 5.17 a criação da entrada de dados relativos ao auto de medição de maio de 2023. Este processo é realizado através do menu *Schedule Progress Editor*, no qual, a fim de introduzir todos os dados novos, se deve seguir o seguinte processo:

1. Inicialmente foi introduzida a identificação do auto de medição e as datas respetivas. Neste caso, as datas escolhidas pretendem representar o tempo total desde o início da obra até ao início de maio, altura na qual a equipa responsável realizou o auto de medição;
2. As tarefas planeadas até à data selecionada são adicionadas automaticamente no *Bexel manager*, permitindo identificar facilmente que tarefas deviam estar concluídas e que tarefas é que deviam estar em processos de construção;
3. Através da coluna correspondente à percentagem total de finalização da tarefa, podem ser introduzidos nos elementos respetivos os dados existentes no auto de medição;
4. Ao realizar a introdução de todas as percentagens na coluna mencionada, o *Bexel Manager* atualiza automaticamente no menu *Schedule Editor* as colunas correspondentes ao custo total de cada tarefa e a respetiva taxa de finalização da tarefa.

Este processo deve ser realizado novamente sempre que houver novos dados acerca do progresso da obra, ou seja, quando forem realizados novos autos de medição.

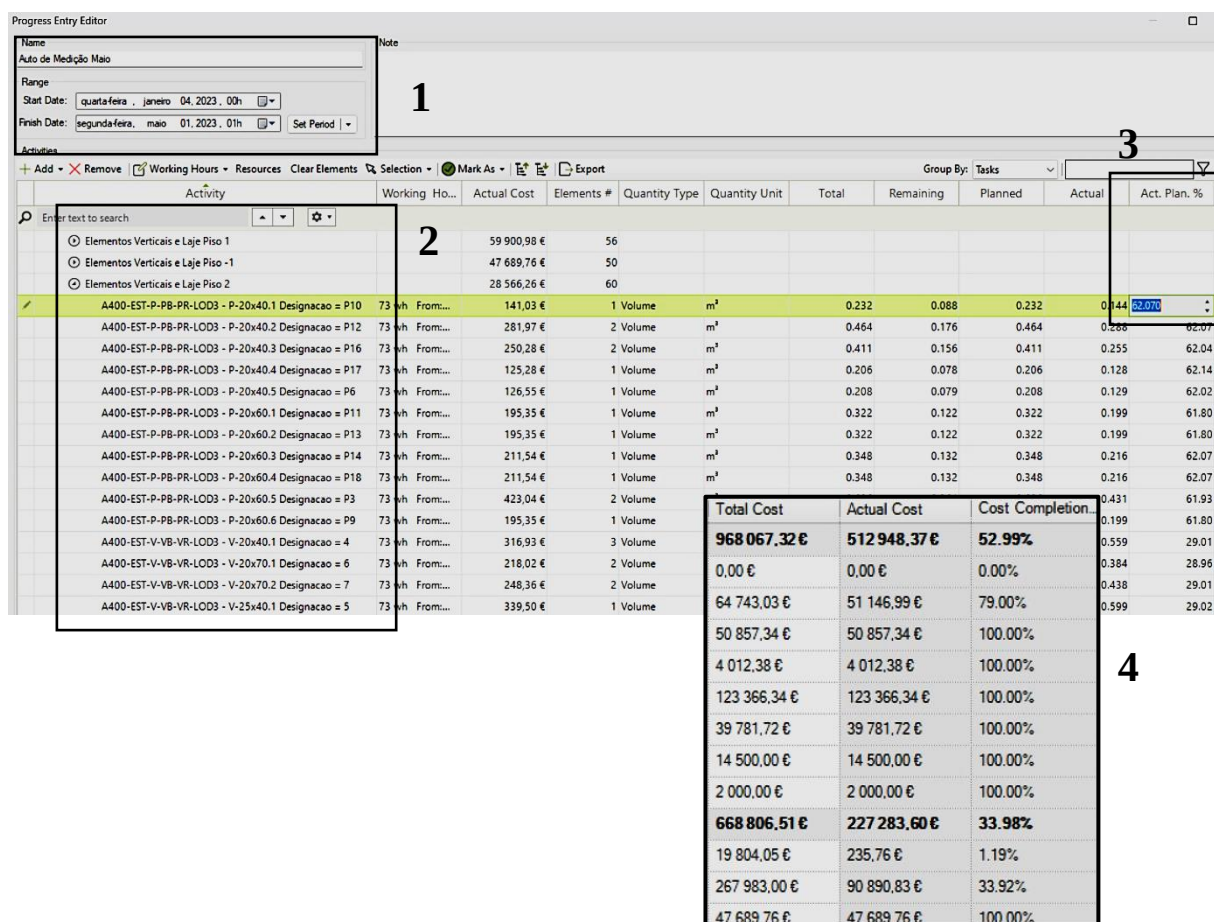


Figura 5.17- Processo de introdução dos dados de progresso real da obra

5.3.2. EXTRAÇÃO DA INFORMAÇÃO DO *BEXEL MANAGER* PARA A ANÁLISE DO CASO DE ESTUDO

Todos os processos desenvolvidos até este ponto foram realizados com o objetivo principal de obter um controlo digital da construção do projeto de estruturas do caso de estudo, apresentado no início do Capítulo 5. A criação do modelo BIM no *Bexel Manager* e a introdução de valores reais do progresso da obra no mesmo são suficientes para a equipa de fiscalização realizar um controlo do desenvolvimento da construção do edifício. Tal como foi mencionado ao longo desta dissertação, este controlo digital pretende, identificar, de uma forma mais eficiente, o cumprimento dos prazos e dos custos previstos no orçamento inicial da obra, podendo realizar alterações e correções no projeto sempre que for necessário. Assim, na interface do *Bexel manager*, através do menu *Schedule Editor*, é possível extrair vários tipos de gráficos de análise de controlo financeiro da obra em questão. Neste caso, todas as informações são referentes ao orçamento previsto inicialmente e ao orçamento real da obra até ao mês de maio de 2023 (data correspondente ao auto de medição inserido no *software*).

