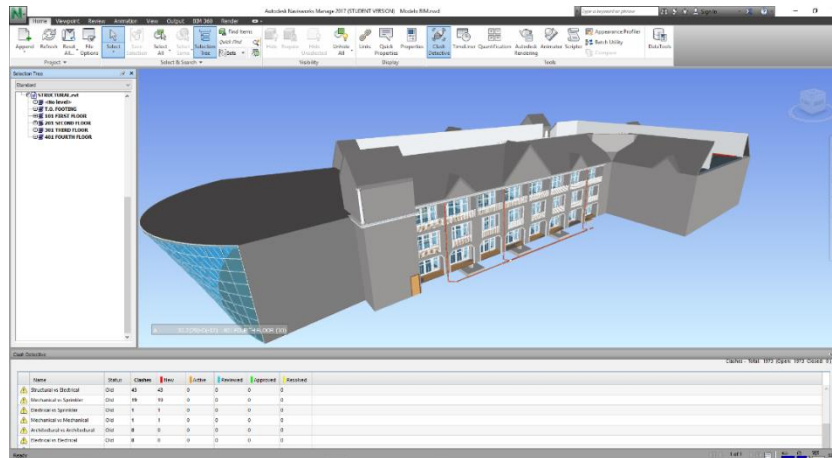




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Aplicação da Metodologia BIM a um Caso de Estudo através do software Autodesk Navisworks

DANIEL CARDEAL CARREIRÓ

Licenciado em Engenharia Civil

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Edificações.

Orientador:

Doutor Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

Júri:

Presidente: Doutor Luciano Alberto do Carmo Jacinto

Vogais: Doutor Carlos Manuel Moura Penim Loureiro

Doutor Pedro Miguel Soares Raposeiro da Silva

Setembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, orientador e a todos os que conheci ao longo do curso.

RESUMO

A metodologia BIM (Building Information Modeling), tem vindo a ganhar uma grande importância na indústria da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). Este conceito introduz alterações muito significativas na forma em como atualmente se aborda a conceção, a construção e a manutenção de edifícios.

À medida que o BIM tem ganho popularidade nos últimos anos, a sua incorporação nos programas de ensino tem sido vital para o avanço e para a preparação dos alunos.

No entanto, apesar da sua emergente utilização, não existem neste momento normas de boas práticas para a sua implementação em Portugal.

O BIM tem como princípios a integração nas fases do processo construtivo e no trabalho colaborativo entre todas as especialidades envolvidas na fase de projeto, apoiada por aplicações de visualização tridimensional. O grande potencial do conceito BIM está também na normalização da informação, sendo suportada entre outros aspetos na forma como se devem modelar os objetos.

Um modelo BIM 3D permite a junção de todas as especialidades num só modelo, sendo possível a compatibilização e a coordenação entre as diferentes especialidades e a análise de conflitos num projeto de engenharia.

O conceito de BIM 4D surge como uma melhoria na gestão da construção, permitindo aos profissionais a visualização e a simulação do processo construtivo antes da sua execução.

O BIM 5D tem como principal vantagem a extração de relatórios de quantidades diretamente do modelo e a elaboração do orçamento baseado nessas quantidades e no tempo.

Pretende-se, assim, clarificar a metodologia BIM recorrendo a um caso de estudo e à aplicação prática da metodologia BIM através do *software* Autodesk Navisworks.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, NAVISWORKS, REVIT, COORDENAÇÃO, SIMULAÇÃO, CUSTOS

ABSTRACT

BIM (Building Information Modeling) methodology has gained a great importance in the AEC (Architecture, Engineering and Construction) industry. This concept introduces very significant changes on the design, construction and maintenance of buildings projects.

As BIM has gained popularity in recent years, its incorporation into education programs has been vital to the advancement and preparation of students.

Despite its emerging use, there are currently no good practice standards for its implementation in Portugal.

BIM has as its principles the integration of the phases on construction process and the collaborative work of all disciplines involved during design phase, supported by three-dimensional visualization applications. The great potential of BIM concept is also the normalization of information, which supports, among other aspects, the normalization on how objects should be modeled.

A BIM 3D model allows the joining of all the disciplines in a single model, allowing compatibility and coordination between different disciplines and the analysis of conflicts in an engineering project.

BIM 4D concept emerges as a breakthrough and improvement in construction management, allowing professionals to visualize and simulate the construction process before its execution.

The main advantage of BIM 5D is the extraction quantities reports directly from the model and the elaboration of costs based on these quantities.

The aim of this work is to clarify BIM methodology and its application through Autodesk Navisworks *software* on a case study.

KEYWORDS: BIM, NAVISWORKS, REVIT, COORDINATION, SIMULATION, COSTS

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Organização da dissertação	2
2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	3
2.1. Considerações Iniciais	3
2.2. O conceito de BIM.....	4
2.3. BIM e a modelação paramétrica	6
2.4. Interoperabilidade.....	7
2.5. Level of Development (LOD)	8
2.6. Implementação do BIM.....	10
2.6.1. Vantagens do BIM	10
2.6.3. Desvantagens do BIM.....	13
2.7. BIM em Portugal.....	15
3. AS DIMENSÕES DO BIM	16
3.1. Modelo BIM 3D- Conflito entre especialidades	16
3.1.1. Metodologia Tradicional	16
3.1.2. Metodologia BIM 3D	17
3.2. Modelo BIM 4D - Planeamento da construção	18
3.2.1. Metodologia Tradicional	18
3.2.2. Metodologia BIM 4D	19
3.3. Modelo BIM 5D - Estimativa de custos	21
3.3.1. Metodologia Tradicional	21
3.3.2. Metodologia 5D.....	22
4. CASO DE ESTUDO	24
4.1. Introdução	24
4.2. Caracterização do modelo tridimensional.....	24
4.3. Caracterização do Navisworks	25
4.3.1. Versões do Navisworks	26
4.3.2. Formatos de ficheiro do Navisworks.....	27
4.3.3. Interface do utilizador	27
4.4. Importação dos arquivos Revit para o Navisworks.....	28
4.5. Análise BIM 3D - Detecção de conflitos entre especialidades.....	31

4.5.1. Introdução	31
4.5.2. Apresentação do Clash Detective	32
4.5.3. 1º Passo - Criação do teste.....	33
4.5.4. 2º Passo –Definição dos elementos em teste (Separador Select)	33
4.5.5. 3º Passo – Definição de regras de interferência (Separador Rules).....	37
4.5.6. 4º Passo: Visualização dos conflitos detetados (Separador Results)	37
4.5.7. 5º Passo: Criação de relatórios de interferências (Separador Report)	43
4.5.8. Interferências detetadas no modelo em estudo.....	45
4.5.8.1. Interferências entre elementos de especialidades diferentes.....	47
4.5.8.2. Interferências entre elementos da mesma especialidade	56
4.5.9. Resolução de conflitos	60
4.6. Análise BIM 4D - Planeamento de construção.....	62
4.6.1. Introdução	62
4.6.2. Apresentação do TimeLiner	63
4.6.3. 1º Passo - Criação do cronograma de construção	64
4.6.3.1. Método 1 – Importação do planeamento através de um software exterior	64
4.6.3.1.1. Planeamento no MS Project	64
4.6.3.1.2. Atribuição de um Task ID a um elemento no Revit.....	65
4.6.3.1.3. Conclusão do planeamento no MS Project.....	68
4.6.3.1.4. Importação do cronograma de construção do MS Project para o Navisworks (Separador Data Sources).....	68
4.6.3.1.5. Remapeamento dos campos no Field Selector	69
4.6.3.1.6. Alterações no planeamento de construção	70
4.6.3.1.7. Visualização do planeamento de construção no Navisworks	70
4.6.3.2. Método 2: Planeamento manual no Navisworks (Separador Tasks)	70
4.6.4. 2º Passo: Criação de Sets	73
4.6.5. 3º Passo – Interligação entre as atividades e os elementos do modelo.....	74
4.6.5.1. Interligação através de Sets	74
4.6.5.2. Interligação através do “Task ID”	75
4.6.6. 4º Passo: Simulação 4D do processo construtivo (Separadores Configure e Simulation)	77
4.6.7. Introdução de alterações no cronograma de construção.....	82
4.6.8. Monitorização do tempo: Planeado Vs. Real.....	82
4.6.9. Utilização de Estaleiro	85
4.6.9.1. Simulação do funcionamento de gruas.....	86

4.6.9.2. Introdução da grua na simulação 4D	89
4.7. Análise BIM 5D – Quantificação	90
4.7.1. 1º Passo - Criação do projeto	90
4.7.2. 2º Passo - Personalização do projeto	92
4.7.2.1. Quantification Workbook	93
4.7.2.2. Item Catalog	94
4.7.2.3. Resource Catalog	95
4.7.2.4. Introdução de fórmulas nos catálogos de itens e recursos	96
4.7.3. 3º Passo – Importação dos elementos do modelo para o catálogo	97
4.7.3.1. Model Takeoff de elementos existentes no modelo	97
4.7.3.2. Virtual Takeoff de elementos em falta no modelo	99
4.7.4. 4º Passo - Atribuição de recursos aos itens	100
4.7.5. 5º Passo - Análise de mudanças no modelo	102
4.7.6. 6º Passo - Exportação de relatórios de quantificação	104
5. CONCLUSÕES	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Troca de informação entre os vários Intervenientes (adaptado de (Barbosa, 2014)).....	4
Figura 2 - BIM no ciclo de vida da construção (adaptado de (Papadopoulos, 2014))	5
Figura 3 - Níveis de desenvolvimento aplicados a uma cadeira (adaptado de (Barbosa, 2014)).....	9
Figura 4- As dimensões do BIM (adaptado de (Berdeja, 2014))	16
Figura 5- Análise de conflitos entre especialidades em mesas de luz (adaptado de (Berdeja, 2014))	17
Figura 6- Abordagem Big Room Approach na análise de conflitos entre especialidades	18
Figura 7- Criação do Modelo 4D (adaptado de (Poças, 2015))	20
Figura 8- Elementos temporários de segurança e saúde no trabalho (adaptado de (Velasco, 2013))	21
Figura 9 - Quantificação dos elementos associados ao modelo (adaptado de (Jiang, 2011))	22
Figura 10 - Processo integrado de BIM 5D (adaptado de (Barbosa, 2014)).....	23
Figura 11- Vista 3D do modelo tridimensional	25
Figura 12- Formatos de ficheiro do Navisworks	27
Figura 13- Interface do Navisworks	28
Figura 14- Exportação dos modelos Revit para o formato NWC	28
Figura 15 - Comando Open	29
Figura 16- Comando Append	29
Figura 17- Criação de ficheiros do tipo NWC	30
Figura 18- Modelo BIM importado para o software Navisworks.....	30
Figura 19- Formatos NWD e NWF do modelo BIM.....	31
Figura 20- Units and Transform	31
Figura 21- Clash Detective	32
Figura 22- Interface do Clash Detective	32
Figura 23- Clash Detective - Separador Select	34
Figura 24- Opções de visualização dos elementos dos projetos	34
Figura 25- Selection A e Selection B	34
Figura 26- Opções de interferências entre elementos	35
Figura 27- Settings	35
Figura 28- Type	36
Figura 29- Link.....	37
Figura 30- Ignore Clashes Between.....	37
Figura 31- Clash Detective - Separador Results	38
Figura 32- Nome, visualização e comentários do conflito	38
Figura 33- Estado do conflito	39
Figura 34- Lista de comandos no separador Select	39
Figura 35- New Group.....	39
Figura 36- Assign Clash	40
Figura 37- Add comment.....	40
Figura 38- Separador expansível Display Settings	41
Figura 39- Highlight all clashes.....	41
Figura 40- Isolation	42
Figura 41- Viewpoint	42
Figura 42- Separador expansível Items	43
Figura 43- Clash Detective - Separador Report.....	43
Figura 44- Contents	44
Figura 45- Ficheiro HTML.....	45
Figura 46- Interferências entre elementos de especialidades diferentes	45
Figura 47- Interferências entre elementos da mesma especialidade	46

Figura 48- Detecção de objetos duplicados.....	46
Figura 49- Arquitetura Vs. Estrutura.....	47
Figura 50- Arquitetura Vs. Instalações Mecânicas.....	48
Figura 51- Verificação da colocação do sistema de ar condicionado.....	48
Figura 52- Arquitetura Vs. Redes de Incêndio.....	49
Figura 53- Estrutura Vs. Instalações Mecânicas.....	50
Figura 54- Arquitetura Vs. Instalações Elétricas.....	51
Figura 55- Modelação incorreta no projeto de arquitetura.....	51
Figura 56- Instalações Elétricas Vs. Instalações Mecânicas.....	52
Figura 57- Estrutura Vs. Redes de Incêndio.....	53
Figura 58- Colocação incorreta do projeto de redes de incêndio.....	54
Figura 59- Estrutura Vs. Instalações Mecânicas.....	54
Figura 60- Instalações Mecânicas Vs. Redes de Incêndio.....	55
Figura 61- Instalações Elétricas Vs. Redes de Incêndio.....	56
Figura 62- Arquitetura Vs. Arquitetura.....	57
Figura 63 - Instalações Mecânicas Vs. Instalações Mecânicas.....	58
Figura 64- Redes de Incêndio Vs. Redes de Incêndio.....	58
Figura 65- Instalações Elétricas Vs. Instalações Elétricas.....	59
Figura 66- Estrutura Vs. Estrutura.....	59
Figura 67- Estrutura Vs. Redes de Incêndio - Clash 49.....	60
Figura 68- Comando SwitchBack no Revit.....	60
Figura 69- Comando Switchback no Navisworks.....	61
Figura 70 – Resolução do conflito Revit.....	61
Figura 71- Visualização do conflito resolvido no Navisworks.....	61
Figura 72- TimeLiner.....	62
Figura 73- Interface do TimeLiner.....	63
Figura 74- Colunas necessárias no ficheiro de MS Project.....	65
Figura 75- Revit - Comando Project Parameters.....	65
Figura 76- Revit - Janela Parameter Properties.....	65
Figura 77- Revit - Parameter Properties - Edit Shared Parameters.....	66
Figura 78- Revit - Paramer Properties - Edit Shared Parameters - New Parameter Group.....	66
Figura 79- Revit - Parameter Properties.....	67
Figura 80- Revit - Criação do campo "Task ID".....	67
Figura 81- Atribuição do Task ID às atividades do cronograma de construção.....	67
Figura 82- Cronograma de construção no MS Project.....	68
Figura 83- Importação do cronograma de construção.....	68
Figura 84- TimeLiner - Separador Data Sources.....	69
Figura 85- Remapeamento dos campos no Field Selector.....	69
Figura 86- Atualização do cronograma de construção.....	70
Figura 87- Cronograma de construção no TimeLiner.....	70
Figura 88- TimeLiner - Separador Tasks.....	71
Figura 89- TimeLiner - Comandos do Separador Tasks.....	71
Figura 90- Comando Sets.....	73
Figura 91- Criação de Sets.....	74
Figura 92- Attached - Sets.....	75
Figura 93- Selection Tree - Properties - Task ID.....	75
Figura 94- Rules Editor.....	76
Figura 95- TimeLiner Rules.....	76
Figura 96- Attached - Explicit Selection.....	77
Figura 97- TimeLiner - Separador Configure.....	78

Figura 98- Simulação 4D.....	78
Figura 99- Navegação durante a Simulação 4D	79
Figura 100- TimeLiner - Comandos do separador Simulate	79
Figura 101-Animation Export	80
Figura 102- Simulation Settings	81
Figura 103- Overlay Text	82
Figura 104- Relações entre atividades planeadas e reais	83
Figura 105- Relações entre atividades planeadas e reais no TimeLiner	83
Figura 106- "Early Appearance" e "Late Appearance" no Separador Configure	85
Figura 107 - Visualização de atividades com construção atrasada e adiantada.....	85
Figura 108- Importação de uma grua na "Selection Tree"	86
Figura 109- Posicionamento e rotação da grua.....	87
Figura 110- Comando Animator.....	87
Figura 111- Interface do comando Animator	87
Figura 112- Criação da rotação da grua.....	88
Figura 113- Personalização da rotação da grua	88
Figura 114- Opções Loop e "P.P."	89
Figura 115- Introdução da grua no cronograma de construção	89
Figura 116- Quantification	90
Figura 117 - Quantification Workbook - Project Setup.....	90
Figura 118- Seleção do catálogo	91
Figura 119- Catálogo Unifomat	91
Figura 120- Seleção das unidades de medida	92
Figura 121- Associação de propriedades às unidades	92
Figura 122 - Quantification Workbook	93
Figura 123- Lista de comandos do Quantification Workbook.....	93
Figura 124- Item Catalog.....	94
Figura 125- Lista de comandos do Item Catalog.....	95
Figura 126- Resource Catalog	96
Figura 127- Lista de comandos do Resource Catalog	96
Figura 128- Introdução de fórmulas nos catálogos.....	97
Figura 129- Importação das sapatas isoladas do modelo para o item "Sapatas isoladas"	98
Figura 130- Referência GUID da sapata corrida selecionada.....	98
Figura 131- Ausência da referência GUID nas sapatas isoladas	99
Figura 132 - Mensagem de erro na importação de elementos	99
Figura 133 - Referência GUID da sapata isolada selecionada.....	99
Figura 134- Virtual Takeoff	100
Figura 135 -Viewpoint criado para da porta em falta no modelo	100
Figura 136- Atribuição de recursos	101
Figura 137- Master Resource List	101
Figura 138- Visualização dos recursos no Item Catalog	101
Figura 139- Alteração do tamanho e tipo de portas no projeto de arquitetura.....	102
Figura 140- Notificação dos itens alterados	103
Figura 141- Identificação da alteração de medidas	103
Figura 142- Atualização do relatório de quantificação após aprovadas as alterações	103
Figura 143- Exportação de relatórios de quantificação	104
Figura 144- Relatório de quantificação	104

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A execução de um projeto de engenharia conta com a participação de diversos intervenientes de diferentes especialidades. Cada um destes intervenientes realiza o respetivo projeto de forma desconectada dos restantes, sendo por isso necessária a compatibilização dos projetos.

O CAD bidimensional ainda é a ferramenta mais comum no desenvolvimento de projetos em Portugal, tanto no projeto de arquitetura quanto nas restantes especialidades. A documentação final do projeto é obtida a partir da junção do conteúdo técnico das diferentes disciplinas, levando à fragmentação da informação entre os diversos projetos e documentos.

Surge assim a necessidade de melhorar os atuais processos de trabalho praticados na indústria da arquitetura, engenharia e construção, caracterizados pela ineficiente capacidade cooperativa entre os diversos intervenientes no projeto devido à inexistência de uma plataforma de trabalho em comum, provocando imprecisões no projeto e consequentes prejuízos em termos de tempo e custos, o que levou ao aparecimento da metodologia BIM - "Building Information Modeling".

1.2. Objetivos

O âmbito do presente trabalho foca-se na aplicação da metodologia BIM a um caso de estudo e na demonstração da sua implementação no projeto. Numa primeira fase é importado o projeto, fornecido pela Autodesk e realizado no *software* Revit, para o *software* Navisworks sendo posteriormente gerado o modelo 3D do edifício.

Um modelo BIM permite a junção de todas as especialidades de um projeto, sendo realizada uma análise aos conflitos encontrados e a sua metodologia de resolução. Posteriormente, é atribuído a este modelo um planeamento de construção e é feita uma extração de relatórios de quantidades.

Este trabalho tem como objetivo perceber em que sentido a metodologia BIM pode beneficiar a execução de um projeto comparativamente com as técnicas tradicionais, recorrendo à aplicação prática dos conceitos de BIM 4D e BIM 5D a um caso de estudo.

A aplicação prática da metodologia BIM é realizada através do *software* Autodesk Navisworks Manage 2017. Adicionalmente, são utilizados os *softwares* MS Project 2017 e MS Excel 2017 para a realização do planeamento de construção e onde são gerados os relatórios de quantidades. Recorreu-se aos arquivos do projeto realizado no *software* Autodesk Revit 2017 para a aplicação das funcionalidades oferecidas pelo *software* Autodesk Navisworks Manage 2017.

1.3. Organização da dissertação

A estrutura do presente trabalho está dividida em 4 capítulos.

No primeiro capítulo, do qual faz parte a presente introdução, pretende-se fazer um enquadramento geral sobre a metodologia BIM e são referidos os objetivos gerais a atingir.

No segundo capítulo é feito um levantamento bibliográfico onde é apresentada a metodologia BIM e a sua importância nas diferentes fases de projeto. Seguidamente, é enaltecida a importância da modelação paramétrica para a concretização da metodologia BIM e da interoperabilidade, conceito com o qual está relacionada a capacidade de transmissão de dados e partilha de informação entre os diversos intervenientes. Pretende-se também caracterizar o nível de desenvolvimento de um objeto BIM e analisar as vantagens e dificuldades da implementação do BIM para os diferentes intervenientes de um projeto. Por fim, é feito um levantamento do estado do BIM em Portugal.

No terceiro capítulo é feita uma abordagem relativamente às dimensões do BIM, onde são caracterizados os conceitos de BIM 3D, BIM 4D e BIM 5D e as respetivas vantagens comparativamente com os processos tradicionais na execução de um projeto.

No quarto e último capítulo do presente trabalho é feita a implementação da metodologia BIM aplicada a um caso prático, fornecido pela Autodesk, sendo descritos e ilustrados todos os passos necessários e demonstrados todos os resultados obtidos.

2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

2.1. Considerações Iniciais

Para se entender o conceito de BIM, há que olhar primeiro para a forma como funciona atualmente a indústria da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). Esta depende, em grande parte, da comunicação entre os diversos intervenientes através de documentos em papel, o que origina erros de projeto. Esta troca de informação entre os vários intervenientes do projeto pode atingir um nível de complexidade tal que acaba por não ser gerida da melhor forma (Sá, 2014).

O setor da AEC é assim caracterizado pela ineficiência e baixa produtividade, e pela oposição que oferece em adotar novas tecnologias que permitam torna-lo mais competitivo, coordenado e interoperável (Mota, 2015).

Uma parte significativa da ineficiência e baixa produtividade nesta área tem origem na inadequada gestão da informação e numa má gestão das atividades (Otero, 2014).

Com o aparecimento dos computadores veio a constante evolução nas tecnologias informáticas na indústria AEC. Este desenvolvimento proporcionou o aparecimento de várias ferramentas de trabalho, como o desenho assistido por computador (CAD - "*Computer-Aided Design*") ou *softwares* de cálculo estrutural, que hoje em dia são vistos como ferramentas essenciais com vista à eficácia das metodologias de trabalho (Tarrafa, 2012).

A crescente complexidade dos trabalhos dá origem ao aparecimento de novos *softwares* e novas metodologias de trabalho com um pensamento mais focado nas relações entre os diversos intervenientes, com o objetivo de tornar a indústria cada vez mais eficiente e economicamente viável (Jiang, 2011).

A metodologia BIM pretende alterar o modo de pensamento da elaboração de um projeto, de forma a dar resposta à necessidade de melhoria dos processos atuais de trabalho (Fontes, 2014).

O objetivo da metodologia BIM é o de tornar o projeto comum a todas as especialidades, abolindo o conceito de diversos projetos separados. Esta metodologia assenta na criação de um modelo virtual que, entre muitas outras capacidades, permite a partilha de informação entre todos os intervenientes e fases do projeto. Na Figura 1 é ilustrada a diferença na troca de informação dos intervenientes de um projeto entre a metodologia tradicional e a metodologia BIM (Barbosa, 2014).

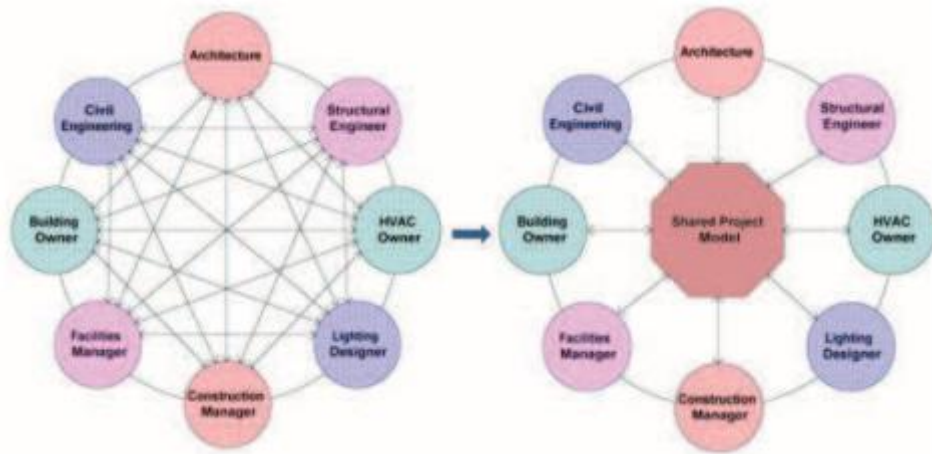


Figura 1 - Troca de informação entre os vários Intervenientes (adaptado de (Barbosa, 2014))

2.2. O conceito de BIM

A definição de BIM não é única e consensual uma vez que são várias as fontes com perspetivas diferentes por se tratar de uma metodologia em contínuo desenvolvimento (Jiang, 2011).

Atualmente, o BIM gera confusão entre quem inicia um primeiro contato com este conceito por pensar que se trata de um *software*, o que é incorreto. O conceito teórico de BIM é apenas aplicável através de *softwares* desenvolvidos para o efeito, tratando-se de uma metodologia baseada em sistemas de informação (Poças, 2015).

É importante referir que o conceito BIM pode ser interpretado como “Building Information Modeling” ou “Building Information Model”. Enquanto que o primeiro se refere ao processo de introdução e partilha de informação entre os profissionais para a melhoria de procedimentos, o segundo relaciona-se com um modelo contendo todas as informações relevantes (Sá, 2014).

As primeiras teorias sobre modelação de dados de produtos de construção surgiram nos finais dos anos 70 do século XX, pelo Professor Charles M. Eastman que cria o conceito "Building Product Model" (Chelson, 2010).

O termo "Building Information Modeling" foi utilizado pela primeira vez por Phil Bernstein, arquiteto e consultor da Autodesk (Barbosa, 2014). O termo foi depois popularizado por Jerry Laiserin, um analista da indústria da construção, para a representação digital dos processos de construção. Segundo alguns autores, a primeira aplicação dos princípios BIM esteve presente na aplicação ArchiCAD, produzida em 1987 pela empresa Graphisoft sob o conceito de "Virtual Building" (Tarrafa, 2012).

Segundo Chuck Eastman, a quem Laiserin intitulou como sendo o "Pai do BIM" , o conceito "Building Information Modeling" assenta numa mudança de paradigma que tem forte impacto, não só na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), mas também para o cliente e utilizador, pela sua contribuição para a obtenção de melhores obras de engenharia com um menor consumo de matéria-prima e energia, proporcionando uma atividade mais eficaz e funcional (Berdeja, 2014).

Segundo Williem Kymmell, o BIM é uma representação virtual do edifício, contendo toda a informação necessária para a sua construção, apoiada na utilização de *hardware* e *softwares* adequados (Berdeja, 2014). Trata-se de uma metodologia de trabalho baseada num modelo digital virtual, onde é possível simular o produto final de uma construção contendo toda a informação fornecida pelos diversos autores do projeto (Barbosa, 2014).

O organismo National Institute of Building Sciences (NIBS), define o BIM como um "processo de planeamento, projeto, construção e manutenção enriquecido pelo suporte informático de um modelo digital que contém toda a informação adequada, criada ou recolhida sobre o empreendimento, num formato padronizado utilizável por todos os intervenientes ao longo do seu ciclo de vida " (Berdeja, 2014).

A Figura 2 ilustra o processo integrado BIM, onde os intervenientes exploram um modelo conceptual antes da fase de construção. A partilha de informação e a coordenação é utilizada em todo o processo de conceção do projeto. Tal possibilita uma melhor perceção de aspetos relevantes tais como custos, planeamento e construção, operação e manutenção, fabricação e demolição (Papadopoulos, 2014).

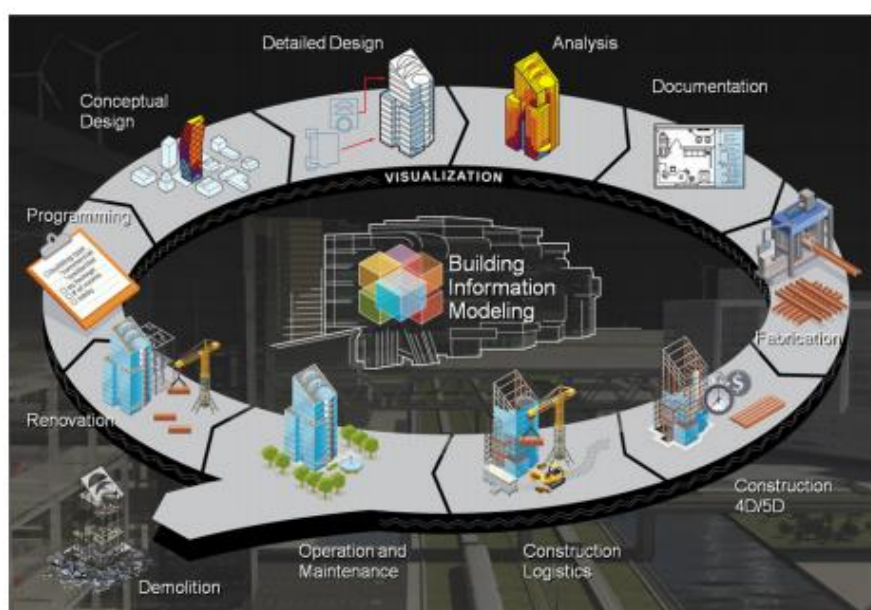


Figura 2 - BIM no ciclo de vida da construção (adaptado de (Papadopoulos, 2014))

2.3. BIM e a modelação paramétrica

A metodologia BIM é um processo que consiste fundamentalmente em reformular a maneira como o empreendimento é projetado e concebido (Chelson, 2010).

A essência do projeto de um edifício passa pelas relações que podem ser incluídas no modelo da construção, sendo que a criação e a manipulação dessas relações correspondem ao ato de projetar (Mota, 2015).

O processo BIM colaborativo utiliza uma única base de dados através de um sistema de modelos computacionais tridimensionais compartilhados por toda a equipa, substituindo os desenhos independentes bidimensionais desenvolvidos através do CAD tradicional (Papadopoulos, 2014).

A necessidade de criar um modelo representativo dos processos de construção levou ao abandono da simples representação de elementos através de linhas, formas e texto (técnicas tradicionais de CAD) e à representação de um modelo como uma associação de elementos individuais através de uma modelação orientada por objetos, numa forma idêntica a como estes interagem entre si (Baia, 2015).

Os princípios BIM aplicam-se a tudo o que é construído, incluindo vias de comunicação. Um modelo 3D de uma estrada pode fornecer um conjunto de características associadas a cada elemento estrutural e não apenas um conjunto de pontos e linhas (Joannides, 2011).

No modelo BIM, são atribuídas informações sobre o tipo de objeto e propriedades dos materiais relevantes para a finalidade do projeto. Alguns exemplos presentes num projeto estrutural são (Papadopoulos, 2014):

- Tipo de material – vigas, pilares, lajes e paredes;
- Propriedades do material – módulo de elasticidade, tensão de escoamento, densidade e propriedades térmicas;
- Propriedades da geometria – altura, largura, área e volume.

Este tipo de informação é inserida para que possa ser consultada sempre que for necessário. A modelação paramétrica permite que todas as informações contidas no modelo possam ser extraídas de forma consistente, pois são provenientes de uma única representação da construção (Papadopoulos, 2014).

Num modelo BIM a informação encontra-se interligada por relações paramétricas, o que significa que as alterações são processadas em tempo real em todo o modelo, evitando a

propagação dos erros e dinamizando os processos de atualização. Por exemplo, se o arquiteto efetuar uma alteração no modelo, o responsável pelo projeto de estruturas irá receber a informação em tempo real da alteração efetuada pelo arquiteto no modelo BIM (Chelson, 2010).

O fato de todos os profissionais envolvidos no projeto partilharem um único modelo permite reduzir as perdas de informação e os conflitos entre projetos. Ao ser usado um projeto único, garante-se também que qualquer interveniente trabalha sempre com a informação mais atual. Esta informação vai sendo progressivamente adicionada ao modelo pelas várias especialidades (arquitetura, engenharia estrutural, engenharia mecânica, entre outras), facilitando a cooperação entre elas. O objetivo desta metodologia passa não apenas pela adição de informação, mas também por um permanente intercâmbio desta entre todos os intervenientes (Bylund & Magnusson, 2011).

Normalmente, estas incompatibilidades entre projetos são resolvidas apenas na obra, o que resulta numa construção deficiente. Este tipo de conflitos fica associado a custos elevados, devido ao desperdício de materiais e à necessidade de alterações associadas à descoberta tardia dos conflitos. O BIM facilita a descoberta de conflitos ainda antes do início da construção (Giel, 2009).

É importante referir que o conceito BIM é aplicado não só à fase de projeto, mas também à fase de construção. Recorrendo a um modelo BIM, em obra podem ser extraídos de forma automatizada todos os desenhos ou outros elementos de apoio relativos a uma tarefa específica e a visualização do processo construtivo a partir do próprio modelo. Esta metodologia torna o processo de construção mais claro, apoiado e produtivo, para além de representar uma forma de comunicação com a equipa de projeto. Por exemplo, as alterações não previstas podem ser rapidamente discutidas com base no modelo virtual do edifício e reajustadas em colaboração com os vários intervenientes no projeto (Chelson, 2010).

2.4. Interoperabilidade

A interoperabilidade representa a capacidade de transmissão de dados entre aplicações, permitindo que os vários intervenientes trabalhem de forma conjunta (Papadopoulos, 2014).

Atualmente, o fato de cada interveniente possuir ferramentas informáticas pertencentes a empresas diferentes constitui um dos fatores limitantes do uso do BIM (Baia, 2015).

A interoperabilidade procura encontrar uma solução devido à dificuldade de partilha de informações entre os vários intervenientes do projeto, identificando os dados necessários a serem passados entre as aplicações informáticas. De forma a melhorar essa comunicação é necessário o desenvolvimento de formatos padrão que possam efetuar trocas de informação sem

perda de dados, ou seja, uma plataforma que permita a comunicação entre os diversos *softwares* (Barbosa, 2014).

O *Industry Foundation Class (IFC)* é o formato universal adotado no âmbito BIM. É um formato desenvolvido pela buildingSMART e tem o objetivo de facilitar a integração entre aplicações informáticas do setor da AEC, ou seja, é uma "linguagem-mãe" entre os diferentes *softwares* BIM que não partilhem formatos nativos (Tarrafa, 2012).

Este insere-se no conceito de *OpenBIM*, o qual corresponde à criação de uma "nuvem" na qual são adicionados todos os modelos BIM das mais diversas dimensões, em formato *IFC*. É possível, com este formato padrão, combinar modelos específicos de modo a coexistirem durante todo o projeto (Sá, 2014).

Cabe ao padrão *IFC* descrever os objetos, tais como as suas características 3D e materiais, a sua relação com os outros objetos e a forma como a informação deve ser trocada e armazenada (Barbosa, 2014).

Apesar de atualmente ainda possuir algumas falhas na capacidade de se adequar aos diversos *softwares* existentes, é um formato que se encontra em constante estado de desenvolvimento (Tarrafa, 2012).

2.5. Level of Development (LOD)

O conceito de nível de desenvolvimento ("*Level of Development*" – LOD) corresponde à quantidade de informação e pormenorização que é armazenada num modelo BIM (Barbosa, 2014).

Este descreve o nível de perfeição para o qual um elemento do modelo deve ser desenvolvido. Por outras palavras, descreve os requisitos de conteúdo dos elementos num modelo BIM através de vários níveis para uma melhor troca de informação entre os intervenientes do projeto (Velasco, 2013).

O LOD consiste numa referência que permite identificar com clareza o conteúdo e a fiabilidade da informação inserida num modelo para as várias fases do processo BIM, ou seja, permite classificar os requisitos mínimos de modelação exigidos no projeto (Poças, 2015).

