

Caracterização de uma biblioteca de paredes de metodologia BIM

Luís Correia Nobre Araújo

Dissertação para a obtenção do grau de mestre em:

Engenharia Civil

Orientador: Prof. Alcinia Zita de Almeida Sampaio

Orientador: Prof. Augusto Martins Gomes

Júri:

Presidente: Prof. João Pedro Ramôa Ribeiro Correia

Orientador: Prof. Alcinia Zita de Almeida Sampaio

Vogal: Prof. António Morais Aguiar da Costa

Outubro 2016

RESUMO

A construção de um edifício é uma actividade que envolve múltiplas disciplinas num constante processo de decisão gerando impacto económico, social e ambiental. Actualmente, o projecto de um edifício assenta em ambientes de trabalho baseados em *softwares* CAD, e num processo de colaboração fragmentado entre os diferentes agentes envolvidos, susceptível de originar erros e que dificulta a decisão. Esta limitação da informação fomenta uma comunicação ineficiente, conduzindo eventualmente a erros de construção e a derrapagens orçamentais. É durante a fase inicial do projecto que as decisões têm um maior impacto numa construção, sendo assim importante que os diferentes projectistas se apoiem numa informação precisa, por forma a fundamentar as suas decisões ao longo do desenvolvimento do projecto. Presentemente, a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) apresenta-se como uma alternativa para obter um melhor produto.

Neste contexto, o estudo desenvolvido avalia e compara as capacidades da metodologia BIM com o ambiente de trabalho baseado no recurso a *softwares* CAD, incidindo na forma como os projectistas podem obter, de um modo ágil, informações precisas e actualizadas, relacionadas com as soluções construtivas de paredes exteriores, ao longo do projecto, construção e gestão do ciclo-de-vida. O trabalho envolve a geração de um modelo paramétrico BIM, de uma habitação unifamiliar, e a criação de uma biblioteca de objectos paramétricos, relacionados com as soluções construtivas de paredes exteriores de aplicação mais frequente no mercado nacional. A informação, centralizada no modelo criado, é utilizada na obtenção de desenhos técnicos e perspectivas, no apoio à quantificação e à orçamentação do projecto, na análise do impacto ambiental e na gestão pós-ocupação do edifício. São identificadas as principais vantagens e limitações da implementação da metodologia BIM no estudo comparativo de soluções alternativas, evidenciando a capacidade de apoio na fundamentação de decisões por parte dos agentes envolvidos, durante o desenvolvimento do projecto.

Palavras-chave: BIM, Paredes exteriores, Modelação paramétrica, Extracção de informação

ABSTRACT

The construction of a building is an activity that involves multiple parties in a constant decision process which lead to a certain economic, social and environmental impact. Nowadays, the construction process resides mainly on a work environment based in computer aided design systems (CAD) and in a fragmented collaboration process between the different actors enrolled, promoting errors and making it difficult to decide. This limitations lead to inefficient communication, promoting construction errors and cost overruns. It's during the initial project phase that decisions have a greater impact on a building, so it's important that different designers are based on a precise data, in order foster their decisions throughout the project development. Presently, Building Information Modeling (BIM) methodology is presented as an alternative to achieve a better product.

In this context, the study evaluates and compares the capabilities of BIM methodology with the work environment based on CAD software, aiming on how designers can obtain an agile, precise and updated information related to the construction solutions of exterior walls throughout the design, construction and management of the building life-cycle. The work involves the generation of a BIM parametric model, a single family house, and the creation of a parametrical library of objects related to constructive solutions of exterior walls with frequent application in the national market. The information centralized in the model, is used to obtain technical drawings and perspectives to support calculation and the budget of the project, environmental impact and building post-occupancy management. The main advantages and limitations of BIM methodology are identified when comparing alternative constructive solutions, and shows its ability to support decisions by stakeholders during the development of the project.

Keywords: BIM, Exterior walls, Parametric modelling, Information extraction

ÍNDICE

RESUMO	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABELAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS	VIII
1. INTRODUÇÃO	1
<hr/>	
1.1. OBJECTIVO E METODOLOGIA	1
1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. BUILDING INFORMATION MODELING	3
<hr/>	
2.1. ENQUADRAMENTO	3
2.2. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	4
2.3. CONCEITO E METODOLOGIA	5
2.3.1. APLICABILIDADE	6
2.3.2. PROCESSO COLABORATIVO	8
2.4. IMPLEMENTAÇÃO	9
2.4.1. NÍVEIS DE IMPLEMENTAÇÃO BIM	9
2.4.2. PANORAMA INTERNACIONAL	10
2.4.3. PANORAMA NACIONAL	11
2.5 - SOFTWARE E INTEROPERABILIDADE	12
2.6. BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES	14
2.6.1. DONOS DE OBRA E GESTÃO DE PROJECTO	14
2.6.2. ELABORAÇÃO DE PROJECTO	15
2.6.3. ACTIVIDADE DA CONSTRUÇÃO	16
2.6.4. RISCOS E DESAFIOS	17
2.7. ANÁLISE DE SOLUÇÕES ALTERNATIVAS	17
3. PAREDES EXTERIORES	19
<hr/>	
3.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA E EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS	19
3.2. TIPOLOGIAS DE PAREDES EXTERIORES	21
3.2.1. PAREDE EM TERRA	22
3.2.2. PAREDE EM ALVENARIA DE PEDRA	22
3.2.3. PAREDES EM MADEIRA	23
3.2.4. PAREDES EM ALVENARIA DE TIJOLO	24
3.2.5. PAREDE COM BLOCOS DE BETÃO	25
3.2.6. PAREDE EM BETÃO ARMADO	26
3.2.7. PAREDE LEVE	27
3.2.8. PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS	27
3.3. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS	28
3.3.1. PARÂMETROS FÍSICOS E MECÂNICOS	29
3.3.2. PARÂMETROS SONOROS	30
3.3.3. PARÂMETROS ECONÓMICOS E DE GESTÃO DE OBRA	31
3.3.4. PARÂMETROS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS	32

3.3.5. PARÂMETROS AMBIENTAIS	32
3.4. PARAMETRIZAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS	33
3.4.1. PAREDE DUPLA DE ALVENARIA	34
3.4.2. FACHADAS COM ISOLAMENTO PELO EXTERIOR	35
3.4.3. PAREDE LEVE	36
3.4.4. ATRIBUIÇÃO DE PARÂMETROS	37
4. PROCESSO DE MODELAÇÃO BIM	39
4.1. MODELAÇÃO PARAMÉTRICA	39
4.2. OBJECTOS PARAMÉTRICOS DAS PAREDES EXTERIORES	42
4.2.1. CARACTERÍSTICAS DO OBJECTO PAREDE	42
4.2.2. CRIAÇÃO DE UM OBJECTO	46
4.2.3 ASSOCIAÇÃO DE PROPRIEDADES AO OBJECTO	47
4.3. CRIAÇÃO DA BIBLIOTECA DE PAREDES EXTERIORES	50
4.3.1. ASSOCIAÇÃO DE PARÂMETROS	50
4.3.2. MODELAÇÃO DA BIBLIOTECA DE PAREDES	51
4.4. MODELO BIM	53
5. APLICAÇÃO DA BIBLIOTECA DE PAREDES	55
5.1. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS	55
5.2. PRODUÇÃO DE DESENHOS	56
5.3. OBTENÇÃO DE PERSPECTIVAS	61
5.4. MODELO 4D	63
5.5. MODELO 5D	66
5.6. MODELO 6D E 7D	67
5.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
6. CONCLUSÃO	73
6.1. CONCLUSÕES, BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES	73
6.2. ESTUDOS FUTUROS	75
7. BIBLIOGRAFIA	77
8. ANEXOS	85
ANEXO 1 - FICHA 1. PAREDE DUPLA EM ALVENARIA DE TIJOLO 15+11CM	85
ANEXO 2. FICHA 2. PAREDE DUPLA EM ALVENARIA DE TIJOLO 11+11CM	86
ANEXO 3 - FICHA 3 - FACHADA VENTILADA	87
ANEXO 4 - FICHA 4 – PAREDE EM ETIC	88
ANEXO 5 - FICHA 5 -PAREDE EM LGSF	89
ANEXO 6 – DESENHOS FORNECIDOS EM PDF RELATIVOS AO MODELO DE ESTUDO	91
ANEXO 7 – PROPRIEDADES FÍSICAS DE MATERIAIS CONSTITUINTES DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	93
ANEXO 8 – DESENHO A1 OBTIDO NO REVIT COM VÁRIAS INFORMAÇÕES E DESENHOS	95
ANEXO 9 - LEVANTAMENTO DE QUANTIDADE DE MATERIAIS	97
ANEXO 10 – ANÁLISE ENERGÉTICA DA PAREDE EXTERIOR EM FACHADA VENTILADA	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2. 1 - Especialidades de um projecto (Krygiel, et al, 2008)	3
Figura 2. 2 - BIM e o ciclo de vida de um edifício [W3]	5
Figura 2. 3- Faseamento de uma obra – Modelo 4D [W6].....	7
Figura 2. 4 - Processo colaborativo BIM [W7]	8
Figura 2. 5 - Níveis de implementação BIM [W8].....	9
Figura 2. 6 - Processo BIM e a implementação nas empresas (Deutch, 2011)	10
Figura 2. 7 - Conflito entre sistema estrutural e sistema de abastecimento de água [W18]	16
Figura 2. 8 - Análise estrutural em BIM [W19]	16
Figura 2. 9- Simulação das diferentes opções de projecto (Rahmani, <i>et al.</i> , 2014).....	18
Figura 2. 10- Análise de diferentes opções de design e respectivos custos (Kryghel, 2008	18

Capítulo 3

Figura 3. 1 - Ilustração da evolução de paredes exteriores em Portugal (Freitas, 2002).....	19
Figura 3. 2 - Fachada verde, Caixa Fórum - Madrid, [W20].....	20
Figura 3. 3 – Fachada e protecção - Torre de Menagem, Beja, [W21].....	20
Figura 3. 4 - Fachada Cortina – <i>The Gerkin</i> - Londres, [W22].....	20
Figura 3. 5 - Parede em Taipa [W23]	22
Figura 3. 6 - Parede em Adobe [W24]	22
Figura 3. 7 - Alvenaria de pedra aparelhada [W25]	23
Figura 3. 8 - Alvenaria de pedra ordinária [W26].....	23
Figura 3. 9 - Parede em tabique, Praia de Mira [W27].....	24
Figura 3. 10 - Parede de frontal tecido [W28].....	24
Figura 3. 11 - Tijolo de furação horizontal [W29].....	24
Figura 3. 12 - Tijolo térmico de furação vertical [W30].....	24
Figura 3. 13 - Blocos de betão normal [W31].....	25
Figura 3. 14 - Blocos de betão autoclavados [W32].....	25
Figura 3. 15 - Habitação Social em betão armado - Açores [W33]	26
Figura 3. 16 - Edifício público em betão armado pigmentado [W34]	26
Figura 3. 17 - Habitação em estrutura LGSF [W35].....	27
Figura 3. 18 - Estrutura LGSF revestida [W36]	27
Figura 3. 19 - Painéis pré-fabricados em museu [W37]	28
Figura 3. 20 - Painéis pré-fabricados em betão [W38].....	28
Figura 3. 21 - Solução construtiva em Parede dupla [W40].....	34
Figura 3. 22- Isolamento pelo interior versus isolamento pelo exterior (Freitas <i>et al.</i> , 2009)	35
Figura 3. 23 - Esquema construtivo em fachada ventilada [W41]	35
Figura 3. 24 - Esquema construtivo do sistema ETIC [W42].....	36
Figura 3. 25 – Estrutura metálica de suporte à parede em LGSF [W44]	37
Figura 3. 26 – Camadas constituintes da parede em LGSF [W45].....	37

Capítulo 4

Figura 4. 1 - Interface <i>Revit</i> com grelha de alinhamento e definição de cotas e níveis de referência .	39
Figura 4. 2 - Interface de modelação do terreno	40
Figura 4. 3 - Interface de modelação de pisos	40
Figura 4. 4 - Interface de modelação de estruturas	41
Figura 4. 5 - Interface de modelação de janelas e portas	41
Figura 4. 6 - Interface de modelação de escadas e rampas	41
Figura 4. 7 - Interface de escolha de equipamentos	41
Figura 4. 8 - Interfaces de sistemas	42
Figura 4. 9 - Interface <i>Revit</i> de acesso ao tipo de parede	42
Figura 4. 10 - Interface de modelação de paredes.....	42
Figura 4. 11 – Biblioteca de paredes exteriores do <i>Revit</i>	43
Figura 4. 12 - Quadro de propriedades de uma parede.....	43
Figura 4. 13 - Quadro de definição de camadas.....	44
Figura 4. 14 - Materiais e respectivas propriedades	44
Figura 4. 15 - Materiais e gráficos	45
Figura 4. 16 - Materiais e aparência	45
Figura 4. 17 - Parâmetros físicos	45
Figura 4. 18 - Parâmetros térmicos	45
Figura 4. 19 - Duplicação do tipo de parede	46
Figura 4. 20 – Configurações iniciais da parede	46
Figura 4. 21 - Materiais a considerar no objecto paramétrico.....	46
Figura 4. 22 - Parede tipo	47
Figura 4. 23 - Desenho 2D e uma renderização da parede	47
Figura 4. 24 - Criação de biblioteca de novos materiais.....	48
Figura 4. 25 - Menu de gestão dos materiais	48
Figura 4. 26 - Alteração das propriedades térmicas e identificação do material	49
Figura 4. 27 - Modelação da aparência do material de revestimento de fachada ventilada	49
Figura 4. 28 - Fachada ventilada para <i>Revit</i> [W46].....	50
Figura 4. 29 – Criação e propriedades dos parâmetros	51
Figura 4. 30- Propriedades da parede dupla de alvenaria de tijolo (15 + 11cm) modelada	51
Figura 4. 31 - Parede dupla de alvenaria de tijolo (15 + 11cm) com isolamento externo	52
Figura 4. 32 - Parede dupla de alvenaria de tijolo (11 + 11cm) com isolamento externo	52
Figura 4. 33 - Parede em ETIC.....	52
Figura 4. 34 - Parede em fachada ventilada.....	53
Figura 4. 35 - Parede em LGSF.....	53
Figura 4. 36 - Diferentes perspectivas do modelo final	54
Figura 4. 37 - Plantas piso térreo e 1º piso com diferentes tratamentos gráficos do modelo final	54
Figura 4. 38 – Cortes do modelo final	54
Figura 4. 39 - Alçados do modelo final	54

Capítulo 5

Figura 5. 1 - Menu de alteração de paredes exteriores	55
Figura 5. 2 - Problema na alteração de soluções construtivas.....	56
Figura 5. 3 - Opções de paredes exteriores na modelação	56
Figura 5. 4 - Planta base extraída após modelação digital	57

Figura 5. 5 - Planta com várias informações inseridas	58
Figura 5. 6 - Detalhe construtivo obtido automaticamente.....	58
Figura 5. 7 - Detalhe construtivo aperfeiçoado.....	58
Figura 5. 8 - Alteração efectuada nas paredes exteriores.....	59
Figura 5. 9 - Ligação Parede / Laje.....	59
Figura 5. 10 - Desenho de corte após inclusão de informação	60
Figura 5. 11 - Condições da implantação das paredes	60
Figura 5. 12 - Vista em corte horizontal da sobreposição de elementos de arquitectura e das estruturas.	61
Figura 5. 13 - Corte efectuado sobre o modelo BIM/3D	61
Figura 5. 14 - Esquema representativo das quatro soluções construtivas.....	62
Figura 5. 15 - Problema de representação na alteração de solução construtiva.....	62
Figura 5. 16 - Conjugação de diferentes elementos num desenho (Anexo 8)	63
Figura 5. 17 - Menu de obtenção de tabela	64
Figura 5. 18 - Parâmetros a associar à tabela de número de horas de construção	64
Figura 5. 19 – Interface de utilizador do <i>Naviswork</i> [W49].....	65
Figura 5. 20 - Aparelho de ar condicionado e respectivas informações no <i>Revit</i> (Rodas, 2015)	70

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Softwares BIM mais utilizados.....	13
Tabela 3. 1 - Ficha resumo das diferentes soluções construtivas	38
Tabela 5. 1 - Total de horas de construção de parede exterior (15+11cm)	65
Tabela 5. 2- Levantamento da área e custo referente a parede de alvenaria de tijolo dupla (11+11cm)	66
Tabela 5. 3 - Tabela obtida no excel com levantamento de custos de paredes exteriores	66
Tabela 5. 4 - Levantamento de materiais - Parede em LGSF.....	67
Tabela 5. 5 - Propriedades térmicas de cada solução construtiva	68
Tabela 5. 6 - Simulação de desempenho energético	69
Tabela 5. 7 - Energia primária incorporada das diferentes paredes	69
Tabela 5. 8 - Exemplo de composição de informação relativa a manutenção	70
Tabela 5. 9 - Diferentes propriedades de paredes.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS

AECOPS – Associação de empresas de construção e Obras Públicas e Serviços
AIA - *American Institute of Architects*
API - *Application Performance Interface*
AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BCA - *Building and Construction Authority*
BEIIC- *Built Environment Industry Innovation Council*
BIM - *Building Information Modeling/Management/Model*
BIMXML - *Building Information Model Extended Markup Language*
CAD – *Computer Aided Design*
CIFE - *Stanford University Center for Integrated Facilities*
COBie - *Construction Operations Building information exchange*
EN – *European norm*
ETIC – *External Thermal Insulation Composite Systems*
GTBIM - Grupo de trabalho BIM
IAI - *International Alliance for Interoperability*
IFC - *Industry Foundation Classes*
ISO - *International Organization for Standardization*
ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção
LGSF - *Light Gauge Steel Framing*
LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LOD - *Level of Development*
MIT – *Massachusetts Institute of Technology*
NBIMS - *National Building Information Modeling Standard*
NBS - *National Building Specification*
PTPC - Plataforma Portuguesa Tecnológica da Construção
REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*
RJ-SCIE - Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios
RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

1. Introdução

A construção em Portugal é um sector que tem vindo a enfrentar, ao longo dos anos, dificuldades decorrentes da crise que o sector atravessa, algo que tem vindo a mudar com o investimento na reabilitação e com a expansão das empresas para outros mercados (AECOPS, 2013). Assim, e com as empresas a enfrentar dificuldades de financiamento, é importante que os riscos inerentes ao processo de construção sejam minimizados. A procura de novos mercados exige que as empresas repensem os seus métodos de trabalho por forma a tornarem-se mais competitivas. O método de trabalho actual, dos projectistas das diferentes especialidades, recorre à tecnologia baseada em desenho assistido por computador, ou *Computer Aided Design* (CAD), de conteúdo meramente geométrico. Apesar da metodologia *Building Information Modelling* (BIM) existir há mais de 20 anos, só na última década tem vindo a amadurecer e a assumir-se como um processo competitivo face ao tradicional, conduzindo a uma redução de custos e aproximando os diferentes participantes da indústria da Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC).

As metodologias de trabalho em ambiente CAD são susceptíveis de originar problemas em obra, em trabalho repetitivo e não contribuem para aproximar as diferentes partes interessadas como o dono-de-obra, o empreiteiro e as diferentes especialidades participantes no projecto (Krygiel, et al, 2008). É essencial trabalhar numa base comum a todos, em constante actualização, e de fácil acessibilidade e consulta. Por outro lado, para o projectista fundamentar e apoiar as suas decisões necessita de obter rapidamente e de uma forma fiável a informação relativa ao desenvolvimento do produto. Por exemplo, deve ter a noção de que determinadas opções projectuais, como a escolha de soluções alternativas pode influenciar os custos de obra, o ciclo de vida do edifício, a sua demolição, o impacto a nível ambiental, entre outros. É assim essencial obter em fases iniciais do projecto, a informação fiável para a tomada de decisões, por forma a evitar custos acrescidos ao dono-de-obra.

Com este propósito, e sabendo que a escolha do sistema construtivo de paredes exteriores corresponde a cerca de 12% a 17% no valor de uma obra (Silva, 2007), o conhecimento e controlo do seu impacto económico e ambiental numa obra é importante. Actualmente, o impacto da escolha de determinada solução é obtida em fase avançada do projecto, recorrendo a *software* auxiliar à metodologia tradicional baseada em sistemas CAD. A metodologia BIM apresenta-se como uma alternativa no processo de desenvolvimento e análise do projecto. O presente trabalho aborda a metodologia BIM, recorrendo a um *software* de base BIM no apoio à modelação de um edifício, e na obtenção da informação relacionada com as múltiplas fases de um projecto e ciclo de vida do edifício.

1.1. Objectivo e Metodologia

O objectivo principal do estudo é o desenvolvimento de uma base de dados, de objectos paramétricos de paredes exteriores, associadas a um *software* de metodologia BIM, que auxilie ao longo das diferentes fases do processo construtivo, a fundamentação das decisões dos projectistas. Neste sentido, é desenvolvido um modelo digital, o modelo BIM. Sobre o modelo são aplicadas distintas soluções construtivas, e efectuadas diferentes análises, possibilitadas pela metodologia e ferramentas BIM. Com este propósito estabeleceu-se a seguinte metodologia de trabalho:

- Compreensão do conceito BIM, a sua aplicabilidade e análise da sua implementação a nível global;
- Definição e caracterização de diferentes soluções construtivas de paredes exteriores de aplicação frequente no contexto nacional;
- Geração de objectos paramétricos representativas de cada tipo de parede exterior considerado associados às distintas propriedades analisadas;
- Criação de um modelo BIM representativo das diferentes soluções construtivas de paredes exteriores no *software Autodesk Revit* e estudos comparativos de resultados;
- Análise das potencialidades e limitações do modelo digital desenvolvido e à extracção de informação referente à biblioteca de paredes criadas.

1.2. Organização da dissertação

A estrutura da dissertação desenvolve-se em cinco capítulos:

- Introdução: apresentação do tema, âmbito e objectivos;
- Capítulo 2: enquadra a origem da metodologia BIM, explorando o conceito, o processo e as funcionalidades. Apresenta o grau de implementação da tecnologia na indústria da Construção no panorama nacional e internacional. Analisa, com base em diferentes casos de estudo, o impacto do BIM nos métodos de trabalho e na organização das empresas de construção, identificando algumas das vantagens e limitações;
- Capítulo 3: analisa as tipologias construtivas de paredes exteriores de aplicação mais frequente na habitação nacional, e indicadas as principais vantagens e inconvenientes. Com o objectivo de definir uma biblioteca de objectos paramétricos útil, na modelação BIM, são estudadas as soluções mais representativas e indicados os parâmetros e as propriedades que melhor as caracterizam, de forma a definir fichas estruturadas;
- Capítulo 4: apresenta o caso de estudo considerado, uma habitação unifamiliar. É criado o modelo relativo às componentes de arquitectura e de estrutura, por recurso ao *software Autodesk Revit*, a partir de plantas, alçados e cortes fornecidos em formato digital. São estabelecidos os objectos paramétricos referentes às soluções construtivas de paredes exteriores identificadas no capítulo anterior. A cada objecto paramétrico é associado o conjunto de informações listado nas fichas criadas. É analisado o procedimento de geração de modelos de soluções alternativas com base na biblioteca elaborada, que servirá de suporte à análise a efectuar no capítulo seguinte;
- Capítulo 5: recorrendo à biblioteca de soluções construtivas de paredes exteriores modeladas no capítulo anterior, analisa-se a capacidade do modelo BIM fornecer informações e obter a documentação inerente ao projecto de um edifício. Assim, são analisados os aspectos relacionados com a modelação de soluções alternativas, a produção de desenhos, a orçamentação e obtenção de quantidades de material, as actividades de planeamento de construção, manutenção e gestão do edifício, e de sustentabilidade ambiental.
- Capítulo 6: Principais conclusões do estudo efectuado, destacando possíveis desenvolvimentos futuros.

2. Building Information Modeling

2.1. Enquadramento

A construção de um edifício é um processo colaborativo envolvendo diferentes participações das áreas da Arquitectura, da Engenharia e da Construção (AEC). Actualmente, uma construção apresenta uma grande complexidade multidisciplinar, requerendo a intervenção de várias especialidades devido às exigências impostas pela sociedade civil (Kymmell, 2008). Krygiel *et al* (2008) salienta, com base na figura 2.1, a adição de um conjunto de redes e de documentos de verificação regulamentar que anteriormente não eram considerados no projecto do edifício, nomeadamente, os sistemas de telecomunicações, ar condicionado, segurança, sustentabilidade, estacionamento, equipamentos de segurança contra incêndios, entre outros, que conferem um maior grau de complexidade ao processo construtivo.

Esta crescente exigência requer um maior nível de colaboração entre as diferentes especialidades obrigando a um trabalho de coordenação interdisciplinar e a um planeamento adequado de gestão de recursos. Contudo, o processo de troca de informação e o modo de relacionamento entre as partes pouco evoluíram apesar dos avanços tecnológicos introduzidos para agilizar a execução do projecto não respondendo de uma forma eficaz à crescente necessidade de produzir a documentação exigida (Krygiel, et al, 2008). De facto, verifica-se que o processo construtivo, desde a concepção à gestão do ciclo de vida, continua fragmentado e ainda, muito dependente do meio de comunicação baseado no papel, susceptível de originar erros e omissões (Eastman et al, 2011).

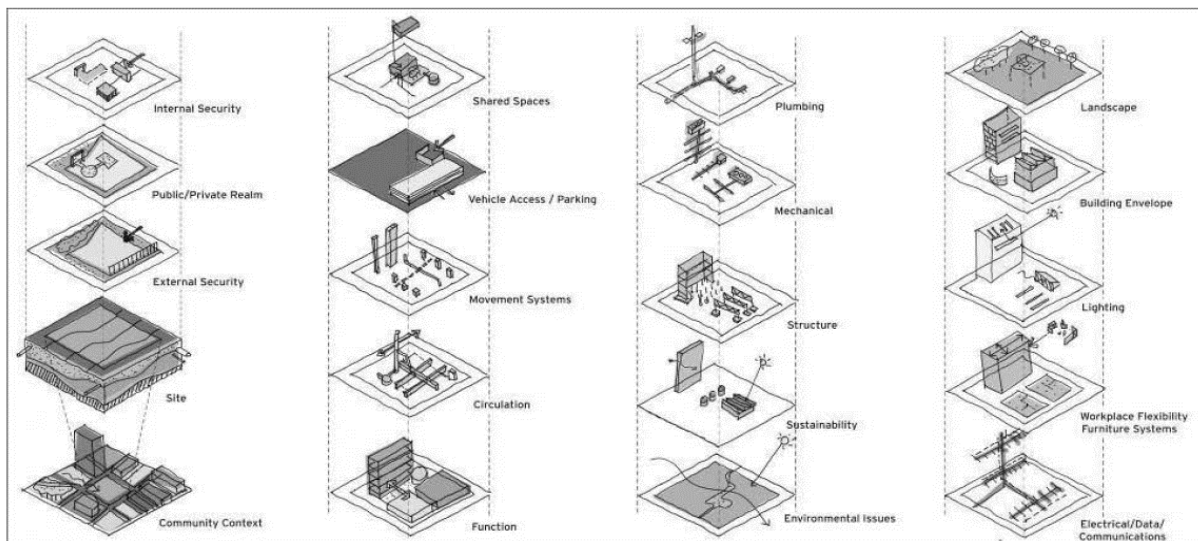


Figura 2. 1 - Especialidades de um projecto (Krygiel, et al, 2008)

Apesar do nível de desenvolvimento tecnológico alcançado com a introdução de ferramentas CAD 3D e a partilha de informação em tempo real, conseguindo uma maior flexibilização do processo de construção, subsistem, ainda, com frequência, alguns conflitos resultantes da troca de documentos baseada em informação incompleta e errada, com consequências na tomada de decisões. Eastman *et al* (2011) salientam que um dos motivos da baixa produtividade, inerente à actividade, surge dos problemas decorrentes do modo de comunicação em 2D, no tempo necessário para a obtenção de

uma forma consistente de toda a informação relacionada com o edifício, nomeadamente, a estimativa de custo, a documentação gráfica do projecto ou detalhes construtivos. Esta informação é geralmente obtida apenas no final do processo, quando é já inviável economicamente alterar o plano por forma a minimizar o impacto das decisões iniciais. Segundo Teicholz (2007) a fragmentação da actividade e a ineficiência de troca de informação no processo são os principais factores pela estagnação da produtividade no sector, quando comparado com outras indústrias como a mecânica ou a agricultura, mais assentes na automatização. Gallagher *et al* (2004), estimam que o processo actual de troca de informação tradicional e a não utilização das potencialidades inerentes à tecnologia BIM, provocam uma perda anual de cerca de 15,8 biliões de dólares, no contexto Norte-americano. A imprecisão do processo actual pode, ainda, conduzir a litígios e a derrapagens orçamentais e de prazos. (Smith, 2009)

Eastman *et al* (2011) apresentam, como caso paradigmático da complexidade de gestão de um processo construtivo, um estudo efectuado por uma empresa em relação a um projecto de grande dimensão no Canadá, a *Tardif, Murray & Associates*. A empresa listou o tipo e a quantidade de documentos produzidos assim como o número de técnicos envolvidos no processo, e constatou que participaram no processo 420 empresas (fornecedores e subempreitadas), 850 indivíduos e que foram desenvolvidos 50 tipos de documentos contabilizando 56000 páginas. Adicionalmente, Krygiel *et al* (2008) sublinham que há actualmente uma maior complexidade envolvida na construção de um edifício, o que conduz a um acréscimo dos recursos humanos requeridos, a um maior consumo de materiais de construção e a um incremento considerável da informação a coordenar. Referem, ainda, que para acompanhar o crescimento e as exigências do sector da construção é necessário encontrar novos métodos de trabalho que promovam uma coordenação da informação e uma comunicação mais efectiva entre os participantes, de forma a aumentar a eficiência do sector, e nesse sentido apresentam o BIM como a metodologia a seguir.

