

Modelo 4D do planeamento da construção apoiado na tecnologia BIM

Cláudia Sofia Aveiro da Mota

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Construção e Reabilitação

Orientadora: Professora Doutora Alcínia Zita de Almeida Sampaio

Júri

Presidente: Professor Doutor Pedro Manuel Gameiro Henriques

Orientador: Professora Doutora Alcínia Zita de Almeida Sampaio

Vogal: Professor Doutor Carlos Paulo Oliveira da Silva Cruz

Novembro de 2015

Agradecimentos

Ao concretizar esta etapa da minha formação académica, que contou com alguns contratemplos, gostaria de transmitir os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas, que de várias formas contribuíram para que esta dissertação fosse realizada.

O presente trabalho foi realizado sob a orientação da Professora Zita Sampaio, a quem agradeço pela oportunidade oferecida, sugestões e conselhos para uma melhor execução do trabalho.

Agradeço ao Arquiteto Hélder Cotrim por disponibilizar o projeto usado no caso prático.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, pelo permanente apoio.

Finalmente um especial agradecimento ao meu marido, pelo seu apoio incondicional, incentivo e pelas inúmeras sugestões que ajudaram a moldar esta dissertação.

Resumo

O sector da construção é visto como um sector pouco produtivo, onde os atrasos nos prazos de entrega da obra ou derrapagens significativas dos valores previstos são frequentes. Esta ineficiência decorre em grande parte de uma inadequada gestão da informação. O sector da construção carece de definição de formatos de representação para os seus produtos que permitam uma comunicação entre os intervenientes nos seus processos de forma eficiente e, em alguns casos, até automática.

Novos conceitos tentam inverter esta situação, como a filosofia Lean Construction ou a metodologia de trabalho *Building Information Modelling* (BIM). A metodologia BIM, que combina o *design* paramétrico, imagens 3D, informações ao nível do elemento, coordenação, comunicação e visualização durante todo o ciclo de vida do edifício está a mudar profundamente a gestão da informação no sector da construção. Esta metodologia reúne muitos dos ingredientes necessários para tornar o sector da construção mais eficaz e produtivo.

A integração da tecnologia 4D na metodologia BIM é o cerne do presente trabalho. O método empregue para o desenvolvimento do trabalho tem suporte na aplicação de ferramentas BIM. No âmbito deste trabalho numa primeira fase é utilizado o *software* Revit, para a obtenção de um modelo 3D dos projetos de arquitetura e de estruturas de um edifício sendo posteriormente exportado para a ferramenta de planeamento *Naviswork*. A possibilidade facultada pela ferramenta de planeamento *Naviswork* de visualizar e simular o processo construtivo antes da sua execução é a chave para a redução dos riscos de projeto. O modelo 4D permite uma análise visual da simulação de construção, apoiando a tomada de decisão em ambiente colaborativo.

Palavras-chave: *Building Information Modeling* (BIM), Modelo 4D, Planeamento, *Naviswork*

Abstract

The construction sector is often seen as an unproductive sector, where delays in delivery schedule or significant cost overruns are common. This inefficiency stems largely from inadequate information management. The construction sector lacks a clear definition for representation formats of their products to enable communication between stakeholders in their processes efficiency and, in some cases, even automatically.

New emerging concepts try to change this, for instance the Lean Construction philosophy, or the Building Information Modelling (BIM) work methodology. The BIM methodology, which combines parametric design, 3D images, element information, coordination, communication and visualization throughout the building life cycle, is profoundly changing the management of information in the construction sector. This methodology brings together many of the ingredients needed to make the construction sector more effective and productive.

The integration of 4D technology in BIM methodology is the core of this work. The method used for the work here developed is supported in BIM tools. In a first stage, Revit software is used to obtain a 3D model of architectural designs and structures of a building. Subsequently this model is exported to Navisworks. The opportunity afforded by the software Navisworks to visualize and simulate the construction process, prior to construction, is the key to reduce project risks. The 4D model allows a visual analysis of the construction simulation, supporting the decision making process, in a collaborative environment.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Model 4D Planning Navisworks

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice Geral	iv
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Abreviaturas.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivos.....	2
1.3. Metodologia.....	3
1.4. Estrutura da dissertação	3
2. ESTADO DA ARTE	4
2.1. Conceito BIM.....	4
2.1.1. Definição.....	4
2.1.2. Evolução histórica.....	7
2.1.3. Modelação paramétrica.....	8
2.1.4. Interoperabilidade	9
2.2. Implementação do BIM	11
2.2.1. Implementação internacional do BIM.....	14
2.2.2. Implementação nacional do BIM	17
2.3. Softwares de base BIM.....	17
2.4. Vantagens e desvantagens do BIM.....	18
2.5. Utilização do BIM no projeto de construção.....	21
3. MODELO BIM 3D.....	26
3.1. Criação do modelo BIM 3D de arquitetura.....	26
3.2. Criação do modelo BIM de estruturas	38
3.3. Sobreposição dos modelos.....	41
4. MODELO BIM 4D.....	44
4.1. Planeamento da construção.....	44

4.2.	Criação do modelo BIM 4D	47
4.2.1.	Software BIM 4D utilizado no caso de estudo.....	47
4.2.2.	Importação da informação.....	48
4.2.3.	Interligação da informação.....	51
4.2.4.	Simulação da construção.....	55
4.2.5.	Interação com o modelo 4D	57
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
5.1.	Resultados e discussão	61
5.2.	Conclusões.....	62
5.3.	Perspectivas de desenvolvimentos futuros.....	63
	BIBLIOGRAFIA.....	64

Lista de Figuras

Figura 1 – Processo construtivo: Perda de valor entre fases	1
Figura 2 – Modelo BIM: desenho 3D, plantas, alçados e fluxo de informação	6
Figura 3 – Ciclo de vida do edifício.....	7
Figura 4 – Modelo BIM como plataforma para comunicação de projetos.....	10
Figura 5 – Vantagens decorrentes da antecipação das decisões de projeto. Curva de MacLeamy. ...	12
Figura 6 – Níveis de maturidade do BIM (Group, 2011)	13
Figura 7 – Situação do BIM pelo mundo (WSPGroup – “ <i>BIM World Atlas</i> ”, 2013 [7])	14
Figura 8 – Curva de aprendizagem estimada do progresso de uma empresa de Arquitetura, Engenharia e Construção na aquisição de competências BIM.....	20
Figura 9 - Etapas funcionais requeridas durante o planeamento da construção	21
Figura 10 – Ilustração de um modelo 4D no <i>software Naviswork</i>	22
Figura 11 – Comando e representação dos níveis do caso de estudo	27
Figura 12 – Comando para importar ficheiros dwg no Revit.....	27
Figura 13 – Tabela das opções de inserção de ficheiros com formato dwg no Revit	28
Figura 14 – Comando e representação da “ <i>grid</i> ” estrutural e de referência do caso de estudo.....	28
Figura 15 – Lista dos materiais e suas características disponíveis no Revit.	29
Figura 16 – Comando para a seleção do elemento parede	30
Figura 17 – Imagem 3D de uma parede do caso de estudo modelada em Revit e o quadro com a sua constituição por camadas.....	30
Figura 18 – Comando para criar objetos “ <i>model in place</i> ”.....	31
Figura 19 – Comando para criação de uma nova família, no Revit	31
Figura 20 – Alçado de uma família janela criada para o modelo 3D e o quadro com os parâmetros atribuídos.....	32
Figura 21 – Vista 3D de alguns exemplos de famílias criadas (janelas e Portas)	32
Figura 22 – Comandos para a criação de um novo tipo de janela.....	33
Figura 23 – Exemplo da composição de um dos pavimentos definidos.....	34
Figura 24 – Vista de uma das escadas moldadas no projeto e o respectivo quadro com as suas características.....	35
Figura 25 – Comandos para inserção de etiquetas.....	35
Figura 26 – Comandos para efetuar cotagens	35
Figura 27 – Perspectiva 3D do modelo de arquitetura	36
Figura 28 – Vista da planta do piso 0	37
Figura 29 – Vista do alçado tardoz	37
Figura 30 – Corte longitudinal	37
Figura 31 – Exemplo de um mapa de quantidades obtido automaticamente a partir do modelo	38
Figura 32 – Comando para copiar elementos entre modelos de especialidades diferentes	39
Figura 33 – Comando para inserção de famílias no modelo	39
Figura 34 – Opções existentes no separador “ <i>estrutura</i> ”	40

Figura 35 – Exemplo de um pilar do modelo estrutural	40
Figura 36 – Exemplo de uma viga	40
Figura 37 – Perspectiva 3D da estrutura	41
Figura 38 – Quadro para escolha dos ficheiros e elementos para análise de interferências	42
Figura 39 – Relatório das interferências e indicação no modelo	42
Figura 40 – Perspectiva 3D do Modelo Integrado (arquitetura + estrutura).....	43
Figura 41 – Parte do ficheiro Ms Project do planeamento	46
Figura 42 – Abertura do modelo Revit diretamente no <i>Navisworks</i>	49
Figura 43 – Exportação do modelo Revit para formato NWC através de <i>add-in</i> instalado no Revit.....	49
Figura 44 – Modelos 3D do caso de estudo (arquitetura e estrutura) em ambiente <i>Naviswork</i>	49
Figura 45 – Comando “ <i>Timeliner</i> ”	50
Figura 46 – Comando para importar o ficheiro de planeamento	50
Figura 47 – Importação das tarefas para o “ <i>Timeliner</i> ”	51
Figura 48 – Exemplo de seleção de um “set”	52
Figura 49 – Quadro para seleção de componentes do modelo através da procura das suas propriedades.....	52
Figura 50 – Ligação dos “ <i>Sets</i> ” criados às tarefas do planeamento	53
Figura 51 – <i>Timeliner</i> com a atribuição dos <i>sets</i> às tarefas.....	54
Figura 52 – Configuração da categoria das tarefas do planeamento.....	54
Figura 53 – Imagens retiradas da simulação do planeamento da construção no <i>Navisworks</i>	55
Figura 54 – Opções para exportação da simulação da construção	56
Figura 55 – Imagem do interior do edifício, obtida em modo “ <i>walk</i> ”	57
Figura 56 – Ícones de <i>status</i> de cada tarefa do <i>Navisworks</i> (Autodesk <i>Navisworks</i> , 2012)	58
Figura 57 – Tabela do <i>Timeliner</i> do <i>Navisworks</i> com atribuição de datas atuais e indicação do seu <i>status</i>	59
Figura 58 – <i>Frames</i> da simulação com configuração <i>Planned (actual differences)</i> com elementos com início precoce (amarelo) e atrasados (vermelho)	59
Figura 59 - <i>Frames</i> da simulação com configuração <i>Planned against actual</i> com elementos com início precoce (amarelo) e atrasados (vermelho)	60
Figura 60 - <i>Frames</i> da simulação com configuração <i>Actual (Planned Differences)</i> com elementos com início precoce (amarelo) e atrasados (vermelho)	60

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Algumas Normas ou diretrizes BIM existentes (IA, 2012).....	15
Tabela 2 – Lista de <i>softwares</i> BIM (não exaustiva).....	18
Tabela 3 – Ferramentas de utilização do modelo 4D	23

Lista de Abreviaturas

2D – Duas dimensões

BIM 3D – Modelo tridimensional

BIM 4D – Integração do planeamento do tempo no modelo tridimensional

BIM 5D – Integração do controlo dos custos no modelo tridimensional

BIM 6D – Integração da manutenção no modelo tridimensional

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

AIA – American Institute of Architects

BIM – *Building Information Modelling*

CAD – *Computer Aided Design*

DWG – Formato dos ficheiros CAD

IFC – *Industry Foundation Classes*

IPD – Integrated Project Delivery

ISO – *International Standard Organization*

LOD – Level of Development

NBIMS – *National BIM Standard – United States*

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A concepção de um empreendimento é um processo complexo envolvendo o planeamento e a construção. O ciclo de vida de um projeto de construção civil é, tradicionalmente, dividido em diversas fases, nomeadamente, a arquitetura, os projetos de estruturas e das restantes especialidades, a construção, a operação e a demolição, requerendo a participação de distintos intervenientes. Este processo é, pois, fragmentado por natureza. Os intervenientes no processo de projeto e construção utilizam uma metodologia de trabalho não integrada, em que cada especialista realiza o respetivo projeto, de uma forma algo desligada dos restantes. Atualmente não existe, ainda, uma fonte de informação completa e permanentemente atualizada referente ao projeto global, pelo que os diversos intervenientes trabalham de um modo segmentado. Existe assim, um reduzido nível de cooperação, comprometendo a qualidade dos projetos devido a erros e duplicação de dados tornando os projetos mais morosos e dispendiosos. No processo construtivo tradicional verifica-se alguma perda de informação entre fases traduzida em perda de valor. A figura 1 ilustra o procedimento usual e ideal.

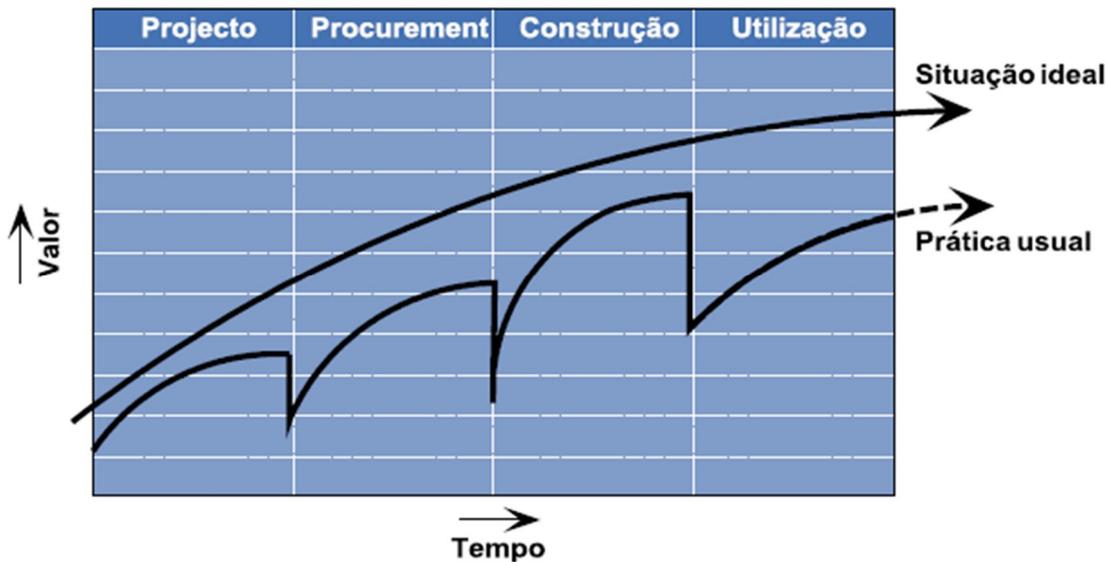


Figura 1 – Processo construtivo: Perda de valor entre fases
(Martins, 2009 : adaptado de Bernstein, 2005)

A fragmentação e conseqüente dificuldade na coordenação dos projetos das especialidades, conduz a uma reduzida capacidade da detecção de conflitos ou incongruências no projeto. Deste modo são assinaladas incorreções que se propagam, frequentemente até à obra, agravando o seu custo e tempo de construção. A qualidade da partilha de informação é um aspecto importante na agilização de tarefas numa empresa, podendo ser apoiada em novas tecnologias, na realização de

procedimentos mais céleres e corretos, nomeadamente, no planeamento de toda a atividade inerente à empresa. O nível e correção da informação partilhada é um factor decisivo na gestão, tanto no contexto interno como no relacionamento com o exterior. Durante o processo construtivo é produzida uma quantidade significativa de dados, mesmo em empreendimentos simples e de reduzido volume.

A evolução das tecnologias de informação (TI) tem contribuído para melhorar a integração e a comunicação remota, conduzindo ao desenvolvimento de redes colaborativas entre profissionais independentemente da sua localização geográfica. Num sector, como o da construção, caracterizado por fragmentação de etapas e em que é exigida a colaboração de intervenientes dispersos geograficamente, a capacidade tecnológica de comunicação é fundamental na partilha de trabalho entre os especialistas. Para garantir uma adequada colaboração num projeto de construção é requerida uma correta interoperabilidade entre as várias soluções de *software* utilizadas. Neste sentido as empresas devem aproveitar os desenvolvimentos tecnológicos de apoio à gestão de processos com base na troca de informação entre indivíduos e programas (Fabricio, et al. 2004).

O conceito "*Building Information Modeling*" (BIM) pretende melhorar os métodos de trabalho utilizados atualmente. A nova abordagem assenta, essencialmente, na integração de processos suportados por um modelo digital em 3D, rico em informação que permite acompanhar, de uma forma centralizada, todo o ciclo de vida dos empreendimentos, abrangendo aspectos de concepção, construção, manutenção e gestão. Este método permite que o projeto se torne igualmente mais acessível às diversas entidades que atuam ou que possam vir a intervir no futuro do empreendimento.

1.2. Objectivos

A presente dissertação tem como objectivo proporcionar uma melhor compreensão da metodologia "*Building Information Modeling*" (BIM) e da utilização de modelos BIM como uma ferramenta de suporte ao planeamento de construção. O estudo envolveu a pesquisa bibliográfica sobre a metodologia de trabalho BIM no âmbito do projeto de um empreendimento e o conhecimento e exploração de algumas soluções de *software* de apoio a esta metodologia, aplicadas na área do planeamento da construção. Os objectivos a atingir são essencialmente os relativos à implementação do BIM na construção, com incidência no processo de planeamento, gestão e acompanhamento da obra. A análise deste tipo de trabalho numa perspectiva de ambiente colaborativo e tecnológico BIM, deve conduzir a conclusões sobre recomendações, vantagens e limitações, que contribuem para o conhecimento e divulgação da metodologia BIM no sector.

1.3. Metodologia

A concretização dos objectivos propostos para a elaboração desta dissertação será assente na seguinte metodologia de trabalho:

- a) Recolha de informação referente ao projeto de um edifício já construído e o planeamento seguido;
- b) Pesquisa bibliográfica sobre os conceitos fundamentais, aplicabilidade e estado atual do desenvolvimento do tema;
- c) Modelação digital tridimensional (3D) do caso de estudo, por recurso a ferramentas de base BIM de forma a demonstrar as potencialidades do modelo BIM rico em informação;
- d) Estabelecimento do planeamento da construção em *MSProject* de acordo com os dados fornecidos;
- e) Simulação 4D e análise do planeamento através do *software* de visualização BIM.

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por cinco capítulos, bibliografia e anexos:

- Neste **primeiro capítulo** é apresentado o enquadramento do trabalho a desenvolver, os principais objectivos a atingir e a metodologia a seguir;
- O **segundo capítulo** aborda o conceito BIM (*Building Information Modeling*), por forma a contribuir para uma boa compreensão sobre esta metodologia de trabalho BIM, as suas vantagens e potencialidades;
- No **terceiro capítulo** é realizada a geração da modelação BIM da arquitetura e da estrutura de um caso de estudo, por recurso a ferramentas de base BIM;
- No **quarto capítulo** é estabelecida a ligação entre os modelos BIM e o planeamento da obra, e é criada a simulação 4D do processo construtivo;
- O **quinto capítulo**, apresenta as considerações finais do estudo relevantes para a implementação BIM no planeamento da construção e as perspectivas futuras de pesquisas relacionadas com o tema.

2. ESTADO DA ARTE

O sector da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é normalmente apontado como apresentando alguma ineficiência e pouca produtividade, a par de uma enorme relutância em adoptar novas tecnologias que permitam torná-lo mais competitivo, coordenado e interoperável. Adicionalmente, o facto de se verificarem consecutivas derrapagens nos prazos e custos contribuem para uma crescente descredibilização da indústria da construção em Portugal.

No entanto, atualmente, a indústria da AEC enfrenta mudanças e desafios relevantes, quer em termos tecnológicos, quer institucionais, onde se inclui (Lino et al., 2012):

- Optimização da gestão de elevado volume de informação;
- Necessidade de aplicação de práticas sustentáveis;
- Preocupações energéticas globais;
- Melhoria e aumento da produtividade, por exemplo utilizando práticas LEAN.

Apresentando-se, hoje, o sector da construção mais exigente, dinâmico, complexo e em que a sua sustentabilidade engloba diferentes fases de intervenção, a metodologia BIM, pode surgir como um contributo importante para que possam ser atingidos níveis mais elevados de qualidade e correção, e de um mais eficaz controlo nos prazos de execução (BIM/4D) e de custos (BIM/5D).

2.1. Conceito BIM

O termo BIM pode significar a metodologia *Building Information Modeling* ou o modelo *Building Information Model*. É considerado um dos desenvolvimentos mais promissores na indústria AEC, permitindo a geração de modelos de um edifício com informação (Eastman et al., 2008). Assim, o conceito BIM compreende três elementos chave:

- *Building* = Edifício / Construção;
- *Information* = Informação;
- *Modeling* = Modelação

2.1.1. Definição

A designação BIM é, por vezes, erradamente atribuída apenas a representações tridimensionais de produtos da construção. No entanto, o BIM é um modelo de informação para a construção, podendo apresentar um maior ou menor grau de complexidade.

Segundo Eastman (2008) BIM é “uma tecnologia de modelação e um conjunto de processos de produção, comunicação e análise de modelos de construção caracterizados por:

- Componentes de construção representados por objetos paramétricos com características geométricas e físicas e, ainda por regras que estabelecem relações entre os elementos do modelo;
- Objetos com informação relacionada com o seu comportamento utilizados em processos de trabalho e análise;
- Dados consistentes e não redundantes, de adaptação a alterações de uma forma automática;
- Informação relacionada, de forma que todos os desenhos e perspectivas do modelo sejam representadas de uma forma coordenada.”

M. A. Mortenson Company, uma empresa de construção que utiliza ferramentas BIM na sua atividade, define BIM como “uma simulação inteligente da arquitetura, simulação essa que deve apresentar seis características chave (Eastman, 2008):

- Suporte digital e espacial (modelo 3D);
- Admitir cálculo e consulta de dados e dimensões;
- Capacidade de comunicar na concepção do projeto, no desenvolvimento da construção e no intercâmbio da informação relativa a aspectos sequenciais da obra e financeiros;
- Acessibilidade à informação e sua manipulação e atualização por parte de toda a equipa da AEC e Dono de obra através de interface interoperável e intuitiva;
- Utilizável ao longo de todas as fases de vida do edifício.”

A metodologia BIM assenta num modelo digital tridimensional rico em informação sobre o projeto permitindo a sua consulta e partilha por todos os intervenientes ao longo do seu ciclo de vida. Um modelo BIM pode apresentar várias “dimensões”, entre os quais o modelo 3D, que representa a geometria, o modelo 4D integrando o tempo ou 5D quando integra os custos. O termo 'nD' abrange qualquer outra informação.

O BIM sob uma perspectiva de processo de trabalho admite uma integração de especialidades com base na gestão das características funcionais e físicas dos projetos, em suporte digital. Assim o BIM, deve ser entendido não como um *software*, mas uma metodologia e forma de trabalho. O BIM representa uma nova abordagem à geração e gestão da informação na construção. O trabalho envolvendo as ferramentas BIM é desenvolvido em torno de um modelo 3D do edifício, que vai integrando uma parte substancial da informação relevante, que cada fase produz. Neste processo a informação arquivada é nomeadamente, a relacionada com a identificação e localização dos objetos, tipos de componentes e quantidades de materiais, relações estabelecidas com base em regulamentos e regras entre elementos. O BIM como modelo e método surge, portanto, como um meio centralizador e integrante da informação inerente ao edifício. Assim a informação não tem um carácter apenas geométrico, mas também de relações paramétricas e atributos. As ferramentas tradicionais não satisfazem as necessidades atuais do sector.

A geração do modelo BIM de arquitetura de um edifício poderá ter início no esboço em papel, mas o uso de ferramentas BIM permite a concepção de um modo fácil de diferentes soluções apoiadas nas limitações restritivas impostas pelos parâmetros de consistência do modelo de construção. Esta modelação é desenvolvida com recurso a bibliotecas de objetos ou famílias de elementos que são adaptados pelo utilizador, ao caso concreto. Os objetos paramétricos, representam os elementos construtivos, usuais, como paredes ou portas. As bibliotecas podem ser pré-definidas para cada projeto assegurando a compatibilidade e a uniformidade do modelo com os materiais e processos de construção exigidos em cada obra. Como o modelo obedece a relações paramétricas, todas as vistas (desenhos, cortes ou perspectivas) são atualizadas em tempo real, garantindo a consistência do modelo e a rapidez na produção da documentação gráfica (Monteiro e Martins, 2011). A figura 2 ilustra o conceito do BIM, como modelo que permite a obtenção de diverso tipo de informação e sob destinto modo de apresentação.



Figura 2 – Modelo BIM: desenho 3D, plantas, alçados e fluxo de informação (Vasconcelos, 2010: adaptado de Kymmel, 2008)

O modelo BIM permite a produção e atualização das peças desenhadas, tais como plantas, cortes e alçados, de forma consistente, possibilitando a extração automática de listas de quantidades de materiais, equipamentos, mobiliário, etc. Permite igualmente uma larga gama de atividades analíticas, tais como, a verificação de normas e regulamentos, a análise estrutural ou o controlo da eficiência energética. As ferramentas BIM incorporam ainda a capacidade de detetar conflitos entre os elementos que compõem as distintas especialidades (Lino et al., 2012). Esta capacidade tem vindo a potenciar a colaboração entre os participantes do projeto. Persiste ainda bastante relutância neste tipo de colaboração assente em BIM, pois cada especialidade recorre no seu trabalho a programas informáticos e procedimentos próprios.

A figura 3 ilustra o processo integrado BIM, onde os intervenientes exploraram e estudam um modelo conceptual antes de este ser construído. A partilha de informação e a coordenação é utilizada em todo o processo de concepção do projeto. Isto possibilita uma melhor percepção de aspectos relevantes, tais como custos, planeamento e construção, operação e manutenção, fabricação e demolição (Clemente, 2012).