Segundo (Chelson, 2010) e (Poças, 2015) A AIA define cinco níveis de LOD:

- **LOD 100** – Corresponde a um modelo conceptual do edifício e consiste na volumetria do edifício indicativa da área, altura, volume, localização e orientação com o objetivo de estudar a viabilidade e estimativa de custos gerais;

- **LOD 200** – Os elementos são modelados como sistemas generalizados ou conjuntos com quantidades, tamanhos, forma e orientação. Permite uma análise básica do sistema estrutural, estimativa de custos e planeamento de construção, ou seja, permite a análise de várias soluções construtivas possíveis;
- **LOD 300** – Especifica de forma mais detalhada informação relacionada com quantidades, tamanho, forma, localização e orientação, formando um modelo com uma geometria perfeitamente definida e permitindo a preparação de documentos tradicionais de construção ao nível do projeto de execução;
- **LOD 400** – Semelhante ao nível anterior, com informação mais detalhada devendo incluir pormenores relacionados com o projeto, montagem e fabricação, assim como outras informações que permitam análises e estimativas de custos mais precisas;
- **LOD 500** – Consiste numa representação virtual da construção real em que todos os elementos envolvendo o tamanho, forma, localização, localização, quantidade e orientação são modelados e representados de uma forma rigorosa.

A Figura 3 ilustra os níveis de desenvolvimento que se podem aplicar a uma cadeira.

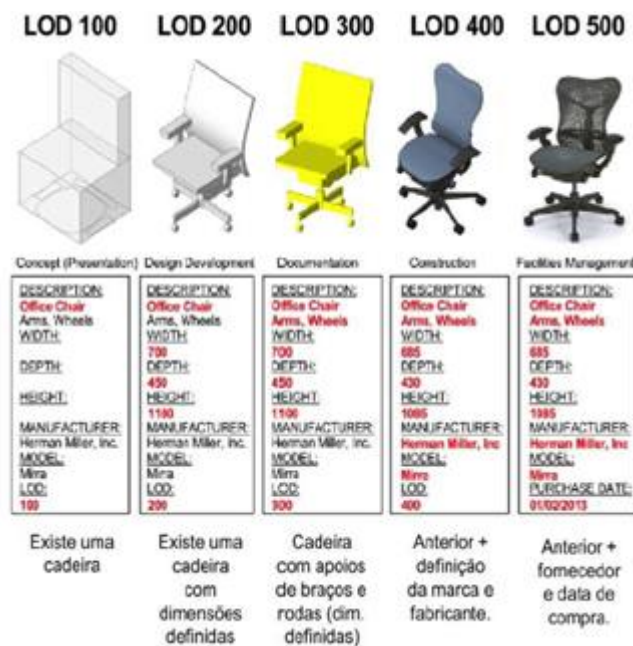


Figura 3 - Níveis de desenvolvimento aplicados a uma cadeira (adaptado de (Barbosa, 2014))

2.6. Implementação do BIM

A implementação do BIM no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem evoluído sucessivamente desde o aparecimento do termo em 2002. Esta metodologia tem vindo a ser implementada nos projetos das empresas de maior dimensão e o termo BIM começa a ser utilizado com frequência na indústria da AEC (Poças, 2015).

Uma empresa que pretenda introduzir o BIM nos seus processos de trabalho deve ponderar a correta gestão de expectativas. É preferível iniciar lentamente os processos de implementação do BIM, possibilitando uma maturação e um crescimento sustentável (Giel, 2009).

A implementação do BIM não acontece de forma igual em todo o mundo. Em alguns países este conceito já existe há vários anos e noutros ainda está a dar os primeiros passos no mercado de trabalho (Velasco, 2013).

2.6.1. Vantagens do BIM

A principal vantagem do BIM é a dependência na colaboração entre os intervenientes. Os profissionais trabalham simultaneamente no mesmo modelo, diminuindo significativamente o risco de erros e omissões e levando a uma estimativa de custos e a um planeamento de construção mais eficientes. Os planeadores podem antecipar cronogramas de construção mais precisos ainda na fase de projeto e os estimadores podem seguir balanços de custos mais facilmente. O BIM considera todo o ciclo de vida do edifício bem como toda a informação nele contida (Giel, 2009).

Donos de obra, arquitetos, engenheiros e construtores podem beneficiar da implementação deste processo colaborativo entre todas as partes (Berdeja, 2014).

2.6.1.1. Vantagens para os donos de obra

A utilização do BIM pode aumentar o valor do edifício, encurtar o cronograma de construção, permitir estimativas de custos confiáveis e otimizar as operações de gestão e manutenção do edifício. No que toca à gestão de edifícios, o modelo BIM oferece um registo mais preciso e detalhado do projeto. O dono de obra passa a não depender apenas dos tradicionais desenhos 2D que podem conter erros e que não representam registos precisos do que foi realmente construído. Deste modo, é fornecida ao dono de obra toda a informação do modelo do edifício necessária para futuras operações de renovação ou de análise energética. O planeamento é feito de forma mais eficiente e, portanto, o dono de obra pode esperar uma duração menor do projeto. O uso do BIM pode até encorajar os donos de obra a estarem mais envolvidos durante as fases de projeto, uma vez que ambas as partes podem comunicar e trabalhar mais facilmente (Joannides, 2011).

Numa fase inicial de concepção do projeto durante a qual o dono de obra está a tentar perceber o custo inicial de diferentes soluções, um modelo BIM ligado a uma base de custos permite que este se torne numa excelente ferramenta para estimar os custos associados ao projeto. As ferramentas BIM permitem analisar visualmente diferentes cenários de projeto (Gee, 2010).

2.6.1.2. Vantagens para os arquitetos e engenheiros

Um modelo 3D gerado por um *software* BIM assiste os arquitetos e engenheiros não apenas na demonstração de diferentes soluções de projeto, mas também na comunicação e na colaboração entre as diferentes disciplinas (Giel, 2009).

A introdução do BIM nos campos da arquitetura e da engenharia tornou a fase de projeto extremamente eficiente. Os arquitetos trocaram os desenhos 2D por modelos 3D com o objetivo de representarem graficamente o produto final de uma forma mais precisa, permitindo ainda a reprodução automática de plantas, cortes e alçados a partir do modelo 3D. Os desenhos 2D gerados a partir do modelo 3D são atualizados consoante as mudanças efetuadas no modelo (Joannides, 2011).

Esta ligação entre o modelo 3D e os desenhos 2D diminui significativamente os erros durante a fase de projeto. Tradicionalmente, quando uma alteração é necessária no projeto da arquitetura, o arquiteto tem de efetuar a mudança individualmente para cada desenho, tratando-se de um processo difícil de ser coordenado com precisão (Joannides, 2011).

Outra vantagem para os arquitetos da implementação da metodologia BIM é que estes adquirem um modelo atualizado do edifício para atividades de renovação e de alteração. Tradicionalmente, o arquiteto teria de procurar pelo projeto de construção mais recente disponível, que pode não ser preciso devido ao envelhecimento do edifício e ao fato dos desenhos poderem estar datados ou já nem estarem disponíveis (Chelson, 2010).

A adoção do BIM também beneficia os engenheiros civis, que trabalham em conjunto com os arquitetos na fase de projeto. Uma vez que o BIM se trata de um processo integrado, os engenheiros civis também beneficiam da habilidade de atualização automática dos elementos do edifício. A utilização de desenhos 2D por parte dos engenheiros funciona de uma forma semelhante à dos arquitetos. Quando surgem conflitos e são necessárias alterações no projeto inicial, estas são efetuadas de forma manual, tratando-se de um processo moroso que aumenta o risco de erros. Ao ser utilizada a metodologia BIM, os engenheiros dependem apenas de um modelo para efetuarem todas as alterações necessárias (Gee, 2010).

O BIM é também benéfico no projeto e instalação de sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos. Este tem a capacidade de compreender as relações funcionais entre o edifício e os

seus componentes. Informação específica associada a condutas, painéis de distribuição e tubagens permite que estes componentes possam ser coordenados com o resto do modelo. O engenheiro responsável pelas instalações elétricas pode ser informado acerca dos requisitos do projeto de mecânica de modo a perceber os requisitos de energia e o BIM tem a capacidade de alterar as especificações do equipamento mecânico consoante as características do projeto de instalações elétricas. O BIM fornece ferramentas de auxílio nos projetos de instalações elétricas, mecânicas e de redes de abastecimento e drenagem de águas domésticas e pluviais, permitindo efetuar cálculos diretamente no modelo (Joannides, 2011).

2.6.1.3. Vantagens para os construtores

A capacidade do BIM em resolver conflitos numa fase inicial do projeto é um dos maiores benefícios desta metodologia. A estimativa de custos é mais precisa uma vez que o modelo é atualizado frequentemente, limitando os erros devido à comunicação ineficiente entre engenheiros e arquitetos. O risco de erros é extremamente baixo em comparação com os desenhos 2D tradicionais e a construção avança mais rapidamente (Gee, 2010).

Um planeamento de construção pode ser também preparado com uma maior precisão. É possível simular as diversas fases de construção do edifício e cada elemento ou componente pode ser ligado a uma base de dados. Isto permite que cada alteração seja atualizada em todos os passos do processo de construção do edifício. São tomadas todas as decisões ainda numa fase inicial do projeto (Dalci, 2014).

Além disso, a precisão e a velocidade na produção de relatórios de quantidades do projeto em qualquer momento dá aos estimadores um controlo sobre os custos de construção, diminuindo significativamente o tempo no processo de estimativa de custos. Embora, tradicionalmente, a estimativa de custos ocorra tardiamente durante as fases de projeto, o uso do BIM permite aos estimadores começarem a estimar numa fase inicial do projeto e atualizarem os custos consoante as alterações sejam efetuadas ao modelo (Joannides, 2011).

2.6.3. Desvantagens do BIM

Apesar do grande potencial de melhoria e eficiência que o BIM oferece, este apresenta alguns inconvenientes. A metodologia não é perfeita e continua a evoluir à medida que a indústria a vai adotando a uma maior escala.

Embora estes aspetos possam ser desmoralizadores inicialmente, podem ser ultrapassados face às vantagens trazidas pela metodologia BIM quando devidamente implementada na empresa (Poças, 2015).

O sucesso da sua implementação depende da receptividade de futuros utilizadores e da sua predisposição à mudança (Berdeja, 2014).

Embora estes fatores possam representar um risco económico para muitas empresas, a correta utilização e exploração do BIM poderá ser uma vantagem competitiva no mercado atual (Tarrafa, 2012).

2.6.3.1. Investimento inicial

Um dos maiores desafios das empresas na adoção da metodologia BIM está ligado aos custos associados à aquisição de novas tecnologias e ao treinamento adequado do pessoal (Gee, 2010).

Primeiro, pode ser difícil implementar a metodologia BIM usando computadores correntes com *hardware* insuficiente para utilizarem os *softwares* com apoio ao BIM. As licenças de *softwares* BIM podem ter elevados custos e existem ainda os custos adicionais associados à preparação dos profissionais que podem representar um investimento inicial muito elevado e arriscado principalmente para as empresas de menor dimensão (Dalci, 2014).

Outro dos maiores inconvenientes na adoção da metodologia BIM é a aquisição de treinamento adequado do pessoal. Trata-se de um passo particularmente desafiante pelo fato de apenas um pequeno número de trabalhadores terem o conhecimento adequado de BIM. O desafio centra-se no treinamento dos outros profissionais da empresa. Este treinamento deve tornar-se num desafio menor à medida que vai sendo passado a partir das universidades, das próprias empresas ou de empresas exteriores (Joannides, 2011).

Encontrar profissionais qualificados, assim como o investimento inicial de treinamento destes profissionais é um obstáculo adicional à implementação do BIM, bem como a falta de apoio da gerência de topo quando a empresa decide adotar o BIM numa primeira instância (Giel, 2009).

2.6.3.2. Curva de aprendizagem lenta

Existe uma grande dificuldade em encontrar formação de qualidade para a utilização das ferramentas BIM por não haverem ainda muitos utilizadores BIM e pela falta de experiência dos próprios formadores nesta área, sendo o conhecimento adquirido pelos utilizadores pela própria exploração dos *softwares* (Poças, 2015).

Embora a maioria dos arquitetos e engenheiros tenham algum conhecimento em relação aos *softwares* BIM e à modelação paramétrica, os profissionais da construção estão menos familiarizados com esta metodologia (Giel, 2009).

Adicionalmente, o tempo necessário na formação do pessoal leva à natural perda inicial de produção durante a fase de implementação do BIM, pois requer a adoção de metodologias de trabalho significativamente diferentes do tradicional CAD (Tarrafa, 2012).

2.6.3.3. Interoperabilidade

A implementação do BIM tem a capacidade de resolver muitos dos problemas encontrados na construção. No entanto, existem alguns problemas que afastam ainda muitas empresas da implementação desta metodologia (Chelson, 2010):

- A tecnologia e os padrões evoluem rapidamente, o que afasta potenciais utilizadores de comprarem e de se comprometerem com um determinado *software*;
- A informação não é totalmente interoperável, o que dificulta o funcionamento conjunto de todos os *softwares*.

O problema da interoperabilidade é talvez uma das maiores barreiras no projeto virtual e nas fases de construção. Os *softwares* BIM têm evoluído, competindo as empresas entre si à procura de diferentes soluções e tornando difícil a implementação de todas as capacidades num único *software*. Quando a informação é fornecida a partir de *softwares* de empresas diferentes incompatíveis com o *software* utilizado, o tempo adicional necessário para reintroduzir a informação necessária é um ponto de preocupação (Dalcí, 2014).

Estes problemas estão a ser rapidamente resolvidos. Os *softwares* da Bentley e da Autodesk têm emergido como as empresas dominantes no campo dos *softwares*, existindo um apoio da Autodesk em relação ao formato *IFC* (Gee, 2010).

A não utilização do BIM por alguma entidade envolvida no projeto poderá também implicar um obstáculo à capacidade de interoperabilidade, tornando a execução do projeto mais cara e o processo moroso relativamente ao tradicional CAD (Tarrafa, 2012).

2.7. BIM em Portugal

A implementação do BIM a nível internacional tem-se expandido um pouco por todo o mundo, tendo o seu uso sido tornado obrigatório em obras públicas (Berdeja, 2014).

Em alguns países, entre os quais os Estados Unidos da América, Canadá, Austrália, Singapura, Reino Unido e países nórdicos europeus (Finlândia, Dinamarca, Noruega e Suécia), já apresentam notáveis níveis de implementação de BIM. Uma boa prova disso é o fato de existirem normas de orientação para a padronização dos processos (Velasco, 2013).

Atualmente em Portugal não existe uma legislação ou orientação sobre o BIM (Mota, 2015). Este encontra-se ainda numa fase embrionária, comparativamente com países mais desenvolvidos (Poças, 2015).

Existem alguns movimentos a nível académico que procuram expor, através de *workshops* e conferências, as vantagens trazidas pela implementação da metodologia BIM (Otero, 2014).

A metodologia BIM tem vindo a ser divulgada pelas universidades e pelas instituições de ensino e as empresas começam a incluir nas suas páginas *web* algumas participações BIM (Mota, 2015).

Para a implementação do BIM em larga escala em Portugal, é fundamental que sejam tomadas as iniciativas necessárias e que haja um envolvimento por parte de todas as partes interessadas. Também o Governo Português pode ter um papel importante na implementação do BIM em Portugal, obrigando que os concursos públicos façam uso das ferramentas BIM (Poças, 2015).

3. AS DIMENSÕES DO BIM

O objetivo deste capítulo é caracterizar as áreas de aplicação do BIM relevantes para a realização do caso de estudo do presente trabalho e pretende explicar, de um modo teórico, como se pode retirar o máximo partido das tecnologias BIM aplicadas à gestão da construção.

Um modelo BIM 3D permite juntar os projetos de cada disciplina a fim de serem detetados os conflitos existentes entre estas. A resolução destes problemas em projeto permite que a construção avance mais rapidamente e a consequente redução de custos.

Um modelo BIM 4D consiste na atribuição de um planeamento de construção a um modelo 3D, permitindo simular o seu processo construtivo e estar atento a eventuais desvios face ao planeado.

Um modelo BIM 5D permite gerar estimativas de custos através da extração de listas automáticas das quantidades presentes no modelo BIM para obtenção de forma rápida de um *feedback* em termos do que se pode alterar no projeto. Deste modo, é possível obter uma estimativa dos custos totais de um projeto antes que este avance para fases mais avançadas.



Figura 4- As dimensões do BIM (adaptado de (Berdeja, 2014))

3.1. Modelo BIM 3D- Conflito entre especialidades

3.1.1. Metodologia Tradicional

Tradicionalmente, a deteção de erros e interferências nos projetos de construção é realizada através da sobreposição manual e análise dos desenhos 2D dos projetos das várias especialidades que formam o modelo completo do projeto (Poças, 2015).

A identificação e a resolução dos conflitos é realizada numa folha transparente de acordo com um plano previamente estabelecido para conclusão do projeto, sobre uma mesa de luz. Esta metodologia de coordenação condiciona a evolução do projeto pela lentidão que apresenta e por ser bastante dispendiosa (Otero, 2014).

Além disso, este processo pode dar origem a incorretas interpretações de desenhos e erros que são apenas detetados em obra. Através dos desenhos em planta não é possível obter informação visual da altura dos objetos desenhados, sendo necessário recorrer à análise de diversos desenhos, tantos quanto os necessários, e a todas as informações escritas para a identificação de potenciais conflitos (Berdeja, 2014).



Figura 5- Análise de conflitos entre especialidades em mesas de luz (adaptado de (Berdeja, 2014))

Tipicamente, o custo de coordenação num projeto representa cerca de 2% do custo total da construção, podendo este processo traduzir-se em centenas de milhões (Otero, 2014).

Muitos erros de projeto tornam-se irrelevantes se forem detetados antecipadamente, uma vez que são facilmente resolvidos ainda durante a fase de projeto. No entanto, a prática atual pode levar à identificação tardia de conflitos apenas durante a fase de construção resultando em elevados custos na sua resolução e no atraso de todo o processo construtivo (Poças, 2015).

A data de conclusão da obra e os custos de construção sofrem alterações uma vez que no atual processo de coordenação são necessárias várias reuniões entre os intervenientes do projeto para a resolução de conflitos. No entanto, estas reuniões não ocorrem de forma sequencial porque têm lugar apenas quando um problema ocorre. Assim, os problemas encontrados não são fundamentados adequadamente, o que resulta num processo de resolução lento e dispendioso (Otero, 2014).

3.1.2. Metodologia BIM 3D

A coordenação entre as várias especialidades inerentes ao projeto é atualmente uma das capacidades mais divulgadas pela metodologia BIM, pois permite o desenvolvimento de técnicas colaborativas e o espírito de compromisso entre colegas de equipa (Berdeja, 2014).

Na conceção de um modelo tridimensional BIM, cada especialidade (projeto de arquitetura, projeto de estrutura e sistemas MEP) tem um modelo independente com os respetivos objetos associados a si, usando como base o modelo BIM do projeto de arquitetura. Após a criação de cada modelo, procede-se à análise e à deteção de conflitos no projeto. Esta deve ser feita num

espaço comum entre os vários intervenientes do projeto com a utilização de um monitor de grandes dimensões para a visualização de cada conflito detetado. Esta abordagem, que melhora a comunicação entre os diversos intervenientes, é denominada por Kymmel de *Big Room Approach* (Berdeja, 2014).



Figura 6- Abordagem Big Room Approach na análise de conflitos entre especialidades

Este processo baseia-se na pesquisa por objetos de diferentes especialidades cujas geometrias se sobreponham, ou seja, objetos que ocupem o mesmo espaço ou que possuam parâmetros incompatíveis. É possível a deteção de conflitos de calendarização no caso de se tratar de um modelo 4D (Otero, 2014).

3.2. Modelo BIM 4D - Planeamento da construção

3.2.1. Metodologia Tradicional

O planeamento de obras na construção civil é um procedimento que consiste na realização de um “plano” de atividades ou tarefas elementares e na definição de datas de início e fim e de folgas de realização (Barbosa, 2014). Além do planeamento, é necessário o acompanhamento da obra para a obtenção de informação necessária que permita atualizar o planeamento estabelecido (Poças, 2015).

Este procedimento é visto como um dos mais importantes no projeto de construção, uma vez que o não cumprimento de prazos previamente estabelecidos pode resultar em custos muito elevados para a empresa (Jiang, 2011).

É estimado que 30% dos custos de construção sejam desperdiçados devido a erros de coordenação entre disciplinas, uso incorreto dos materiais e problemas nas práticas atuais de construção. Um dos benefícios do BIM passa pela limitação das insuficiências referidas anteriormente, aumentando a produtividade e reduzindo o custo do projeto de construção (Velasco, 2013).

Tradicionalmente, recorre-se aos desenhos 2D das diversas especialidades constituintes do edifício o que não facilita a visualização de todo o processo de construção pela ausência de uma perceção espacial (Chelson, 2010).

Estimar a duração das atividades é uma fase determinante para o bom planeamento do projeto de construção, uma vez que o controlo de prazos depende da correta estimativa dos períodos de execução das atividades. A duração das atividades é definida tendo como base a experiência e a informação relativa a projetos semelhantes (Mota, 2015).

Além de planear a obra, há que controlar o desenvolvimento e acompanhar a obra, isto é, retirar da obra em curso informação que permita corrigir eventuais desvios do planeamento (Barbosa, 2014).

Tradicionalmente, são utilizados dois métodos de planeamento de obras: o diagrama de Gantt e os diagramas de rede (PERT e CPM) (Poças, 2015).

Os *softwares* mais utilizados de comunicação entre os intervenientes e de extração de relatórios referentes ao plano de trabalhos traçado são o Microsoft Office Project, o Primavera Sure Trak e o P3 (Jiang, 2011).

3.2.2. Metodologia BIM 4D

De modo a colmatar as lacunas existentes nos métodos tradicionais, a tecnologia evoluiu para um novo processo, o BIM 4D, trazendo consigo uma abordagem diferente no planeamento construtivo. Um dos pontos de desenvolvimento nas ferramentas BIM é a introdução da dimensão “tempo” nos seus modelos. Ao associar um planeamento de construção ao modelo BIM 3D, é criado um modelo 4D (Baia, 2015).

Esta informação deve ser organizada ou agrupada de modo a seguir uma conceção de construção e pode ser ligada manualmente ou automaticamente ao planeamento de construção (Velasco, 2013).

O modelo 4D permite aos seus utilizadores a criação de planeamentos construtivos otimizados num ambiente tridimensional, o que possibilita a simulação de todo o processo construtivo (Jiang, 2011). Pelo contrário, os diagramas de barras e de rede utilizados para planear as atividades de construção não são capazes de considerar a configuração espacial relacionada com as atividades, nem vincular essas atividades diretamente no plano de construção (Barbosa, 2014).

A quarta dimensão do BIM permite a representação visual do ciclo de vida da construção, estratificando o modelo por fases de execução de construção e proporcionando uma simulação da evolução do edifício ao longo do tempo. O planeamento é atualizado mais frequentemente de acordo com as modificações efetuadas no projeto (Jiang, 2011).

Tal permite a detecção de seqüências de atividades inapropriadas e de futuros erros que podem ser detetados e evitados na fase de planeamento, tornando o processo mais eficiente comparativamente com técnicas tradicionais (Poças, 2015).

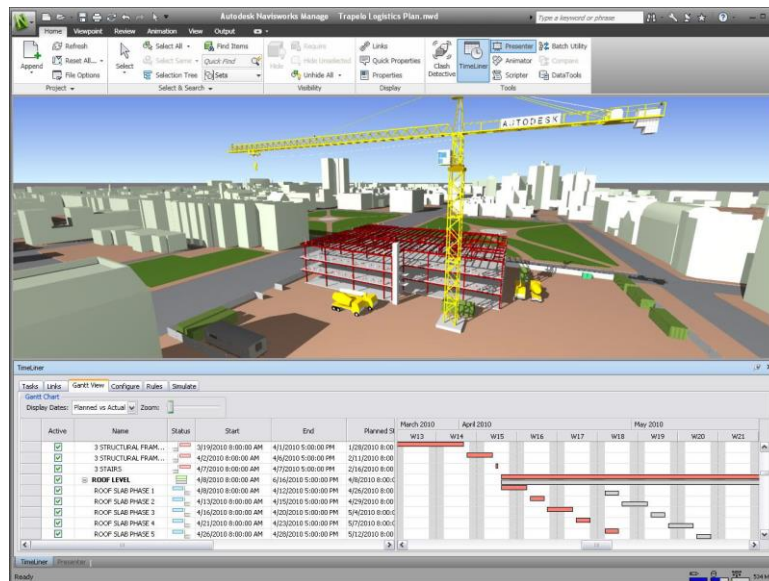


Figura 7- Criação do Modelo 4D (adaptado de (Poças, 2015))

O modelo 4D é visto como uma ferramenta de decisão, já que torna possível a simulação de diversos cenários de planeamento de construção e a escolha daquele que apresenta a melhor relação custo/benefício, reduzindo incertezas e antecipando riscos no projeto (Baia, 2015).

A metodologia 4D serve principalmente como instrumento de comunicação e é utilizada por projetistas, engenheiros e equipas de direção técnica de obra na análise e visualização de projetos como forma de apoio à decisão, na análise à viabilidade de projetos e nas operações de construção (Poças, 2015).

É possível que os intervenientes de um projeto tenham uma interpretação diferente ao visualizarem um planeamento de construção tradicional. Assim, a componente visual oferecida pela metodologia 4D vem ajudar a clarificar possíveis dúvidas em relação à interpretação do mesmo, melhorando a comunicação e a coordenação entre os diversos intervenientes (Chelson, 2010).

Finalmente, um modelo 4D pode ser usado em análises de diferentes naturezas relacionados com atividades de gestão do projeto de construção, entre as quais (Velasco, 2013):

- **Detecção de conflitos:** Sequências de atividades impróprias que possam originar conflitos no espaço-tempo durante a fase de construção. Este problema é comum devido á falta de conteúdo visual nos planeamentos construtivos tradicionais;

- **Utilização do estaleiro:** O modelo 4D fornece uma vista dinâmica do espaço necessário no estaleiro durante a fase de construção, permitindo a visualização de locais de recursos, de equipamentos e de instalações temporárias. É possível ainda visualizar o comportamento de equipamentos fixos como guias.
- **Gestão da segurança e saúde no trabalho:** Uma vez que estas medidas são parte de um planeamento construtivo, o BIM 4D permite a integração destes elementos no modelo e nas simulações.

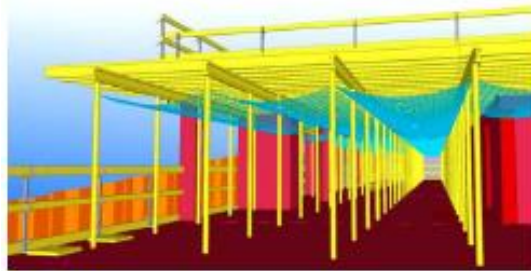


Figura 8- Elementos temporários de segurança e saúde no trabalho (adaptado de (Velasco, 2013))

3.3. Modelo BIM 5D - Estimativa de custos

3.3.1. Metodologia Tradicional

Quando um projeto se encontra numa fase inicial, o cálculo do seu orçamento assume uma enorme importância para o cliente, uma vez que este é quem vai suportar os custos do projeto. Tradicionalmente, o cliente define o custo limite para todo o projeto ou partes deste e quaisquer discrepâncias devem ser encontradas a tempo ainda durante a fase de projeto, de modo a serem encontradas as soluções mais adequadas (Bylund & Magnusson, 2011).

É importante que o orçamentista tenha um bom conhecimento do projeto e dos custos de produção. Este conhecimento é adquirido pela experiência profissional obtida em projetos anteriores (Kullvén & Nyberg, 2014).

Tradicionalmente, este processo é feito sobre desenhos 2D e requer a seleção e medição individual de cada elemento presente no desenho. Isto leva a que erros e omissões possam ocorrer durante o processo de extração de quantidades uma vez que este moroso processo é baseado em operações manuais. Posteriormente, estas quantidades são introduzidas na lista dos itens e materiais envolvidos no projeto (Jiang, 2011).

Um dos objetivos do orçamentista é o cálculo de um orçamento preciso do projeto e transmitir a informação para a equipa responsável pela construção. Nesta informação estão presentes cálculos, hipóteses, opções e riscos. Com o desenrolar da construção, o orçamento do projeto

vai sendo atualizado com as mudanças que ocorrem durante a produção (Bylund & Magnusson, 2011).

No decorrer de um projeto, as estimativas de custos são desenvolvidas em diversas fases e com objetivos e graus de precisão distintos (Barbosa, 2014). Numa fase inicial do projeto, ainda existe pouca informação para cálculo do seu orçamento. O nível de informação aumenta à medida que os projetos de arquitetura e que as restantes especialidades se vão desenvolvendo. Paralelamente ao desenvolvimento dos projetos constituintes de um edifício, o orçamentista utiliza a informação disponível para criar um custo total do projeto. As estimativas vão sendo modificadas de forma a refletirem detalhes adicionais entretanto encontrados (Bylund & Magnusson, 2011).

O controlo de custos é realizado desde o início de uma obra até à sua fase final, tendo como objetivo principal a precisão dos resultados finais da obra. Essa previsão vai sendo progressivamente melhorada à medida que a obra decorre e que se obtém informação mais credível (Kullvén & Nyberg, 2014).

3.3.2. Metodologia 5D

Um modelo BIM 5D permite, de forma automatizada, a extração de dados relativos a medições, quantidades e custos. Nos modelos 3D dos diferentes projetos, a informação é apresentada através de vários parâmetros de quantificação (comprimento, área, volume, custo, etc.) e de qualificação (descrição, comentários, nome da empresa produtora, nome do elemento, etc.) (Tarrafa, 2012). A capacidade em atribuir valores aos elementos constituintes do edifício permite tornar os processos de orçamentação mais rápidos (Poças, 2015).

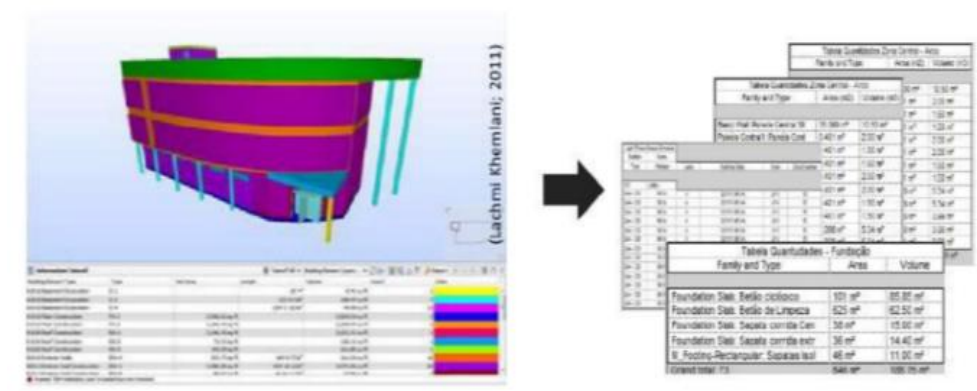


Figura 9 - Quantificação dos elementos associados ao modelo (adaptado de (Jiang, 2011))

Assim, a extração automática de quantidades tem como principal benefício a diminuição de erros de medição e a propagação de inconformidades, assegurando estimativas de custos mais

coerentes com o atual estado do projeto comparativamente com os métodos tradicionais (Bylund & Magnusson, 2011).

As atividades de orçamentação e de planeamento ao longo das fases construtivas da obra são facilitadas pela informação disponível, com o objetivo de obter um maior controlo no processo de encomenda de materiais, nas necessidades de mão-de-obra e de equipamentos, permitindo a otimização do custo da obra e a minimização de desperdícios (Tarrafa, 2012).

A informação disponível no modelo BIM permite à equipa de projeto avaliar as opções estruturais e construtivas mais adequadas a nível económico. Os processos de orçamentação são efetuados de forma rápida e eficaz graças à permanente atualização de informação face às modificações efetuadas no modelo (Chelson, 2010).

A estimativa de custos é melhorada consoante a complexidade de informação disponível no modelo. A metodologia 5D permite uma análise dos custos da obra, do desempenho financeiro do estado atual de construção e o estudo de diferentes alternativas de custos para qualquer fase do projeto (Gee, 2010).

A Figura 10 ilustra a importância da informação disponível no modelo BIM 5D. No cálculo do orçamento de um pilar, este deve ter associado a si toda a informação relativa à sua execução, nomeadamente, a armadura, a cofragem, o betão e o revestimento final. Para além da quantificação dos vários elementos, é necessário o conhecimento dos recursos associados aos equipamentos, à mão-de-obra e aos materiais utilizados na execução do pilar. São realizados orçamentos de uma forma mais eficaz consoante o nível de informação associado ao pilar (Barbosa, 2014).

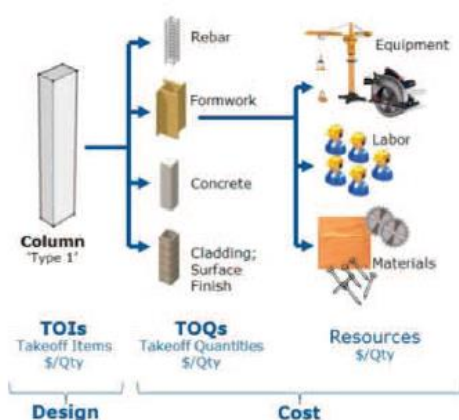


Figura 10 - Processo integrado de BIM 5D (adaptado de (Barbosa, 2014))

4. CASO DE ESTUDO

4.1. Introdução

Neste capítulo é abordada a aplicação dos conhecimentos teóricos adquiridos na aplicação da metodologia BIM a um modelo tridimensional.

No âmbito do presente trabalho, foi escolhido o *software* Autodesk Navisworks para a aplicação prática da metodologia BIM, uma vez que este é disponibilizado gratuitamente à comunidade estudantil.

O pressuposto para o caso de estudo baseou-se na análise de conflitos entre as diversas especialidades de um modelo BIM 3D, na execução de uma simulação do processo construtivo e no levantamento de quantidades para posterior controlo de custos, ou seja, foram abordadas as dimensões BIM 4D (3D + tempo) e BIM 5D (4D + custos).

Para o desenvolvimento do caso de estudo foram utilizados os seguintes *softwares*:

- Autodesk Navisworks Manage 2017;
- Autodesk Revit 2017;
- Microsoft Project 2017;
- Microsoft Office Excel 2017.

O desenvolvimento do caso de estudo é focado na utilização do *software* Navisworks Manage 2017, sendo este alvo de uma descrição detalhada relativamente aos comandos disponíveis e a todos os passos efetuados. Embora seja este o *software* quase sempre utilizado, foi necessário recorrer aos arquivos do projeto no *software* Revit 2017 para a correta aplicação de algumas das funcionalidades disponibilizadas pelo Navisworks Manage 2017.

O MS Project 2017 foi utilizado na criação do planeamento de construção posteriormente atribuído ao modelo tridimensional e o Excel 2017 foi utilizado para a criação de relatórios de quantificação.

Foram utilizados os tutoriais da Autodesk, assim como a própria experiência adquirida durante a exploração do *software*, para o desenvolvimento do caso de estudo.

4.2. Caracterização do modelo tridimensional

Uma vez que o foco deste estudo passa pela demonstração das capacidades conferidas pelas ferramentas BIM, não foi escolhido um modelo de extrema complexidade. O edifício é composto pelos elementos necessários de modo a poderem ser analisadas as possibilidades

oferecidas pela metodologia BIM. O modelo é constituído por elementos genéricos, assumindo-se um nível de desenvolvimento LOD 200.

O caso de estudo selecionado é um projeto elaborado no *software* Revit pela Autodesk. Este modelo, importado posteriormente para o *software* Navisworks Manage 2017, consiste num hotel formado por 3 pisos e é constituído por cada um dos projetos de especialidades de engenharia:

- Projeto de arquitetura;
- Projeto de estrutura;
- Projetos de redes de abastecimento de águas domésticas e de drenagem de águas residuais e pluviais;
- Projeto de segurança contra risco de incêndios;
- Projeto de instalações elétricas;
- Projeto de climatização.



Figura 11- Vista 3D do modelo tridimensional

4.3. Caracterização do Navisworks

O Navisworks da Autodesk é um *software* com integração BIM que permite a análise de modelos 3D, recorrendo a ferramentas de integração, de análise e de comunicação entre equipas.

Os principais objetivos deste *software* são a coordenação entre as diferentes especialidades de um projeto e a deteção de conflitos entre especialidades, a visualização do processo construtivo e o cálculo de custos totais do projeto.

Este *software* permite que diversos intervenientes de uma equipa explorem um modelo conceptual do edifício antes da sua construção, tornando a execução de projetos mais rápida e a consequente redução dos custos. Este é essencialmente orientado para o planeamento e gestão do projeto antes e durante a construção.

Embora o *software* Revit permita a deteção de conflitos entre especialidades, esta funcionalidade é feita de uma forma rudimentar e simplista. Ao contrário do Revit, o Navisworks permite confrontar todos os projetos de especialidade simultaneamente e avaliar a existência de conflitos durante todo o processo construtivo do projeto. Permite ainda a seleção individual de elementos ou grupos de elementos que se pretendem analisar. As causas dos conflitos encontrados e as soluções de resolução são discutidas entre os intervenientes que podem visualizar os conflitos através de imagens em 3D. O interveniente responsável por cada especialidade procede posteriormente às alterações necessárias. O processo é repetido periodicamente, até que os conflitos de construção tenham sido eliminados.