2.2. Contextualização histórica

Em 1963 Ivan Sutherland desenvolve o primeiro *software* CAD, o *Sketchpad* em 1963 no MIT, no âmbito da sua tese de doutoramento com o título “*A Machine Graphical Communication System*”, explorando conceitos relacionados com a modelação tridimensional (3D) e a capacidade de interacção do projectista com o modelo. O *software* CAD começou por ser aplicado em grandes empresas, nomeadamente, dos ramos automóvel, aeroespacial e electrónica, devido às suas capacidades económicas para adquirir computadores com elevado nível de processamento.

A partir de 1970 surgem diversas empresas que potenciaram o desenvolvimento da área CAD, nomeadamente, a *Systems United Computing*, a *Intergraph*, a *IBM* e *Intergraph IGDS* e, mais tarde, em 1984, a *Bentley Systems Microstation*, que contribuíram para o desenvolvimento do *software* e a sua divulgação. O desenvolvimento do *hardware*, procurado pelas empresas permitiu a concepção de computadores mais económicos e, portanto, mais acessíveis a pequenas e médias empresas permitindo, assim, a aquisição de *software* CAD. Actualmente, o uso de *software* de modelação e de traçado gráfico é imprescindível no sector da construção.

Eastman (1975), considerado o criador do conceito BIM, escreveu um artigo intitulado “*The use of computers instead of drawings in building design*” onde identifica como aspectos indicadores de ineficiência na indústria AEC, a dificuldade de compreensão da forma espacial do edifício por interpretação do desenho e a morosidade na sua obtenção. Analisa, ainda a dificuldade de manter a informação actualizada e o risco de utilizar informação incoerente na tomada de decisões. Como solução sugere o desenvolvimento de um sistema computadorizado, Building Description System, com a capacidade de manipular e de armazenar a informação relativa à construção e que, adicionalmente, auxilie o traçado do desenho e a obtenção da extracção de quantidades e orçamento [W1]. Este conceito BIM ainda é o actual mas o termo Building Information Modeling surge pela primeira vez em 1992, num artigo de Van Nederveen e Tolman com título “Modeling Multiple Views on Buildings” [W2].

A primeira aplicação comercial a integrar o conceito BIM é desenvolvida pela empresa *Graphisoft’s ArchiCAD* em 1987. O forte impulso verifica-se já no séc. XXI, com um avanço tecnológico significativo e multidisciplinar. A *Autodesk* em 2002 apresenta a 1ª versão do *Revit*, software usado na presente dissertação, actualmente, a versão *Revit 2016*. A implementação do BIM no sector apresenta inúmeras vantagens mas requer a introdução de alterações no processo de trabalho na estrutura empresarial onde o sistema CAD ainda prevalece.

2.3. Conceito e metodologia

Desde que foi introduzido nos anos 70, o conceito de *Building Information Modeling* tem sido gradualmente entendido pela indústria da Construção como uma metodologia que envolve o projecto, a construção e a gestão do edifício e que aporta um avanço significativo e promissor ao sector:

- Eastman *et al* (2011) descrevem o modelo BIM de um edifício como sendo um modelo digital que vai sendo construído ao longo de todas as fases do projecto e que permite efectuar diversos estudos de análise e controlo do processo construtivo, de uma forma mais fiável, quando comparado com o método tradicional de trabalho. O modelo BIM gerado deve conter a informação geométrica e toda a informação relacionada com o projecto de suporte à construção, fabricação, consultoria e manutenção, capaz de apoiar processos de trabalho mais colaborativos e, conseqüentemente, promover resultados finais de maior qualidade e de menores custos;
- A organização americana *National Building Information Modeling Standard* (NBIMS) define o BIM como um processo melhorado de planeamento, desenho, construção, operação e manutenção recorrendo a informação padronizada acerca de um edifício, formando uma base de dados acessível durante o ciclo de vida do edifício (Figura 2.2) e constituindo uma fonte fidedigna para a tomada de decisões futuras [W4];

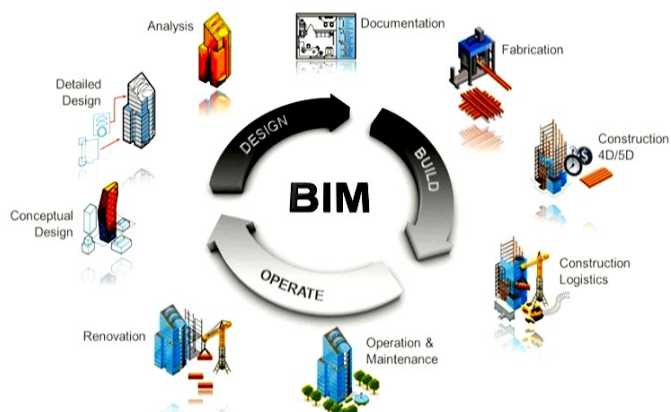


Figura 2. 2 - BIM e o ciclo de vida de um edifício [W3]

- Smith *et al* (2009), descrevem BIM como um sistema que apoia a comunicação entre o dono de obra, os projectistas, das diversas especialidades e os técnicos de planeamento de demolição e da reabilitação, pois a metodologia concentra toda informação num único modelo digital, o modelo BIM, acessível em qualquer fase do ciclo de vida do edifício;
- Krygiel *et al* (2008) refere que o BIM não é apenas o modelo na forma de um ficheiro de dados, o produto final, mas é essencialmente uma metodologia de trabalho, pois permite obter desenhos construtivos de uma forma rápida e de qualidade, a simulação de performances dos edifícios do ponto de vista acústico, energético e de sustentabilidade, a obtenção de estimativas de custos e o planeamento da construção em diferentes fases do projecto;
- Kymmell (2008) salienta como característica fundamental do BIM, a possibilidade de o projecto ser desenvolvido num ambiente de constante *feedback*, em que a informação é acrescentada ao modelo de uma forma cíclica e iterativa. Sublinha a importância do BIM apresentar uma simulação aproximada do processo construtivo real contribuindo para a redução de riscos económicos e para incrementar as hipóteses de sucesso e eficiência do produto.

2.3.1. Aplicabilidade

O projecto de uma construção é desenvolvido, em ambiente BIM, de uma forma colaborativa e interativa. No processo, o projectista visualiza as especialidades já elaboradas, analisa e define diferentes opções para a sua componente, e pode solicitar às outras especialidades algum ajustamento de forma a estabelecer uma solução mais adequada (Krygiel, *et al.*, 2008). O modelo BIM contempla a informação geométrica relativa a dimensões, áreas e volumes, como os outros *softwares* de modelação CAD mas, adicionalmente, como a base de modelação é paramétrica cada elemento contém, ainda, informação referentes à sua composição e propriedades dos materiais. A modelação paramétrica é a principal diferença e é esta a capacidade que permite a extracção de dados do modelo de forma a obter quantidades de materiais e orçamentos, estabelecer processo construtivos, simular o comportamento ambiental e energético do edifício (Garber, 2014). Há, assim, várias utilizações de informação contida no modelo BIM, designadas na literatura da especialidade, de dimensões nD do BIM: o modelo 3D é referente à modelação espacial; o modelo 4D corresponde à adição ao modelo 3D da variável temporal; o modelo 5D abrange os custos do projecto; o modelo 6D introduz o parâmetro de manutenção; o modelo 7D refere-se à gestão do ciclo de vida do edifício [W5].

De acordo com a metodologia BIM o planeamento de um projecto requer a definição de uma base de trabalho formado pelas condicionantes do projecto, nomeadamente, as características morfológicas do terreno, as coordenadas geográficas do local e a implantação da envolvente urbana, entre outros. Esta base permite a análise da viabilidade de construção, a interacção com a envolvente e a exposição solar (Kymmell, 2008).

O desenvolvimento de projecto inicia com modelação tridimensional (3D) da componente arquitectónica podendo ser estudadas diversas soluções, considerando razões estéticas, energéticas e de impacto ambiental. Segue-se a modelação da estrutura e de serviços, elaborada sobre o modelo de arquitectura. Durante a modelação são introduzidos os objectos paramétricos dos elementos arquitectónicos (como pisos e paredes) da componente estrutural (como pilares e vigas) e de outras

especialidades, (como rede de águas e esgotos ou sistemas de ar condicionado). Os objectos paramétricos contêm a informação relativa a propriedades físicas e mecânicas e parâmetros económicos. O modelo BIM concentra toda a informação desenvolvida ao longo do projecto, permitindo a posterior produção de documentação, gráfica (plantas, cortes, alçados, pormenores construtivos), obtida de uma forma expedita e, sempre, sobre o modelo digital actualizado (Eastman, *et al*, 2011).

O modelo BIM admite uma acessibilidade fácil à informação possibilitando a obtenção de diverso tipo de desenhos, nomeadamente, o conjunto do edifício, de implantação ou detalhes de distintas especialidades. A capacidade de representação espacial do projecto é a faceta mais visível, permitindo uma boa compreensão do projecto, contribuindo para uma comunicação mais clara e assertiva numa participação colaborativa dos diferentes actores envolvidos. As ferramentas de base BIM têm a capacidade de detectar incompatibilidades entre os projectos de especialidades, evitando erros de concepção em fase de projecto, reduzindo os custos de eventuais alterações impostos posteriormente em obra (Kymmell, 2008). Kamardeen (2015) sublinha a vantagem da visualização 3D do projecto no planeamento da segurança e prevenção de acidentes pois permite a compreensão e a identificação de alguns riscos do projecto, possibilitando, ainda, que o modelo apoie o estabelecimento de alterações ao projecto, por forma a mitigar os riscos em obra e em fase pós ocupação.

A variável tempo associada ao modelo BIM 3D origina 4D. O planeamento e a gestão da obra é definida com base na elaboração de um cronograma de actividades, com períodos de desenvolvimento e sequência devidamente estudadas. O modelo possibilita a atribuição do parâmetro temporal a conjuntos de elementos do modelo digital de forma a simular o processo construtivo por fases de execução (Kymmell, 2008).

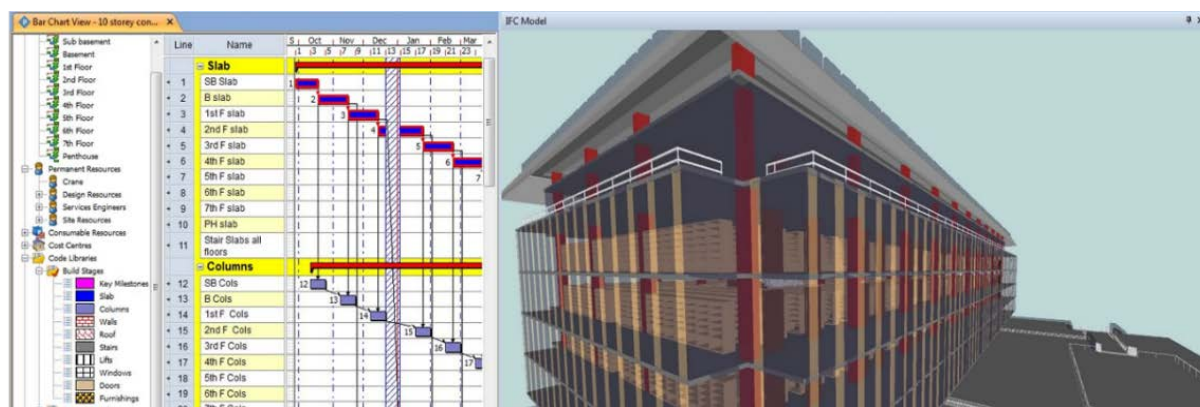


Figura 2. 3- Faseamento de uma obra – Modelo 4D [W6]

Os parâmetros económicos também são factores a considerar na gestão da obra. A orçamentação de uma construção é o factor decisivo na avaliação de opções para o edifício. A informação do modelo pode ser extraída e na forma de quantidades de material e respectivos custos, permitindo a obtenção de estimativas orçamentais de construção, em fases iniciais de projecto (Garber, 2014). Este tipo de modelo é designado de 5D.

Adicionalmente, o desenvolvimento de estudos de sustentabilidade é facilitado através do BIM. O modelo 3D permite a introdução de propriedades do material constituinte, nomeadamente, as suas características térmicas. Considerando o local de implantação devidamente georreferenciado é

possível efectuar simulações de comportamento ambiental do edifício, analisando a eficiência e os custos de consumo inerentes, efectuar o estudo de luminosidade, assim como, fundamentar decisões na escolha de opções construtivas mais adequadas numa perspectiva de economia energética e de sustentabilidade (Krygiel, *et al*, 2008).

A contribuição para a manutenção do edifício é outra das capacidades susceptíveis de adicionar ao BIM 3D. O modelo 6D associa a informação relativa ao ciclo de vida dos objectos, nomeadamente, a garantia dos equipamentos e os respectivos planos de manutenção e custos associados. O modelo 7D apoia a gestão. Todos estes parâmetros serão abordados posteriormente com maior detalhe.

2.3.2. Processo colaborativo

O processo tradicional de desenvolvimento do projecto de uma construção tem como base a comunicação de dados em 2D, condicionando a produtividade e dificultando a obtenção de informação relativa à análise de custos, à eficiência energética e a detalhes estruturais. Como estes estudos são efectuados, geralmente, em fase final do projecto, as alterações a efectuar nesta fase são mais onerosas, aumentando os custos globais da construção. O projecto inicia com a solução do arquitecto que é partilhado com a restante equipa de projectistas, que interpreta os desenhos fornecidos e desenvolve o projecto da sua especialidade. O coordenador do projecto deve analisar como compatibilizar as diferentes especialidades e, por vezes, sugerir alterações aos projectos e, portanto, à rectificação de desenhos, que é uma tarefa morosa e que origina frequentemente erros de consistência. Na preparação para a obra são executados os desenhos de pormenorização, os quais são entregues ao empreiteiro e subempreiteiros. Segundo Krygiel *et al* (2009) o sucesso do processo depende das verificações efectuadas pela coordenação de projecto e pela fiabilidade e precisão da informação usada e transferida no processo. Referem que a constante troca de informação entre especialidades, arquitectos, empreiteiros, subempreiteiros, é, geralmente, uma fonte de erros e de indecisões, obrigando a frequentes revisões e clarificações do projecto. No projecto tradicional o fluxo de informação, entre as diferentes partes envolvidas, é assente numa comunicação com falhas, gerando informação redundante e errada diminuindo a produtividade e a qualidade do produto.

Eastman *et al* (2011) apresentam o BIM como a metodologia que soluciona os problemas identificados minimizando os erros decorrentes de um modo ineficaz de comunicação, evitando esforços redundantes e melhorando o modo de comunicação, possibilitando que a equipa de projecto obtenha um maior rendimento no desenvolvimento do projecto e planeamento da construção. A figura 2.4 ilustra o ambiente de trabalho BIM no desenvolvimento do projecto com base num modelo digital comum acessível a todos os participantes (Krygiel *et al*, 2009). O dono-de-obra, os projectistas, os consultores, as especialidades e o consultor trabalham sobre o

mesmo modelo. O processo é centralizado e colaborativo, permite melhor percepção da relação entre os diferentes técnicos, possibilitando, em diferentes fases do projecto, efectuar simulações e análises de ordem económica e ambiental. Na preparação da obra, o modelo é utilizado pela equipa de



Figura 2. 4 - Processo colaborativo BIM [W7]

construção que define introduz as informações relativas ao processo construtivo utilizado, adicionando dados com um maior detalhe, ao modelo. Durante a obra o modelo BIM pode ser utilizado no acompanhamento dos trabalhos e, eventualmente, permitir a sua adequação de acordo com as alterações a introduzir. O modelo BIM admite ainda a adição de informação relativa a produtos, a ocorrências e outros parâmetros julgados necessários no desenvolvimento e acompanhamento do projecto. Posteriormente durante a exploração do edifício, o modelo pode ser acedido pelo gestor do edifício e pelo dono-de-obra, possibilitando a visualização de informação para efeitos de manutenção, podendo consultar as características dos sistemas construtivos aplicados e planos de manutenção associados, ou a informação relativa a equipamentos, nomeadamente, a garantias, dados do fabricante, e a localização das diferentes especialidades.

2.4. Implementação

2.4.1. Níveis de implementação BIM

A implementação do processo BIM numa empresa e na indústria, em geral, requer aquisição de tecnologia avançada de base BIM e uma mudança cultural no processo de trabalho (Eastman *et al*, 2011). Com o propósito de categorizar o nível de implementação da metodologia BIM nas empresas, o governo Inglês, através do departamento de estratégia para a construção, recorreu em 2011 ao conceito de nível de implementação BIM [W8]. O objectivo é a definição do tipo de colaboração e o método de trabalho a adoptar por forma a estabelecer metas nacionais para a aplicação da metodologia BIM. Por análise do gráfico da figura 2.5:

- Nível 0 corresponde ao método de trabalho baseado na representação em 2D e numa comunicação efectuada, principalmente, através do papel ou de um modo digital;
- Nível 1 inclui o desenvolvimento de modelos 3D do edifício, num ambiente CAD, a produção de desenhos convencionais obtida segundo a normalização aplicável e a informação é partilhada num ambiente comum, gerida por um gestor de projecto, contudo não existe uma colaboração aberta entre as diferentes especialidades;
- Nível 2 apresenta um ambiente de trabalho colaborativo em que todas as especialidades usam os próprios modelos BIM, mas não um único modelo digital. No entanto, a informação do modelo é compilada ao longo do processo num formato acessível podendo ser acedida e alterada em qualquer fase do processo;
- Nível 3 representa o conceito pleno da metodologia BIM, em que todas as especialidades trabalham sobre o mesmo modelo BIM, num ambiente de trabalho virtual comum, eliminando o risco de informação conflituosa e em que a informação é desenvolvida com base em normas.

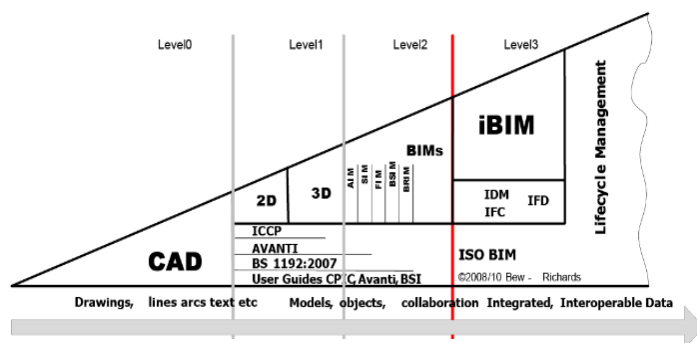


Figura 2. 5 - Níveis de implementação BIM [W8]

Nos Estados Unidos, o grau de implementação do processo BIM nas empresas foi alvo de estudo por Miller (*referido em* Deutch, 2011), tendo analisado, o uso de *software* BIM, em mais de 10 empresas de construção. Observou que a maioria recorria ao BIM apenas para a visualização e a análise de conflitos, não considerando as potencialidades do BIM como base de extracção e consulta de informação dos objectos paramétricos. Conclui

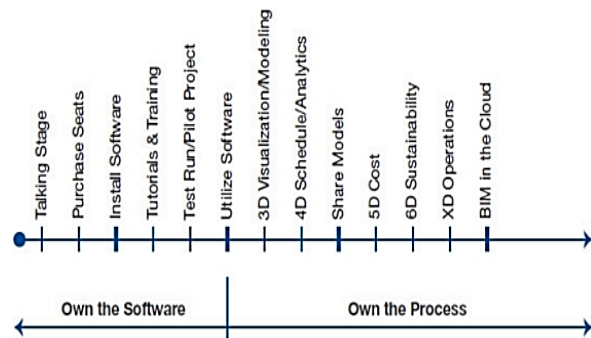


Figura 2. 6 - Processo BIM e a implementação nas empresas (Deutch, 2011)

que apesar das empresas já usarem *software* BIM, não dominavam a metodologia na sua plenitude. Analisando a figura 2.6, o processo de construção em BIM engloba o recurso às funcionalidades de modelação e visualização, os controlos de tempos de construção, partilha do modelo com os outros participantes, a obtenção de custos, as análises de sustentabilidade ambiental ou ao desenvolvimento de planos de manutenção. Verifica-se, contudo, que as capacidades do BIM ainda não estão interiorizadas pelos diferentes sectores da construção, nos métodos de trabalho e colaboração na empresa e entre empresas.

2.4.2. Panorama internacional

No Reino Unido o governo estabeleceu em 2011 [W9], um plano estratégico para a construção, em que indica como objectivo a atingir em 2016, que todos os projectos públicos sejam elaborados segundo a metodologia BIM e que toda a informação relevante incorporada no modelo digital fosse apresentada tendo como base a plataforma *Construction Operations Building Information Exchange* (COBie). Esta opção é considerada como a mais ambiciosa, a um nível mundial, relativa à implementação da metodologia BIM. O objectivo da estratégia é a modernização da indústria nacional da construção, com vista a uma redução de 20% nos custos de construção e de gestão nos novos edifícios. As empresas de construção têm vindo a alterar os seus métodos de trabalho por forma a conseguir adoptar a tecnologia BIM e atingir os objectivos propostos pelo governo, auxiliados por mecanismos de assistência governamental. Na Holanda, o BIM é obrigatório para os projectos públicos, de valor superior a 10 milhões de euros [W10].

A região da Escandinávia apresenta o mais elevado nível de implementação da tecnologia BIM no sector abrangendo a construção pública e privada. Os respectivos governos têm vindo a providenciar suporte e incentivos para o desenvolvimento tecnológico e implementação do BIM. O governo Finlandês é um dos que mais investiu para o desenvolvimento da indústria da construção, desde 1970. Em diferentes organizações, empresas e entidades públicas destes países o BIM é obrigatório quer na construção quer na gestão do ciclo de vida dos edifícios [W10]

Nos Estados Unidos, segundo a McGraw-Hill Construction (McGraw Hill, 2012), e apesar da recessão económica correspondente ao período de 2008 e 2012, o número de empresas que implementaram BIM neste período cresceu em cerca de 45%, registando o maior crescimento a nível mundial. A adopção aconteceu sobretudo ao nível das grandes empresas, sendo menor nas pequenas organizações, devido a constrangimentos orçamentais decorrentes da necessidade de formação e

treino para introduzir o processo BIM. Relativamente ao nível de implementação, verifica-se que a adopção do BIM é maior na arquitectura, quando comparada com os outros sectores da construção. Em Singapura, a implementação da metodologia BIM no mercado é orientada pela organização *Building and Construction Authority* (BCA), prevendo que 80% do sector da construção adopte o BIM, como forma de aumentar a produtividade em 25%, durante esta década (BCA, 2011). A análise efectuada ao sector identificou os desafios decorrentes da estratégia e as metas propostas, nomeadamente, a falta de mão-de-obra qualificada, os métodos de trabalho baseado em 2D, a dificuldade na aprendizagem. A organização propõe directivas estratégicas para promover a introdução do BIM, na educação, incentivando as escolas de arquitetura a lecionar o BIM, e na actividade profissional, com a organização de cursos intensivos e a constituição de equipas de assistência ao projecto para apoiar as empresas nos primeiros projectos BIM.

Em 2012 o governo Australiano, através da *Built Environment Industry Innovation Council* (BEIIC), editou o caderno “Iniciativa Nacional BIM”, dividido em dois volumes dirigido à estratégia e à implementação. O documento contém uma série de recomendações, especificações e metas a serem adotadas pela indústria da construção e estabelece seis pontos-chave: documentação, guia de implementação, educação, bibliotecas de componentes, processos de troca de informação e regulação de trabalho.

2.4.3. Panorama Nacional

Em Portugal o processo e o recurso à tecnologia BIM tem ainda pouca expressão. Existem iniciativas como o processo de normalização Europeia a decorrer, em que Portugal está representado no grupo de trabalho da Comissão de Normalização Europeia. O grupo de trabalho BIM (GTBIM), da Plataforma Portuguesa Tecnológica da Construção (PTPC), e o BIMfórum têm organizado algumas iniciativas no sentido de contribuir para o desenvolvimento de um documento normativo de âmbito nacional integrando os sectores da indústria, por forma, a atingir um consenso alargado. Segundo Costa (W11, 2013) a Comissão BIM da Associação Portuguesa dos Mercados Públicos (APMEP), tem contribuído activamente com a sua participação numa rede BIM europeia que engloba entidades públicas e no trabalho de integração do BIM nos processos de contratação pública.

Apesar da fase embrionária do BIM em Portugal, existem empresas que já desenvolvem algumas actividades em BIM, como a Mota-Engil [W12], a EFACEC [W13] ou a Somague [W14], e as empresas de materiais de construção, como a ROCA. Em 2013, a Somague começou a introduzir o BIM no processo de desenvolvimento e preparação da obra (Somague, Fundec, 2015), por forma a diminuir riscos decorrentes de erros de construção. O recurso ao BIM tem sido usado para a percepção e correcta interpretação do projecto, para a coordenação das várias especialidades, para a preparação da obra definindo “frentes de ataque”, turnos, logística e equipas de acordo com o planeamento previsto, aferição da quantidade de material, a integração de valências como a topografia, medição, fiscalização, entre outras.

A barragem do Foz do Tua e o centro de artes da fundação EDP, observadas na figura 2.7, são exemplos do recurso a funcionalidades BIM. A modelação da barragem tinha como objectivo o apuramento de medidas e a geometria rigorosa com o intuito de obter moldes de cofragem, a inserção

de todos os equipamentos constituintes da barragem e o seu posicionamento para a elaboração de planos de manutenção. No caso do centro de artes a informação enviada pela equipa projectista em formato de desenho 2D era insuficiente para a compreensão do projecto obrigando o construtor a desenvolver um modelo digital para o planeamento de obra. Através do modelo foram detectadas diversas incompatibilidades e simplificados métodos construtivos que evitaram custos acrescidos em fase de obra (Somague, FUNDEC, 2015).

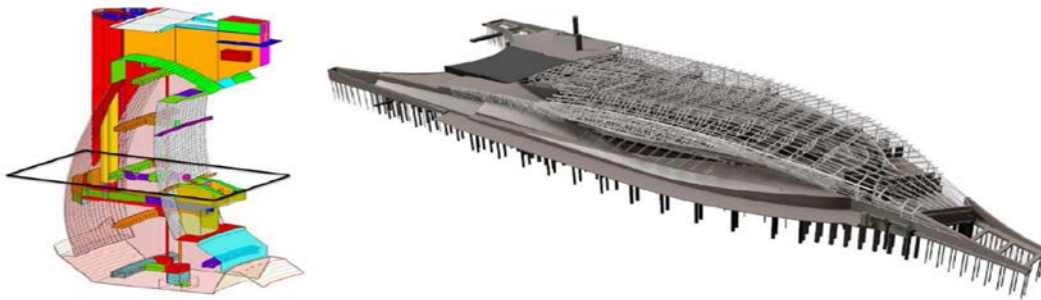


Figura 2. 7 - Secção de Barragem de Foz do Tua e MAAT (Somague, FUNDEC, 2015)

Também a empresa Mota-Engil está a implementar o BIM no seu processo construtivo. Pretende controlar as obras de um modo mais eficaz, evitando as eventuais contingências em fase de obra, como a recepção de elementos de projecto em ficheiros não editáveis, pdf, o levantamento topográfico com cotas incorrectas, a detecção de incompatibilidades entre especialidades do projecto, ou o atraso no envio de desenhos do projecto originando atrasos de obra, entre outros. Entre alguns projectos, distingue-se o Hospital da Terceira nos Açores ou a Fundação Champalimaud, onde o BIM permitiu a optimização de projectos, a estimativa de custos, a extracção de quantidades, a detecção de conflitos e o aumento da qualidade de comunicação entre as diferentes disciplinas [W15].

As potencialidades do BIM são reconhecidas por algumas empresas construtoras e projectistas, mas também pelos fabricantes de materiais de construção. A ROCA [W16], empresas de equipamentos sanitários, modela os seus produtos como objectos paramétricos adequada à sua inserção directa no modelo BIM. Os objectos incorporam a informação técnica do produto, o custo e as instruções de montagem. O projectista facilmente insere o modelo 3D de cada produto no modelo BIM proporcionando uma visualização do ambiente interior do edifício mais detalhada com a possibilidade de consultar informação associada [W17].