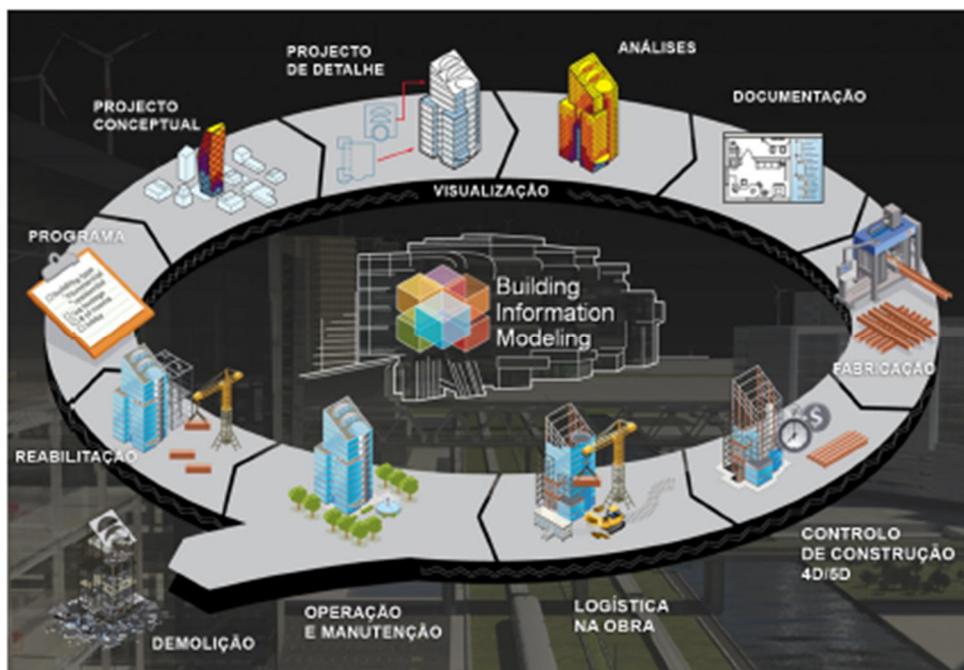


Figura 3 – Ciclo de vida do edifício
(Lino et al., 2012: adaptado de Autodesk, 2009)

2.1.2. Evolução histórica

Segundo Jerry Laiserin (Eastman et al., 2008), o mais antigo exemplo do conceito atualmente conhecido como BIM é o protótipo do *Building Description System*, publicado na revista da American Institute of Architects, por Charles M. "Chuck" Eastman, em 1975. Esse trabalho incluía noções tais como:

"Definir interactivamente elementos (...) derivando secções, planos isométricos ou perspectivas da mesma descrição dos elementos (...). Qualquer alteração teria de ser feita apenas uma vez para todos os desenhos futuros a serem atualizados. Todos os desenhos são derivados da mesma disposição de elementos (...) qualquer tipo de análise quantitativa pode ser acoplada diretamente à descrição, (...) estimativas de custo ou quantidades de materiais poderiam ser facilmente geradas fornecendo uma única fonte de dados, integrada, para análises visuais e quantitativas (...). Empreiteiros de grandes projetos podem considerar esta representação vantajosa para agendamento e aquisição de materiais" (Eastman 1975)

Na década de 1980 este método era referenciado, nos Estados Unidos, como *Building Product Model* e, na Europa, especialmente na Finlândia, como *Product Information Models*. Em ambos os casos é usada a palavra “*products*” (produtos) para diferenciar esta abordagem de outra designada por “*process models*” (modelos de processos). Na evolução desta nomenclatura, *Building Product Model* e *Product Information Models* fundem-se para dar origem a *Building Information Model*.

O termo *Building Modeling*, em inglês com o sentido de *Building Information Modeling* tal como é usado atualmente, surgiu no título de um artigo da autoria de Robert Aish, em 1986 (Eastman et al., 2008). Neste artigo, Aish referenciou elementos hoje conhecidos como BIM e a tecnologia necessária para implementar esta metodologia, incluindo modelação 3D, geração automática de desenhos, componentes paramétricos inteligentes, bases de dados relacionais e faseamento dos processos de construção entre outros. O termo *Building Information Modeling* surge então em 1992, no artigo de G.A. Van Nederveen e F. Tolman incluído na revista *Automation in Construction*. A par da evolução da terminologia, as aplicações comerciais começaram a ser desenvolvidas contribuindo fortemente para a concretização do conceito (Eastman et al., 2008).

Os computadores são usados na engenharia desde meados da década de 50, para o cálculo automático de funções matemáticas (Eastman, 1999). Desde 1974, que o processo de desenho de projetos evoluiu para os sistemas gráficos, devido á melhoria de competências de visualização dos monitores *Catodic Ray Tube* (CRT) e ao aumento da capacidade de processamento. A premissa original do sistema de desenho assistido por computador (*computer aided design* - CAD) é a automação da tarefa de desenhar à mão, ou seja, é a representação da geometria em 2D, através de elementos gráficos como linhas, arcos, símbolos, etc.. Através destas plataformas CAD é possível gerar e imprimir desenhos, mas não existe informação mais complexa, como a relação entre elementos. Comparativamente com o desenho à mão, os *softwares* CAD permitem um enorme aumento da produtividade, mas o resultado continuou a ser o desenho 2D, como um conjunto de linhas. O BIM abre uma outra perspectiva sobre a forma de descrever um empreendimento, em que todo o processo é desenvolvido com base num modelo tridimensional “inteligente”. Verifica-se que atualmente os fabricantes de *software* CAD oferecem sistemas 3D com alguma capacidade de tecnologia BIM (Motzko et al., 2011).

2.1.3. Modelação paramétrica

Segundo a Autodesk (2007), a essência do projeto de um edifício são as relações que podem ser incorporadas no modelo da construção. A criação e a manipulação dessas relações constituem o ato de projetar. Os parâmetros fornecem aos projetistas formas naturais e intuitivas de pensar sobre os edifícios utilizando o computador.

O conceito de objetos paramétricos é central para a compreensão da metodologia BIM e a sua diferenciação dos objetos 2D tradicionais. Segundo Eastman et al. (2008) os objetos paramétricos em BIM têm as seguintes características:

- Consistem em definições geométricas, associadas a regras e dados;
- A sua geometria é integrada e não redundante, sendo as dimensões do objecto sempre consistentes tanto em planta como em alçado;
- As regras paramétricas para os objetos modificam automaticamente a geometria associada quando inseridas no modelo do edifício ou quando são feitas modificações nos objetos relacionados;
- Os objetos podem ser definidos por diferentes níveis de agregação, o que permite conceber uma entidade a partir dos seus elementos constituintes. Por exemplo, no elemento “parede” se o peso de um subcomponente da parede altera também o peso da parede é alterado;
- Os objetos paramétricos permitem a associação de uma ampla variedade ou conjuntos de propriedades e atributos;
- O utilizador tem a possibilidade de desenvolver os seus próprios objetos paramétricos por adequação de objetos incluídos em bibliotecas agrupadas por classes de objetos.

2.1.4. Interoperabilidade

A colaboração inerente ao ambiente de trabalho BIM requer uma boa comunicação e uma eficaz troca de informação entre os vários intervenientes (figura 4).

O modelo de informação centralizado BIM de um determinado projeto é o resultado de vários modelos produzidos para cada especialidade. Cada projeto apresenta diferentes níveis de detalhe (*Level of development – LOD*) e é produzido por diferente tipo de *software* e, portanto, definido em ficheiros com distintos formatos. Esta diversidade de possibilidades faz com que a troca de informação entre modelos BIM gerados em diferentes *softwares* seja um difícil ou mesmo impossível.

Designa-se por capacidade de interoperabilidade entre sistema a habilidade de entendimento de formatos de dados. Esta capacidade permite a partilha de dados entre as distintas aplicações de modo a que o fluxo de desenvolvimento do projeto decorra sem erros e que permita a sua automatização. O ambiente colaborativo pretendido na metodologia BIM, assentam a partilha e troca de dados entre os diferentes intervenientes do projeto e, conseqüentemente, entre os diferentes *softwares* utilizados. Podem ser consideradas duas abordagens de integração e fluxo de trabalho entre as equipas de projeto:

- Utilização de *softwares* desenvolvidos pela mesma empresa. Permite um entendimento direto entre as várias especialidades. Esta situação acontece, por exemplo, quando os vários projetistas utilizam as versões de *Autodesk Revit* adaptada à sua especialidade. Estes modelos podem ser facilmente sobrepostos;

- Utilização de *softwares* de diferentes empresas. Neste caso são definidas normas comuns para a criação e a partilha de dados. No âmbito BIM o padrão criado é o *Industry Foundation Classes (IFC)*, que permite a interoperabilidade entre diferentes aplicações.

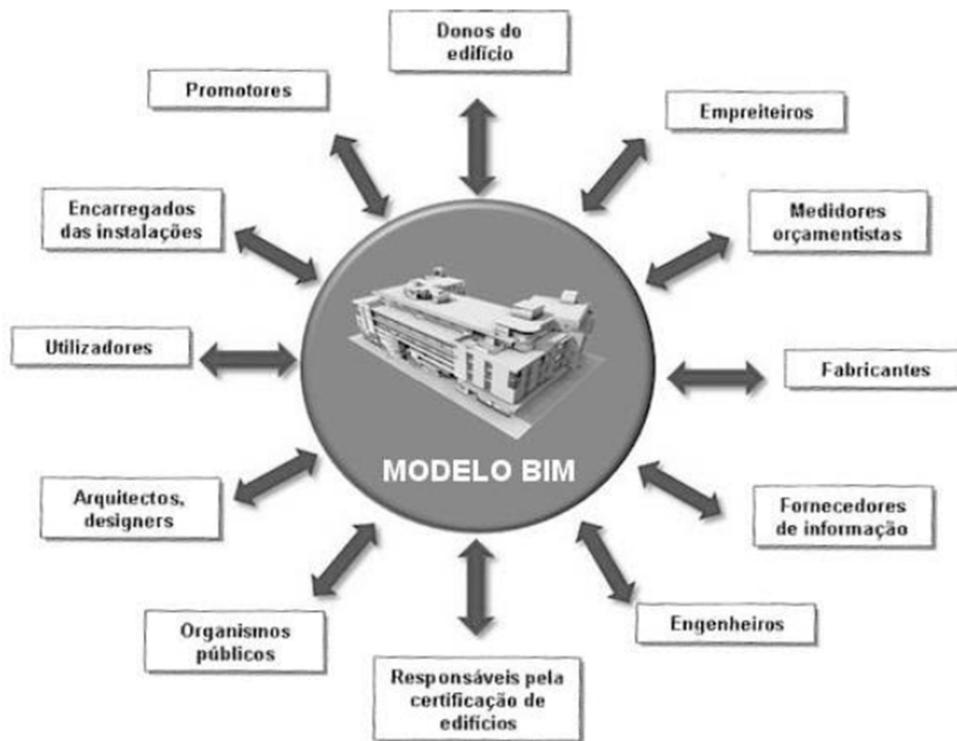


Figura 4 – Modelo BIM como plataforma para comunicação de projetos
(Antunes, 2013: reproduzido de Archicad, 2012)

O padrão IFC, cujo objectivo é fomentar a interoperabilidade entre aplicações BIM, apresenta um formato aberto e independente, compatível com várias aplicações BIM, definido na norma ISO 16739:2013 “*Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries*”, apresentando especificações padronizadas para o BIM, com o intuito de permitir a transferência das propriedades geométricas assim como de toda a informação associada a cada objecto. Este formato surge em 1994, em que diversas empresas e entidades trabalham em conjunto no sentido de criar um padrão universal, sendo atualmente promovido pela *BuildingSMART – International Alliance of Interoperability*, cujos objectivos são a definição, publicação e promoção da especificação IFC para a partilha de dados ao longo do ciclo de vida de um projeto.

O padrão IFC define, para além dos elementos gráficos, as propriedades completas dos objetos, tais como as suas características 3D, materiais e a sua relação com os outros objetos. O IFC tem assim um papel fundamental na facilitação e promoção da comunicação entre os vários intervenientes no processo construtivo, que poderão usar *softwares* distintos. Contudo o seu desenvolvimento tem sido efectuado de uma forma lenta e gradual possuindo ainda algumas falhas, sobretudo ao nível da capacidade de se adequar aos diversos *softwares* existentes e respectivas abordagens semânticas aos modelos BIM (Thein, 2011; Eastman, et al., 2008).

Segundo um artigo da American Institute of Architects (2009), a ausência de interoperabilidade do *software* contribui para:

- Aumento de despesas para a indústria AEC, na formação e requalificação profissional em várias plataformas;
- Aumento do desperdício de tempo, materiais, energia e dinheiro;
- Declínio da produtividade com reintrodução de dados, várias versões e verificação de documentos, bem como fluxo de trabalho;
- Perca de acessibilidade a ficheiros do projeto para consulta;
- A não obtenção, por parte da indústria de *software*, de um desenvolvimento robusto de análise e simulação de ferramentas e interfaces necessárias para responder à rápida mudança da indústria.

2.2. Implementação do BIM

A implementação de uma metodologia BIM, requer uma alteração de mentalidade, na medida em que exige um maior esforço durante o desenvolvimento inicial do projeto. No entanto, esse esforço, nas fases iniciais do projeto, traduz-se por uma redução do tempo total do projeto, pois diminui-se o tempo necessário para a produção das peças desenhadas, necessárias para a construção, que são obtidas automaticamente do modelo BIM/3D inteligente. A aplicação de uma metodologia BIM não diminui a carga de trabalho associada ao desenvolvimento de um empreendimento, mas facilita a detecção de erros e incompatibilidades, bem como a tomada de decisão em fases mais iniciais do projeto, onde a probabilidade de alteração é maior, mas o impacto da mudança é menor. Segundo Thomassen (2011), no processo BIM, a quantidade de trabalho durante as fases de conceito é até 60% superior do que nos processos de construção tradicionais, mas a fase inicial é responsável por, aproximadamente, 75% das decisões de projeto. Assim haverá necessidade de reajustar o programa financeiro. Num processo BIM verifica-se que nas fases iniciais há uma maior carga de trabalho e detalhe do projeto. Assim, a introdução deste tipo de tecnologia deve ser acompanhada por uma alteração nos procedimentos de contratação de projetos.

A antecipação de decisões de projeto apresenta vantagens significativas relativamente às práticas usuais. Com efeito, verifica-se que os custos de alteração produzida nos projetos de construção são tanto maiores quanto mais adiantada for a fase do processo construtivo em que elas são efectuadas. A figura 5 representa a Curva de MacLeamy e revela a diferença entre o processo tradicional e o processo integrado, em relação ao esforço efectuado ao longo das etapas de um projeto, assim como o impacto da antecipação de decisões de projeto na construção.

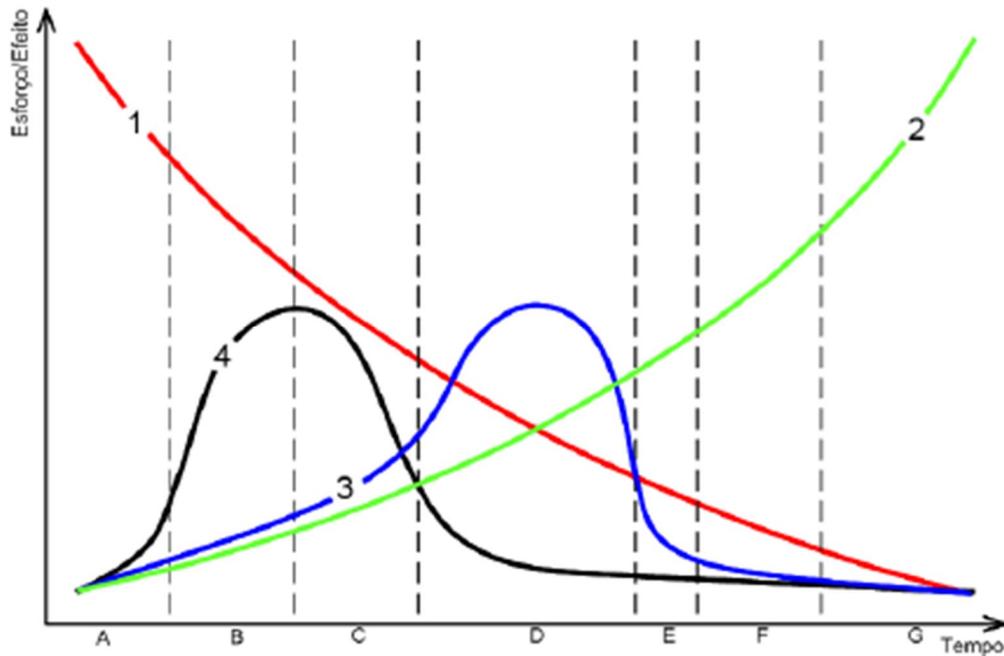


Figura 5 – Vantagens decorrentes da antecipação das decisões de projeto. Curva de MacLeamy. (adaptado de CURT, 2004)

Legenda da curva de MacLeamy:

- | | |
|---|--|
| 1- Impacto nos custos e aspectos funcionais do projeto; | A- Promoção (pré-design); |
| 2- Custo de alterações produzidas no projeto; | B- Estudo prévio (schematic design); |
| 3- Distribuição do esforço no processo tradicional; | C- Desenvolvimento (design development); |
| 4- Nova distribuição do esforço no processo integrado. | D- Projeto de execução (construction documentation); |
| | E- Procurement; |
| | F- Gestão da construção; |
| | G- Operação. |

Atualmente a maioria das empresas utiliza, na elaboração dos seus projetos, *software 2D*, induzindo limitações na construção de edifícios causadas pela incompatibilidade entre desenhos, que geram muitas vezes atrasos e gastos imprevistos. A utilização do BIM requer mudanças nas atuais práticas empresariais e leva a modelos novos e sustentáveis.

A conversão de CAD para BIM exige formação, disponibilidade de recursos humanos e financeiros, criação de conteúdos, trabalho de equipa e novos fluxos de trabalho. A implementação das ferramentas BIM em gabinetes de projeto e empresas de construção exige uma mudança considerável dos processos, mas é um desafio a considerar.

O BIM é uma metodologia de trabalho que deve ser implementada de uma forma faseada. Succar (2009) identifica as seguintes etapas de maturação da implementação BIM, presentes também na figura 6 (Taborda e Cachadinha, 2012):

- A etapa pré-BIM reflete ainda muita dependência dos desenhos 2D. Mesmo quando os modelos 3D são criados, os dados do projeto não derivam do modelo e não admite ligação direta à restante documentação;
- A etapa de modelação é baseada em modelos utilizados, principalmente, para gerar e coordenar automaticamente a documentação 2D e perspectivas realísticas (sem atributos). Contudo, quando se atinge esta etapa de maturidade, os utilizadores começam a reconhecer algumas potencialidades do BIM. Este é o nível 0;
- A etapa de colaboração é baseada em modelos, em que os participantes colaboram ativamente com intervenientes de outras disciplinas, existindo uma interoperabilidade adequada na troca de informação entre os vários intervenientes. Os modelos alcançam o 4D (planeamento) e 5D (orçamentação). Este é o nível 1;
- A etapa de integração é apoiada em redes ou plataformas de distribuição em que os modelos são integrados e ricos em atributos semânticos, sendo criados, partilhados e mantidos através de processos colaborativos durante as diferentes fases de projeto e obra. Devem ser reconhecidas contratualmente as relações entre todas as partes envolvidas assim como os fluxos de processo. Este grau de maturidade de tecnologias, processos e políticas facilita o alcance do *Integrated Project Delivery* (IPD). Trata-se no nível 2;
- O IPD consiste num método de abordagem ao projeto que integra pessoas, sistemas, estruturas de negócio e práticas profissionais num processo que aproveita, de uma forma colaborativa, os conhecimentos técnicos e as ideias de todos os intervenientes com o objectivo de otimizar os resultados, reduzindo, assim, desperdícios e aumentando a eficiência em todo o ciclo de vida do empreendimento. A etapa de maturação atinge o nível 3.

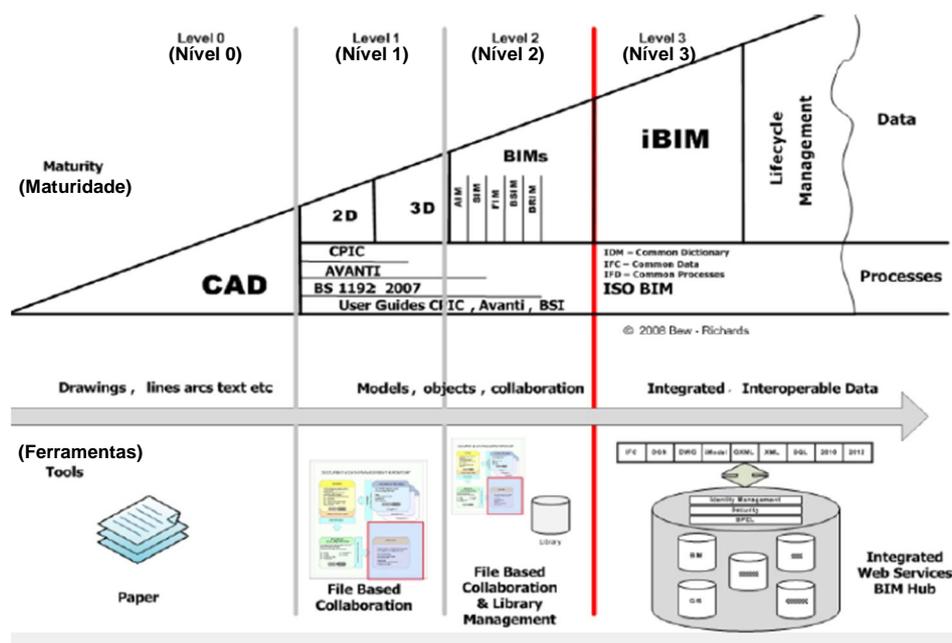


Figura 6 – Níveis de maturidade do BIM (Group, 2011)

2.2.1. Implementação internacional do BIM

A implementação ao nível internacional é já uma realidade, que tem evoluído com uma maior envolvência nos últimos anos. O domínio da metodologia BIM tem sido uma forte aposta em vários países, e em diferentes fases, concepção, projeto, construção e exploração de empreendimentos. A figura 7 ilustra o nível de implementação no mundo. O nível de conhecimento e de maturidade pode variar dentro de cada país assim como nas empresas.

A empresa *McGrow Hill Construction* tem traçado a evolução da implementação do BIM na indústria da construção, em termos globais, desde 2007 tendo-se verificado um significativo aumento, particularmente nos últimos anos. Por exemplo na América do Norte, verificou-se um aumento na adoção do BIM por parte dos empreiteiros, de 28% em 2007 para 71% em 2012 (Smith, 2014). O relatório da McGraw Hill (2014) retira também algumas conclusões como:

- Três quartos das empresas de construção relatam um retorno positivo do investimento feito no seu programa BIM;
- Menos erros e omissões, menos trabalho repetido e custos de construção mais reduzidos são os principais benefícios referidos pelos construtores;
- Os construtores dos mercados mundiais estão a planear investimentos significativos para expandir os seus programas BIM nos próximos dois anos, incluindo um foco crescente na colaboração interna e externa, procedimentos, *hardware* e *software* BIM.



Figura 7 – Situação do BIM pelo mundo (WSPGroup – “*BIM World Atlas*”, 2013 [7])

Em alguns países existem organizações que desenvolveram normas ou diretrizes para o uso desta metodologia, como por exemplo os Estados Unidos, a Finlândia, a Noruega, o Reino Unido e a Singapura. Em alguns deles, esta metodologia é já obrigatória para obras públicas de elevado valor. Estes países apostaram fortemente na investigação e desenvolvimento do BIM, como base para as suas estratégias de crescimento. Os modelos BIM têm-se revelado como uma excelente ferramenta não só durante a fase de planeamento e de construção, mas também na fase de manutenção, essencialmente devido à sua grande capacidade de armazenar informação, associada à representação 3D. A American Institute of Architects (AIA) reuniu a maioria das iniciativas implementadas em todo o mundo. A tabela 1 apresenta os principais países e as organizações que têm feito um esforço para regulamentar os processos de modelação.

Tabela 1 - Algumas Normas ou diretrizes BIM existentes (IA, 2012)

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

A administração dos serviços gerais dos **Estados Unidos**, foi pioneira na implementação do BIM em projetos públicos. Em 2003 estabeleceu, como meta imediata, o programa Nacional 3D-4D BIM apoiando assim a aplicação de tecnologias 3D e 4D como uma transição das tecnologias 2D. Os modelos 3D constituirão a parte mais visível do BIM e possibilitarem uma melhor comunicação no desenvolvimento do projeto. Desde 2007, em todos os projetos, é obrigatório o uso de BIM para o programa de validação dos espaços (*Spatial Program Validation*), o que permitia às equipas de projeto validarem requisitos como os espaços necessários e as áreas, de forma mais rápida. Nos EUA foram já publicados vários guias para a utilização BIM: [1]

- *GSA Building Information Modeling Guide Series 01 – 3D-4D-BIM Overview*
- *GSA Building Information Modeling Guide Series 02 – Spatial Program Validation*
- *GSA Building Information Modeling Guide Series 03 – 3D Imaging*
- *GSA Building Information Modeling Guide Series 04 – 4D Phasing*
- *GSA Building Information Modeling Guide Series 05 – Energy Performance and Operations*
- *GSA Building Information Modeling Guide Series 06 – Circulation and Security Validation*
- *GSA Building Information Modeling Guide Series 07 – Building Elements*
- *GSA Building Information Modeling Guide Series 08 – Facility Management*

A norma BIM americana tem vindo a ser desenvolvida através da compilação dos vários requerimentos e guias para a implementação do BIM, que vão sendo lançadas por diferentes entidades privadas, empresas de construção ou de projeto, assim como, universidades e instituições estatais. A *National Building Information Model Standard (NBIM)* encontra-se desde 2012 na 2ª versão, tendo sido concebida para dois públicos específicos: os vendedores e produtores de *software* e os *players* da indústria que projetam, constroem e operam o ambiente construído. A norma BIM é atualmente composta por cinco capítulos: 1. Âmbito; 2. Normas de referência; 3. Termos e definições; 4. Normas de troca de informação; 5. Documentos práticos. (Azenha; Lino e Caires, 2014)

A **Finlândia** percebendo o potencial da adoção do BIM, lançou em 2007 diretrizes BIM. Em 2010 surge uma iniciativa de atualização e expansão dessas diretrizes com o objectivo de definir requisitos nacionais, a *Common BIM Requirements (COBIM)*, sendo a Building Information Foundation a responsável pelo projeto. Estes requisitos têm por objetivo regular a qualidade técnica do modelo. O projeto foi apoiado por diversas entidades desde empresas de consultoria, universidades, organizações governamentais, representantes de aplicações informáticas (Autodesk, Bentley e Archicad), empresas de construção, entre outros. A COBIM é constituída pelas seguintes partes: 1. Requisitos gerais BIM; 2. Modelação de uma situação inicial; 3. Projeto de arquitetura; 4. Projeto de MEP; 5. Projeto de estruturas; 6. Garantia de qualidade; 7. Extração de quantidades; 8. Uso de modelos para a visualização; 9. Uso de modelos para a análise MEP; 10. Análise energética; 11. Gestão de um projeto BIM; 12. Uso de modelos na gestão de edifícios; 13. Uso de modelos na construção; 14. Uso de modelos na supervisão de edifícios. (Azenha; Lino e Caires, 2014).

O governo do **Reino Unido** tem em curso um programa legislativo com o objetivo de tornar obrigatório a utilização da metodologia BIM nas obras públicas até 2016, através de um plano de implementação a cinco anos. Esta exigência é suportada pela AEC (UK) *BIM Standard Committee* que lançou a norma AEC (UK) *BIM Protocol* (para a Autodesk Revit e Bentley). Esta norma tem como objectivo melhorar os processos de produção, gestão e partilha de informações de projeto. Em 2012 foi publicada a 2ª versão da norma, sendo composta pelos seguintes capítulos: 1. Introdução; 2. Melhores práticas; 3. Plano de execução do projeto BIM; 4. Trabalho colaborativo em BIM; 5. Interoperabilidade; 6. Segregação de dados; 7. Métodos de Modelação; 8. Estrutura das pastas e convenção de identificação; 9. Estilos de apresentação; 10. Recursos; 11. Anexos. [2]

A autoridade dos edifícios e construção de **Singapura** (BCA) desenvolveu uma estratégia BIM de implementação em projetos públicos até 2015. A 2ª versão do guia BIM em Singapura conta com o esforço da indústria para desmistificar o BIM e para clarificar os seus requisitos nas diferentes fases do projeto. Tem como objectivo apresentar os diferentes tipos de entrega, processos e profissionais envolvidos quando usado o BIM num projeto de construção. O guia é composto pelos seguintes capítulos: 1. Introdução; 2. Plano de execução BIM; 3. Entregáveis BIM; 4. Modelação BIM e procedimentos de colaboração; 5. Profissionais BIM. [3]

2.2.2. Implementação nacional do BIM

Em **Portugal** não existe ainda uma legislação ou orientação sobre o BIM. Contudo o BIMFORUM Portugal ou o grupo de trabalho da plataforma tecnológica portuguesa da construção procuram estudar boas práticas que possam vir a servir de orientação para a implementação do BIM (Lino et al., 2012). As universidades e instituições de formação têm vindo a impulsionar a sua divulgação no sector. As empresas de projeto e construção começam a incluir nas suas páginas web algumas participações BIM, como por exemplo a Estupe [4], a ndBIM [5] ou a Urban360 [6].