As dimensões 4D e 5D (tempo e custos) podem ser definidas no próprio *software*, ou nele introduzidas a partir de *softwares* dedicados à calendarização do processo de construção, como o MS Project, utilizado no desenvolvimento deste estudo.

Para que o BIM se possa traduzir numa eficiente metodologia de trabalho, é importante a existência de uma troca de informação eficaz entre o Navisworks e os *softwares* de apoio BIM. É demonstrado, no presente trabalho, de que forma é feita a troca de informação entre o Navisworks e o Revit, MS Excel e MS Project.

4.3.1. Versões do Navisworks

Existem atualmente 3 versões deste *software*:

- **Autodesk Freedom** – É um visualizador gratuito que permite visualizar projetos, nomeadamente ficheiros do tipo *NWD* e *3D DWF*;
- **Autodesk Navisworks Simulate** – Fornece ferramentas de avaliação, análise, simulação e coordenação dos diferentes tipos de informação existentes no projeto. Permite a simulação 4D, a criação de animações e a navegação no modelo, disponibilizando também ferramentas de revisão de suporte à colaboração entre os intervenientes de uma equipa;
- **Autodesk Navisworks Manage** – Permite a análise, a simulação e a comunicação de informação do projeto. O programa combina as diferentes especialidades num único modelo, permitindo a deteção de conflitos entre projetos e as funcionalidades conferidas pela versão *Simulate*. Esta versão do Navisworks ajuda a antecipar e a evitar problemas antes da construção.

4.3.2. Formatos de ficheiro do Navisworks

O Autodesk Navisworks tem 3 formatos de ficheiro nativo: *NWD*, *NWF* e *NWC*.

- **NWC (Navisworks Cache File)** – Este é o formato padrão do Navisworks que é ligado ao arquivo inicial, neste caso, ao arquivo de Revit. Ao abrir ou anexar um ficheiro nativo *CAD/RVT* no Autodesk Navisworks, é criado um ficheiro de cache na mesma localização e com o mesmo nome do ficheiro original, mas com uma extensão *NWC*. Os ficheiros *NWC* são menores do que os originais, comprimindo o modelo até 90% do seu tamanho original. Este é o tipo de formato menos utilizado. Se o ficheiro *NWC* corresponder a uma versão mais antiga do seu ficheiro original, o que significa que este foi modificado após a criação do ficheiro de cache, o Navisworks converte o ficheiro atualizado e é criado um novo ficheiro de cache para o mesmo;
- **NWF (Navisworks Set File)** – Este ficheiro contém vínculos com os ficheiros nativos originais juntamente com os dados específicos do Navisworks, como notas de revisão. Nenhuma geometria do modelo é salva neste formato de ficheiro, o que faz com que um ficheiro do tipo *NWF* seja consideravelmente menor em tamanho do que um ficheiro do tipo *NWD*. Quando são feitas alterações nos projetos originais e se abre o ficheiro *NWF*, as alterações são efetuadas automaticamente. Ao abrir um ficheiro do tipo *NWF*, o Navisworks atualiza automaticamente todas as modificações efetuadas nos ficheiros originais, o que significa que o modelo BIM visualizado é o mais atual;
- **NWD (Navisworks Document File)** – O formato *NWD* é o mais adequado quando se pretende partilhar o modelo BIM, pois inclui ferramentas adicionais como a possibilidade de criar uma password, uma data de expiração do modelo e outros tipos de informação adicionais. Um ficheiro deste formato pode ser aberto no Autodesk Navisworks Manage e no Autodesk Navisworks Freedom.



Figura 12- Formatos de ficheiro do Navisworks

4.3.3. Interface do utilizador

A interface do Navisworks é simples e intuitiva. Existe a possibilidade de personalizar a interface de acordo com a forma de trabalho mais adequada. Com o auxílio de um segundo monitor, é possível visualizar a área de trabalho nesse monitor enquanto se trabalha num computador principal. Isto liberta espaço no ecrã, que seria ocupado por janelas necessárias à

prática do trabalho. No entanto, devido à capacidade de personalização do *software*, é possível ocultar as janelas que não são necessárias para o momento, libertando um maior espaço disponível no ecrã.

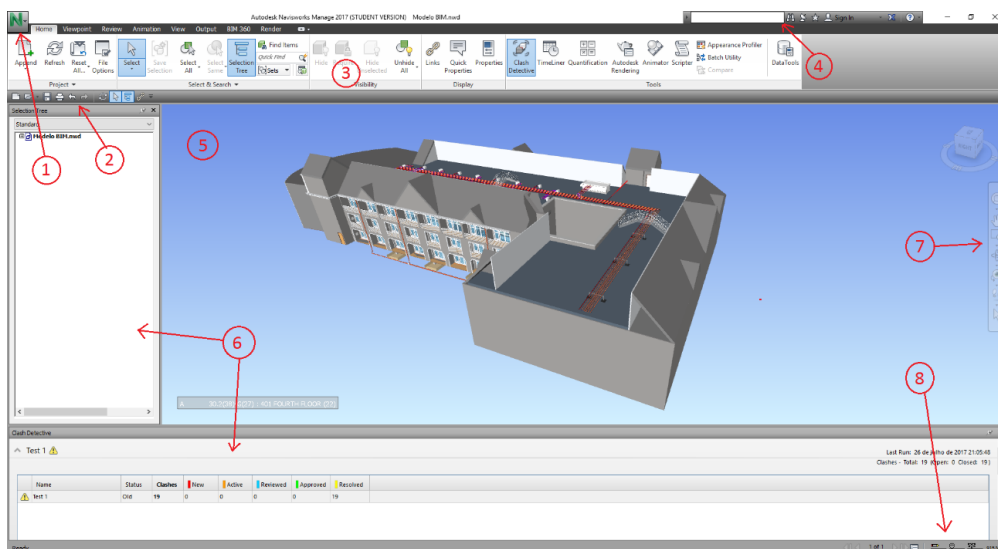


Figura 13- Interface do Navisworks

- 1 – Menu do Navisworks;
- 2 – Quick Access;
- 3 – Ribbon;
- 4 – InfoCenter;
- 5 – Área de Trabalho;
- 6 – Janelas;
- 7 – Navegação;
- 8 – Barra de Status.

4.4. Importação dos arquivos Revit para o Navisworks

É possível abrir ficheiros no Navisworks a partir de dois métodos.

O primeiro passa pela exportação do modelo em Revit para o formato *NWC* através de um *addin*, usando o comando “*External Tools*”, localizado no separador “*Add-Ins*”.

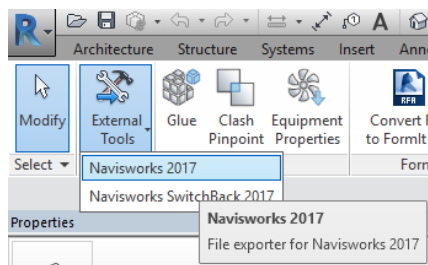


Figura 14- Exportação do modelo em Revit para o formato NWC

O segundo passo é abrir o modelo em Revit (ficheiro *RVT*) diretamente no Navisworks, utilizando o comando “*Open*”, ou arrastando e soltando os arquivos diretamente na janela “*Selection Tree*”. Uma vez que o Navisworks se trata de um *software* instável, é recomendável importar apenas um arquivo de cada vez. Depois de aberto um dos modelos, os restantes podem ser importados para o Navisworks através da opção “*Append*”. Pode ser também usada a opção “*Merge*”, apresentando esta a vantagem de elementos duplicados serem removidos.

Com o *software* Navisworks aberto, o arquivo “ARQUITECTURE.rvt” foi importado através da janela “*Open*”.

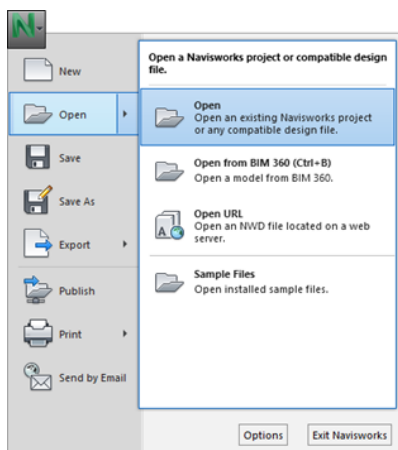


Figura 15 - Comando *Open*

Depois de aberto o arquivo do projeto de arquitetura na área de trabalho do Navisworks, foram importados, individualmente, os arquivos dos projetos das restantes especialidades, através do comando “*Append*”, disponível no painel “*Project*” do separador “*Home*”.

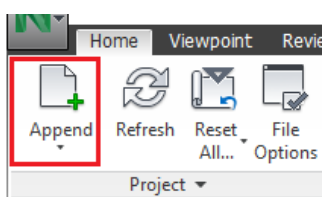


Figura 16- Comando *Append*

Importar os arquivos de Revit para o Navisworks torna-se por vezes num processo moroso, dependendo da quantidade de informação presente nesses ficheiros. O Navisworks tem a grande vantagem de criar automaticamente ficheiros do tipo *NWC* a partir do momento em que um arquivo do tipo Revit é importado para o Navisworks.

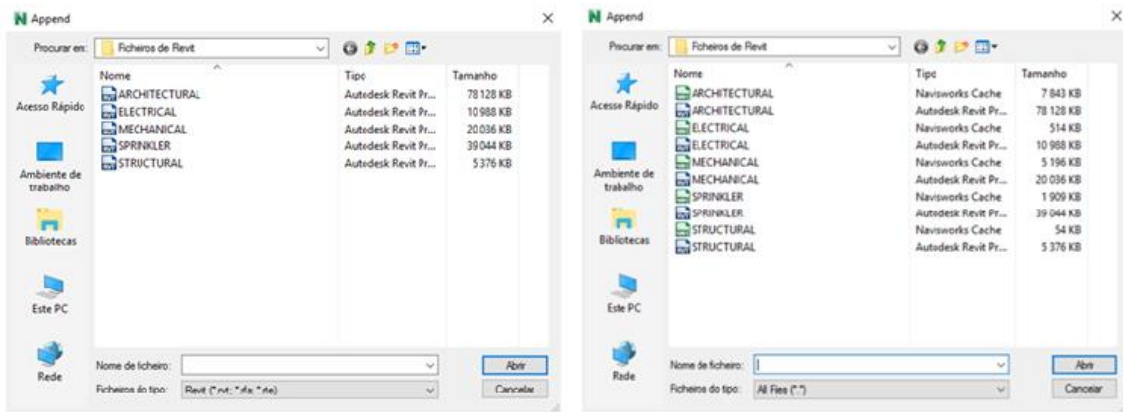


Figura 17- Criação de ficheiros do tipo NWC

É possível abrir o projeto no Navisworks a partir dos ficheiros do tipo cache, com a vantagem do processo de importação ser muito mais rápido e do tamanho destes ficheiros ser bastante reduzido em comparação com os ficheiros do tipo Revit, o que acaba por facilitar também a sua transmissão entre os intervenientes de um projeto.

Após a importação dos arquivos Revit para o *software* Navisworks, é possível visualizar e explorar o modelo BIM na área de trabalho.

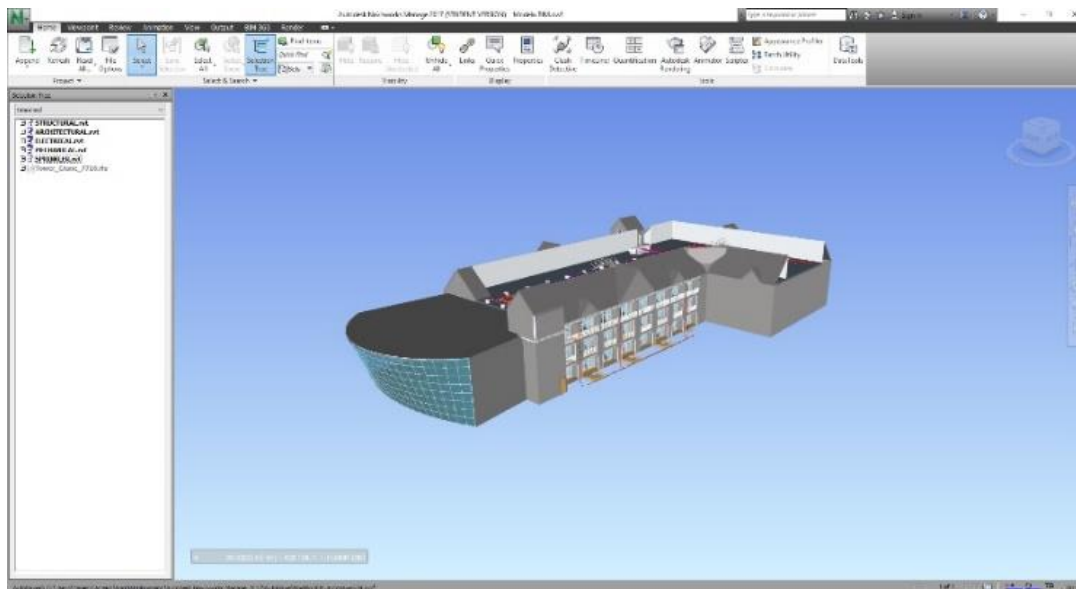


Figura 18- Modelo BIM importado para o software Navisworks

O projeto foi guardado em ficheiros do tipo NWD e NWF, a partir do comando “Save as” acessível no menu do Navisworks. A diferença de tamanhos entre os dois tipos de ficheiros criados pode ser visualizada na Figura 19.

Figura 19- Formatos NWD e NWF do modelo BIM

Depois de importado o modelo BIM para o Navisworks, o primeiro passo é a verificação das coordenadas e das unidades do projeto. Os modelos das diferentes especialidades devem ser verificados para que possuam as mesmas coordenadas na origem. Na janela “*Selection Tree*”, clicar com o botão direito do rato sobre cada um dos projetos e abrindo a janela “*Units and Transform*”, permite a verificação das coordenadas na origem.

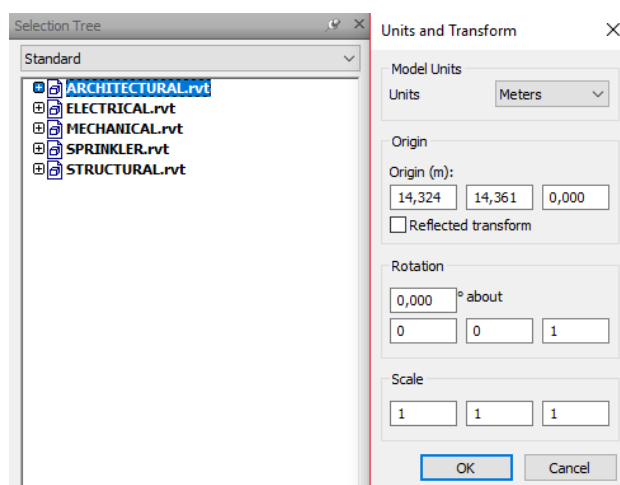


Figura 20- Units and Transform

4.5. Análise BIM 3D - Detecção de conflitos entre especialidades

4.5.1. Introdução

O “*Clash Detective*” é a ferramenta do Navisworks que permite a análise na deteção de conflitos e a coordenação do projeto. Através desta ferramenta, é possível proceder à identificação, inspeção e reporte das interferências encontradas num modelo BIM baseadas na geometria. Isto é, o Navisworks identifica um conflito sempre que as geometrias de dois objetos se cruzem entre si. Assim, muitas interferências encontradas não correspondem na realidade a conflitos entre especialidades e devem por isso ser ignoradas.

O Navisworks disponibiliza regras e opções nos testes realizados, na visualização dos resultados, para a ordenação dos conflitos encontrados e para a produção de relatórios.

Um teste de detecção de conflitos é no fundo uma configuração de opções, regras e seleções utilizadas para encontrar conflitos no modelo. É efetuado pelo coordenador ou modeladores do projeto e requer que estes tenham um vasto conhecimento de todas as opções e da terminologia do *software*. As características do “Clash Detective” facilitam o trabalho em equipa durante as revisões do projeto.

O comando “Clash Detective” está situado no painel “Tools” do separador “Home”.

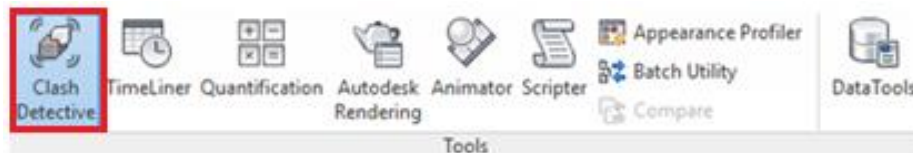


Figura 21- Clash Detective

4.5.2. Apresentação do Clash Detective

Quando a janela “Clash Detective” é aberta, é possível escolher entre 2 opções:

- A criação do primeiro teste ao clicar em “Add Test”;
- A importação de testes guardados anteriormente através da opção “Import Clash Tests”.

Após a criação de um teste, a janela “Clash Detective” torna todos os seus separadores e comandos visíveis.

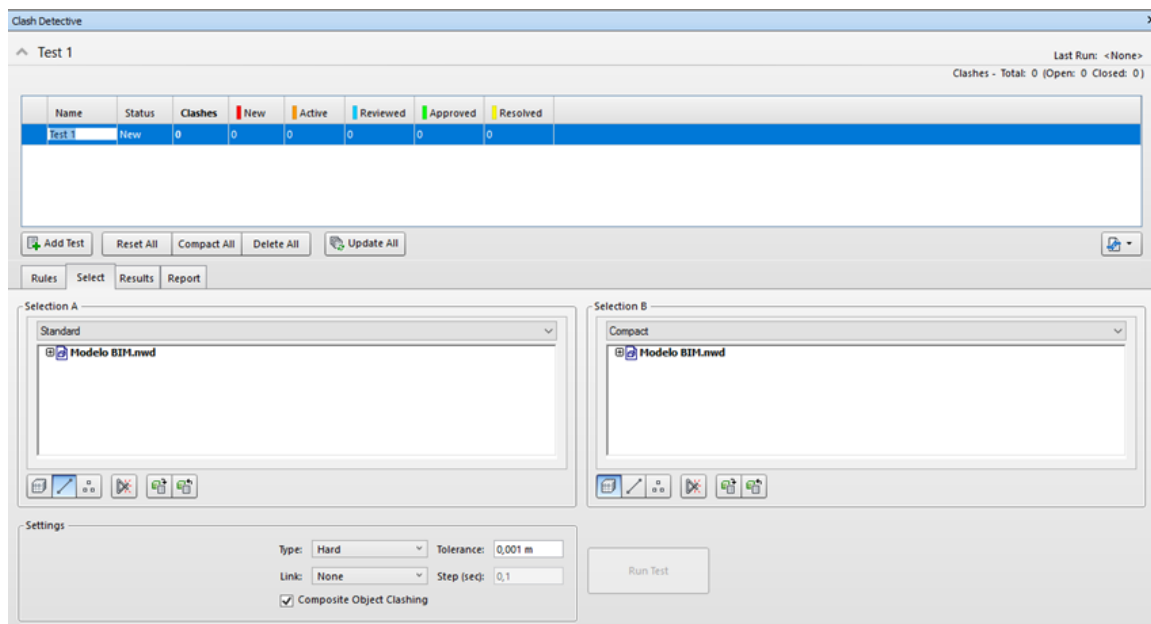



Figura 22- Interface do Clash Detective


Esta divide-se em quatro separadores:


- **Rules** – São definidos os tipos de conflitos entre objetos a serem ignorados através das regras de interferência disponíveis (ou pela combinação entre estas). Ao optar por ignorar determinados tipos de conflitos entre objetos, o número de resultados encontrados será também menor;
- **Select** – São definidos os elementos a inspecionar nos testes efetuados;
- **Results** – Após a escolha dos elementos e das opções utilizadas na deteção de conflitos, os resultados são visualizados neste separador;
- **Report** – Permite a criação personalizada de relatórios de interferências.


4.5.3. 1º Passo - Criação do teste


Apresentam-se, de seguida, os comandos principais disponibilizados pelo “*Clash Dective*” na criação e gestão de testes.

 **Add Test** – Adiciona um novo teste. O separador “*Select*” é automaticamente exibido para a definição dos critérios para este novo teste. É possível adicionar tantos testes quanto os pretendidos, com regras e opções diferentes para cada um deles;

 **Reset All** – Restabelece todos os testes. Estes serão os mesmos, mas é possível alterar as opções e regras e correr novamente os testes. Por outras palavras, ao clicar neste comando, o estado dos testes será alterado para “*New*” e o número de conflitos detetados será reduzido a 0;

 **Compact All** – Exclui os resultados de interferência marcados com o *status* de “*Resolved*”, de modo a serem criados ficheiros menores;

 **Delete All** – Apaga todos os testes criados;

 **Update All** – Executa todos os testes.

É possível executar estas ações individualmente para cada teste criado.

4.5.4. 2º Passo –Definição dos elementos em teste (Separador Select)

Após a criação de um novo teste, é recomendável a escolha de um título que o torne facilmente identificável e é no separador “*Select*” que é definido o tipo de teste pretendido.

É neste separador que são escolhidos os elementos ou projetos a serem inspecionados, onde se observa a existência de dois painéis: “*Selection A*” e “*Selection B*”.

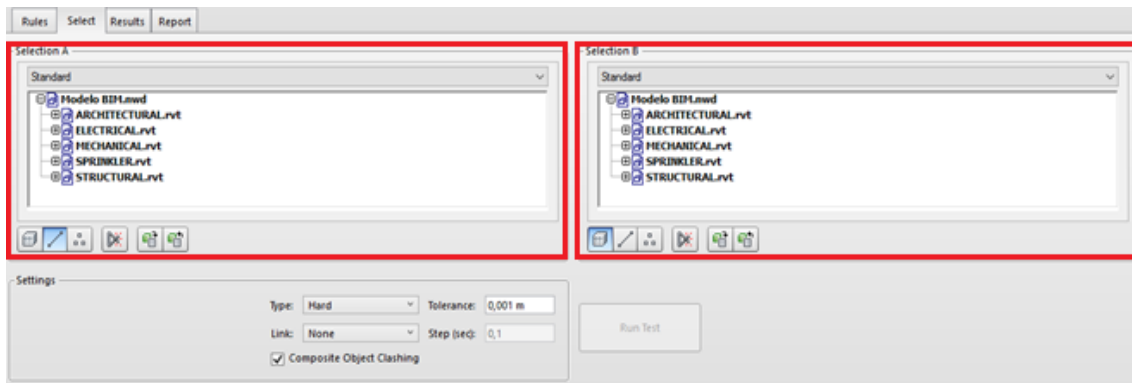


Figura 23- Clash Detective - Separador Select

Dois arquivos, um de cada lado, devem ser selecionados para a análise de interferências. O “Clash Detective” verifica se as coordenadas de um elemento estão a sobrepor as coordenadas de outro elemento selecionado. Em cada projeto, é possível selecionar individualmente os elementos a serem inspecionados. A visualização e a exploração das camadas e dos itens disponíveis em cada projeto é idêntica à da janela “Selection Tree”. Apresenta-se, de seguida, uma descrição dos comandos disponíveis no separador “Select”.

No topo dos campos “Selection A” e “Selection B”, é possível escolher as opções de visualização dos projetos ou elementos a serem selecionados para o teste:

- **Standard** – Permite a exploração de todas as camadas e itens presentes no projeto;
- **Compact** – Permite apenas a seleção das camadas de pisos dentro de cada projeto;
- **Properties** – Permite a procura de camadas e elementos a serem testados a partir de propriedades que os identifiquem.

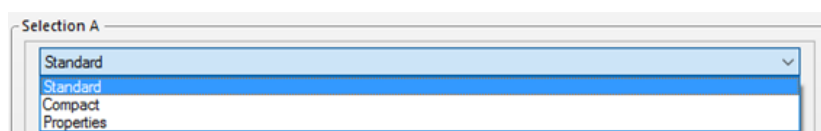


Figura 24- Opções de visualização dos elementos dos projetos

Os elementos a serem cruzados são posteriormente selecionados em “Selection A” e em “Selection B”. A Figura 25 ilustra um teste de interferências a efetuar entre o projeto da estrutura e o projeto de redes de incêndio.

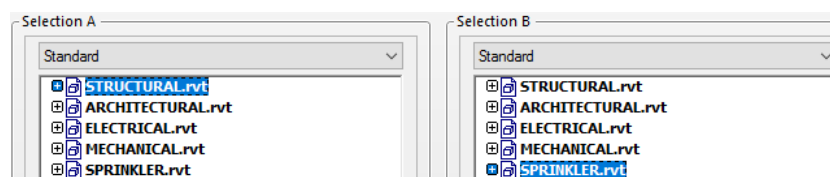








Figura 25- Selection A e Selection B

Por baixo da seleção de camadas e elementos a serem testados, é possível visualizar a seguinte lista de comandos onde são definidas as opções de interferências entre elementos.



Figura 26- Opções de interferências entre elementos

-  **Surfaces** – Inclui a superfície da geometria dos objetos;
-  **Lines** – Inclui linhas de eixo da geometria dos objetos;
-  **Points** – Inclui pontos da geometria dos objetos;
-  **Self-Intersect** – Executa o teste para a interseção de um conjunto contra outro conjunto, incluindo a sua auto interseção;
-  **Use Current Selection** – Executa o teste para um conjunto de objetos selecionados diretamente no modelo BIM;
-  **Select in Scene** – Seleciona no modelo BIM o objeto ou conjunto de objetos selecionados em “*Selection A*” e “*Selection B*”.

Depois de selecionados os elementos, segue-se a escolha de outras opções de teste no campo “*Settings*”. Neste campo, observam-se quatro opções:

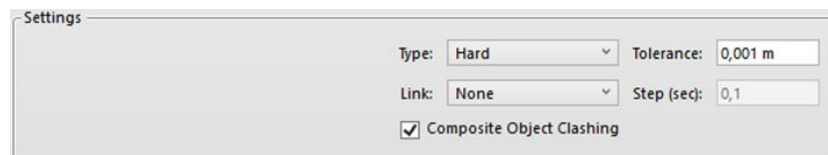


Figura 27- Settings

- **Type** – Define o tipo de teste de interferências efetuado;
- **Link** – Permite a associação de um planeamento de construção ou de uma animação ao teste efetuado;
- **Tolerance** – Define a tolerância na deteção de interferências entre a geometria de dois objetos;
- **Step (sec)** – Define o tamanho do intervalo a usar quando se procura interferências numa simulação. Esta opção só está disponível quando é selecionado um “*Link*”.

Na opção “*Type*”, é possível definir entre 4 tipos de testes:

- **Hard** – Deteta interferências reais de geometrias dos objetos a partir de uma distância especificada em “*Tolerance*”;
- **Hard (Conservative)** – Executa o mesmo teste de interferência da opção “*Hard*”, mas aplica um método de interseção mais conservador. Uma vez que a geometria dos objetos no Navisworks é composta por triângulos, os objetos ou partes destes que deveriam apresentar superfícies arredondas (como a extremidade de uma tubagem), irão apresentar estas superfícies com uma aparência hexagonal ou quadrada em vez de arredondada, o que poderá levar à existência de conflitos não detetados por nenhum dos triângulos que compõem a extremidade da tubagem intercetarem com outros objetos no teste “*Hard*”. Portanto, este tipo de teste deteta objetos que tenham a probabilidade de se intercetarem entre si pelo que pode apresentar resultados de conflitos falsos, embora se trate de um método de deteção de conflitos mais seguro;
- **Clearance** – Deteta interferências entre geometrias de objetos, a partir de uma determinada distância especificada em “*Tolerance*”. Ou seja, os dois objetos podem não se intercetarem, mas aproximam-se um do outro a partir de uma distância especificada. Estes testes também incluem os conflitos do tipo “*Hard*”;
- **Duplicates** – Deteta a existência de geometrias duplicadas. Este tipo de teste pode ser utilizado num projeto para garantir que este ou parte do mesmo não tenha sido desenhado mais do que uma vez.

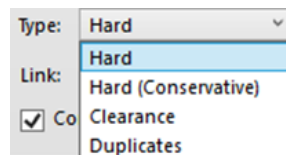


Figura 28- *Type*

Na opção “*Link*”, é possível associar um planeamento de construção ou uma animação criada posteriormente.

- **None** – Não associa um planeamento de construção ou uma animação;
- **Timeliner** – Liga o planeamento de construção à ferramenta “*Clash Detective*”, possibilitando a integração das características das duas ferramentas e permitindo o encontro de conflitos entre projetos ao longo do ciclo de construção de um modelo BIM. É possível que dois objetos coincidam no espaço em determinada altura num cronograma de construção, sendo detetado o conflito. Neste caso, é indicada a data de ocorrência e o evento que causou o mesmo.

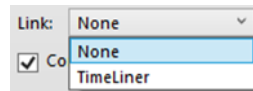


Figura 29- Link

4.5.5. 3º Passo – Definição de regras de interferência (Separador Rules)

No separador “Rules”, são definidos os tipos de conflitos entre elementos a serem ignorados através da seleção de regras de interferência disponíveis. Ao optar por ignorar determinados tipos de conflitos entre elementos, o número de resultados será também naturalmente menor.

O Navisworks disponibiliza as seguintes regras de interferência:

- **Items in same Layer** – São ignorados os conflitos entre objetos situados na mesma camada ou nível;
- **Items in same group/block/cell** – São ignorados os conflitos entre objetos situados no mesmo grupo, bloco ou célula;
- **Items in same file** – São ignorados os conflitos entre objetos situados no mesmo ficheiro;
- **Items with coincident snap points** – São ignorados os conflitos entre objetos com “*snap points*” coincidentes.

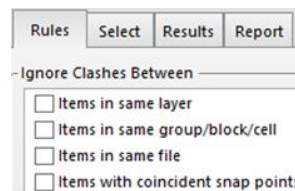


Figura 30- Ignore Clashes Between

O Navisworks permite também a criação e a personalização de novas regras de interferências que permitem que outros tipos de conflitos sejam ignorados, utilizando outras propriedades dos elementos.

4.5.6. 4º Passo: Visualização dos conflitos detetados (Separador Results)

Após a seleção dos elementos e das opções de deteção de conflitos, os resultados são visualizados no separador “Results”.

A lista de conflitos encontrados entre a estrutura e redes de incêndio é a que se apresenta na Figura 31, com um total de 51 conflitos detetados entre os dois projetos.

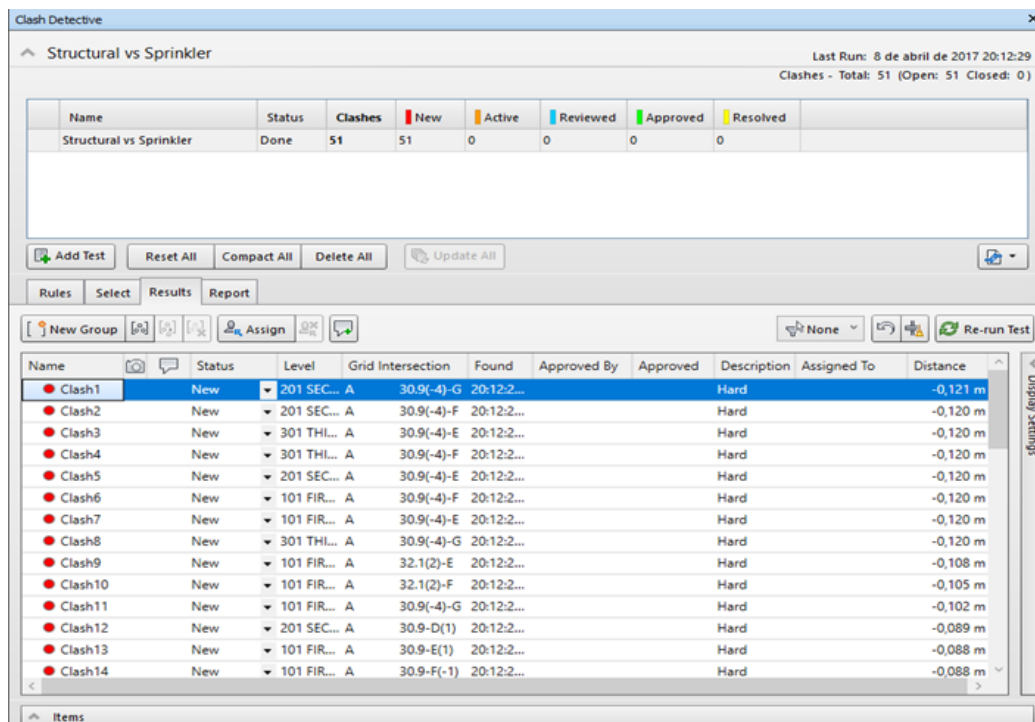


Figura 31- Clash Detective - Separador Results

A lista de conflitos detetados é apresentada segundo:

- **Name** – Os conflitos encontrados são numerados automaticamente, sendo possível renomear o título de cada um. Quando um conflito é visualizado ou quando é adicionado um comentário, esta informação será indicada ao lado do título do conflito pela representação de um ícone;

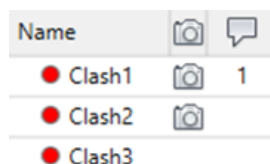


Figura 32- Nome, visualização e comentários do conflito

- **Status** – É possível organizar os conflitos detetados segundo um estado que os caracterize. Quando um conflito é identificado pela primeira vez, este terá o estado “New” associado ao mesmo. Este estado pode ser alterado para “Active” (um conflito detetado numa execução de teste anterior, mas não resolvido), “Reviewed” (um conflito detetado anteriormente e marcado como revisto), “Approved” (um conflito detetado anteriormente e marcado como aprovado) e “Resolved” (um conflito detetado numa execução anterior do teste que não é detetado na corrente execução do teste, tratando-se assim de um conflito resolvido).

Name	Status
Clash1	New
Clash2	New
Clash3	Active
Clash4	Reviewed
Clash5	Approved
	Resolved

Figura 33- Estado do conflito

- **Level** – Indica o piso em que se encontra o conflito detetado;
- **Grid Intersection** – Indica as coordenadas da localização do conflito detetado;
- **Found** – Data em que o conflito foi detetado;
- **Approved by** – Indica o interveniente responsável por aprovar o conflito;
- **Approved** – Data em que o conflito foi aprovado;
- **Description** – Tipo de conflito encontrado;
- **Assigned to** – Indica o interveniente responsável pela resolução do conflito;
- **Distance** – Indica a distância em que as geometrias de dois objetos se cruzam entre si, servindo como um indicador da gravidade do conflito.

Apresentam-se, de seguida, os comandos disponíveis no separador “Select”.

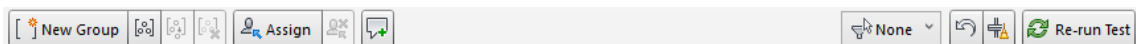



Figura 34- Lista de comandos no separador Select

 **New Group** – Cria um grupo para o qual é possível arrastar os conflitos seleccionados. Tal permite a organização de conflitos de modo a que a visualização destes seja mais fácil para o coordenador do projeto. É possível renomear o título para o grupo;

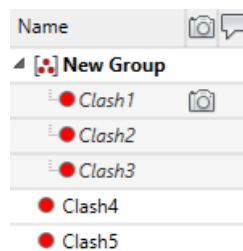






Figura 35- New Group

 **Group Selected Clashes** – Cria um grupo para um conjunto de um ou mais conflitos seleccionados;

 **Remove from group** – Remove um ou mais conflitos seleccionados dentro de um grupo criado;

 **Explode Group** – Apaga um grupo criado, mas não os conflitos dentro deste;

 **Assign** – Atribui a resolução do conflito encontrado ao interveniente responsável pelo projeto;

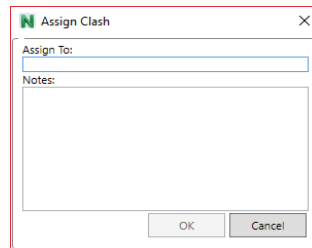




Figura 36- Assign Clash

 **Unassign** – Cancela a atribuição da resolução de um conflito;

 **Add comment** – Adiciona um comentário ao conflito;

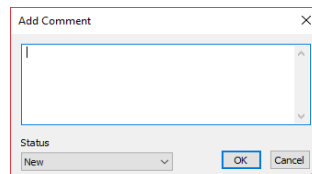







Figura 37- Add comment

 **None** – Mostra todos os conflitos encontrados;

 **Exclusive** – Mostra apenas os conflitos cujos objetos estejam selecionados no modelo BIM;

 **Inclusive** – Mostra apenas os conflitos com pelo menos um dos objetos selecionados no modelo BIM;

 **Reset** – Apaga todos os conflitos encontrados;

 **Compact** – Apaga os conflitos resolvidos;

 **Re-run test** – Executa novamente o teste e atualiza os resultados.

No lado direito da janela “*Clash Detective*” encontra-se o separador extensível “*Display Settings*”, que permite definir opções de visualização dos conflitos detetados. Para demonstração das funcionalidades deste comando, foi selecionada a *Clash 1* referente ao teste

de interferências entre o projeto da estrutura e o projeto de redes abastecimento de águas domésticas.