De facto, o *Bexel Manager* permite visualizar imediatamente o diagrama de *Gantt* que compara o orçamento previsto com o orçamento real. Através da Figura 5.18 podemos observar esta comparação, retirando a conclusão de que, devido à informação introduzida no *software* das medições realizadas no

mês de maio, a obra se encontra atrasada. Este atraso pode ser verificado pelo sinal de atenção colocado automaticamente pelo *Bexel Manager* na barra correspondente à tarefa “Elementos verticais e Laje Piso 2” que, no momento do auto de medição, já deveria estar finalizada. Este atraso compromete o desenvolvimento das tarefas seguintes, visto que só podem ser iniciadas após a conclusão da tarefa em questão, causando o atraso geral da construção da fase de estruturas da obra.

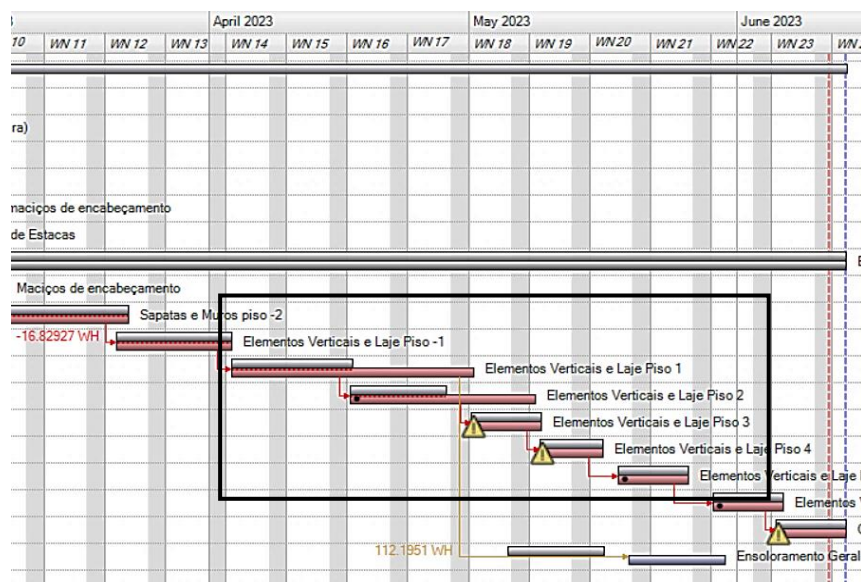


Figura 5.18- Comparação entre o orçamento previsto e o real através do Diagrama de Gantt do caso de estudo

Outra análise interessante para a equipa de fiscalização é o estudo da evolução dos custos envolvidos no projeto de estruturas. Este é por norma realizado ao longo do desenvolvimento da obra, no entanto, caso seja necessário, pode ser para um determinado mês. A partir da interface do *Bexel Manager* obtemos, também, para além do Diagrama de Gantt apresentado anteriormente, o orçamento total previsto e o orçamento real da obra até ao mês de maio (Figura 5.19).

Name	Duration	Start Date	Finish Date	Total Cost	Actual Cost	Cost Completion
☒ Untitled : Caso de Estudo custos e planeamento	918 wh	1/4/2023 08h	6/13/2023 15h	968 067,32 €	688 556,04 €	71.13%
Auto de Consignação	1 wh	1/4/2023 08h	1/4/2023 09h	0,00 €	0,00 €	0.00%
Estaleiro	194 wh	1/4/2023 08h	2/7/2023 10h	64 743,03 €	51 146,99 €	79.00%
Demolição Geral	1 wh	1/4/2023 08h	1/4/2023 09h	50 857,34 €	50 857,34 €	100.00%
Escavação de Plataforma para Estacas (aprox -2 m aba...	1 wh	1/17/2023 16h	1/17/2023 17h	4 012,38 €	4 012,38 €	100.00%
Execução de Estacas	1 wh	1/24/2023 09h	1/24/2023 10h	123 366,34 €	123 366,34 €	100.00%
Escavação para a plataforma	1 wh	2/13/2023 09h	2/13/2023 10h	39 781,72 €	39 781,72 €	100.00%
Abertura de caboucos para maciços de encabeçamento	1 wh	2/16/2023 14h	2/16/2023 15h	14 500,00 €	14 500,00 €	100.00%
Demolição de Cabeça de Estacas	1 wh	2/20/2023 08h	2/20/2023 09h	2 000,00 €	2 000,00 €	100.00%
☒ Betão Armado	638 wh	2/22/2023 0...	6/13/2023 15h	668 806,51 €	402 891,26 €	60.24%