2.3. Softwares de base BIM

Existe atualmente grande oferta de *software* de base BIM. É de referir que não existe no mercado uma ferramenta que individualmente dê uma resposta integral ao desafio de criar um projeto completo. Deste modo, cabe ao utilizador escolher quais as soluções de *software* mais adequadas às suas necessidades, pois diferentes soluções apresentam funcionalidades complementares entre si.

Realça-se ainda que, existem também “*add-ons*” às principais soluções de *software* que estendem as potencialidades dos mesmos, ou que facilitam a troca de informação entre diferentes *softwares* como, por exemplo, com o *Microsoft Project*, frequentemente utilizado no planeamento da construção. A tabela 2 apresenta uma lista, de *software* da geração BIM.

Tabela 2 – Lista de *softwares* BIM (não exaustiva)

EMPRESA	SOFTWARE	UTILIZAÇÃO
Autodesk	Revit Arquitetura	Modelação de Arquitetura
	Revit Estruturas	Modelação de Estruturas
	Revit MEP	Modelação de Instalações (Mecânica, Elétrica e Hidráulica)
	<i>Naviswork</i>	Construção (visualização, análise, simulação e estimativa)
Graphisoft	ArchiCAD	Modelação de Arquitetura
	MEP Modeler	<i>Plugin</i> para Modelação de Instalações (Mecânica, Elétrica e Hidráulica)
	EcoDesigner	Análise de Desempenho Energético
	ArchiFM	Gestão e Manutenção
Bentley	Bentley Architecture	Modelação de Arquitetura
	Structural Modeler	Modelação de Estruturas
	ConstructSim	Construção (visualização, análise e simulação)
	Bentley Facilities	Gestão e Manutenção
Tekla	Tekla Structures	Modelação de Estruturas
	Tekla BIMSIGHT	Construção (visualização e análise)
VicoSoftware	Vico Office Suite	Construção (visualização, análise, simulação e estimativa)
Solibri	Model Checker	Visualização, Análise

Legenda:

 Softwares usados no caso prático

2.4. Vantagens e desvantagens do BIM

A adopção de modelos de informação requer algumas alterações significativas nos procedimentos e práticas de trabalho tradicionais. As eventuais desvantagens da implementação BIM devem ser contudo encaradas como barreiras temporárias e passíveis de serem ultrapassadas, com a evolução tecnológica e o reconhecimento de reais vantagens.

A vantagem mais relevante da implementação da metodologia BIM é a antecipação de decisões de projeto. A figura 5, incluída no item 2.3, revela que os custos de alteração produzidos são tanto maiores, quanto mais adiantada a fase do processo construtivo em que forem detectadas e implementadas. Os primeiros benefícios da adoção desta metodologia, são sentidos, em primeiro lugar, pelos projetistas através (Poças Martins, 2009):

- Facilidade na compatibilização dos diversos projetos;
- Redução do volume de trabalho correspondente à introdução repetida de dados;
- Produção de forma automática das peças desenhadas, tal como as medições que serão atualizadas sempre que forem introduzidas alterações ao projeto;
- Possibilidade de estudar formas conceptuais, através da modelação de massas, considerando a integração paisagística;
- Possibilidade de se efetuar estudos solares, como apoio na determinação da orientação, localização e distribuição do edifício e seus compartimentos;

A compilação de uma base de dados que pode ser partilhada pelos diversos intervenientes através de um modelo 3D, facilita o entendimento comum do projeto, assim como a detecção de incongruências entre as várias especialidades. A capacidade de detecção prematura de conflitos no projeto e entre especialidades, possibilita uma redução do número de pedidos de informação e possíveis alterações que, de outro modo, pode ocorrer posteriormente, já em fase de obra. Estas melhorias traduzem-se em ganhos de eficiência em termos de custo e de tempo. Outras vantagens que o BIM pode trazer para empreiteiros, donos de obra e gestores da construção são (Caires, 2013):

- Planeamento logístico do estaleiro;
- Maior facilidade na verificação e validação dos projetos das diferentes especialidades, verificando se existe falha de elementos ou de informação assim como detectar potenciais problemas de exequibilidade;
- Simulação da sequência temporal das atividades de construção (4D);
- Planear o fluxo de custos ao longo do período de construção (5D);
- Avaliação de riscos ao correlacionar o planeamento temporal com o custo, que será seguido durante toda a fase de construção;
- Acompanhamento da construção, comparando o progresso real com o planeado.

Esta partilha de informação conduz a uma alteração mais profunda, em que as tarefas de projeto devem ser desenvolvidas em simultâneo, admitindo-se que há vantagens em termos de eficiência, reduzindo o prazo total. Esta aparente paralelização na execução das tarefas conduz igualmente a ganhos em termos de qualidade do próprio projeto, na medida em que apoia um verdadeiro trabalho de equipa, uma vez que a colaboração de cada elemento passa a ter influência imediata nos trabalhos produzidos pelos seus pares. Esta base de dados pode ser utilizada durante toda a vida útil do edifício, desde a fase de projeto, passando pela construção, manutenção e reabilitação até à demolição ou mudança de uso. Outra das potencialidades do BIM é a capacidade de extrair quantidades, a partir do modelo digital, para efetuar as estimativas de custos.

Contudo sendo uma estratégia recente e, ainda, em fase de crescimento, a sua implementação no sector depara-se com alguns aspectos menos positivos, nomeadamente a oferta de formação neste tipo de *softwares* e metodologias ainda não ser a adequada. Este factor, assim como, a mudança de mentalidade na forma de trabalhar e a aquisição de novas licenças de *software* leva a que inicialmente se assista a uma redução de produtividade. A padronização dos sistemas de modelação de projeto e dos processos de execução ganha especial importância, uma vez que a oferta de *softwares* é bastante variada e, apesar de terem o mesmo objetivo, seguem modelos de implementação diferentes (Gequaltec, 2011). As barreiras e limitações na adoção do BIM podem ser divididas essencialmente em duas categorias (Caires, 2013):

- Barreiras legais e sociais:
 - Falta de pessoal com experiência em BIM;
 - Investimento (*software*, hardware e formação);
 - Perda de produtividade durante a fase inicial de adaptação;
 - Falta de documentos contractuais que determinem os direitos de posse e propriedade intelectual (falta de responsabilidade contractual).
- Barreiras técnicas / tecnológicas:
 - Falta de integração de aplicativos (falhas na interoperabilidade). É importante verificar a importação/exportação da informação entre aplicações de *software*;
 - Falta de padronização de métodos e processos.

Poderá ser vantajosa a realização de um projeto-piloto para a implementação da metodologia BIM, por forma a explorar os benefícios que esta nova metodologia de trabalho pode trazer, assim como estabelecer métodos de trabalho. A implementação da metodologia BIM numa empresa deve ser evolutiva. A empresa deve equilibrar as suas expectativas durante o processo de implementação do BIM. A figura 8 ilustra a evolução estimada do progresso das empresas na aquisição das capacidades e competências no BIM ao longo do tempo.

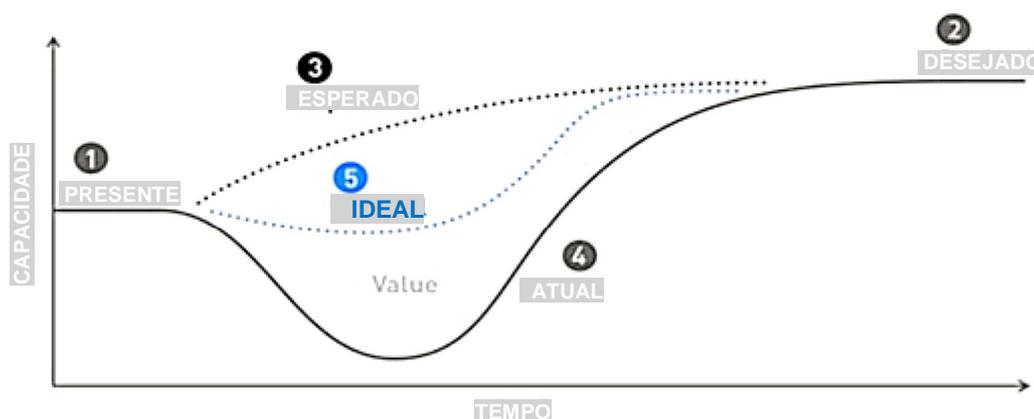


Figura 8 – Curva de aprendizagem estimada do progresso de uma empresa de Arquitetura, Engenharia e Construção na aquisição de competências BIM (Caires, 2013)

2.5. Utilização do BIM no projeto de construção

Processo construtivo é a designação dada ao conjunto de atividades necessárias ao planeamento e à execução de uma obra e à sua utilização. O processo construtivo engloba toda a vida útil da obra, desde a fase de promoção do projeto, passando pela construção, incluindo a sua manutenção e até à demolição.

Como referido, o processo de construção é uma atividade complexa, sendo por isso o planeamento da construção uma atividade fundamental na concepção de uma obra, envolvendo a escolha de tecnologias, definição de tarefas de trabalho, estimativa e gestão de recursos, logística e duração das tarefas individuais, assim como todas as interações entre as diferentes tarefas. Na prática o planeamento é um reflexo de um processo mental para a definição de tarefas que estão associadas à informação espacial, temporal e sequencial. Neste sentido quanto melhor for a implementação de métodos de organização e planeamento, mais eficiente será toda a realização do projeto, evitando-se derrapagens em custos e situações de incoerência entre elementos em fase de obra. A figura 9 ilustra as etapas funcionais requeridas durante o planeamento da construção.

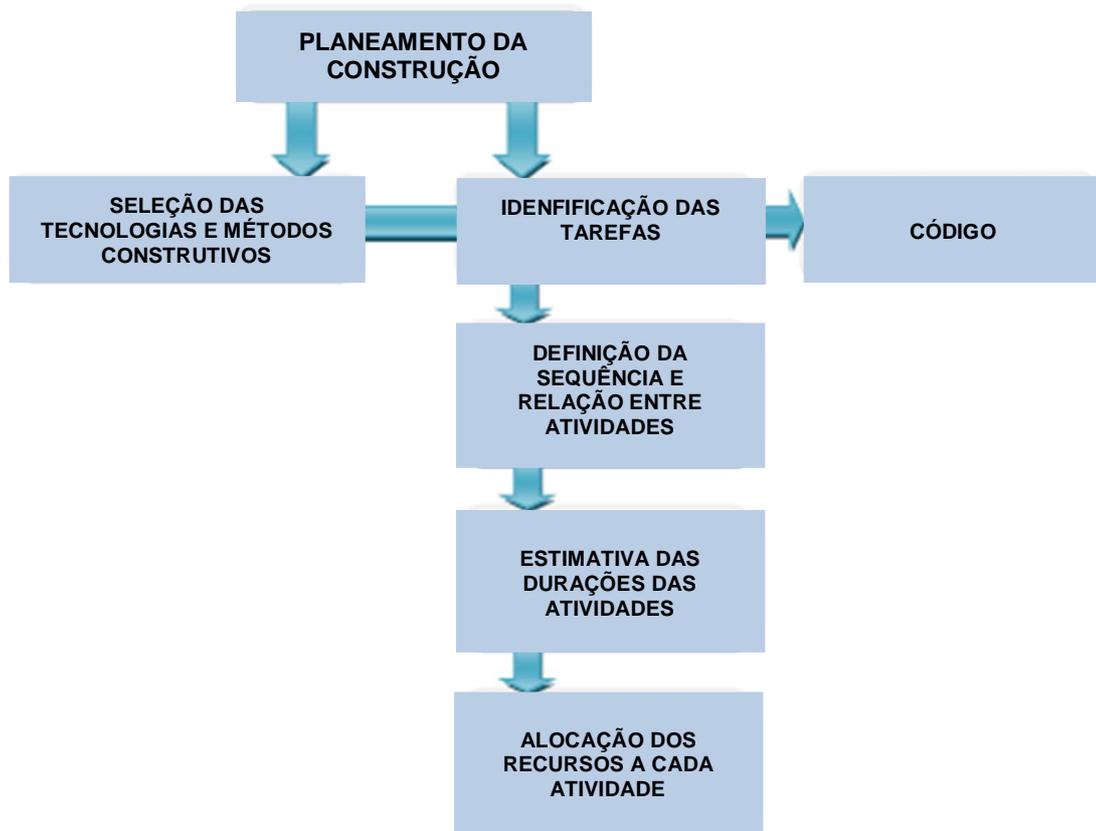


Figura 9 - Etapas funcionais requeridas durante o planeamento da construção (adaptado de Dang e Tarar, 2012)

Os processos de planeamento tradicionais consistem em cronogramas, diagramas de rede e linhas de balanço, sendo os primeiros métodos os mais difundidos. Com a complexidade de alguns projetos da construção civil, os cronogramas e diagramas de rede encontram fortes limitações com atividades muito interligadas ou mudanças nos caminhos críticos. Por outro lado a linha de balanço encontra dificuldades em atividades não repetitivas ou diretas (Brito e Ferreira, 2013). Também os processos de planeamento na construção são ainda baseados principalmente nos desenhos técnicos 2D, que frequentemente não refletem o dinamismo inerente ao processo. Os modelos tridimensionais podem facilitar no processo de planeamento, pois oferecem uma maior capacidade de visualização do projeto e a sua percepção mais imediata.

O BIM 4D, isto é, o modelo BIM/3D associado à variável tempo, materializa as atividades de construção agrupando os elementos de um modelo 3D e promove a integração entre o modelo geométrico e cronograma das atividades da construção. O planeamento da construção é, deste modo, ligado ao modelo 3D permitindo uma visualização da sequência das atividades da construção da obra. A visualização de uma obra em 4D apresenta uma visão simulada da sequência da construção, relacionando os aspectos temporais e os espaciais. Permite a animação da sequência de forma a ilustrar a simulação virtual da construção, e ainda, a análise sobre a melhor forma de realizar o empreendimento, simulando opções e as consequências dessas escolhas em todo o ciclo da construção (figura 10).

Outro aspecto em que o modelo 4D supera as técnicas tradicionais é na comunicação entre os diferentes “stakeholders”, passando esta a ser mais objectiva e clara, reduzindo as falhas de comunicação causadas por diferentes níveis de conhecimento e pela análise mental do cronograma que o planeamento tradicional exige dos envolvidos.

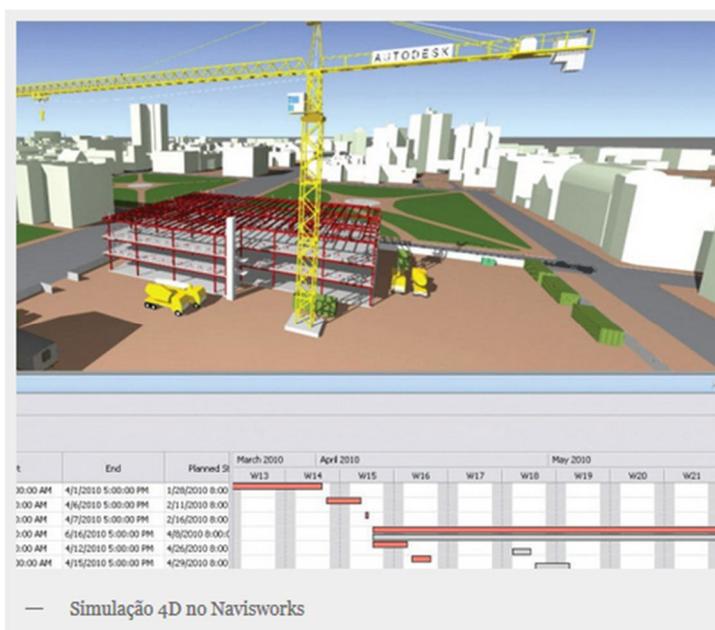


Figura 10 – Ilustração de um modelo 4D no software Naviswork (Autodesk, 2012)

A tabela 3 enumera os principais benefícios do modelo 4D segundo Brito e Ferreira (2013), quanto ao seu poder de análise, integração e visualização dos processos.

Tabela 3 – Ferramentas de utilização do modelo 4D
(Brito e Ferreira, 2013 – adaptado de Koo; Fischer, 1998)

	Ferramentas	Cronogramas Tradicionais	Modelos 4D
Visualização	Visualização e interpretação da sequência planeada	Força os usuários a visualizar mentalmente	Elimina processos de interpretação
	Antecipação de conflitos espaço-tempo durante a construção	Dificuldade de detetar apenas com o cronograma	Identifica potenciais conflitos
	Transmissão do impacto da mudança no cronograma	Dificuldade de detetar apenas com o cronograma	Mostra claramente o impacto
Integração	Formalização de informação de projeto e construção	Baseado em um processo de produção fragmentado	Facilita a partilha de informação e a integração
	Promoção da integração entre os participantes do projeto	Não promove integração	Promove integração
Análise	Apoio em análises de custo e produtividade	Apoio em análises de custo e produtividade	Permite facilmente a detecção
	Antecipação de situações de risco	Antecipação de situações de risco	Permite facilmente a detecção
	Alocação de recursos e equipamentos no espaço	Alocação de recursos e equipamentos no espaço	Permite facilmente a alocação
	Simulações de execução	Simulações de execução	Permite a geração de cenários alternativos

Os modelos 4D podem ser usados durante todo o ciclo de vida de um projeto. É possível beneficiar do uso de modelos 4D em três fases distintas (GSA, 2009):

- Fase de pré-projecto – na fase de elaboração a tecnologia 4D é útil para a análise de possíveis alternativas de construção. Estes modelos permitem comparar diferentes soluções a um custo relativamente baixo para a equipa e cliente;
- Fase de desenvolvimento – os modelos 4D podem ser utilizados para melhorar a exequibilidade do desenho e para determinar as vantagens de diferentes processos de construção, assim como otimizar o cronograma. Outra vantagem é o facto de possibilitar uma melhor compreensão e comunicação da sequência da construção.
- Fase de construção – durante esta fase um dos desafios é coordenar as diferentes subempreitadas de forma a evitar conflitos de tempo e espaço podendo os modelos 4D ajudar na gestão visual. Outra utilidade é a possibilidade de analisar o progresso da construção e comparar com o progresso planeado.

Os requisitos do modelo 4D variam dependendo da sua finalidade. Por exemplo, se o modelo é utilizado apenas como ferramenta de visualização da sequência da construção de uma forma animada, as informações e o critério do planeamento não são essenciais. Contudo, quando usado para fins de gestão, o modelo deve ser mais exigente. Para tal, será necessário acrescentar informação ao modelo 3D, nomeadamente tarefas temporárias ou dividir determinado elemento da construção em segmentos, de acordo com o planeamento. O nível de detalhe do modelo 3D pode ser diferente do cronograma, pois o detalhe do modelo 4D depende do detalhe mínimo representado pelo modelo 3D ou pelo cronograma.

O registo bibliográfico sobre o modelo BIM 4D indica que as principais potencialidades do BIM 4D no âmbito da gestão, acompanhamento e planeamento da construção são essencialmente:

- Visualização da sequência da construção – a introdução do atributo tempo aos modelos 3D pode facilitar consideravelmente a compreensão do planeamento, não apenas para quem estabelece o planeamento, mas também para a equipa e parceiros. Este recurso incentiva a colaboração de todos os participantes garantindo um maior nível de transparência. Os modelos 4D possibilitam a navegação 3D em qualquer fase da construção.
- Simulação 4D – a simulação do processo de construção pode servir como um ensaio da construção que pode permitir a redução das incertezas e antecipar os riscos do projeto. Estas simulações podem ser aplicadas ao projeto inteiro ou apenas a determinado período de tempo. De acordo com Mukherjee e Clarke (2012) os principais benefícios do uso da simulação 4D durante o planeamento da construção são:
 - Maior fiabilidade e eficiência no planeamento, pois permite que a equipa visualize mais facilmente limitações de tempo e oportunidades para melhorar o planeamento do projeto, assim como o reconhecimento de onde irão ocorrer os maiores desafios;
 - Optimização do uso de recursos críticos, pois facilita a compreensão da finalidade dos trabalhos e a disponibilidade dos recursos ao longo do tempo. Permite igualmente rever e avaliar o planeamento por forma a otimizar os recursos e a sequência de trabalhos;
 - Melhoria da comunicação, pois durante a fase de construção podem surgir potenciais conflitos espaciais entre componentes da construção, que se tornam mais fáceis de detectar, utilizando os *layouts* tridimensionais preconizados pelo BIM;
 - Fornece uma simulação gráfica da sequência da construção ao longo do tempo.
- Integração e comunicação dos participantes do projeto. O planeamento tradicional permite diferentes interpretações por parte dos colaboradores no projeto. A componente visual permitida pelos modelos 4D é útil em reuniões de projeto, por forma a facilitar a comunicação entre as diferentes participantes e esclarecer eventuais dúvidas.

- Tomada de decisão – os modelos 4D podem auxiliar na tomada de decisão através da análise da construção ou utilizando cronogramas alternativos por forma a facilitar uma tomada de decisão informada. Os modelos permitem ser replaneados para que o projeto seja executado da melhor forma.
- Acompanhamento – apoia o desenvolvimento das atividades planeadas comparando o progresso real com o planeado. Permite a monitorização ao longo do tempo e de uma forma visual como, por exemplo, com a aplicação de cores diferenciando as atividades planeadas e as reais.
- Análise – permite igualmente a realização de diferentes tipos de análises, nomeadamente:
 - Detecção de conflitos tempo-espço que podem ser provocados pela sequência das atividades;
 - Planeamento do estaleiro, com a visualização da localização dos diferentes recursos necessários;
 - Integração da análise de custo ao modelo 4D.

3. MODELO BIM 3D

A criação do modelo 3D do edifício numa aplicação BIM é obtida a partir da composição de elementos construtivos 3D. Por exemplo, na definição de uma parede são especificados parâmetros geométricos como a espessura, o comprimento e a altura e parâmetros físicos como o seu material constitutivo, especificidades da superfície, propriedades térmicas e acústicas ou, ainda, custos associados ao material e à construção, permitindo a qualquer utilizador do projeto a manipulação e introdução de características adequadas ao objeto em causa.

No âmbito desta tese, e para a elaboração do modelo BIM foi escolhido o programa Autodesk Revit, uma vez que este *software* é disponibilizado gratuitamente à comunidade estudantil. O Revit possui uma diversidade transversal de aplicações com suporte BIM, dirigidas às diferentes especialidades e diferentes fases do projeto. Este facto potencia uma adequada capacidade de troca de informação entre as diversas aplicações. Esta aplicação permite a modelação de componentes paramétricos, a geração de tabelas com a informação que consta no modelo (caraterísticas dos elementos, quantidades, entre outros), a criação e edição de bibliotecas de pormenores. O *Revit* permite o trabalho colaborativo, pois é interoperável com outros sistemas permitindo a exportação de dados em formatos padrão, como DWG, DXF e IFC (Autodesk, 2012).

O caso de estudo modelado é um projeto real de um edifício elaborado em *Archicad*, contudo apresentado na forma de documentação gráfica electrónica 2D, constituída por plantas, cortes, alçados e desenhos de pormenor. Para a geração do modelo BIM foi possibilitado o acesso ao projeto de execução do edifício. Foram criados os componentes do modelo BIM referentes à arquitetura e à estrutura.

3.1. Criação do modelo BIM 3D de arquitetura

O caso de estudo selecionado é um hospital privado. O edifício é composto por cave e dois pisos acima do solo. Com base na informação digital fornecida foi inicialmente criado o modelo BIM 3D da arquitetura referente apenas a uma parte do edifício, suficiente para ilustrar o objetivo do trabalho. Pois no âmbito da tese não se pretende manipular um modelo extremamente complexo, mas o principal objetivo é ter um modelo constituído por diferentes elementos e realizar uma análise das possibilidades oferecidas pelas aplicações utilizadas.

A primeira etapa no processo de modelação é a definição de “níveis”, ou seja, são indicadas linhas de referência das cotas de cada piso do edifício. Os níveis dos pisos atuam, no Revit, como planos de referência, impondo constrangimentos verticais aos objetos paramétricos, como as paredes e pilares.

Estes objetos quando referenciados em relação ao nível do piso, qualquer alteração imposta aos níveis é automaticamente transmitida aqueles elementos, ficando reajustados. Para a indicação das cotas das linhas de referência de cada nível a considerar é necessário selecionar como vista de trabalho um plano vertical (alçado ou corte). De seguida, selecionar, no separador “Arquitetura” a opção “nível” e atribuir a designação pretendida e o valor das cotas de cada nível (figura 11). Em arquitetura, normalmente, estes níveis representam a cota de limpos de um pavimento.

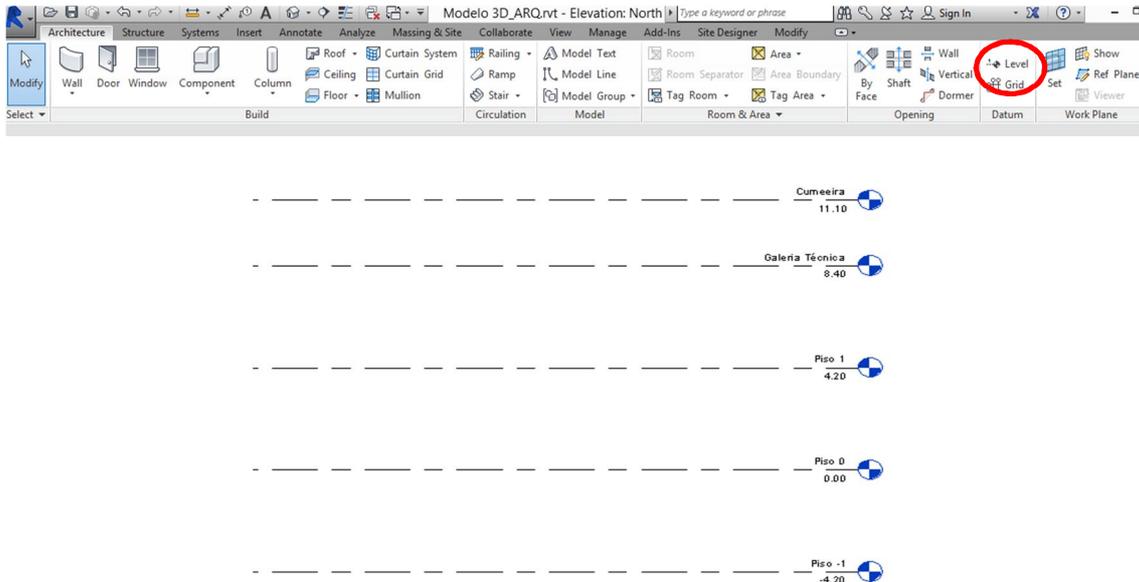


Figura 11 – Comando e representação dos níveis do caso de estudo

A modelação de arquitetura foi realizada tendo por base os desenhos 2D fornecidos, criados no formato *dwg*. Estabelecidos os níveis de trabalho, são importados os ficheiros *dwg*, para o Revit, (figura 12). Neste processo devem ser consideradas algumas opções: as unidades do desenho; indicar se o desenho importado é importado em todos os níveis ou apenas na vista seleccionada e a forma de posicionamento do desenho importado no *Revit*. A figura 13 ilustra as opções que surgem ao importar um ficheiro CAD. Apesar de no caso prático se usar como base o formato *dwg*, o *Revit* também permite inserir outros formatos como imagens.