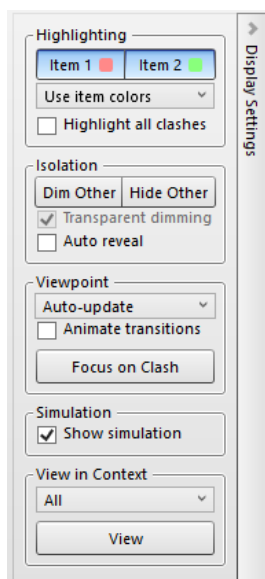


Figura 38- Separador expansível Display Settings

Apresenta-se, de seguida, a lista de opções disponíveis neste separador expansível.

- **Highlighting** – Permite a escolha das cores dos objetos detetados no conflito. O Item 1 refere-se aos elementos da “Selection A” e o Item 2 refere-se aos elementos da “Selection B”. Selecionando a opção “Highlight all clashes”, é possível visualizar todos os conflitos detetados na proximidade do conflito em estudo.

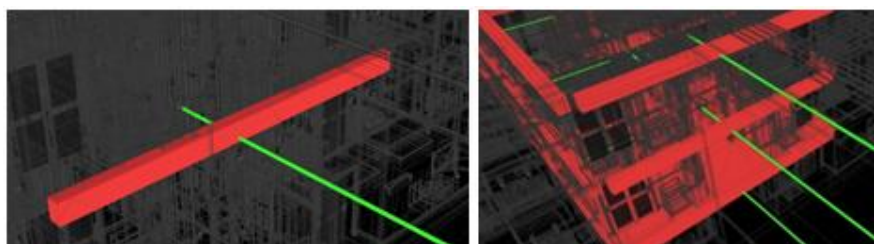


Figura 39- Highlight all clashes

- **Isolation** – A opção “Dim Other” permite a visualização do conflito detetado juntamente com o resto do modelo BIM, apresentando estes com uma cor transparente se a opção “Transparent dimming” tiver sido selecionada. Esta opção permite ao utilizador ter a perceção do local onde o conflito se encontra no modelo BIM. A opção “Hide Other” mostra apenas os objetos contidos no conflito em questão, escondendo o resto do modelo BIM. Permite ao utilizador uma melhor visualização do conflito (Figura 40);

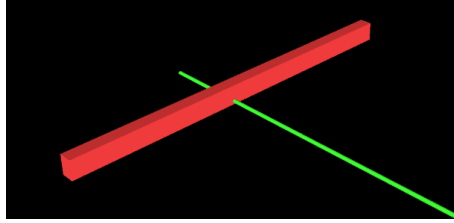


Figura 40- Isolation

- **Viewpoint** – Refere-se às vistas sobre os conflitos selecionados. A opção “*Auto-update*” escolhe automaticamente o ponto de vista mais adequado para visualizar o conflito ou carrega um ponto de vista escolhido anteriormente, a opção “*Auto-load*” carrega um ponto de vista mas não guarda qualquer alteração e a opção “*Manual*” não carrega nem guarda nenhum ponto de vista. Selecionar a opção “*Animate transitions*” cria uma breve navegação no modelo BIM entre o conflito visualizado e o conflito selecionado de seguida (a visualização dos conflitos detetados torna-se mais rápida e fluida se esta opção não estiver selecionada). E o comando “*Focus on Clash*” cria o ponto de vista mais adequado para sobre o conflito selecionado;

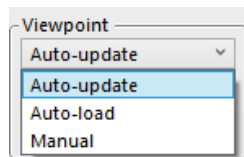


Figura 41- Viewpoint

- **Simulation** – Selecionar esta opção permite a visualização e a investigação dos eventos imediatamente antes e após a ocorrência do conflito, no caso de estar associado um planeamento de construção;
- **View in Context** – Define opções que permitem executar um *zoom out* até um ponto de referência no modelo, contextualizando assim a localização do conflito.

No fundo do separador “*Results*”, encontra-se o separador extensível “*Items*”, que identifica os objetos detetados no conflito. É possível retirar a informação de que na *Clash 1* do teste “*Structure Vs. Sprinkler*” entram em conflito uma viga de betão armado com uma seção retangular de 12 x 18cm e uma tubagem da rede de abastecimento de água localizada no 2º piso.

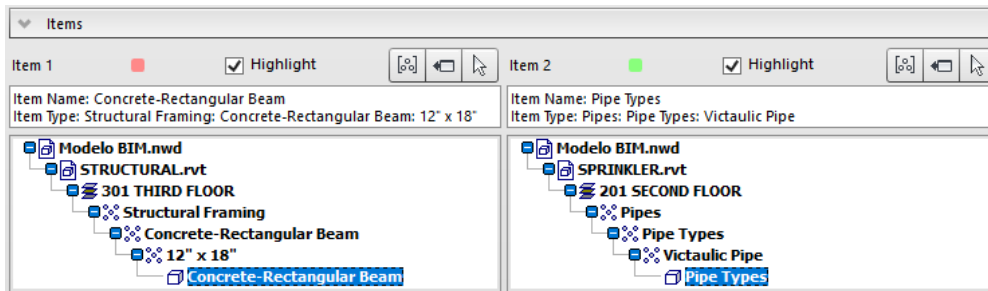


Figura 42- Separador expansível Items

4.5.7. 5º Passo: Criação de relatórios de interferências (Separador Report)

É neste separador que são criados e personalizados os relatórios de interferências encontradas.

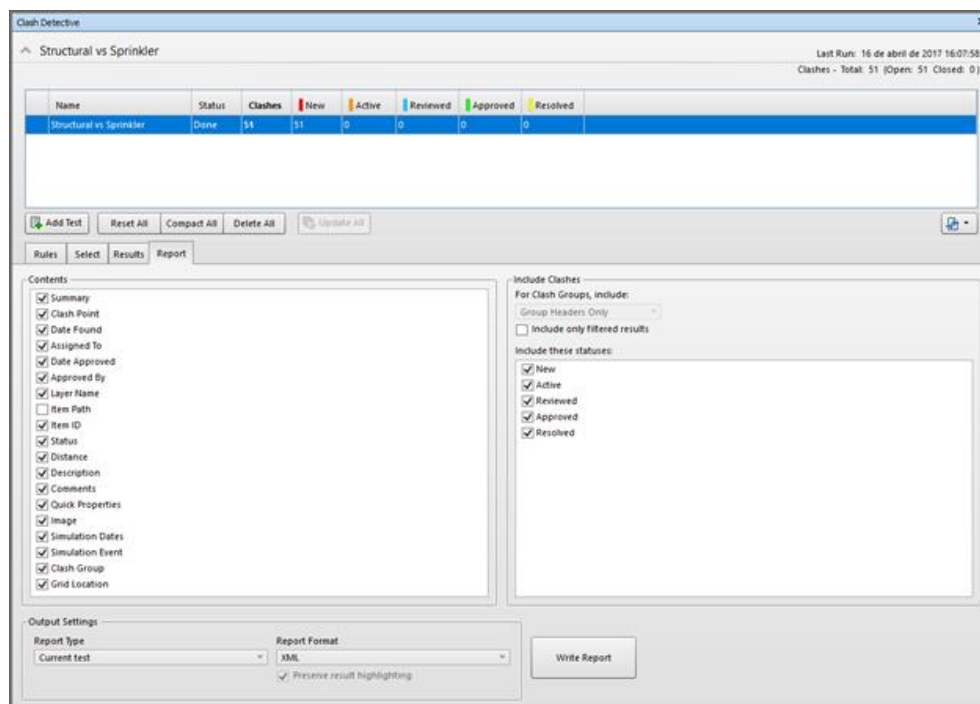


Figura 43- Clash Detective - Separador Report

Neste separador é possível visualizar a existência de três painéis:

- **Contents** – Neste painel são selecionados os dados que o utilizador pretende que apareçam no relatório, como um sumário do conflito, a data em que foi encontrado e aprovado, a indicação do interveniente responsável por resolver o conflito e comentários adicionais, entre outros;



Figura 44- Contents

- **Include Clashes** – Neste painel são escolhidos os conflitos que irão constar no relatório, consoante o seu estado. Caso existam conflitos localizados dentro de grupos, existem 3 opções: “*Group Headers Only*” (o relatório irá incluir resumos dos conflitos localizados dentro e fora de grupos e para os campos marcados com um asterisco são mostrados apenas os valores mais importantes do grupo), “*Individual Clashes Only*” (o relatório irá apresentar os resumos dos conflitos individualmente, incluindo os que estiverem localizados em grupos) e “*Everything*” (o relatório irá apresentar o resumo do grupo no qual os conflitos estão localizados, assim como os resultados de conflitos individuais). Se o teste não apresentar nenhum grupo de interferências, esta opção não estará disponível;
- **Output Settings** – Neste painel é escolhido o tipo e o formato do relatório. Existem três tipos de formato: “*Current test*” cria apenas um relatório para o teste selecionado, “*All tests (combined)*” cria apenas um relatório contendo os resultados de todos os testes e “*All tests (separate)*” cria um relatório para cada teste criado contendo todos os resultados de cada um. Em relação ao formato do relatório, distinguem-se cinco tipos. “*XML*” cria um ficheiro *XML* contendo todos os conflitos encontrados juntamente com a descrição dos seus detalhes e um ficheiro *jpeg* para cada conflito, agrupados numa pasta. “*HTML*” cria um ficheiro *HTML* contendo todos os conflitos encontrados juntamente com os seus detalhes e um ficheiro *jpeg* para cada conflito, agrupados numa pasta (Figura 45). “*HTML (Tabular)*” cria um ficheiro *HTML tabular* contendo todos os conflitos encontrados juntamente com os seus detalhes e um ficheiro *jpeg* para cada conflito, agrupados numa pasta (este tipo de ficheiro confere a possibilidade de abrir e editar o ficheiro no Microsoft Excel). “*Text*” cria um ficheiro *TXT* contendo todos os detalhes dos conflitos encontrados e um ficheiro *jpeg* para cada conflito, agrupados numa pasta. “*As viewpoints*” cria uma pasta com os conflitos detetados na janela encaixável “*Saved Viewpoints*”, com o nome do teste (esta janela é automaticamente exibida quando o relatório é executado).

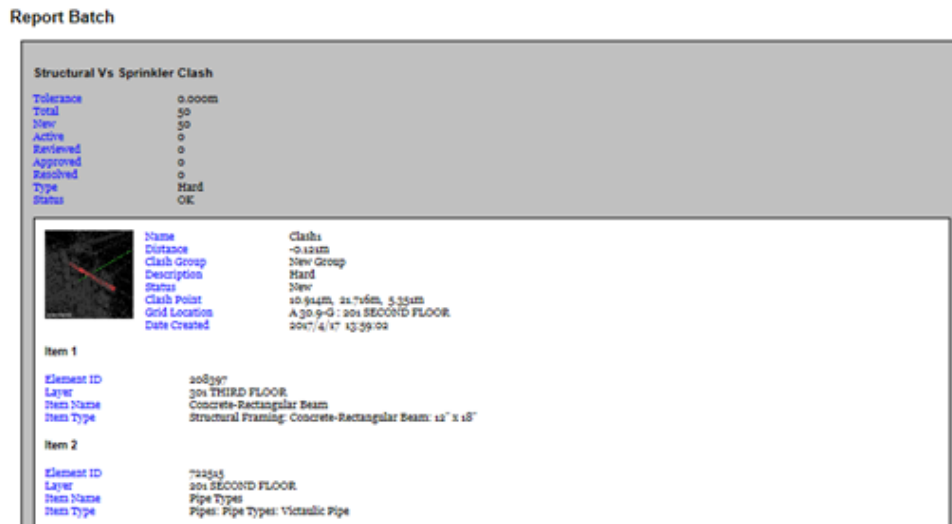


Figura 45- Ficheiro HTML

4.5.8. Interferências detetadas no modelo em estudo

Foram efetuados sobre o modelo BIM em estudo, três tipos de testes de deteção de interferências:

- Deteção de interferências entre elementos de especialidades diferentes;
- Deteção de interferências entre elementos da mesma especialidade;
- Deteção de elementos duplicados.

Para a deteção de interferências entre elementos de especialidades diferentes, foram cruzados entre si os 5 projetos existentes no modelo, num total de 10 testes efetuados. Foram executados testes do tipo “Hard” com uma tolerância de 0,003m. Os resultados obtidos são os que se apresentam na Figura 46.

Name	Status	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved
Structural vs Architectural	Done	1973	1973	0	0	0	0
Mechanical vs Architectural	Done	1838	1838	0	0	0	0
Sprinkler vs Architectural	Done	1006	1006	0	0	0	0
Structural vs Mechanical	Done	488	488	0	0	0	0
Eletrical vs Architectural	Done	376	376	0	0	0	0
Electrical vs Mechanical	Done	130	130	0	0	0	0
Structural vs Sprinkler	Done	50	50	0	0	0	0
Structural vs Electrical	Done	43	43	0	0	0	0
Mechanical vs Sprinkler	Done	19	19	0	0	0	0
Electrical vs Sprinkler	Done	1	1	0	0	0	0

Figura 46- Interferências entre elementos de especialidades diferentes

Verifica-se que os testes envolvendo o projeto da arquitetura do modelo BIM são os mais propícios à ocorrência de conflitos com as restantes especialidades. Tal deve-se ao fato deste projeto ser naturalmente o que ocupa uma maior volumetria no modelo BIM havendo uma maior probabilidade de entrar em conflito com os restantes projetos.

Muitos dos elementos pertencentes às restantes especialidades, como tubagens e condutas de ar condicionado (pertencentes ao projeto de instalações mecânicas), passam através de paredes e tetos falsos (pertencentes ao projeto de arquitetura), sendo o cruzamento entre as geometrias dos elementos de ambos os projetos posteriormente identificado como um conflito pelo Navisworks. Muitos destes resultados podem não corresponder na realidade a conflitos.

Por outro lado, os testes executados envolvendo apenas os elementos pertencentes às instalações elétricas, mecânicas e às redes de incêndio são os que apresentam um menor número de conflitos devido à reduzida geometria dos mesmos e à baixa probabilidade de se cruzarem entre si.

De seguida, foram efetuados testes de deteção de interferências entre elementos da mesma especialidade. Os resultados foram os obtidos na Figura 47.

Name	Status	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved
Architectural vs Architectural	Done	1717	1717	0	0	0	0
Mechanical vs Mechanical	Done	880	880	0	0	0	0
Sprinkler vs Sprinkler	Done	271	271	0	0	0	0
Electrical vs Electrical	Done	73	73	0	0	0	0
Structural vs Structural	Done	26	26	0	0	0	0

Figura 47- Interferências entre elementos da mesma especialidade

Por último, foram executados testes de deteção de objetos duplicados. Tal como na deteção de conflitos entre elementos da mesma especialidade, os testes são efetuados cruzando as especialidades entre si. No entanto, o tipo de testes foi alterado de “Hard” para “Duplicate” e a tolerância foi alterada para 0m. Foi detetado apenas um objeto duplicado no projeto de instalações mecânicas, tendo este sido identificado como uma conduta de ar condicionado. A deteção de elementos duplicados leva a uma estimativa de custos do projeto mais precisa.

Name	Status	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved
Mechanical vs Mechanical	Done	1	1	0	0	0	0
Architectural vs Architectural	Done	0	0	0	0	0	0
Electrical vs Electrical	Done	0	0	0	0	0	0
Sprinkler vs Sprinkler	Done	0	0	0	0	0	0
Structural vs Structural	Done	0	0	0	0	0	0

Figura 48- Deteção de objetos duplicados

Para cada teste efetuado, foram selecionados conflitos com características distintas com o objetivo de demonstrar uma maior variedade dos conflitos encontrados no modelo em estudo.

4.5.8.1. Interferências entre elementos de especialidades diferentes

De seguida, são apresentadas algumas interferências detetadas nos testes efetuados entre elementos de projetos de especialidades diferentes e a sua resolução para uma adequada coordenação em projeto.

- **Arquitetura Vs. Estrutura** (Número de conflitos detetados: 1973)



Figura 49- Arquitetura Vs. Estrutura

Nas *Clashes* 1 e 180, as vigas de betão armado entram em conflito com elementos da arquitetura. Na *Clash* 1 a viga passa através de uma parede interior e na *Clash* 180 a viga passa através de um “room”. Um “room” é uma subdivisão do espaço criada dentro de um modelo no Revit, baseada em elementos como paredes, telhados e tetos, e pode ser utilizada, entre outras funções, para cálculos de análise energética. No projeto de arquitetura, foi criado um “room” em todos os quartos do edifício. Explorando o interior do modelo BIM, é possível verificar a correta colocação da viga de betão armado no interior do quarto, pelo que poderá não se tratar de um conflito.

As *Clashes* 924 e 1546 mostram a colocação incorreta de um bengaleiro e de um rodapé, que partilham o mesmo espaço com os pilares de betão armado. O Navisworks permite retirar a informação de que o bengaleiro transpõe o pilar em 0,061m. Em relação ao rodapé, este deve ser modelado de forma a contornar o pilar (assumindo-se, no conflito em estudo, como correta a localização deste elemento).

Em coordenação de projeto, os conflitos detetados são reportados aos intervenientes responsáveis pelo projeto de estruturas e pelo projeto de arquitetura, pelo facto de ambos evoluírem de forma conjunta. No caso de serem encontrados conflitos semelhantes aos das *Clashes* 924 e 1546, estes são reportados apenas ao arquiteto de modo a que estes elementos não sejam colocados sobre elementos estruturais.

- **Arquitetura Vs. Instalações Mecânicas** (Número de conflitos detetados: 1838)

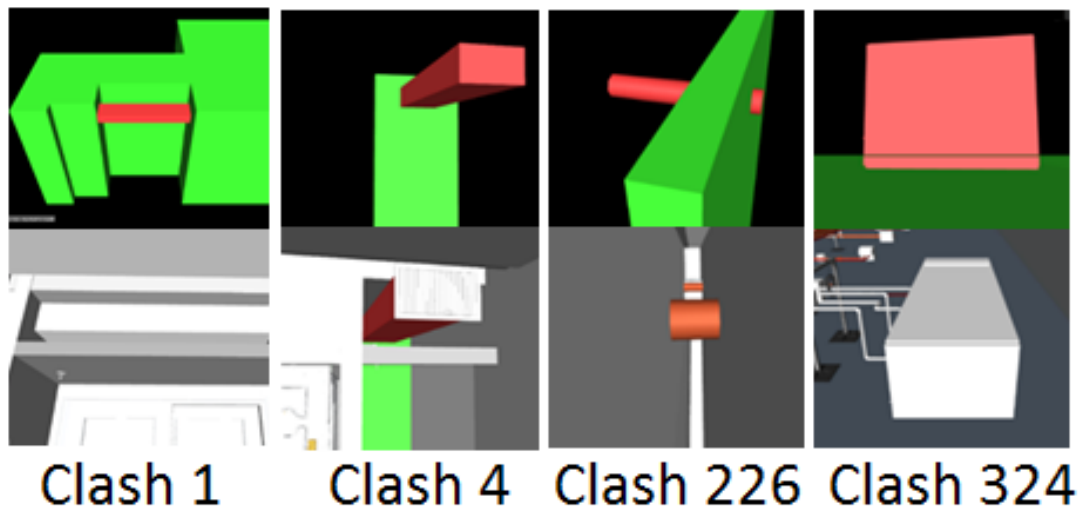


Figura 50- Arquitetura Vs. Instalações Mecânicas

A *Clash 1* mostra uma conduta de ar condicionado colocada no teto falso de um quarto. Tal como na *Clash 180* detetada no teste de “Arquitetura Vs. Instalações Mecânicas”, este conflito é detetado pelo fato de a conduta passar através de um “*room*”, devendo por isso ser ignorado.

É possível explorar o modelo BIM e verificar a correta colocação do sistema de ar condicionado, escondendo alguns dos restantes elementos para uma melhor perceção do espaço.



Figura 51- Verificação da colocação do sistema de ar condicionado

Na *Clash 4*, a conduta de ar condicionado anterior atravessa uma parede e, tal como verificado após a exploração do modelo, está colocada corretamente e não corresponde na realidade a um conflito.

A *Clash 226* mostra a passagem de uma tubagem da rede de drenagem de águas residuais através de uma parede interior, devendo este conflito ser ignorado.

A *Clash 324* refere-se à colocação incorreta de um equipamento mecânico na superfície da cobertura do edifício, que a transpõe em 0,102m. O Revit disponibiliza um comando que possibilita o alinhamento da superfície de um objeto na superfície de outro objeto.

Em coordenação de projeto é enviado um aviso ao responsável pelo projeto de instalações mecânicas para a colocação correta das tubagens e equipamentos mecânicos detetados em locais inadequados.

- **Arquitetura Vs. Redes de Incêndio** (Número de conflitos detetados: 1006)

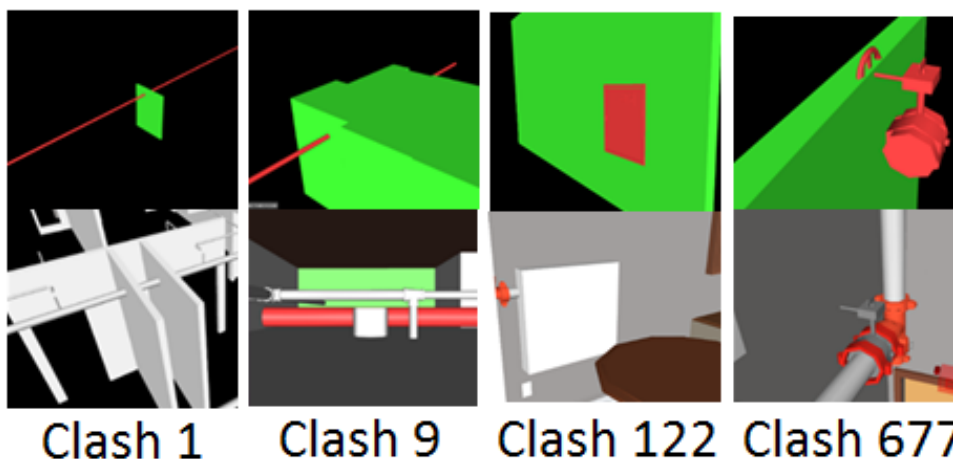


Figura 52- Arquitetura Vs. Redes de Incêndio

A *Clash 1* identifica a passagem de uma tubagem das redes de incêndio através de uma parede interior e na *Clash 9* outra tubagem do mesmo projeto atravessa um “room”, o qual é contabilizado como um conflito. Por exploração do modelo, verifica-se que estas tubagens passam nos tetos falsos e em locais adequados, devendo estes conflitos serem por isso ignorados.

A *Clash 122* mostra a colocação incorreta de um armário com mangueira e extintor de incêndio, que transpõe a superfície da parede no qual está colocado em 0,092m.

Na *Clash 677* existe uma válvula colocada incorretamente pois a sua geometria cruza-se com a geometria de uma parede interior, ou seja, não existe espaço entre a tubagem e a parede para a colocação deste elemento com a orientação escolhida.

A maioria dos conflitos encontrados referem-se à passagem de tubagens do projeto de redes de incêndio através de paredes, tetos falsos e “rooms”, que são contabilizados como conflitos pelo Navisworks pela sobreposição entre as geometrias dos objetos.

Em coordenação de projeto, é enviado um aviso ao responsável pelo projeto de redes de incêndio para a resolução de conflitos de elementos colocados incorretamente. Na *Clash 677*, pode optar-se pela colocação de outro elemento de válvula que tenha as dimensões necessárias para não entrar em conflito com a parede ou pela alteração da orientação da válvula existente.

- **Estrutura Vs. Instalações Mecânicas** (Número de conflitos detetados: 488)

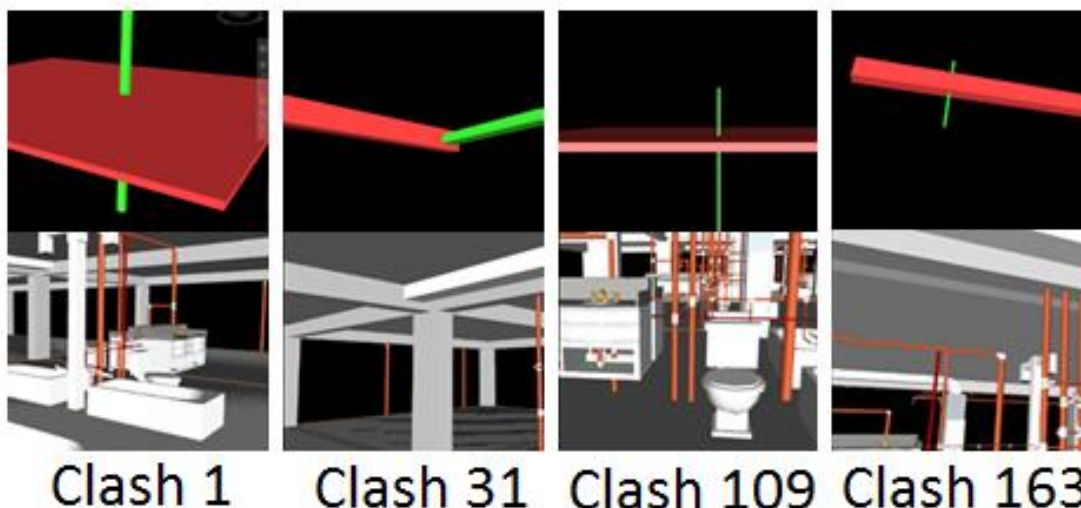


Figura 53- Estrutura Vs. Instalações Mecânicas

As *Clashes 1* e *109* mostram a passagem de uma conduta de ar condicionado e de uma tubagem do projeto de abastecimento de águas domésticas através de uma laje de betão armado.

As *Clashes 31* e *163* mostram a passagem incorreta de uma conduta de ar condicionado e de uma tubagem do projeto de abastecimento de águas domésticas através de uma viga de betão armado.

Estes erros de projeto não aconteceriam na fase de construção, pois a instalação de condutas de ar condicionado, ventilação e exaustão, assim como de tubagens da rede de abastecimento de águas domésticas e de drenagem de águas residuais e pluviais, são executadas depois da construção da estrutura do edifício. A resolução destes conflitos em obra traz no entanto prejuízos em termos de tempo e custos.

Em coordenação de projeto, é enviado um aviso ao responsável pelo projeto de instalações mecânicas para que todas as tubagens e condutas não passem através de vigas e de pilares de betão armado. Em relação às tubagens e condutas cujas geometrias se cruzam com as lajes de betão armado, é enviado um aviso aos responsáveis por ambos os projetos de modo a concluir se estes elementos passam nos locais adequados para instalação de coretes. A necessidade de modelar elementos de corete num modelo BIM depende do LOD exigido para a finalidade do projeto, podendo estes conflitos serem ignorados se não forem exigidos níveis superiores de LOD na modelação do projeto.

- **Arquitetura Vs. Instalações Elétricas** (Número de conflitos detetados: 376)

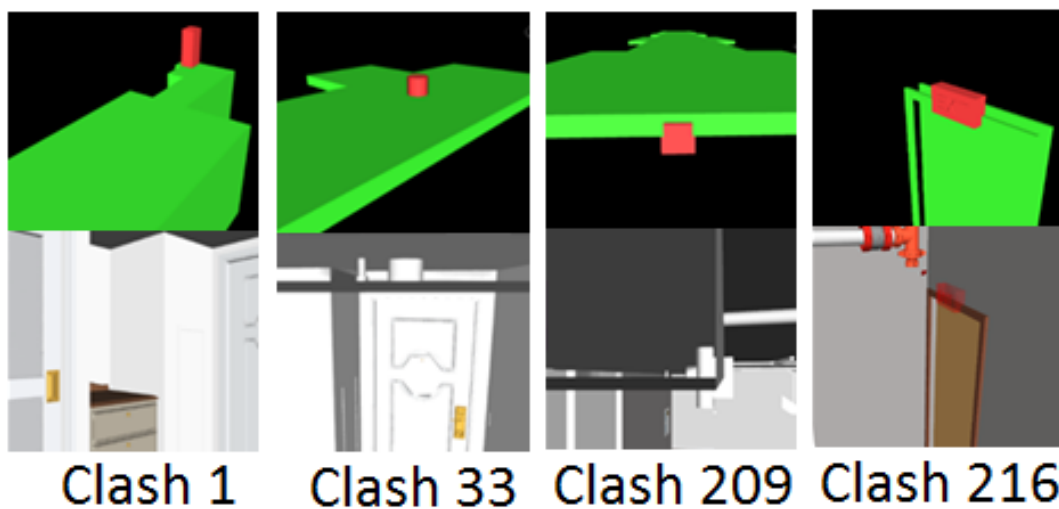


Figura 54- Arquitetura Vs. Instalações Elétricas

A *Clash 1* refere-se à interseção entre um equipamento elétrico e o “*room*” do quarto situado no piso inferior. Após a exploração do interior do quarto onde o conflito foi detetado, é possível verificar que o equipamento se localiza por atrás de uma parede pelo que a sua colocação é considerada correta.

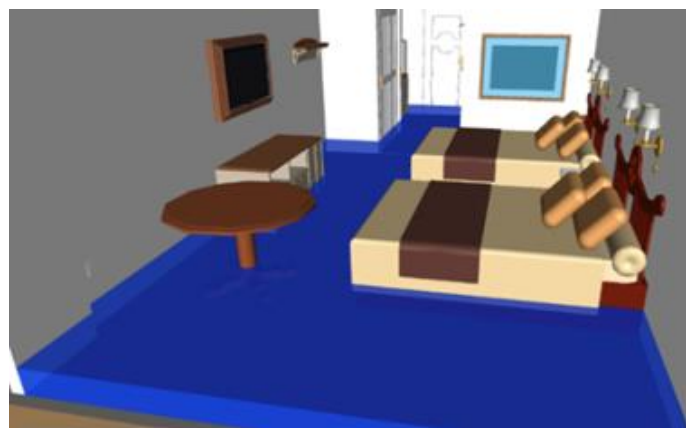


Figura 55- Modelação incorreta no projeto de arquitetura

A *Clash 33* refere-se à interseção entre um teto falso e uma lâmpada incandescente, devendo este conflito ser ignorado pois todas as lâmpadas incandescentes de teto estão colocadas em tetos falsos. As lâmpadas, se estiverem devidamente alinhadas com a superfície dos tetos falsos onde se encontram, não serão detetadas nos testes criados pois está a ser utilizada uma tolerância de 0,003m. Estes são assim conflitos que podem ser ou não ignorados consoante o LOD exigido para o projeto.

As *Clashes 209* e *216* devem-se à colocação incorreta de elementos do projeto de instalações elétricas sobre os elementos de arquitetura. Na *Clash 209*, o dispositivo de alarme de incêndio está colocado incorretamente no teto falso e na *Clash 216*, um dispositivo de indicação de saída está colocado incorretamente pois partilha o mesmo espaço com uma porta.

Em coordenação de projeto, é enviado um aviso ao responsável pelo projeto de instalações elétricas para a correta colocação dos elementos detetados em conflito. É também enviado um aviso ao responsável pelo projeto de arquitetura para corrigir a modelação de todos os “rooms”, pois estes não respeitam as superfícies dos quartos nos quais devem estar confinados.

- **Instalações Elétricas Vs. Instalações Mecânicas** (Número de conflitos detetados: 130)

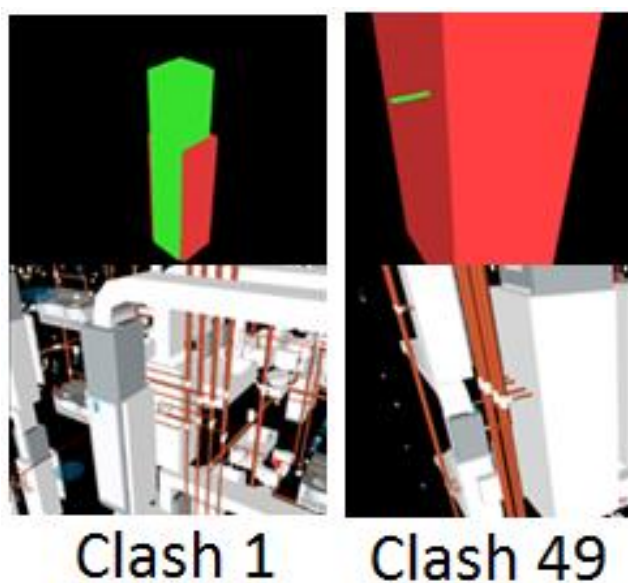


Figura 56- Instalações Elétricas Vs. Instalações Mecânicas

Alguns casos tratam-se apenas de erros de modelação que não ocorreriam durante a construção ou na montagem de equipamentos. Em sistemas formados pela combinação de vários objetos, como acontece em instalações elétricas e mecânicas, as interferências detetadas pelo Navisworks são o resultado da sobreposição de um objeto sobre outro, ou seja, cada combinação destes objetos conta como uma interferência.

O Navisworks não contém informação das relações existentes entre objetos, pelo que não é usado na deteção de erros de modelação mais complexos como os detetados nas *Clashes 1 e 49*. O Revit permite, no entanto, a edição de famílias de objetos existentes no modelo para que o projeto seja o mais rigoroso possível, de acordo com o LOD pretendido.

Na Clash 49, o conflito é detetado devido à inexistência de uma ligação entre a tubagem e o equipamento elétrico, ou seja, a tubagem termina no interior do equipamento de forma a simular esta ligação. Ora, o Navisworks deteta o conflito pela sobreposição das geometrias de ambos os objetos. No entanto, o Revit permite a edição deste equipamento elétrico de forma a acrescentar-lhe todas as ligações necessárias em falta. Deste modo, o Navisworks já não identifica como conflito a ligação entre ambos os elementos se estes estiverem devidamente conectados.

Muitas empresas fornecedoras de materiais e equipamentos de sistemas MEP já começam a disponibilizar modelos tridimensionais dos seus objetos reais para que estes sejam utilizados em modelos BIM.

Muitos destes conflitos podem ser ignorados e a utilização de famílias de objetos genéricos da Autodesk é a mais indicada se não for pretendido um LOD elevado para o modelo BIM, de modo a que o modelo seja o mais simples e leve possível.

- **Estrutura Vs. Redes de Incêndio** (Número de conflitos detetados: 50)

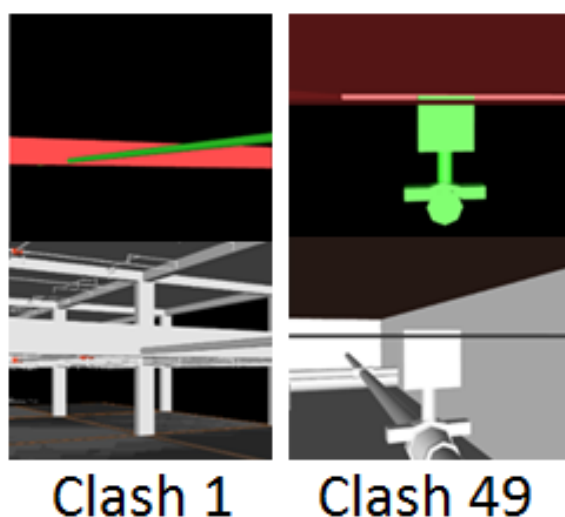


Figura 57- Estrutura Vs. Redes de Incêndio

A *Clash 1* mostra a interseção incorreta entre uma viga de betão armado e uma tubagem do projeto de redes de incêndio. As interseções conflituosas do projeto de redes de incêndio com o projeto da estrutura, mais precisamente com as vigas de betão armado, são facilmente observáveis após a exploração dos respetivos modelos. A janela “*Selection Tree*” permite

esconder os projetos das restantes especialidades para uma melhor visualização dos conflitos detetados. Foram detetados um total de 47 conflitos semelhantes ao detetado na *Clash 1* e, tal como ilustra a Figura 58, estes devem-se ao fato de todo projeto de redes de incêndio estar colocado incorretamente.