Figura 5.19- Custos previstos e reais do caso de estudo

O estudo dos vários custos associados à obra é extremamente relevante para o controlo da empreitada e, desta forma, o *Bexel Manager* constrói automaticamente gráficos que permitem analisar a evolução

dos custos da obra ao longo do tempo. Estes permitem realizar uma análise rápida, mas bastante eficaz sobre o orçamento da obra. Apesar de apenas existir informação real do auto de medição do mês de maio, o *Bexel Manager* permitiu realizar uma estimativa dos meses anteriores, permitindo assim realizar uma análise financeira da obra. Num caso de estudo não académico deveria ser utilizada a informação real dos outros autos de medição, os quais deveriam ser realizados mensalmente desde o início da construção da obra. No entanto, a partir da Figura 5.20 e da Figura 5.21 retiramos a conclusão que, nos primeiros três meses do projeto, o orçamento real foi bastante superior comparativamente ao inicialmente previsto, mas que, foi praticamente igualado no final do mês de março. Considerando que apenas foi introduzida informação atualizada de um auto de medição, é prudente assumir que possam existir alguns erros de estimativa por parte do *Bexel Manager*. É muito importante mencionar que, apesar dos dois orçamentos serem bastante semelhantes, a obra está atrasada tal como foi verificado na Figura 5.18, ou seja, a conclusão da obra será mais tardia e os custos da obra poderão, eventualmente, ultrapassar os inicialmente previstos. As análises devem ser realizadas pela equipa de fiscalização de forma que seja possível averiguar quais são as causas principais dos desvios orçamentais.

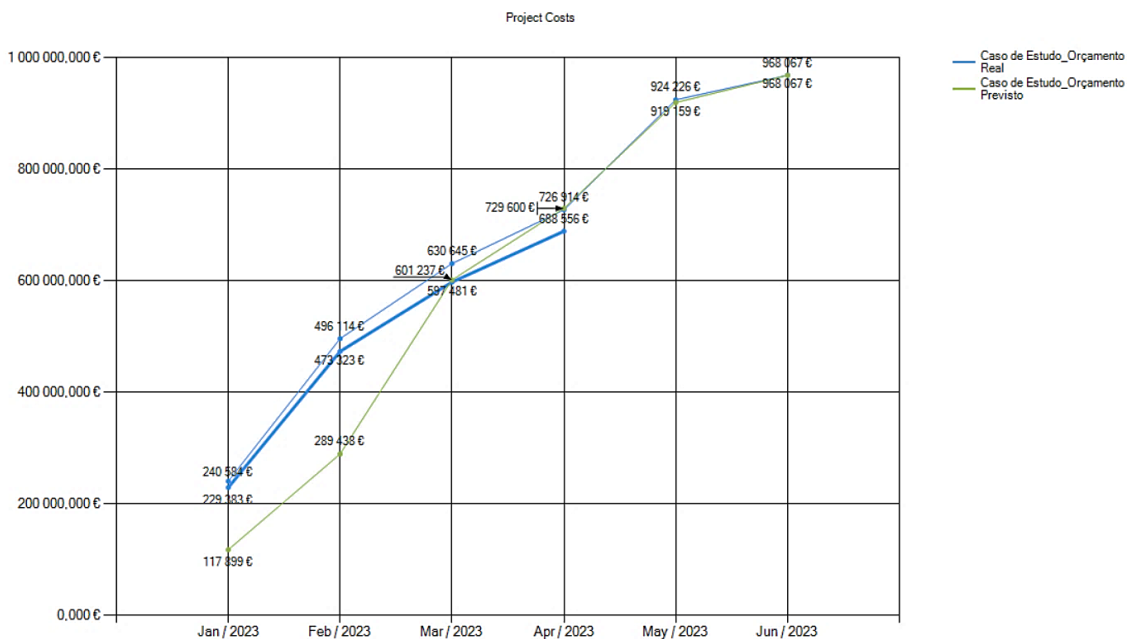


Figura 5.20- Comparação entre o orçamento acumulado previsto e real do caso de estudo

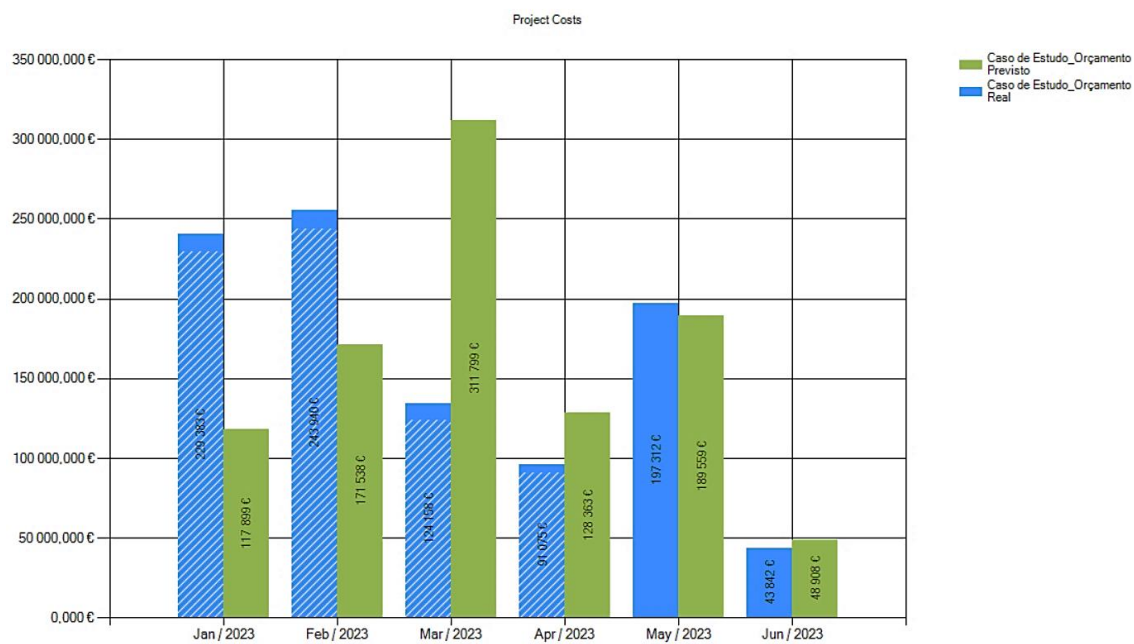


Figura 5.21- Comparação entre o orçamento mensal previsto e real do caso de estudo