2.5 - Software e interoperabilidade

A eficácia da modelação BIM depende do nível de avanço tecnológico das ferramentas desenvolvidas. Os processos BIM são elaborados por recurso a *software* com capacidade de modelar, e de interagir com a informação criada. Existem diversas soluções BIM no mercado mas, segundo Watson (2010), as mais reconhecidas na indústria são as empresas de *software Autodesk, Graphisoft, Bentley systems e TECKLA corp.* Um dos objectivos da metodologia BIM é apoiar o trabalho colaborativo e, portanto, a capacidade de acessibilidade à informação contida no modelo por diferentes *softwares* consoante a especialidade ou a aplicação requerida é um factor importante. Os *softwares* apresentam funções especificidades próprias direccionadas para as actividades de arquitectura, e de estruturas, de sistemas

de serviços e, ainda, para o planeamento de obra, a gestão do ciclo de vida ou a análise de comportamento energética. A tabela 2.1 apresenta o *software*, de maior presença no mercado:

Tabela 2. 1 - Softwares BIM mais utilizados

Autodesk	Autodesk Revit Structure	Estruturas
	Autodesk Robot Structural Analysis	Estruturas
	Autodesk Revit Architecture	Arquitectura
	Autodesk Revit MEP (<i>Mechanic, electric and Piping</i>)	Redes de serviços
	Autodesk Naviswork	Gestão da construção
	Autodesk FMDesktop	Gestão da construção
	Autodesk Ecotect Analysis	Sustentabilidade
Bentley	Bentley Architecture	Arquitectura
	Bentley hevacomp Mechanical Designer	Redes de serviços
	Bentley ConstructSim	Gestão da construção
	Bentley facilities	Gestão da construção
	Bentley RAM/ STAAD/ ProSteel	Estruturas
	Bentley Structural modeler	Estruturas
Graphisoft	Graphisoft ArchiCAD	Arquitectura
	Graphisoft EcoDesigner	Sustentabilidade
	Graphicsoft MEP modeler	Redes de serviços
TEKLA Corp	Teckla BIMsight	Gestão da construção
	Teckla Structures	Estruturas

A selecção do software BIM mais adequado depende do tipo e do objectivo do utilizador, contudo o investimento, os requisitos do sistema, o suporte disponível, e as bibliotecas de objetos são os principais fatores a considerar na aquisição do *software* (Eastman *et al.* 2011). Eastman, analisando os diferentes softwares, sublinha a liderança de mercado por parte da Autodesk, referindo que o *Revit* é o *software* BIM mais utilizado. É igualmente o mais utilizado, a nível nacional. Como ferramenta de apoio ao projecto é de salientar as avançadas capacidades de modelação, apresentando uma interface intuitiva de fácil aprendizagem e uma biblioteca de objectos paramétricos bastante abrangente. Como plataforma de trabalho BIM apresenta um elevado nível de interoperabilidade, permitindo a transferência de informação entre outros *softwares*. Contudo, Eastman *et al.*, identificam como limitações o ineficaz desempenho quando o projecto é volumoso e requer grande detalhe. A *Bentley Software*, menciona a adequada capacidade para responder a praticamente todos os aspectos da indústria da construção contudo a sua utilização é mais complexa exigindo uma formação morosa e o suporte *online* é, ainda muito reduzido. O *software* da *Graphisoft*, apesar de ser o mais antigo no BIM e intuitivo de utilizar, as suas capacidades de análise e de simulação são limitadas.

A colaboração exigida na metodologia BIM requer a troca de informação eficaz entre os diferentes agentes envolvidos, baseado numa adequada acessibilidade à informação pelos distintos *softwares*. Neste sentido, é necessário garantir, durante o processo comunicativo, que a informação é consistente, correcta e actualizada e, portanto, fiável independentemente do suporte informático utilizado. A correcta troca de informação entre *software* é o grande desafio do BIM (Steel *et al.*, 2012). Com este objectivo

foi desenvolvido pela “*BuildingSMART Alliance*” formalmente a Aliança Internacional para a interoperabilidade (IAI), o formato *Industry Foundation Classes* (IFC). O IFC é um formato de dados que permite arquivar a informação dos objectos modelados e os correspondentes atributos sendo, actualmente, considerado como o formato padrão dos *softwares* BIM. Subsistem contudo, ainda, alguns problemas relativamente à qualidade da informação transferida entre *software*.

Quando um modelo BIM é convertido no padrão IFC, é garantida a associação a cada elemento de um conjunto de informações relacionada com a geometria, as relações entre elementos e as propriedades dos materiais constituintes (Eastman *et al*, 2011). Steel *et al*, (2012) analisa o formato IFC definindo 4 níveis de interoperabilidade nomeadamente:

- a capacidade de diferentes *softwares* acederem ao mesmo modelo BIM;
- a interoperabilidade ao nível da sintaxe, podendo o utilizador aceder ao ficheiro proveniente de outro programa mantendo intacta a informação atribuída e com o mesmo significado;
- a interoperabilidade referente à capacidade de visualização relacionada com precisão e a leitura fidedigna na representação do modelo BIM;
- a interoperabilidade semântica que corresponde à capacidade de uma aplicação interpretar a informação e o significado atribuído noutra *software*.

O padrão IFC é eficaz, ao nível da interoperabilidade em termos de visualização do modelo BIM, apesar de alguns problemas na capacidade de renderização, na percepção de regras de modelação e na leitura de objectos em cada *software*. Regista, ainda, alguns problemas de interoperabilidade, resultantes da fragmentação da indústria da construção, da necessidade do formato IFC ter capacidade de apreender informação relativa às diferentes especialidades e reproduzi-las fidedignamente nos diferentes *softwares*.

2.6. Benefícios e limitações

2.6.1. Donos de obra e gestão de projecto

Para proprietários de edifícios, donos-de-obra e gestores do projecto o desenvolvimento do processo de construção através da metodologia BIM proporciona as seguintes vantagens:

- **Maior participação e informação nas decisões durante o processo construtivo:** A facilidade de acessibilidade à informação do modelo BIM, por parte dos intervenientes do processo construtivo, resulta numa mais compreensiva discussão de opções alternativas. A visualização do modelo 3D do edifício constitui uma maior aproximação à realidade, quando comparado com o processo tradicional, esclarecendo o dono-de-obra do resultado final. Adicionalmente possibilita a obtenção de quantidades de informação ainda em fases iniciais, permitindo decisões mais fundamentadas, como por exemplo, estimativas de custos ou simulações de eficiência energética (Eastman, *et al.*,2011);
- **Diminuição dos conflitos devido ao processo colaborativo inerente ao BIM:** Smith *et al* (2009) referem que o desenvolvimento tecnológico do BIM e as conseqüentes implicações na qualidade do produto traduzem um forte impulso para a construção, salientando que a indústria deve pensar os

seus produtos e serviços BIM como parte do sistema. Observam que quando se estabelece uma sinergia entre os diferentes especialistas, há uma colaboração efectiva, ajudando a ultrapassar as dificuldades actuais na transmissão de informação. As cláusulas de contractos relacionados com os riscos de projecto são, actualmente, substituídas por cláusulas de comportamento do edifício. Algumas das tarefas tradicionais automatizadas, eliminando muita de documentação em papel ou digital, aumentando a produtividade e reduzindo custos, conseguindo maiores proveitos para o dono-de-obra;

- **Gestão do ciclo de vida do edifício:** O modelo BIM admite a inserção de informação relativa ao plano de manutenção do edifício e de equipamentos proporcionando ao gestor do edifício uma base de dados actual e completa útil no planeamento de futuras intervenções (Kymmell, 2008);
- **Menores tempos de projecto e construção, e melhor produto:** O processo BIM permite reduzir o tempo de projecto pois é promovido uma maior cooperação entre as partes, a supressão de tarefas desnecessárias e são reduzidos os riscos inerentes à troca de informação incorrecta. Adicionalmente, a construção pode ser planeada com base em informação mais detalhada recorrendo às funcionalidades proporcionadas pelas ferramentas existentes. Os conflitos entre especialidades são facilmente identificáveis diminuindo os imprevistos em obra, e as falhas de comunicação, decorrentes da compreensão formal e espacial do projecto, são reduzidas, pois são apoiados na visualização de um modelo 3D (Kymmell, 2008; Eastman, et al., 2011);

2.6.2. Elaboração de projecto

- **Decisões iniciais de projecto e alterações mais efectivas:** Como esclarece o gráfico da figura 2.9 as alterações efectuadas na fase inicial, decorrentes, por exemplo, de diferentes simulações energéticas e orçamentais sobre diversas soluções construtivas geram menor impacto no custo final do edifício. Apesar do maior esforço inicial na geração do modelo BIM, este trabalho é compensado pela qualidade de informação que é possível extrair, apoiando o projectista a decidir de forma mais fundamentada (Eastman, et al., 2011);

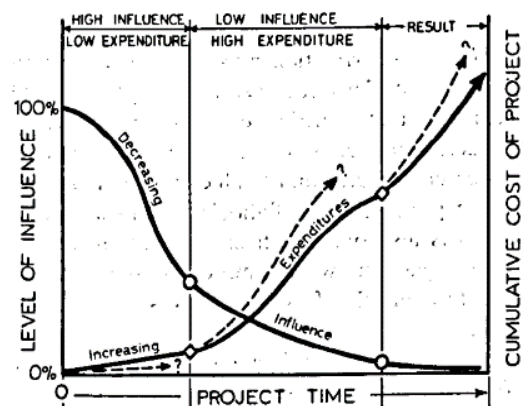


Figura 2. 9- Decisão e impacto no projecto (Paulson, 1976)

- **Capacidade analítica do BIM:** Dependendo do *software* utilizado é possível usufruir de múltiplas funcionalidades, como por exemplo, a capacidade de detecção de conflitos entre especialidades (figura 2.10), análise energética, definição de sistemas de redes de água, electricidade e de ar condicionado, o dimensionamento estrutural (figura 2.11), estudos de luminosidade, planeamento de uma estratégia de segurança. Segundo um estudo da universidade de Stanford (*Stanford University Center for Integrated Facilities*, CIFE) a metodologia BIM permite a poupança de 10% em alterações e correcções que ocorreriam em fase de obra. (CIFE, 2007, [W55]).

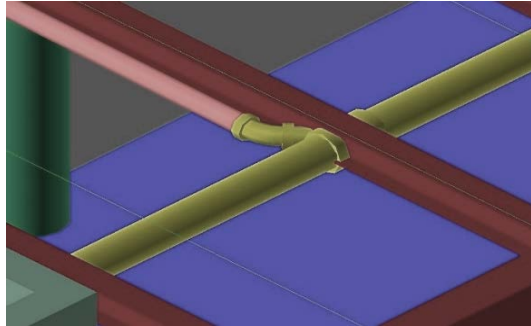


Figura 2. 7 - Conflito entre sistema estrutural e sistema de abastecimento de água [W18]

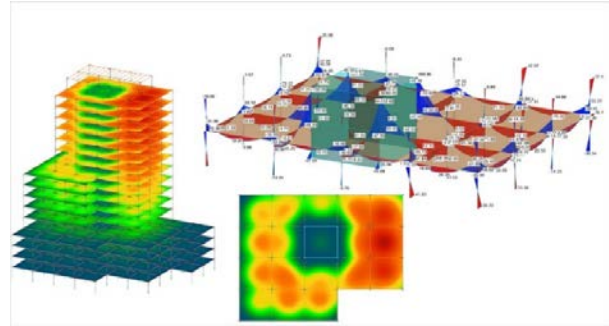


Figura 2. 8 - Análise estrutural em BIM [W19]

- **Obtenção automática de desenhos técnicos:** A produção de desenho, nomeadamente, plantas, cortes e alçados e ainda perspectivas do modelo 3D do edifício é realizada de um modo automático pelo *software* sobre o modelo actualizado. Esta capacidade elimina os erros frequentes no processo tradicional, relacionadas com a incoerência entre desenhos quando são impostas alterações ao projecto. A automatização aumenta a produtividade e a fiabilidade do desenho (Kryghel, et al., 2008);
- **Centralização do trabalho:** O modelo BIM permite o armazenamento de toda a informação criada e a sua consulta e alteração. A sincronização do trabalho elaborado pelos técnicos envolvidos pode ser actualizado constantemente, diminuindo os conflitos decorrentes da utilização de modelos e desenhos desactualizados (Garber, 2014);

2.6.3. Actividade da Construção

- **Participação da empresa construtora e de fabricantes:** A integração do construtor na modelação do projecto contribui para o estabelecimento de um melhor planeamento da obra. A inclusão de fabricantes de materiais e de produtos de construção, permite uma maior participação na pormenorização e no aconselhamento de produto a utilizar e a correspondente metodologia de aplicação. O fabricante pode contribuir com a criação do objecto paramétrico com a informação técnica específica associada, referente à montagem, instalação e manutenção (Azhar, *et al.*, 2008);
- **Estimativa de custos:** O modelo BIM permite o apuramento da quantidade de material, de um modo rápido e fiável (aspecto desenvolvido no capítulo 5). É possível obter orçamentos rápidos e precisos, possibilitando, com antecedência, negociar com os fornecedores, diminuindo assim o risco de derrapagens orçamentais. A Universidade de Stanford analisou 32 projectos concluindo que o BIM reduz em 80% o tempo despendido na obtenção de estimativas orçamentais. (CIFE, 2007, [W55].);
- **Planeamento e gestão da construção:** O BIM permite a geração do modelo 4D por associação da variável tempo aos objectos do modelo 3D de acordo com o planeamento de obra, apresentado na forma de diagrama de *Gant*. O modelo 4D possibilita a visualização em ambiente virtual, da sequência das fases de construção, proporcionando uma melhor gestão da obra ao nível da logística, contratação de mão-de-obra e planeamento do estaleiro (Azhar, *et al.*, 2008).

2.6.4. Riscos e desafios

A implementação do processo BIM no processo construtivo implica novos métodos de trabalho, esta mudança é considerada um dos maiores entraves à sua implementação. Verifica-se alguma inércia por parte das empresas pois envolve custos de aquisição de *software* e de *hardware* e na formação de trabalhadores. Há ainda custos resultantes da mudança de métodos de trabalho, numa fase inicial de implementação, em que se verifica uma baixa de produtividade (Young, 2008).

O BIM pressupõe a acessibilidade e a facilidade de modelação do projecto por parte de todos os agentes do processo construtivo. A informação colocada ou modelada por estes, pode não ser correcta ou actual, conduzindo a decisões erradas o que acarreta um problema de responsabilização que ainda não é claro. Por outro lado o acesso ao modelo e a modelação é visto, por alguns autores, como um desafio a questões relacionadas com os direitos de propriedade, nomeadamente, ao nível das alterações que podem ser introduzidas por entidades externas (Azhar, *et al.*, 2008).

A inexistência de normas BIM aplicáveis a um nível internacional condiciona a interoperabilidade da informação do modelo. Apesar do importante contributo do padrão IFC para a interoperabilidade, ainda apresenta limitações, sobretudo ao nível da interpretação da informação, sendo necessária uma maior investigação de forma a conceber um padrão mais universal e eficaz (Azhar, *et al.*, 2008).

Uma outra limitação é a escassez de bibliotecas de objectos, como materiais, equipamentos, portas, janelas e muitos outros objectos que compõe o edifício. A inexistência de materiais e objectos pretendidos pelo utilizador obriga o utilizador e as empresas de construção a modelar os próprios materiais e as soluções construtivas (Eastman, *et al.*, 2011). O presente trabalho pretende contribuir, no âmbito nacional para a definição de uma biblioteca de objectos paramétricos BIM relacionados com as soluções construtivas de paredes exteriores.

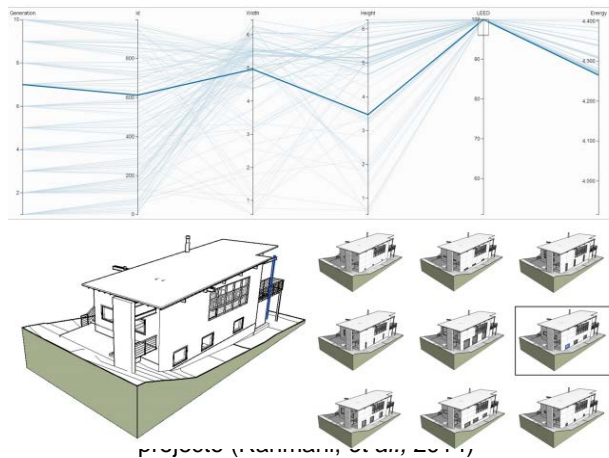
2.7. Análise de soluções alternativas

Um projecto bem elaborado é a garantia de sucesso na sua construção e manutenção sobretudo numa área onde a competitividade é grande, obrigando a constante redução de custos. Um processo de construção é dividido em diferentes fases: o planeamento; o projecto do edifício; a construção; a utilização, a manutenção e a demolição. A cada fase corresponde um conjunto de tarefas e de decisões que podem ter um maior ou menor impacto nos custos de construção (figura 2.9). São nos primeiros níveis, como referido, que as decisões tomadas na fase inicial têm um maior impacto na obtenção de um melhor produto, mas requer algum investimento em estudos iniciais e recolha de informação (Paulson, 1976). Ao longo do desenvolvimento de projecto o nível de influência de uma decisão sobre os custos gerais vai diminuído pois a tomada de decisão de adaptações numa fase adiantada tem uma influência mais restrita. Paulson conclui que a compreensão da importância do nível de influência, deve contribuir para que, nas fases iniciais do projecto as equipas de projecto explorem diferentes soluções, mas que possam ser fundamentadas com informação útil e consistente.

Para o projectista o recurso ao modelo na fase inicial, é muito útil apoiando-o na concepção de melhores projectos. Analisar a quantificação do impacto económico, ambiental e social relativa às diferentes soluções construtivas e técnicas consideradas para o edifício, constitui um desafio para o projectista

(Wang et al., 2005). O presente trabalho aborda a importância das paredes exteriores e o seu impacto na construção. Este elemento, a par com a cobertura, constitui o invólucro da edificação, sendo responsável por limitar os espaços interior e exterior controlando as condições do ambiente interior, como a privacidade, o conforto acústico e térmico, a segurança estrutural, o impacto estético no exterior, entre outros. Desta forma a escolha do tipo de sistema construtivo para a parede tem um papel relevante no desempenho final da envolvente, não só pela sua expressão no ambiente urbano, a sua importância na construção sustentável, mas também pelo impacto na fase de construção e custos inerentes. A metodologia BIM apresenta-se como um processo de apoio ao projectista permitindo que fundamente as suas decisões referente às diferentes soluções alternativas, com base em simulações de desempenho e custos.

Rahmani et al. (2014) desenvolve no *Revit*, associado ao *plug-in Dynamo*, um conjunto de soluções para um edifício, em que gere a abertura de vãos em cada caso. As distintas opções são facilmente alteradas no modelo BIM. Efectua uma análise de desempenho energético considerando o nível de luminosidade associado às dimensões do vão. A ferramenta BIM indica como resultado a solução que melhor se adapta às exigências energéticas e de luminosidade.



A figura 2.12 ilustra um caso de estudo, em que o BIM apoia a comparação entre duas opções de projecto, com base no estudo de impacte ambiental realizado sobre ambas as soluções (Kryghel et al., 2008). Recorrendo a *software* de modelação BIM foi criado um modelo digital, e analisado o seu desempenho ambiental através dos valores de consumo energético e de emissões de CO₂. Foi definida uma solução alternativa com a aplicação de sistemas de protecção solar passivos e, foi efectuado uma nova simulação, verificando uma redução do custo energético e na emissão de dióxido de carbono (Krygiel, et al, 2008).

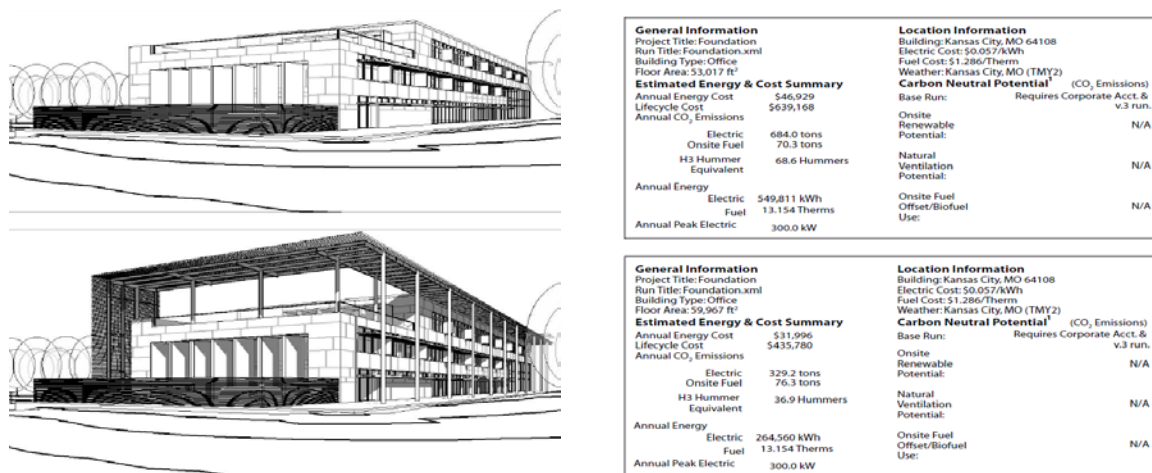


Figura 2. 10- Análise de diferentes opções de design e respectivos custos (Kryghel, 2008)

3. Paredes Exteriores

3.1. Evolução histórica e exigências funcionais

A construção tradicional portuguesa assentava, até aos anos 40, num sistema construtivo caracterizado por paredes de alvenaria de pedra, espessas e pesadas, eventualmente revestidas com um material cerâmico ou pintadas (caiadadas), desempenhando uma função estrutural. A partir dos anos 40, com a introdução do betão, material com características resistentes inovadoras à época, a alvenaria começa a desempenhar funções de enchimento e de compartimentação, em detrimento da função estrutural (Sousa, 2003).

A figura 3.1 ilustra a evolução histórica dos sistemas construtivos de fachadas (Freitas, 2002). Pode observar-se que até aos anos 40, a fachada desempenhava uma função estrutural e de elemento de fronteira interior e exterior, e era constituída por alvenaria de pedra ordinária ou tijolo maciço, formando paredes com uma espessura e peso consideráveis. Posteriormente, nos anos 50, de forma a diminuir o peso sobre a estrutura e garantir um maior conforto térmico e higrotérmico, é introduzido, junto à superfície interior da alvenaria, um pano de tijolo com uma menor espessura. Esta solução além de proporcionar melhores condições de conforto torna o processo construtivo menos demorado e mais leve.

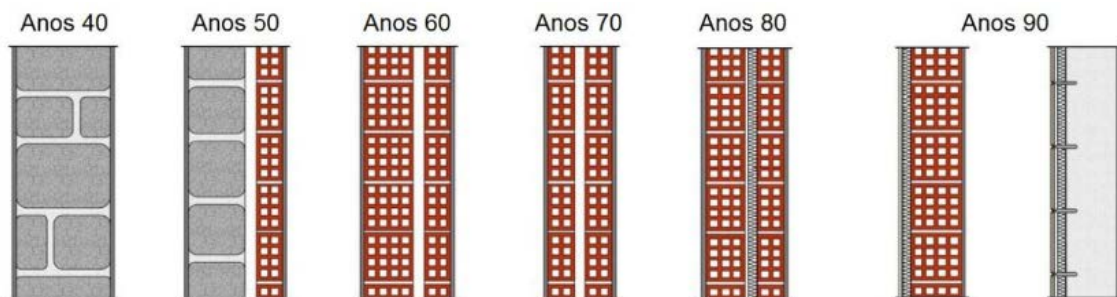


Figura 3. 1 - Ilustração da evolução de paredes exteriores em Portugal (Freitas, 2002)

Verifica-se que, durante os anos 60 e 70, a parede de alvenaria de pedra e tijolo é substituída por painéis duplos de alvenaria de tijolo furado assente sobre a estrutura de betão armado, reduzindo a solicitação sobre a estrutura, aumentando a produtividade e simplificando a execução da obra (Santos, 1998). Só nos anos 80, de forma a incrementar o conforto térmico das fachadas, é aplicado nos interiores dos panos de tijolo, uma placa de poliestireno, um material de propriedades isolantes. Esta solução aumenta a resistência térmica da parede e não compromete o peso sobre a estrutura, contudo, não é eficaz em relação a fenómenos higrotérmicos.

Por forma a aumentar a resistência térmica e reduzir as limitações verificadas no sistema anterior, foi introduzido, nos anos 90, o conceito de isolamento pelo exterior. Esta solução pode assumir diferentes formas, existindo contudo dois sistemas mais comuns: o isolamento e o revestimento são aplicados directamente sobre o suporte; a constituição de fachada ventilada, em que o revestimento fica afastado do isolamento e do painel de suporte, formando um espaço de ar ventilado (Sousa, 2003). A superfície sobre a qual os sistemas são aplicados é, frequentemente, o tijolo de furação vertical ou horizontal, podendo, eventualmente, ser o tijolo térmico, a parede em betão armado ou o bloco de betão leve.

Na indústria da construção têm vindo a ser desenvolvidos novos tipos de material de revestimento, nomeadamente, o material compósito. Este material apresenta uma solução adequada para a resolução de problemas associados aos revestimentos e suportes, devido à sua elevada resistência quando aplicado em painéis, formando elementos construtivos de reduzido peso e volume. Apresentam, ainda, maior durabilidade e simplicidade de manutenção, permitindo obter ganhos de produtividade e de competitividade. Contudo, apresentam limitações ao nível de reciclagem do produto acabado.

A principal exigência funcional, de uma parede exterior ou fachada de uma construção, é estabelecer um limite físico entre os espaços interiores e a sua envolvente exterior. A parede e a cobertura constituem as principais barreiras aos fenómenos climáticos e ao fogo, exercendo uma função de protecção. A evolução da fachada ao longo do tempo tem transformado o modo como o homem se relaciona com o exterior, como se pode observar nas figuras 3.2, 3.3 e 3.4. Desde a simples fachada opaca até à fachada cortina, o seu desenho é uma forma de expressão com a envolvente exterior capaz de gerar sensações distintas no homem. Por exemplo uma fachada opaca é referida por Jacobs (1961) como um factor de insegurança, pois a ausência de contacto visual com a envolvente exterior gera uma sensação de desconforto para o transeunte não promovendo a vigilância natural do espaço, referido como *eyes on the street*. Para além da influência do ambiente urbano a fachada deve verificar um conjunto de exigências relativas à segurança, a aspectos de conforto, económicos e ambientais (Dias, *et al*, 2009).



Figura 3. 2 - Fachada verde, Caixa Fórum - Madrid, [W20]



Figura 3. 3 – Fachada e protecção - Torre de Menagem, Beja, [W21]



Figura 3. 4 - Fachada Cortina – The Gerkin - Londres, [W22]

As paredes exteriores devem garantir as exigências de segurança quanto à sua estabilidade. A fachada deve ser constituída por materiais de construção resistentes, com capacidade para suportar acções provenientes do peso próprio e revestimentos, do vento, de impacto e deformação dos suportes, de variação de temperatura e choques térmicos, de sismos e explosões. A parede exterior deve, ainda, garantir a segurança contra o risco de incêndio, devendo os materiais construtivos serem caracterizados por indicadores como a reacção e a resistência ao fogo. A segurança contra intrusões e a capacidade de suspensão de equipamentos e outros elementos devem também ser verificados (Espada, *et al*, 2013 e Trigo, 1976). Relativamente a aspectos de estabilidade e de dimensionamento, Sousa (2003) alerta para a verificação da ligação dos painéis da parede à estrutura, do número de panos usado e da dimensão e forma dos vãos. A avaliação da estabilidade pode ser apoiada em cálculos adequados, na execução de ensaios ou na análise da esbelteza do elemento.

As exigências de conforto relativamente ao interior do edifício respeitam, essencialmente, as condições de barreira higrotérmica e acústica. A contribuição passiva da parede depende do modo como é construída e como mantém a temperatura no interior. O coeficiente de transmissão térmica (U) é o parâmetro que caracteriza a eficiência térmica da parede e o seu valor pode condicionar o consumo energético para o aquecimento ou o arrefecimento de um edifício. O conforto acústico é condicionado, principalmente, pelos sons provenientes da condução aérea e por percussão. A capacidade de estanqueidade ao ar e à água da parede, garante a ausência de infiltrações no interior, embora o estado de conservação, as condições de execução dos revestimentos e, ainda, a exposição às acções climáticas das paredes são factores que afectam as infiltrações. O conforto visual é importante quando o edifício é parte integrante do ambiente urbano, contribuindo para a sua valorização estética e para a sensação de robustez. O conforto táctil e a higiene são parâmetros que devem ser avaliados na parede, pois não devem contribuir para a formação e armazenamento de sujidade e de substâncias nocivas ou insalubres. (Dias *et al*, 2009).

As exigências de ordem económica referem-se a custos contabilizadas ao longo do ciclo de vida do edifício. Os custos iniciais consideram os custos de materiais utilizados e de fabrico, verificando-se usualmente que as soluções tradicionais são, geralmente, mais caras que as actualmente executadas. Os custos de exploração, de manutenção e de demolição devem ser estudados numa fase inicial por forma a obter valores comparáveis entre sistemas construtivos (Trigo, 1976). Deve ser analisada a capacidade de adaptabilidade e de versatilidade para receber outros acabamentos, material e geometria. A durabilidade dos materiais constituintes de uma parede é um factor condicionado pelas propriedades resistentes do revestimento, estanqueidade e qualidade construtiva aplicada (Sousa, 2003).

A exigência ambiental constitui, actualmente, uma consciencialização relativamente ao impacto ambiental inerente à execução de uma construção. As soluções construtivas devem apresentar um elevado grau de sustentabilidade em termos ambientais, devendo o material aplicado recorrer a um menor consumo de quantidade de energia no fabrico e construção, os materiais devem ser recicláveis, e deve ser estudada a sua reutilização na reabilitação de outros edifícios (Sousa, 2003).

3.2. Tipologias de Paredes exteriores

A composição das paredes exteriores e as metodologias utilizadas na sua execução dependem dos conhecimentos tecnológicos adquiridos à época, dos materiais naturais e a forma como eram trabalhados de acordo com a evolução do conhecimento relativo às suas propriedades físicas. São utilizados os materiais primários como a terra, a pedra, a madeira, o barro e, ainda, os transformados, como o tijolo, o betão armado e os painéis de madeira. De seguida, são descritas as tipologias mais comuns em fachada: parede em terra, madeira, pedra ou betão armado; painéis pré-fabricados; alvenaria de tijolo ou blocos de betão; placas autoportantes nomeadamente do tipo *Light Gauge Steel Frame*. Podem referir-se, ainda, as paredes em cortiça, colmo, gesso e cimento que não são analisadas devido à reduzida expressividade em Portugal.