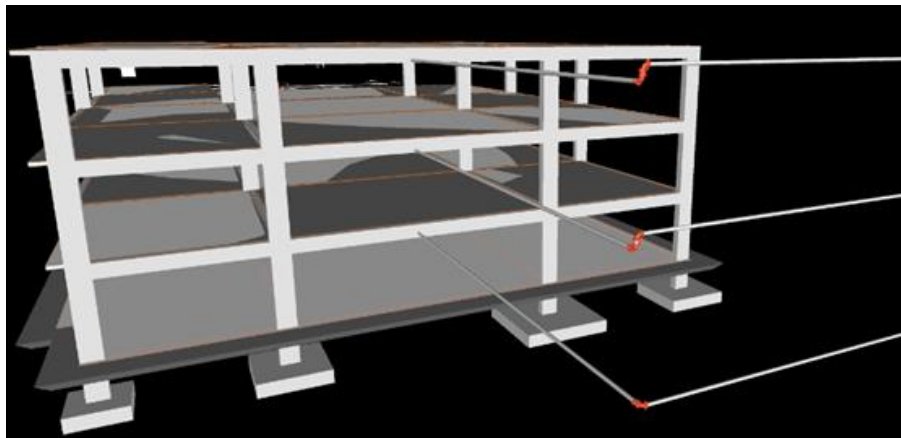


Figura 58- Colocação incorreta do projeto de redes de incêndio

Na *Clash 49* observa-se a colocação incorreta de um indicador de fluxo de água, que transpõe a laje de betão armado em 0,003m. Ou seja, não existe espaço suficiente entre a tubagem e a laje para a colocação deste elemento.

Em coordenação de projeto, é enviado um aviso ao responsável pelo projeto de redes de incêndio para corrigir todos os erros detetados de forma a que este se adapte ao projeto da estrutura.

- **Estrutura Vs. Instalações Elétricas** (Número de conflitos detetados: 43)



Figura 59- Estrutura Vs. Instalações Mecânicas

A *Clash 1* mostra a colocação incorreta de um painel elétrico situado no 1º piso, que transpõe um pilar de betão armado em 0,075m. As *Clashes 2* a 43 referem-se à colocação incorreta das ventoinhas de teto situadas em todos os quartos do hotel, que transpõem as lajes de betão em 0,012m.

A deteção de um baixo número de conflitos, comparativamente com os restantes testes realizados, deve-se ao fato da maioria dos objetos pertencentes ao projeto de instalações elétricas (tais como equipamentos elétricos, dispositivos de alarmes de incêndio e dispositivos de iluminação), estarem colocados sobre superfícies de elementos do projeto de arquitetura como paredes e tetos falsos.

Em coordenação de projeto, é enviado um aviso ao responsável pelo projeto de instalações elétricas para correção dos conflitos detetados e para que todos os elementos se adaptem ao projeto de estruturas.

- **Instalações Mecânicas Vs. Redes de Incêndio** (Número de conflitos detetados: 19)

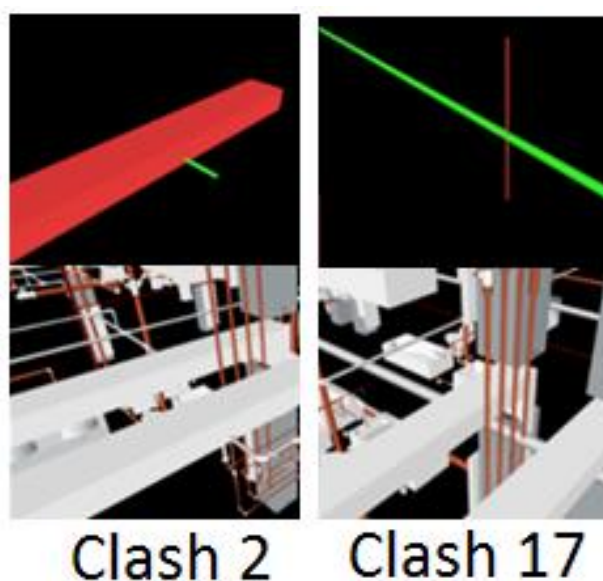


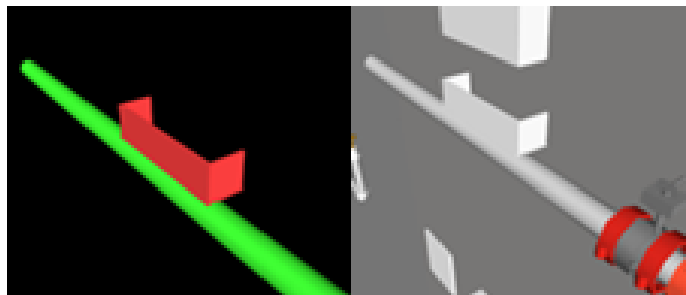
Figura 60- Instalações Mecânicas Vs. Redes de Incêndio

A *Clash 2* identifica a passagem incorreta de uma tubagem do projeto de redes de incêndio através de uma conduta de ar condicionado. Foram detetados um total de 16 conflitos semelhantes. Tal deve-se ao fato de muitos objetos pertencentes às especialidades em teste passarem ambos através de tetos falsos.

A *Clash 17* mostra uma tubagem do projeto de redes de abastecimento de água a passar no interior de uma tubagem do projeto de redes de incêndio.

Em coordenação de projeto é enviado um aviso ao responsável pelo projeto de redes de incêndio pela sua facilidade de adaptação ao projeto de instalações mecânicas e pela reduzida volumetria do mesmo comparativamente ao projeto de instalações mecânicas. Todos os conflitos detetados estão localizados no 1º piso.

- **Instalações Elétricas Vs. Redes de Incêndio** (Número de conflitos detetados: 1)



Clash 1

Figura 61- Instalações Elétricas Vs. Redes de Incêndio

Este é o teste que apresenta uma menor quantidade de conflitos encontrados, pelo fato da maioria dos elementos do projeto de redes de incêndio passarem através dos tetos falsos do edifício e da maioria dos objetos do projeto de instalações elétricas estarem colocados nas paredes, não tendo sido detetado qualquer outro conflito entre os projetos em estudo para além do encontrado na *Clash 1*.

Em coordenação de projeto, a resolução do conflito deve ser discutida entre os intervenientes responsáveis por ambos os projetos, com vista à alteração da localização da tubagem ou do equipamento elétrico.

4.6.8.2. Interferências entre elementos da mesma especialidade

De seguida, são apresentadas algumas interferências detetadas entre elementos do mesmo projeto. Em coordenação de projeto, é enviado um aviso ao responsável por cada um dos modelos para correção dos conflitos encontrados. A maioria destes conflitos devem-se a erros de modelação ou de coordenação dentro dos próprios projetos.

- **Arquitetura Vs. Arquitetura** (Número de conflitos detetados: 1717)

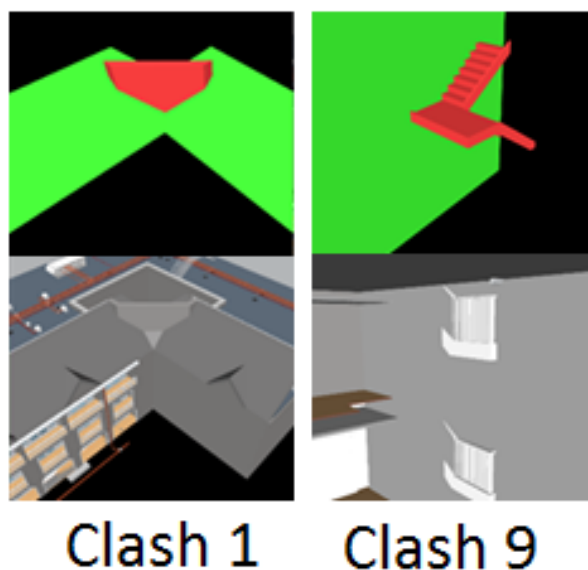


Figura 62- Arquitetura Vs. Arquitetura

A *Clash 1* mostra a geometria de um objeto do tipo parede a cruzar-se com a geometria de um objeto do tipo cobertura. Por vezes, durante a modelação de um projeto, é comum serem usados objetos que se assemelhem aos objetos que se pretendem modelar, neste caso, foi usado um objeto do tipo parede para concluir a cobertura do edifício. No entanto, esta tarefa não foi executada corretamente pois observa-se a existência de uma descontinuidade na cobertura em questão. Por se tratar de uma cobertura inclinada, o modo de resolução deste conflito passará mesmo por apagar o elemento em questão e substituí-lo por um elemento do tipo cobertura, procedendo-se depois à correta modelação da cobertura do edifício.

A substituição de um tipo de objeto por outro, como o sucedido na *Clash 1*, só deverá acontecer caso o Revit facilite a tarefa do modelador e também consoante o LOD requerido do projeto. Em alguns casos, o Revit não disponibiliza os elementos que se pretendam modelar, tal como estradas. É comum usar-se um elemento do tipo cobertura para modelar uma estrada caso se pretenda recorrer apenas às famílias de objetos genéricos da Autodesk. De realçar o fato de que o Revit disponibiliza apenas elementos do tipo arquitetura, estrutura e sistemas MEP.

A *Clash 9* refere-se à colocação incorreta de um lanço de escadas que transpõe o lado oposto da superfície da parede no qual está colocado. Por exploração do modelo a partir de um ponto de vista colocado no interior do edifício, observam-se alguns vestígios do posicionamento incorreto do lanço de escadas.

- **Instalações Mecânicas Vs. Instalações Mecânicas** (Número de conflitos detetados: 880)

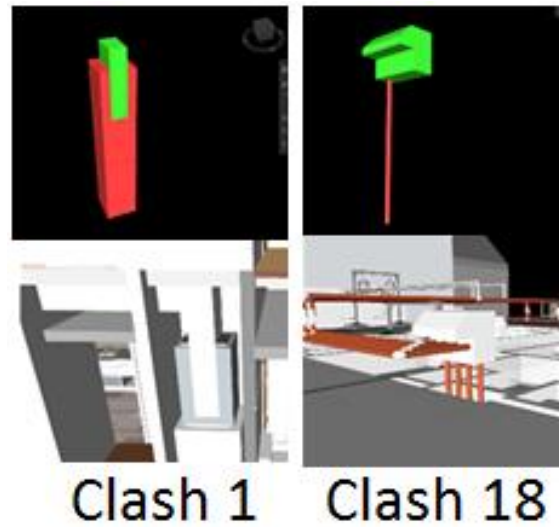


Figura 63 - Instalações Mecânicas Vs. Instalações Mecânicas

Os conflitos detetados devem-se a erros de modelação e de coordenação entre elementos no projeto de instalações mecânicas e não acontecem na fase de construção. A maioria dos conflitos encontrados devem-se a complexos erros de modelação que o Navisworks não tem a capacidade de analisar se estes resultados se tratam realmente de conflitos.

Tratam-se assim de erros de modelação semelhantes aos verificados no teste entre instalações mecânicas e instalações elétricas.

- **Redes de Incêndio Vs. Redes de Incêndio** (Número de conflitos detetados: 271)

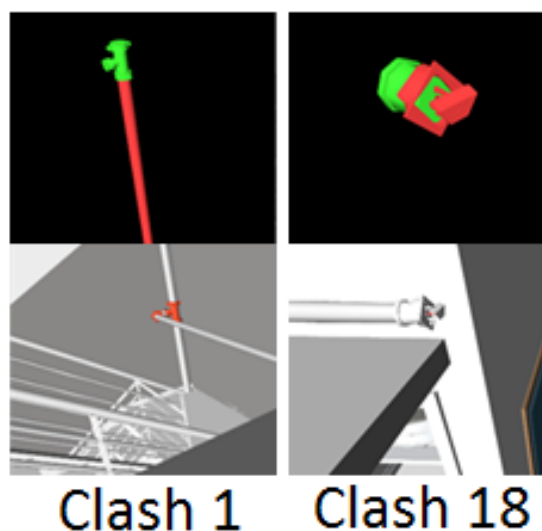


Figura 64- Redes de Incêndio Vs. Redes de Incêndio

Os conflitos encontrados devem-se à colocação incorreta de acessórios sobre as tubagens. Tratam-se de erros de modelação simples e de fácil resolução.

- **Instalações Elétricas Vs. Instalações Elétricas** (Número de conflitos detetados: 73)

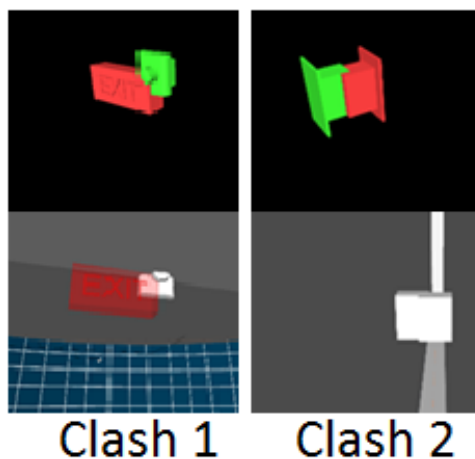


Figura 65- Instalações Elétricas Vs. Instalações Elétricas

A *Clash 1* refere-se à colocação incorreta de um sinal de iluminação de saída e de um dispositivo de alarme de incêndio, que partilham o mesmo espaço. A localização de um destes objetos deve ser alterada.

A *Clash 2* mostra a colocação incorreta de interruptores de iluminação que colidem um com o outro no interior de uma parede. As *Clashes 3 a 73* são semelhantes a esta e podem ser ou não ignorados consoante o LOD pretendido para o projeto, pois tratam-se de objetos genéricos da Autodesk que não são visíveis por se encontrarem dentro de paredes. Uma das formas de resolução passa pela alteração das dimensões destes elementos ou pela alteração da família destes objetos para que sejam utilizados interruptores de iluminação de menores dimensões.

- **Estrutura Vs. Estrutura** (Número de conflitos detetados: 26)

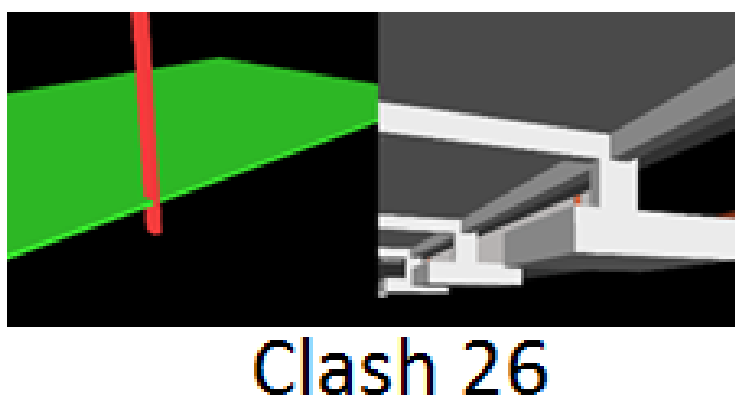


Figura 66- Estrutura Vs. Estrutura

A *Clash 26* refere-se à interseção entre um pilar e uma laje de ensoleiramento geral. Os conflitos encontrados neste projeto devem-se a erros de modelação e devem ser ignorados.

4.5.9. Resolução de conflitos

Tal como mencionado em capítulos anteriores, a flexibilidade é um fator importante a ter em conta na utilização das ferramentas BIM.

É comum a deteção de erros de projeto durante a realização do projeto e é importante que exista a possibilidade de corrigir os mesmos de forma rápida. Uma vez que o modelo original não pode ser modificado no Navisworks, é obrigatório regressar à plataforma utilizada na realização do projeto. No entanto, existe uma ferramenta de auxílio neste processo: “*Switchback*”. Esta opção funciona como uma ferramenta de comunicação entre ambas as plataformas. Os elementos seleccionados no Navisworks são destacados no modelo original através de uma nova vista criada para o efeito com o nome “*Navisworks Switchback*”. Esta vista, embora não possibilite a edição de qualquer elemento, melhora a ligação entre o Revit e o Navisworks ao facilitar a localização de um objeto detetado numa *Clash* no *software* Revit.

De modo a exemplificar esta capacidade, foi utilizado como exemplo o conflito encontrado na *Clash 49* do teste “Estrutura Vs. Redes de Incêndio”, no qual um contador do fluxo de água entra em conflito com a laje de betão armado.

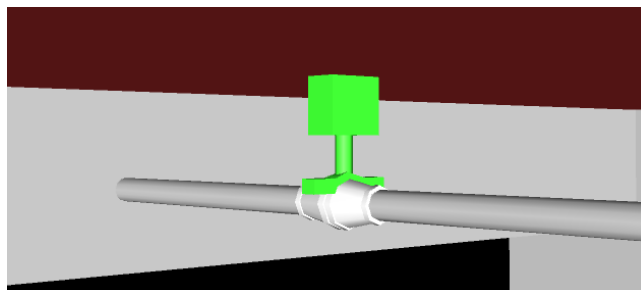


Figura 67- Estrutura Vs. Redes de Incêndio - Clash 49

O primeiro passo é a ativação da funcionalidade “*SwitchBack*” no *software* Revit, clicando no comando “*Navisworks SwitchBack 2017*” em “*External Tools*”, disponível no separador “*Add-Ins*”.

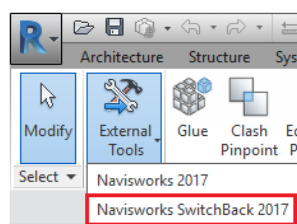


Figura 68- Comando *SwitchBack* no Revit

No Navisworks, a funcionalidade “SwitchBack” é ativada selecionando o objeto e ativando o comando “Switchback” após clicar com o botão direito do rato sobre o objeto ou ativando o comando no separador “Item Tools” (Figura 69). Esta ferramenta, ao ser selecionada, permite a abertura do modelo no Revit, focando de imediato o elemento em conflito.

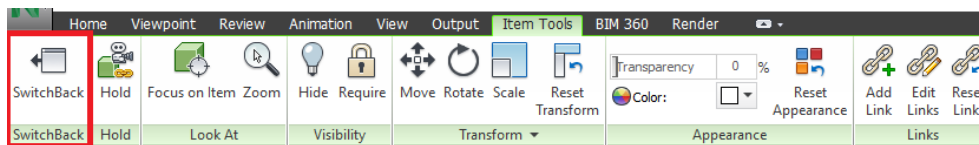


Figura 69- Comando Switchback no Navisworks

De seguida, o objeto é selecionado no *software* Revit e procedem-se às alterações necessárias. De forma a resolver esta *Clash*, foi alterada a orientação do contador de fluxo de água para que não entre em conflito com a laje. De referir que a vista criada automaticamente no *software* Revit através da funcionalidade "Switchback" não permite a edição de qualquer elemento. Esta vista serve apenas para facilitar a localização do elemento, devendo ser utilizada qualquer outra vista para o efeito.

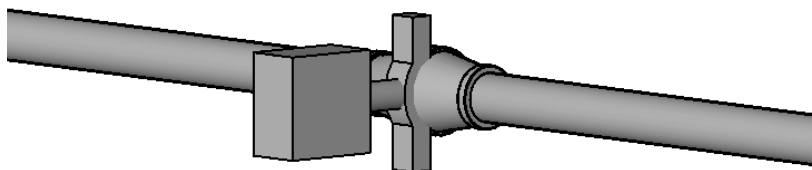


Figura 70 – Resolução do conflito Revit

Resolvido o conflito no Revit, o projeto é exportado para um ficheiro *NWD* e a gravação do ficheiro deve substituir a última gravação. Deste modo, é necessária apenas a ativação do comando “Refresh”, no separador “Home” do Navisworks, para que o modelo seja atualizado já com as correções efetuadas.

Tal como ilustrado na Figura 71, o contador já não se encontra em conflito com a laje e considera-se a *Clash* como resolvida.

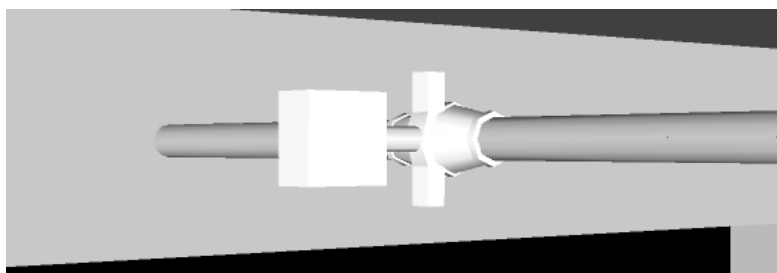


Figura 71- Visualização do conflito resolvido no Navisworks

Esta capacidade de troca e atualização de informação entre o Revit e o Navisworks, conseguida com a funcionalidade “*SwitchBack*”, é uma das grandes vantagens em adotar conjuntamente estes dois *softwares* da Autodesk, proporcionando um fluxo de trabalho interativo e eficiente e aproximando-se do que é a metodologia BIM.

Outras empresas têm vindo a desenvolver melhores soluções na troca de informação entre o Revit e o Navisworks através de *add-ins* que podem ser instalados em ambos os *softwares*. Um destes exemplos é o BIM Track que disponibiliza opções adicionais na revisão de conflitos e na troca de informação entre ambos os *softwares*, permitindo focar imediatamente no Revit um conflito detetado no Navisworks numa vista que permita a sua alteração e vice-versa.

4.6. Análise BIM 4D - Simulação do processo construtivo

4.6.1. Introdução

Neste capítulo é feita a aplicação prática da metodologia 4D sobre o modelo em estudo.

O comando “*TimeLiner*” é a ferramenta do Navisworks que permite atribuir um planeamento de construção aos elementos do modelo 3D para visualizar uma simulação do processo construtivo. Esta ferramenta possibilita a comparação entre as datas planeadas e reais da construção, a visualização do gráfico de Gantt e a da sequência da construção.

O comando “*TimeLiner*” está localizado no painel “*Tools*” do separador “*Home*”.

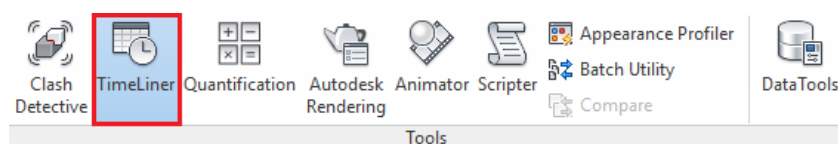


Figura 72- *TimeLiner*

Partiu-se do pressuposto que o modelo em estudo corresponde ao modelo final de construção, ou seja, foram admitidos como corretos todos os elementos estruturais e construtivos que constituem o modelo e ignorados todos os conflitos entre especialidades detetados anteriormente.

Existem diferentes métodos para a realização de um planeamento de construção, no entanto alguns consomem mais tempo do que outros. Tal como mencionado anteriormente, o Navisworks inclui uma ferramenta que permite a escolha de atividades e a associação de diversas características, tais como a data de início e fim de construção, o estado, etc.

O Autodesk Navisworks possibilita a sincronização com *softwares* de planeamento mais poderosos e apropriados, entre os quais o Microsoft Office Project, sendo o planeamento importado posteriormente para o Navisworks.

A definição de uma simulação 4D mais detalhada requer que os elementos construtivos sejam modelados de forma a que reflita o processo de construção. A modelação 3D deve ser tão detalhada quanto possível e incluir estratégias como os elementos de construção compostos por várias camadas serem executados em instantes temporais diferentes, devendo para isso ser decompostos durante o processo de modelação 3D, o que permite o planeamento correto dos elementos. Outra estratégia é o agrupamento dos elementos por pisos ou zonas que correspondam ao processo de construção real, por exemplo, todos os pilares do piso térreo pertencerem a uma única atividade.

Uma vez que no caso de estudo os pilares não estão divididos em diferentes objetos piso a piso, recorreu-se ao ficheiro original do projeto da estrutura no *software* Revit e procedeu-se à divisão dos pilares por piso, de modo a refletir o processo de construção real.

Foi preparada uma sequência simples de construção baseada no modelo BIM em estudo. Vale a pena realçar o facto de o foco da pesquisa ser a demonstração das capacidades conferidas pelo planeamento 4D e 5D, logo não se entrou a fundo na questão tecnológica, viabilidade e qualidade de projeto, bem como nas alternativas referentes a frentes de ataque. Desta forma, procurou realizar-se um projeto e um cronograma lógicos onde fossem aplicáveis os conceitos estudados. Foram assim distribuídas durações aproximadas e relações às atividades presentes no planeamento de construção.

Segue-se toda a demonstração prática da metodologia 4D aplicada ao caso em estudo.

4.6.2. Apresentação do TimeLiner

O comando “*TimeLiner*” é formado por 4 separadores com:

- **Tasks** – Permite a criação e a gestão das tarefas do projeto e exhibe todas as tarefas do cronograma de construção;
- **Data Sources** – Importa um cronograma de construção a partir de um *software* exterior;
- **Configure** – Define alguns parâmetros, entre os quais, o tipo de tarefa e a sua aparência;
- **Simulate** – Permite a simulação da sequência do projeto.

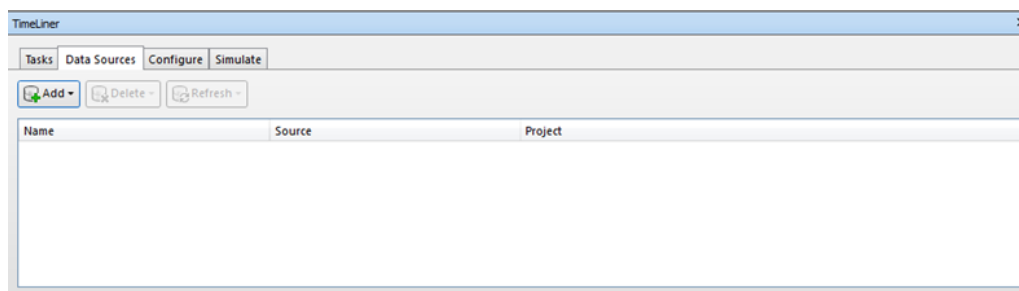


Figura 73- Interface do TimeLiner

4.6.3. 1º Passo – Criação do cronograma de construção

O primeiro passo é a realização de um cronograma de construção. O Autodesk Navisworks permite a introdução das atividades e das respetivas durações a partir de dois métodos:

- **Método 1** – Importando um planeamento através de um *software* externo;
- **Método 2** – Manualmente através do TimeLiner.

Foram aplicados ambos os métodos de introdução de um planeamento no presente trabalho, com uma demonstração de todos os passos tomados.

4.6.3.1. Método 1 – Importação do planeamento através de um software exterior

Foi utilizado o *software* MS Project 2016 na criação do planeamento de construção. De seguida, apresentam-se todos os passos efetuados neste primeiro método, desde a criação do planeamento até à sua importação para o Autodesk Navisworks.

4.6.3.1.1. Planeamento no MS Project

Inicialmente, procedeu-se à compilação da informação num ficheiro de MS Project, de forma a poder analisar-se, de um modo geral, o planeamento da obra.

Se o planeamento for realizado diretamente no MS Project, é importante adicionar 4 colunas extras: “*Task Type*”, “*Task ID*” (respetivamente como Text 1 e Text 2), “*Actual Start*”, “*Actual Finish*”, “*Task Type*” e “*Task ID*”.

Os campos “*Actual Start*” e “*Actual Finish*” correspondem às datas reais de início e fim das atividades.

O “*Task ID*” consiste num código referente a cada atividade e é um parâmetro dado a qualquer elemento no *software* Revit. Este processo pode tornar-se moroso numa fase inicial, mas uma vez importados os ficheiros de Revit para o Navisworks, todo o processo de interligação entre as atividades e os elementos do modelo é automático tratando-se assim de uma forma muito útil e organizada de ordenar os elementos por atividade.

O “*Task Type*” tem o objetivo de fazer a distinção entre elementos temporários, elementos a serem construídos e elementos a serem demolidos.

Na Figura 74 são mostrados os campos utilizados na criação do cronograma de construção no MS Project.

	Task Mode	Task ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessor	Task Type	Actual Start	Actual Finish
1									NA	NA

Figura 74- Colunas necessárias no ficheiro de MS Project

4.6.3.1.2. Atribuição de um Task ID a um elemento no Revit

Uma vez que os elementos presentes no modelo tridimensional não possuem originalmente um “Task ID”, recorreu-se aos ficheiros originais de Revit das diferentes especialidades para atribuição do mesmo aos elementos ligados às atividades presentes no cronograma de construção. De seguida, é demonstrada a atribuição de um “Task ID” a um elemento no Revit.

Com o projeto aberto no *software* Autodesk Revit, clicar em “Project Parameters” no separador “Manage” abre a janela “Parameter Properties”.



Figura 75- Revit - Comando Project Parameters

A janela “Parameter Properties” está dividida em 3 campos, “Parameter Type”, “Group Data” e “Categories”

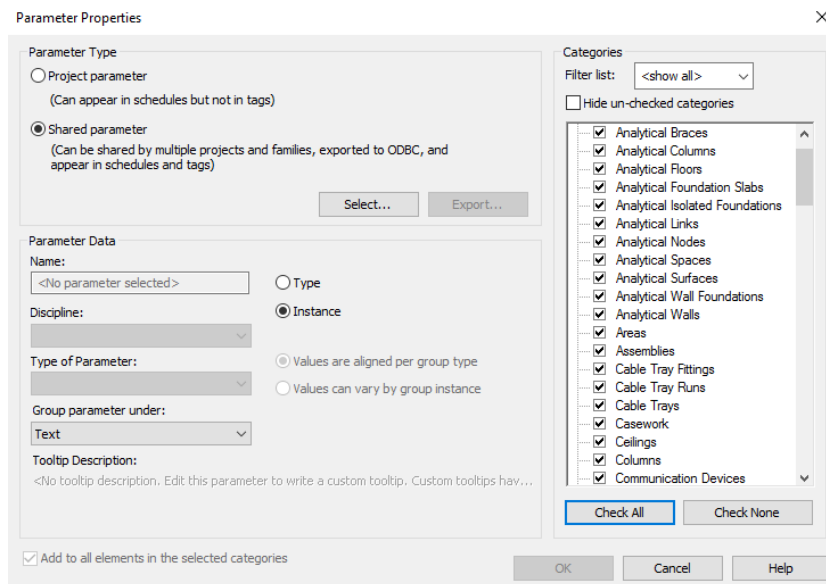


Figura 76- Revit - Janela Parameter Properties

Nesta janela, devem ser seleccionadas as seguintes opções:

- **Parameter Type** – É necessário seleccionar a opção “*Shared parameter*” e a criação de um ficheiro para que sejam guardados todos os “*Tasks ID*” criados. Para tal, é necessário escolher um local para guardar este ficheiro clicando em “*Select...*”;
- **Group Data** – Seleccionar a opção “*Text*” em “*Group parameter under*”;
- **Categories** – Seleccionar a opção “*Check All*”.

Clicar no botão “*Select...*” em “*Parameter type*”, abre a janela “*Edit Shared Parameters*”.

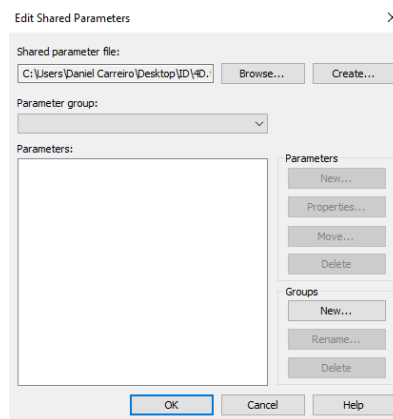


Figura 77- Revit - Parameter Properties - Edit Shared Parameters

O primeiro passo é a criação do ficheiro “4D.txt” após a escolha do seu local de gravação, através dos comandos “*Browse...*” e “*Create...*”.

De seguida, clicar no comando “*New...*” no campo “*Groups*” permite a criação do grupo. O grupo foi identificado como “*Simulação 4D*”.

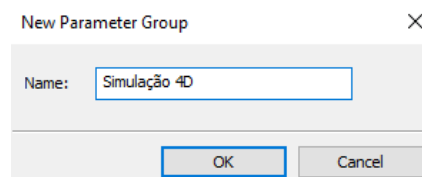


Figura 78- Revit - Parameter Properties - Edit Shared Parameters - New Parameter Group

Após a criação do grupo, o comando “*New...*” em “*Parameters*” fica visível, onde é inserido o “*Task ID*” em “*Name*” e são seleccionadas as opções “*Common*” em “*Discipline*” e “*Text*” em “*Type of Parameter*”, tal como ilustrado na Figura 79.

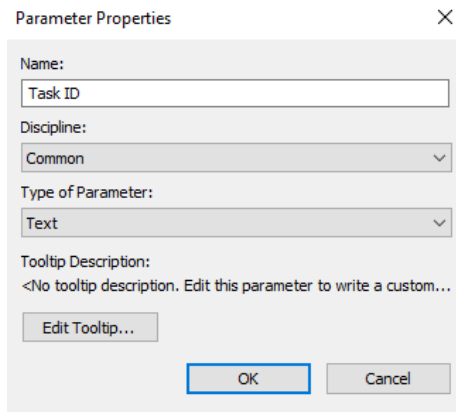


Figura 79- Revit - Parameter Properties

O novo campo “Task ID” passa a ficar visível após a seleção de qualquer elemento no projeto de Revit em “Properties”. Na Figura 80, o campo “Task ID” já se encontra disponível após a seleção de uma viga de betão armado no projeto da estrutura.

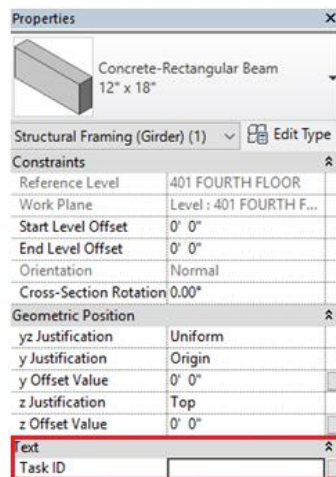


Figura 80- Revit - Criação do campo "Task ID"

Foi atribuído um “Task ID” aos elementos ligados a cada atividade do cronograma de construção. A Figura 81 ilustra a atribuição de um “Task ID” a alguns dos elementos do projeto de estruturas, na respetiva coluna do ficheiro no MS Project.

	Task Mode	Task ID	Task Name	Duration	Start	Finish
1		F01	Fundações	5 days	Mon 24/07/17	Fri 28/07/17
2		P01	Pilares Piso 0	3 days	Tue 08/08/17	Thu 10/08/17
3		P02	Pilares Piso 1	3 days	Fri 25/08/17	Tue 29/08/17
4		P03	Pilares Piso 2	5 days	Wed 13/09/17	Tue 19/09/17
5		V01	Vigas Piso 1	4 days	Fri 11/08/17	Wed 16/08/17
6		V02	Vigas Piso 2	4 days	Wed 30/08/17	Mon 04/09/17

Figura 81- Atribuição do Task ID às atividades do cronograma de construção

4.6.3.1.3. Conclusão do planeamento no MS Project

Podem existir atividades que não representam qualquer elemento do modelo mas que podem consumir tempo. Estas são irrelevantes para a simulação 4D mas devem ser consideradas no planeamento, pois representam um acontecimento ou um período de tempo. Estas atividades não foram consideradas no estudo.

A Figura 82 ilustra a criação do planeamento de construção realizado no MS Project.

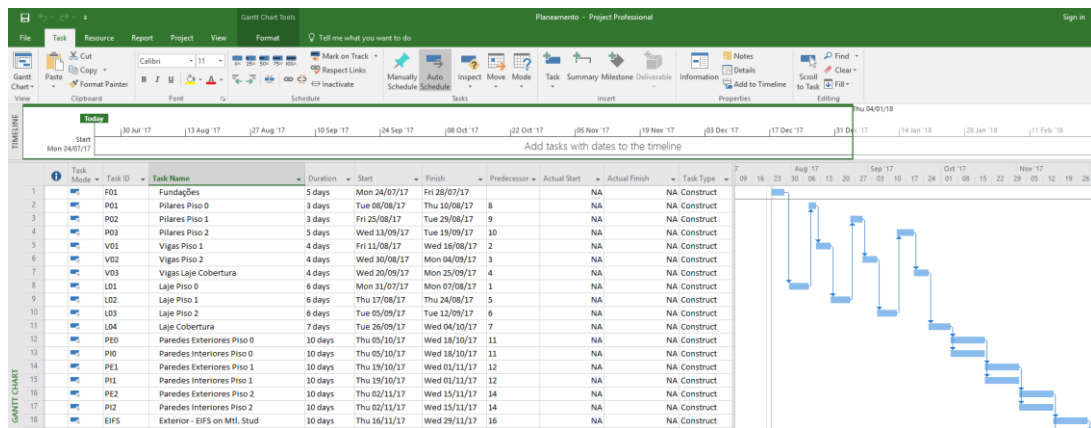


Figura 82- Cronograma de construção no MS Project

O passo seguinte é a importação do ficheiro para o Navisworks para que se proceda à criação do modelo BIM 4D.