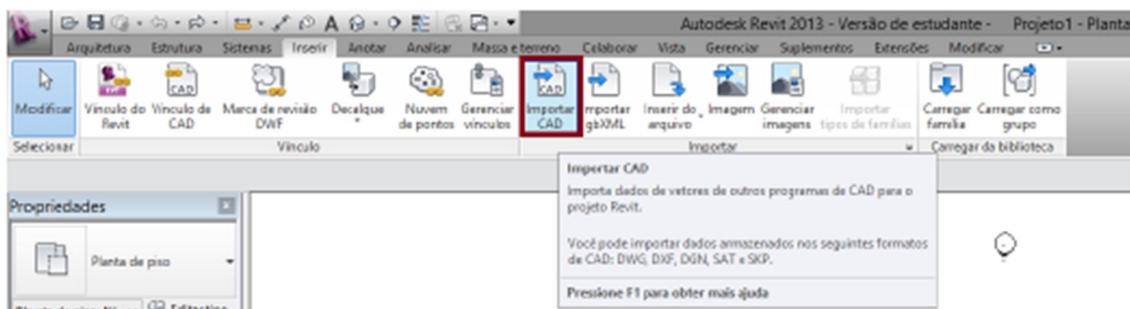


Figura 12 – Comando para importar ficheiros *dwg* no Revit

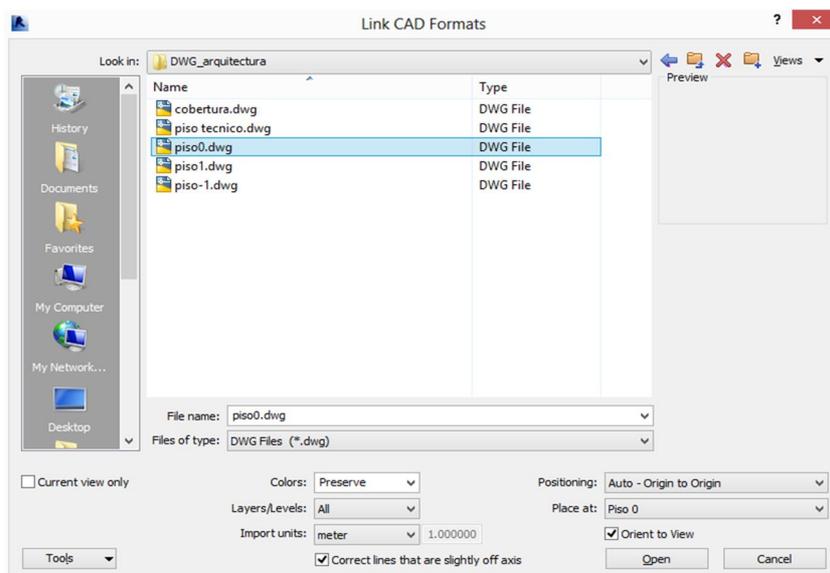


Figura 13 – Tabela das opções de inserção de ficheiros com formato dwg no Revit

Importados os ficheiros que servem de base à modelação são representados os alinhamentos de apoio em planta, as “grids” estruturais (figura 14), que representam os eixos dos elementos estruturais. São auxiliares de representação que apoiam a implementação destes elementos e servem como referência na geração dos modelos de diferentes especialidades. Num trabalho colaborativo, onde é necessário a coordenação outras especialidades, é importante existirem linhas de referência por forma a garantir a correta posição dos diferentes modelos. Para a inserção das “grids” é necessário seleccionar a vista de trabalho correspondente a uma planta. De seguida seleccionar, no separador “Arquitetura”, o comando “Grid” e proceder ao traçado de várias linhas, horizontais e verticais, correspondentes à grelha estrutural considerada no projeto fornecido. A cada alinhamento é atribuído uma identificação. Ao seleccionar as linhas é possível alterar as suas características de representação.

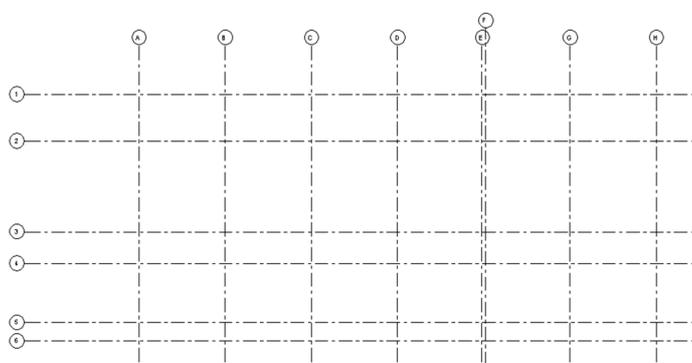
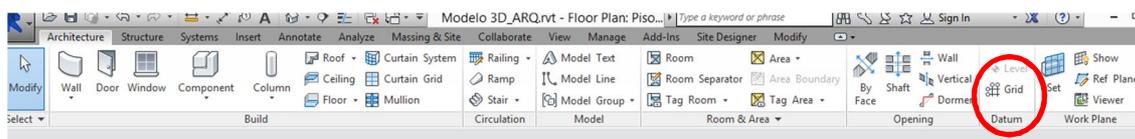


Figura 14 – Comando e representação da “grid” estrutural e de referência do caso de estudo

Estabelecidas as bases de trabalho, grelhas e níveis, procede-se à modelação BIM 3D. Com base nas peças desenhadas em 2D são representados os componentes arquitectónicos, por meio de objetos paramétricos. Estes são caracterizados não apenas pela sua geométrica, mas também pelas suas propriedades físicas. Estes objetos estão associados aos materiais que se devem considerar na sua composição. O Revit possui uma biblioteca com uma lista pré-definida de materiais, como se ilustra na figura 15. O sistema admite, ainda, a adição de novos materiais e respectivas características, podendo estes ser arquivados para uma futura utilização. No processo de modelação podem ser visualizados os objetos disponibilizados diretamente pelo próprio *software*, tais como paredes, pavimentos, janelas, portas, entre outros. Estes objetos podem ser adaptados consoante as características específicas de cada projeto.

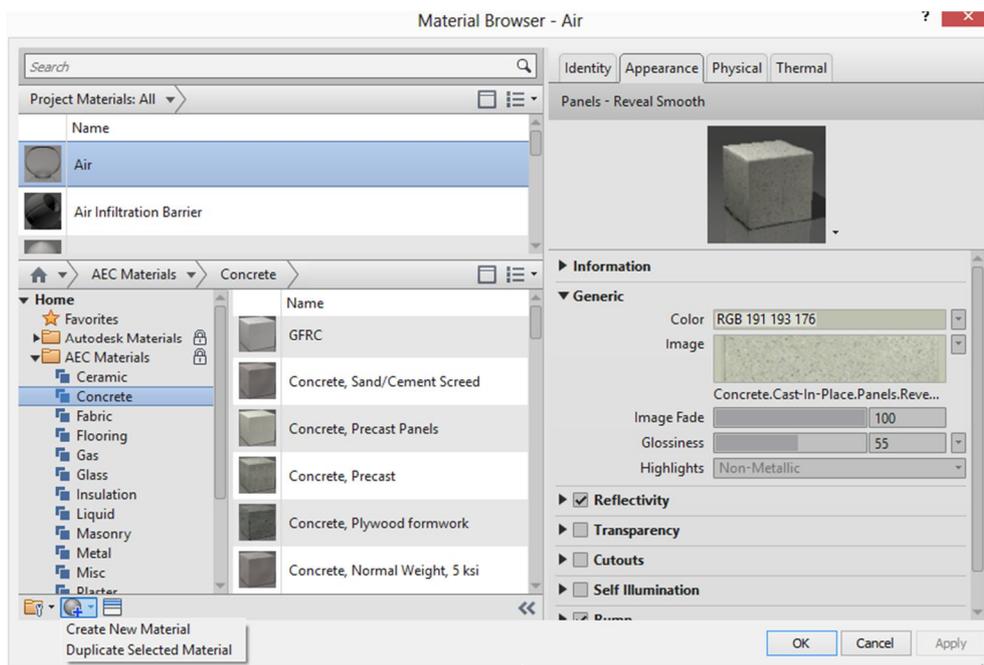


Figura 15 – Lista dos materiais e suas características disponíveis no Revit.

Na criação do modelo do edifício em análise foram definidos distintos tipos de paredes. É selecionado um tipo de parede existente e é adaptada e renomeadas. Os tipos de paredes consideradas foram definidos com as camadas referentes a materiais e espessuras de acordo com o mapa de paredes do projeto de arquitetura disponibilizado. Posteriormente, são inseridas no modelo de acordo com as respectivas plantas. A seleção do objeto “Parede” é feita no separador “Arquitetura” através do comando “wall”. A figura 16 ilustra a seleção de paredes arquitectónicas. Um novo tipo de parede é criado pela duplicação de um objeto da mesma família, existente no sistema. No quadro das propriedades, acedido através do comando “Edit type” é alterado a sua composição em termos de materiais, espessuras e as características desses materiais. Algumas das características possíveis de alterar são a sua resistência térmica, o fornecedor ou o custo. A figura 17 apresenta uma situação após modelação, onde é visualizada a composição de um elemento parede. Qualquer característica indicada na fase de inserção dos objetos paramétricos pode ser consultada posteriormente, quando necessário. O quadro visualizado apresenta a composição de um tipo de parede utilizado no modelo.

Na composição de uma parede atribuem-se os materiais das diferentes camadas que a compõem e ainda a sua função, ou seja, se dada camada é a parte estrutural da parede, o seu substrato, a camada de isolamento, uma membrana ou a superfície de acabamento, assim como cada uma das suas espessuras. Após a definição do objecto “Parede” procede-se à sua representação. Um dos cuidados a considerar quando são utilizadas paredes com camadas de acabamento diferentes em cada um dos lados, é a sua correta posição no modelo. Por exemplo, na inserção de uma parede exterior, a camada superficial exterior tem de coincidir com o exterior do edifício. Quando a sua composição é simétrica não se levanta este problema.

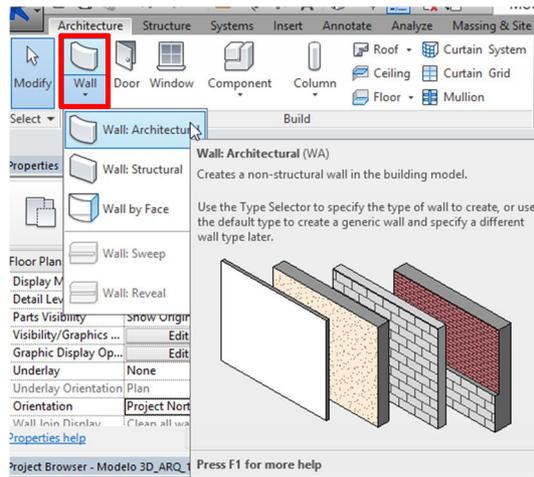


Figura 16 – Comando para a seleção do elemento parede

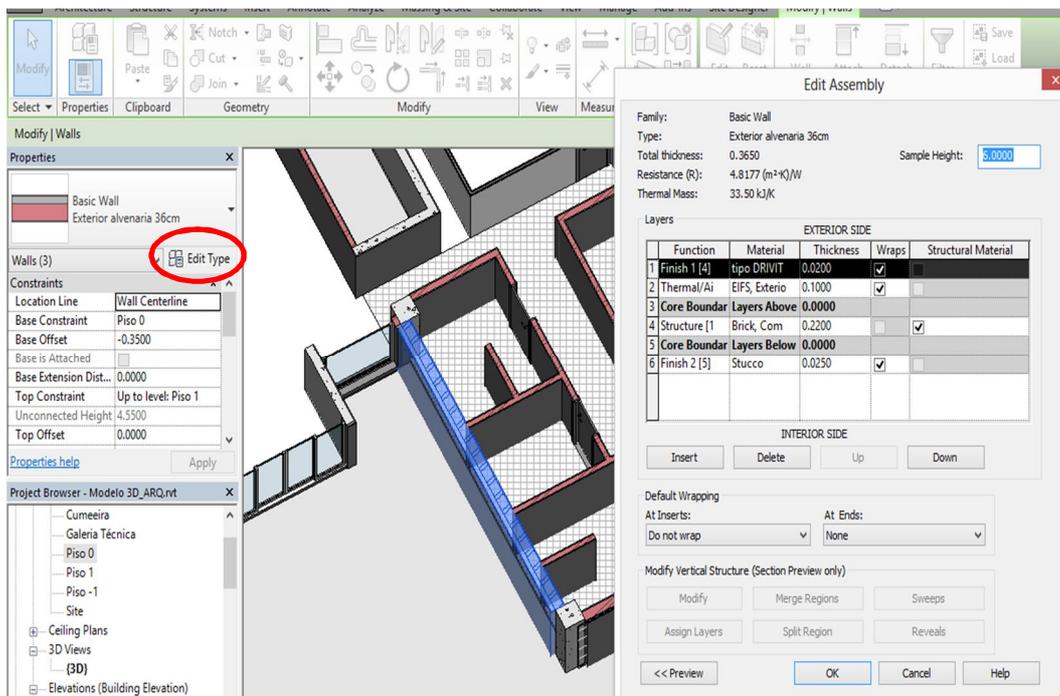


Figura 17 – Imagem 3D de uma parede do caso de estudo modelada em Revit e o quadro com a sua constituição por camadas

Para a obtenção de um modelo geométrico de qualidade em BIM pode ser necessário a criação de novos objetos, capazes de traduzir os elementos pretendidos para a construção do projeto. Em Revit existe, para esse efeito, a possibilidade de criar dois tipos de objetos, os que são designados por “Famílias” ou os componentes “*Model in-place*” (figura 18). No caso de estudo foi usado este último tipo de componente para modelar o gradeamento exterior.

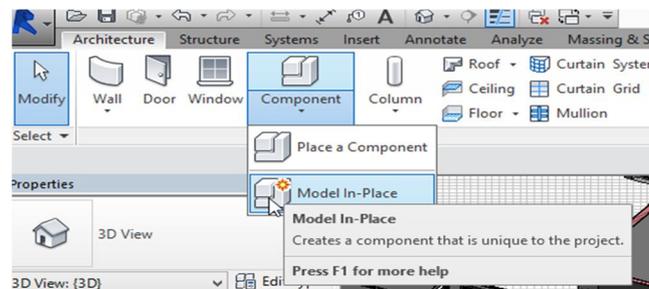


Figura 18 – Comando para criar objetos “*model in place*”

A criação de “Famílias”, como portas, janelas, etc. tem a vantagem de poderem ser guardadas e reintroduzidas em diferentes projetos quando a sua representação seja necessário, ao contrário dos componentes “*Model in-place*” que têm um uso único e pontual num determinado projeto. A existência de uma boa biblioteca de elementos é um factor importante para a rentabilização dos recursos, independentemente da especialidade.

Na modelação do caso de estudo procede-se com a inserção dos vãos nas paredes anteriormente criadas. Foram criadas novas famílias paramétricas para as janelas e portas, conforme ilustrado na figura 19. As figuras 20 e 21 ilustram alguns exemplos de famílias criadas. Aquando da criação de um tipo de elemento é necessário ter em consideração qual o tipo de família que se pretende desenvolver. Se se pretende criar uma nova família, por exemplo, de janelas deve ser usado um *template* do tipo “*Janela*” quando é iniciada a definição de um novo objeto da família “*Janela*”. Os *templates* possuem alguns parâmetros e características que facilitam uma adequada modelação do objeto. Esta metodologia permite uma agregação de objetos de características semelhantes, não só quando se procede à sua inserção no modelo, como posteriormente, na contabilização de objetos para mapeamento de quantidades.

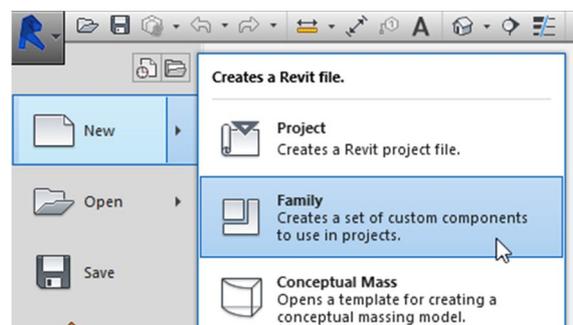


Figura 19 – Comando para criação de uma nova família, no Revit

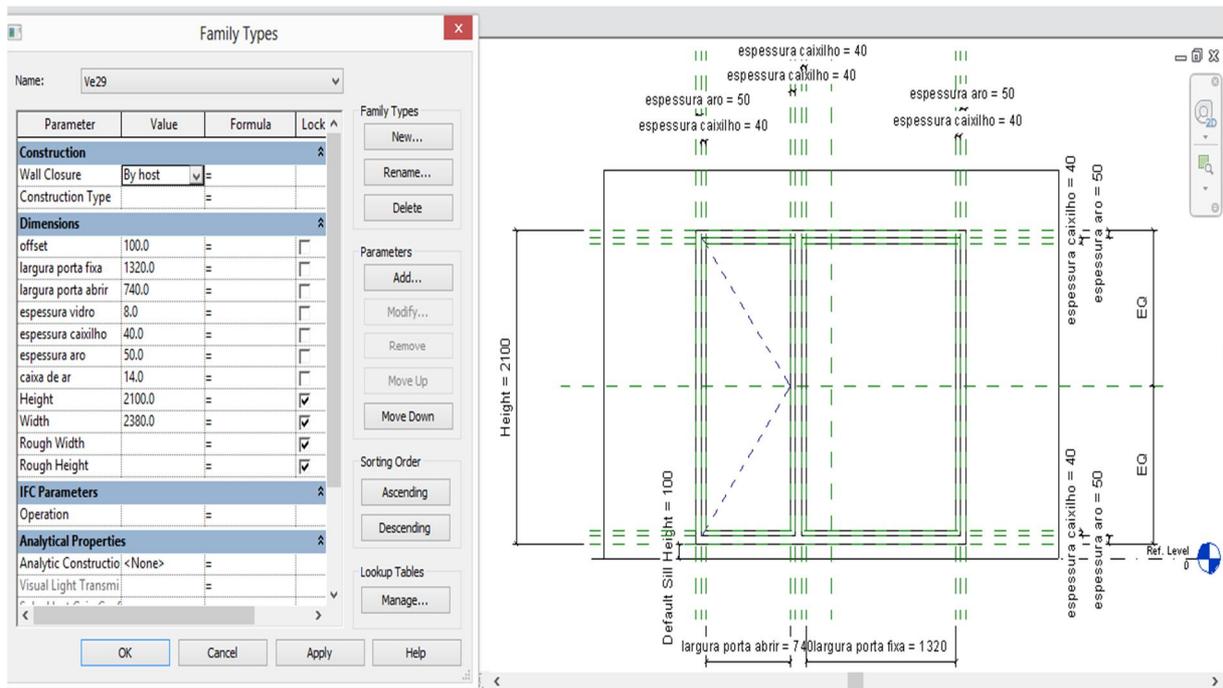


Figura 20 – Alçado de uma família janela criada para o modelo 3D e o quadro com os parâmetros atribuídos

A incorporação de uma janela é feita através do modelo 3D composto pelos seus diferentes elementos, como o caixilho e o vidro, com as dimensões pretendidas e o tipo de material selecionado. Para que a família admita atributos paramétricos deve recorrer-se a planos de referência e parâmetros, como a largura e altura do vão, espessuras, etc., que podem ser adaptados, posteriormente, no modelo por forma a considerar os diferentes tipos de janelas.

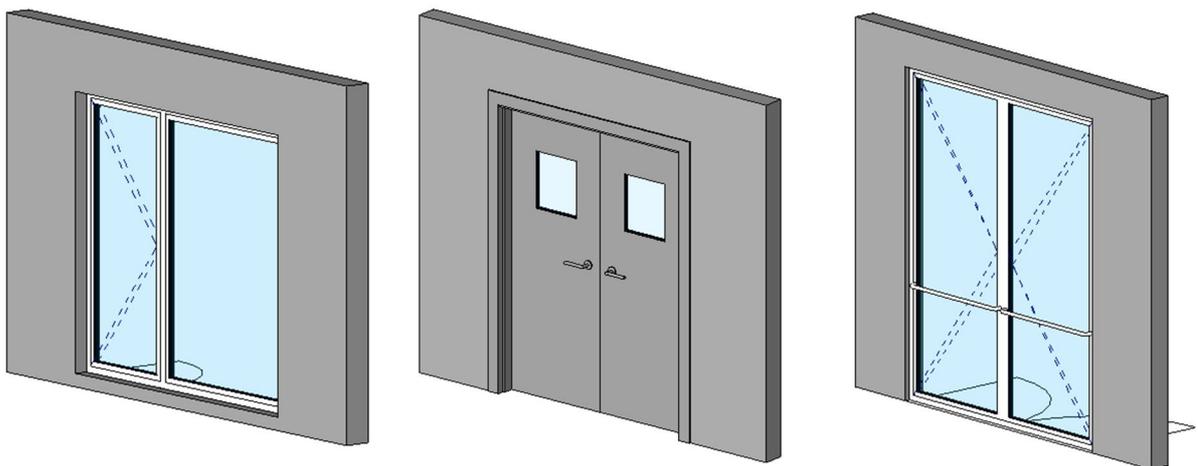


Figura 21 – Vista 3D de alguns exemplos de famílias criadas (janelas e Portas)

Depois da criação da família pretendida, é necessário disponibilizar os novos objetos no modelo. Para tal importam-se os objetos através do comando *“load into project”* para o ficheiro do projeto em que se está a trabalhar, por forma a que esta nova família fique disponível no modelo do projeto. Tendo concluído este passo a família passa a estar disponível no separador *“Arquitetura”*, na opção correspondente, neste caso, na opção *“Window”*. Para a criação de um novo tipo de janelas, dentro da mesma família, deve seguir-se o mesmo procedimento que foi utilizado nas paredes, ou seja, no quadro das propriedades selecionar *“Edit type”*, duplicar o elemento e atribuir uma nova designação ao objeto, conforme se ilustra na figura 22. O sistema, ainda, admite a importação de uma família para o modelo de trabalho, sem ser necessário abrir a família a importar. Neste caso o procedimento para inserir a nova família num projeto requer que no separador *“insert”*, seja selecionado a opção *“load family”*, e escolher, de seguida, o ficheiro contendo os objetos e famílias a importar. Após esta operação, os novos objetos e famílias ficam disponíveis no projeto.

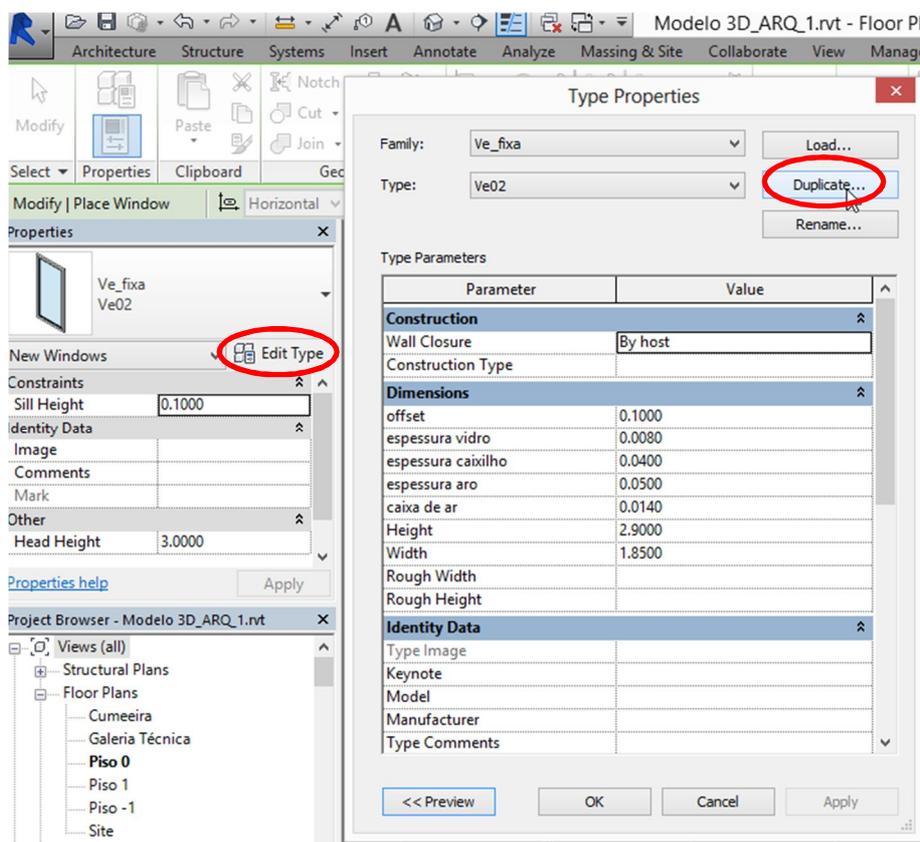


Figura 22 – Comandos para a criação de um novo tipo de janela

No processo de criação do modelo BIM de arquitetura foram, de seguida, definidos os pavimentos. É duplicado um tipo de laje pré-existente, e adaptado alterando-se as suas características por forma a obter o pavimento pretendido. A figura 23 ilustra a composição de um dos tipos de pavimento definidos. Os pavimentos são inseridos desenhando os seus contornos na vista da planta onde se pretende trabalhar. Neste modelo não foram representados tetos falsos, mas existe também essa possibilidade no Revit, através da opção *“Ceiling”* sendo o processo de modelação semelhante ao dos pavimentos.