3.2.1. Parede em terra

A terra é uma matéria-prima abundante e acessível e é usada como um material de construção há milhares de anos. Segundo Pinho (2000), um terço da população mundial habita em casas com esta tipologia de parede. Existem diversas técnicas construtivas em que é aplicada a terra crua. Destacam-se as paredes em adobe (figura 3.6), com uma maior expressão no litoral norte e Ribatejo, a taipa, que é mais comum no Alentejo e sul de Portugal (Filipe, 2005).

A parede em taipa, ilustrada na figura 3.5, é constituída por terra com características argilosas que foi comprimida, quando húmida, entre taipais de madeira. Os taipais são retirados, depois de se completar a secagem, originando paredes monolíticas e homogéneas. O painel não pode ser executado sobre o solo, pois pode rapidamente desagregar-se, devendo ser assente sobre uma sapata de alvenaria de pedra ou de tijolo. Se a argila aplicada for retráctil, é adicionada por vezes, palha que actua como um elemento aglutinador, reduzindo o efeito de desagregação, e melhorando o comportamento hidrotérmico da parede (Pinho, 2000).



Figura 3. 5 - Parede em Taipa [W23]



Figura 3. 6 - Parede em Adobe [W24]

Naturalmente que a parede em taipa apresenta um impacto ambiental muito reduzido, pois o material existe em abundância na natureza. Apresenta, ainda, um bom comportamento acústico e higratérmico, uma inércia térmica alta e é incombustível. Contudo devem ser apontadas algumas limitações como a reduzida resistência à tracção, elevada espessura, a falta de capacidade de coesão e de integridade do material perante a acção da água, é a principal causa de desmoronamento (Pinho, 2000).

A parede em adobe (figura 3.6) é constituída por tijolos de barro, obtidos através da mistura de água com terra argilosa, sendo secos aos sol ou em forno. O adobe requer igualmente uma sapata em pedra ou em tijolo maciço. O assentamento dos blocos pode ser feito com barro ou com uma argamassa. As vantagens e as limitações são semelhantes às consideradas na parede em taipa. É uma tipologia que, ainda, é usada em Portugal, existindo fábricas de produção deste material (Filipe, 2005).

3.2.2. Parede em alvenaria de pedra

A construção de parede em alvenaria de pedra remonta desde a antiguidade tendo, em Portugal uma forte presença no centro e no norte do País. A pedra usada é, normalmente, de origem granítica, xistosa ou calcária, conferindo adequadas características físicas e mecânicas à parede. A facilidade com que o material é trabalhado e a capacidade de aderência em relação à argamassa de ligação são factores a considerar, factores que originam diferentes emparelhamentos e formas de trabalhar a pedra

(Casella, 2003). A designação associada à parede de alvenaria depende do sistema de aparelhamento da pedra, da dimensão da pedra e do material ligante utilizado entre os elementos constituintes (Pinho, 2000):

- Uma parede em enxilharia ou de cantarias de pedra dispõe as faces devidamente aparelhadas com formas geométricas definidas, assentes com argamassa ou apenas sobrepostas ou justapostas;
- Uma alvenaria de pedra aparelhada é constituída por pedras irregulares aparelhadas numa das faces (figura 3.7);
- Alvenaria de pedra ordinária é composta por pedras toscas irregulares, em forma ou em dimensão, ligadas por uma argamassa ordinária (figura 3.8);
- Uma parede mista consiste na junção de alvenaria, cantaria ou madeira;
- Uma alvenaria de pedra seca é formada por pedras justapostas, apenas travadas entre si, sem qualquer tipo de argamassa.



Figura 3. 7 - Alvenaria de pedra aparelhada [W25]



Figura 3. 8 - Alvenaria de pedra ordinária [W26]

As principais vantagens, a destacar são: o elevado valor estético, cultural e de integração urbana; a durabilidade; inércia térmica elevada e bom comportamento aos ruídos aéreos. Como desvantagens podem apresentar-se: a elevada espessura e conseqüente redução do espaço útil; o elevado peso próprio; a fraca resistência à tracção; o elevado custo em material e mão-de-obra; a morosidade na execução; como acabamento, não cumpre os parâmetros de habitabilidade por ser uma superfície fria.

3.2.3. Paredes em madeira

A madeira, enquanto material de construção, é considerado um dos materiais mais antigos utilizados pelo Homem. As diferentes tipologias de parede em madeira como as formadas por troncos, e as pré-fabricadas, dependem, essencialmente, do modo como usam e transformam a matéria-prima. Em Portugal, a parede em tabique existe desde o século XIV e, apesar, de ser constituída maioritariamente em madeira recorre a outros materiais como terra argilosa ou argamassas ordinárias (Filipe, 2005). A parede (figura 3.9) em tabique era muito utilizada como divisórias interiores, nomeadamente, em edifícios pombalinos e gaioleiros. A sua estrutura é formada por tábuas de madeira colocadas segundo as direcções vertical, horizontal e na diagonal. A estrutura é, ainda, travada com um ripado horizontal, o fasquio, que pode ser revestido com argamassa de areia e cal, estuque e pintura. Existe também a parede de frontal tecido (figura 3.10) composta por elementos de madeira formando uma estrutura, a qual é preenchida por alvenaria de tijolo de burro ou pedra, posteriormente, revestida. (Pinho, 2000).



Figura 3. 9 - Parede em tabique, Praia de Mira [W27]



Figura 3. 10 - Parede de frontal tecido [W28]

Como vantagens destacam-se a facilidade de trabalho e manuseamento dada a reduzida dureza apesar da boa resistência do material; um comportamento satisfatório à compressão e à tracção dependendo do tipo de madeira; uma excelente relação entre resistência e peso próprio; a facilidade em admitir ligações entre diferentes elementos construtivos; um bom comportamento térmico e acústico; a matéria-prima é de origem natural, renovável e com alta taxa de sustentabilidade; requer pouco tempo para a execução da obra; um bom comportamento estrutural face a sismos. As limitações mais evidentes são: o comportamento anisótropo e heterogeneidade; a suscetibilidade a ataques de insectos, humidades e outros agentes externos agressivos; as suas dimensões são limitadas no meio natural apesar de actualmente os métodos de colagem permitirem obter praticamente todo o tipo de secção, e requer mão-de-obra qualificada para o seu manuseamento.

3.2.4. Paredes em alvenaria de tijolo

O material primário do sistema construtivo composto por alvenaria de tijolo cerâmico furado ou maciço é a argila. Existem diferentes tipos de tijolo, contudo os convencionais são o tijolo de furação horizontal (figura 3.11), o tijolo maciço, e o tijolo perfurado distinguindo-se nos furos perpendiculares ao seu leito (figura 3.12). São fabricados de acordo com normas que definem as exigências geométricas, percentagem de furação, o aspecto e textura, a massa volúmica de argila, a absorção de água por capilaridade e imersão, a adição de cal viva, a resistência ao gelo, a resistência à compressão e tracção, o módulo de elasticidade. Quanto à sua aplicação, podem ser classificados em tijolo de face à vista, utilizada no interior e exterior da construção, o tijolo de enchimento sem função resistente para além do seu peso próprio e os resistentes que desempenham uma função estrutural (Dias, 2009).



Figura 3. 11 - Tijolo de furação horizontal [W29]

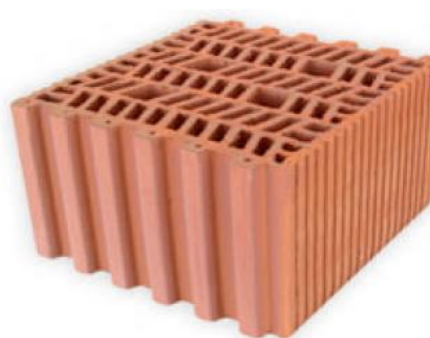


Figura 3. 12 - Tijolo térmico de furação vertical [W30]

Relativamente à alvenaria distinguem-se de acordo com a função do material constituinte, do tipo de argamassa de assentamento, do modo de assentamento da parede, do número de panos que formam a parede, o tipo de ligações entre painéis, da estrutura de apoio, do tipo de revestimento da parede e a existência de elementos complementares de isolamento térmico, da estanquidade e controlo da difusão de vapor. O Eurocódigo referente ao projecto de estruturas em alvenaria (EC6, 2005) classifica seis grupos de parede: simples; de dois panos; de face aparente; duplas; de juntas descontínuas; e as paredes cortina.

As principais vantagens são: a economia na execução; a facilidade de abertura de roços; a espessura e o peso próprio razoáveis; o material é incombustível, bom comportamento higrotérmico e de isolamento acústico; a tecnologia apreendida é de forte tradição no mercado nacional. Como desvantagens apontam-se a complexidade de execução quando a parede é dupla; a dificuldade de integração e a compatibilização com outros elementos construtivos originando pontes térmicas; origina resíduos de obra elevados (Sousa, 2003).

3.2.5. Parede com blocos de betão

A alvenaria composta por blocos de betão é muito utilizada em pavilhões industriais, garagens de edifícios e em locais onde o recurso a tijolo cerâmico é economicamente inviável. A diversidade existente depende da função e aplicação pretendida, das tecnologias de execução. Os blocos podem ser maciços e/ou perfurados, e podem apresentar diferente geometria, textura, acabamento superficial e coloração (Sousa, 2003). Dos diferentes tipos de blocos destacam-se: betão normal; betão leve de argila expandida; betão com bagacina; betão celular autoclavado.



Figura 3. 13 - Blocos de betão normal [W31]



Figura 3. 14 - Blocos de betão autoclavados [W32]

O bloco de betão normal (figura 3.13), constituído por agregados correntes, surge na década de 60, normalmente, perfurado conferindo um bom comportamento à compressão, uma elevada resistência ao fogo, um bom isolamento acústico e um aspecto final razoável, podendo, no entanto, ser revestido com argamassa de reduzida espessura, conferindo um melhor acabamento. Como desvantagens, a parede apresenta um elevado peso próprio, considerável absorção da humidade, um deficiente comportamento térmico e dificuldade no manuseamento dos blocos. O seu uso tem vindo a decrescer, nomeadamente, nos edifícios de habitação (Sousa, 2003).

O bloco de betão leve distingue-se pelo tipo de agregado, geralmente uma argila expandida (composta com micróporos fechados com ar). Apresenta um elevado isolamento térmico, uma boa resistência ao

fogo, é facilmente manuseada devido à sua leveza, grande resistência aos produtos ácidos e alcalinos, e aspecto estético razoável. As desvantagens associadas são um reduzido isolamento acústico, a dificuldade de abertura de roços, um elevado grau de absorção de humidade, um preço elevado e uma fraca resistência ao choque (Espada *et al*, 2007).

O bloco de betão celular autoclavado é composto por areia, cal, cimento. No processo de fabrico o pó de alumínio é adicionado gerando bolhas de hidrogénio, formando uma estrutura celular. Posteriormente, o bloco é curado em autoclave sob a acção de vapor de água (figura 3.14). A principal vantagem é a sua leveza permitindo um fácil manuseamento, um bom rendimento de aplicação e uma menor sobrecarga na estrutura. Apresenta, ainda, um bom isolamento térmico devido à sua estrutura celular, o material é incombustível, é um bom isolamento acústico, uma fraca permeabilidade e uma durabilidade considerável e, ainda, uma boa resistência mecânica. As principais desvantagens residem no preço e na necessidade de mão-de-obra especializada (Espada *et al*, 2007).

3.2.6. Parede em Betão armado

A parede em betão armado, até há pouco tempo era apenas executada em situações especiais, nomeadamente, em muros de suporte de terras, e paredes de caves, desempenhando a função de fundação e de contenção, em caixas de elevador ou de escadas, e em paredes inclinadas. Com a evolução da tecnologia associada aos sistemas de cofragem, e ao processo de execução este tipo de parede começa a ser utilizado com uma maior frequência em edifícios de habitação, apresentando diversos tipos de acabamento. A parede com o betão à vista é aplicada, principalmente, em edifícios públicos e de grande porte como o exemplo da figura 3.15 (Mascarenhas, 2006).



Figura 3. 15 - Habitação Social em betão armado - Açores [W33]



Figura 3. 16 - Edifício público em betão armado pigmentado [W34]

Mascarenhas (2006) destaca como vantagens, a redução das fases de construção, pois permite diminuir o número de pilares e de vigas. A sequência de fases de construção inicia-se com a execução das paredes e, posteriormente, é betonada a laje. Os sistemas de cofragem utilizados actualmente permitem obter superfícies com um bom acabamento permitindo, ainda, versatilidade formal e uma rápida execução (figura 3.16). Como vantagens, sendo um elemento resistente e contínuo, elimina zonas de ligação entre betão e a alvenaria. Como desvantagens sublinha-se o custo de investimento inicial, o custo de betão e armadura, a dificuldade de abertura de roços, um maior peso da estrutura face a soluções convencionais, e a necessidade de isolamento térmico pelo exterior, por forma a evitar as pontes térmicas.

3.2.7. Parede leve

O sistema *Light Gauge Steel Framing* (LGSF) é um sistema construtivo em expansão no mercado nacional e surge da evolução do sistema autoportante em madeira. O sistema muito utilizado nos Estados Unidos e Canadá, motivado pelo crescimento e expansão das cidades e consequente necessidade de construções rápidas. O primeiro edifício em LGSF é construído em 1933 em Chicago, tendo sido desenvolvido com o objectivo de minimizar o risco de incêndio das estruturas em madeira, contudo só nos anos 90 é que o sistema adquiriu uma maior expressão no mercado americano. A sua construção baseia-se na colocação de perfis de chapa de aço galvanizado com espessura entre 3 e 6mm, de elevada resistência e de baixo peso, podendo ser usado em todo o tipo de paredes, lajes e coberturas de edifícios até 3 pisos como observado na figura 3.17 (Freitas et al., 2012).



Figura 3. 17 - Habitação em estrutura LGSF [W35]



Figura 3. 18 - Estrutura LGSF revestida [W36]

Nas paredes exteriores os perfis são revestidos por diferentes camadas de modo a satisfazer as exigências funcionais e de conforto adequadas, (figura 3.18). Como vantagens apresenta a facilidade de construção e redução do tempo de obra, a versatilidade, a leveza, o bom nível de isolamento térmico e acústico, a reduzida produção de resíduos, o ganho em área útil e a facilidade de execução de instalações especiais. Como desvantagens destaca-se a sensibilidade à humidade, o som oco associado, a necessidade de mão-de-obra especializada, a fraca inércia térmica originando uma dissipação rápida da energia (Mateus, 2004).

3.2.8. Painéis pré-fabricados

As paredes constituídas por painéis pré-fabricados têm uma maior aplicação em edifícios industriais de grandes dimensões. Esta solução surge após a segunda guerra mundial, como resposta à falta de habitação, permitindo a racionalização de materiais e a redução de prazos. Os painéis pré-fabricados podem ser constituídos por diverso tipo de material, sendo o mais comum em betão, ou painel *sandwich*, com isolamento rígido revestido a chapa (figura 3.21). Estes painéis podem ser fabricados em betão armado ou betão autoclavado, com agregados leves, ou, ainda, betão reforçado com fibra de vidro (GRC).

A dimensão do painel depende da capacidade do meio de transporte e de equipamento de suspensão e, ainda, dos condicionamentos do projecto de arquitectura. Contudo, os painéis, como elementos pré-fabricados, utilizam medidas padronizadas, geralmente, constituídos por betão armado revestindo diferentes camadas que desempenham funções de isolamento (figura 3.20.) (Saraiva, 2010).



Figura 3. 19 - Painéis pré-fabricados em museu [W37] Figura 3. 20 - Painéis pré-fabricados em betão [W38]

A utilização do painel em betão é vantajosa ao nível da rapidez da instalação, reduzindo prazos de construção, contudo o edifício deve apresentar repetição modular para que possa ser competitivo. Apresenta um bom acabamento garantindo uma boa valorização estética ao edificar, permite alguma liberdade conceptual, de forma e de texturas de superfície. A produção em fábrica permite um maior controlo de qualidade do produto, proporciona melhores condições para um adequado planeamento da linha de fabrico, armazenamento dos elementos, entrega dos painéis, faseamento da construção e controlo e planeamento da construção. Como desvantagens destacam-se o transporte e a colocação em obra, devido às elevadas dimensões e peso de painéis, suscetibilidade de patologias na ligação entre painéis, monolitismo da estrutura, que pode não ser conseguido se não forem asseguradas e correctamente dimensionadas as ligações com a estrutura, requer mão-de-obra e maquinaria especializada.

3.3. Propriedades dos materiais e sistemas construtivos

A principal função de uma parede exterior, num edifício, é estabelecer uma barreira entre o ambiente exterior e o interior, por forma a contribuir para um adequado nível de habitabilidade de acordo com a exigência de conforto e segurança do utilizador. A parede, como uma componente da construção deve verificar um conjunto de requisitos: deve garantir estabilidade ao seu peso próprio, conferindo integridade ao elemento e a durabilidade dos materiais constituintes, durante um período de tempo; deve estabelecer uma barreira a acções exteriores como o vento, a chuva, a radiação solar, o calor, o ruído e o fogo; deve constituir um impedimento eficaz à entrada de insectos, animais e intrusos no interior do edifício. Assim, para a aplicação de uma solução construtiva de parede num edifício devem ser conhecidas as suas principais características, parâmetros e propriedades físicas. A adequabilidade da utilização de uma parede exterior, em cada caso concreto, depende dos diversos materiais constituintes e correspondentes propriedades físicas e mecânicas.

Os materiais utilizados na composição das paredes devem cumprir as exigências de conformidade incluídas na directiva 89/106/CE (1989), relativa a produtos empregues na construção. A directiva impõe requisitos que abrangem a verificação de estabilidade do elemento de construção à acção das cargas permanentes, das sobrecargas, do vento, de cargas acidentais e ao efeito de variação térmica. Os materiais são analisados quanto à sua capacidade de desenvolver um incêndio, expresso por classes de reacção e resistência. Aborda, ainda, as características relacionadas com a higiene, a saúde e o ambiente.

O objectivo deste estudo é analisar, numa perspectiva de estabelecer atributos que possam ser associados aos objectos paramétricos BIM, os parâmetros que caracterizam uma solução construtiva. A informação a considerar deve proporcionar ao projectista uma correcta e completa base de dados que lhe permita fundamentar a tomada de decisão sobre diferentes soluções alternativas. Assim os parâmetros a anexar aos objectos BIM devem apoiar a elaboração de análises térmicas e de eficiência energética, o planeamento de obra, a estimativa de custo do ciclo de vida, o estabelecimento de planos de manutenção entre outros. De seguida, são identificados os parâmetros relacionados com as propriedades físicas e mecânicas, o índice de transmissão sonoro, os requisitos de segurança contra o fogo e, ainda, os aspectos relevantes para a gestão, construção e manutenção como os custos envolvidos no processo. Na selecção de um sistema construtivo devem, ainda, ser considerados os critérios de durabilidade, de disponibilidade de técnicos e de empresas de construção especializadas, existência de materiais no mercado, a flexibilidade da solução adoptada ou a distância de transporte a percorrer (Mateus, 2004).

3.3.1. Parâmetros físicos e mecânicos

As características físicas a considerar numa parede são o seu peso e espessura, e as propriedades mecânicas mais relevantes são as relacionadas com o conforto do edifício. Um dos parâmetros físicos é o **peso** que a parede exerce sobre a estrutura. O seu valor é expresso em quilograma por unidade de área (Kg/m^2) e corresponde à soma da contribuição individual, de cada material constituinte da parede.

A **espessura** final de uma parede é um parâmetro que condiciona a geometria e a área útil do espaço interior. O seu valor resulta da soma da espessura de cada painel, e é expressa em unidades de comprimento (m). Em reabilitação, este parâmetro é um factor determinante na manutenção ou na alteração da área interior.

Na aplicação de uma solução de parede, uma das propriedades que mais interessa avaliar numa perspectiva de conforto e impacto ambiental, é a **condutibilidade térmica linear λ** dos materiais que a compõem. Este parâmetro quantifica a capacidade do material em conduzir a energia térmica, W (Watt, W), por unidade de comprimento (m) e de temperatura (Kelvin, K) ($W/(\text{m}^\circ K)$). O seu valor é determinado com base em resultados de ensaios realizados em condições definidas de referência, para uma vida útil aceitável, em condições normais de utilização. Quanto maior o valor da condutibilidade térmica de um material mais facilmente a transmissão térmica flui através do interior. Os materiais com alta condutibilidade são utilizados como dissipadores térmicos e os materiais de baixa condutibilidade térmica são aplicados como isolantes térmicos (Santos *et al*, 2009).

A **resistência térmica (R)** de um material corresponde à capacidade de um material proceder à transmissão de calor. O seu valor é determinado pelo quociente entre a espessura do material (e) e a sua condutibilidade térmica (λ). Assim, um isolamento térmico é tanto mais eficaz quanto menor for a condutibilidade térmica e maior a espessura do material.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{m}^2\text{K})/W \quad (1)$$

O **coeficiente de transmissão térmica (U)** ou coeficiente de transferência de calor de uma parede do sistema construtivo é, segundo o regulamento de desempenho energético para edifícios de habitação, REH 2013, “a quantidade de calor, por unidade de tempo, que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa”. O valor U de uma parede, constituída por camadas de espessura constante, é calculado de acordo com a expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad W/(m^2 K) \quad (2)$$

em que R_j é a resistência térmica da camada j , R_{si} é a resistência térmica superficial interior, e R_{se} a resistência térmica superficial exterior. O valor das resistências térmicas superficiais depende da posição da parede e do sentido em que o fluxo de calor é analisado. No caso das paredes exteriores, o regulamento aplica a norma europeia EN ISO 6946 (REH, 2013) que estabelece os valores do R_{se} e o R_{si} , respectivamente 0,13 e 0,04.

3.3.2. Parâmetros sonoros

As fontes ruidosas na envolvente exterior ao edifício podem originar desconforto acústico aos seus ocupantes. A parede exterior constitui a barreira com o exterior, devendo assegurar e manter os níveis sonoros dentro de valores previstos na legislação em vigor, em relação a sons transmitidos por via aérea ou por percussão. Adicionalmente, na contabilização dos efeitos de propagação do som, podem ser analisadas as transmissões marginais referentes a ligações rígidas entre os elementos de construção e a sons provenientes de equipamentos.

Os valores mínimos de isolamento estão indicados no regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). O nível de isolamento sonoro de uma parede, em relação a sons aéreos ou de percussão pode ser certificado por entidades, como, o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) ou ITeCons (Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção), com capacidade de realizar ensaios conformes com as normalizações em vigor. Nos ensaios laboratoriais são efectuadas medições relativas ao impacto sonoro gerado pela queda da chuva sobre elementos de construção, e são determinados o índice de isolamento a sons de condução por percussão, $L_{N,W}$ de acordo com normas internacionais ISO 10140-3:2010, ISO 10140-4:2010, e ISO 717-2:2013, e ao índice de isolamento sonoro para sons de condução aérea, R_w , de acordo com as normas internacionais ISO 10140-1:2010, ISO 10140-2:2010, ISO 10140-4:2010 e ISO 717-1:2013 [W39].

A capacidade de isolamento sonoro a **sons proveniente de condução área**, é caracterizado segundo o RRAE, como “a diferença normalizada e ponderada de níveis sonoros, $D_{n,w}$ (dB), a qual se relaciona com R_w que corresponde à diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no compartimento emissor (L1) produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão sonora medido no local de recepção (L2), corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor”. A expressão de cálculo é a seguinte:

$$D_{n,w} = R'_w + 10 \log \left[\frac{T}{T_0} \right] \quad (dB) \quad (3)$$

O isolamento sonoro de fachadas é caracterizado pelo indicador $D_{2m,n,w}$ (dB), diferindo do $D_{n,w}$ apenas na quantificação do nível sonoro do local emissor, pois no caso de fachadas o nível de pressão sonora é registado a dois metros de distância da fachada. O regulamento refere que os elementos de construção que estabelecem a separação entre o interior e o exterior devem apresentar valores de isolamento sonoro mínimos, respectivamente, de 28dB para zonas habitacionais e de 33dB para zonas mistas.

3.3.3. Parâmetros económicos e de gestão de obra

O **custo de construção** é o parâmetro económico usado no processo construtivo para obter orçamentos, permitindo previsões iniciais e evitar comprometer os recursos financeiros disponíveis. Para um empreendimento, com uma vida útil de 50 anos, as despesas relacionadas com as fases de concepção e de execução, representam cerca de 20 a 25% dos custos totais, enquanto, a fase de exploração e manutenção, constitui os restantes 75 a 80% (Perret, 1995). A cada operação de obra corresponde um custo de construção relacionado com as especificações técnicas e processo de construção considerado e pela respectiva unidade de medição a que correspondem quantidades de recursos necessários para a sua realização, nomeadamente, mão-de-obra, equipamentos e materiais. O custo de construção é influenciado pelo tipo de obra, pela produtividade requerida, pela qualidade dos materiais a aplicar e pelo nível tecnológico dos equipamentos a utilizar (Dias, 2014 e Faria, 2014). Para a determinação dos custos envolvidos na execução de uma parede de fachada, são considerados a quantidade e a qualidade da mão-de-obra, os materiais e equipamento usado. O custo pode ser definido por unidade de área, (€/m²).

A **produtividade** da mão-de-obra traduz a quantidade de trabalho produzida por determinada equipa num dado tempo. Para efeitos de planeamento da construção, a produtividade pode assumir a forma de área executada de uma parede por unidade de tempo, (m²/h). Também é recorrente o conceito de taxa Homem.hora ou rendimento de mão-de-obra, que corresponde ao inverso da produtividade. O rendimento traduz-se na quantidade de tempo que um trabalhador (H) necessita para a realização de uma unidade de trabalho, (m²), H.h/ m² (Dias, 2015).

O **custo de manutenção** engloba ações de gestão, técnicas e económicas, aplicadas aos elementos constituintes de um edifício, para a optimização do ciclo de vida do edifício. O objectivo é prolongar a vida útil do edifício garantindo as exigências de segurança e funcionalidade (Cabral, 1998). Uma adequada manutenção deve basear-se na elaboração e implementação de um **plano de manutenção** considerando os aspectos técnicos, económicos e funcionais. Existem diferentes metodologias de manutenção; correctiva, integrada e preventiva (Calejo, 2001).

O **custo de demolição** está associado ao final do ciclo de vida de um edifício, ou por adaptação a novos usos, a regulamentação, a anomalias, exigindo demolição e reconstrução. A demolição, executada segundo o modo tradicional, não faz distinção do material demolido. A demolição selectiva, contempla a triagem do material constituinte, apesar da operação ser mais lenta e onerosa, aumenta a quantidade de material reciclado e reutilizado conservando a energia incorporada dos materiais e

admitindo um nível de reciclagem do material entre 50 e os 90% (Leroux et al., 1999). O custo global da demolição, englobando a triagem dos materiais e o seu transporte e depósito, é contabilizado no caso de paredes exteriores por área do elemento demolida (€/m²).

3.3.4. Parâmetros de segurança contra incêndios

Os produtos aplicados na construção devem apresentar um comportamento resistente perante o fogo, de forma a evitar a propagação do incêndio e a minimizar os danos no edifício. A resistência e a reacção ao fogo de uma componente é caracterizada através de um sistema de classificação vigente na União Europeia, incluído nas decisões comunitárias 2000/147/CE e 2003/632/CE e detalhada na norma europeia EN 12501-1 (Santos, 2009). Deve ainda ser considerado o Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndios em Edifícios (RJ-SCIE) e a Portaria nº 1532/2008 que aprova o novo Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios, a qual contempla um conjunto de critérios de segurança que devem ser verificados no projecto de um edifício. A caracterização dos materiais e sistemas construtivos pode ser efectuada através de ensaios normalizados com certificação europeia, como o LNEC, ou ITeCons. Estas entidades emitem certificados que incluem a classe de resistência ao fogo do elemento construtivo analisado ou classe de reacção ao fogo de dado material de construção.

A resistência ao fogo reflecte a capacidade de um elemento de construção conservar, durante um determinado período de tempo, as suas propriedades físicas e mecânicas, quando sujeito ao processo térmico resultante de um incêndio. As exigências a atender englobam os seguintes parâmetros: capacidade de suporte de carga, R; estanquidade à emissão de chamas e gases quentes, E; isolamento térmico, I; radiação, W; acção mecânica, M; fecho automático, C; passagem do fumo, S; continuidade de fornecimento de energia eléctrica e/ou de sinal, P ou PH; resistência ao fogo, G; capacidade de protecção contra o fogo, K.

A reacção ao fogo corresponde ao comportamento de um produto em relação à sua contribuição para o início e o desenvolvimento de um incêndio. Esta avaliação é determinada segundo ensaios executados de acordo com normas europeias. As classes de reacção ao fogo dos produtos de construção são identificadas por: A1, não contribui para o fogo; A2, não contribuem significativamente para o fogo; B, contribuem para o fogo numa extensão muito limitada; C, contribuem para o fogo numa extensão limitada; D, contribuem para o fogo numa extensão aceitável; E, reacção ao fogo é aceitável num período de exposição pequeno a uma chama pequena; F, desempenho não determinado. Adicionalmente, é associada uma subcategoria complementar de verificação obrigatória de produção de fumos (s1, s2, s3) e a queda de partículas inflamadas (d0, d1 e d2).