4.6.3.1.4. Importação do cronograma de construção do MS Project para o Navisworks (Separador Data Sources)

De seguida, na ferramenta “TimeLiner” do Navisworks, é possível importar o cronograma de construção a partir de diversos softwares, entre os quais o Microsoft Project. A importação de cronogramas de construção é efetuada a partir do separador “Data Sources”, após clicar no botão “Add”.

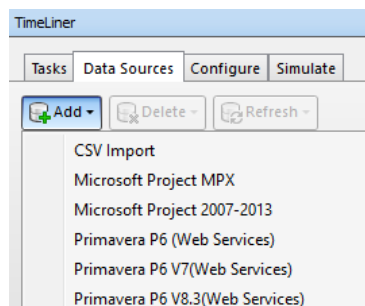


Figura 83- Importação do cronograma de construção

De seguida são descritos todos os comandos disponíveis no separador “Data Sources”.

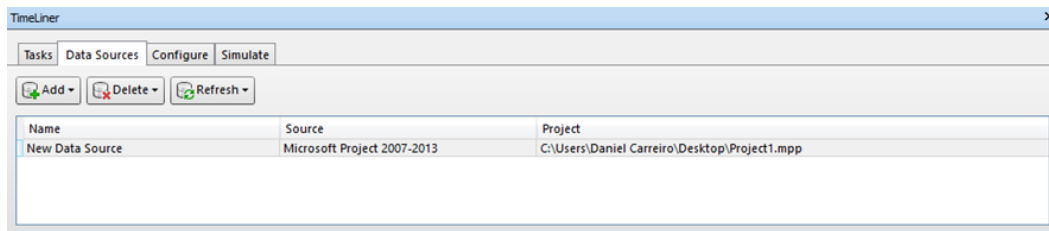





Figura 84- TimeLiner - Separador Data Sources

 **Add** – Adiciona um novo cronograma de construção a partir de um *software* escolhido;

 **Delete** – Apaga o cronograma de construção selecionado;

 **Refresh** – Atualiza um cronograma de construção selecionado ou todos os cronogramas de construção importados.

Após a importação do cronograma de construção e da atribuição de um nome ao mesmo que o torne identificável, o passo seguinte é torna-lo visível no Navisworks, no separador “Tasks”.

4.6.3.1.5. Remapeamento dos campos no Field Selector

Após a importação do cronograma de construção, é necessário remapear os seus campos ou colunas no MS Project para associar a informação aos campos no Navisworks. Para este estudo, foram sincronizados os campos ilustrados na Figura 85.

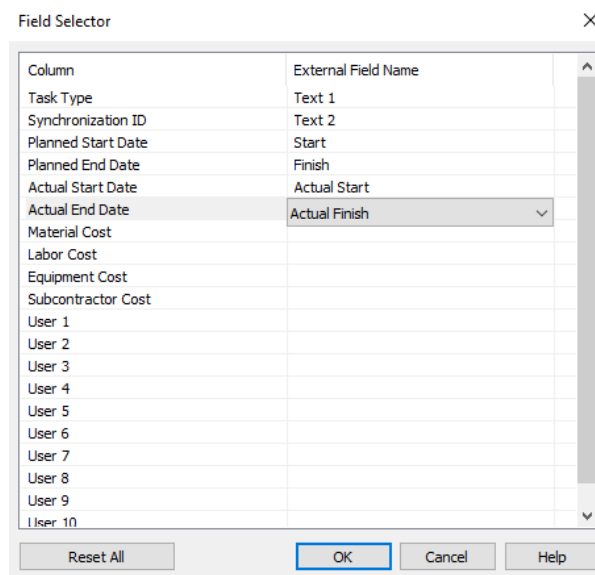


Figura 85- Remapeamento dos campos no Field Selector

4.6.3.1.6. Alterações no planeamento de construção

Sempre que ocorram alterações no cronograma de construção importado para o Navisworks, a informação pode ser atualizada utilizando as opções “*Rebuild Task Hierarchy*” ou “*Synchronize*”. A primeira opção altera todo o cronograma de construção enquanto que a segunda opção apenas o atualiza com as mudanças introduzidas.

Para tal, é selecionado o comando “*Refresh > Selected Data Source*” para adicionar os dados do arquivo selecionado e, posteriormente, a opção “*Rebuild Task Hierarchy*” para importar os dados do MS Project. Esta funcionalidade está também acessível clicando com o botão direito do rato sobre o planeamento pretendido, selecionando em seguida a opção “*Rebuild Task Hierarchy*”.

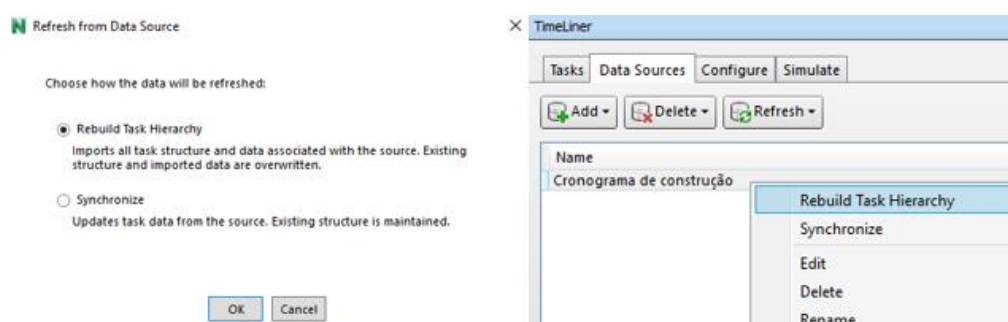


Figura 86- Atualização do cronograma de construção

4.6.3.1.7. Visualização do planeamento de construção no Navisworks

Abrindo o separador “*Tasks*”, são visualizadas as atividades presentes no cronograma de construção e o respetivo gráfico de Gantt.

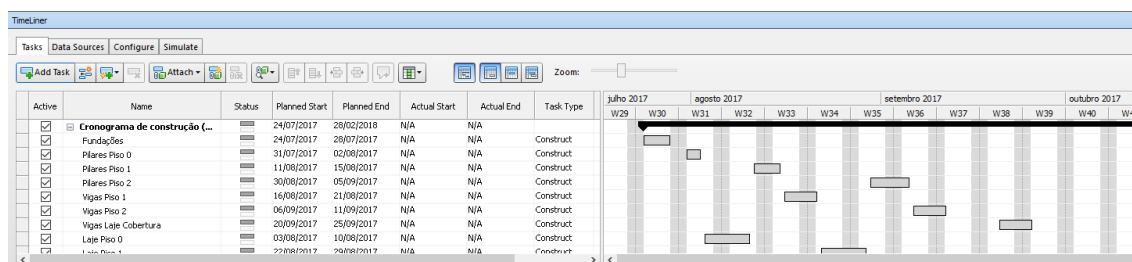


Figura 87- Cronograma de construção no TimeLiner

4.6.3.2. Método 2: Planeamento manual no Navisworks (Separador Tasks)

As tarefas podem ser introduzidas manualmente no “*TimeLiner*” e correspondem à sequência de trabalhos durante o ciclo de construção do edifício. Estas são introduzidas no Separador “*Tasks*”.

Após a introdução das tarefas, durações planeadas e durações reais, o Navisworks cria automaticamente o gráfico de Gantt correspondente. No entanto, ao contrário de outros

softwares de planeamento como o MS Project, o Navisworks não permite a introdução de precedências entre tarefas, sendo por isso necessária a introdução correta das durações.

O separador “Tasks” permite criar e gerir as tarefas, ligar estas aos elementos geométricos e visualizar o cronograma de construção do projeto. Este divide-se em comandos de tarefa e comandos do gráfico de Gantt, respetivamente no lado esquerdo e no lado direito da janela “TimeLiner”.

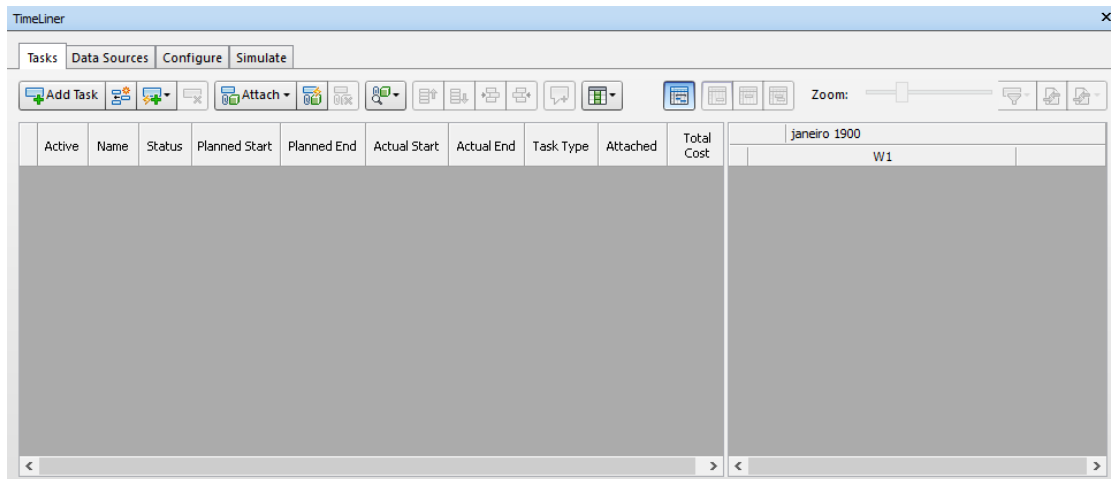




Figura 88- TimeLiner - Separador Tasks


Apresenta-se, de seguida, uma descrição relativamente aos comandos disponíveis no separador “Tasks”.



Figura 89- TimeLiner - Comandos do Separador Tasks

 **Add Task** – Adiciona uma nova tarefa na lista de tarefas. Esta aparece no final da lista de tarefas já existentes;

 **Insert Task** – Adiciona uma nova tarefa acima de uma tarefa correntemente selecionada na lista de tarefas;

 **Auto-Add Tasks** – Adiciona automaticamente uma tarefa para cada camada superior, item superior ou para cada set criado;

 **Delete Task** – Apaga a tarefa selecionada;



Attach – Liga as tarefas aos elementos do modelo através de 3 opções: “*Attach Current Selection*” liga um elemento ou conjunto de elementos de um “*Set*” previamente criado ou selecionado no modelo a uma tarefa, “*Attach Current Search*” liga os elementos do modelo selecionados na pesquisa atual à tarefa e “*Append Current Selection*” adiciona os elementos selecionados no modelo aos elementos já ligados a uma tarefa;



Auto-Attach Using Rules – Abre a janela “*Timeliner Rules*”, onde é possível criar, editar e aplicar regras de interligação automática entre as tarefas e os elementos geométricos do modelo;



Clear Attachment – Exclui os elementos geométricos do modelo das tarefas selecionadas;



Find Items – Permite localizar elementos ligados ao planeamento com base nos critérios de pesquisa selecionados da lista;



Move Up/ Move Down – Move para cima/para baixo as tarefas selecionadas na lista de tarefas, dentro do seu nível de hierarquia;



Indent/Outdent – Recua ou avança as tarefas selecionadas dentro de um nível na hierarquia de tarefas. Este comando é útil se o utilizador quiser agrupar um conjunto de tarefas dentro de um grupo na lista de tarefas;



Add Comment – Adiciona um comentário à tarefa;



Columns – Permite a escolha de um de três conjuntos de colunas predefinidas a serem exibidos na visualização de tarefas: “*Basic*”, “*Standard*” ou “*Extended*”. É possível ainda ao utilizador criar o conjunto de colunas a exibir na visualização da tarefa;



Show or hide the Gantt chart – Mostra ou esconde o diagrama de Gantt;



Show Planned dates/Show Actual Dates/ Show Planned Vs Actual Dates – Mostra no diagrama de Gantt as datas planeadas, as datas reais ou as datas planeadas Vs. datas reais.



Zoom – Permite ajustar a resolução do gráfico de Gantt atual;



Filter by Status – Permite a filtragem de tarefas consoante o seu estado. Filtra uma tarefa temporariamente e esconde esta da lista de tarefas e do diagrama de Gantt, mas não efetua qualquer mudança no planeamento importado;



Export to Sets – Cria “Sets” de elementos com base na hierarquia de tarefas na lista de tarefas;



Export the schedule – Exporta o diagrama de construção para um ficheiro do tipo “CSV” ou MS Project “XML”.

4.6.4. 2º Passo: Criação de Sets

Um dos passos mais importantes consiste na criação de agrupamentos de elementos de modo a que estes possam ser representados no planeamento de construção, ou seja, um agrupamento de elementos ligados a uma certa atividade.

Após a exportação do modelo Revit para o Navisworks, todas as famílias de objetos estão discriminadas automaticamente no Navisworks, cuja visualização é possível na janela “*Selection Tree*”.

Neste estudo, os elementos foram agrupados por piso. Por exemplo, todos os pilares do piso térreo foram agrupados numa única atividade. Estes “Sets” são essenciais no processo de interligação entre os elementos associados a uma atividade e os respetivos elementos no modelo.

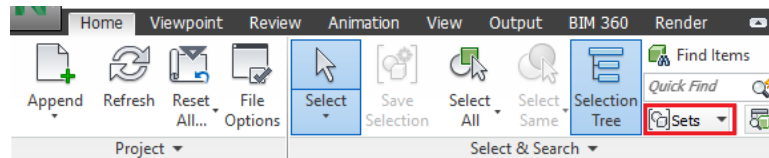


Figura 90- Comando Sets

Existem 3 formas de criar agrupamentos de elementos:

- Visualmente por meio do modelo tridimensional: selecionar manualmente os elementos no modelo tridimensional e arrasta-los para a janela “Sets”;
- Através da janela “*Selection Tree*”: selecionar os elementos na “*Selection Tree*” permite a visualização dos mesmos no modelo tridimensional. De seguida, é necessário arrastá-los para a janela “Sets”;
- Através de “*Find Items*”: para seleções extensas e complexas, este torna-se o recurso mais indicado pois permite a procura de elementos no modelo através de diversos critérios de pesquisa.

Assim que os conjuntos de elementos tenham sido criados, estes são destacados no modelo quando selecionados e estão prontos para serem ligados ao cronograma de construção. Além

disso, qualquer elemento ou conjunto de elementos pode ser isolado do modelo ao esconder os restantes elementos. Isto ajuda consideravelmente na criação e verificação dos conjuntos de objetos assim como na visualização de elementos no interior do modelo.

Após a criação dos “Sets”, grava-se a seleção no comando “Save Selection”. Na Figura 91 é possível visualizar os elementos ligados ao “Set” selecionado no modelo tridimensional e na janela “Selection Tree”, neste caso, todas as vigas do 1º piso.

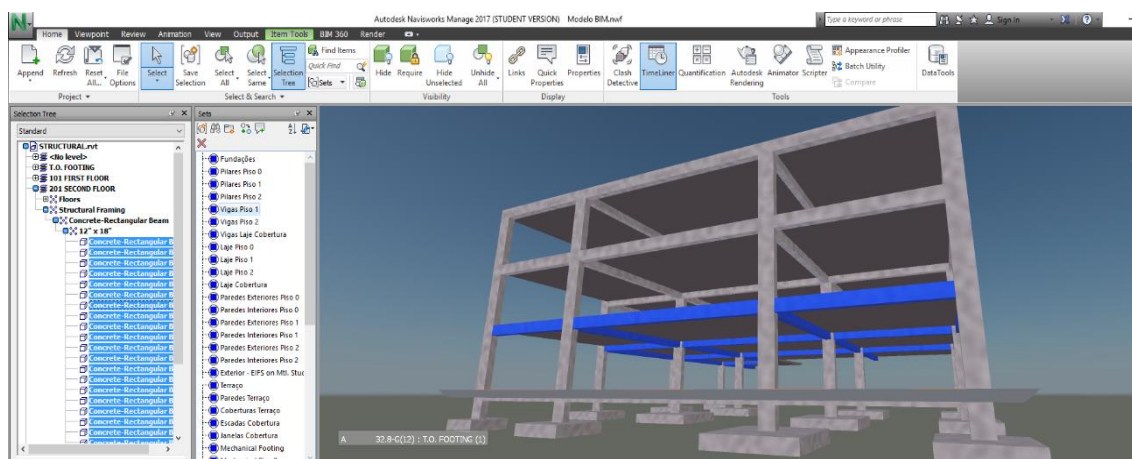


Figura 91- Criação de Sets

4.6.5. 3º Passo – Interligação entre as atividades e os elementos do modelo

Importado o cronograma de construção para o Navisworks e criados os “Sets” de elementos, o passo seguinte é a interligação entre os elementos da construção e as atividades do planeamento. A capacidade do Navisworks em associar os elementos constituintes do modelo às atividades presentes no cronograma de construção é um dos passos chave na modelação 4D.

Esta tarefa pode ser realizada manualmente, mas num modelo com uma enorme quantidade de elementos torna-se num processo frustrante e moroso. O Navisworks apresenta, por isso, opções automáticas de associação entre elementos e atividades.

São demonstrados, de seguida, dois métodos diferentes com vista à interligação entre as atividades e os elementos do modelo, através dos “Sets” e das referências “Task ID”.

4.6.5.1. Interligação através de Sets

Uma ferramenta útil para realizar esta tarefa no Navisworks é a opção “Auto-Attach Using Rules”, disponível no separador “Tasks”. Entre as opções disponíveis, “mapping by selection sets with the same name” é a opção mais adequada no caso de terem sido criados “Sets” para

este propósito. É importante referir que o “Set” e a atividade devem ter o mesmo nome, respeitando letras maiúsculas ou minúsculas, caso contrário a associação não irá funcionar.

É possível ver o “Set” ao qual a atividade foi associada na coluna “Attached”.

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End	Actual Start	Actual End	Task Type	Attached
<input checked="" type="checkbox"/>	Cronograma de construção (...)		24/07/2017	28/02/2018	N/A	N/A		
<input checked="" type="checkbox"/>	Fundações		24/07/2017	28/07/2017	N/A	N/A	Construct	Sets->Fundações
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares Piso 0		31/07/2017	02/08/2017	N/A	N/A	Construct	Sets->Pilares Piso 0
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares Piso 1		11/08/2017	15/08/2017	N/A	N/A	Construct	Sets->Pilares Piso 1
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares Piso 2		30/08/2017	05/09/2017	N/A	N/A	Construct	Sets->Pilares Piso 2

Figura 92- Attached - Sets

4.6.5.2. Interligação através do “Task ID”

Outra opção é a criação de regras específicas de associação entre as atividades e os elementos por categoria ou propriedade. Esta opção é a mais indicada para a utilização de propriedades como o “Task ID” e evita a necessidade da criação de "Sets".

É possível a procura dos elementos pelo seu “Task ID” no modelo tridimensional através da janela ”Selection Tree”, com a exploração do modelo através das propriedades.

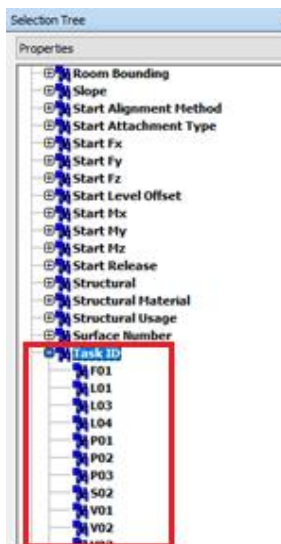


Figura 93- Selection Tree - Properties - Task ID

Este ID é um parâmetro dado anteriormente a qualquer elemento no Revit. Pode tornar-se num processo moroso numa fase inicial, mas uma vez importados os ficheiros de Revit para o Navisworks, todo o processo é automático tratando-se assim de uma forma muito útil e organizada de ordenar os elementos por atividade.

Esta regra pode ser introduzida ao abrir a janela “Rules Editor” clicando no comando “Auto-Attach Using Rules”. Clicar no comando “New” permite a criação e a personalização de uma nova regra em “Rules Editor”.

De seguida, é necessário substituir os campos “Name” por “Synchronization ID”, “<category>” por “Element”, “<property>” por “Task ID” e “Ignoring” por “Matching” para criar a regra de associação entre as atividades do planeamento e os elementos do modelo, através do respetivo “Task ID”.

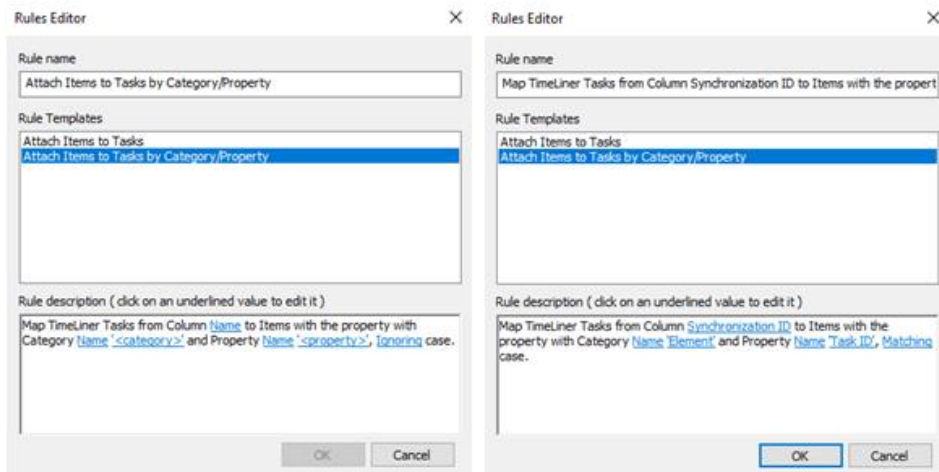


Figura 94- Rules Editor

Esta nova regra ficará visível na janela “TimeLiner Rules”.

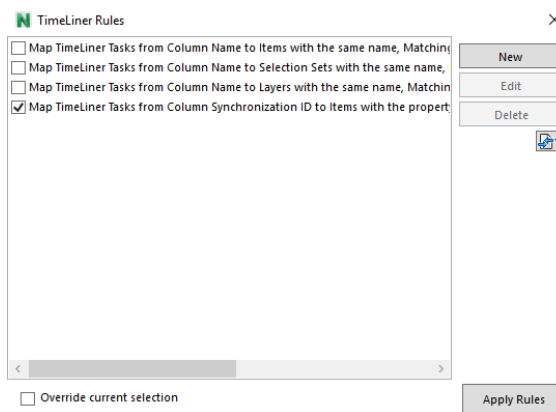


Figura 95- TimeLiner Rules

Neste caso, na coluna “Attached” irá aparecer a mensagem “Explicit Selection”.

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End	Actual Start	Actual End	Task Type	Attached
<input checked="" type="checkbox"/>	Cronograma de construção (...)		24/07/2017	28/02/2018	N/A	N/A		
<input checked="" type="checkbox"/>	Fundações		24/07/2017	28/07/2017	N/A	N/A	Construct	Explicit Selection
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares Piso 0		31/07/2017	02/08/2017	N/A	N/A	Construct	Explicit Selection
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares Piso 1		11/08/2017	15/08/2017	N/A	N/A	Construct	Explicit Selection
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares Piso 2		30/08/2017	05/09/2017	N/A	N/A	Construct	Explicit Selection

Figura 96- Attached - Explicit Selection

4.6.6. 4º Passo: Simulação 4D do processo construtivo (Separadores Configure e Simulation)

As simulações são a base de toda a gestão do projeto, uma vez que estas são utilizadas sempre que exista algo que tenha que ser analisado, clarificado ou discutido.

Uma vez vinculados todos os elementos do modelo às respetivas atividades do plano de trabalhos, estão reunidas as condições necessárias para a simulação 4D do projeto no separador “Simulation”. Esta pode ser visualizada através de um *clip* ou de diversos *snapshots*.

A simulação pode ser visualizada entre o início e o fim da construção ou vice-versa, e pode ser pausada ou até ajustada para qualquer data do cronograma de construção. É possível realização a simulação do processo de construção apenas entre dois períodos no tempo e definir o tempo total da simulação em segundos. A simulação pode ser visualizada a partir de qualquer ângulo e ponto de vista, existindo a possibilidade de os alterar durante a sequência da simulação. As opções de visualização oferecidas pelo Navisworks durante a simulação do processo construtivo do modelo ajudam a detetar possíveis pontos críticos do modelo em qualquer momento da construção.

Importa realçar o facto de que o trabalho entregue em papel não facilita a visualização da simulação 4D. A partilha de *snapshots* é a única alternativa de visualizar a simulação em desenhos 2D, embora o potencial desta ferramenta não seja atingido desta forma.

Os elementos associados às atividades em execução durante esse período no tempo, são destacados e visualizados com uma cor diferente das restantes atividades já realizadas até esse momento.

O Navisworks apresenta três categorias pré-definidas: “Construct”, “Temporary” e “Demolish”. Estas categorias descrevem a forma como os componentes são visualizados no modelo 4D: os elementos ligados à categoria “Construct” são visualizados no início da atividade e permanecem visíveis; os elementos relacionados com atividades do tipo “Temporary” aparecem no início da atividade mas desaparecem no final da tarefa; por fim, os elementos associados à categoria “Demolish” são visíveis a partir do início do cronograma e desaparecem no fim da atividade.

O *software* permite adicionar mais categorias, assim como definir as características de visualização para cada categoria pela personalização de cores. É possível efetuar estas configurações a partir do separador “*Configure*”.

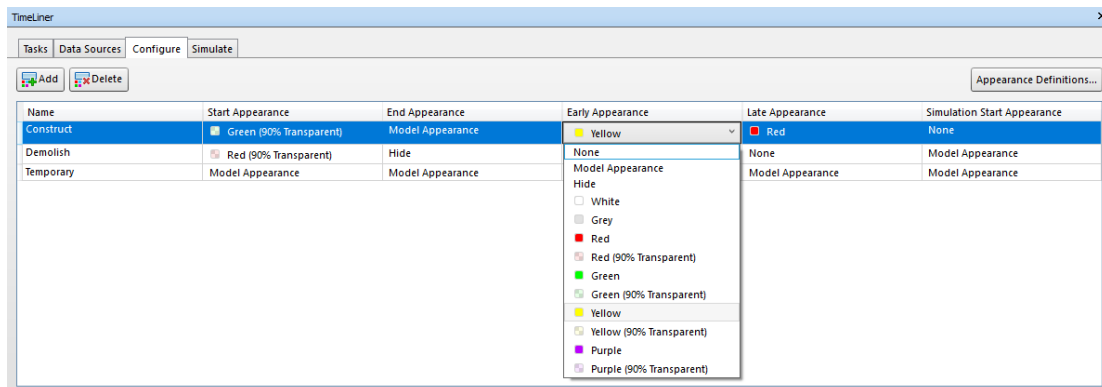


Figura 97- TimeLiner - Separador Configure

A Figura 98 ilustra o estado de construção do edifício para uma data escolhida. Pode observar-se que nesta data o edifício terá de ter a sua estrutura concluída, seguindo-se a construção das paredes de alvenaria do piso térreo (representadas pela aparência pré-definida a verde com 90% de transparência).

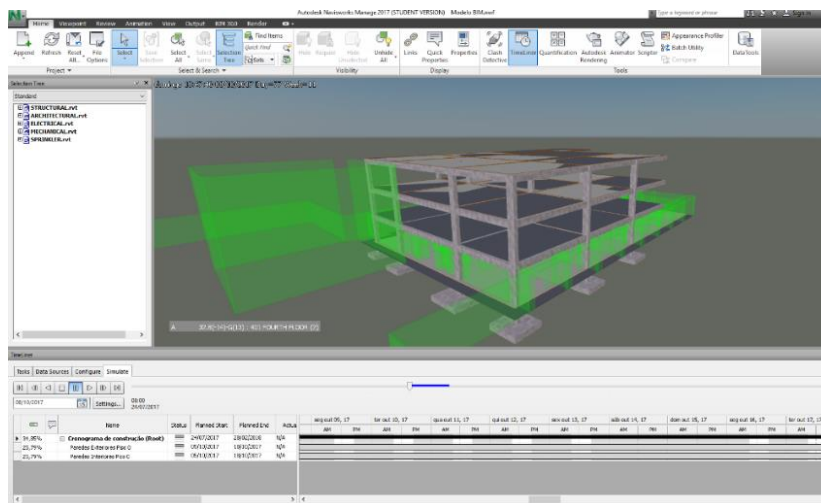


Figura 98- Simulação 4D

A visualização é uma das contribuições mais importantes da tecnologia 4D. O Navisworks oferece diversas opções de visualização durante a sequência da construção, assim como do modelo em termos gerais.

O modelo pode ser revisto de qualquer ponto de vista e ângulo, sendo possível guardar estes pontos de vista para uso futuro como “*Viewpoints*”. A navegação em tempo real no modelo é também possível através das opções “*Walkthrough*” e “*Flythrough*”. Estas opções estão

disponíveis para qualquer período do estado de construção, o que significa que o modelo pode ser analisado desde qualquer posição e em qualquer período da sequência de construção. Para uma navegação mais realista, é possível explorar o modelo utilizando um avatar. Estas opções ajudam a detetar erros de projeto e a reduzir incertezas.

A Figura 99 ilustra a capacidade de navegação no modelo com a utilização de um avatar em qualquer data do cronograma de construção, desde o início da construção da estrutura até à colocação do teso falso no piso em questão.

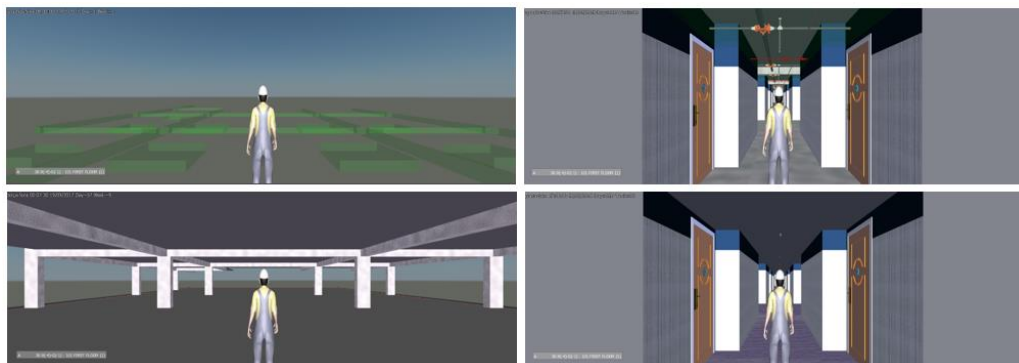


Figura 99- Navegação durante a Simulação 4D

De seguida, é feita uma exposição em relação aos botões disponíveis no separador “Simulation”.

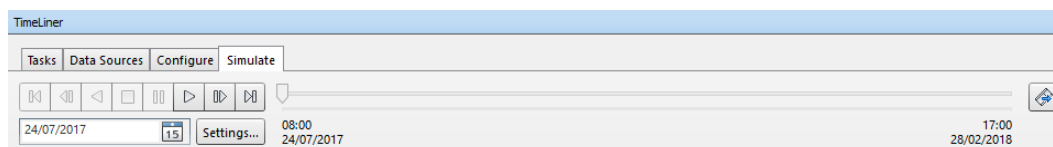





Figura 100- TimeLiner - Comandos do separador Simulate

 Botões de navegação na simulação;

 É possível visualizar a simulação a partir de uma data escolhida;

 **Export Animation** – Abre a janela “*Animation Export*”, onde é possível importar a simulação a partir de um ficheiro AVI ou de uma sequência de ficheiros de imagens. A opção “*TimeLiner Simulation*” deve estar seleccionada no campo “*Source*”.

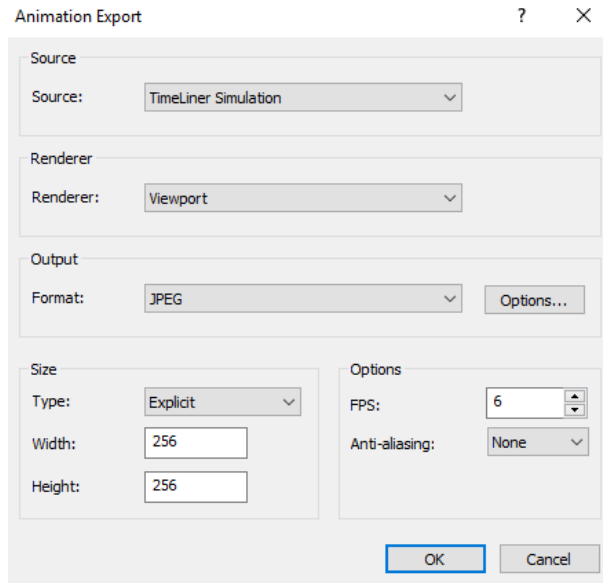


Figura 101-Animation Export

- **Source** – Identifica de onde vem a animação;
- **Renderer** – Seleciona o tipo de renderização;
- **Output** – Define o formato de exportação da animação;
- **Size** – Define o tamanho da imagem:
- **Explicit** – Define a largura e altura;
- **Aspect Ratio** – Configura a altura e a largura é calculada a partir da vista atual;
- **Use View** – São usadas a largura e altura da vista atual;
- **FPS** – Define o número de *frames* por segundo para gerar os ficheiros de vídeo *AVI*. Quanto maior forem os *FPS* mais suave será a animação. No entanto, um valor para este parâmetro muito elevado irá aumentar consideravelmente o tempo de renderização. Normalmente escolhe-se entre 10 a 15 *FPS*;
- **Anti-Aliasing** – Esta opção aplica-se somente para a renderização *OpenGL*. A suavização de contornos é utilizada para suavizar as arestas das imagens exportadas. Quanto maior o número, mais suave é a imagem. No entanto, a geração do ficheiro é mais demorada. Na maioria das situações o valor de 4x é adequado;

Settings... **Settings...** - O botão “Settings” dá acesso a uma caixa onde estão disponíveis as várias opções de visualização da simulação;

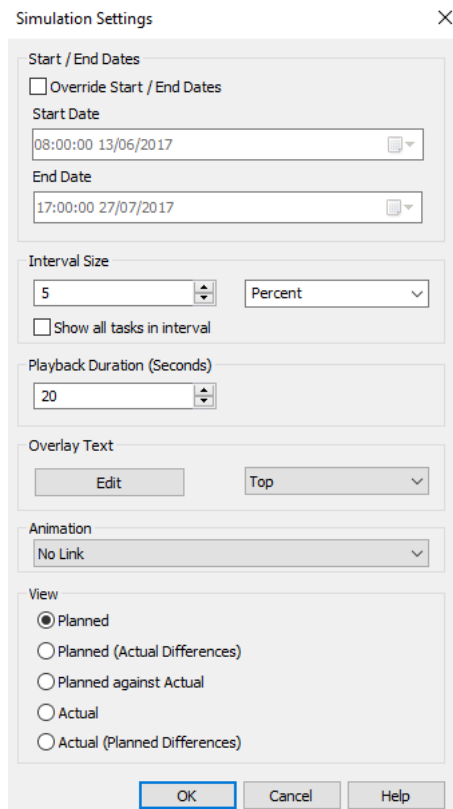


Figura 102- Simulation Settings

- **Override Start/ End Dates** – Permite efetuar a simulação de apenas um excerto da construção total entre 2 datas (*Start Date* e *End Date*);
- **Interval Size** – Permite definir o tamanho dos intervalos de tempo entre eventos usados na simulação em termos de percentagem da simulação, semanas, dias, horas, minutos ou segundos;
- **Playback Duration (Seconds)** – Define o tempo total da simulação em segundos, ou seja, o tempo necessário para efetuar a simulação entre o seu início e fim;
- **Overlay Text** – Clicar no botão “*Edit*” abre a janela “*Overlay Text*”, a partir da qual é possível escolher que informação é visualizada durante a simulação. Por predefinição, a data/tempo é a informação visualizada durante a simulação. É possível escolher, entre outras opções, o tipo e o tamanho de letra, e o local onde a informação é visualizada (*Top* ou *Bottom*). É possível visualizar o acompanhamento financeiro da obra em termos de custo total ou ainda os custos associados a cada tarefa, divididos em “*Material Cost*” (custo de materiais), “*Labor Cost*” (custo de mão-de-obra), “*Equipment Cost*” (custo de equipamentos) e “*Subcontractor Cost*” (custo de subempreiteiros). Estes custos podem ser introduzidos manualmente nos respetivos campos do “*TimeLiner*” ou importados do MS Project, após a criação das colunas “*Cost*” 1 a “*Cost*” 4 e o preenchimento com os valores das mesmas;

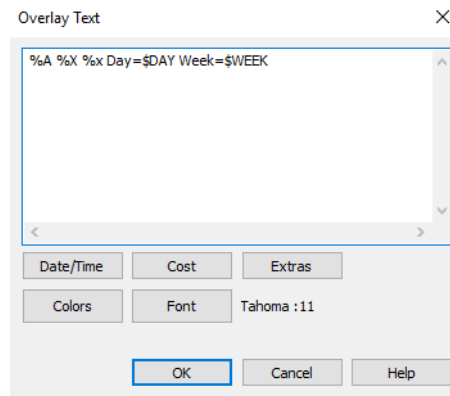


Figura 103- Overlay Text

- **Animation** – Permite adicionar uma animação à visualização da simulação, previamente criada em “*Save, Load & Playback*” no separador *Viewpoint*;
- **View** – Cada opção irá definir o modo de visualização da simulação de acordo com as relações entre o planeado e o real. Esta ferramenta é útil no processo de monitorização do tempo de construção.