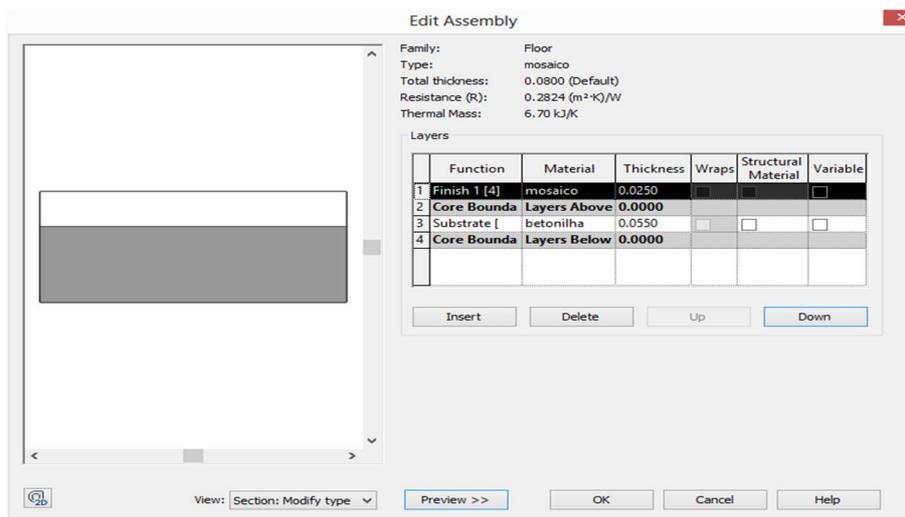


Figura 23 – Exemplo da composição de um dos pavimentos definidos

Se seguida procedeu-se à modelação das escadas. O Revit contém elementos pré-existentis no separador de arquitetura, na opção “Stair”. Ao modelar este objeto são definidas as suas características geométricas tais como a largura, a altura e a profundidade dos degraus, os níveis que confinam os lances de escada e, ainda, os materiais e suas propriedades físicas. O processo de modelação pode ser efetuado pela indicação dos seus elementos, lances de escadas, patamares e suportes ou através da representação de cada lance de escadas por linhas de apoio. O Revit disponibiliza diferentes tipos de escadas, para facilitar a sua modelação, como, por exemplo escadas circulares, em espiral ou em “U”. Igualmente, para a criação de novos tipos de escadas é necessário duplicar e editar uma escada já existente. A figura 24 representa uma das escadas desenvolvidas e o seu quadro das propriedades. Quando se insere uma escada no modelo o Revit não assume automaticamente a abertura no pavimento acima das escadas. É necessário definir esta abertura nos pavimentos, quer na parte de arquitetura como de estruturas. Para tal, caso o pavimento já esteja modelado, pode-se voltar, a qualquer momento, a editar e redefinir os seus limites e aberturas através da sua seleção e no comando “Edit Boundary”.

Executado o modelo de arquitetura, o Revit permite a atribuição de informação espacial ao projeto. É possível efetuar a atribuição da designação a cada compartimento criado. Possibilita, ainda, o cálculo da área e o volume correspondentes a cada compartimento. Para a caracterização de um compartimento é preciso inserir uma família do tipo “Room Tag” à qual se associará a informação pretendida, nomeadamente, a designação do espaço, o seu número e a sua área. Para tal é selecionada a opção “Room”, no separador “Architecture”, e com o cursor clica-se no interior do compartimento pretendido. O software só assume, para identificação, os compartimentos delimitados por paredes. No entanto, existe a possibilidade de criar linhas delimitadoras de espaços.

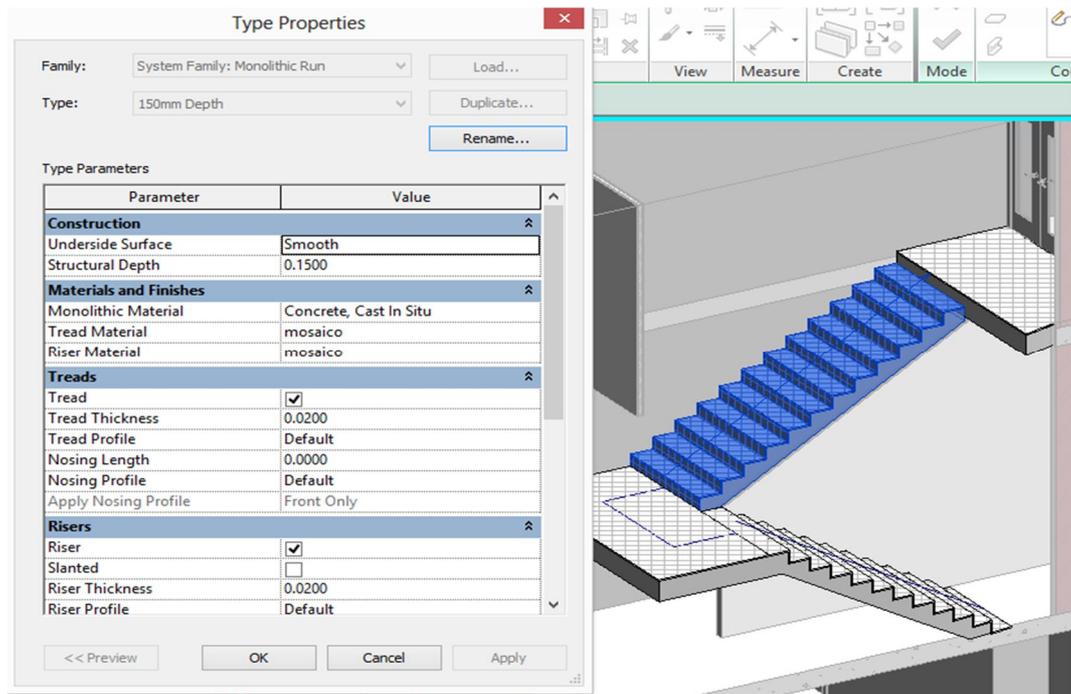


Figura 24 – Vista de uma das escadas moldadas no projeto e o respectivo quadro com as suas características

Existem diversos tipos de anotações que podem ser associados aos elementos de forma a conceber modelos BIM mais ricos em informação. Por exemplo, é possível identificar objetos, como janelas e portas, mas também os materiais. Uma etiqueta é um objecto pertencente a uma família, do tipo “tag”. É necessário inserir no modelo de trabalho a família pretendida, para que ela esteja posteriormente acessível no separador “Annotate” na opção “tag”. A figura 25 ilustra as opções dos tipos de etiqueta disponíveis.

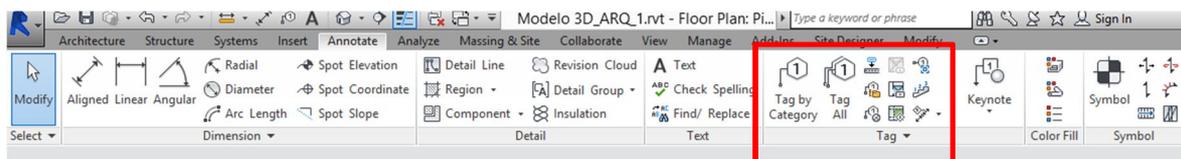


Figura 25 – Comandos para inserção de etiquetas

Outra das potencialidades do *software*, necessária à definição posterior dos desenhos de projeto é a ferramenta de dimensionamento. Esta ferramenta permite cotar as representações planas do modelo, nos diferentes planos: plantas, cortes ou alçados. A figura 26 ilustra as várias opções de para dimensionamento.

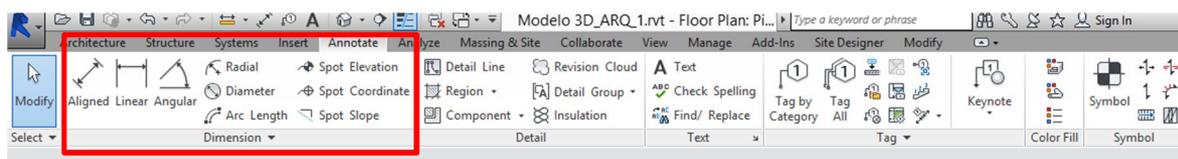


Figura 26 – Comandos para efetuar cotagens

O processo de modelação da arquitetura embora seja por norma criado sob uma representação plana, como forma de definir de um modo correto a localização dos diferentes elementos construtivos, como, paredes, janelas, portas e pavimentos, o modelo é de facto tridimensional. Assim todo o processo deve ser acompanhado pela seleção de vistas axonométricas para melhor se entender o que se está a modelar. O *software* possibilita a visualização do modelo sobre diferentes formas permitindo que o utilizador tenha uma boa percepção do que está a modelar e assim averiguar a existência de problemas. Adicionalmente, como o modelo 3D é composto por objetos paramétricos que são interpretados pelo *software*, são emitidos, ao utilizador, avisos relacionados com os elementos do modelo, sempre que é detectada alguma incompatibilidade ou incongruência. Por exemplo, no caso de estudo, foram detectados pequenos desfasamentos entre as plantas e o mapa de vãos nos desenhos originais, causados pelo processo de trabalho em 2D. Concluído o modelo BIM, o Revit permite a geração automática de cortes, alçados, plantas, perspectivas, quadros de quantidades, materiais, etc., que são costumizáveis pelo utilizador. As figuras 27, 28, 29, 30 e 31 ilustram diferentes vistas e informação possíveis de retirar do modelo criado, geradas pelo *software* à medida que a modelação vai sendo desenvolvida.



Figura 27 – Perspectiva 3D do modelo de arquitetura

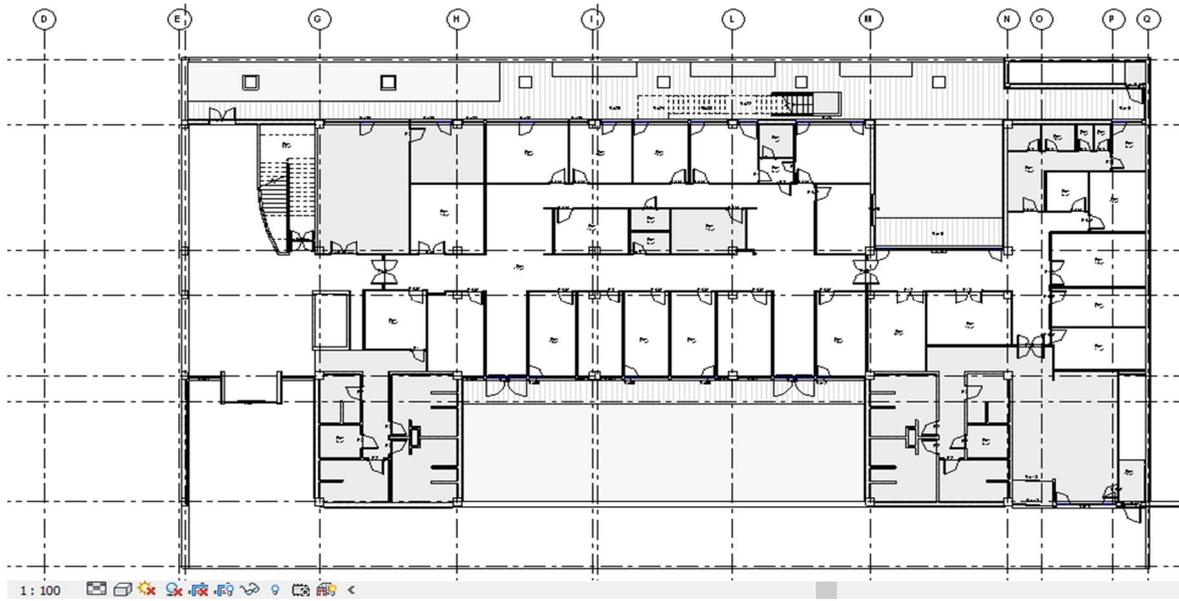


Figura 28 – Vista da planta do piso 0

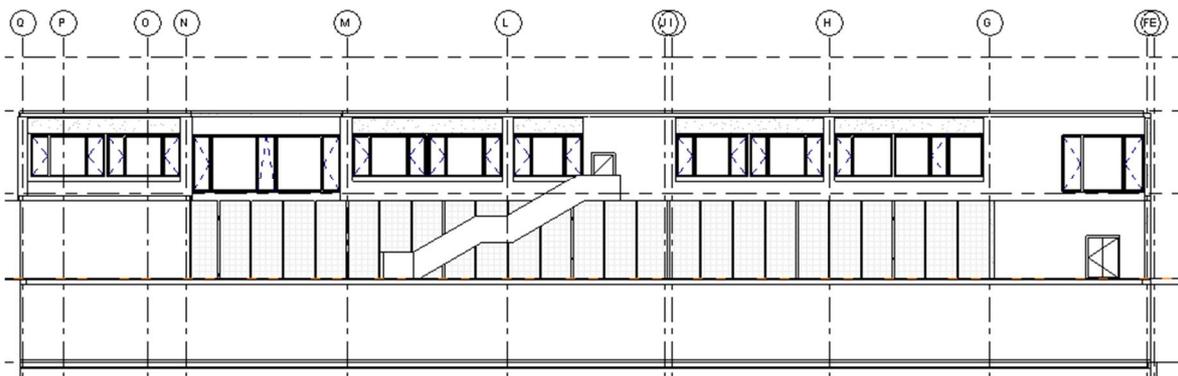


Figura 29 – Vista do alçado tardoz

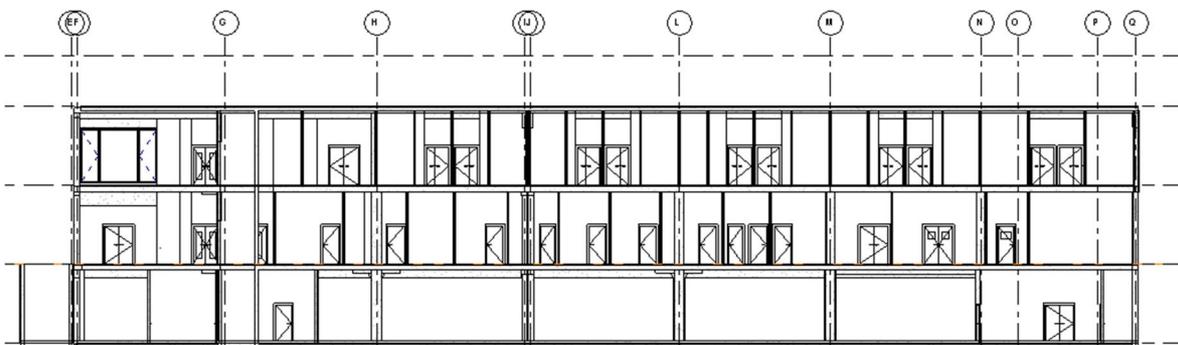


Figura 30 – Corte longitudinal

<Mapa Quantidades - Pavimentos>	
A	B
Material: Name	Material: Area
betonilha	2398 m ²
	2398 m ²
deck	239 m ²
	239 m ²
mosaico	586 m ²
	586 m ²
vinilico	1304 m ²
	1304 m ²
Grand total: 34	4526 m ²

Figura 31 – Exemplo de um mapa de quantidades obtido automaticamente a partir do modelo

Existe ainda a possibilidade de criar *templates* de impressão que podem ser reutilizados em todos os projetos de uma empresa, uniformizando assim os seus documentos produzidos. Tomando como exemplo a organização, tamanho ou legenda das folhas de desenho. Estas são famílias do tipo “*Titleblocks*” que contem parâmetros, que podem ser editados e que estão associados às características do projeto e às vistas inseridas nessas folhas. A designação do desenho e a escala variam com o tipo de desenho inserido na folha, mas podem existir parâmetros semelhantes como o nome do autor ou do projeto.

3.2. Criação do modelo BIM de estruturas

No caso de estudo foi elaborado apenas o modelo geométrico da estrutura, tendo como base igualmente os desenhos em *dwg*, não tendo sido efectuado qualquer cálculo ou análise estrutural, por não ser esse o âmbito do trabalho. O modelo geométrico é composto pelos estruturais, representados por objetos paramétricos. Do modelo é possível a obtenção dos documentos para apoio à obra e a quantificação dos materiais.

A modelação da estrutura, é igualmente, baseada em objetos pré-definidos, tornando bastante fácil e rápido o processo de definição dos elementos no modelo. O Revit possui famílias dos principais elementos estruturais, como sapatas, pilares, vigas, lajes e paredes, e assim a sua representação é facilitada sendo por vezes apenas necessário definir as suas dimensões e o material. Tal como na arquitetura, qualquer alteração imposta é automaticamente repercutida em todas as vistas e projeções, apoiando a criação correta do modelo BIM de estruturas.

Neste processo foram, igualmente, usados os desenhos *dwg* como base para a modelação, e o modelo de arquitetura como *link*, por forma a garantir o correto posicionamento da estrutura. Para

colocar o modelo de arquitetura como *link* neste modelo bastou ir ao separador “insert” e escolher a opção “link Revit”. Para inserir os ficheiros *dwg* efetuou-se o procedimento descrito no capítulo do modelo de arquitetura.

Uma vez que as *grids* representadas na arquitetura são as mesmas para o projeto de estrutura começou por se fazer uma cópia das mesmas. Esta cópia é feita numa vista de planta e no separador “Collaborate”, conforme representado na figura 32. Estas *grids* são as linhas de eixo do projeto e servem de guia para a inserção dos pilares, vigas e paredes estruturais.

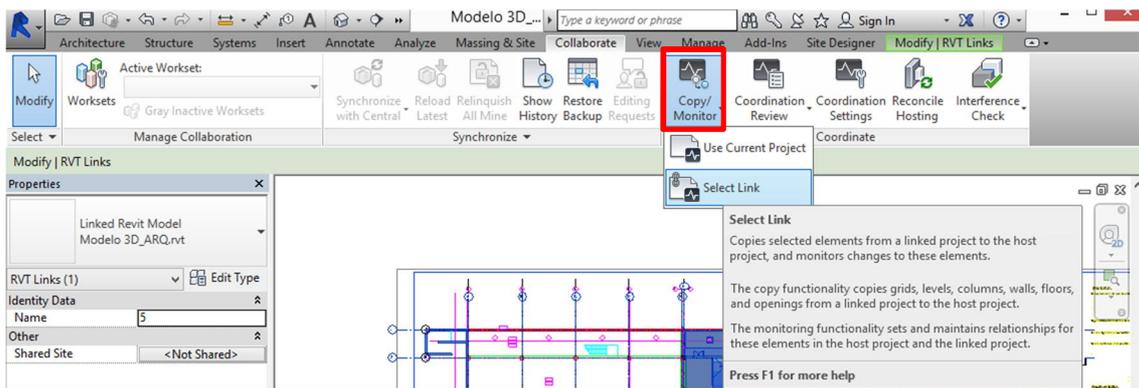


Figura 32 – Comando para copiar elementos entre modelos de especialidades diferentes

A modelação começou pelas fundações, subindo gradualmente de piso. Para a inserção dos diferentes objetos, de acordo com o projeto disponibilizado foi necessário inserir famílias e alterar as suas características de acordo com o pretendido. Para inserir novas famílias foi necessário fazer “load family”, no separador “Insert” e escolher a família necessária, conforme ilustra a figura 33.

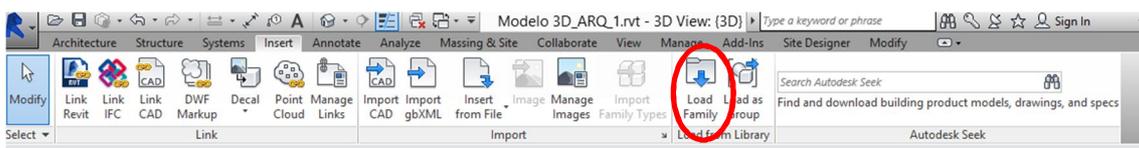


Figura 33 – Comando para inserção de famílias no modelo

Os objetos utilizados no modelo foram adaptados de acordo com as dimensões exigidas, originando novos tipos em cada família. Para tal, no quadro das propriedades, em “Edit Type” duplica-se o tipo de família escolhido, sendo renomeado e indicadas as dimensões corretas, assim como, o material do novo objecto. As bibliotecas do Revit e os novos elementos adicionados podem ser guardados para sua utilização em projetos futuros. A modelação BIM requer que todos os elementos tenham uma designação prévia com a atribuição das suas propriedades, dimensões e materiais associados, uma vez que o modelo consiste numa base de informação do projeto. Nesta modelação foram utilizadas famílias estruturais do tipo fundações, paredes, pilares, vigas e pavimentos, inseridas através do separador “Structure”. A figura 34 ilustra as opções existentes neste separador.

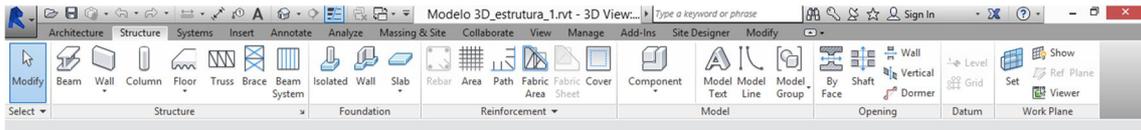


Figura 34 – Opções existentes no separador “estrutura”

As figuras 35 e 36 apresentam exemplos de elementos estruturais criados e as suas propriedades, que foram introduzidas aquando da criação dos elementos.

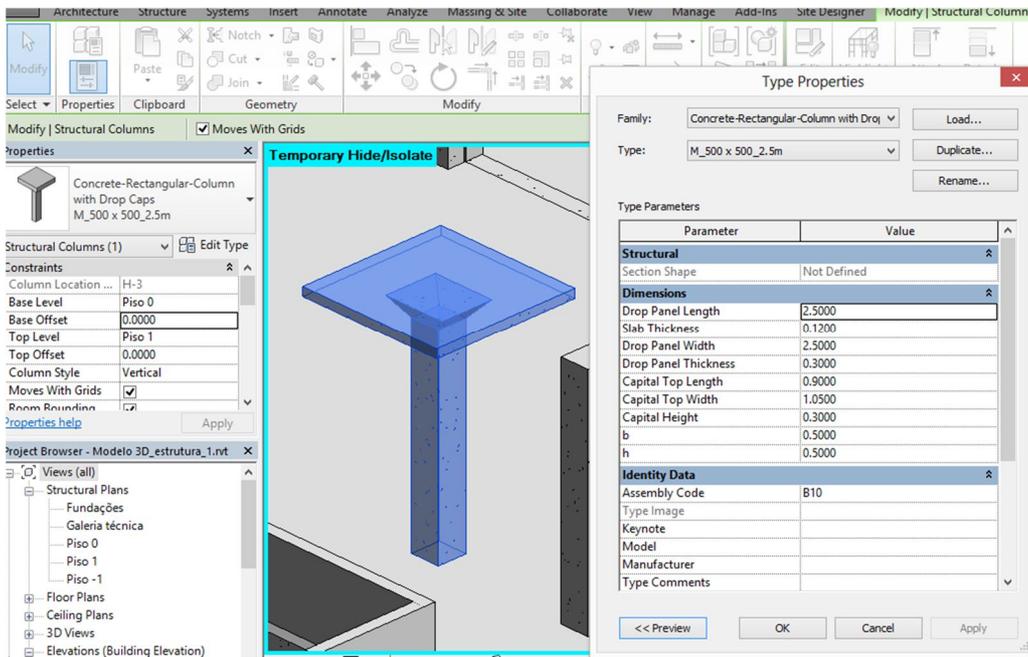


Figura 35 – Exemplo de um pilar do modelo estrutural

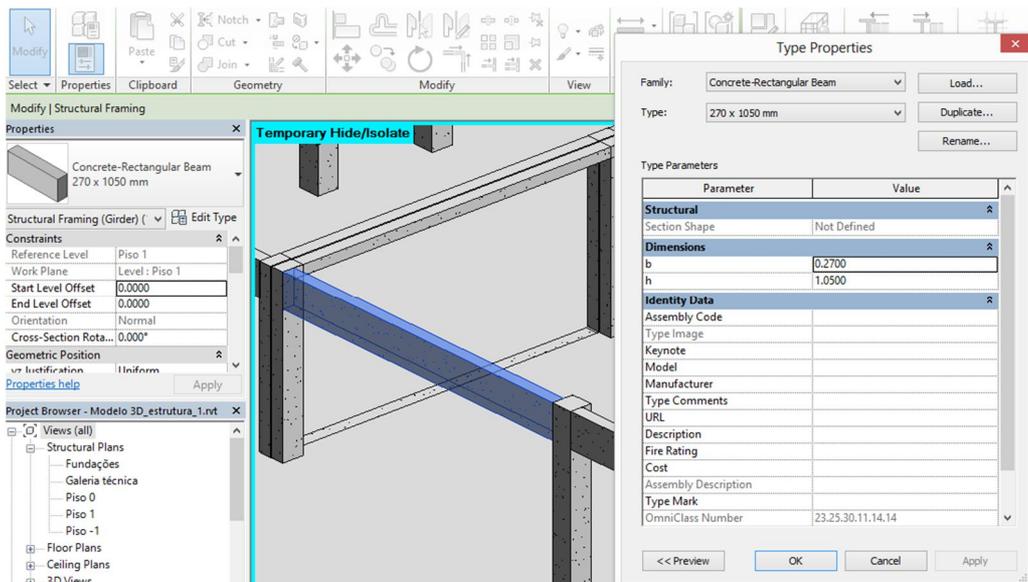


Figura 36 – Exemplo de uma viga

Na figura 37 é possível visualizar o modelo tridimensional da estrutura criada, composto pelos elementos construtivos considerados de acordo com o projeto fornecido. A partir da modelação 3D podem ser obtidas diversas tabelas com informação referente à geometria, à identificação dos elementos, às quantidades dos diversos tipos de elementos, entre outras. À medida que o nível de desenvolvimento do modelo aumenta o volume de informação possível de retirar é também maior.

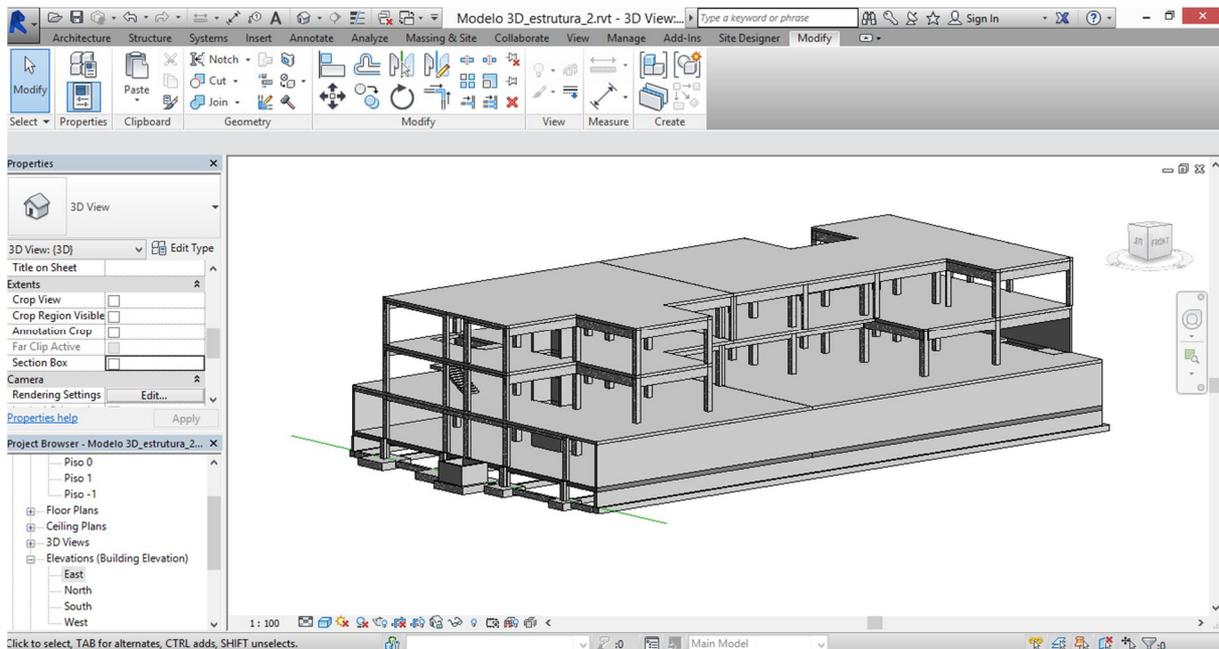


Figura 37 – Perspectiva 3D da estrutura

3.3. Sobreposição dos modelos

De um modo geral a modelação BIM inicia-se pela especialidade de arquitetura. Sobre essa base devem ser modeladas as restantes especialidades. No ambiente colaborativo BIM pretende-se que haja uma maior interação entre as especialidades, logo desde as fases mais iniciais.