3.3.5. Parâmetros ambientais

O sector da construção impõe um impacto ambiental relevante, associados à ocupação e ao uso do solo, a interferências no ecossistema, ao consumo de recursos e à produção de resíduos e desperdícios. O impacto ambiental pode ser avaliado em relação ao consumo de energia na obtenção dos materiais constituintes das paredes exteriores, na toxicidade dos materiais utilizados, no potencial de reciclagem e reutilização, e na massa da parede.

A **energia incorporada dos materiais (PEC)** é a energia consumida na extração de matérias-primas, nos seus processos de transformação, e a envolvida no processo construtivo. Alguns especialistas consideram, ainda, a parcela relativa à manutenção e demolição. O seu valor pode ser obtido pelo produto da quantidade de material aplicado na construção, Ton, m² ou m³, pela energia consumida no fabrico dos diferentes materiais e no processo da construção. No caso de uma a unidade é kWh/m² (quilowatts. Hora/ m²).

A energia incorporada de material depende de inúmeros factores, como a energia consumida durante a vida útil do edifício, do método construtivo usado, do grau de conforto exigido, o clima local, entre outros. A utilização de materiais de construção de baixa energia incorporada permite reduzir o consumo energético, reduzindo a emissão de gases de efeito de estufa. (Kibert, 2008). O papel dos projectistas, no conhecimento e escolha do sistema construtivo, pode resultar em consumos de energia moderados quando utilizadas práticas como o recurso a materiais locais, ou à utilização de pavimentos mistos de madeira-betão, a substituição do cimento por adições pozolânicos (Torgal & Jalali 2001). Ilustrando esta preocupação, More *et al*, (2001) e Goverse *et al*, (2001) verifica a redução em cerca 215% na energia envolvida na construção de edifícios em França graças ao recurso de materiais locais ou a redução de CO₂ para metade no caso de um incremento da utilização da madeira em edifícios residenciais na Holanda.

3.4. Parametrização dos sistemas construtivos

O objectivo do estudo é estabelecer uma biblioteca de objectos paramétricos de paredes exteriores que possam ser utilizados nas ferramentas BIM e apoiar o projectista na definição de soluções alternativas. Foram descritas diversas soluções construtivas e identificadas as principais propriedades a avaliar em cada sistema. Neste item é apresentado uma estrutura da informação que deve ser adicionada a cada objecto paramétrico a considerar. Neste sentido, são representadas como objectos as seguintes soluções construtivas:

- Parede de Alvenaria de tijolo de pano duplo, com caixa-de-ar parcialmente preenchida com um isolante térmico;
- Sistema ETIC (*External Thermal Insulation Composite Systems*) constituído por um isolamento exterior revestido, fixado mecanicamente ou por colagem ao painel de suporte de tijolo cerâmico;
- Sistema em fachada ventilada com isolamento pelo exterior sobre tijolo cerâmico e com revestimento separado de isolamento por um espaço com ar, por forma a permitir a ventilação da parede;
- Sistema de *Light Gauge Steel Frame*, bastante divulgado internacionalmente e que tem vindo a conquistar quota de mercado em território nacional.

Os parâmetros identificados no item anterior serão quantificados para cada solução construtiva, de forma a poderem ser associados aos objectos paramétricos. Os valores a considerar têm como base informação disponível *online*, nomeadamente, a que é recolhida a partir de fabricantes, documentação técnica do LNEC, ou de teses de mestrado e de doutoramento. Alguns dos valores são adaptados de soluções semelhantes. Em relação aos valores de custos de construção, de manutenção e de

demolição, existe alguma flutuação de preços, dependente do fornecedor, de empresas de construção e de fontes *online*. O valor do custo da construção engloba o de mão-de-obra, os materiais, equipamentos e os custos indirectos. Na avaliação do custo de manutenção é apenas considerado a manutenção preventiva, não sendo contabilizada a manutenção não planeada e urgente de acção correctiva, pois esses valores são bastante variáveis, e portanto, difíceis de estimar, pois dependem do tipo de anomalias identificadas. O custo de demolição abrange o processo de demolição, triagem, recolha, transporte e depósito de resíduos.

3.4.1. Parede dupla de alvenaria

A solução construtiva composta por dois planos de alvenaria de tijolo, afastados por uma caixa-de-ar, tem algumas décadas de utilização, é ainda hoje a solução mais utilizada. As tipologias mais aplicadas é a parede dupla (15 + 11cm), composta por um pano exterior em tijolo de 15cm e por um pano interior de 11cm e a parede dupla (11 + 11 cm), com os dois panos de tijolo de 11 cm. Também usado no mercado nacional, embora com menor expressividade, a parede dupla (15 + 7cm) (Santos, 1998).

A figura 3.21 ilustra a execução da solução de parede (11+11cm), onde é possível identificar dois panos de tijolo de furação horizontal, afastados entre si, formando uma caixa-de-ar, a qual é reenchida parcialmente com um isolamento térmico. No interior da caixa-de-ar é colocado na base uma caleira drenante por forma a eliminar as condensações acumuladas, a qual é revestida com um produto betuminoso e é encaminhada para o exterior. As faces do tijolo orientadas para o exterior e interior da habitação permitem a aplicação de diferente tipo de revestimento. As soluções mais económicas e frequentemente aplicadas são o reboco no exterior e interior, e, ainda o estuque na superfície interior.



Figura 3. 21 - Solução construtiva em Parede dupla [W40]

Este sistema construtivo apresenta um bom desempenho funcional em termos térmicos e acústicos, uma elevada resistência mecânica e ao fogo, boa relação custo/ benefício sendo uma das soluções mais económicas e de tecnologia construtiva mais conhecida. Como limitações a apontar destaca-se o uso de isolamento no interior da caixa-de-ar, pois não elimina as pontes térmicas quando encontra pontos singulares como a ligação de vigas e lajes ou pilares, sendo assim, zonas sujeitas ao desenvolvimento de manchas de humidade. O aparecimento de condensações na caixa-de-ar pode danificar os materiais, nomeadamente, o isolamento térmico interior. A interrupção da continuidade do isolamento térmico resulta na necessidade de resolver estas singularidades de uma forma cuidada e morosa, diminuindo a produtividade do sistema. Adicionalmente, as paredes apresentam um elevado peso e massa originando cargas consideráveis sobre a estrutura. (Pereira, 2015 e Dias *et al*, 2009)

São apresentadas em formato de ficha, adequada à sua directa aplicação na caracterização de objectos paramétricos, dois sistemas de paredes de alvenaria dupla de tijolos com caixa-de-ar. O interior pode ser preenchido com um painel de isolamento de distintos materiais e espessuras. O tijolo mais usado é o de barro vermelho com furação horizontal, contudo pode ser aplicado o tijolo maciço ou o tijolo com furação vertical, que apesar de ser mais oneroso apresenta um melhor comportamento térmico e

acústico. Entre os dois panos de tijolo é colocado o painel de isolamento térmico de poliestireno extrudido ou expandido, lã de rocha, poliuretano projectado ou aglomerado cortiça.

3.4.2. Fachadas com isolamento pelo exterior

A técnica construtiva de paredes de fachada com isolamento pelo exterior surge em Portugal, nos anos 90, mas já bastante aplicada, desde os anos 50, na Alemanha. O objectivo desta técnica é essencialmente, colmatar os problemas decorrentes da existência de pontes térmicas (figura 3.22) como manchas de humidade e condensações no interior. É um método eficiente e expedito para reabilitar edifícios com fraco desempenho térmico pelo exterior (Dias *et al*, 2009)

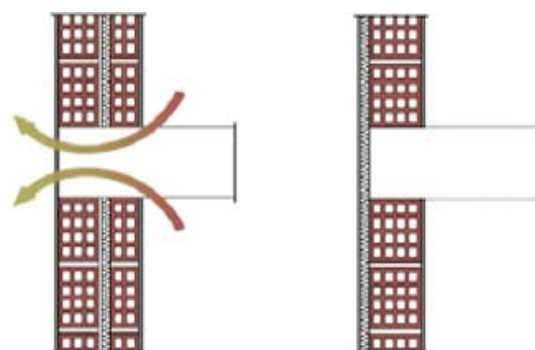


Figura 3. 22- Isolamento pelo interior versus isolamento pelo exterior (Freitas *et al*, 2009)

A esta técnica construtiva estão associados dois tipos de solução: o sistema ETIC (*External Thermal Insulation Composite Systems*) em que o revestimento delgado ou espesso é colado sobre a placa de isolante térmico, fixada mecanicamente sobre a parede. O sistema de fachada ventilada que consiste num revestimento exterior suportado por uma estrutura normalmente metálica, contínua ou descontínua, separado da parede por um isolamento térmico aplicado e por caixa-de-ar, permitindo a ventilação, sendo este um dos aspectos que o distingue dos ETIC's (figura 3.23).

O sistema construtivo em fachada ventilada apresenta diferentes configurações consoante o fabricante e as especificidades do projecto. O suporte pode ser constituído por diferente tipo de material, como a alvenaria de tijolo térmico ou normal, de blocos de betão, de pedra, ou de betão armado. O material de suporte deve ter a capacidade de resistir à acção da carga de suspensão (Sarrablo, 2008).

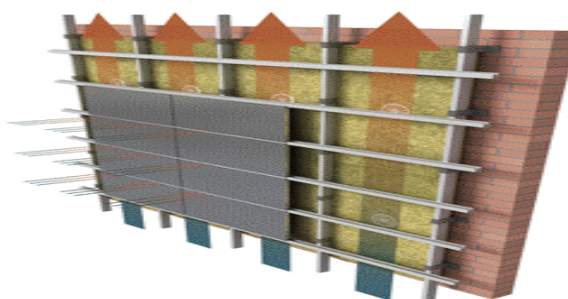


Figura 3. 23 - Esquema construtivo em fachada ventilada [W41]

Sobre a face exterior de suporte é aplicado o isolamento térmico ou acústico, na forma de painel de lã de rocha, de placa de cortiça, de poliestireno extrudido, ou de poliuretano projectado, que podem ser fixados mecanicamente, colados ou projectados. Os revestimentos geralmente cerâmicos ou constituídos por material compósito garantem um bom aspecto visual, uma adequada impermeabilidade e protecção a impactos e agentes externos. São suportados por uma estrutura com grampos metálicos fixados à parede de suporte, mantendo o painel afastado de forma a garantir a ventilação através de caixa-de-ar. Deste modo é gerado o “efeito de chaminé”, eliminando condensações que possam ocorrer no interior, evitando as infiltrações. Contudo, o painel deve ser seccionado para evitar a propagação do fogo. O sistema de fachada ventilada apresenta vantagens: ao nível térmico, pois o painel de isolamento é contínuo pelo exterior, eliminando as eventuais pontes térmicas, contribuindo para o aproveitamento da inércia térmica da parede; evita a acumulação de

condensações e consequentes infiltrações devido à ventilação proporcionada pela caixa-de-ar; a sua manutenção é simples pois facilmente se procede à troca dos elementos constituintes; verifica-se uma maior durabilidade do revestimento devido à diminuição dos efeitos da dilatação térmica, reduzindo a fissuração. Em relação às desvantagens: há uma maior propensão à degradação por vandalismo, tem um elevado custo de instalação; execução difícil de remates e saliências (Sarrablo, 2008 e Rodrigues, 2003).

O conceito do sistema ETIC, surge após 2º Guerra Mundial na Suécia, como um sistema constituído por lã mineral revestida com um reboco de cimento e cal. Contudo, o responsável pelo desenvolvimento de sistemas de reboco delgado armado sobre poliestireno expandido, é o alemão Edwin Horbach. Durante a década de 50, começa a ser aplicado na Alemanha, usando o poliestireno como isolamento térmico. A sua aplicação aumenta, na década de 70 após a crise energética. Na década de 90 começa a ser aplicado no mercado nacional e é, actualmente, uma solução cada vez mais utilizada por exemplo em reabilitação (Freitas, 2005).

A figura 3.24 ilustra a estrutura do sistema ETIC, composto por um conjunto de camadas de diferente tipo de materiais com funções específicas. O painel é aplicado sobre a superfície plana do suporte em alvenaria, formado por tijolo cerâmico, blocos de betão ou em betão armado. Sobre o suporte são fixadas, mecanicamente ou por colagem, as placas de isolamento térmico, usualmente em poliestireno expandido (EPS), revestidas com uma argamassa armada com fibra de vidro, disposta em diferentes camadas. Como acabamento podem ser aplicados diferentes revestimentos.

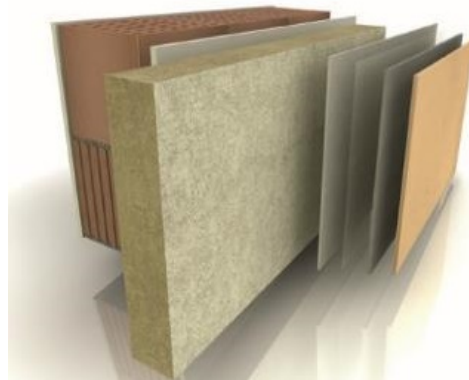


Figura 3. 24 - Esquema construtivo do sistema ETIC [W42]

Além das vantagens atribuídas aos sistemas com isolamento aplicado pelo exterior, apresenta, ainda, uma menor massa que as soluções mais convencionais. Constituem solução de fácil aplicação na reabilitação de edifícios, pois confere um aspecto estético valorizado e uma eficaz eficiência térmica. Como permite diferentes soluções de acabamento não condiciona a liberdade criativa do projectista. É uma solução leve, e portanto, a carga sobre a estrutura é reduzida. É de fácil transporte e permite a execução de trabalhos pelo exterior do edifício. Contudo, a durabilidade da solução é limitada, a aplicação e manutenção do sistema exige mão-de-obra qualificada, a solução construtiva é mais cara quando comparada com os sistemas tradicionais, embora a longo prazo, possa ser rentável. A dilatação térmica dos materiais constitui um problema pois origina fissuras e a consequente penetração de água e humidade para o interior do painel, danificando o sistema. (Freitas, 2005).

3.4.3. Parede Leve

As paredes leves do tipo *Light Gauge Steel Frame* são sustentadas por uma estrutura leve de aço, constituindo um sistema autoportante de construção a seco. O processo construtivo é iniciado com a execução de sapatas contínuas pois a totalidade do peso do edifício é suportado pelas paredes. Contudo no dimensionamento das sapatas, a carga transmitida às fundações é bastante menor

comparando com construções de alvenaria. Devido à susceptibilidade dos materiais usados à humidade, requerem, a execução de impermeabilização, por forma a evitar futuras anomalias [W43].

Sobre o anel de fundação é fixada a estrutura autoportante, constituída por perfis de chapa em aço, galvanizado por imersão em zinco quente garantindo durabilidade. Os perfis podem ser moldados e cortados no local, de acordo com o projecto, as secções comuns são em U, C, Z dependendo da sua função e a espessura das chapas é variável consoante as solicitações que vão sofrer. A fixação entre os perfis é efectuada por aparafusamento, garantindo a flexibilidade da estrutura. No final, obtém-se uma estrutura metálica, base de suporte aos restantes elementos constituintes da parede (Figura 3.25) (Freitas *et al.*, 2012).



Figura 3. 25 – Estrutura metálica de suporte à parede em LGSF [W44]

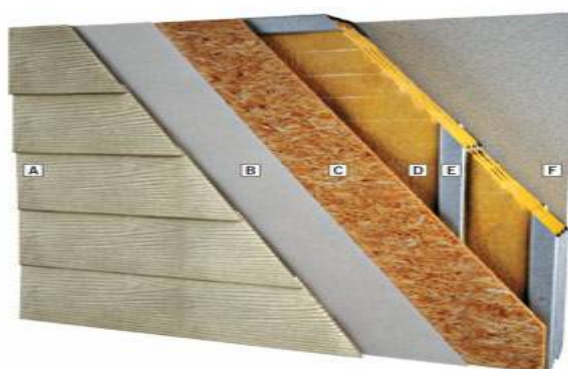


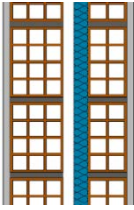
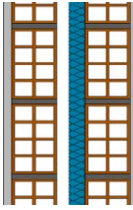
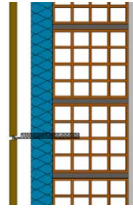
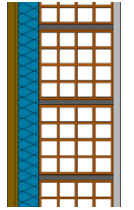
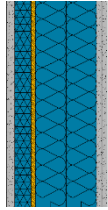
Figura 3. 26 – Camadas constituintes da parede em LGSF [W45]

Executada a estrutura, são adicionados os materiais de preenchimento que vão conferir as exigências funcionais à parede exterior. Para garantir a durabilidade e robustez utilizam-se placas OSB (*Oriented Strand Board*), painéis de filamentos de madeira orientados ou placas constituídas por filamentos (figura 3.26 – material C) embebidos em calda de cimento. A facilidade de manuseamento dos painéis, permite o seu corte das placas em diferentes formas, conferindo alguma liberdade de forma ao projectista. Sobre as placas é aplicado o revestimento exterior (figura 3.26 – material B e A), ou por exemplo, um sistema ETIC, se for necessário conferir mais isolamento térmico ou, então, uma argamassa armada à base de cimento cola. Para incrementar o isolamento térmico e acústico recorre-se a lã de rocha pois é económica e de fácil aplicação, apresenta uma elevada resistência térmica e é incombustível. No interior, a solução mais comum é a utilização de painel duplo de gesso cartonado, revestido a tinta ou outro material (figura 3.26 - material F) (Freitas *et al.*, 2012).

3.4.4. Atribuição de parâmetros

Para a atribuição e contabilização dos diferentes parâmetros de cada solução construtiva propõe-se a sua catalogação em fichas estruturadas pelos diferentes tipos de parâmetros analisados que se apresentam nos anexos 1,2,3,4 e 5. A tabela 3.1 representa um resumo dos diferentes parâmetros considerados para as 5 soluções construtivas escolhidas.

Tabela 3. 1 - Ficha resumo das diferentes soluções construtivas

	Alvenaria de tijolo (15 + 11) cm	Alvenaria de tijolo (11 + 11) cm	Fachada ventilada	ETIC	LGSF
TIPO DE PAREDE EXTERIOR					
PARÂMETROS FÍSICOS					
Espessura (m)	0,37	0,33	0,35	0,32	0,235
Massa superficial (kg/m ²)	300,84	277,64	255	261,77	86,25
Resistência térmica ((m ² K)/W)	3,08	2,95	1,73	2,11	5,43
Coefficiente de transmissão térmica ((m ² K)/W)	0,307	0,32	0,525	0,44	0,179
PARAMETROS ECONÓMICOS E DE GESTÃO DE OBRA					
Custo de construção (€/m ²)	75,28	73,28	158,72	100,21	111,73
Custo de manutenção (€/ano.m ²)	2,75	2,75	27,1	11,70	8,94
Custo de demolição (€/m ²)	22,55	20,86	35,25	18,13	33,23
Rendimento (homem.hora/m ²)	1,795	1,747	1	2,381	1,38
PARAMETROS SONOROS					
Isolamento sonoro a sons aéreos (Db)	51	50	51	50	47
PARAMETRO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS					
Resistência ao fogo	A1	A1	F180	E	F60
PARAMETROS AMBIENTAIS					
PEC (Kwh/m ²)	201,19	181,34	214,02	164,67	141,88

Nota: todas as fontes podem ser visualizadas nos anexos, 1,2,3,4 e 5

4. Processo de modelação BIM

4.1. Modelação paramétrica

A metodologia de trabalho BIM tem vindo a ser implementada no sector da construção desde o projecto preliminar ao de execução do edifício, e ao longo do seu ciclo de vida. O desenvolvimento do projecto em BIM requer a geração de um modelo digital que é elaborado por recurso a ferramentas BIM baseadas na utilização de objectos paramétricos. O modelo BIM de arquitectura e estruturas a criar, para o caso de estudo seleccionado, é obtido através do *software Revit 2016* da *Autodesk*. É o *software* mais utilizado do mercado e apresenta uma interface intuitiva e de fácil aprendizagem. O projecto a considerar refere-se a uma habitação unifamiliar localizada em Tavira, Portugal com 2 pisos elevados, uma cave, utilizada como garagem e arrumos e uma cobertura em terraço. A sua estrutura é constituída por um sistema tradicional de pilares, vigas e lajes em betão armado. A modelação é executada com base em desenhos técnicos do projecto, compostos por plantas, cortes e alçados, fornecidos em formato *pdf*, podendo ser visualizados no anexo 6. O processo é iniciado pelo traçado de alinhamentos e pela definição de níveis de referência, seguindo-se a inserção de paredes e lajes, recorrendo a objectos paramétricos. Expõe-se com maior detalhe o modo de estabelecer os novos objectos paramétricos referentes aos 5 tipos de parede exterior identificados.

A interface do *Revit*, ilustrada na figura 4.1, é composta por barra de comandos superior e lateral e pela janela de visualização. Inicialmente são estabelecidas as unidades de trabalho (o metro), traçada a grelha de alinhamentos, de apoio à implementação da estrutura e à inserção de paredes, e a indicação das cotas dos pisos (figura 4.1).

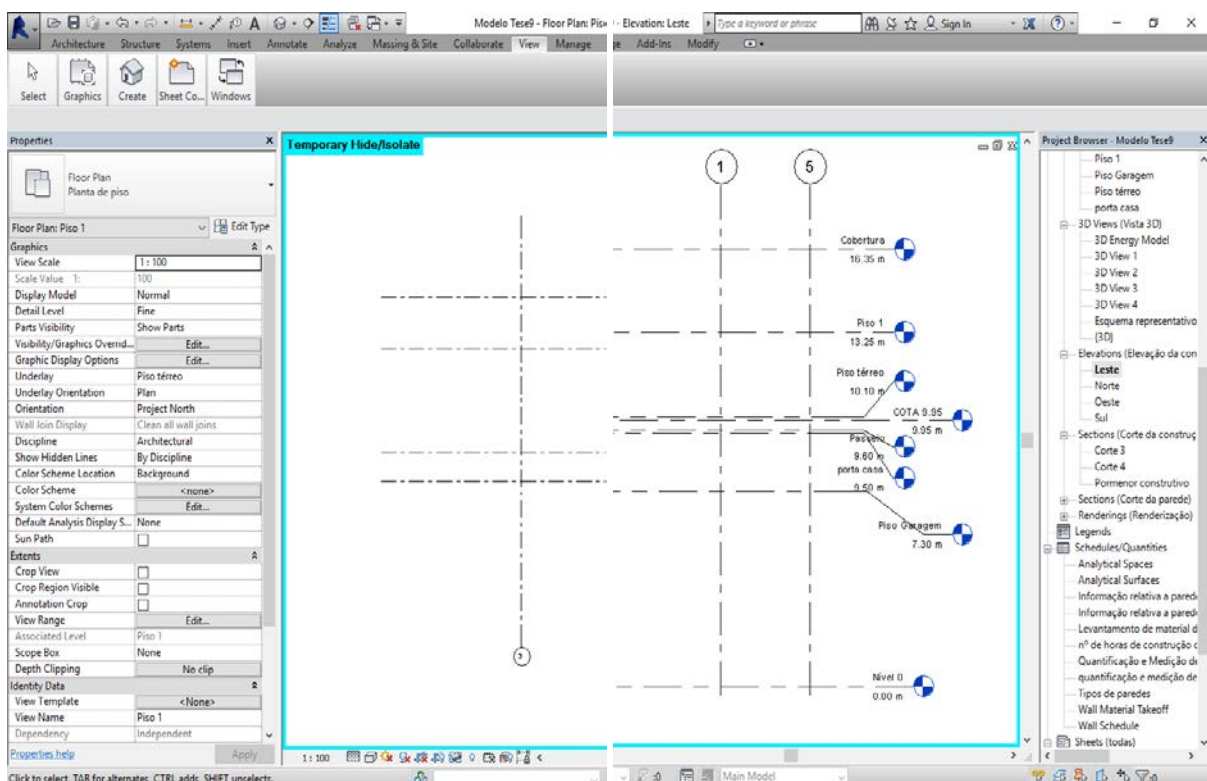


Figura 4. 1 - Interface *Revit* com grelha de alinhamento e definição de cotas e níveis de referência

No modelo em estudo foi ainda considerado o terreno. O *software* permite representação da superfície do terreno, através da indicação de coordenadas de pontos do terreno (figura 4.2). Posteriormente procedeu-se à subtração do volume correspondente à implantação da casa.

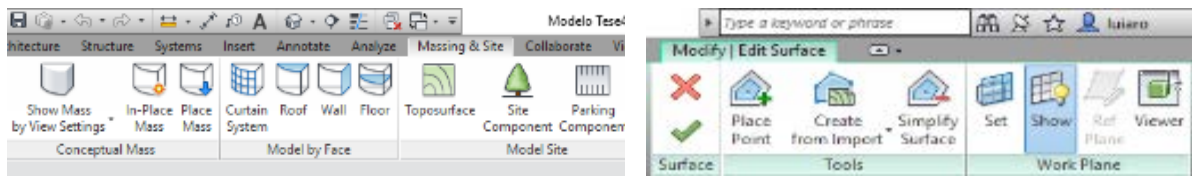


Figura 4. 2 - Interface de modelação do terreno

O valor da cota a indicar para cada piso refere-se à superfície superior da laje com revestimento. A modelação da laje do piso é executada em relação aos níveis predefinidos. O *Revit* permite criar o elemento laje por recurso aos objectos paramétricos existente da biblioteca. A figura 4.3 ilustra um tipo de piso (em betão armado) e o modo de caracterizar o objecto paramétrico a aplicar. A interface de cada objecto paramétrico de piso, contém uma representação gráfica e a lista dos materiais que a compõem. Cada camada é identificada pela sua espessura e material. A cada material estão associadas propriedades físicas como, por exemplo, o peso ou a resistência térmica. A constituição de cada laje é indicada pelo utilizador.

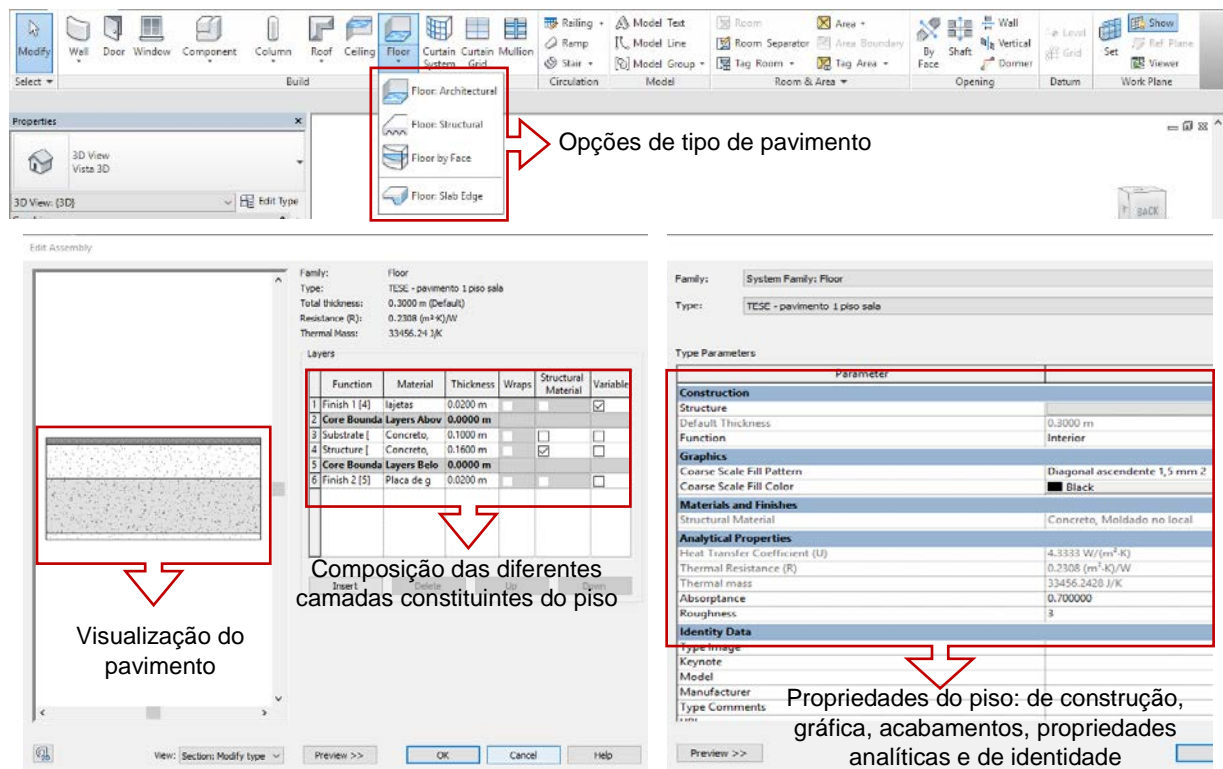


Figura 4. 3 - Interface de modelação de pisos

Para a modelação da componente da estrutura do edifício, o *Revit* contém uma barra de opções estruturais bastante abrangente, que permite ao utilizador definir o tipo de estrutura (betão, metálica, mista, etc.) pretendido, como se ilustra na figura 4.4. No caso do betão armado é necessário definir os objectos paramétricos de pilares, vigas, lajes (resistentes) e fundações devendo considerar-se as secções pré-dimensionadas. Posteriormente é possível incluir a modelação das armaduras para o traçado de desenhos de pormenorização.