4.6.7. Introdução de alterações no cronograma de construção

No que toca a alterações no cronograma da construção, não existe a possibilidade de o cronograma ser atualizado automaticamente consoante as modificações efetuadas no modelo. O cronograma tem de ser atualizado independentemente no MS Project e posteriormente sincronizado com o Navisworks.

São assim necessárias adaptações constantes no cronograma de construção e no modelo e a tecnologia 4D tem que possuir as ferramentas necessárias ao procedimento das mesmas. Neste caso, é necessária a interação entre diferentes plataformas (Revit, Navisworks e MS Project), cuja metodologia foi demonstrada em passos anteriores.

Finalmente, a simulação 4D pode ser visualizada depois de efetuadas todas as alterações necessárias.

4.6.8. Monitorização do tempo: Planeado Vs. Real

Uma vez que um cronograma de construção é criado para ser seguido durante o ciclo de construção de um edifício, é importante ter controlo sobre o mesmo para estar atento ao facto de os prazos estarem a ser ou não cumpridos. Uma coisa é o que está planeado e outra é o estado real da construção até àquele momento, existindo a possibilidade de adiar ou antecipar as datas de início e de fim das atividades.

As relações entre as tarefas planeadas e reais são demonstradas no “TimeLiner” através de ícones, tal como ilustrado a Figura 104.

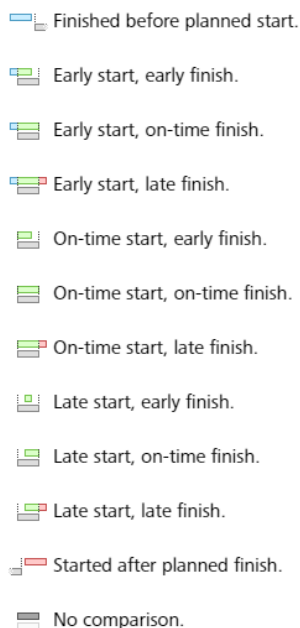


Figura 104- Relações entre atividades planeadas e reais

Estes ícones ajudam a ter uma visão geral da comparação entre o planeado e o real. Cada tarefa exhibe um ícone representativo do seu estado. São exibidas duas barras para cada tarefa que mostram a relação entre as datas planeadas e datas reais e são usadas cores que identificam diferentes estados: cedo (azul), a tempo (verde), tardio (vermelho) e planeado (cinzento). Os pontos marcam as datas planeadas de início e conclusão. Estas barras estão disponíveis na coluna “Status”, no separador “Tasks”.

De modo a usufruir das funcionalidades conferidas pelo “Timeliner”, foram incluídas datas reais no cronograma no separador “Tasks”, de modo a poderem ser interpretados possíveis desvios face às datas planeadas.

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End	Actual Start	Actual End
<input checked="" type="checkbox"/>	[-] Cronograma de c...		24/07/2017	28/02/2018	24/07/2017	28/02/2018
<input checked="" type="checkbox"/>	Fundações		24/07/2017	28/07/2017	24/07/2017	28/07/2017
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares Piso 0		08/08/2017	10/08/2017	09/08/2017	11/08/2017
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares Piso 1		25/08/2017	29/08/2017	24/08/2017	29/08/2017
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares Piso 2		13/09/2017	19/09/2017	20/09/2017	26/09/2017
<input checked="" type="checkbox"/>	Vigas Piso 1		11/08/2017	16/08/2017	12/08/2017	15/08/2017
<input checked="" type="checkbox"/>	Vigas Piso 2		30/08/2017	04/09/2017	26/08/2017	03/09/2017

Figura 105- Relações entre atividades planeadas e reais no TimeLiner

Esta é, no entanto, uma funcionalidade esperada em qualquer *software* tradicional de planeamento para se ter uma ideia dos desvios ocorridos comparativamente ao planeamento, mas não oferece uma grande ajuda em termos de visualização.

No Navisworks, qualquer atividade sofrer uma variação em relação à sua data de início e fim pode ser representada de forma visual. Deste modo, é possível visualizar de que forma qualquer alteração no cronograma de construção irá alterar o resto do projeto. É possível comparar entre o que foi planeado e o estado real da construção, para que sejam detetadas as atividades atrasadas ou adiantadas face ao planeado no tempo e no espaço através da simulação 4D.

Existem diversas opções de visualização no que toca ao esquema da simulação, disponíveis no comando “*Settings*” do “*TimeLiner*”.

- **Planned** – Apenas é visualizada a simulação conforme o que está planeado, isto é, entre as datas “*Planned Start*” e “*Planned End*”. Esta é a opção a ser utilizada ainda durante a fase de planeamento;
- **Planned (Actual Differences)** – Exibe as diferenças entre o cronograma real e o planeado e estas são apresentadas sobre as tarefas planeadas. Considera apenas o período entre as datas planeadas de início e de fim (“*Planned Start*” e “*Planned Finish*”, respetivamente). Esta opção é útil para a deteção visual de tarefas com um início tardio e de término precoce (“*Late Start*” e “*Early Finish*”, respetivamente);
- **Planned against Actual** – Os cronogramas de planeado e real são exibidos ao mesmo tempo. Esta opção é útil para a deteção visual de tarefas com todos os desvios que estas possam apresentar: tarefas com um início tardio, início tardio, término precoce e término tardio (“*Early Start*”, “*Late Start*”, “*Early Finish*” e “*Late Finish*”, respetivamente).
- **Actual** – Apenas o cronograma real é exibido, representando as tarefas concluídas e as datas reais das mesmas;
- **Actual (Planned Differences)** – Exibe as diferenças entre o cronograma planeado e o real, que são representadas sobre o cronograma real e apenas considera o período entre as datas reais de início e de fim (“*Actual Start*” e “*Actual Finish*”). Esta opção pode ser usada para detetar visualmente tarefas com um início precoce e término tardio (“*Early Start*” e “*Late Finish*”).

O instrumento usado pelo Navisworks na deteção visual de tarefas com desvios entre o cronograma planeado e o real são as opções de cores disponibilizadas. Os elementos contidos em tarefas que tenham sido concluídas em datas diferentes face ao planeado são visualizadas de forma diferente das tarefas concluídas a tempo. Por padrão, as tarefas concluídas a tempo são visualizadas a verde.

Se o cronograma conter as datas reais e existirem desvios entre este e o cronograma de construção, as tarefas concluídas em datas mais cedo ou tardias face ao planeado são visualizadas de forma diferente, as primeiras a amarelo e as segundas a vermelho. É possível alterar as cores de visualização a partir do separador “Configure”.

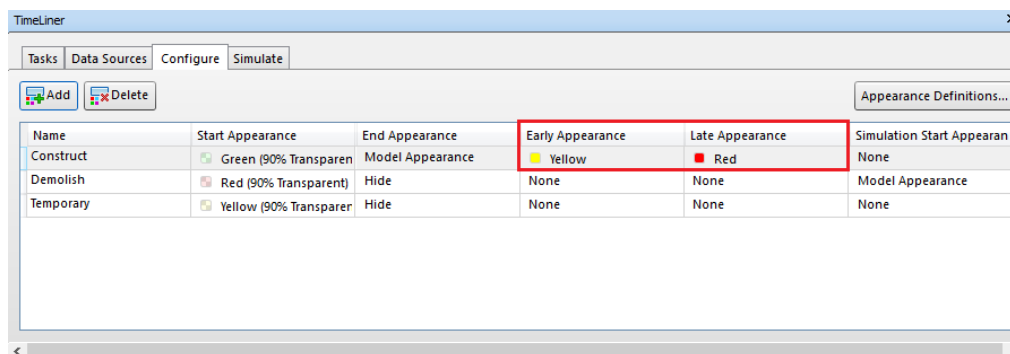


Figura 106- "Early Appearance" e "Late Appearance" no Separador Configure

Na Figura 107, são identificados os elementos com a construção atrasada (identificados a vermelho) e os elementos com a construção precoce (identificados a amarelo), sendo estes elementos respetivamente a laje e as vigas do piso 2.

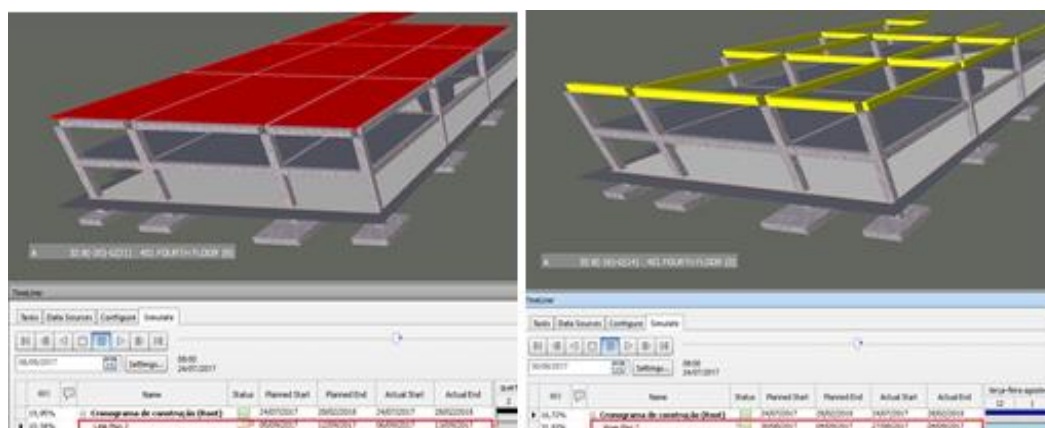


Figura 107 - Visualização de atividades com construção atrasada e adiantada

4.6.9. Utilização de Estaleiro

O equipamento e os elementos temporários podem ser incluídos no Navisworks por ficheiros separados de Revit ou até de Sketchup. O espaço ocupado por estes elementos temporários deve ser tomado em consideração durante a fase de planeamento do estaleiro.

O Navisworks permite a animação de qualquer objeto. Equipamentos como camiões e gruas podem ser animados, conferindo uma melhor representação e um maior dinamismo ao estaleiro de construção.

Estes elementos são associados a tarefas como se de elementos do modelo se tratassem, pertencendo à categoria de “*Temporary*” em vez de “*Construct*”. Cada elemento extra adicionado ao Navisworks significa a adição de mais modelos na janela “*Selection Tree*”.

Segue-se uma demonstração da criação de uma animação para uma grua colocada em obra.

4.6.9.1. Simulação do funcionamento de guas

É possível importar um elemento de grua para o Navisworks através do botão “*Append*”, o qual passará a ficar visível na “*Selection Tree*”. Partindo dos condicionamentos existentes dever-se-á identificar a grua adequada para o estaleiro, garantindo assim as condições técnicas mais favoráveis (altura de montagem e raio de ação).

É possível animar a grua de modo a simular a forma como esta irá funcionar na obra. Este elemento está dividido em vários componentes, e neste caso, o objetivo passa por manipular o movimento dos componentes que constituem a lança, a contra-lança e o contra peso da grua para que seja possível executar a sua rotação. É útil criar um “*Set*” para estes objetos, de modo a evitar a sua seleção manual nos passos seguintes.

Seguem-se todos os passos efetuados para proceder à simulação do funcionamento da grua.

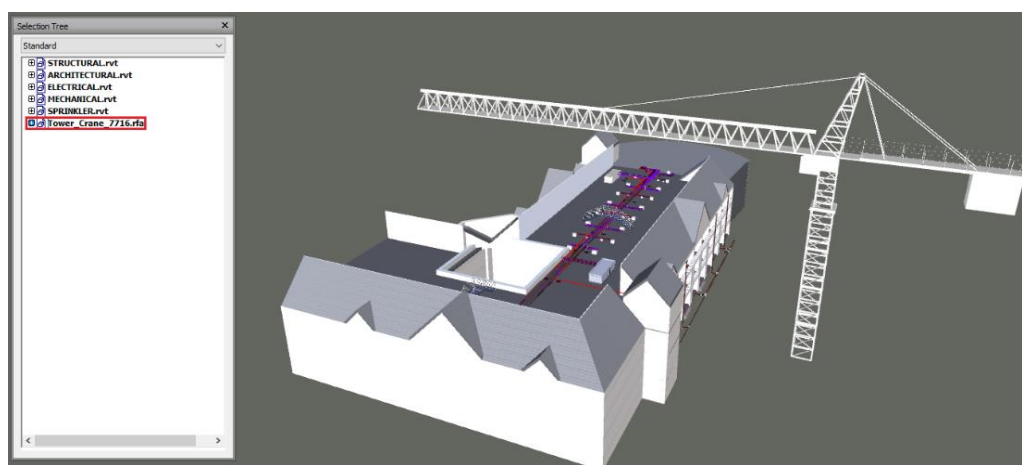


Figura 108- Importação de uma grua na “*Selection Tree*”

O primeiro passo é a verificação do correto posicionamento da grua, antes de se proceder à criação de qualquer simulação do seu funcionamento. O posicionamento da grua pode ser corrigido através da alteração das coordenadas da grua, após clicar com o botão direito do rato sobre esta na “*Selection Tree*” e selecionando “*Units and Transform...*” para a atribuição das coordenadas de origem.

A posição da grua também pode ser alterada manualmente, selecionando a grua e movendo-a livremente sobre o estaleiro de construção. O movimento da grua é feito após a seleção de todos

os seus componentes. Este passo irá tornar visível o separador “*Item Tools*”, no qual está disponível o botão “*Move*” que permite alterar e mover a grua em 3 direções ortogonais.

O teste de rotação da grua é efetuado após a seleção dos componentes que constituem a lança, a contra-lança e o contra peso. O botão “*Rotate*”, disponível no separador “*Item Tools*”, permite testar a rotação da grua.

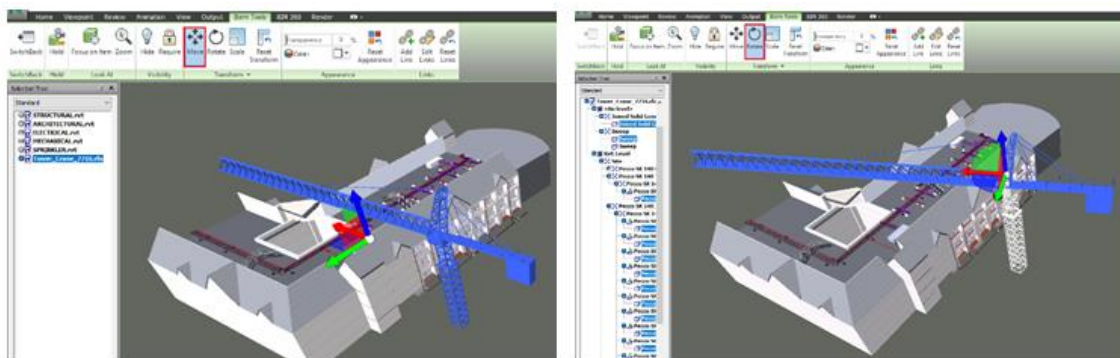


Figura 109- Posicionamento e rotação da grua

A simulação do funcionamento de qualquer elemento no modelo BIM passa pela criação de uma animação, através do comando “*Animator*” acessível no separador “*Home*”.

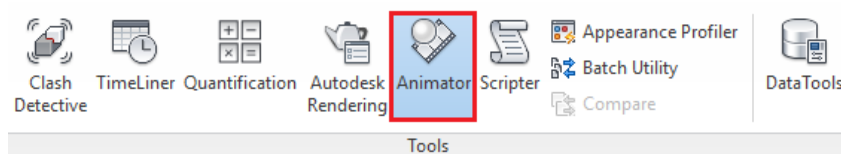


Figura 110- Comando Animator

Este comando irá abrir a janela “*Animator*”, visível no ambiente de trabalho do Navisworks e na qual se irá proceder à criação da animação do comportamento da grua. Uma nova animação é adicionada clicando no botão “*Add Scene*”, visível no canto inferior esquerdo da janela “*Animator*”.

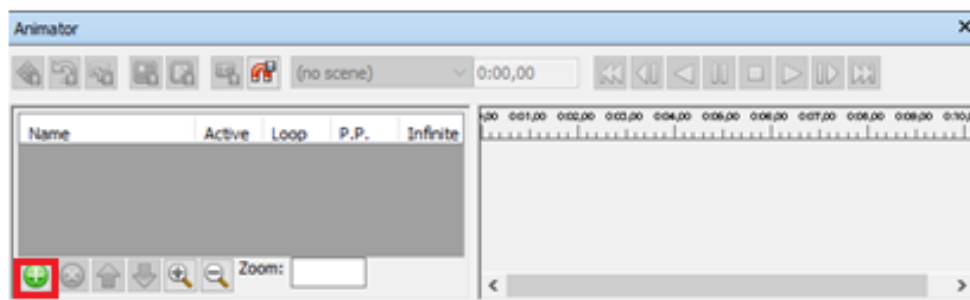


Figura 111- Interface do comando Animator

Com os componentes que constituem a lança, contralança e o contrapeso da grua selecionados a partir do “Set” criado, estes são adicionados clicando com o botão direito do rato sobre o nome da animação “(Grua) > Add animation set > From current selection”.

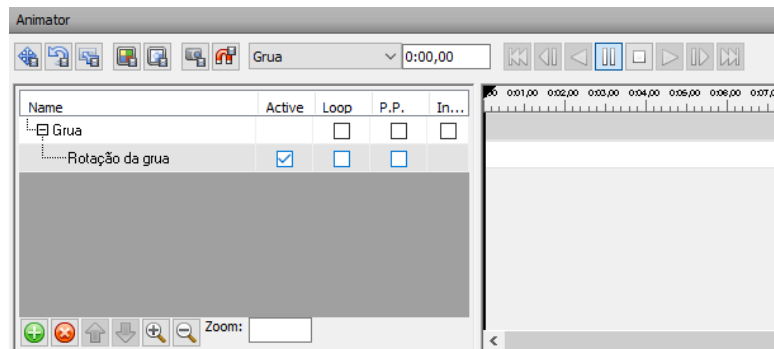


Figura 112- Criação da rotação da grua

Ao selecionar qualquer “Set” criado, neste caso, os componentes que entram na rotação da grua, ficarão disponíveis as seguintes opções. Estas opções ajudam na criação de uma simulação de qualquer objeto no Navisworks.

A criação da rotação da grua é feita clicando no comando “Rotate Animation Set”, o qual torna visível várias opções de animação da rotação através da personalização de coordenadas.

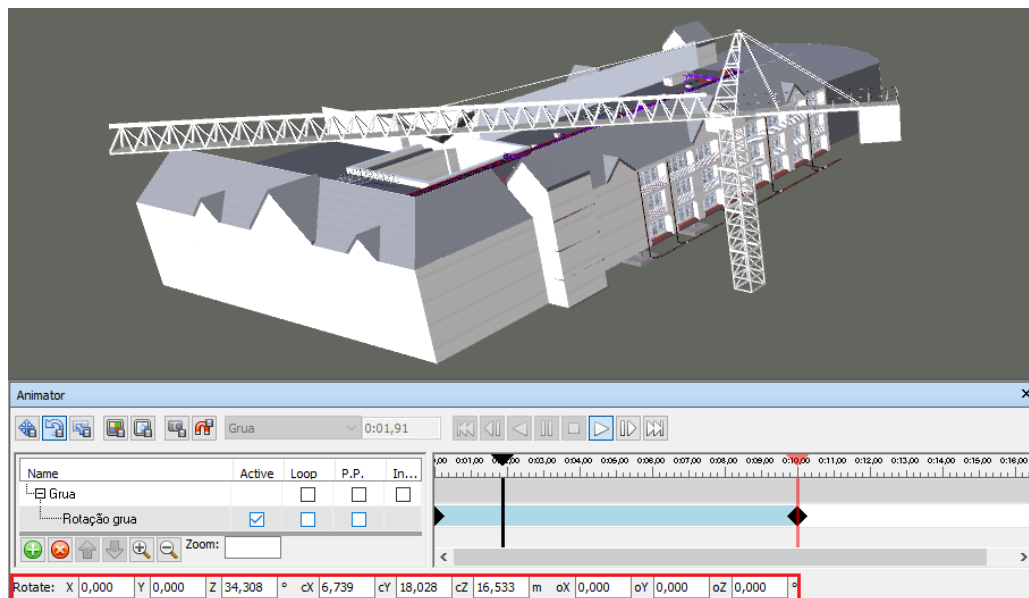


Figura 113- Personalização da rotação da grua

A metodologia para a criação de animações passa pela criação de um ponto de início e de fim através do botão “Capture keyframe” e da escolha de ângulos entre os quais se pretende que a grua efetue a sua rotação. É possível ajustar a duração da animação pegando no ícone representativo do ponto de fim e arrastando-o para os lados.

Após a criação da animação, é possível navegar através da mesma utilizando os botões de navegação e inverter o movimento da grua ligando as opções “Loop” e “P.P.”, o que irá duplicar o tempo da animação.

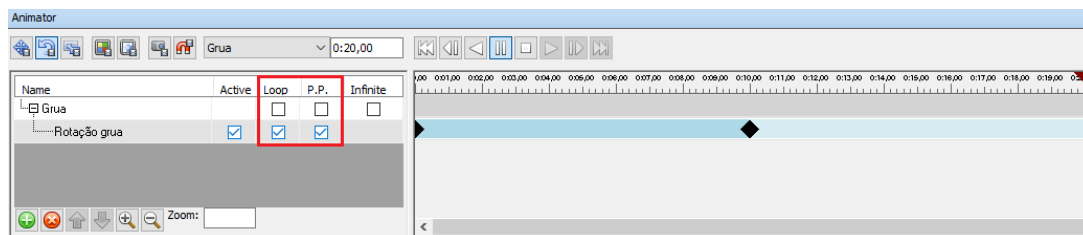


Figura 114- Opções Loop e "P.P."

A simulação do funcionamento do carrinho e do guincho da grua segue princípios similares, usando neste caso o comando “Translate Animation Set” que permite definir movimentos horizontais e verticais.

4.6.9.2. Introdução da grua na simulação 4D

No final, é possível visualizar simultaneamente a simulação da construção do edifício e dos equipamentos presentes na obra, neste caso, o da grua.

Abrindo o comando “TimeLiner”, adiciona-se uma nova tarefa correspondente à presença da grua. Esta, ao contrário dos objetos do edifício a serem construídos, tem um “Task Type” do tipo “Temporary”.

Por predefinição, o Navisworks não disponibiliza a coluna “Animation”, a qual permite interligar uma animação previamente criada a qualquer tarefa do cronograma de construção. Esta pode ser adicionada através do comando “Columns”, como ilustrado na Figura 115, sendo de seguida selecionada a animação “Grua”.

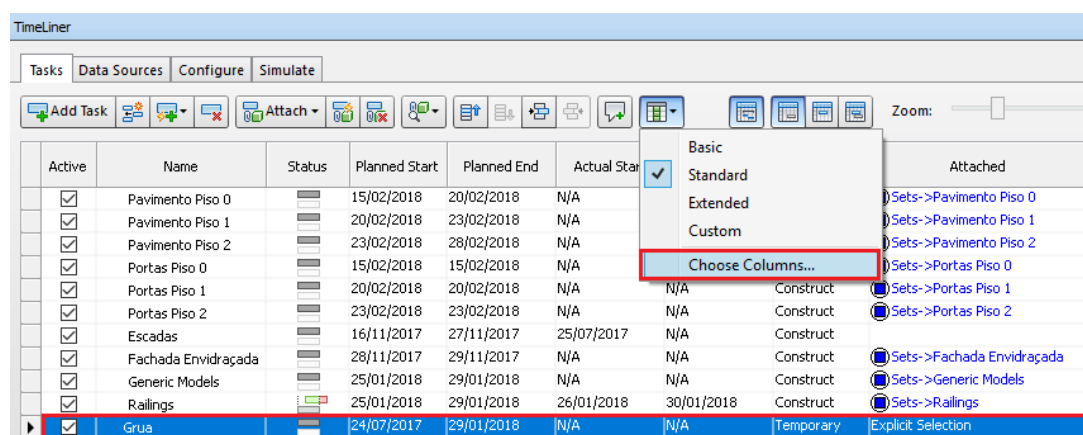


Figura 115- Introdução da grua no cronograma de construção

4.7. Análise BIM 5D – Quantificação

Neste capítulo é feita a aplicação prática da metodologia 5D sobre o modelo em estudo que consiste na criação de relatórios de quantificação para posterior associação de custos, com o objetivo de obter uma estimativa global do custo da obra.

O “*Quantification*” é o comando do Navisworks Manage 2017 que permite realizar um levantamento automático de quantidades do modelo tridimensional. Esta ferramenta permite fazer a estimativa do tipo de material, a medição de áreas e volumes, a contagem de componentes da construção, entre outros.

O comando “*Quantification*” está localizado no painel “*Tools*” no separador “*Home*”.

Segue-se a demonstração prática da metodologia 5D, passo-a-passo, tendo como objetivo a extração de relatórios de quantificação.

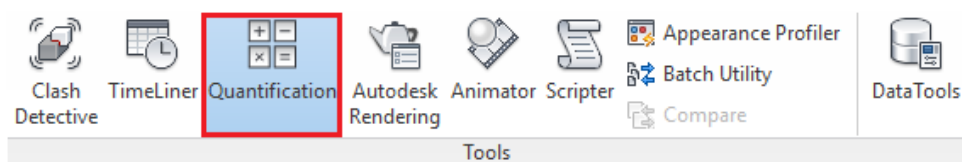


Figura 116- *Quantification*

4.7.1. 1º Passo - Criação do projeto

O primeiro passo é a criação de um projeto. Este consiste num conjunto de ficheiros e itens associados para gerar quantidades de materiais de uma forma detalhada. Ao criar um projeto, é necessária a seleção do catálogo de conteúdos, das opções do projeto e da escolha das unidades de medidas utilizadas.

A criação do projeto é feita na janela “*Quantification Setup Wizard*” a partir do comando “*Project Setup.*”

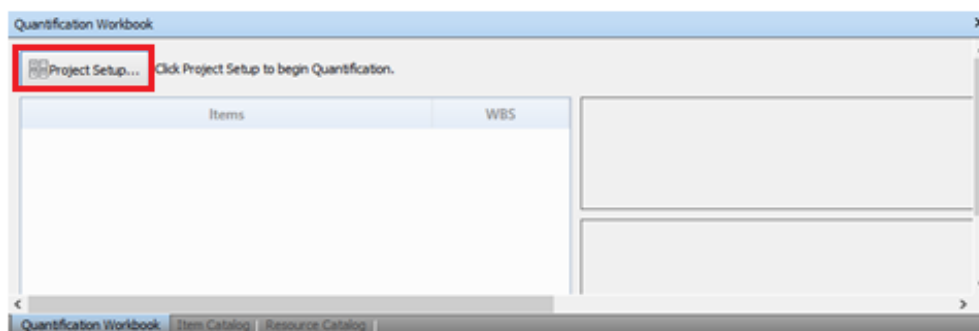


Figura 117 - *Quantification Workbook - Project Setup*

Segue-se a seleção de um catálogo. É possível escolher entre as várias opções de catálogos disponíveis ou até importar um catálogo previamente criado. O catálogo define o modelo organizacional dos dados gerados através de várias disciplinas (“*Work Breakdown Structure*” ou *WBS*). Após a criação do projeto, é possível importar informação adicional como novos grupos e itens.

Os catálogos pré-definidos disponibilizados pelo Navisworks são frequentemente os mais utilizados pelas empresas. Em caso de utilização de um catálogo importado exteriormente, este tem de pertencer ao formato *XML* e conter as mesmas unidades de medida e propriedades do projeto.

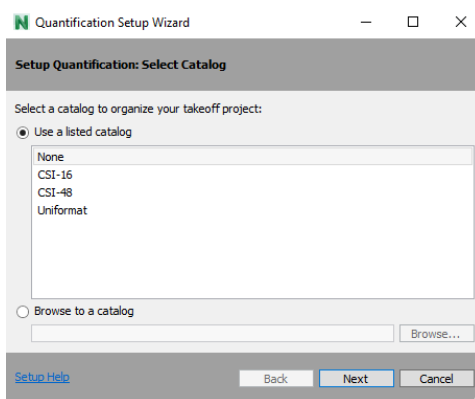


Figura 118- Seleção do catálogo

O catálogo selecionado é do tipo “*Uniformat*”, cujo modelo organizacional (*WBS*) é o ilustrado na Figura 119.

Items	WBS
Substructure	A
Shell	B
Interiors	C
Services	D
Equipment & Furnishings	E
Special Construction & Demolition	F
Building Sitework	G

Figura 119- Catálogo Uniformat

De seguida, é escolhida a unidade de medida do projeto. Estão disponíveis 3 opções:

- **Imperial** – Converte as unidades do modelo para unidades imperiais;
- **Métrico** – Converte as unidades do modelo para unidades métricas, por exemplo, metros, quilogramas ou litros;
- **Variável** – Usa os valores existentes no modelo. É possível alterar individualmente a unidade de cada propriedade.

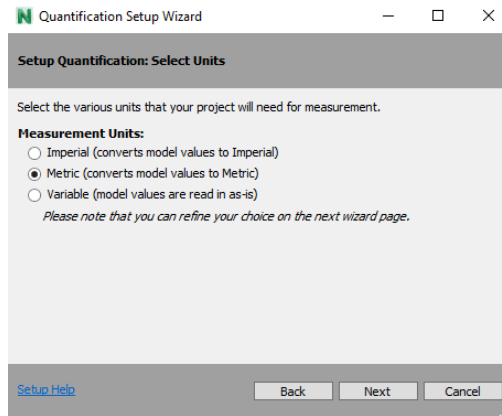


Figura 120- Seleção das unidades de medida

Foi escolhida a unidade de medida do tipo métrico. O próximo passo é associar uma unidade métrica a cada propriedade. É possível visualizar simultaneamente as unidades métricas e imperiais, se o projeto assim o requerer.

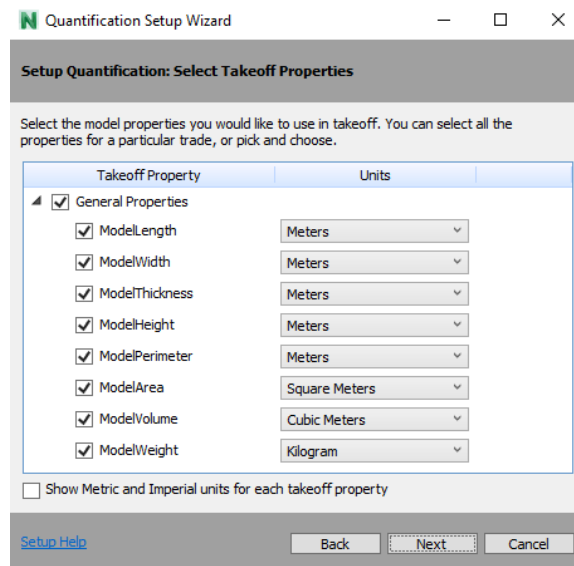


Figura 121- Associação de propriedades às unidades

4.7.2. 2º Passo - Personalização do projeto

A definição das características do projeto de quantificação é feita em três janelas do comando “Quantification”, com funções distintas:

- “Quantification Workbook”;
- “Item Catalog”;
- “Resource Catalog”.

Segue-se uma descrição relativamente às funções de cada janela.

4.7.2.1. Quantification Workbook

Ao clicar em “Finish”, ficam listados no “Quantification Workbook” todos os grupos de itens carregados a partir do catálogo selecionado anteriormente.

É nesta janela que estão quantificados os objetos do modelo e onde são visualizados os resultados. É também a partir desta janela que são exportados os resultados para ficheiros do tipo XML ou Excel.

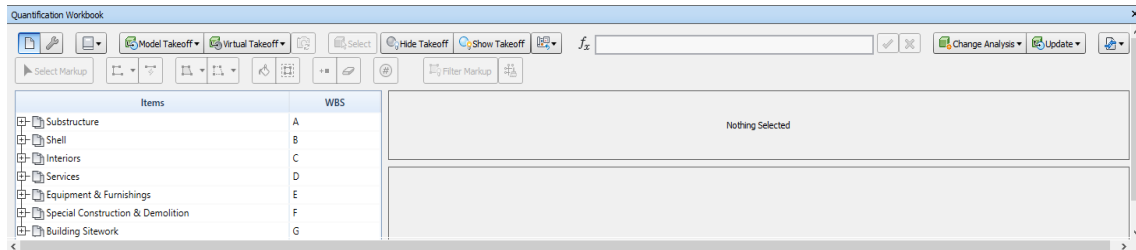


Figura 122 - Quantification Workbook

Segue-se uma descrição da lista de comandos presentes no “Quantification Workbook”.

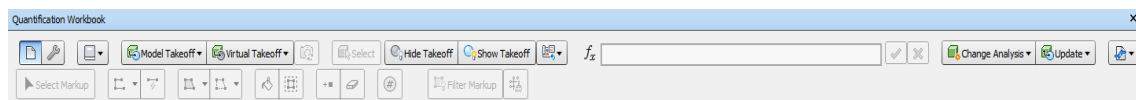








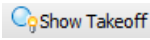





Figura 123- Lista de comandos do Quantification Workbook

-  **Switch to Item View** – Permite a visualização do catálogo de itens;
-  **Switch to Resource View** – Permite a visualização do catálogo de recursos;
-  **Mostra ou esconde os catálogos de itens e de recursos;**
-  **Model Takeoff** – Importa os objetos selecionados no modelo para o catálogo de itens;
-  **Virtual Takeoff** – Cria objetos inexistentes do modelo no catálogo de itens;
-  **Adiciona um “viewpoint” a um item no catálogo ou atualiza um “viewpoint” anterior;**
-  **Select** – Destaca o objeto do item selecionado no modelo e na janela “Selection Tree”, permitindo identificar a sua localização;
-  **Hide Takeoff** – Esconde no modelo todos os objetos selecionados na lista de itens;


 **Show Takeoff** – Esconde no modelo todos os objetos não incluídos na lista de itens selecionados;

 Altera a aparência no modelo dos objetos importados para a lista de itens, entre a sua aparência original ou a definida no “*Item Catalog*” para cada objeto;

f_x  Permite a visualização e a alteração de fórmulas nas células selecionadas;

 **Change Analysis** – Permite a análise das alterações feitas no modelo e o respetivo impacto no processo de quantificação;

 - Atualiza a lista de itens de acordo com as alterações efetuadas no modelo;

 - Permite a importação e exportação de catálogos e a exportação dos resultados de quantificação para ficheiros do tipo *XML* e *Excel*.

4.7.2.2. Item Catalog

No catálogo de itens (“*Item Catalog*”) é possível explorar o modelo organizacional e visualizar os vários grupos e itens que fazem parte desse catálogo. É possível criar novos grupos e itens para cada grupo, através dos comandos “*New Group*” e “*New Item*”.

A Figura 124 ilustra a criação dos itens “sapatas isoladas” e “sapatas corridas”, inseridos no grupo “*Standard Foundations*”.

É possível adicionar uma descrição a cada item e ainda alterar a sua aparência.

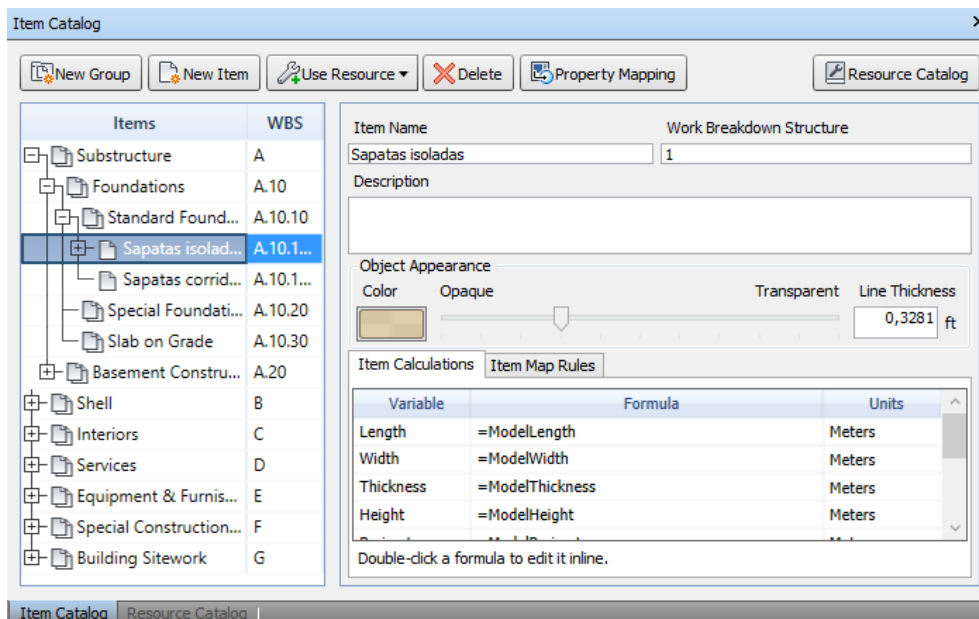



Figura 124- Item Catalog

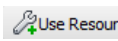
Segue-se uma descrição da lista de comandos presentes no “*Item Catalog*”.