O Revit é uma ferramenta que proporciona uma boa comunicação das ideias conceptuais do projeto entre os vários intervenientes, pois permite o trabalho conjunto sobre o modelo 3D. Neste sentido, os projetistas podem trabalhar o seu modelo tendo as restantes especialidades igualmente inseridas, como *link*, no seu projeto. O processo colaborativo requer que seja necessário uma revisão contínua dos projetos, nomeadamente, o de arquitetura, ao receber o modelo de estrutura.

Esta revisão é importante para se conseguir um modelo o mais real possível e para que a quantificação dos materiais e elementos esteja também correta. Para auxiliar neste verificação, além da análise visual, é possível no Revit fazer uma compatibilização entre o modelo de trabalho e outro modelo inserido como *link*. Esta análise é feita pelo comando “*Interference Check*” no separador

“Collaborate”. Ao aplicar este comando escolhe-se entre que ficheiros e que tipo de elementos se pretende fazer a análise, (figura 38). O Revit irá devolver um relatório com as interferências encontradas, sendo possível ver os elementos em questão assinalados no modelo, como ilustra a figura 39.

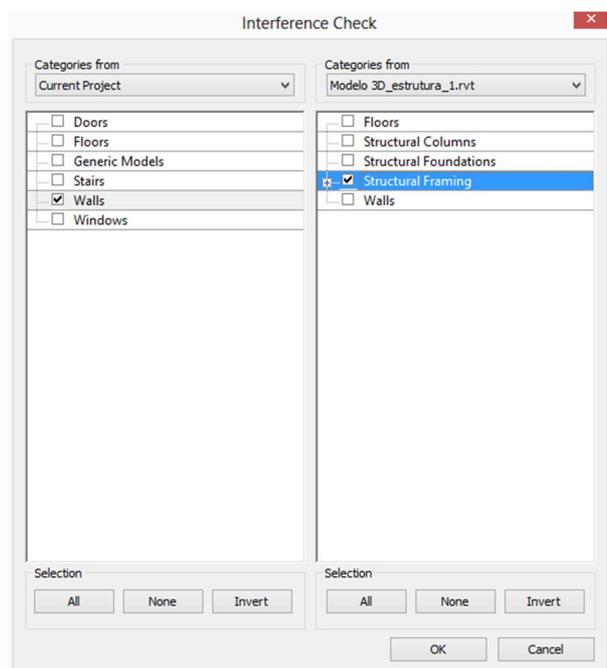


Figura 38 – Quadro para escolha dos ficheiros e elementos para análise de interferências

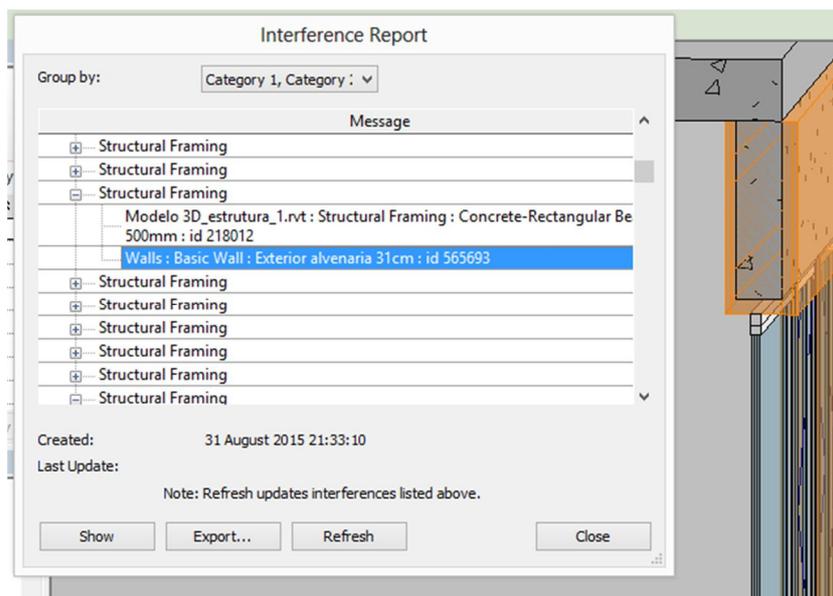


Figura 39 – Relatório das interferências e indicação no modelo

Nas ferramentas disponíveis para interação e coordenação entre especialidades existe a hipótese de copiar elementos de um modelo de outra especialidade, permitindo que quando esses elementos são alterados no modelo original, após *reload* desse modelo, o Revit alerte dessas alterações. De

qualquer forma na interação entre modelos de diferentes especialidades é sempre importante uma boa comunicação entre os diversos projetistas.

Desenvolvendo as duas componentes, arquitetura e estrutura obtém-se um modelo BIM 3D integrado. A figura 40 ilustra uma perspectiva do modelo.

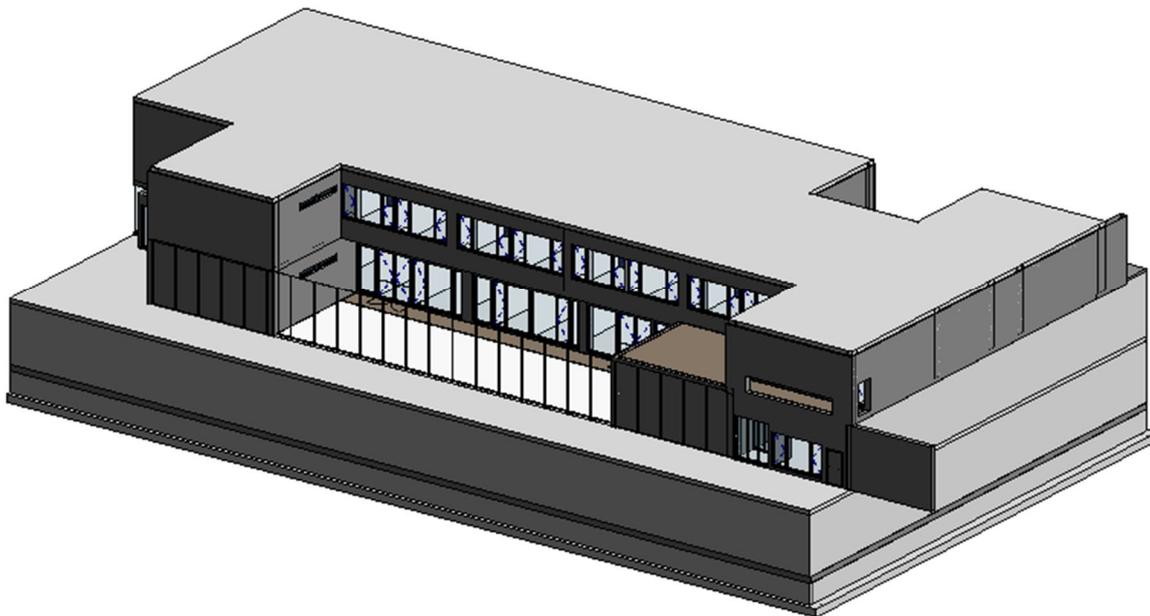


Figura 40 – Perspectiva 3D do Modelo Integrado (arquitetura + estrutura)

4. MODELO BIM 4D

Tradicionalmente, um diretor de projeto sobrepõe a informação recebida dos diversos projetistas por forma a conciliar as diversas especialidades, tais como arquitetura, estrutura, AVAC, eletricidade, detecção de incêndio, intrusão, abastecimento de águas, águas residuais, águas pluviais, etc.. No entanto, esta conciliação, devido às ferramentas normalmente utilizadas, só é possível realizar sobre o desenho 2D, o que torna a detecção de incongruências ou incompatibilidades uma tarefa muito complicada, sendo necessário recorrer à percepção espacial para que se possa idealizar o produto final.

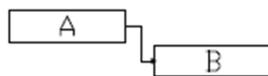
O processo de construção apoiado em modelos 3D faseados é uma base a considerar no futuro pelas empresas de construção. É um conceito que permite economizar em tempo e custos, pois rapidamente podem ser executadas simulações em função do parâmetro tempo. A simulação da construção em meio virtual permite coordenar a informação do desenho e do planeamento, servindo para sincronizar e analisar as alterações impostas entre o modelo, o custo e o cronograma. A modelação da construção surge assim como uma nova capacidade que pode apoiar as empresas de construção. O executar do modelo da construção deve criar um modelo virtual que possa ser utilizado no acompanhamento da obra e apoiar a estimativa de custos e o agendamento de tarefas. Este tipo de modelo é um modelo 4D.

O modelo BIM criado pelos projetistas, admite que o empreiteiro possa necessitar de modelar componentes adicionais e temporários, como por exemplo, andaimes, áreas de armazenamento e guindastes, ou, ainda, acrescentar informação específica por forma a obter modelos BIM mais completos e que reflitam o processo de construção. A informação relativa a trabalhos temporários é importante na construção. O modelo BIM 4D da construção deve conter os componentes construtivos e, ainda, a informação adicional referente aos trabalhos de cariz temporário, que servem de suporte à construção, nomeadamente a colocação de andaimes, escavações, cofragens entre outros por forma a proporcionar um planeamento tão realista quanto possível.

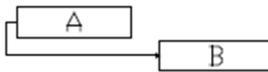
4.1. Planeamento da construção

Segundo PMBOK Guide 2008 (PMI, 4ª edição), um projeto é “um esforço temporário com o objectivo de produzir um produto ou serviço único”. No planeamento da construção de um empreendimento apesar de poder ser identificadas semelhanças entre os vários edifícios, existem sempre especificidades próprias tais como a caracterização do local de implantação, os processos construtivos, o tipo de utilização, entre outros. Planear uma obra consiste na realização de um plano de atividades e indexá-las a um calendário. O objectivo é decompor a obra em atividades ou tarefas e definir para cada uma delas datas de início e de fim de execução, assim como estabelecer a relação

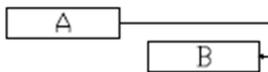
entre as atividades. A construção de um empreendimento tem uma seqüência, com atividades precedentes e sucessoras em que uma atividade tem uma determinada duração, sendo as atividades precedentes aquelas que começam ou terminam antes de outra e as atividades sucessoras aquelas que dependem do início ou conclusão de outra. Podemos distinguir quatro tipos de interdependências, podendo ainda cada uma conter um atraso (“lag”) ou um avanço (“lead”). Identificam-se assim quatro tipos de precedências entre atividades (Henriques, 2014):



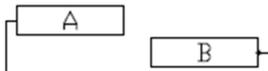
Fim – Início: a atividade B deve ser iniciada n dias depois de finalizada a atividade A



Início – Início: a atividade B deve ser iniciada n dias depois de iniciada a atividade A



Fim – Fim: a atividade B deve ser finalizada n dias depois de finalizada a atividade A



Início – Fim: a atividade B deve ser finalizada n dias depois de iniciada a atividade A

Os conceitos de *lag* e de *lead* estendem as 4 precedências identificadas acima, adicionando atrasos (*lag*) ou antecipações (*lead*) á tarefa subsequente. Um exemplo prático é a adição de um *lag* de n dias após a betonagem de um pavimento, antes do início da tarefa seguinte, por forma a permitir a secagem do betão.

O planeamento e calendarização da construção englobam a seqüência de atividades no espaço e no tempo, considerando a alocação e aquisição de recursos, as quantidades, as restrições espaciais, entre outros. A estimativa da duração de cada atividade é uma fase determinante para o bom planeamento do projeto e obra, uma vez que o controlo de prazos depende da correta estimativa dos períodos de execução. O período de tempo a associar a cada tarefa é definido com base na experiência e de dados de antigos projetos semelhantes. Um adequado planeamento requer um correto equilíbrio entre as três vertentes: tempo, custo e qualidade. O processo de planeamento envolve as seguintes etapas fundamentais:

- Identificar as atividades;
- Estimar a duração de cada atividade;
- Definir a dependência entre as atividades;
- Identificar os recursos;
- Definir as capacidades disponíveis dos recursos.

É necessário incluir no planeamento da obra modo de controlar o desenvolvimento e acompanhamento da obra. É importante que se consiga, ao longo da sua execução, obter informação que permita atualizar o planeamento estabelecido e que forneça informação útil para redefinir o planeamento. A informação recolhida deve ser utilizada para corrigir eventuais desvios ao plano, que está a ser aplicado.

No caso de estudo, a uma obra já está concluída. O planeamento estabelecido foi facultado em *Ms Project*, não tendo havido a oportunidade de acompanhar a elaboração do planeamento, quer inicial, quer as possíveis atualizações que possam ter ocorrido ao longo da execução da obra. D sua análise verifica-se que a informação cedida estava fragmentada e dispersa, existindo um ficheiro com o planeamento da parte estrutural e outro, mais geral, que incluía também a vertente de arquitetura.

Inicialmente procedeu-se à compilação da informação num único ficheiro de *Ms Project*, de forma a poder analisar-se, de um modo global, o planeamento da obra. A figura 41 ilustra uma parte desse planeamento, em *Ms Project*. Como não foi criado o modelo 3D de todo o edifício assim como não foi facultada a informação sobre o terreno, existem algumas tarefas que não serão associadas a elementos do modelo de estudo.

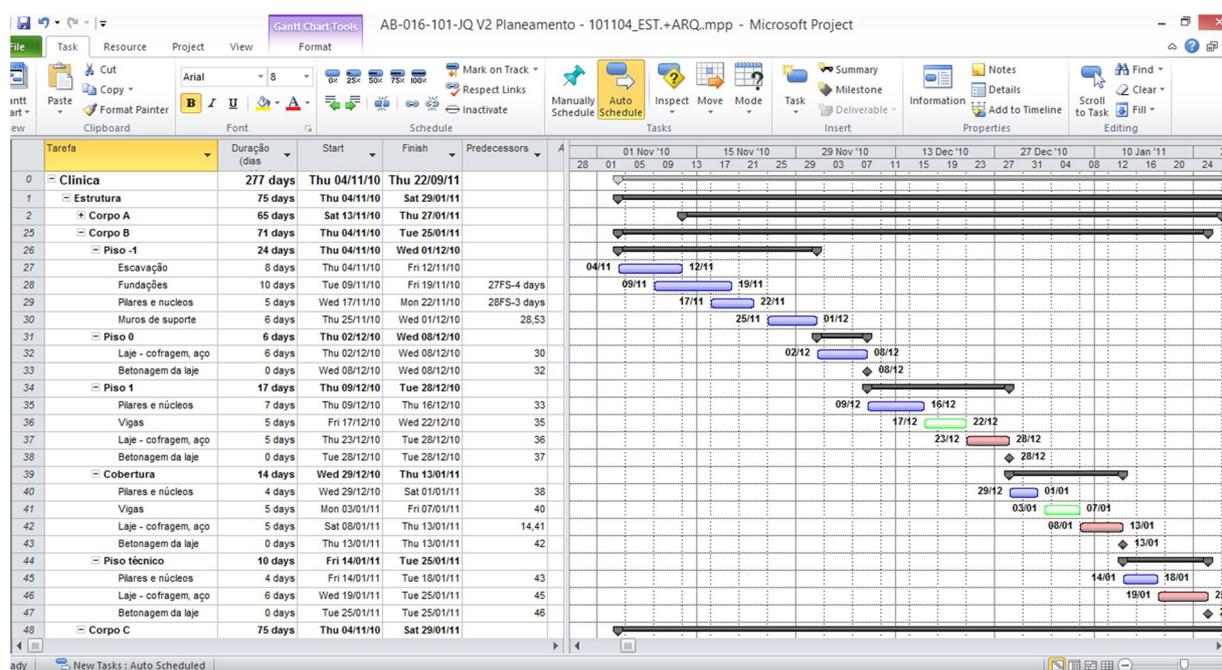


Figura 41 – Parte do ficheiro Ms Project do planeamento

4.2. Criação do modelo BIM 4D

A geração do modelo BIM 4D de edifícios é baseada na adição a cada elemento do modelo 3D informação temporal. No modelo 4D, os aspectos temporais e espaciais do projeto estão relacionados de forma a permitir a visualização do processo de construção e, assim, apoiar um melhor entendimento do cronograma e a detecção de erros e problemas potenciais, previamente à execução da obra.

O desenvolvimento do modelo 4D, do caso de estudo, envolveu as seguintes atividades:

- Revisão do planeamento facultado pela equipa do projeto;
- Exportação dos modelos 3D do Revit para o visualizador BIM *Navisworks*;
- Importação do planeamento, definido no *Ms Project*, para o *Navisworks*;
- Associação das atividades do cronograma com os elementos do modelo 3D.

Com a criação do modelo BIM 4D pretende-se descrever o modo de explorar um *software* BIM 4D por forma a ilustrar as suas valências aplicadas ao planeamento da construção.

4.2.1. *Software* BIM 4D utilizado no caso de estudo

Para a realização do modelo 4D foi utilizado o visualizador BIM *Navisworks*, que permite integrar o modelo BIM 3D, realizado em Revit, com o planeamento elaborado no *Ms Project*. A escolha deste *software* deveu-se, igualmente, por ser possível obter licença de estudante para o desenvolvimento do trabalho.

O *Navisworks* é um programa informático de coordenação multidisciplinar capaz de agregar diferentes projetos de especialidade e de os associar às dimensões 4D e 5D (tempo e custo). Os valores destas dimensões podem ser definidos no próprio programa, ou serem introduzidos por importação de dados obtidos noutros programas, tais como o *Ms Project* ou o Primavera. Este *software* é, essencialmente, orientado para o planeamento e gestão do projeto, antes e durante a construção.

O *Navisworks* apresenta, ainda, um grande potencial, no que se refere à análise de incompatibilidades entre especialidades. Permite confrontar todos os projetos de especialidade simultaneamente, ou individualmente, e avaliar a existência de conflitos durante todo o processo construtivo, previamente definido em *Navisworks*. O *software* identifica os conflitos e permite realizar relatório de erros, assim como, anexar imagens quer do conflito quer de possíveis propostas de resolução. Admite ainda o estabelecimento de distâncias mínimas entre elementos, sendo detetado como conflito sempre que a proximidade entre esses elementos seja inferior à indicada.

O *Navisworks* é um *software* que auxilia a arquitetura, a engenharia e a construção, integra, partilha e prevê modelos gravados em diversos formatos com todos os detalhes do projeto. Contudo não é um *software* de modelação e, portanto, não permite a alteração de elementos dos modelos.

No *software Navisworks*, existem três formatos diferentes de ficheiros gerados pelo programa:

- O formato NWC (*Navisworks Cache File*) é o formato padrão do *Navisworks* e está relacionado com o ficheiro de anexo original (neste caso, ao ficheiro RVT do Revit). Este formato comprime o modelo até 90% do tamanho original;
- O formato NWF (*Navisworks Set File*) é o formato de trabalho e está vinculado aos arquivos originais;
- O formato NWD (*Navisworks Document File*) é, normalmente, o ficheiro usado para partilhar com os restantes membros da equipa, em que podem ser incluídas anotações. Contém toda a geometria do modelo.

4.2.2. Importação da informação

Para gerar o modelo 4D é necessário exportar para o *Naviswork* os modelos 3D, da arquitetura e da estrutura, e o planeamento da construção, para que seja possível efetuar a vinculação dos elementos dos modelos à tarefas correspondentes. Quanto maior a qualidade e detalhe do modelo e da calendarização, melhor será o resultado final, facultando mais informação.

No entanto, a definição de uma simulação 4D mais detalhada requer que os elementos construtivos sejam modelados de uma forma que reflita o processo de construção real planeado. Desta forma na modelação 3D do edifício devem ser consideradas estratégias como:

- Os elementos da construção que sejam compostos por várias camadas e que serão instalados ou executados em instantes temporais diferentes, devem ser decompostos, no processo de modelação, em partes distintas para permitir o planeamento preciso das várias camadas individuais;
- Os elementos devem ser modelados por pisos ou zonas que correspondam ao processo de construção real.

Na geração do modelo 4D o primeiro passo é exportar os modelos do *Revit* para o *software Navisworks*, o qual pode ser efetuado de duas formas:

- Abrindo o modelo de Revit (ficheiro RVT) diretamente através do *Navisworks*, (figura 42);
- Exportar o modelo de Revit para o formato NWC através de uma *add-in*, (figura 43). Esta foi a opção usada no caso de estudo.

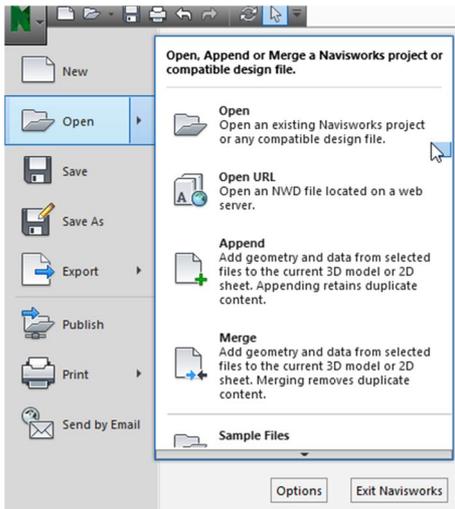


Figura 42 – Abertura do modelo Revit diretamente no *Navisworks*

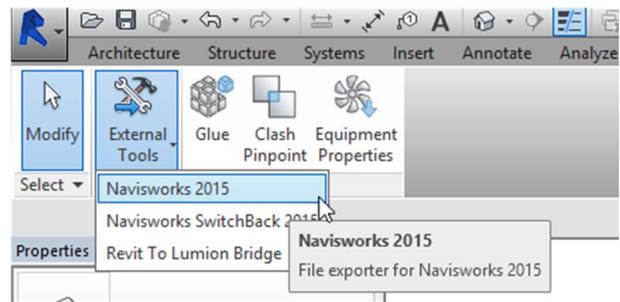


Figura 43 – Exportação do modelo Revit para formato NWC através de *add-in* instalado no Revit

Após a exportação dos dois modelos 3D, o de arquitetura e o de estruturas, obtêm-se dois ficheiros em formato NWC. No *Navisworks* é aberto inicialmente um dos ficheiros e, posteriormente, é adicionado o outro, através da opção “Append”. Pode ser também usada a opção “Merge”, mas, neste caso, os elementos duplicados são removidos. A figura 44 ilustra os dois modelos do caso de estudo já no ambiente do *Navisworks*.

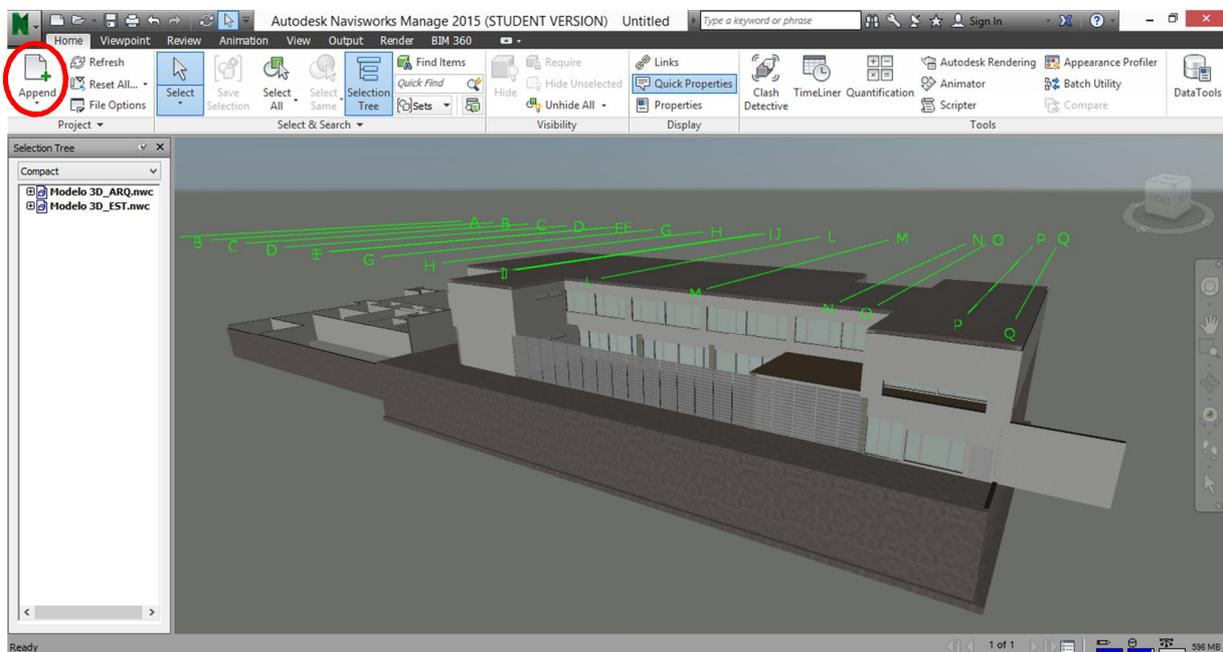


Figura 44 – Modelos 3D do caso de estudo (arquitetura e estrutura) em ambiente *Naviswork*

De seguida o planeamento, criado no *MSProject*, é importado pelo *Navisworks*, através do comando “*timeliner*”, como ilustra a figura 45. Para a adição do ficheiro com o planeamento é selecionado, no separador “*Data Sources*” do “*Timeliner*”, o tipo de ficheiro pretendido. É possível adicionar diferentes tipos de ficheiros, tendo sido no caso de estudo selecionado o “*Microsoft Project 2007-2013*” (figura 46).

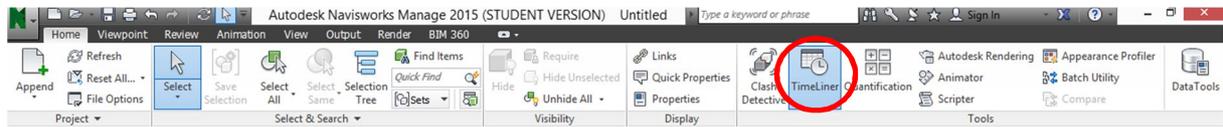


Figura 45 – Comando “*Timeliner*”

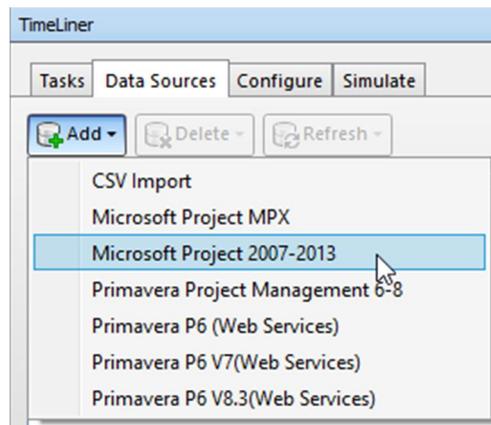


Figura 46 – Comando para importar o ficheiro de planeamento

Quando o calendário é adicionado possível remapear os campos ou colunas do *MS Project* para associar a informação ao “*Timeliner*”. Mesmo se o mapeamento não estiver completamente definido alguns parâmetros são automaticamente mapeados. De seguida, o arquivo é anexado ao projeto do *Navisworks* e são importadas as tarefas. 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 *MSProject* (figura 47). Se for necessário efetuar alguma alteração às datas de cada tarefa, no ficheiro base, é possível através da opção “*Synchronize*” atualizar as alterações, mas mantendo a estrutura existente no *Navisworks* não se perdendo desta forma as associações já efetuadas. Da análise das colunas existentes no *Timeliner* verifica-se que não é possível atribuir precedências a uma tarefa, ou seja, a análise de controlo da obra é feita apenas por comparação das datas de início e fim planeadas e as reais. Neste sentido, pode ser útil utilizar o ficheiro de origem para alterar as data, verificando as interligações entre as atividades por forma a não prejudicar os caminhos críticos e, posteriormente, atualizar o planeamento no *Navisworks* para a análise visual.