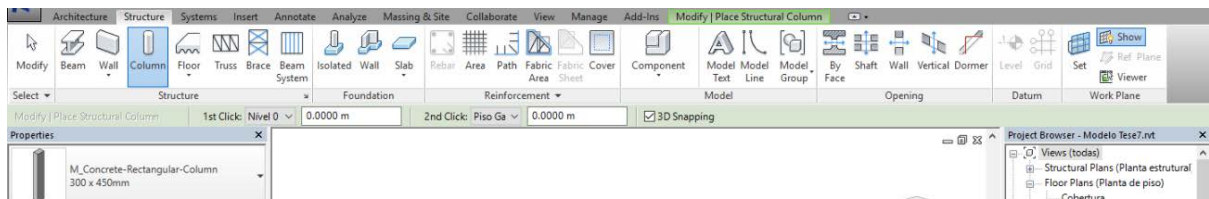


Figura 4. 4 - Interface de modelação de estruturas

Na modelação da componente de arquitetura são introduzidas as janelas, as portas, as escadas e equipamentos. O *software* contém bibliotecas de cada um desses elementos. A biblioteca pode ser acrescentada com objectos paramétricos disponibilizados pelos fabricantes. Como ilustra a figura 4.5, podem ser utilizadas as dimensões *standard* ou então podem ser adaptadas de acordo com o projecto. Na modelação de escadas e rampas são utilizados objectos paramétricos adequados. O utilizador pode definir, para as escadas, a relação espelho/degrau ou associar os pisos de ligação (figura 4.6). Deve indicar os materiais constituintes para a estrutura e, também, para os elementos de corrimãos e grades de segurança. O *Revit* permite a inserção de equipamentos (figura 4.7), como eletrodomésticos ou mobiliário, recorrendo aos comandos relacionados com estas componentes. A biblioteca existente pode ser incrementada com objectos disponibilizados *online* pelos fabricantes e utilizadores do *software*.

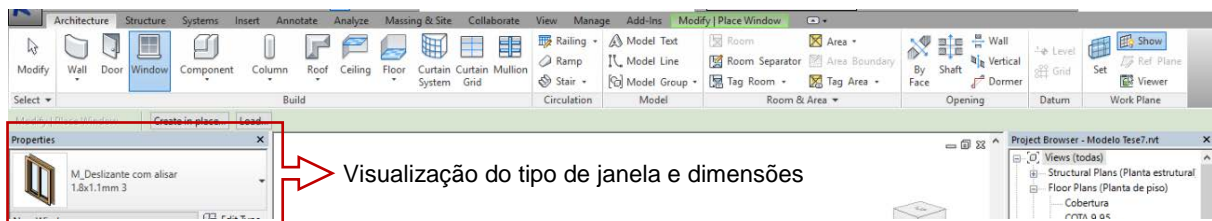


Figura 4. 5 - Interface de modelação de janelas e portas

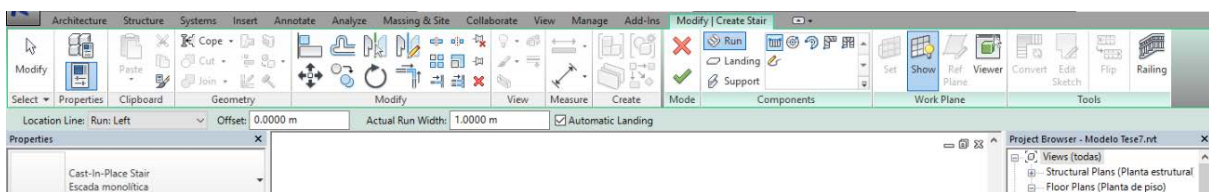


Figura 4. 6 - Interface de modelação de escadas e rampas

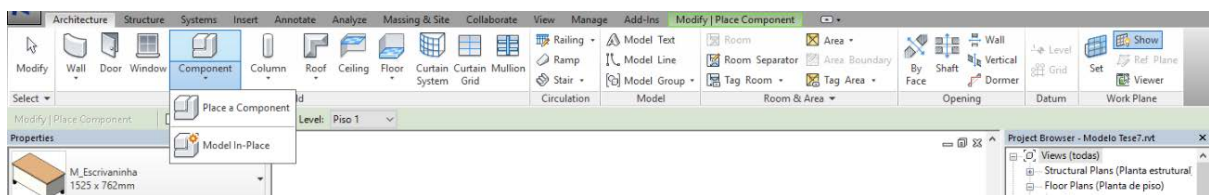


Figura 4. 7 - Interface de escolha de equipamentos

Definidas as componentes de arquitectura e de estruturas, a versão *Revit* utilizada incorpora a capacidade de modelação de serviços, permitindo modelar redes dos sistemas mais comuns numa habitação (figura 4.8). O utilizador pode definir a rede de condutas do sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado devendo indicar o tipo de equipamento, material e dimensões. O *Revit* permite modelar os sistemas de abastecimento de águas e esgotos, incluindo a instalação de equipamentos e respectivas características, e dimensões de tubagens. Também permite a instalação dos equipamentos eléctricos, como os dispositivos de ligação de equipamentos de iluminação, entre outros.

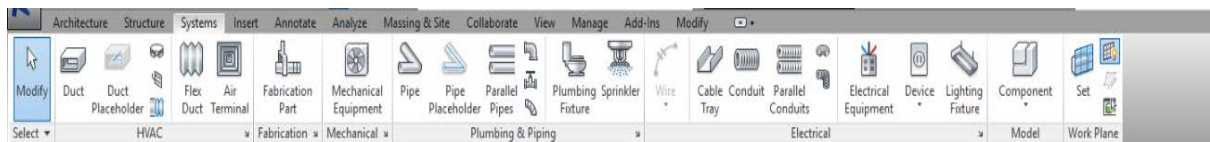


Figura 4. 8 - Interfaces de sistemas

4.2. Objectos paramétricos das paredes exteriores

4.2.1. Características do objecto parede

No Revit a modelação de uma parede é efectuada recorrendo ao separador “*architecture*”, seguido do comando “*Wall*”, como se ilustra na figura 4.9. São listadas 5 modos de representação de paredes:

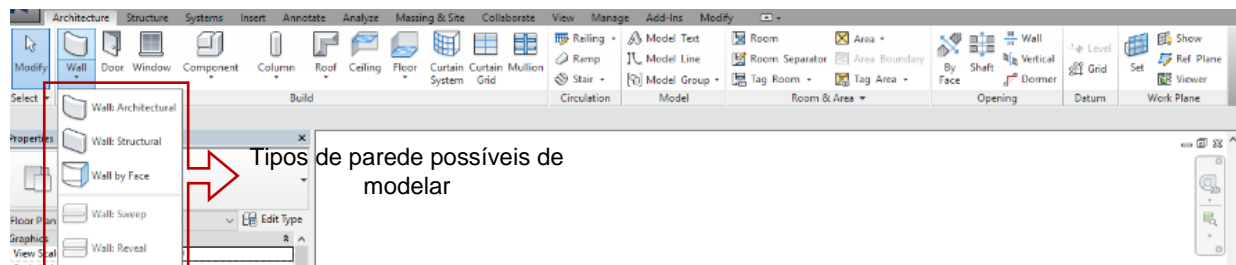


Figura 4. 9 - Interface Revit de acesso ao tipo de parede

Para a modelação do caso de estudo foi selecionado o comando “*Wall: Architectural*” para a representação das paredes exteriores e interiores do edifício. O comando está associado a uma interface que contém um conjunto de ferramentas de apoio à modelação e um painel de propriedades, como se ilustra na figura 4.10. Através do menu de propriedades podem ser controlados alguns parâmetros de modelação das paredes.

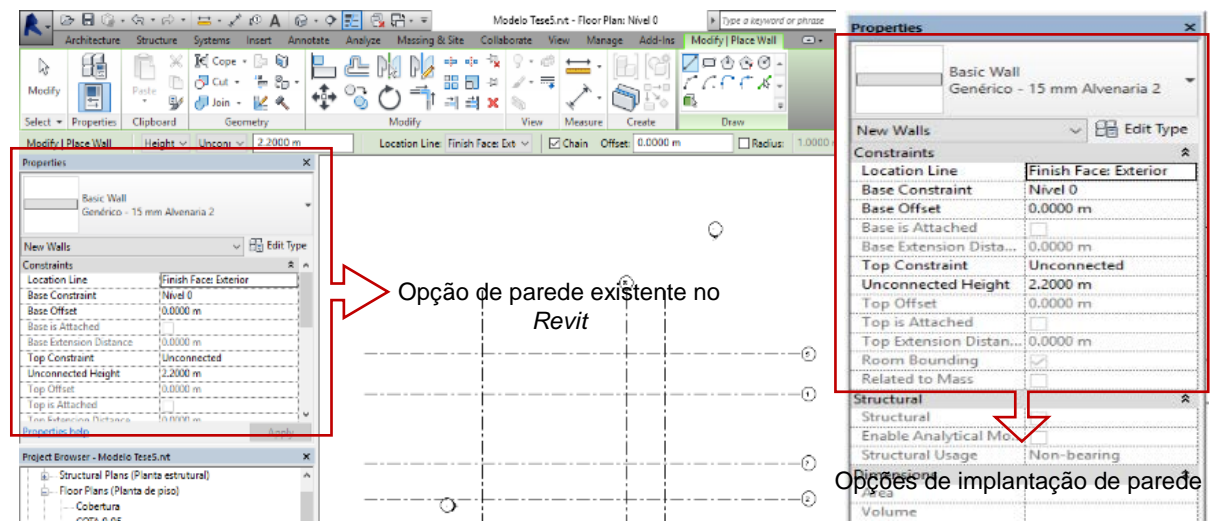


Figura 4. 10 - Interface de modelação de paredes

O Revit disponibiliza um conjunto de tipos de parede. O tipo de paredes pode ser genérico (sem material) ou composto por camadas com materiais identificados (figura 4.11). Contudo, as soluções construtivas pretendidas e existentes no mercado nacional, não estão contempladas no software. O utilizador deve, então, proceder à definição das soluções construtivas que pretende aplicar.



Figura 4. 11 – Biblioteca de paredes exteriores do Revit

Para a geração de um novo objecto a incluir na biblioteca deve seleccionar-se um dos tipos existentes e adaptá-lo, através do comando “edit type”. O quadro incluído na figura 4.12 apresenta as características de uma das paredes. A interface de propriedades contém uma representação gráfica da parede em corte e um conjunto de parâmetros que podem ser alterados, como o número de camadas, o seu material, posicionamento, espessura, as propriedades físicas dos materiais, e informação adicional relevante como o custo, ou a classe de reacção ao fogo.

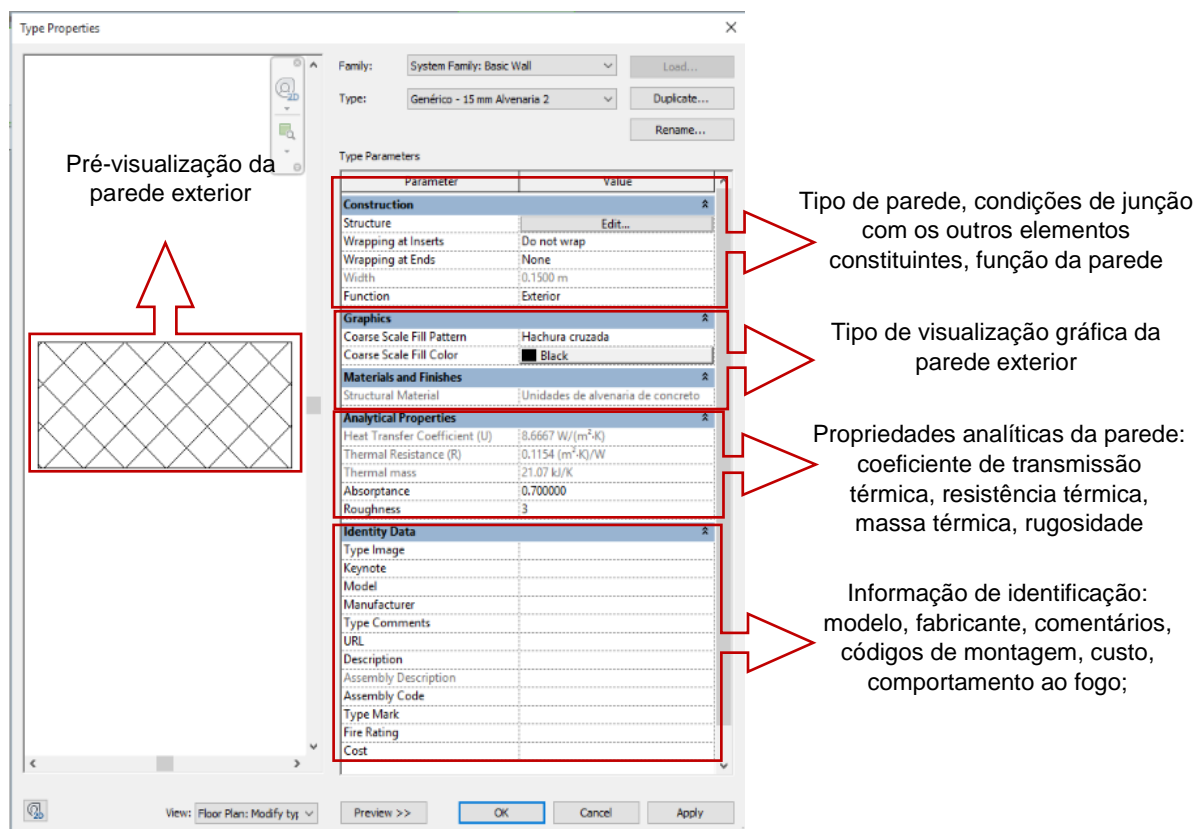


Figura 4. 12 - Quadro de propriedades de uma parede

O Revit permite alterar a composição das paredes por adição ou eliminação de camadas, e atribuir diferentes funções no sistema construtivo. Pode ser escolhido o tipo de material, a espessura da camada, e o modo como os materiais estabelecem ligação com a estrutura e com outros objectos (figura 4.13). A representação esquemática é alterada em conformidade com as opções que vão sendo introduzidas e, posteriormente, é ainda permitida a adaptação para um grafismo mais adequado.

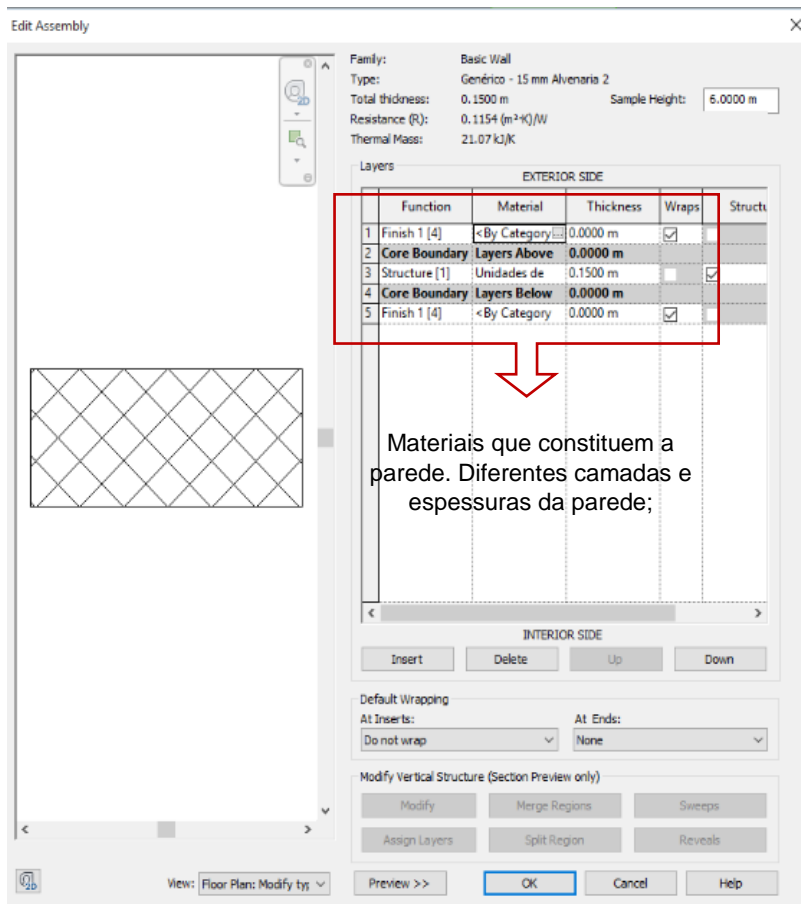


Figura 4. 13 - Quadro de definição de camadas

Podem ainda ser acrescentados elementos como frisos, lambrins, podendo o tipo de material mudar ao longo da secção vertical. O mesmo quadro permite aceder a uma lista de materiais. O Revit possui materiais predefinidos com parâmetros físicos, térmicos, gráficos e de identidade que os caracterizam (figura 4.14). Contudo, é possível a adição de novos materiais e a definição dos seus parâmetros. Os parâmetros disponíveis para cada material estão relacionados com a identificação do material, a representação gráfica, e as propriedades físicas e térmicas.

Relativamente à descrição do material, podem ser indicadas, por exemplo, a classe do material, o fabricante, o custo ou o endereço electrónico do fornecedor (figura 4.14). As configurações gráficas a associar ao material, como, o padrão, a cor, a textura, o brilho e a opacidade, são visualizadas no modelo 3D. O modelo é submetido a renderização, mas o aspecto mais ou menos realista é controlado através dos quadros observados nas figuras 4.15 e 4.16.

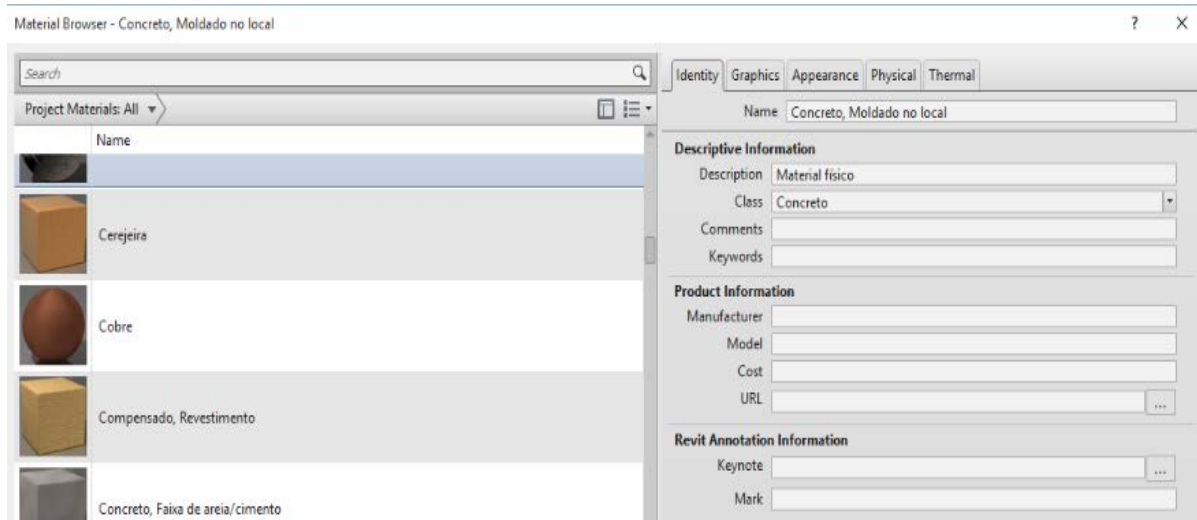


Figura 4. 14 - Materiais e respectivas propriedades

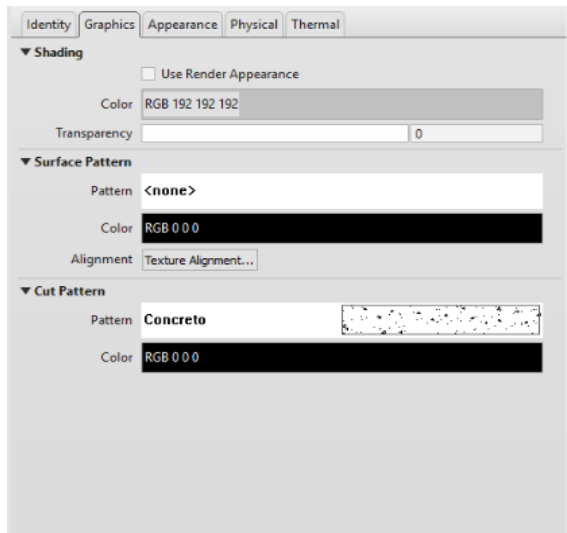


Figura 4. 15 - Materiais e gráficos

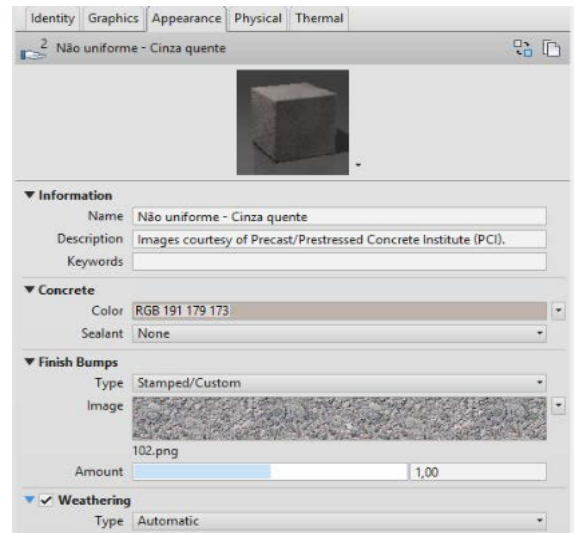


Figura 4. 16 - Materiais e aparência

Os quadros ilustrados na figura 4.17 e 4.18 contêm as propriedades físicas e térmicas que caracterizam o material. Com base nesta informação o *software* calcula os parâmetros globais da parede, apoiando, por exemplo, o dimensionamento estrutural e a análise térmica. Os valores de parâmetros físicos associado a cada material podem ser alterados se o utilizador achar conveniente. Pode, ainda, introduzir outros parâmetros como: o coeficiente de expansão térmica, o comportamento isotrópico, ortotrópico ou transversalmente isotrópico, o módulo de *young*, o coeficiente de *poisson*, a densidade, a resistência à compressão e à tracção, e a resistência segundo cada eixo. Relativamente aos parâmetros térmicos o *Revit* permite a alteração de um conjunto de propriedades como a condutividade térmica, o calor específico, a densidade, a emissividade, a permeabilidade, a porosidade, e a resistência eléctrica do material. Estabelecendo os parâmetros pretendidos para cada material e os seus valores, o *Revit* calcula as propriedades básicas, para cada sistema construtivo, como observado, na figura 4.12, definindo os valores no menu “*Analytical properties*”, nomeadamente, o coeficiente de transmissão térmica ($W/(m^2.K)$), a resistência térmica para a solução construtiva ($(m^2.K)/W$), a massa térmica (KJ/K), a absorção e a rugosidade dos materiais.

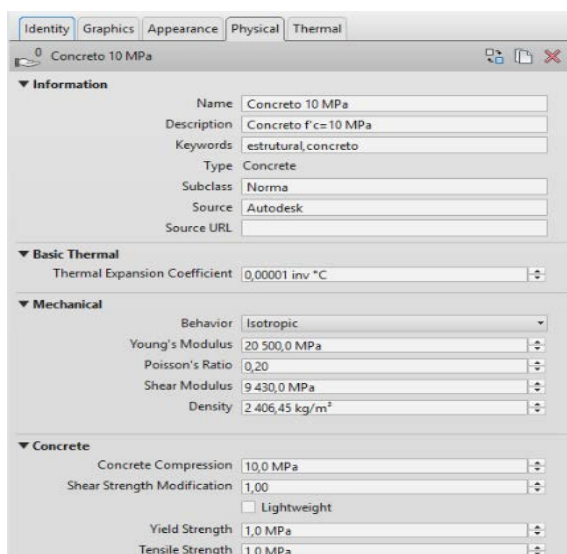


Figura 4. 17 - Parâmetros físicos

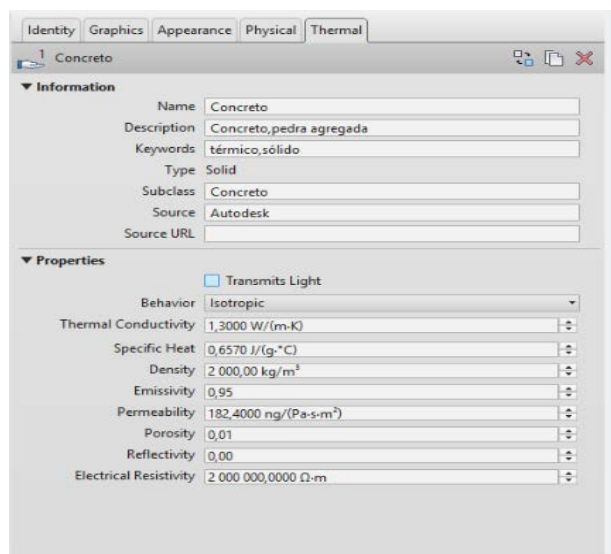


Figura 4. 18 - Parâmetros térmicos

4.2.2. Criação de um objecto

A existência de uma biblioteca de paredes que corresponda aos requisitos do projectista facilita a geração do modelo BIM. Como referido o Revit não contém as soluções construtivas analisadas e portanto, é necessário proceder à definição daquelas soluções. A tarefa de criar um novo objecto paramétrico é relativamente simples. Contudo, para efeitos de quantificação e execução de diverso tipo de análise é necessário associar a cada objecto as propriedades físicas correctas.

No processo de modelação da componente arquitectónica foram estabelecidas a grelha de alinhamento e os pisos de referência. A primeira componente arquitectónica a modelar deve ser a parede. O primeiro passo para efeitos de modelação é seleccionar um tipo de parede e efectuar a sua duplicação (figura 4.19 e 4.20). De seguida, é indicada uma designação, introduzidas as camadas e respectivos materiais. Por exemplo, para a definição do objecto paramétrico representativo de parede dupla (15+11cm) é necessário considerar, dois panos de alvenaria de tijolo furado horizontalmente de 15cm e de 11cm, uma camada de 3cm de caixa-de-ar, uma placa de isolamento térmico de 3cm de espessura, uma camada de revestimento exterior e outra no interior de reboco de 2cm de espessura, colocadas sobre ambas as faces, e ainda, como opcional, uma camada correspondente ao acabamento de pintura, pois o Revit permite recorrendo a comando específico, aplicação de tinta em cada face da parede.



Figura 4. 19 - Duplicação do tipo de parede

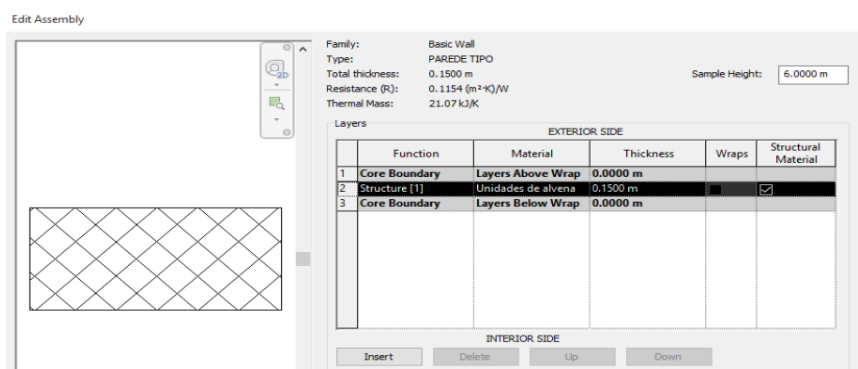


Figura 4. 20 – Configurações iniciais da parede

Para cada camada é necessário associar o material constituinte, o valor da espessura e a função que desempenha no conjunto da parede. Os materiais fornecidos pelo *Revit*, e que interessam associar ao objecto, são o tijolo, o reboco, o ar, o isolamento e o acabamento de tinta (figura 4.21).



Figura 4. 21 - Materiais a considerar no objecto paramétrico

Os materiais seleccionados no *Revit* apresentam as seguintes designações: reboco como “concreto – faixa de cimento”, tijolo como “tijolo comum”, isolamento como “isolamento rígido”, pintura como

“revestimento amarelo”. A cada camada criada deve ser associada a função, nomeadamente, acabamento, núcleo da parede, isolamento ou ar. Esta identificação permite, posteriormente, determinar quantidades de materiais por tipo ou conhecer a área de parede a trabalhar. A figura 4.22 ilustra a solução construtiva criada. O esquema gráfico apresentado reflecte a espessura e o tipo de material considerado representado de acordo com o padrão atribuído pelo *Revit*. A figura 4.23 apresenta detalhes da parede representada em planta e de uma perspectiva do modelo 3D. O *Revit* automaticamente ajusta as diferentes camadas que constituem a parede, junto às zonas de intersecção da parede como ilustrado na figura 4.23.