6

CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

6.1. CONCLUSÕES GERAIS

A digitalização no controlo de empreitadas desempenha um papel fundamental na otimização dos vários processos envolvidos nos projetos de construção. De uma forma geral, a adoção de ferramentas digitais tais como o BIM, realidade aumentada (RA) e realidade virtual (RV) permite que, atualmente, as empresas de construção consigam obter uma visão bastante abrangente e em tempo real do progresso das obras, garantindo uma maior eficiência e precisão no controlo dos projetos de construção. A utilização de métodos digitais oferece uma série de benefícios aos seus utilizadores, facilitando significativamente a comunicação entre os vários intervenientes nos projetos através do compartilhamento de informações e dados em plataformas digitais, evitando erros e atrasos desnecessários.

O controlo digital de projetos de construção pretende complementar as atividades humanas, proporcionando uma gestão mais eficiente de todos os recursos relevantes numa empreitada. A utilização deste tipo de ferramentas permite não só a criação de planeamentos mais eficientes como também a utilização mais sustentável dos materiais. Desta forma, através da modelação e de simulações digitais será possível prever e mitigar possíveis problemas futuros, garantindo uma maior qualidade e segurança nas obras. Tendo em conta o aumento das necessidades dos projetos atuais, a digitalização começa a tornar-se indispensável para o sucesso dos mesmos, garantindo construções mais sustentáveis respeitando prazos apertados e orçamentos limitados.

Ao longo dos últimos anos, um dos maiores avanços na digitalização na construção foi com a adoção do BIM, o qual tem vindo a tornar-se essencial nas várias áreas do setor AEC. A utilização do BIM foi um dos focos principais ao longo do desenvolvimento deste trabalho, visando automatizar e resolver alguns dos principais problemas associados à sua utilização. A utilização do BIM nesta dissertação demonstrou-se bastante vantajosa e desempenhou um papel crucial na digitalização da informação relativa às tarefas construtivas e a todos os custos envolvidos no projeto de estruturas do caso de estudo apresentado, trazendo uma maior eficiência e precisão no controlo financeiro da obra.

O controlo do orçamento de um projeto de construção é extremamente importante para o bom funcionamento de uma obra e, nesse aspeto, a utilização do *Bexel Manager* foi bastante positiva, funcionando como base para a criação de um modelo BIM 5D, permitindo interligar os elementos 3D aos respetivos custos e tarefas, produzindo assim um modelo digital capaz de controlar a empreitada ao longo do seu desenvolvimento. Este *software* de gestão de obras permitiu realizar um controlo bastante detalhado do progresso real da obra, fornecendo à equipa de fiscalização análises orçamentais detalhadas do processo construtivo da obra através de diagramas de linhas/barras, *Gantt* e de linhas de balanço.

6.2. PONTOS CRÍTICOS E DIFICULDADES

Nesta dissertação pretendeu-se demonstrar as capacidades da utilização do BIM no controlo de empreitadas e, desta forma, ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foi possível aprofundar o conhecimento na área da digitalização e na fiscalização de obras, permitindo identificar os pontos críticos do tema e as maiores dificuldades associadas à utilização de *softwares* BIM no controlo financeiro de projetos de construção reais.

Um modelo BIM 5D possui uma quantidade significativa de informação detalhada sobre todos os elementos construtivos existentes no mesmo, tornando bastante desafiante a gestão e a interpretação de todos esses dados. De facto, a falta de um processo eficiente que permita filtrar e analisar toda a informação contida no modelo pode levar a uma sobrecarga de informações, tornado extremamente difícil a tomada de decisões por parte da equipa de fiscalização. É também importante mencionar que existe uma curva de aprendizagem bastante acentuada no que toca à utilização de *softwares* de *Cost Management* como o *Bexel Manager* que, apesar de possuir uma interface bastante simples e direta, apresenta uma grande quantidade de funcionalidades distintas, sendo desta forma difícil organizar todos os dados do modelo sem qualquer experiência com este *software*.

Uma questão mencionada ao longo desta dissertação que se demonstrou muito relevante foi a interoperabilidade de *softwares*. Atualmente, o setor AEC ainda carece de regras e padrões universais na utilização do BIM e, para além disso, a oferta de *softwares* no mercado é bastante alargada, resultando numa grande diferença de ficheiros de arquivo e, consequentemente, numa grande dificuldade na troca de informações entre os vários intervenientes dos projetos de construção. Num projeto de grande porte e complexidade é comum o uso de várias ferramentas diferentes e, neste aspeto, o *Bexel Manager* demonstrou-se capaz de operar com os *softwares* mais utilizados pelas empresas de construção, nomeadamente o *Revit* para o desenho tridimensional e o *MS Project* para o planeamento construtivo, permitindo assim realizar um controlo financeiro de uma forma mais eficiente.