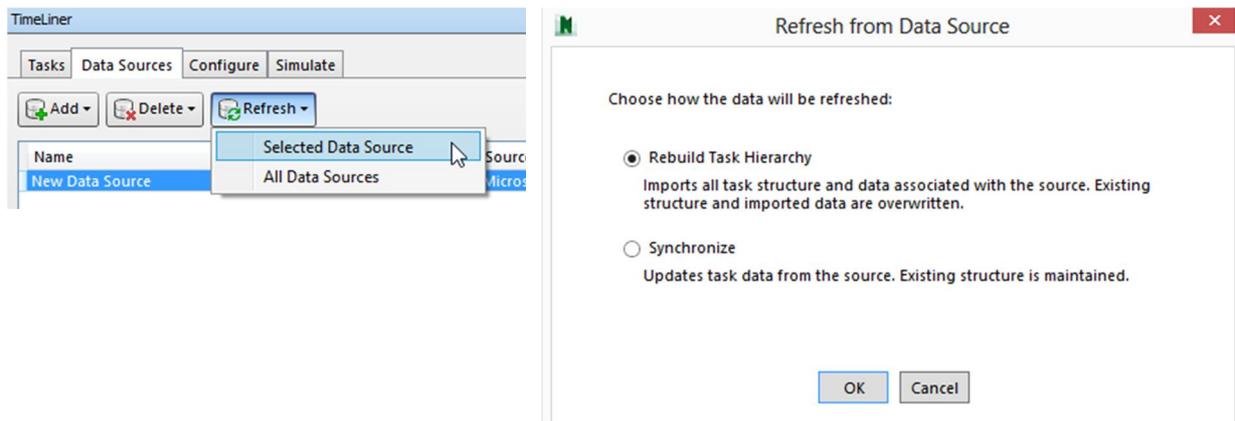


Figura 47 – Importação das tarefas para o “*Timeliner*”

4.2.3. Interligação da informação

Importados os modelos 3D e a calendarização pelo *Navisworks*, o passo seguinte, é efetuar o relacionamento dos elementos da construção, modelados em *Revit*, e as tarefas do planeamento. Para tal é necessário seleccionar e agrupar os elementos construtivos correspondentes a cada atividade definida.

A seleção dos elementos do modelo é feita através da criação de “*Sets*” sendo possível a sua criação das seguintes formas:

- Selecionar no modelo os elementos pretendidos;
- Selecionar os elementos através do comando “*Selection tree*”;
- Procurar os elementos através das suas propriedades. Por exemplo pode ser adicionado no *Revit* um parâmetro ID aos elementos que terão o mesmo ID que as atividades no cronograma. Assim, e de forma automática, é possível seleccionar esses elementos no *Navisworks*.

Ao ser seleccionado um elemento do modelo, pode-se verificar que a informação adicionada, no modelo original é preservada. Os “*sets*” permitem que, de uma forma rápida, seja possível seleccionar grupos com os elementos correspondentes a cada tarefa do planeamento. Quando um determinado “*set*” é seleccionado, os elementos construtivos respectivos aparecem destacados no modelo, sendo assim possível atualizar os elementos de um determinado “*set*”.

No caso de estudo, para a criação dos diferentes “*sets*” com os elementos da estrutura, foram seleccionados diretamente no modelo os objetos pretendidos e, de seguida, gravado e nomeado o “*set*”, de acordo com as respetivas tarefas do cronograma (figura 48). Foi usado este método pois os elementos não possuíam propriedades que, de forma automática, os permitissem agrupar de acordo com as diferentes tarefas do planeamento.

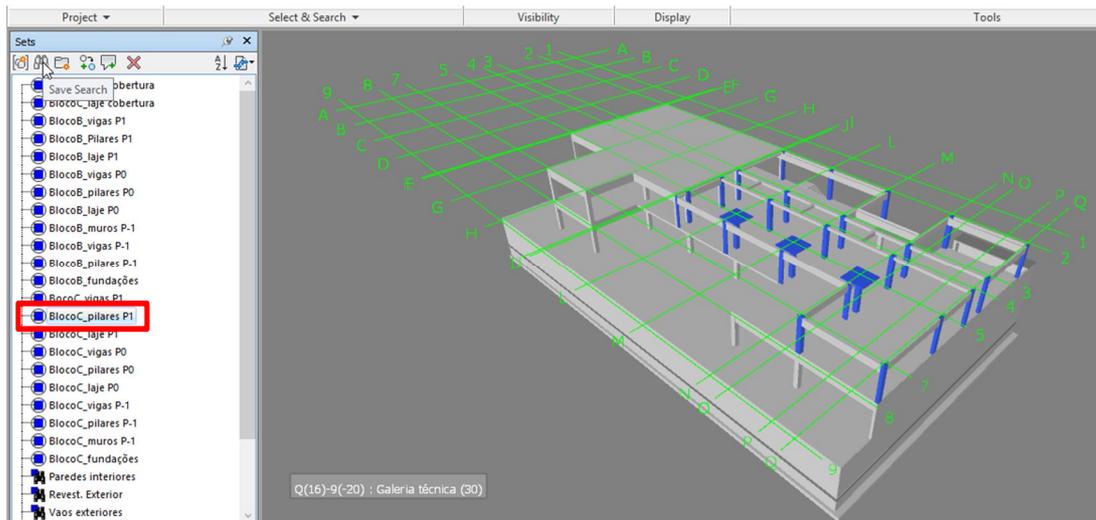


Figura 48 – Exemplo de seleção de um “set”

No modelo de arquitetura, pode ser preferível adaptar as paredes no modelo original do Revit para que estas sejam apresentadas pelos seus constituintes, em vez de um elemento composto. Esta decomposição de um elemento nos seus componentes constitutivos é feita no separador “*Modify*” em “*create parts*”. Esta capacidade facilita o trabalho da seleção dos componentes no *Navisworks*, que serão executados, em obra, em instantes temporais diferentes, para posterior visualização da simulação da construção. A seleção dos “sets” dos componentes da arquitetura a seleção foi feita, essencialmente, através do comando “*Find Items*” sendo atribuídas as condições de procura (figura 49). Este método de seleção permite uma menor margem de erro na seleção dos elementos. A serem definidos os “sets” através da seleção por propriedades são obtidos grupos dinâmicos de elementos, garantindo que a atribuição dos “sets” se mantem, mesmo que o modelo seja atualizado, desde que as propriedades utilizadas para a sua definição se mantenham.

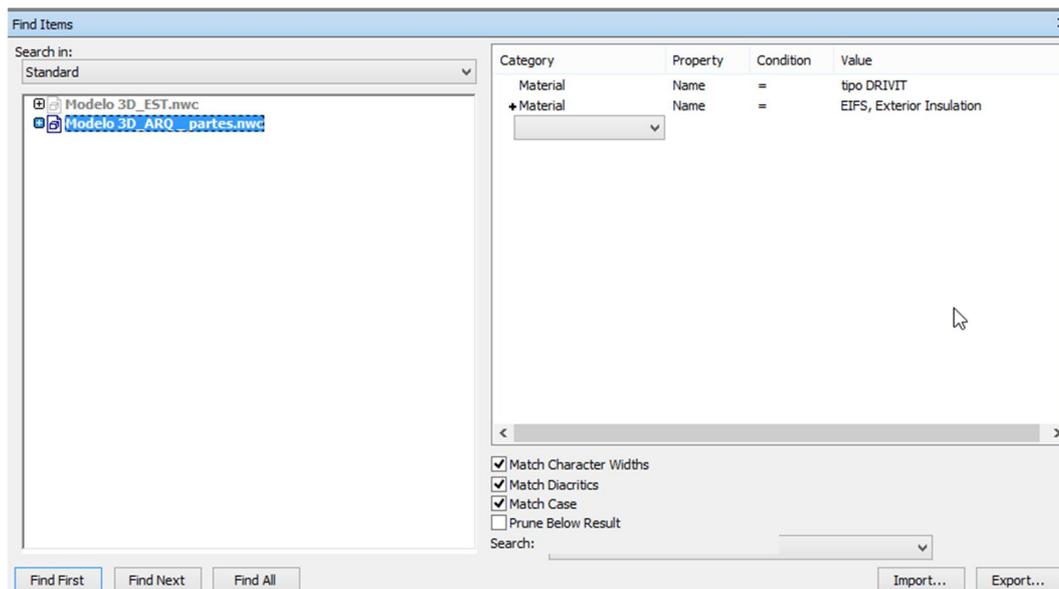


Figura 49 – Quadro para seleção de componentes do modelo através da procura das suas propriedades

Para associar um “set” a cada atividade do cronograma do planeamento, é necessário, fazer a indexação do set à respetiva atividade. Para tal, na coluna “attached”, do *timeliner*, é selecionada a opção “attached set” e, posteriormente, é selecionado o “set” pretendido, como se ilustra na figura 50. Em alternativa pode-se simplesmente “arrastar” o “set” criado para a coluna “attached”, do *timeliner*, na tarefa correspondente.

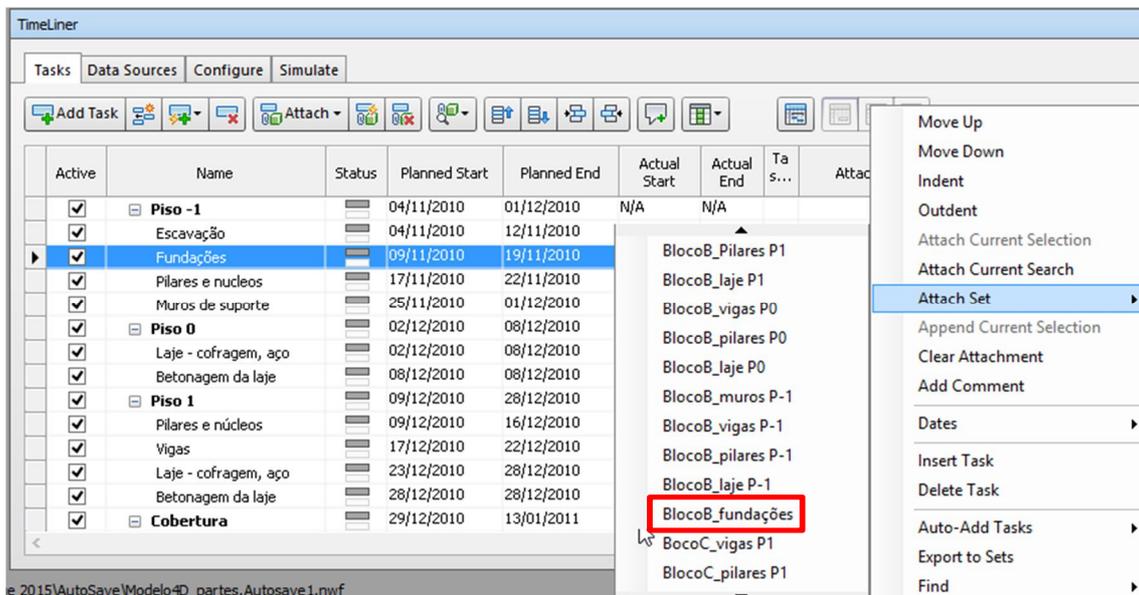


Figura 50 – Ligação dos “Sets” criados às tarefas do planeamento

Esta indexação, entre os sets e as tarefas, pode ser feita de uma forma manual, que foi a forma usada no caso de estudo, ou através de regras. No caso de existirem muitas tarefas, o processo manual pode ser moroso. A opção “Auto-Attach Using Rules” é mais vantajosa pois permite a ligação automática através dos nomes dos sets. Este processo é eficiente desde que se tenham criado as seleções e as tarefas com nomes idênticos. No planeamento fornecido as tarefas foram distribuídas por blocos, havendo tarefas com nomes semelhantes em blocos diferentes, o que impossibilita o uso do comando “attached” através de regras. Para facilitar este processo é preferível atribuir nomes diferentes às tarefas e não apenas agrupá-las por blocos. Por exemplo, usar designações como “pilares piso 0_bloco B” e “pilares piso 0_bloco C” para as diferenciar. Desta forma, é possível realizar um planeamento por bloco, por piso e por tipo, usufruindo das vantagens da anexação automática. A figura 51 ilustra o quadro da “Timeliner” com os “Sets” ligados às tarefas do planeamento

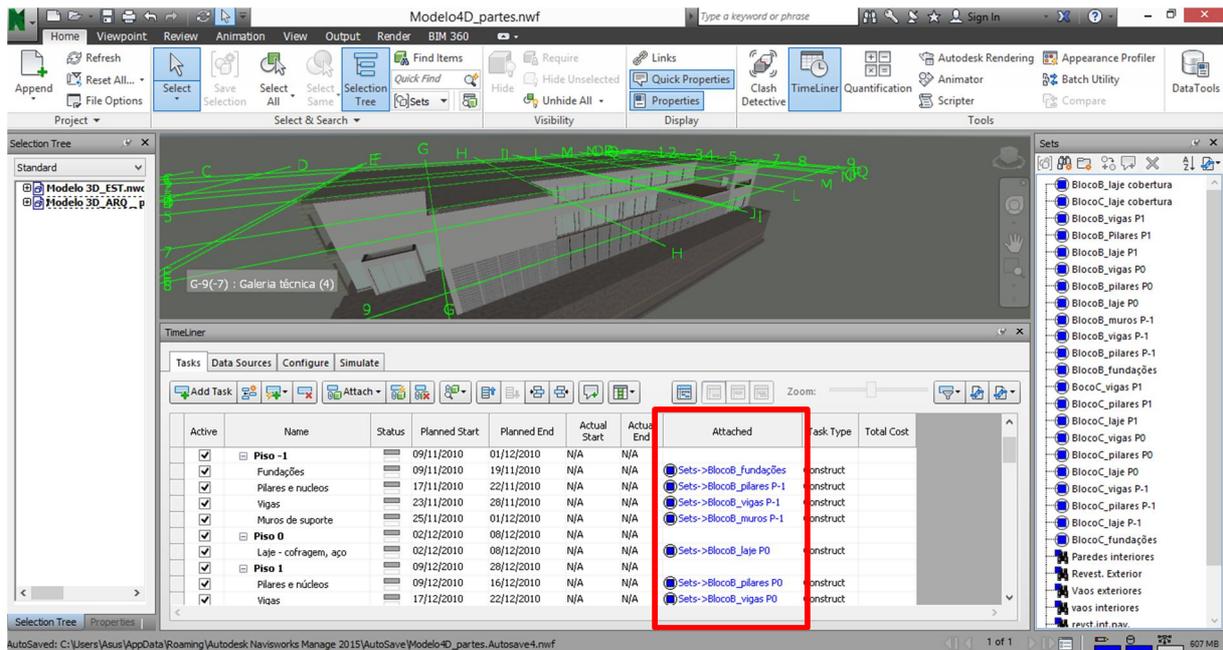


Figura 51 – Timeliner com a atribuição dos sets às tarefas

A cada atividade do cronograma é, normalmente atribuído um tipo de tarefa. O Navisworks apresenta três categorias pré-definidas: construção, temporário e demolição. Essas categorias descrevem como os componentes serão visualizados durante as datas das atividades no modelo 4D: os elementos ligados à categoria “Construção” são visualizados no início da atividade e permanecem visíveis; os elementos relacionados com atividades do tipo “Temporário” aparecem no início da atividade, mas desaparecem no final da tarefa; por fim, os elementos associados à categoria “Demolição” são visíveis a partir do início da programação e desaparecem no fim da atividade. O software admite adicionar mais categorias, assim como definir as características de visualização para cada categoria. A figura 52 ilustra o comando da “Timeliner” onde se podem efetuar estas configurações.

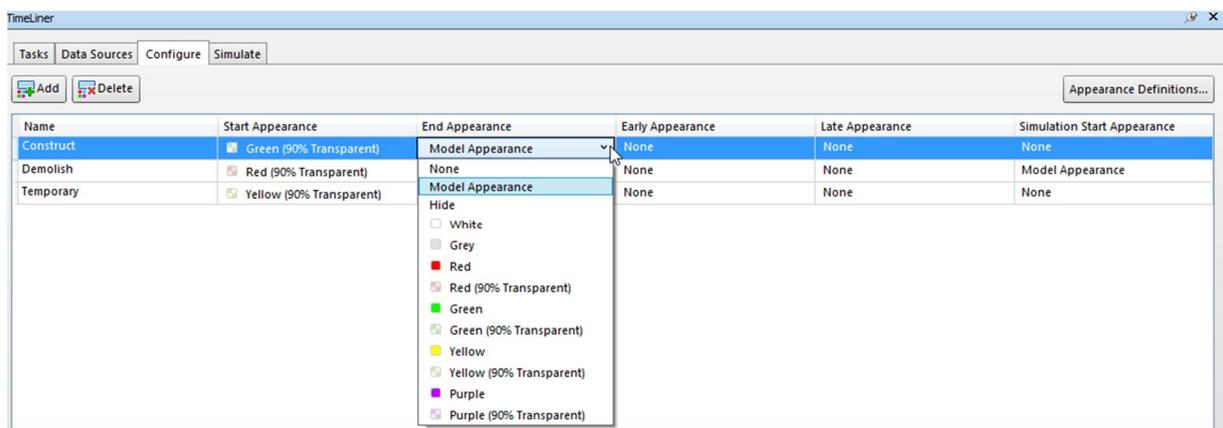


Figura 52 – Configuração da categoria das tarefas do planeamento

4.2.4. Simulação da construção

Efetuada a associação dos objetos do modelo às tarefas consideradas procede-se com a simulação da construção. Previamente, convém verificar contudo se:

- As tarefas estão ativas;
- A categoria do tipo de tarefa lhe foi associada e se está correto;
- Todos os elementos geométricos presentes no modelo foram associados a alguma tarefa.

De seguida é apresentada a simulação da construção. Para tal, no separador “*Simulate*” do *Timeliner* seleciona-se a opção “*Play*” e a simulação da construção planeada é visualizada. A figura 53 mostra alguns instantes da simulação do caso de estudo.

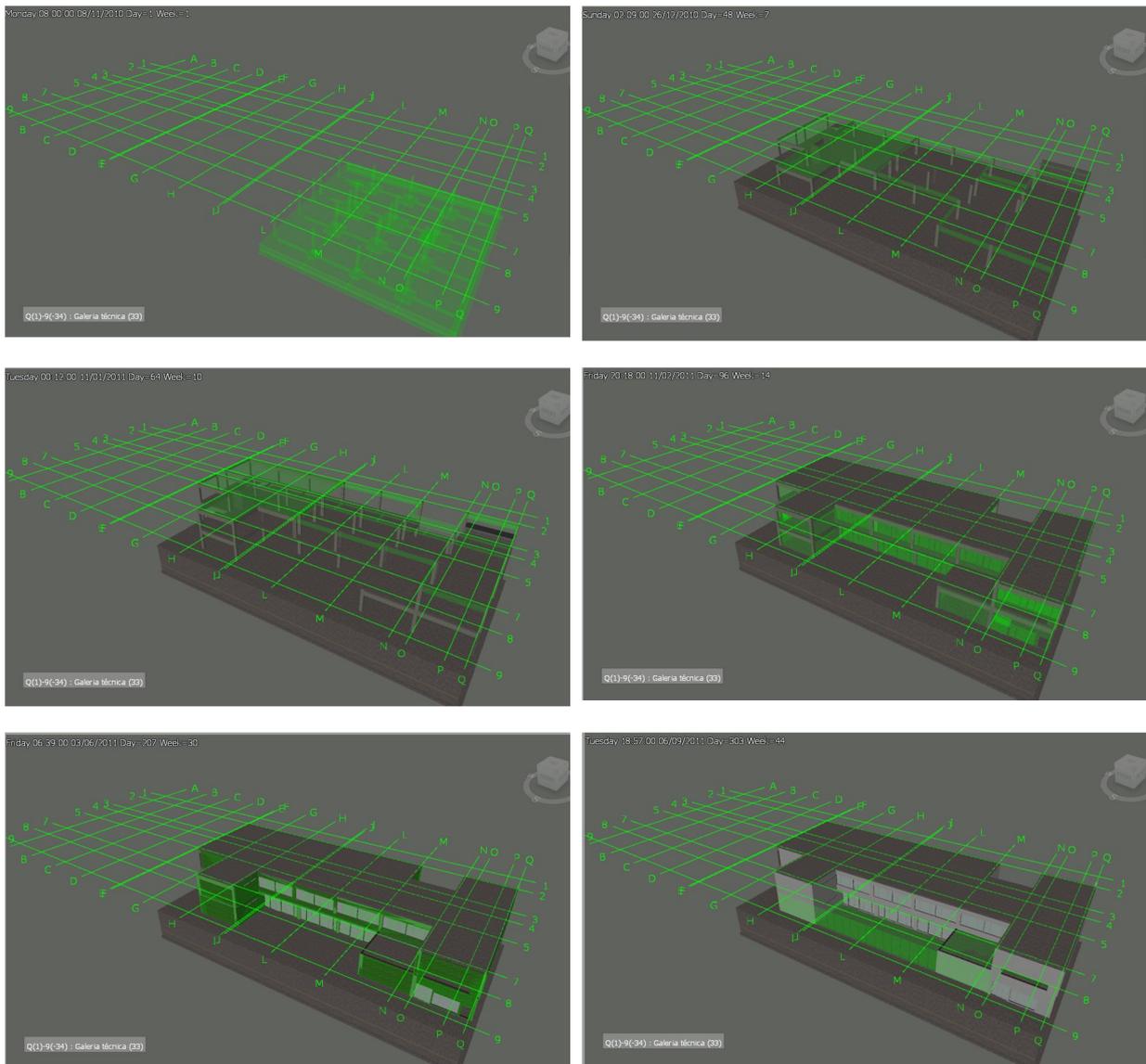


Figura 53 – Imagens retiradas da simulação do planeamento da construção no *Navisworks*.

Legenda: na cor verde aparecem os elementos que estão em fase de construção.

È possível exportar e arquivar em filme a simulação obtida através do comando “*Animation*” no separador “*Output*”. Ao escolher este comando, surge uma janela de diálogo onde é possível seleccionar os parâmetros da exportação com as seguintes opções (figura 54):

- **Source** – permite identificar de onde vem a animação;
- **Renderer** – permite seleccionar o tipo de renderização;
- **Output** – permite definir o formato de exportação da animação;
- **Size** – permite definir o tamanho da imagem:
 - **Explicit** – permite definir a largura e altura;
 - **Aspect Ratio** – permite configurar 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 o FPS mais suave será a animação. No entanto um valor para este parâmetro muito elevado irá aumentar consideravelmente o tempo de renderização. Normalmente é aceitável usar 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 a imagem, no entanto a geração do ficheiro é mais demorada. Na maioria das situações o valor de 4x é adequado

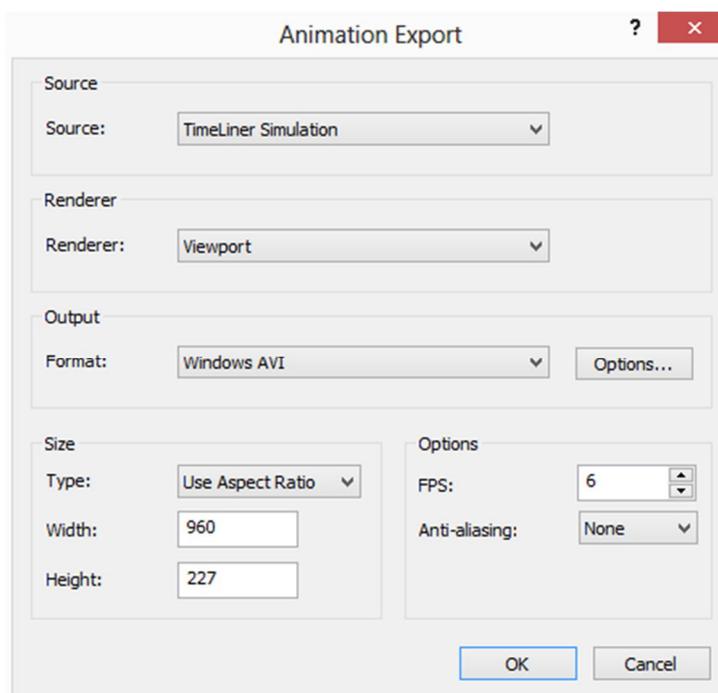


Figura 54 – Opções para exportação da simulação da construção

4.2.5. Interação com o modelo 4D

Neste item são analisadas as potencialidades do modelo BIM 4D criado, na gestão de projetos. Os modelos 4D possibilitam a visualização da sequência da construção na sua totalidade ou, apenas, algumas sequências. É possível simular a construção do edifício sendo observadas as atividades que vão sendo concluídas em determinado momento no tempo, aparecendo realçadas com uma cor diferente enquanto estão a ser executadas.

Em termos de capacidade de visualização o *Navisworks* possibilita a navegação pelo modelo, como ilustra a figura 55. Assim o técnico pode, mais facilmente, detectar visualmente erros de planeamento, como reduzir incertezas e ajudar na comunicação e coordenação da obra. A navegação pelo modelo é acionada através do comando “*Navigate*” no separador “*Viewpoint*”. Na navegação é preciso, contudo, alguma prática na movimentação pelo modelo.