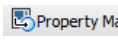
Figura 125- Lista de comandos do *Item Catalog*

 **New Group** – Cria um novo grupo de itens;

 **New Item** – Cria um novo item dentro do grupo selecionado;

 **Use Resource** – Importa os recursos do “*Resource Catalog*” necessários para a execução do item selecionado;

 **Delete** – Apaga os objetos selecionados;

 **Property Mapping** – Permite criar regras para o mapeamento de objetos importados segundo as suas propriedades, o que acelera o processo de importação dos objetos do modelo para o “*Catalog Item*”;

 **Resource Catalog** – Abre o “*Resource Catalog*” e fecha o “*Item Catalog*”.

4.7.2.3. Resource Catalog

Antes de começar a mapear os elementos que se pretendem extrair do modelo para o cálculo de quantidades, é necessário aceder antes ao catálogo de recursos (“*Resource Catalog*”) onde são definidos os recursos necessários para os diferentes tipos de materiais de construção.

Assim, é possível estimar não apenas a quantidade de produtos de construção requeridos, mas também a quantidade de recursos necessários para cada finalidade.

Os comandos “*New Group*” e “*New Resource*” permitem a criação de grupos para o tipo de material e a associação dos recursos necessários. A Figura 126 ilustra os recursos criados necessários à execução das atividades de betonagem de sapatas, ou seja, betão 25/30, cofragem para sapatas isoladas, cofragem para sapatas corridas e betão de acabamento.

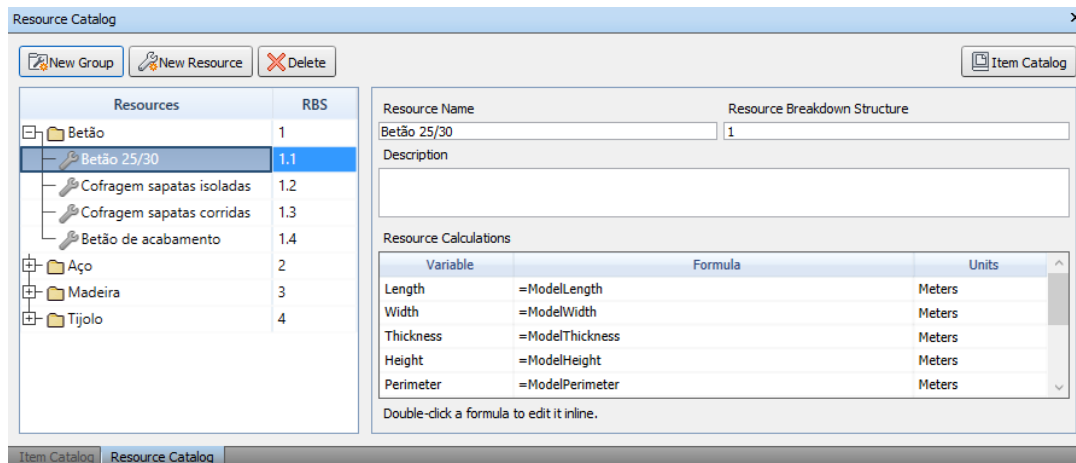


Figura 126- Resource Catalog

Segue-se uma descrição da lista de comandos presentes no “Resource Catalog”.

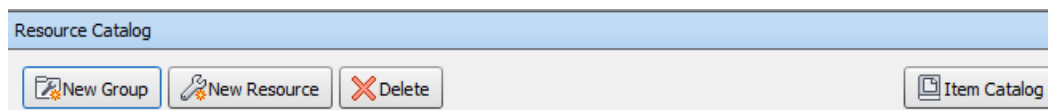

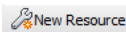



Figura 127- Lista de comandos do Resource Catalog

 **New Group** – Cria um novo grupo de recursos;

 **New Resource** – Cria um recurso dentro do grupo selecionado;

 **Delete** – Apaga o grupo ou recursos selecionados;

 **Item Catalog** – Abre o “Item Catalog” e fecha o “Resource Catalog”.

4.7.2.4. Introdução de fórmulas nos catálogos de itens e recursos

A associação de fórmulas aos itens e recursos permite uma quantificação do modelo tão completa quanto a desejada. Estas fórmulas tornam possível a quantificação de informação que não é fornecida pelo Navisworks numa primeira instância, como por exemplo, o número e o peso de tijolos por m² de alvenaria para cada tipo e tamanho de tijolo ou o peso de aço por m³ de betão.

Estas formulas são introduzidas nos catálogos de itens e recursos, nos campos mostrados na Figura 128.

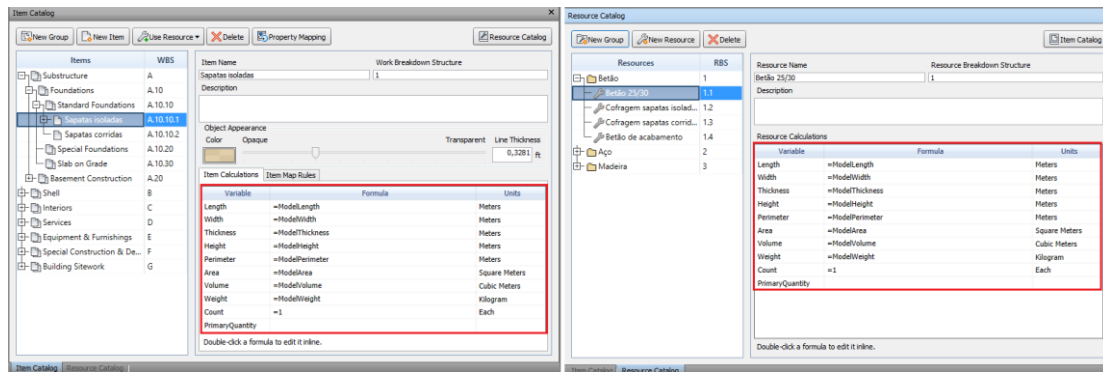


Figura 128- Introdução de fórmulas nos catálogos

4.7.3. 3º Passo – Importação dos elementos do modelo para o catálogo

Existem 2 tipos de quantificação no Navisworks, o “*Model Take-off*” e o “*Virtual Take-off*”.

O “*Model Take-off*” é usado para objetos cujas propriedades estejam mapeadas no Navisworks. O comando “*Quantification*” acede às propriedades dos objetos e à referência “*GUID*” dos ficheiros criados nos *softwares* originais e cria itens a partir desses objetos que são posteriormente quantificados. Se o objeto não apresentar a referência “*GUID*” ou as propriedades requeridas, irá aparecer uma mensagem de erro. Este tipo de quantificação permite ao Navisworks, por exemplo, quantificar o número de sapatas existentes no modelo e todas as medidas e recursos necessários à execução das mesmas.

O “*Virtual Take-off*” é necessário em situações em que o objeto tenha uma geometria mas não tenha propriedades ou quando um objeto não tenha uma geometria nem propriedades, como um elemento em falta no modelo. O comando “*Quantification*” permite entrar com estes objetos no processo de quantificação.

São demonstrados, de seguida, os dois tipos de importação de elementos.

4.7.3.1. Model Takeoff de elementos existentes no modelo

O passo seguinte é a organização dos elementos no modelo organizacional do catálogo selecionado. A seleção dos elementos do modelo a serem importados é feita através do comando “*Find Items*” ou a partir da janela “*Selection Tree*”.

Com o elemento do modelo em estudo selecionado e o respetivo grupo “*WBS*” escolhido, este passo pode ser efetuado a partir da janela “*Selection Tree*” através de três métodos:

- Manualmente, ao arrastar os itens para a janela “*Quantification Workbook*”;
- Selecionando os itens na janela “*Selection Tree*” e, com o botão direito do rato, clicar no comando “*Quantification>Take off to:*”;
- Selecionando os itens na janela “*Selection Tree*” e clicar no comando “*Model Takeoff*”.

Os objetos importados passam a ficar visíveis na janela “*Quantification Workbook*”. A Figura 129 ilustra a importação das sapatas corridas onde é possível visualizar individualmente algumas propriedades, tais como a área e o volume. É possível visualizar também a área e o volume total de todos os objetos importados.

Status	WBS/RBS	Name	Perimeter	Area	Volume
	A.10.10.2	Sapatas corridas	0,000 m	98,362 m ²	14,679 m ³

Status	WBS	Object	ModelArea	ModelVolume	ModelW
	A.10.10.2.1	Concrete-Rectangular Beam	3,479 m ²	0,516 m ³	
	A.10.10.2.2	Concrete-Rectangular Beam	4,862 m ²	0,727 m ³	
	A.10.10.2.3	Concrete-Rectangular Beam	3,479 m ²	0,516 m ³	
	A.10.10.2.4	Concrete-Rectangular Beam	4,862 m ²	0,727 m ³	
	A.10.10.2.5	Concrete-Rectangular Beam	4,862 m ²	0,727 m ³	

Figura 129- Importação das sapatas isoladas do modelo para o item “Sapatas isoladas”

É importante mencionar que este processo é possível apenas se os objetos tiverem uma referência “*GUID*” associada (“*Globally Unique Identifier*”). Esta é uma referência associada a cada objeto nos ficheiros originais de Revit.

É possível visualizar a referência “*GUID*” ao selecionar o objeto e clicando no comando “*Properties*”. A Figura 130 ilustra a referência “*GUID*” de uma das sapatas corridas importadas anteriormente.

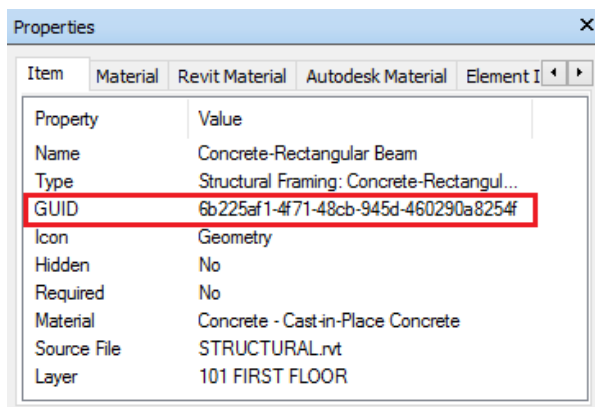


Figura 130- Referência GUID da sapata corrida selecionada

A importação não é possível caso o objeto selecionado não apresente uma referência “*GUID*”. Foi detetada a ausência da referência “*GUID*” após serem selecionadas as sapatas isoladas.

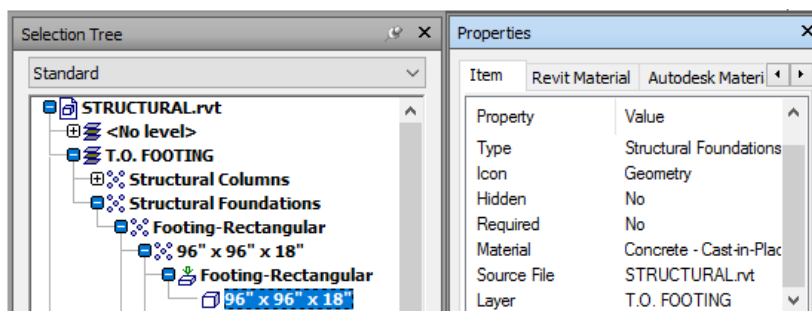


Figura 131- Ausência da referência GUID nas sapatas isoladas

Assim, ao importar as 13 sapatas isoladas para a janela “Quantification Workbook”, aparece a seguinte mensagem de erro:

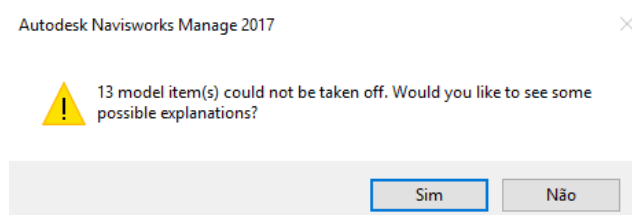


Figura 132 - Mensagem de erro na importação de elementos

Este problema é resolvido selecionando, na janela “Selection Tree”, o nível de hierarquia acima para o objeto selecionado, até que seja visível a referência “GUID” na janela “Properties”.

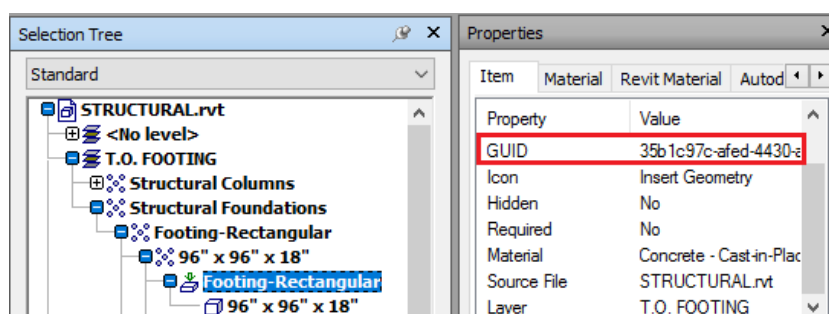


Figura 133 - Referência GUID da sapata isolada selecionada

4.7.3.2. Virtual Takeoff de elementos em falta no modelo

Existem casos em que alguns itens podem estar a faltar no modelo, embora seja possível incluí-los nos relatórios de quantificação. Para estes casos, o Navisworks fornece o comando “Virtual Takeoff”. O objetivo passa por adicionar um elemento ao “Quantification Workbook” que ainda não esteja incluído no modelo.

Para exemplificar um destes casos, foi adicionada uma porta localizada numa parede exterior do modelo ao relatório de quantificação.

Após selecionar no “*Quantification Workbook*” o item do tipo “*Exterior Doors*” na “*WBS*”, clicar em “*Virtual Takeoff > Create in New Catalog Item*” permite criar um elemento em falta no modelo.

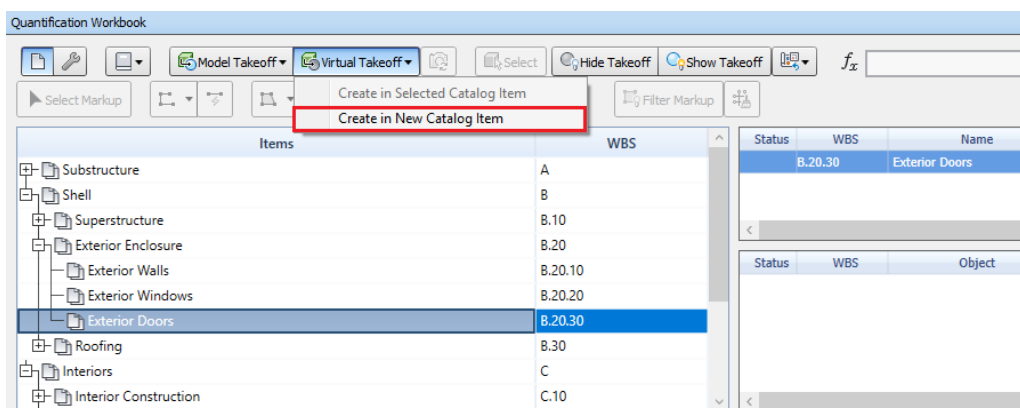


Figura 134- Virtual Takeoff

Embora este elemento não faça ainda parte do modelo, o Navisworks fornece ferramentas que permitem simular a sua existência, através dos comandos de texto e desenho disponibilizados no separador “*Review*” e pela criação de um “*Viewpoint*” para este elemento em falta.

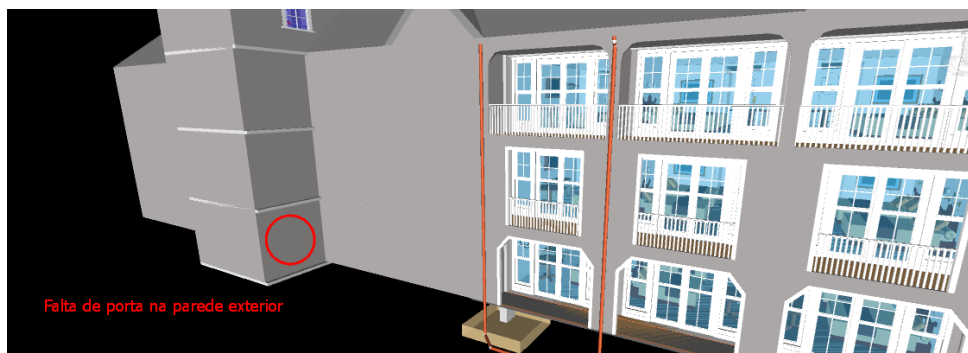


Figura 135 -Viewpoint criado para da porta em falta no modelo

4.7.4. 4º Passo - Atribuição de recursos aos itens

Após a importação de todos os elementos que fazem parte do catálogo de itens a quantificar, segue-se a atribuição de recursos a cada um desses itens. Na janela “*Item Catalog*” e com o elemento selecionado, os recursos são atribuídos através do comando “*Use Resource*” e escolhendo a opção “*Use Existing Master Resource*”.

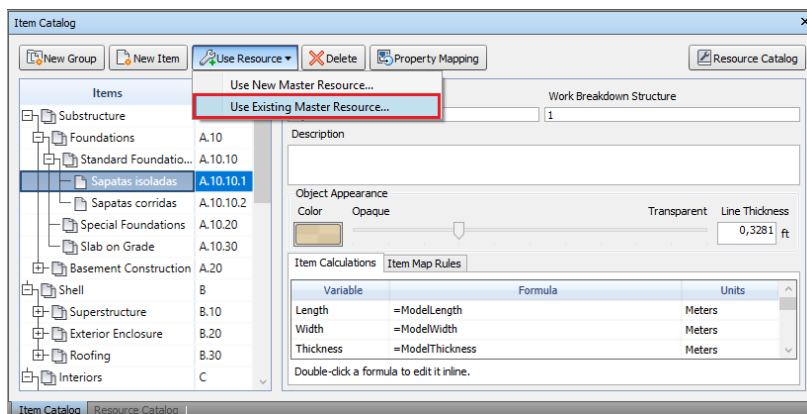


Figura 136- Atribuição de recursos

De seguida, é aberta a janela “Master Resource List”. A Figura 137 ilustra a seleção dos recursos necessários à execução das sapatas isoladas. Ao clicar no comando “Use In Item” são atribuídos os recursos seleccionados e o comando “Done” conclui a tarefa de atribuição de recursos para cada item.

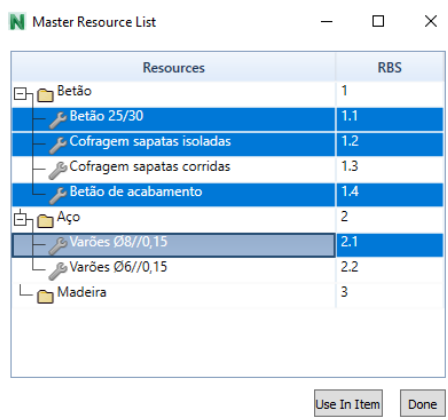


Figura 137- Master Resource List

Os recursos atribuídos a cada item ficam visíveis na janela “Item Catalog”, tal como ilustra a Figura 138. É possível copiar e colar recursos na janela “Item Dialog” entre diferentes itens.

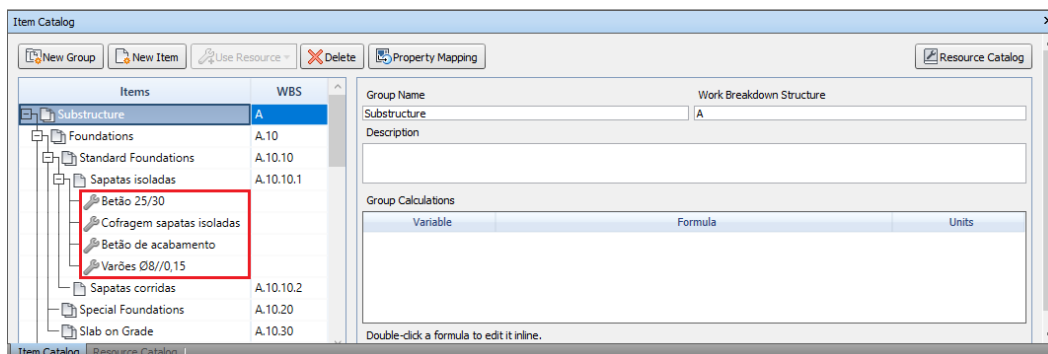


Figura 138- Visualização dos recursos no Item Catalog

4.7.5. 5º Passo - Análise de mudanças no modelo

O estimador tem o objetivo de seguir as atualizações nos custos do modelo à medida que este vai sofrendo alterações ao longo do projeto. Podem ocorrer casos em que essas alterações são válidas e outros casos em que podem não ser validadas, consoante o orçamento de construção.

De seguida, são demonstrados os passos a efetuar pelo estimador de modo a que este possa seguir em tempo real as alterações feitas no modelo, cabendo a si a decisão de serem aceites ou rejeitadas.

De modo a exemplificar este processo, foi aberto o ficheiro original no Revit do projeto de arquitetura e procedeu-se à alteração do tamanho e do tipo das portas dos quartos situados no 1º piso do edifício.

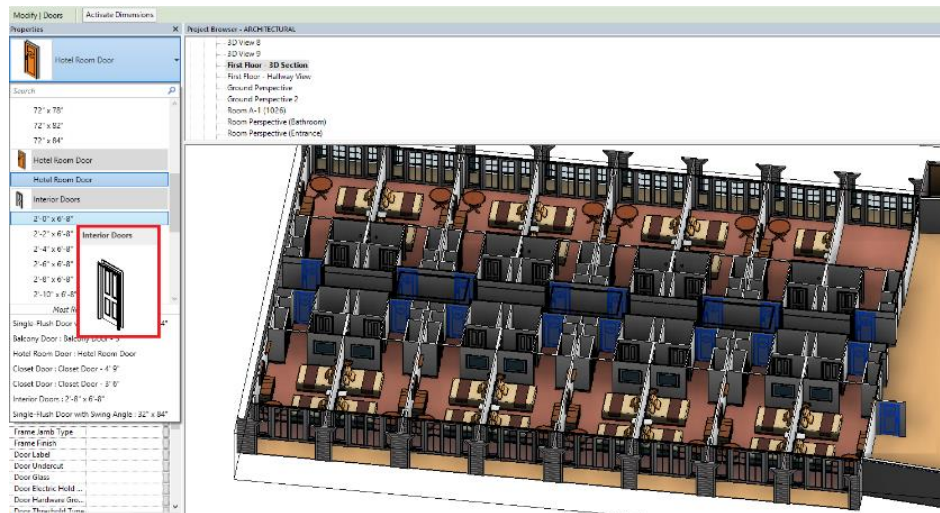


Figura 139- Alteração do tamanho e tipo de portas no projeto de arquitetura

Após efetuadas as alterações, estas são visualizadas pela ferramenta “Quantification” do Navisworks através do comando “Change Analysis”, clicando de seguida em “Analyse Changes”.

No catálogo de itens, as modificações efetuadas no ficheiro original são notificadas através de ícones como os indicados na Figura 140, que permitem identificar os objetos que tenham sido alterados relativamente ao projeto original.

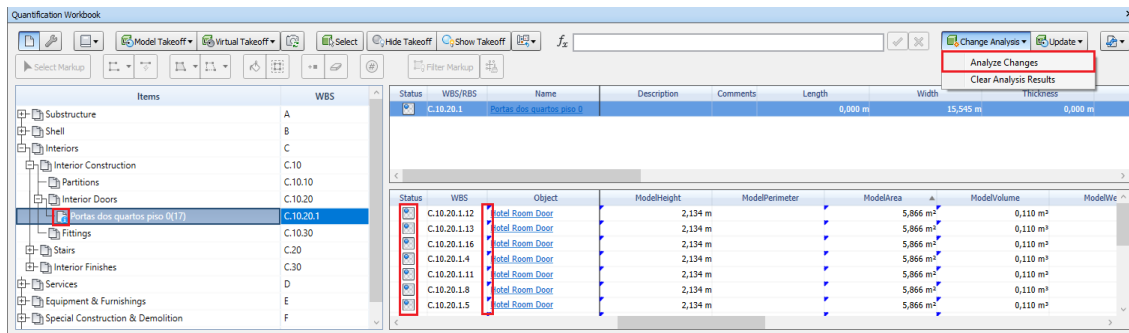


Figura 140- Notificação dos itens alterados

Passando com o rato sobre cada um dos ícones, é visualizada uma mensagem que notifica de que forma estes itens foram alterados. Na Figura 141 pode ser visualizada, para a porta selecionada, a diferença de alturas entre o modelo antigo e o recente, na coluna “ModelHeight”.

Status	WBS	Object	ModelHeight	ModelPerimeter	ModelArea	ModelVolume
✕	C.10.20.1.12	Hotel Room Door	2,134 m		5,866 m ²	0,110 m ³
✕	C.10.20.1.13	Hotel Room Door	2,134 m		5,866 m ²	0,110 m ³
✕	C.10.20.1.16	Hotel Room Door	2,134 m		5,866 m ²	0,110 m ³
✕	C.10.20.1.4	Hotel Room Door	2,134 m		5,866 m ²	0,110 m ³
✕	C.10.20.1.11	Hotel Room Door	2,134 m		5,866 m ²	0,110 m ³
✕	C.10.20.1.8	Hotel Room Door	2,134 m		5,866 m ²	0,110 m ³
✕	C.10.20.1.5	Hotel Room Door	2,134 m		5,866 m ²	0,110 m ³

Figura 141- Identificação da alteração de medidas

Depois de verificados e aprovados os objetos alterados, a informação é atualizada através do comando “Update”, clicando de seguida em “Update Selected From Model”. O comando “Select Row” facilita a seleção das linhas para que todos os valores sejam atualizados.

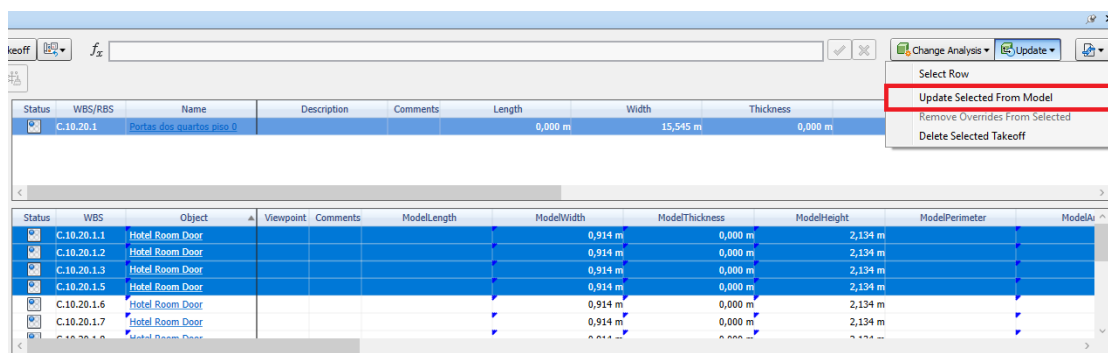


Figura 142- Atualização do relatório de quantificação após aprovadas as alterações

Deste modo, embora o processo de quantificação não seja efetuado de forma automática, o Navisworks oferece flexibilidade no que toca à escolha das alterações a efetuar no processo de quantificação.

4.7.6. 6º Passo - Exportação de relatórios de quantificação

Por último, a exportação do relatório de quantificação é feita através do comando “Import/export Catalogs and export Quantities” para um ficheiro do tipo XML ou Excel.

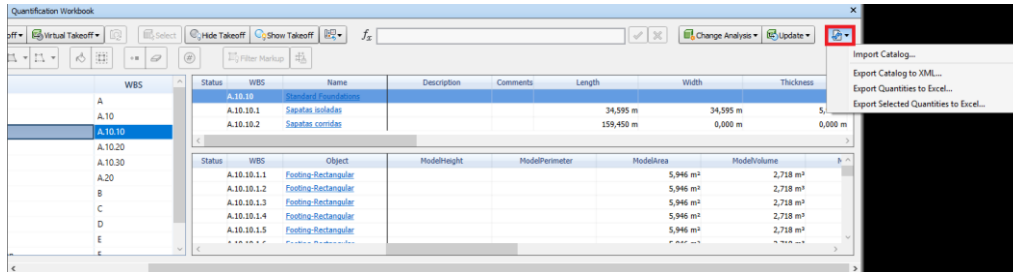
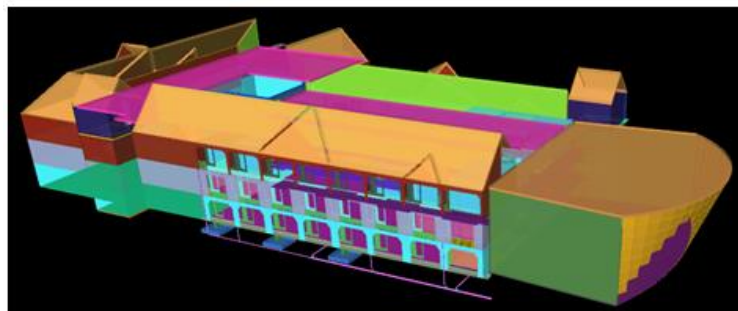


Figura 143- Exportação de relatórios de quantificação

No relatório gerado, é possível explorar toda a informação verificada anteriormente na ferramenta “Quantification” do Navisworks e a partir da qual é calculado o custo de construção da obra, através da introdução de colunas extra para o efeito.

A Figura 144 ilustra um excerto do relatório gerado que identifica os recursos necessários para a execução das sapatas isoladas e os valores das respetivas medidas, entre as quais, a altura, a área e o volume de cada sapata, que permitem calcular posteriormente o custo total de construção através da associação dos custos unitários de construção.

Os elementos do modelo BIM que constam no relatório de quantificação são representados através de uma cor pré-definida.



Resource	Object	Qty	Unit	Model	Min	Model	Max	Model	Min	Model	Max	Model	Min	Model	Max	Model	Min	Model	Max
Betão 25/30	Footings-Rectangular	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (2)	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (3)	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (4)	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (5)	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (6)	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (7)	1,676	m	1,676	m	0,457	m	m	2,810	m²	1,285	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (8)	3,200	m	3,200	m	0,457	m	m	10,243	m²	4,683	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (9)	3,200	m	3,200	m	0,457	m	m	10,243	m²	4,683	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (10)	3,200	m	3,200	m	0,457	m	m	10,243	m²	4,683	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (11)	3,200	m	3,200	m	0,457	m	m	10,243	m²	4,683	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (12)	3,200	m	3,200	m	0,457	m	m	10,243	m²	4,683	m³							
Betão 25/30	Footings-Rectangular (13)	2,286	m	2,286	m	0,457	m	m	5,226	m²	2,389	m³							
Cofragem sapatas isolaed	Footings-Rectangular	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							
Cofragem sapatas isolaed	Footings-Rectangular (2)	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							
Cofragem sapatas isolaed	Footings-Rectangular (3)	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							
Cofragem sapatas isolaed	Footings-Rectangular (4)	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							
Cofragem sapatas isolaed	Footings-Rectangular (5)	2,438	m	2,438	m	0,457	m	m	5,946	m²	2,718	m³							

Figura 144- Relatório de quantificação

5. CONCLUSÕES

Os projetos de construção estão a tornar-se cada vez mais complexos e pode ser difícil geri-los através de métodos tradicionais. Neste sentido, são necessárias mudanças importantes que melhorem o desempenho da indústria da construção que, apesar do seu caráter antigo, está atrasada em relação a muitas outras indústrias.

A metodologia de trabalho apresentada neste trabalho final de mestrado, que pretende mudar a forma como são geridos os projetos de construção e que é conhecida como BIM, envolve a adoção de tecnologias de troca de informação e a consequente mudança nos processos de trabalho conhecidos até hoje. Como resultado, as empresas ligadas ao setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) ainda oferecem alguma resistência à adoção de novas práticas, embora esta metodologia já esteja totalmente implementada em algumas partes do mundo.

O presente trabalho focou-se na aplicação dos conceitos de BIM 3D, 4D e 5D a um caso de estudo e nas vantagens trazidas pela metodologia BIM, com recurso aos *softwares* necessários para a sua implementação. Foi analisado o fluxo de trabalho na deteção de conflitos existentes no projeto, na criação de uma simulação da construção do modelo e na extração de relatórios de quantidades com vista ao cálculo da construção, e foi concluído que estas ferramentas são capazes de satisfazer muitos dos fundamentos teóricos esperados pela metodologia BIM. Um dos maiores fatores na utilização dos *softwares* usados é a flexibilidade que oferecem para se adaptarem às mudanças e às necessidades do projeto, apesar de algumas das suas limitações.

O caso de estudo desenvolvido ao longo do presente trabalho foi abordado de forma a que qualquer estudante possa ser introduzido à metodologia BIM e ao seu processo de implementação no projeto de um modelo tridimensional através de *softwares* fornecidos gratuitamente pela Autodesk à comunidade estudantil. Neste contexto, foi feita uma exposição em relação aos comandos e às funcionalidades oferecidas pelo *software* Navisworks e descritos todos os passos necessários à implementação prática dos fundamentos teóricos da metodologia BIM.

Por último, é importante referir que a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) está em constante mudança e evolução. São desenvolvidas tecnologias que se adaptam a este processo de desenvolvimento, mas no final não importa apenas o quão avançadas estas tecnologias são. Depende do ser humano a forma como aborda estas tecnologias e cabe a si a decisão em as adotar ou rejeitar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baia, D. V. (Setembro de 2015). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Uso de Ferramentas BIM para o Planejamento de Obra da Construção Civil*.
- Barbosa, A. C. (Setembro de 2014). Relatório de Estágio para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Civil. *A Metodologia BIM 4D e BIM 5D aplicada a um caso prático Construção de uma ETAR na Argélia*.
- Berdeja, E. P. (Outubro de 2014). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Análise de Conflitos num Projeto de Base BIM*.
- Bylund, C., & Magnusson, A. (Fevereiro de 2011). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Model Based Cost Estimations - An International Comparison*.
- Chelson, D. E. (2010). Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. *The Effects of Building Information Modeling on Construction Site Productivity*.
- Dalci, A. (August de 2014). An Investigation on Some Benefits of BIM Application. *Submitted to the Institute of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Civil Engineering*.
- Fontes, A. D. (Janeiro de 2014). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Proposta de Sistema de Gestão da Manutenção de Edifícios Suportado por Ferramentas BIM*.
- Gee, C. (October de 2010). The Influence of Building Information Modelling on the Quantity Surveying Profession. *Submitted in fulfilment of part of the requirements for the Degree of BSc*.
- Giel, B. K. (2009). A Thesis presented to the graduate school of the university of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Building Construction. *Return of Investment Analysis of Building Information Modeling in Construction*.
- Jiang, X. (August de 2011). Approved for Thesis Requirement of the Master of Science Degree in Civil & Environmental Engineering. *Developments in Cost Estimating and Scheduling in BIM technology*.
- Joannides, M. M. (2011). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Implementation of Building Information Modeling (BIM) into existing architecture and construction educational curriculum*.
- Kullvén, F., & Nyberg, K. (Fevereiro de 2014). Master of Science Thesis in the Master's Programme Design and Construction Project Management. *Possibilities with BIM in relation to cost estimation and scheduling - A case study of a Swedish civil engineering project*.

- Mota, C. S. (Novembro de 2015). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Modelo 4D do planeamento da construção apoiado na tecnologia BIM.*
- Otero, R. D. (Novembro de 2014). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Otimização do planeamento dos trabalhos.*
- Papadopoulos, N. A. (Janeiro de 2014). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Avaliação da metodologia BIM através da modelagem.*
- Poças, A. R. (Novembro de 2015). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Planeamento e controlo de projetos.*
- Sá, J. P. (Junho de 2014). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Modelação de Estruturas em BIM – Aplicação à Extração Automática de Quantidades.*
- Tarrafa, D. G. (Outubro de 2012). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Aplicabilidade prática do conceito BIM em projeto de estruturas.*
- Velasco, A. U. (August de 2013). Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. *Assessment of 4D BIM applications for project management functions.*