Ao longo da aplicação prática da metodologia proposta neste trabalho foi possível compreender que o ponto chave para o sucesso no controlo digital de empreitadas é, sem dúvida, o nível de desenvolvimento do modelo BIM. A especificação e a pormenorização do modelo tridimensional, neste caso construído no *Revit*, é fundamental para um controlo financeiro preciso e fiável. Uma das maiores dificuldades neste trabalho foi a tentativa de contornar o facto de existirem bastantes elementos importantes para o projeto de estruturas que não estavam modelados no *Revit*, tais como as cofragens e armaduras de todos os elementos de betão armado. A falta destes elementos na modelação inicial tem bastantes consequências no futuro controlo financeiro da obra. De facto, a extração de quantidades no *Bexel Manager* fica imediatamente comprometida visto que o volume de betão extraído não consegue contabilizar as áreas de cofragem e estará com um volume superior ao real pois as armaduras internas não estão modeladas. A falta de elementos modelados implica a criação de sistemas de classificação de custos que permitam diluir os custos das cofragens e das armaduras no custo total do betão, obtendo um custo total por m³ de objeto. Os métodos apresentados, apesar de não serem muito complexos, implicam erros na estimativa do orçamento total da obra, diminuindo a fiabilidade dos resultados.

Por último, a constante necessidade de atualização dos dados do modelo de forma a conseguir realizar um controlo da obra ao longo do seu desenvolvimento é ainda bastante desafiante. Em obras complexas este processo pode ser bastante moroso e necessita de especialistas no *software* utilizado de forma a conseguir introduzir no mesmo toda a informação obtida através dos autos de medição realizados em obra.

6.3. TRABALHOS FUTUROS

Atualmente, o controlo digital de empreitadas é um tema de elevada relevância e a utilização do BIM para esse fim demonstrou-se, apesar das dificuldades, bastante benéfico. No entanto, o aprofundamento do conhecimento nesta área e a tentativa de solucionar alguns dos problemas apresentados deve ser uma grande motivação por parte de todo o setor AEC. A integração do *Bexel Manager* nas equipas de fiscalização demonstrou um grande potencial e, desta forma, podem ser propostos trabalhos futuros utilizando o mesmo, visando solucionar as dificuldades encontradas e automatizar todos os processos envolvidos.

1. Um trabalho interessante seria a aplicação do terceiro método de classificação de custos proposto no Capítulo 4 desta dissertação num caso real. Este implicaria a utilização de uma grande quantidade de dados sobre as quantidades de betão, cofragens e armaduras de inúmeras obras distintas, construindo uma análise estatística de grande porte, permitindo avaliar as relações entre as quantidades de betão-cofragem e betão-armadura. Este trabalho iria fornecer uma estimativa bastante próxima dos valores reais, diminuindo significativamente os erros de custo causados pela falta da modelação de elementos estruturais essenciais para um projeto de construção. Utilizando os avanços tecnológicos atuais, este método poderia ser interligado com processos de *Machine Learning*, permitindo automatizar todo o processo, aperfeiçoando-o ao longo do tempo.
2. A utilização de métodos digitais mais avançados em parceria com o BIM poderia ser uma grande aposta no controlo ao longo do desenvolvimento da obra. Uma possibilidade seria a utilização de RA na elaboração dos autos de medição em obra, atualizando toda a informação através de uma aplicação no *smartphone*. Todos os dados alterados seriam automaticamente transmitidos para o modelo BIM 5D criado no *Bexel Manager*, atualizando as percentagens de progresso da obra e, consequentemente, o orçamento da mesma. Este seria um grande passo para a automatização de todo o processo de introdução e atualização de dados nos *softwares*, diminuindo significativamente a carga de trabalho envolvida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. Perera, X. Jin, P. Das, K. Gunasekara, and M. Samaratunga, *A strategic framework for digital maturity of design and construction through a systematic review and application*, *J Ind Inf Integr*, vol. 31, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.jii.2022.100413.
- [2] J. S. Brennen and D. Kreiss, *Digitalization*, in *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*, Wiley, 2016, pp. 1–11. doi: 10.1002/9781118766804.wbiect111.
- [3] S. Ofluoglu, O. O. Ozener, and U. Isikdag, Eds., *Advances in Building Information Modeling*, vol. 1188. in *Communications in Computer and Information Science*, vol. 1188. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-42852-5.
- [4] A. Soeiro, J. P. Martins, and A. Sidani, *Optimization tools and BIM: A marriage with a future?* in *4º congresso português de 'Building Information Modelling' vol. 2 - ptBIM*, UMinho Editora, 2022, pp. 73–80. doi: 10.21814/uminho.ed.77.6.
- [5] Y. Zhou, L. Ding, Y. Rao, H. Luo, B. Medjdoub, and H. Zhong, *Formulating project-level building information modeling evaluation framework from the perspectives of organizations: A review*, *Automation in Construction*, vol. 81. Elsevier B.V., pp. 44–55, Sep. 01, 2017. doi: 10.1016/j.autcon.2017.05.004.
- [6] <https://www.e-zigurat.com/blog/pt-br/perguntas-e-respostas-bim/> (accessed Mar. 08, 2023).
- [7] Y. Arayici, T. Fernando, V. Munoz, and M. Bassanino, *Interoperability specification development for integrated BIM use in performance based design*, *Automation in Construction*, vol. 85, pp. 167–181, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2017.10.018.
- [8] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, 2011.
- [9] R. Vanlande, C. Nicolle, and C. Cruz, *IFC and building lifecycle management*, *Automation in Construction*, vol. 18, no. 1, pp. 70–78, Dec. 2008, doi: 10.1016/j.autcon.2008.05.001.
- [10] M. Zhiliang, W. Zhenhua, S. Wu, and L. Zhe, *Application and extension of the IFC standard in construction cost estimating for tendering in China*, *Automation in Construction*, vol. 20, no. 2, pp. 196–204, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.autcon.2010.09.017.
- [11] A. Monteiro and J. P. Martins, *Building Information Modeling (BIM) - teoria e aplicação*, International Conference on Engineering UBI, 2011.
- [12] <https://biblus.accasoftware.com/ptb/as-dimensoes-do-bim-3d-4d-5d-6d-7d/> (accessed Mar. 08, 2023).
- [13] A. Monteiro and J. Poças Martins, *Linha de balanço - uma nova abordagem ao planeamento e controlo das actividades da construção*, 2011.
- [14] K. Zahran, O. Hosny, K. Zahran, M. Nour, and O. Hosny, *The Effect of Learning on Line of Balance Scheduling: Obstacles and Potentials Sustainable and Environmental Friendly Optimizer For Urban Landscaping (SEOUL) View project The Effect of Learning on Line of Balance Scheduling: Obstacles and Potentials*, *International Journal of Engineering Science and Computing*, 2016, doi: 10.4010/2016.889.
- [15] R. Calejo, *Apontamentos para a unidade curricular de fiscalização de obras - mestrado em engenharia civil - 2º ano-opção construções*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2022.