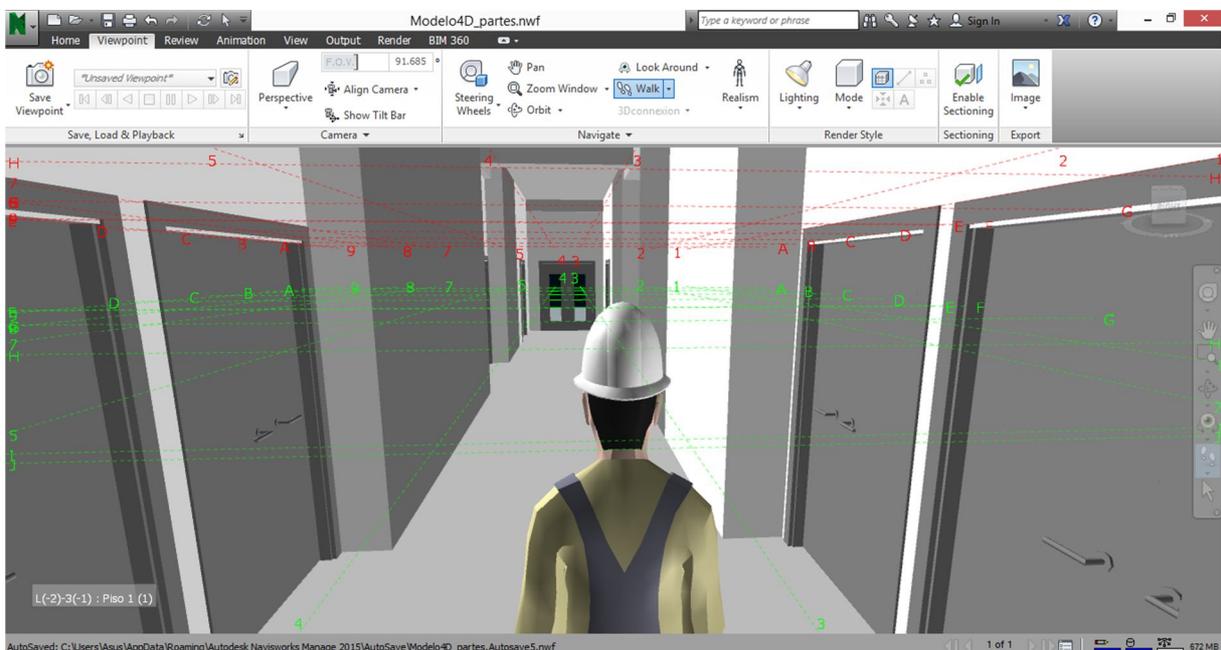


Figura 55 – Imagem do interior do edifício, obtida em modo “walk”

Além da navegação pelo interior e exterior do modelo, o *Navisworks* permite efetuar cortes do modelo, obter medições e incluir comentários escritos em determinadas vistas. Esta opção apoia a comunicação entre os diferentes intervenientes, por exemplo, quando se detecta alguma interferência entre elementos ou surja alguma dúvida de projeto.

O *Navisworks* não permite alterações diretamente no modelo BIM 4D. Quando há necessidade de reagendar as atividades do cronograma ou modificar o modelo 3D da construção é preciso voltar ao *software* BIM original e efetuar as alterações. Quando as alterações são efetuadas no modelo 3D, o ficheiro é, posteriormente, inserido no *Navisworks* através da opção “*Merge*” no comando “*Append*”. O novo modelo sobrepõe-se ao anterior e apenas as mudanças são consideradas, mantendo as

ligações aos *sets* anteriormente criados. Outra opção para a atualização do modelo é o uso da ferramenta “*switchback*”, pois permite abrir o ficheiro de origem e funciona como uma ferramenta de comunicação entre os dois *softwares*. Esta ferramenta pode ser útil, por exemplo, para alterar elementos específicos como portas, janelas ou para resolver colisões detectadas entre elementos. Nos casos em que há necessidade de atualizar o cronograma do planeamento, este deverá ser feito na ferramenta de planeamento MSProject e, posteriormente, sincronizar, no *Naviswork*, em “*Timeliner*” > “*Data Sources*” > “*Refresh*”, escolhendo depois a opção “*Synchronize*”.

Outra das potencialidades do modelo 4D é a monitorização da execução da obra, ou seja, a comparação entre o planeado e o real. Numa obra é importante ter controlo sobre o planeamento para que a qualquer momento seja possível conhecer se os prazos estabelecidos estão a ser cumpridos ou não. A figura 56 ilustra os símbolos que aparecem no “*Timeliner*” do *Navisworks* para relacionar o estado da tarefa com o planeado.

-  Terminou antes do início planejado.
-  Início antecipado, conclusão antecipada.
-  Início antecipado, conclusão no prazo.
-  Início antecipado, conclusão atrasada.
-  Início no prazo, conclusão antecipada.
-  Início no prazo, conclusão no prazo.
-  Início no prazo, conclusão atrasada.
-  Início atrasado, conclusão antecipada.
-  Início atrasado, conclusão no prazo.
-  Início atrasado, conclusão atrasada.
-  Começou após o início planejado.
-  Sem comparação.

Figura 56 – Ícones de *status* de cada tarefa do *Navisworks* (Autodesk *Navisworks*, 2012)

Estes símbolos ajudam a ter uma visão geral da comparação entre o planeado e o real. Contudo no *Navisworks* também estas variações são representadas de forma visual ajudando a perceber, quer em termos de tempo como de espaço, como é que cada alteração pode afectar o desenvolvimento do projeto. A figura 57 mostra a tabela do *Timeliner* do *Navisworks*, do caso de estudo, com atribuição de datas atuais de início e de fim, sendo possível visualizar alguns dos símbolos descritos anteriormente.

Além da representação do estado da tarefa, comparando as datas entre o real e o planeado, na tabela do *Timeliner*, o software admite efetuar simulações comparativas. Nessas animações é possível visualizar, através da atribuição de diferentes cores, os elementos que têm um início precoce ou que estão atrasados.

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End	Actual Start	Actual End	Attached	Task Type	Total Cost
<input checked="" type="checkbox"/>	Piso - 1		09/11/2010	01/12/2010	09/11/2010	04/12/2010			
<input checked="" type="checkbox"/>	Fundações		09/11/2010	19/11/2010	09/11/2010	19/11/2010	Sets->BlocoB_fundações	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares e núcleos		17/11/2010	22/11/2010	17/11/2010	17/11/2010	Sets->BlocoB_pilares P-1	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Vigas		23/11/2010	28/11/2010	23/11/2010	23/11/2010	Sets->BlocoB_vigas P-1	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Muros de suporte		25/11/2010	01/12/2010	25/11/2010	04/12/2010	Sets->BlocoB_muros P-1	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Piso 0		02/12/2010	08/12/2010	04/12/2010	10/12/2010			
<input checked="" type="checkbox"/>	Laje - cofragem, aço		02/12/2010	08/12/2010	04/12/2010	10/12/2010	Sets->BlocoB_laje P0	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Piso 1		09/12/2010	28/12/2010	11/12/2010	26/12/2010			
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares e núcleos		09/12/2010	16/12/2010	11/12/2010	16/12/2010	Sets->BlocoB_pilares P0	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Vigas		17/12/2010	22/12/2010	17/12/2010	20/12/2010	Sets->BlocoB_vigas P0	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Laje - cofragem, aço		23/12/2010	28/12/2010	21/12/2010	26/12/2010	Sets->BlocoB_laje P1	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Cobertura		29/12/2010	13/01/2011	25/12/2010	13/01/2011			
<input checked="" type="checkbox"/>	Pilares e núcleos		29/12/2010	01/01/2011	25/12/2010	29/12/2010	Sets->BlocoB_Pilares P1	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Vigas		03/01/2011	07/01/2011	01/01/2011	06/01/2011	Sets->BlocoB_vigas P1	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Laje - cofragem, aço		03/01/2011	13/01/2011	07/01/2011	13/01/2011	Sets->BlocoB_laje cobert...	Construct	
<input checked="" type="checkbox"/>	Corpo C		03/11/2010	19/01/2011	08/11/2010	30/11/2010			

Figura 57 – Tabela do *Timeliner* do *Navisworks* com atribuição de datas atuais e indicação do seu *status*

As opções de visualização da simulação do cronograma, que se podem escolher nos “*settings*” do “*Timeliner*” (Autodesk *Navisworks*, 2012) são:

- **Planned:** em que mostra apenas a simulação conforme o cronograma planeado. Esta opção é normalmente utilizada durante a fase de planeamento (simulação apresentada no subcapítulo anterior);
- **Planned (Actual differences):** exhibe as diferenças entre o ‘cronograma’ real e o planeado, e são apresentadas sobre as tarefas planeadas. Considera apenas o período entre as datas planeadas de início e de fim. Esta opção poderá ser útil para a detecção visual das tarefas com um início tardio e de término mais cedo. A figura 58 ilustra algumas *frames* do modelo 4D com esta opção selecionada. Para tal foram atribuídas ‘datas reais’ fictícias apenas para ilustrar esta capacidade do *software*;

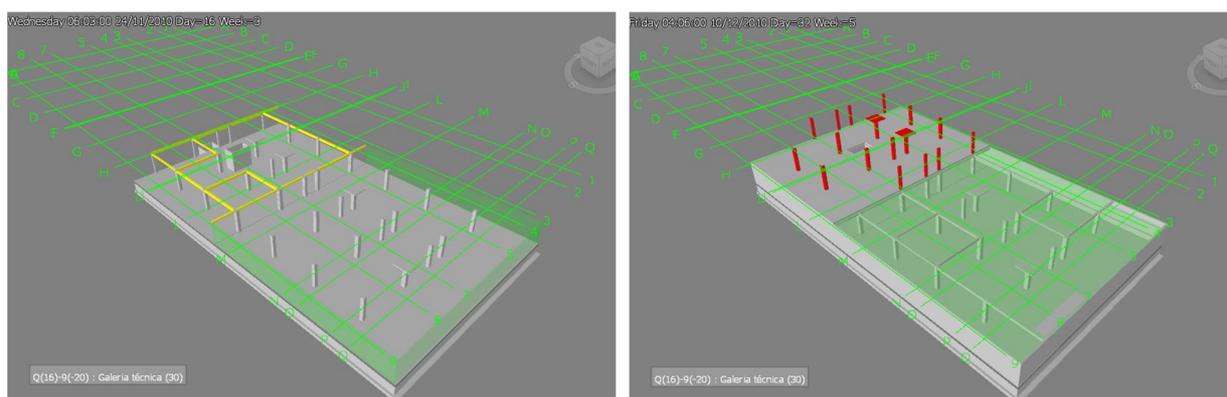


Figura 58 – *Frames* da simulação com configuração *Planned (actual differences)* com elementos com início precoce (amarelo) e atrasados (vermelho)

- **Planned against Actual:** o cronograma planeado e o real são exibidos ao mesmo tempo. Esta opção pode ser útil para visualizar todos os tipos de desvios que as tarefas podem apresentar (figura 59);

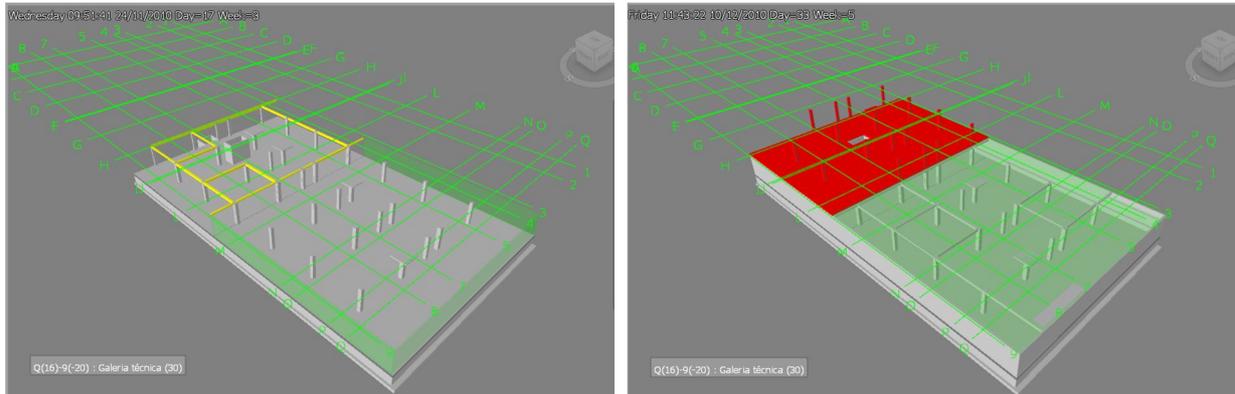


Figura 59 - Frames da simulação com configuração *Planned against actual* com elementos com início precoce (amarelo) e atrasados (vermelho)

- **Actual:** nesta opção apenas o cronograma real é exibido representando as tarefas concluídas e as datas reais;
- **Actual (Planned differences):** exibe as diferenças entre o 'cronograma' planeado e o real, que são apresentadas sobre as tarefas reais e apenas considera o período entre as datas reais de início e de fim. Pode ser usado para detectar visualmente tarefas com um início precoce e término tardio (figura 60).

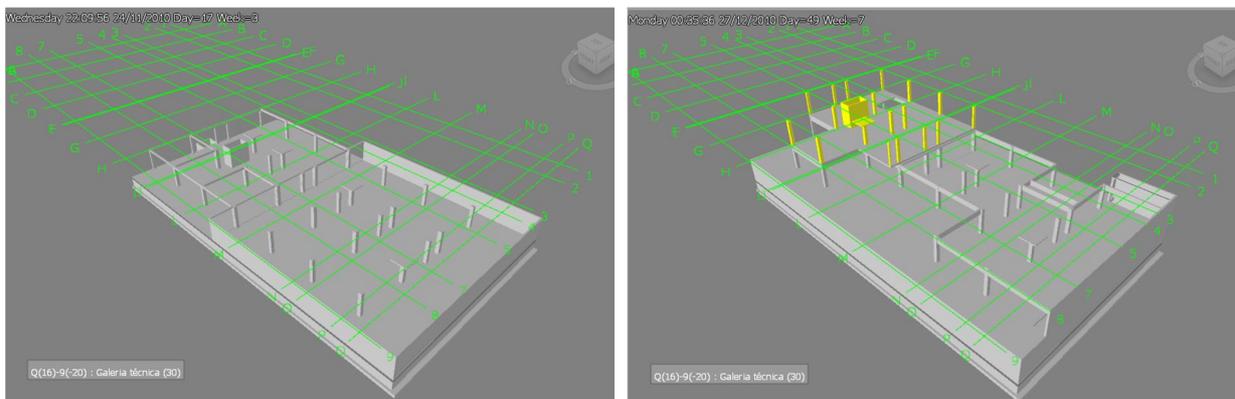


Figura 60 - Frames da simulação com configuração *Actual (Planned Differences)* com elementos com início precoce (amarelo) e atrasados (vermelho)

Da análise das imagens verifica-se que as alterações temporais das tarefas entre o planeado e o real, são exibidas através de configurações de cor. Por defeito as tarefas concluídas no tempo previsto são exibidas a verde, no caso de tarefas com início precoce são representadas a amarelo e quando têm um início tardio surgem a vermelho.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo pretende-se sintetizar algumas das conclusões recolhidas com a parte prática do estudo efectuado, utilizando o *software Navisworks* como uma ferramenta 4D BIM.

5.1. Resultados e discussão

O caso prático permitiu explorar o software Navisworks e detectar alguns dos pontos fortes e limitações do programa. Os pontos fortes a assinalar relativamente ao visualizador BIM 4D utilizado, são:

- As capacidades de visualização do cronograma e de simulação 4D do processo construtivo possibilitado pelo *software Navisworks* apoiam no planeamento do projeto num ambiente colaborativo, desejável no contexto da metodologia BIM. O cronograma estabelecido é visualizado na simulação e admite o seu replaneamento de uma forma bastante flexível;
- Como as ferramentas utilizadas no estudo, o Revit e o *Navisworks*, são produtos da empresa Autodesk, a capacidade de interoperabilidade entre os dois *softwares* é a ideal e, portanto, todos os dados dos objetos paramétricos que compõem os modelos 3D são disponibilizados no *Navisworks*.
- A possibilidade de utilização de um fluxo de trabalho com a associação de parâmetros nos elementos do modelo 3D, semelhantes às respectivas tarefas, facilita o seu agrupamento através de regras de seleção automática;
- A capacidade de navegação possibilitada pelo *Navisworks*, pelo exterior e interior do modelo permite a análise de todas as zonas do edifício e de cada elemento ou grupo de elementos separadamente;
- Relativamente à capacidade de importação, o *Navisworks* admite a opção de importar no formato de dados padrão, o IFC. Tem ainda a capacidade de exportar em vários outros formatos permitindo a partilha do modelo 4D;
- A redução do tamanho relativamente ao ficheiro original do modelo 3D, em Revit, também é um ponto forte pois facilita a navegabilidade do modelo;
- O *Navisworks* tem a capacidade de apoiar a análise e a detecção de conflitos entre especialidades, embora este ponto não tenha sido estudado no caso prático apresentado.

Com este trabalho foram detetadas igualmente algumas limitações:

- Apesar de o replaneamento ser flexível, não é possível efetuar alterações num sistema único, sendo necessário transferir a informação entre as três aplicações utilizadas (Revit, MsProject e *Navisworks*);
- A modelação do edifício em componentes construtivos que possam ser apresentados na sequência da execução tem de ser feita antecipadamente no modelo 3D. Assim como

qualquer parâmetro que possa ser necessário, por forma a facilitar o processo de simulação da construção. Este aspecto pode ser considerado limitativo, pois pode não ser prático conceber esses elementos divididos no modelo original, nem os projetistas têm informação referente ao planeamento a estabelecer posteriormente. Neste sentido pode ser necessário adaptar o modelo de projeto para se conseguir um modelo mais direcionado para o planeamento da construção;

- No seguimento do ponto anterior, a modelação para o apoio ao planeamento deve ser executada de modo a que os elementos possam ser selecionados de forma automática através, por exemplo, das suas propriedades, para que caso seja necessário alterar o modelo 3D, não se percam as ligações criadas no *Navisworks*. Se os “sets” forem criados pela seleção manual dos elementos, quando um dos modelos é substituído pode-se perder essas ligações. Contudo, mantendo a mesma designação de ficheiro e a sua localização, ao ser acionado a opção “*Merge*”, para importar, as ligações estabelecidas tendem a manter-se;
- O cronograma poderia ser, ainda, mais integrado na ferramenta BIM 4D. Por exemplo, poderia permitir a alocação de recursos e a atribuição de precedências entre tarefas, potenciando a que o processo fosse conduzido totalmente no *software*, permitindo um maior controlo dos caminhos críticos da obra;
- No caso de visualização de atividades, que decorrem no interior do edifício, esta pode ser mais dificultada caso seja uma tarefa com data posterior aos elementos construtivos das fachadas, pois estas ocultam a atividade no interior da obra. Esta dificuldade pode contudo ser minimizada através da transparência de alguns elementos, capacidade que pode ser imposta no *Navisworks*, através de atribuição de transparência a esse tipo de tarefa.

5.2. Conclusões

A metodologia BIM tem vindo a abrir novas possibilidades no mundo da Engenharia, Arquitetura e Construção, uma vez que facilita a comunicação, a leitura e a execução dos projetos. Existe, atualmente, um grande número de ferramentas no mercado, orientadas para distintas vertentes, funcionalidades e potencialidades.

A modelação BIM de um edifício pode incluir informações e detalhes muito distintos. Criar um modelo BIM é também modelar informação. Os modelos podem admitir distintos níveis de informação e detalhe de forma a atingir os requisitos pretendidos para o projeto.

A metodologia de trabalho BIM pretende contribuir para melhorar a gestão da informação na construção. É uma metodologia em crescente implementação, sendo já obrigatório o seu uso, em alguns países, em determinados projetos. No entanto encontra-se ainda alguma resistência à mudança como método de trabalho. A estratégia de implementação BIM pode ser incentivada se a

metodologia for aplicada conjuntamente com os métodos IPD e o conceito *LEAN Construction*, pois incentivam um ambiente colaborativo e uma melhoria contínua dos processos na construção.

A componente prática desta dissertação recaiu, sobretudo, na geração do modelo 3D e na geração de um modelo 4D aplicado ao planeamento da construção. Na modelação 4D foi utilizado o *software Navisworks*, que integrou os modelos 3D, de arquitetura e de estruturas, elaborados no sistema de base BIM, o Revit, e o cronograma estabelecido para o planeamento da obra, importado do *MS Project*. O estudo efetuado permite concluir que o *software* satisfaz muitas das funcionalidades inerentes à gestão da construção, apesar de algumas limitações. A qualidade do modelo 3D original é importante para o sucesso do processo, assim como a normalização da designação ou código da atividade, por forma a agilizar o processo. Na situação de serem requeridas alterações ao planeamento inicial a adaptação do modelo 4D é bastante flexível. A aplicação 4D permite uma adequada análise visual da simulação da construção, apoiando de um modo intuitivo a tomada de decisão em meio colaborativo.

A simulação não transmite uma realidade plena, abrangendo os seus imprevistos, mas o desenvolvimento de tecnologias de visualização e de planeamento tentam, cada vez mais, aproximar o mundo digital ao real. Um dos objectivos da simulação é minimizar o número de erros de execução, pelo menos aqueles passíveis de previsão e, ainda, o de facilitar a comunicação, entre as fases de projeto, planeamento e obra. Neste sentido verifica-se que, as ferramentas usadas, no caso de estudo, constituem uma mais-valia.

5.3. Perspectivas de desenvolvimentos futuros

A metodologia BIM tem sido estudada, implementada e analisada ao longo dos últimos anos. O presente trabalho permitiu aprofundar o conhecimento geral relativo a esta metodologia e o desenvolvimento de uma aplicação em ambiente BIM, recorrendo à utilização de *software* de base BIM.

Como desenvolvimentos futuros propõem-se algumas diretivas de interesse:

- Recorrer na modelação 4D, a outros *softwares* de génese BIM, analisando as suas potencialidades e limitações;
- Explorar o uso do *software Navisworks* na vertente de apoio à compatibilização entre especialidades;
- Utilizar a metodologia BIM 4D num caso de estudo em tempo real, no acompanhando e gestão de uma obra e perceber as mais-valias que as ferramentas BIM poderão proporcionar comparando-as com os métodos tradicionais e quais os benefícios e limitações de um modelo 4D utilizado em obra;

BIBLIOGRAFIA

Antunes, J. (2013), *Interoperacionalidade em sistemas de informação*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho.

Autodesk (2007). *BIM and Project Planning*. White paper.

Autodesk (2011). *Autodesk Navisworks Manage 2012. User Guide*.

Azenha, M.; Lino, J.; Caires, B. (2014), *Curso BIM: Building Information Modeling*. Documentação de apoio (não publicada).

Azevedo, O. (2009). *Metodologia BIM – Building Information Modeling na Direcção Técnica de Obras*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho.

Brewer, G.; Grajendran, T.; Le Goff, R. (2012). *Building Information Modelling (BIM): an introduction and international perspectives*. CIBER Center for Interdisciplinary Built Environment Research. The University of Newcastle. Australia

Brito, D. e Ferreira, E. (2013). *Modelagem 4D aplicada ao planeamento e controle de obras*. Inovação, produtividade e empreendedorismo na Engenharia Civil. Melhores de 2013. OAS/EP-UFBA

BSI (2010). *Constructing the business case - Building information modelling*. British Standards Institution.

Building SMART (2010). *Constructing the business case. Building Information Modelling*. British Standards Institution

BuildingSMART (2011). *BIM. Project Execution Planing Guide - Version 2.1*. Pennsylvania State University, University Park, PA, USA.

Caires, Bruno (2013). *BIM as a tool to support the collaborative project between the structural engineer and the architect. BIM execution plan, education and promotional initiatives*. Dissertação de Mestrado Engenharia Civil. Universidade do Minho

COBIM (2012). *Common BIM Requirements*. Finland.

CURT, 2004. *Collaboration, Integrated Information and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation*. Architectural/Engineering Productivity Committee of The Construction Users Roundtable.

Eastman et al. - Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Wiley.

GSA, U.S. General Services Administration (2009). *BIM Guide for 4D Phasing*. Office of the Design & Construction. Washington

- Hartmann, T. (2009). *How to link and present a 4D model using Navisworks*. Technical Paper. VISICO Center for Visualization and Simulation in Construction. University of Twente
- Hartmann, T.; Gao, J.; Fischer, M. (2008). *Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects*. Journal of Construction Engineering and Management. ASCE
- Henriques, A. (2012). *Integração do ProNIC em ambiente BIM – Um modelo para o trabalho colaborativo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. IST, Lisboa
- Henriques, P. (2014). Documentos de apoio à disciplina de Planeamento e Gestão da Construção do Mestrado em Construção e Reabilitação. IST. (documentação não publicada)
- Hu, Z.; Zhang, J. (2011). *BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials*. Automation in Construction. Elsevier
- Kensek, K. (2012). *PRACTICAL BIM 2012: Management, Implementation, Coordination and Evaluation*. The USC BIM Symposium. School of Architecture, University of Southern California, USA
- Lino, J.; Azenha, M.; Lourenço, P. (2012). *Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas*. Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2012. FEUP, Porto.
- Madeira, P. (2011). *Building Information Modeling – Oportunidades e desafios para projectistas e donos de obras em Portugal*. Dissertação de Mestrado em engenharia Civil. FCT, Lisboa
- Monteiro, A.; Martins, J. (2011). *Building Information Modeling – Funcionalidades e aplicação*. 2º Forum Internacional de Gestão da Construção – GESCON: Sistemas de Informação na Construção. Secção de Construções Civas. FEUP, Porto
- Mukherjee, K. e Clarke, R. (2012). *4D Construction Planning*. 66th Appita Annual Conference Melbourne. Beca AMEC, New Zealand
- Pissarra, N. (2010). *Utilização de Plataformas Colaborativas para o desenvolvimento de Empreendimentos de Engenharia Civil*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. IST, Lisboa
- Pitake, S.; Patil, D. (2013). *Visualization of Construction Progress by 4D Modeking Application*. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETI) – Volume 4 Issue 7
- Sampaio, A.Z. (2013). *Implementação da Tecnologia BIM na Industria AEC. Introdução ao Conceito BIM*. FUNDEC
- Santos, J. (2010). *Planeamento da Construção apoiada em Modelos 4D Virtuais*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. IST, Lisboa

Silva, J. (2013). *Princípios para o Desenvolvimento de Projectos com recurso a ferramentas BIM. Avaliação de melhores práticas e proposta de regras de modelação para projectos de estruturas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. FEUP, Porto

Smith, P. (2014). *BIM Implementatin – global strategies*. Creative Construction Conference 2014, CC2014.Elsevier. Procedia Engineering 85 (2014) 482-492

Succar, B. (2008). *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*", *Automation In Construction*. Elsevier

Taborda, P.; Cachadinha, N. (2012). *BIM nas obras públicas em Portugal: Condicionantes para uma implementação com sucesso*. Congresso Construção 2012. 4º Congresso Nacional. Coimbra

Tarrafa, D. (2012). *Aplicabilidade prática do conceito BIM em projecto de estruturas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. FCTUC, Coimbra

Thein, V. (2011). *Industry Foundation Classes (IFC) - BIM Interoperability Through a Vendor-Independent File Format*. A Bentley White Paper

Thomassen, M. (2011). *BIM & Collaboration in the AEC Industry*. Thesis in Master of Science in Engineering in Management in the Building Industry. Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Aalborg University, Denmark.

Tulke, J.; Hanff, J. (2007). *4D Construction Sequence Planning – New Process And Data Model*. Germany

Zhang, J.P.; hu, Z.Z. (2011). *BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies*. *Automation in Construction*. Elsevier

Paginas Web

[1] GSA, 3D-4D Building Information Modeling, <http://www.gsa.gov/portal/category/21062>

[2] AEC(UK), AEC (UK) Cad & BIM Standards Site, <https://aecuk.wordpress.com/2012/09/07/aec-u2k-bim-protocols-v2-0-now-available/>

[3] Corenet, <https://www.corenet.gov.sg/general/bim-guides/singapore-bim-guide-version-20.aspx>

[4] Estupe – Engenharia e Projetos, <http://www.estupe.com/>

[5] ndBIM, <http://www.ndbim.pt/index.php/pt/>

[6] Urban360, <http://www.urban360.pt/index.php/pt/>

[7] WSPGroup, <http://www.wspgroup.com/en/wsp-group-bim/BIM-around-the-world/?q=BIM-around-the-world&sort=Relevance>