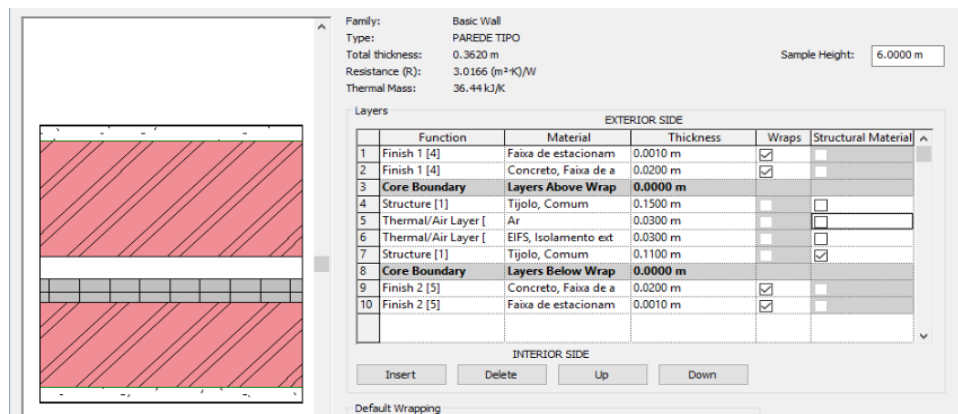


Figura 4. 22 - Parede tipo

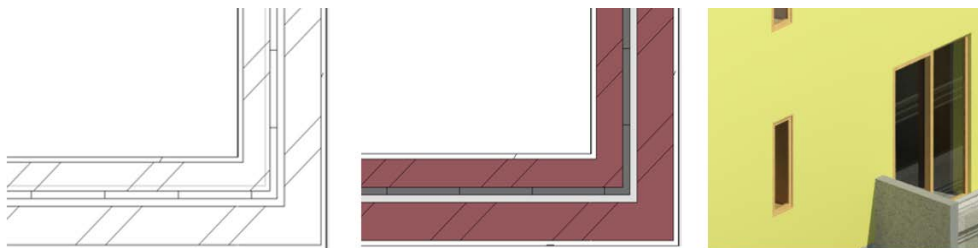


Figura 4. 23 - Desenho 2D e uma renderização da parede

4.2.3 Associação de propriedades ao objecto

O utilizador pode recorrer aos materiais existentes na definição de um novo objecto ou cria novos materiais. Neste caso, deve adaptar as propriedades físicas a partir de um outro material semelhante. Pode ainda definir propriedades globais para a solução construtiva. Esta solução foi adoptada neste estudo. Os parâmetros estudados para cada tipo de parede podem ser associados aos 5 tipos de parede referidos. Deste modo o *software* pode executar, por exemplo, uma análise energética, garantindo resultados correctos, pois os valores introduzidos para os parâmetros térmicos e físicos do conjunto dos materiais são os estabelecidos no capítulo anterior. No presente *item* são criados alguns materiais. São associadas apenas as propriedades de interesse para o estudo, como os parâmetros térmicos e físicos referentes ao coeficiente de transmissão térmica linear, à densidade, ao calor específico e à emissividade. Deste modo, a análise energética pode ser determinada de um modo automático, por recurso à ferramenta de simulação energética do *Revit*. Os parâmetros mecânicos não foram considerados pois não são efectuados cálculos estruturais. Na criação da biblioteca de paredes para o presente projeto, devem ser definidos os novos materiais que sejam necessários para o estabelecimento do objecto paramétrico para cada solução de parede definida no capítulo 3.

Os materiais necessários nas soluções construtivas previstas são: reboco, tijolo cerâmico de furação horizontal de 22cm, tijolo cerâmico de furação horizontal de 15cm, tijolo cerâmico de furação horizontal de 11cm, ar, isolamento térmico como poliestireno extrudado, isolamento térmico em lâ-de rocha, placas de gesso cartonado, painel OSB, reboco térmico, reboco armado, poliestireno expandido, placas de grés. Os parâmetros usados para cada um podem ser observados no anexo 7. Na definição de novos materiais optou-se por definir uma nova biblioteca de materiais, como se ilustra na figura 4.24. A biblioteca, denominada de “Materiais Construtivos”, regista todos os materiais desenvolvidos no presente estudo, podendo ser utilizada no desenvolvimento de futuros projectos de tipologia corrente a nível nacional e partilhada com outros utilizadores.

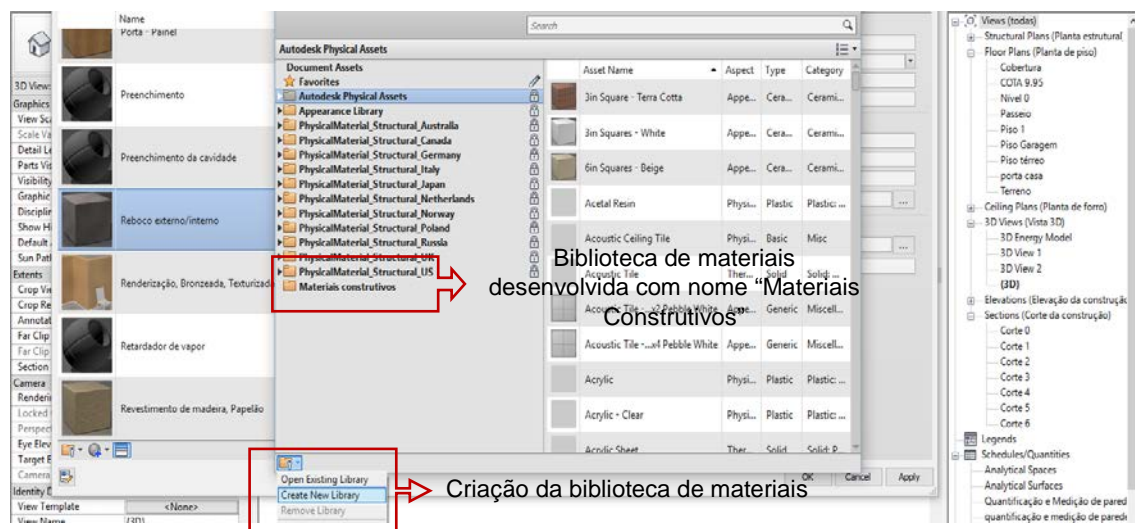
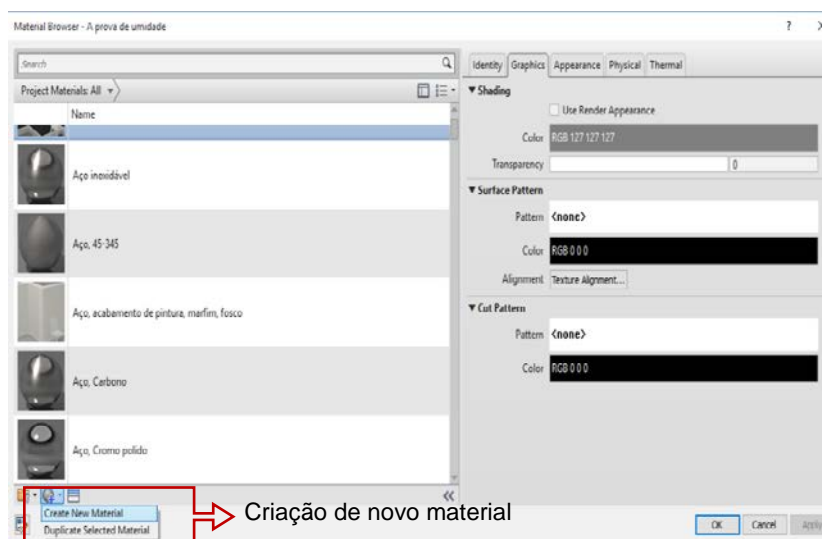


Figura 4. 24 - Criação de biblioteca de novos materiais

Para a criação de um novo material parte-se de um material existente no Revit, que é duplicado e as suas propriedades alteradas. No menu de gestão de materiais (figura 4.25) são adaptadas as propriedades referidas de acordo com o material pretendido, nos campos correspondentes visualizados nas figuras 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 e 4.18. Como exemplo é descrita a caracterização do material “reboco exterior”. Através da interface ilustrada na figura 4.25 é definido o novo material denominado de “reboco externo”, ao qual atribuíram-se as características listadas:



- Peso Volúmico (kg/m³) = 1800 kg/m³ (Santos, 2009)
- Coeficiente de transmissão térmica linear (W/(m.K)) = 1,3 W/(mK) (Santos, 2009)
- Calor específico J/(kg.K) = 836 J/(kg.K) (Mendonça, 2005)
- Emissividade = 0,87 (Mendonça, 2005)

Figura 4. 25 - Menu de gestão dos materiais

O tipo de material, seleccionado como base, apresenta características semelhantes ao reboco externo, e assim, mantiveram-se algumas das suas propriedades físicas, procedendo-se apenas à alteração de alguns dos parâmetros (figura 4.26). Para efeitos de identificação do material atribui-se uma nova descrição ao material, assim como uma nova classe com o objectivo de posteriormente conseguir obter mapas de quantidades por tipo de material (estudo abordado no capítulo 5).

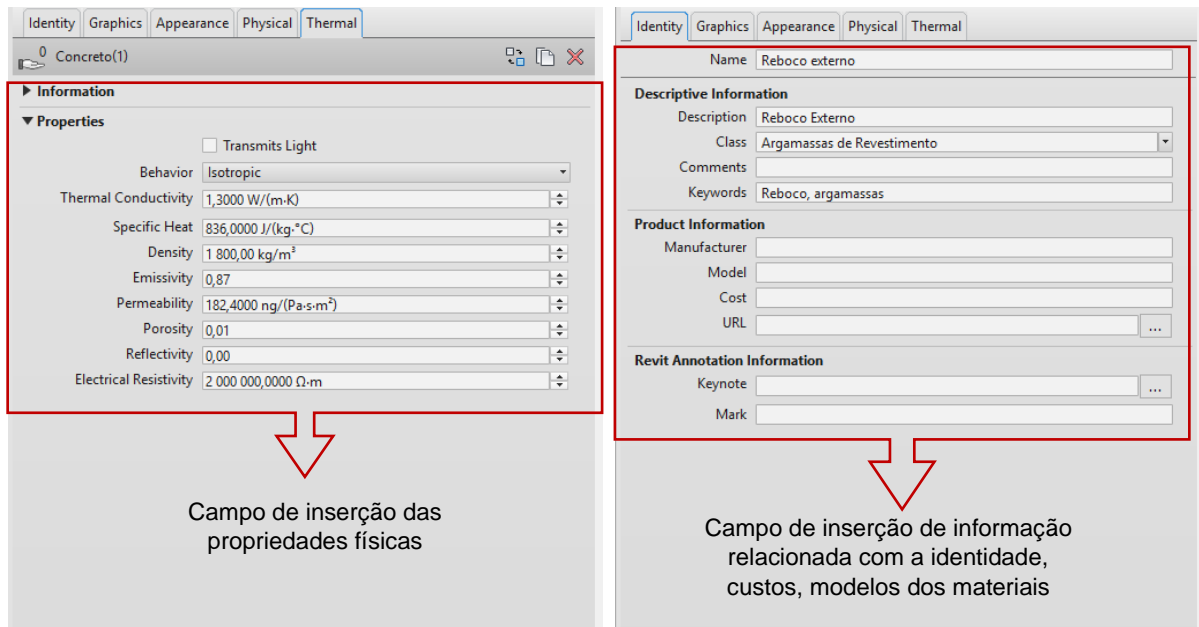


Figura 4. 26 - Alteração das propriedades térmicas e identificação do material

O mesmo procedimento foi aplicado na adaptação e criação dos restantes materiais. Verificaram-se diferenças, nomeadamente, ao nível da aparência estética, textura e padrões. Na figura 4.27 apresenta-se a modelação do revestimento usado no sistema construtivo em fachada ventilada, denominado “painéis de grés”, recorrendo a texturas existentes no *software*.

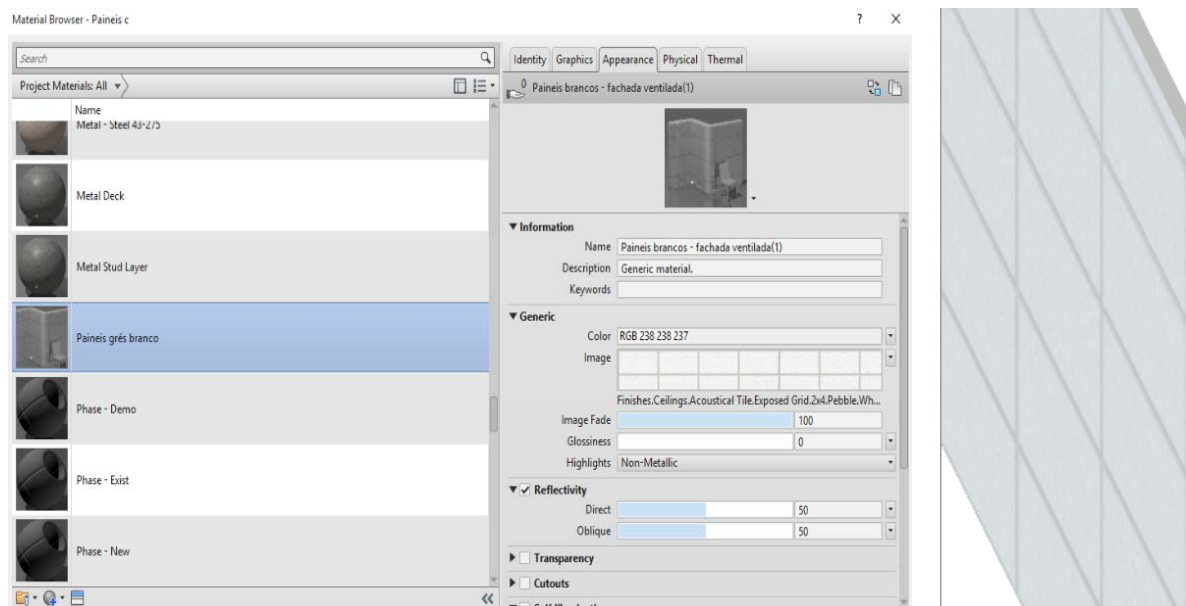


Figura 4. 27 - Modelação da aparência do material de revestimento de fachada ventilada

Após a definição e a criação de todos os materiais aplicados na composição de todas soluções construtivas de paredes, procedeu-se ao desenvolvimento dos objectos paramétricos previstos.

4.3. Criação da biblioteca de paredes exteriores

Na modelação de paredes exteriores, o utilizador pode recorrer a bibliotecas *online* para obter as soluções pretendidas, contudo e, nas pesquisas efectuadas, verificou-se que muitas das soluções usadas no mercado nacional ou não existem ou não possuem os parâmetros necessários para efectuar análises correctas.

As bibliotecas *online* são úteis para a modelação de sistemas como o *Light Gauge Steel Frame* ou fachadas ventiladas, pois permitem recorrer aos sistemas caracterizados pelos fabricantes. Na figura 4.28 observa-se uma solução em fachada ventilada, que pode ser utilizada na modelação de fachadas por recurso ao *plug-in* STO [W46]. Deste modo é possível inserir no modelo BIM uma fachada ventilada com



Figura 4. 28 - Fachada ventilada para *Revit* [W46]

as características de isolamento, peso, tipo de revestimento e suporte que o fabricante considerou na criação do respectivo objecto paramétrico. Obtém-se, assim uma fachada ventilada com todos os seus constituintes e perfis metálicos representados. No presente estudo, para todas as soluções construtivas de paredes exteriores foram definidos objectos paramétricos. De seguida, é apresentado, a modelação da parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico (15+11cm) e a atribuição dos respectivos parâmetros. Para as restantes soluções o procedimento é semelhante.

4.3.1. Associação de parâmetros

O *Revit* permite a adição de novos parâmetros a cada objecto paramétrico. Para tal é accionado o menu “*Manage* → *Project Parameters*”, visualizado na figura 4.29. De seguida, é criado um parâmetro do projecto ou partilhado. Foi selecionado, a opção de partilha para que o parâmetro possa ser usado noutras famílias de paredes ou noutros projectos. Pode, ainda, ser arquivado um ficheiro permitindo partilhar com outros utilizadores. Este tipo de parâmetro pode também ser usado para a obtenção de mapas de quantidades de materiais. O *Revit* permite atribuir uma designação ao parâmetro, associar o tipo de especialidade, definir as características de texto, número ou comprimento. Deve associar-se o tipo de unidade para permitir o cálculo e a interacção com outros parâmetros, como por exemplo, na determinação do custo de um material em que o custo unitário é multiplicado por uma área. Por fim, o parâmetro é associado à categoria pretendida, neste caso paredes exteriores. Os parâmetros a adicionar não existem na parede base, nomeadamente, a massa, os custos de construção, de manutenção e de demolição, o coeficiente de isolamento sonoro a sons aéreos, os planos de manutenção, o rendimento e a energia incorporada da solução.

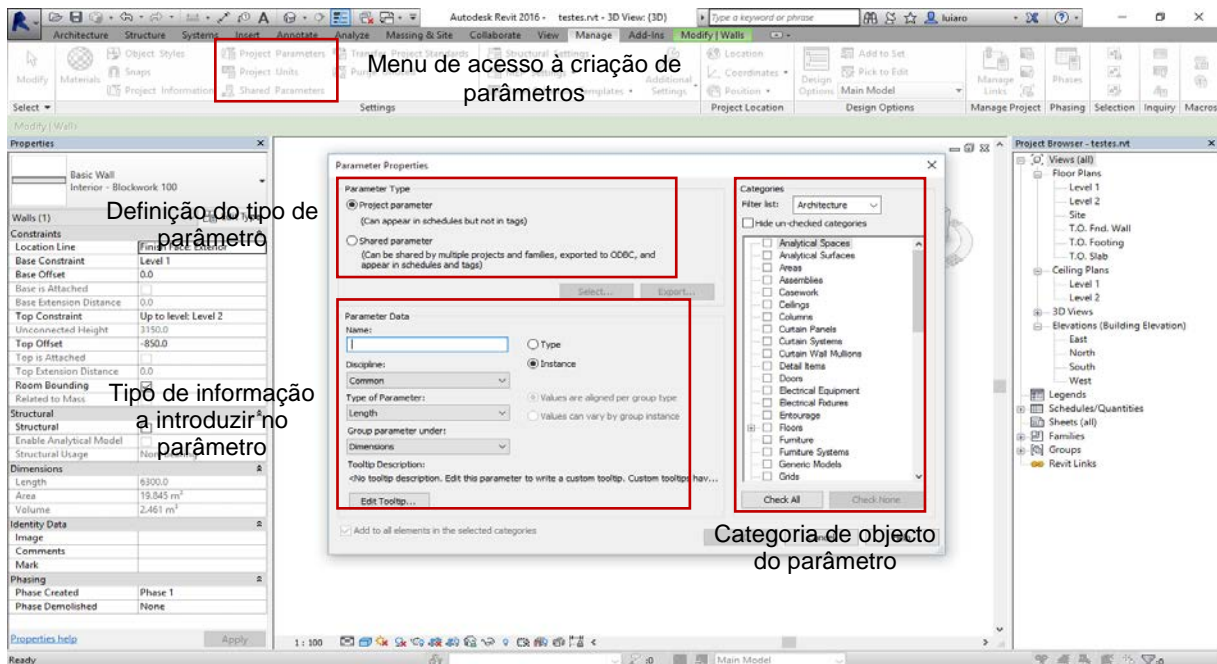


Figura 4. 29 – Criação e propriedades dos parâmetros

Como se pode visualizar na figura 4.30, o quadro das propriedades associadas à parede dupla de alvenaria de tijolo (15 + 11cm), permite a inserção de todos os valores determinados no capítulo 3 e organizados em fichas. O *Revit* permite a inserção de parâmetros por tipo de parede ou por objecto. A informação poderia ser colocada em separadores próprios, mas neste estudo optou-se por colocar no separador “other”. Também é possível observar o resultado do cálculo automático efectuado pelo *Revit* para o coeficiente de transmissão térmica, resistência térmica e a massa térmica.

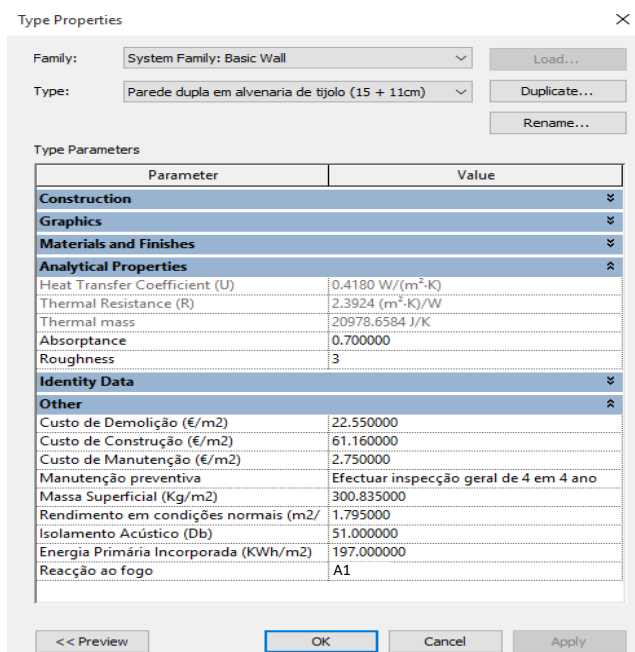


Figura 4. 30- Propriedades da parede dupla de alvenaria de tijolo (15 + 11cm) modelada

4.3.2. Modelação da biblioteca de paredes

Após a criação dos materiais a aplicar nas soluções construtivas e descrito o modo de atribuir e associar sobre um tipo de parede procede-se à definição da biblioteca de todas as soluções construtivas de paredes exteriores. A criação de cada elemento da biblioteca é efectuado de acordo com os procedimentos expostos no *item* 4.2.2, com a introdução de materiais criados no *item* 4.4. e os parâmetros definidos no capítulo 3. As interfaces ilustradas nas figuras 4.31, 4.32, 4.33, 4.34 e 4.35 identificam cada uma das soluções construtivas consideradas.

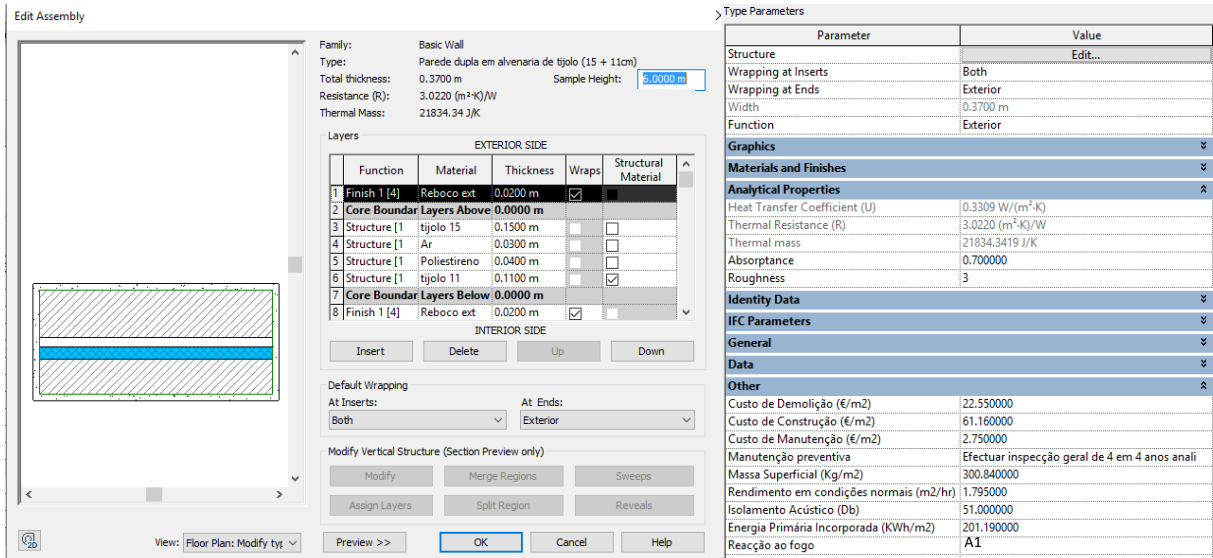


Figura 4. 31 - Parede dupla de alvenaria de tijolo (15 + 11cm) com isolamento externo

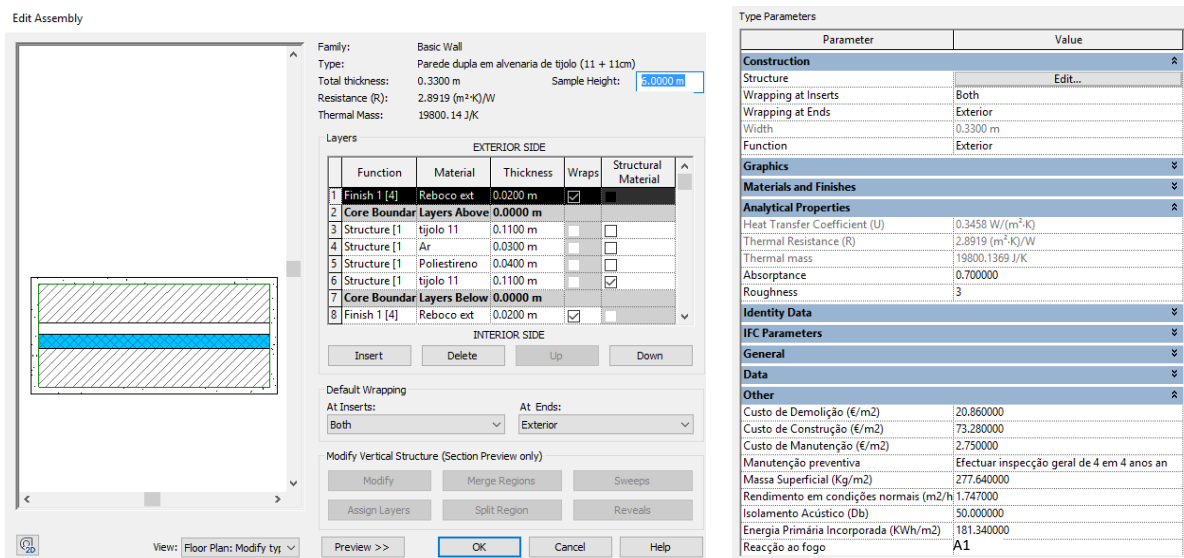


Figura 4. 32 - Parede dupla de alvenaria de tijolo (11 + 11cm) com isolamento externo

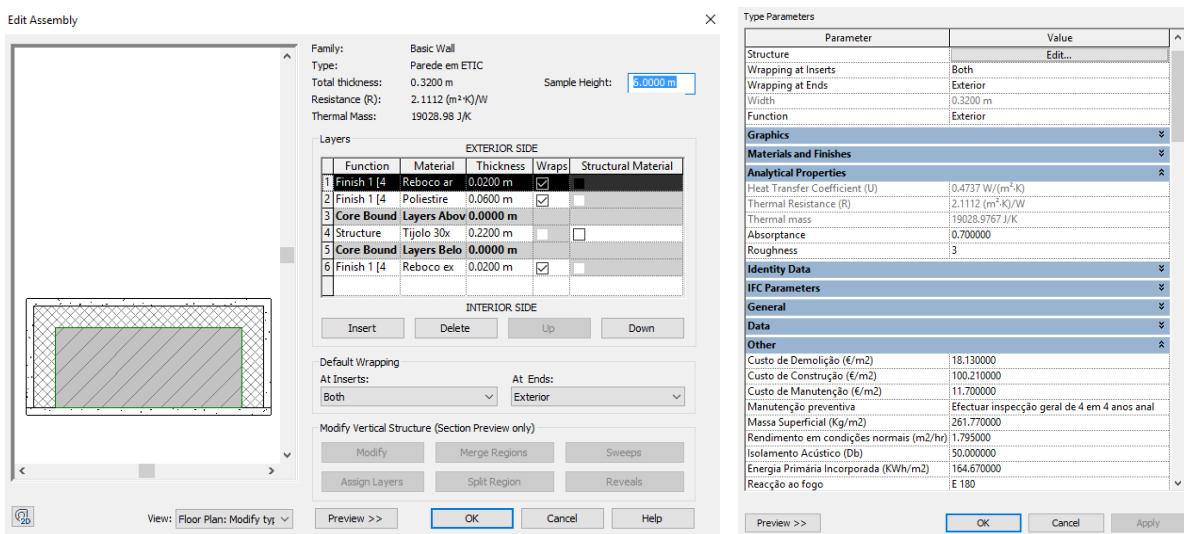


Figura 4. 33 - Parede em ETIC

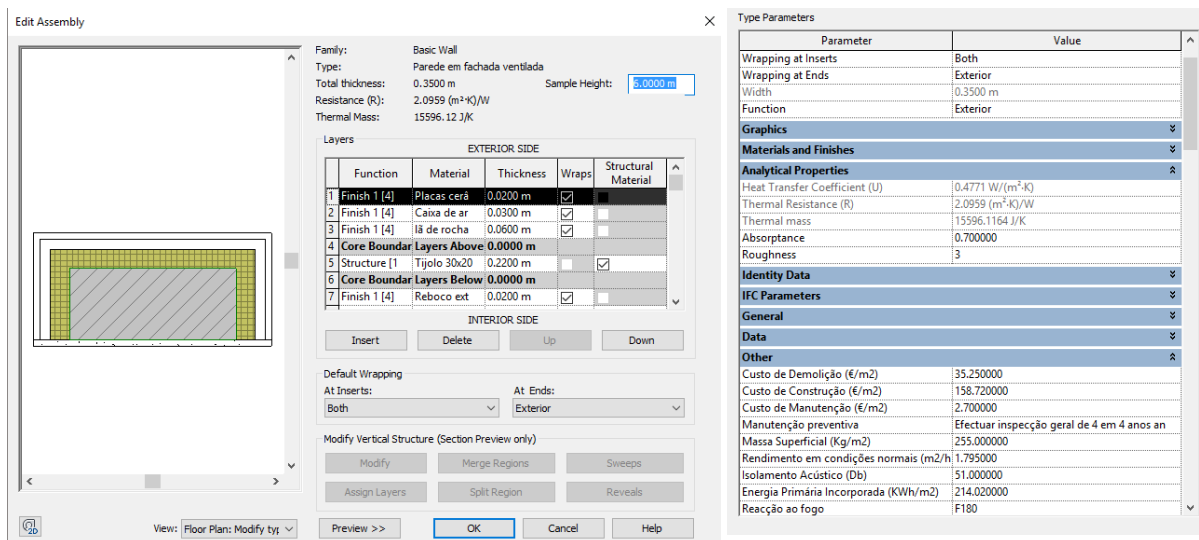


Figura 4. 34 - Parede em fachada ventilada

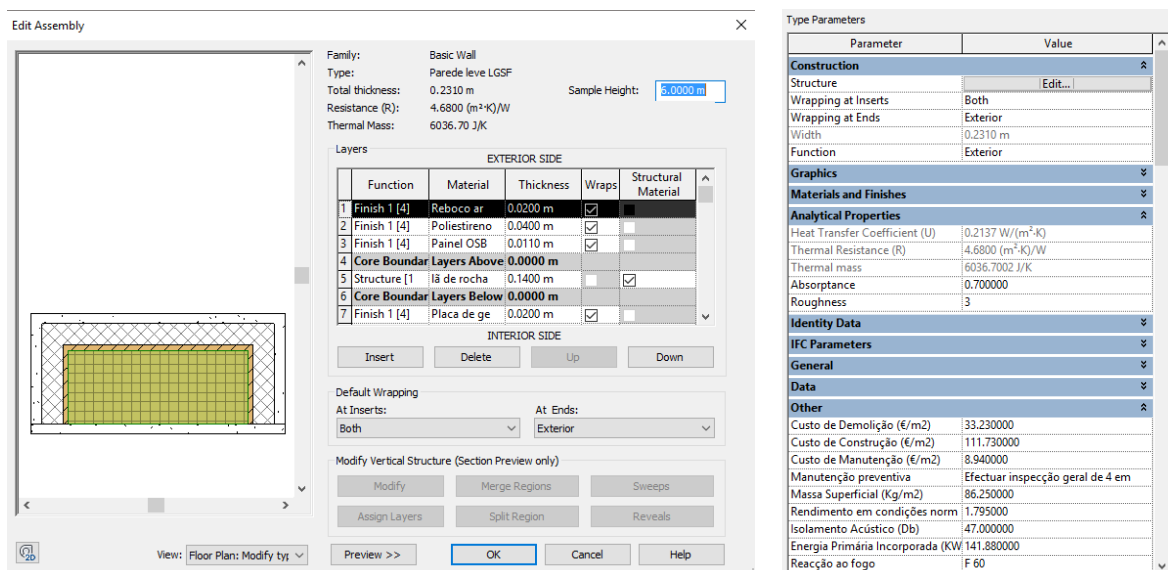


Figura 4. 35 - Parede em LGSF

4.4. Modelo BIM

O modelo BIM de arquitectura e estrutura foi criado com base nos objectos paramétricos existentes no *Revit* relativos aos diferentes compartimentos. Em relação às paredes foi inicialmente criado o modelo com utilização do objecto paramétrico relativo a solução de parede com pano duplo de alvenaria 11+15cm. No capítulo seguinte são definidas soluções alternativas em que são consideradas as restantes tipologias. O modelo BIM é representado na figura 4.36 segundo perspectivas obtidas em distintos pontos de vista. O *Revit* permite obter de um modo automático diferente tipo de desenhos técnicos. A figura 4.37 apresenta as plantas principais de habitação, a figura 4.38 inclui dois cortes verticais efectuados segundo duas direcções ortogonais e a figura 4.39 ilustra dois alçados. Este modelo é a base de aplicação nos diferentes estudos e análises a efectuar, como se descreve no próximo capítulo.