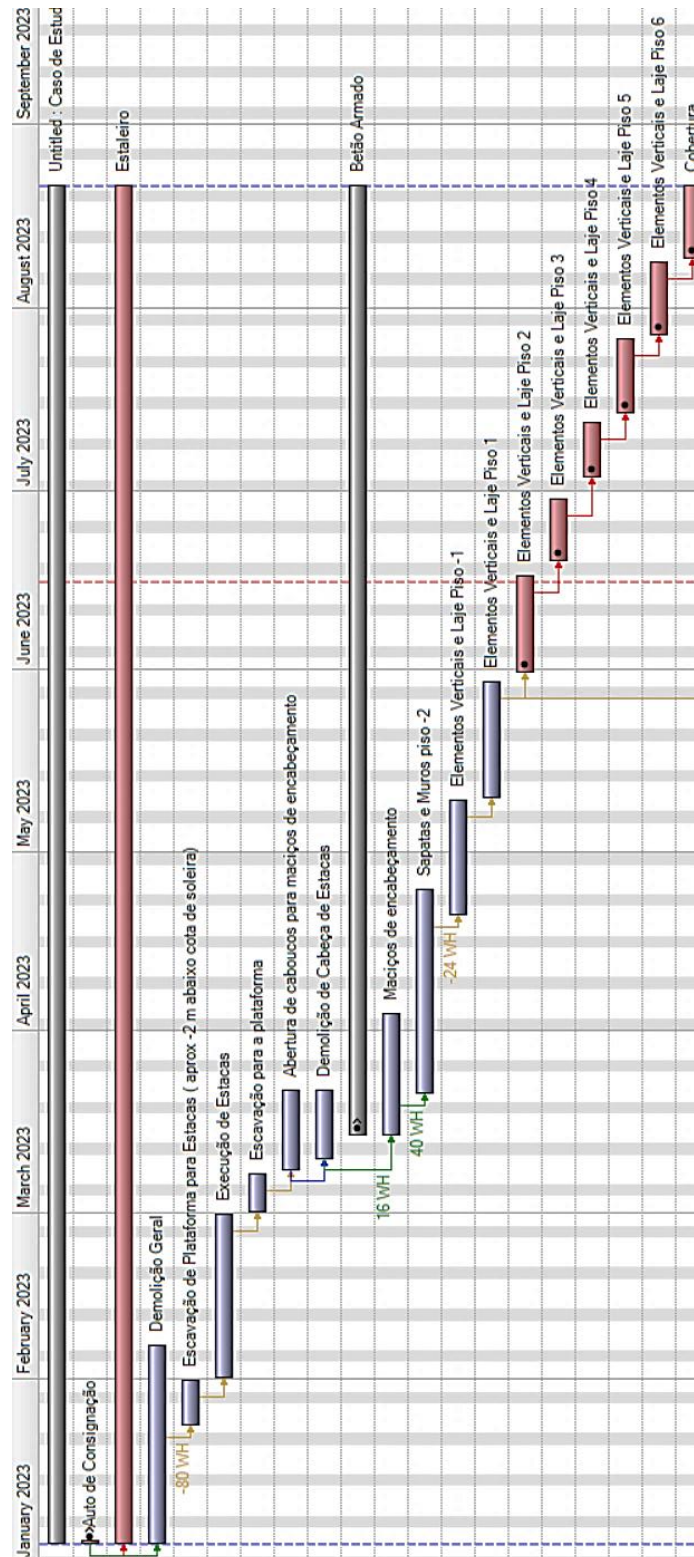
- [16] A. Monteiro and J. Poças Martins, *A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design*, *Automation in Construction*, vol. 35, pp. 238–253, 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2013.05.005.
- [17] D. Olsen and J. M. Taylor, *Quantity Take-Off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors*, *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2017, pp. 1098–1105. doi: 10.1016/j.proeng.2017.08.067.
- [18] C. Khosakitchalert, N. Yabuki, and T. Fukuda, *Automated modification of compound elements for accurate BIM-based quantity takeoff*, *Automation in Construction*, vol. 113, May 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103142.
- [19] J. Bedrick, W. Faia, P. E. Ikerd, and J. Reinhardt, “20 20 Level of development (lod) specification part i & commentary For Building Information Models and Data participating organizations Level of Development Specification LOD Spec 2020 Part I For Building Information Models,” 2020.
- [20] J. Abualdenien and A. Borrmann, *Levels of detail, development, definition, and information need: a critical literature review*, in *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 27, pp. 363–392, 2022, doi: 10.36680/j.itcon.2022.018.
- [21] M. Mekawy and F. Petzold, *BIM-based model checking in the early design phases of precast concrete structures*, in *CAADRIA 2018 - 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia: Learning, Prototyping and Adapting*, The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, 2018, pp. 71–80. doi: 10.52842/conf.caadria.2018.2.071.
- [22] Z. Ma, Z. Wei, and X. Zhang, *Semi-automatic and specification-compliant cost estimation for tendering of building projects based on IFC data of design model*, *Automation in Construction*, vol. 30, pp. 126–135, 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2012.11.020.
- [23] A. Ruiz-Zafra, K. Benghazi, and M. Noguera, *IFC+: Towards the integration of IoT into early stages of building design*, *Automation in Construction*, vol. 136. Elsevier B.V., Apr. 01, 2022. doi: 10.1016/j.autcon.2022.104129.
- [24] A. Batista, *Utilização de Ferramentas BIM no Planeamento de Trabalhos de Construção - Estudo de Caso*, *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.
- [25] R. Pinto Velho, *Implementação de metodologias BIM na preparação e controlo de obras - Utilização de Aplicação Android em Obra*, *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.
- [26] R. Otero, *Otimização do planeamento dos trabalhos MEP com recurso a modelos BIM*, *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2014.
- [27] D. T. Nguyen, J. S. Chou, and D. H. Tran, *Integrating a novel multiple-objective FBI with BIM to determine tradeoff among resources in project scheduling*, *Knowledge Based Systems*, vol. 235, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.knosys.2021.107640.
- [28] W. C. Wang, S. W. Weng, S. H. Wang, and C. Y. Chen, *Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support*, *Automation in Construction*, vol. 37, pp. 68–80, 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.009.

- [29] F. Hatori, K. Satou, J. Onodera, and Y. Yashiro, *Development of BIM-Based 4D Simulation System for Construction Schedule Planning*, in *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, 2021, pp. 547–560. doi: 10.1007/978-3-030-51295-8_39.
- [30] L. R. de A. Cardoso, T. de M. L. Rios, T. Z. Mognhol, and A. V. Marostica, *Strategic Planning of Work and the Use of 4D BIM for Multiple Floor Buildings*, in *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, 2021, pp. 594–612. doi: 10.1007/978-3-030-51295-8_42.
- [31] G. Guignone, H. Rocha, J. L. Calmon, and W. Araújo, *Soluções para projetos de engenharia em BIM para aeroportos. Estudo de caso do aeroporto de Vitória*, in *4º congresso português de “Building Information Modelling” vol. 2 - ptBIM*, UMinho Editora, 2022, pp. 312–322. doi: 10.21814/uminho.ed.77.27.
- [32] F. Madruga and S. Ribeiro, *O BIM aplicado no planeamento em obra de habitação de interesse social: estudo de caso*, in *3º Congresso Português de “Building Information Modelling” – ptBIM*, 2020, doi: 10.24840/978-972-752-272-9
- [33] L. Lima Vieira, *Coordinated specification and quantity take-off through digital modelling*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2020.
- [34] C. Khosakitchalert, N. Yabuki, and T. Fukuda, *Improving the accuracy of BIM-based quantity takeoff for compound elements*, *Automation in Construction*, vol. 106, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.102891.
- [35] A. Akcamete, Y. Çepni, Y. Cepni, and R. Klein, *Automated BIM-based Formwork Quantity Take-Off A framework for evaluation and generation of navigation models for map-matching of indoor positioning data View - project automated bim-based formwork quantity take-off*, 2020.
- [36] P. Fernandes, *Metodologias BIM no controlo financeiro de empreitadas*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2022.
- [37] A. C. Martins Da Silva, *BIM na Gestão de Obra: Digitalização 3D como Ferramenta integrada para o controlo do Planeamento e Orçamentação da Obra*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2017.
- [38] R. Poças, *Planeamento e controlo de projetos de construção com recurso ao BIM*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2015.
- [39] D. Coelho, *Utilização do BIM 4D e 5D enquanto metodologia avançada para o planeamento, preparação e monitorização de obras*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2016.
- [40] J. Oliveira, *A utilização do BIM na otimização do planeamento operacional dos projetos e o seu contributo na organização*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2016.
- [41] T. Žigo and L. Gong, *Vico Workflow - 5D BIM Case Study from Estimator’s Perspective*, Autodesk University, 2017.
- [42] A. Kehily, D. Kehily, and J. Underwood, *Embedding life cycle costing in 5D BIM*, *Journal of Information Technology in Construction*, 2017.
- [43] K. C. Wang, W. C. Wang, H. H. Wang, P. Y. Hsu, W. H. Wu, and C. J. Kung, *Applying building information modeling to integrate schedule and cost for establishing construction progress curves*, *Automation in Construction*, vol. 72, pp. 397–410, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.10.005.

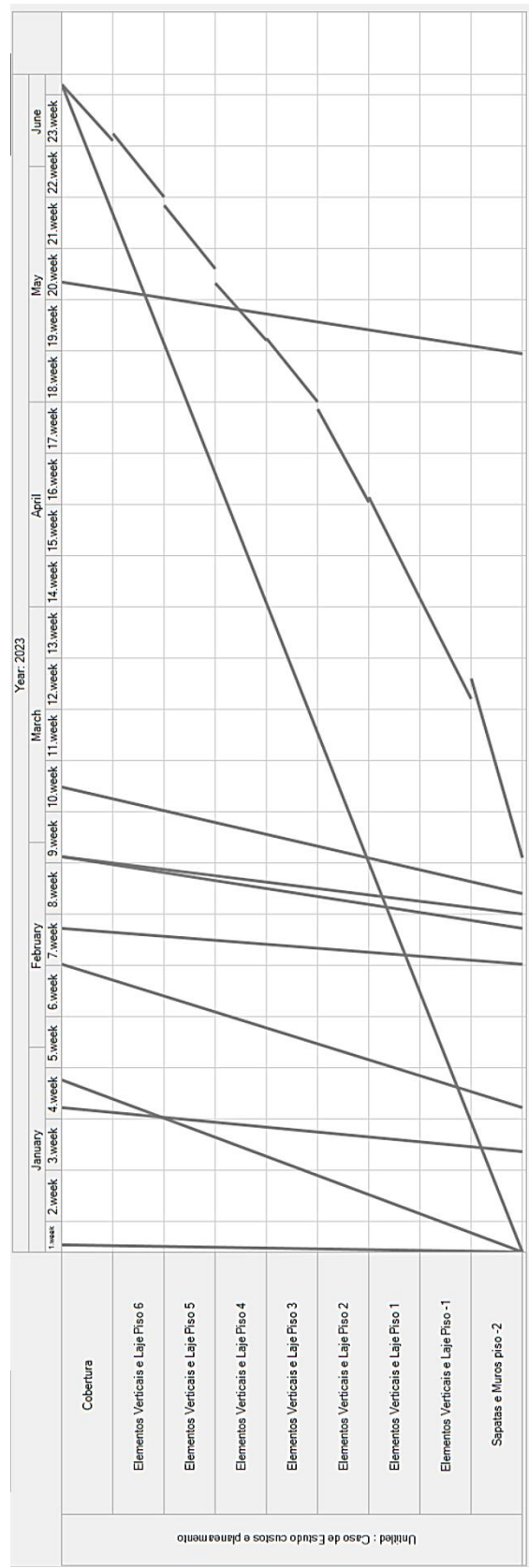
- [44] M. C. F. Santos, D. B. Costa, and E. de A. M. Ferreira, *Conceptual Framework for Integrating Cost Estimating and Scheduling with BIM*, in *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, 2021, pp. 613–625. doi: 10.1007/978-3-030-51295-8_43.
- [45] M. Sadeghi and M. Lu, *Time-Cost Trade-off Optimization Incorporating Accident Risks in Project Planning*, in *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, 2021, pp. 643–653. doi: 10.1007/978-3-030-51295-8_45.
- [46] F. Lima, S. Roux, J. Marcelo, and A. Calheiros, *Digitalização da construção em Portugal: a nova sede da phc no taguspark*, in *3º Congresso Português de “Building Information Modelling” – ptBIM*, 2020, doi: 10.24840/978-972-752-272-9
- [47] https://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_dos_m%C3%AAnimos_quadrados (accessed Jun. 04, 2023).

ANEXOS

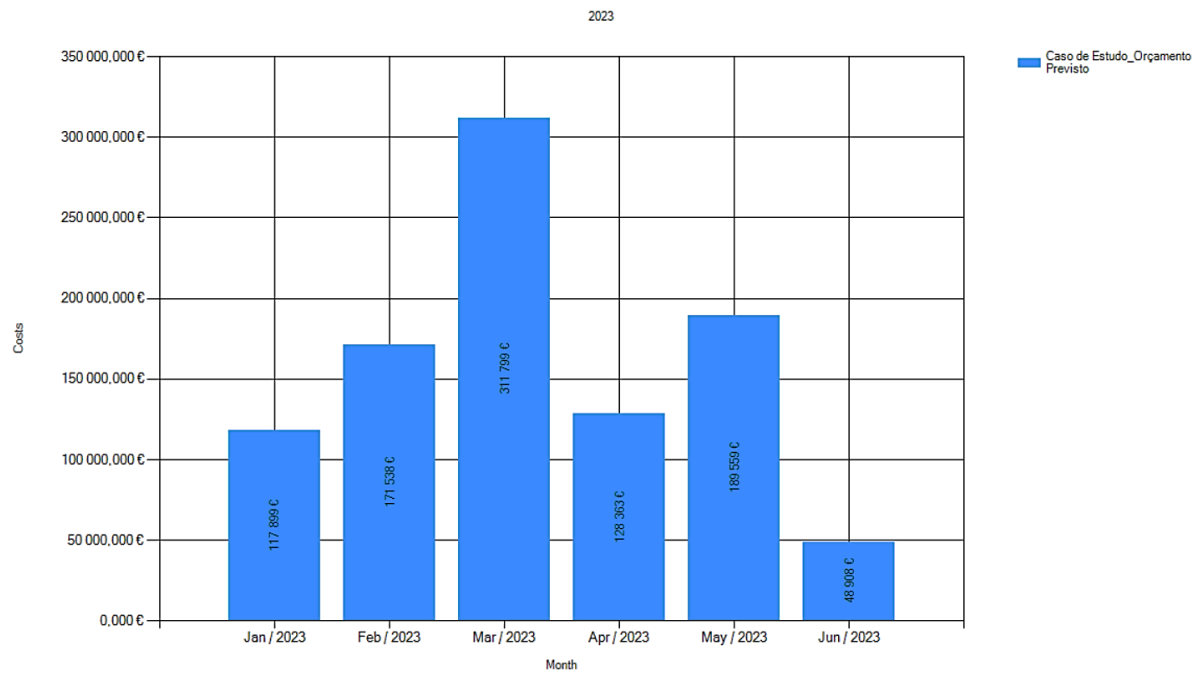
A.1. DIAGRAMA DE GANTT DA CONSTRUÇÃO PREVISTA



A.2. LINHAS DE BALANÇO DA CONSTRUÇÃO PREVISTA



A.3. GRÁFICO DE BARRAS DO ORÇAMENTO PREVISTO DA OBRA



A.4. GRÁFICO DE LINHAS DA PREVISÃO DO CUSTO ACUMULADO DA OBRA