Figura 4. 36 - Diferentes perspectivas do modelo final

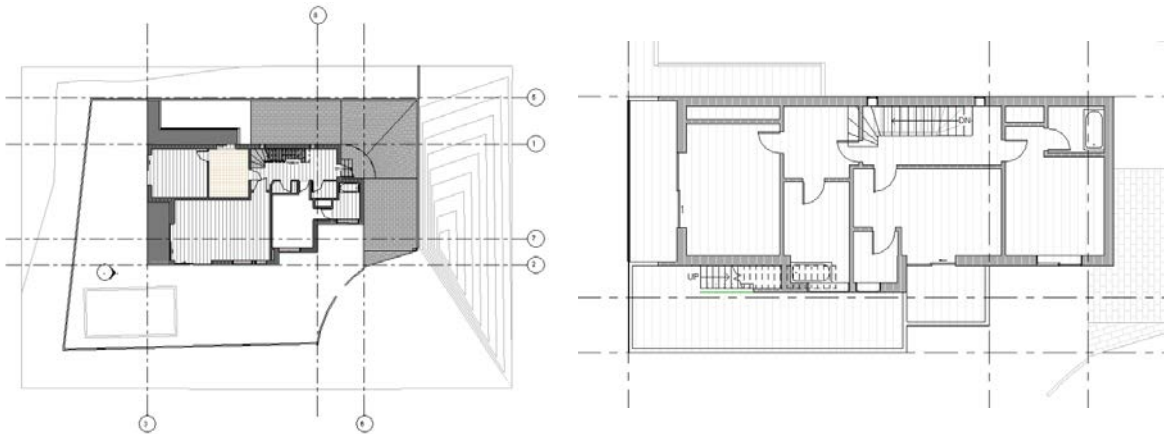


Figura 4. 37 - Plantas piso térreo e 1º piso com diferentes tratamentos gráficos do modelo final

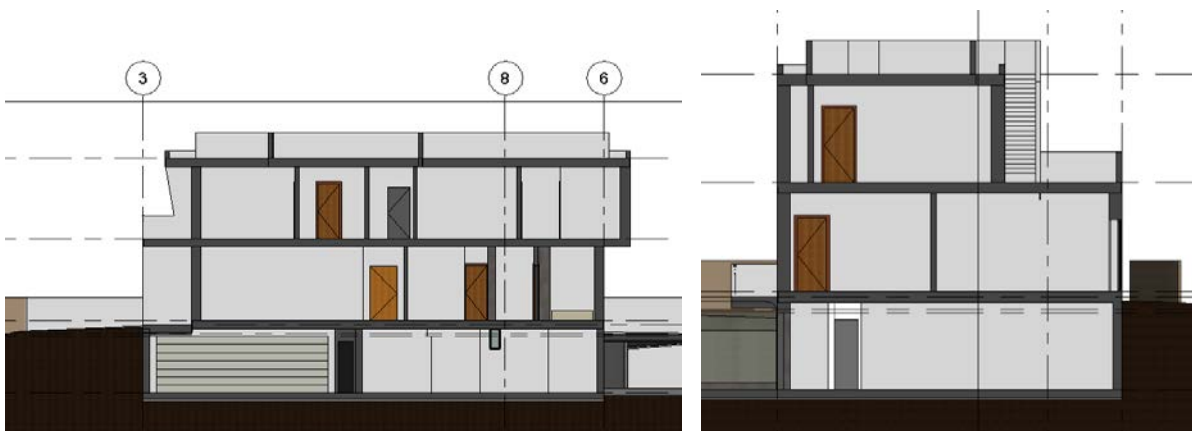


Figura 4. 38 – Cortes do modelo final

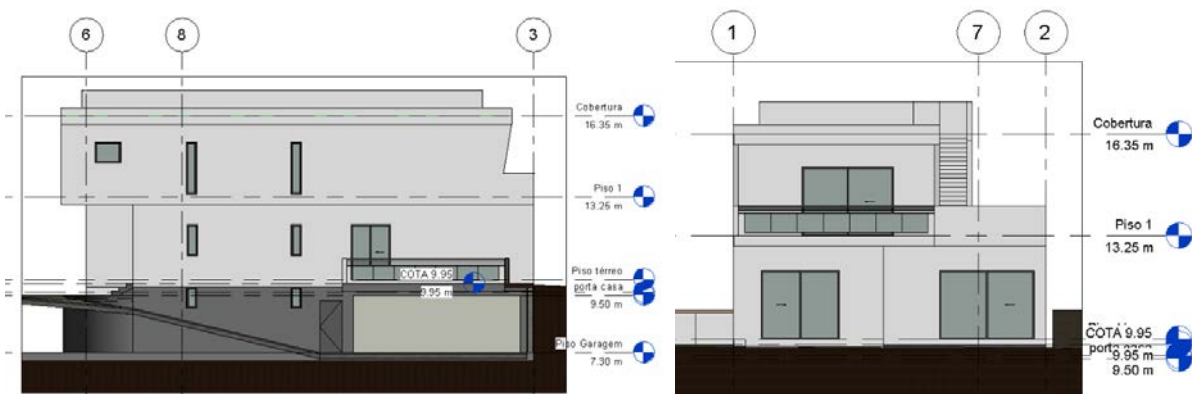


Figura 4. 39 - Alçados do modelo final

5. Aplicação da biblioteca de paredes

5.1. Soluções alternativas

O modelo BIM/3D apresentado no capítulo anterior refere-se à solução de parede dupla de alvenaria de 15+11cm. Para se proceder à alteração desta solução por cada uma das outras soluções, são seleccionadas as paredes exteriores pretendidas. A selecção e alteração de paredes pode ser efectuada de diferentes modos. Assim, recorreu à selecção de instâncias que tenham o mesmo tipo de propriedades, como as famílias de paredes. Na figura 5.1 é possível observar a azul as paredes exteriores seleccionadas de um modo automático. O *Revit* reconhecendo o tipo de objecto seleccionado remete, imediatamente para o menu de propriedades da parede seleccionada. Como se observa as paredes seleccionadas são constituídas por parede dupla de alvenaria de tijolo (15+11cm). São visualizadas também outras paredes modeladas não consideradas na selecção.

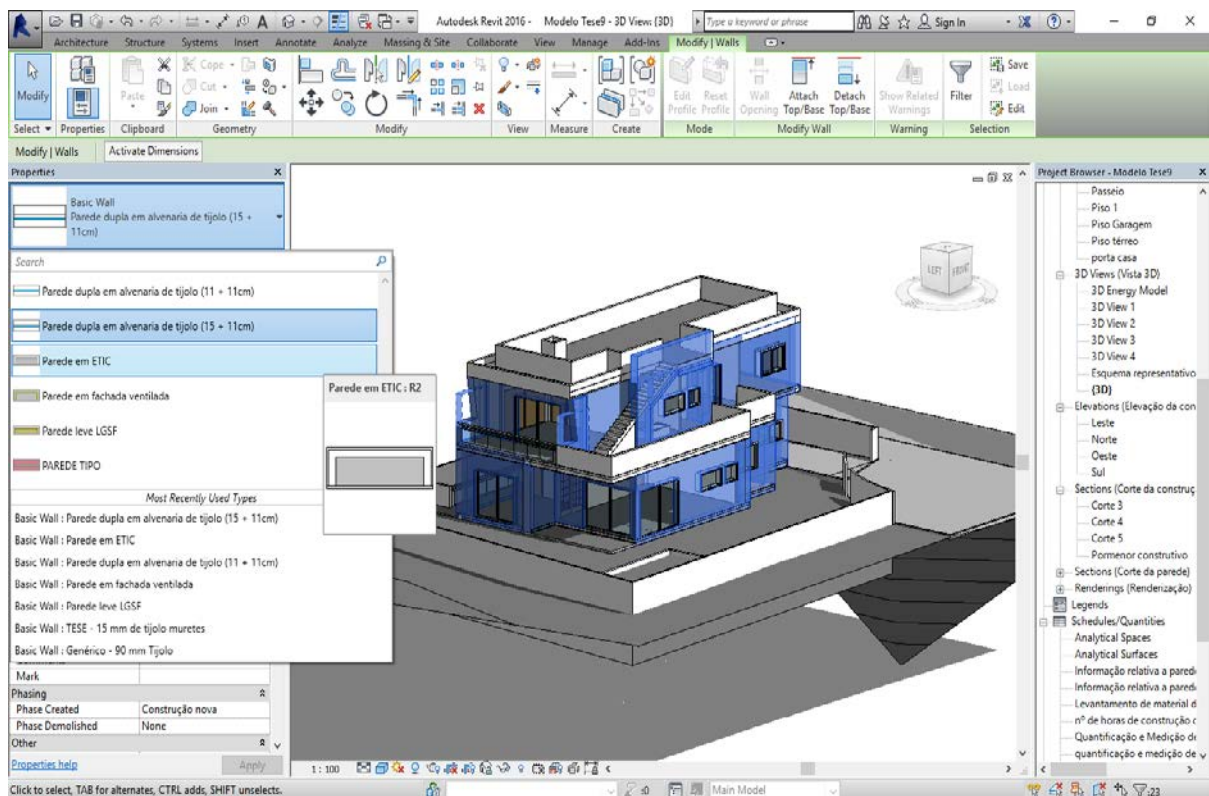


Figura 5. 1 - Menu de alteração de paredes exteriores

Seleccionada a parede pretendida, o *Revit*, efetua a alteração de parede para a solução ETIC de uma só vez. Contudo, no processo de substituição de tipologias podem ocorrer alguns erros que é necessário analisar. Todos os elementos agregados às paredes exteriores adaptam-se à nova solução construtiva. A figura 5.2 ilustra um dos exemplos da substituição de parede dupla de alvenaria de tijolo 11+15cm, por parede ETIC. Verifica-se que a parede interior não acompanhou a nova posição da parede exterior, existindo um desfazamento entre as faces interiores entre a parede exterior e a parede interior. Apesar de estarem definidas as condições de assentamento pelo exterior, como analisado mais à frente, existem sempre alterações que implicam a correcção manual de cada situação.

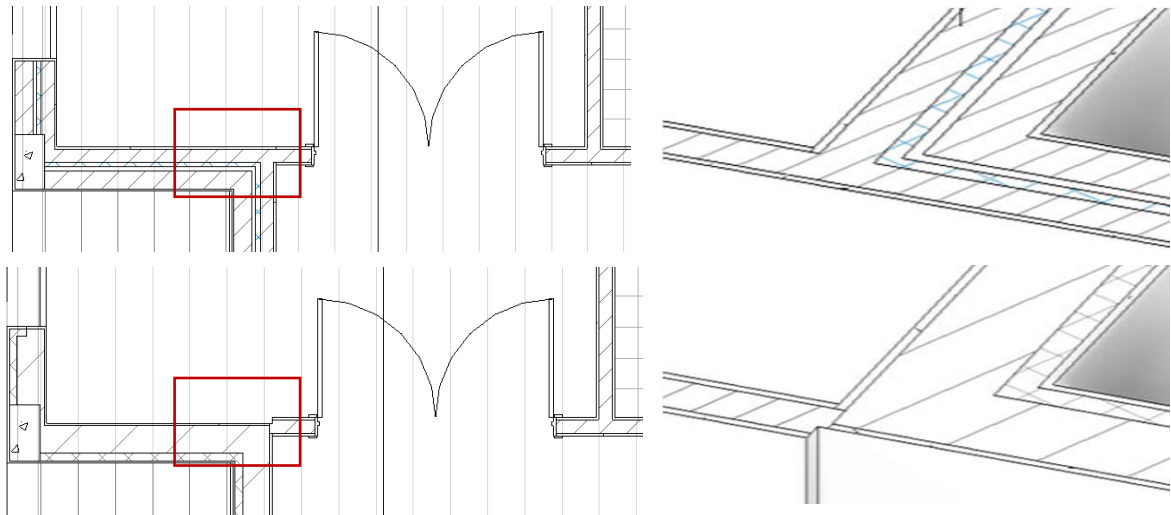


Figura 5. 2 - Problema na alteração de soluções construtivas

Verificou-se, que em todas as substituições, a necessidade de alterar o posicionamento da parede interior, assim como a estrutura, devido às diferentes espessuras de cada solução, processo que se revelou um pouco moroso. Na figura 5.3, observa-se um excerto da planta no qual se verifica a ligação à estrutura, a uma janela e a uma parede interior, com 5 soluções modeladas. Em todas as soluções essas ligações foram alvo de correcção.

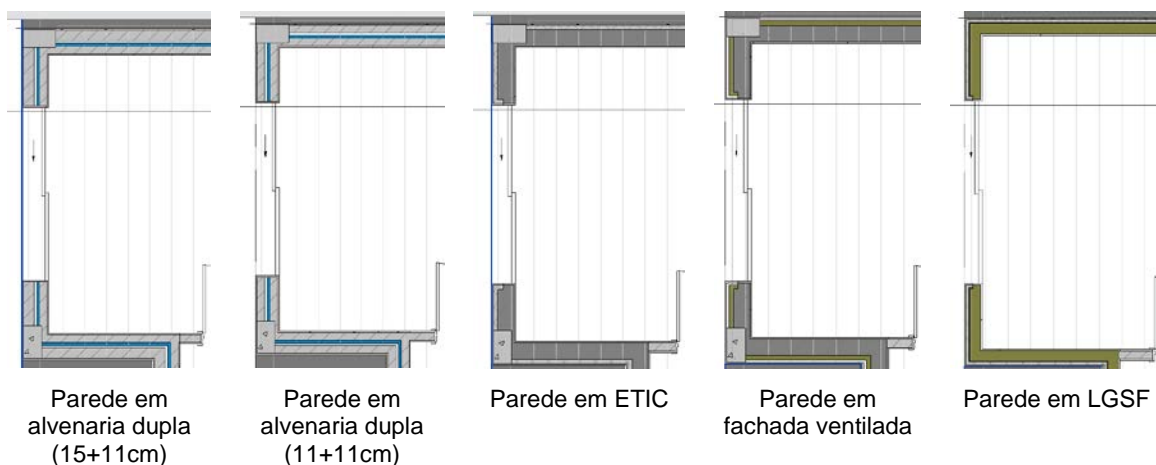


Figura 5. 3 - Opções de paredes exteriores na modelação

5.2. Produção de desenhos

Após a definição da biblioteca de soluções construtivas de paredes exteriores, e a sua aplicação no caso de estudo, de modo a modelar as cinco opções alternativas, é analisada a capacidade do *Revit* produzir desenhos. A documentação gráfica associada ao projecto é constituída por plantas, cortes, alçados e pormenores construtivos. O modo de execução, a partir do modelo BIM/3D, e o tipo de apresentação destes desenhos são confrontados com os métodos tradicionais do ambiente CAD. Como o modelo digital 3D é paramétrico, contém toda a informação associada à composição de cada elemento construtivo. O *Revit* dispõe de ferramentas que permitem manipular essa informação e obter diferentes tipos de representação. Por exemplo, a planta ilustrada na figura 5.4, é obtida automaticamente pela indicação de um corte horizontal a uma cota superior ao nível do parapeito das janelas do piso térreo.

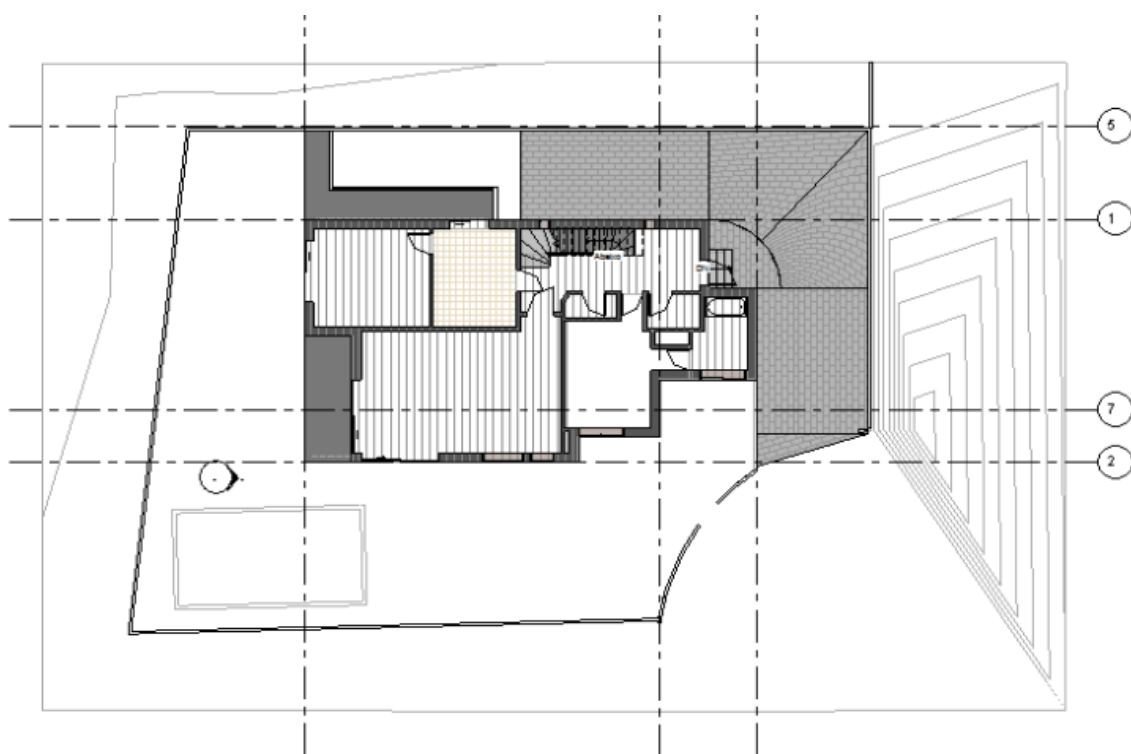


Figura 5. 4 - Planta base extraída após modelação digital

No desenho, são identificadas a zona exterior da habitação e limite do terreno, a distinção do tipo de revestimento aplicado no pavimento, as paredes e as portas representadas de acordo com a simbologia arquitectónica normalmente aplicada e os alinhamentos. Para a obtenção da planta, apenas foi indicado a altura do plano de corte. Porém, surge um desenho com um quantidade de informação reduzida e que deve ser complementada para obter os desenhos técnicos usuais no projecto. O *Revit* permite adicionar ao desenho obtido, o conjunto de informação em falta, como as cotas e a informação relativa a cada divisão, como, a área e a descrição do espaço. O *software* apresenta funcionalidades que permitem rapidamente identificar os espaços, extrair áreas, volumes, executar a cotagem, atribuir níveis e identificar qualquer tipo de objecto representado no desenho. Permite também, caso seja necessário, extrair de outros trabalhos, informações, materiais e outros sistemas construtivos, e ainda, formatações gráficas, nomeadamente estilo de folhas, *letrig*, e todas as definições que o utilizador julgue necessário para a obtenção de um resultado final adequado.

Permite ainda extrair outras informações como acabamentos, perímetros, entre outros. A cotagem de desenho é semelhante ao AutoCAD, contudo tem a vantagem de ser automaticamente actualizada quando o modelo digital é alterado, como, por exemplo, a substituição do tipo parede exterior. A figura 5.5 ilustra um conjunto de informações inseridas na planta do piso térreo: as cotas, a representação de corte, a identificação do tipo de parede exterior (P1), a representação comum de portas e de janelas, a indicação das cotas altimétricas em cada zona do piso, o sentido de subida de escadas, a área e a designação de cada compartimento e o valor do ângulo de inclinação de rampa e sentido de descida. As possibilidades oferecidas pelo *Revit* na produção de uma planta incluindo a fácil adição de diferente tipo de informação, é uma das grandes vantagens do *software* BIM quando confrontado com o *software* CAD.

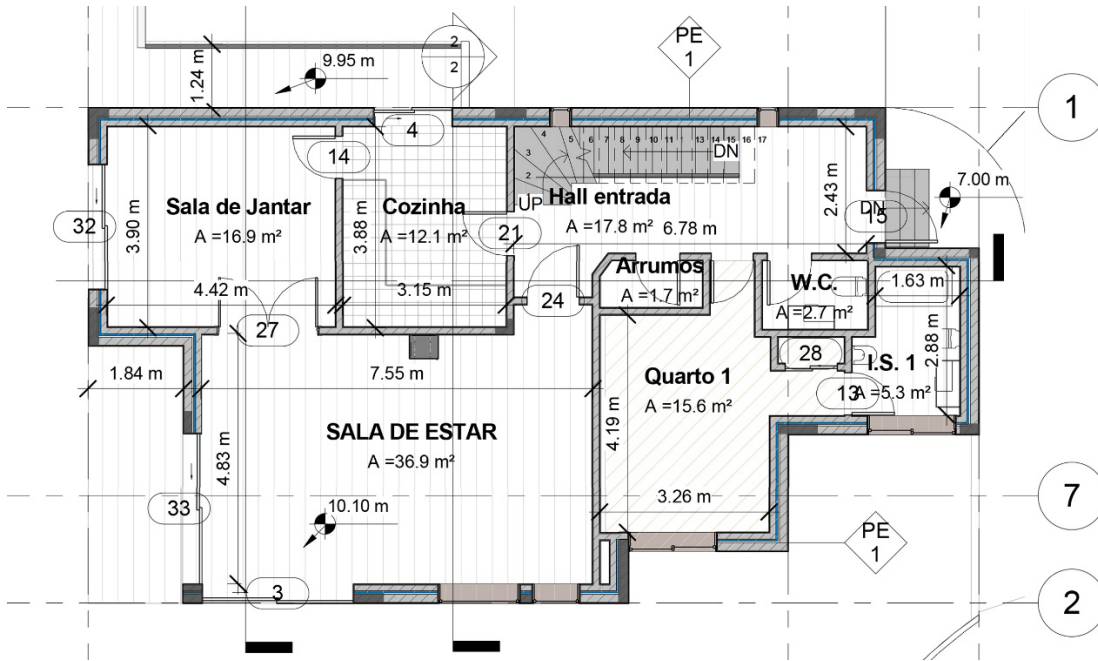


Figura 5. 5 - Planta com várias informações inseridas

As vantagens são verificadas na produção de alçados, cortes e pormenores construtivos. Para a obtenção de detalhes construtivos, o *Revit* permite recorrer à base de dados de outros projectos e de bibliotecas *online*. O modelo paramétrico usado possibilita a extracção de detalhes dos locais que se pretende representar e pormenorizar. A figura 5.6 identifica um detalhe da zona de intersecção entre a laje e a parede exterior. O desenho é obtido de uma forma automática, mas exige um trabalho complementar para o seu aperfeiçoamento. Neste caso foi adicionada a atribuição de padrões e cores a materiais representados, a sua identificação, foi efectuada a alteração da espessura de traços, e as dimensões de alguns materiais, como é visível no pormenor construtivo observado na figura 5.7. O *Revit* permite a adição de alguma informação explicativa na folha do desenho junto ao detalhe obtido, no entanto, essa informação é apenas visível na folha de desenho e fica associada ao detalhe e não ao modelo, o que pode representar uma limitação, como se ilustra adiante.

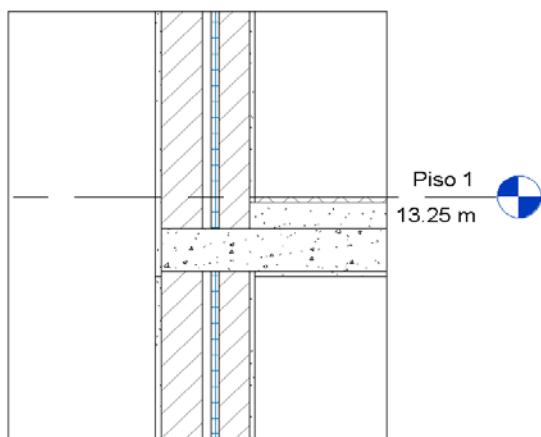


Figura 5. 6 - Detalhe construtivo obtido automaticamente

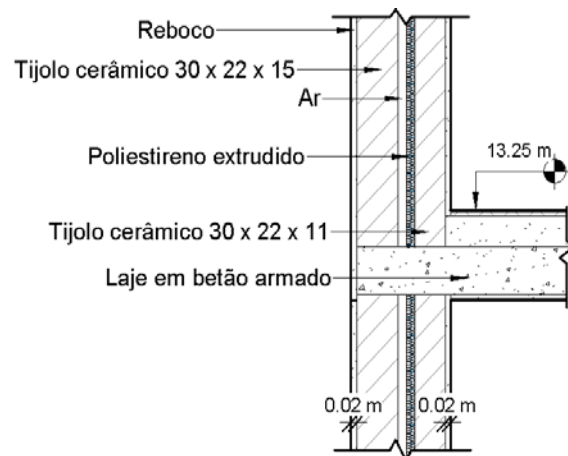


Figura 5. 7 - Detalhe construtivo aperfeiçoado

A obtenção de cortes verticais e de alçados, pode ser efectuada de um modo automático. Para tal, é indicada a localização do plano de corte sobre o modelo 3D, ficando o seu traço representado nas vistas e planta (como ilustra a linha azul indicada na figura 5.5) Porém, os desenhos obtidos devem ser acrescentados com as informações normalmente requeridas. Por forma a obter um corte sem erros, foram efectuadas algumas alterações. Por exemplo, foi eliminada a sobreposição de materiais e modificada a espessura de traços. O ajuste ao nível da sobreposição de materiais repercute-se em todos os desenhos e perspectivas do modelo 3D, e posteriormente na quantificação de materiais. Outro problema, ilustrado na 5.8, aponta para a descontinuidade de materiais nas paredes exteriores de um piso para outro, quando não são modeladas como uma única parede, desde a base à cobertura, sendo necessário o prolongamento manual em algumas situações e ajuste nas condições de ligação.



Figura 5. 8 - Alteração efectuada nas paredes exteriores

Neste caso, procedeu-se ao estabelecimento das condições de prolongamento do material reboco na parede. Assim, como é possível observar na figura 5.9, é garantida uma superfície homogénea, distinto do aspecto descontínuo antes observado. O mesmo sucede em situações singulares como a ligação a vigas a pilares. A figura 5.9 ilustra a ligação entre a laje e os diferentes tipos de parede exterior.

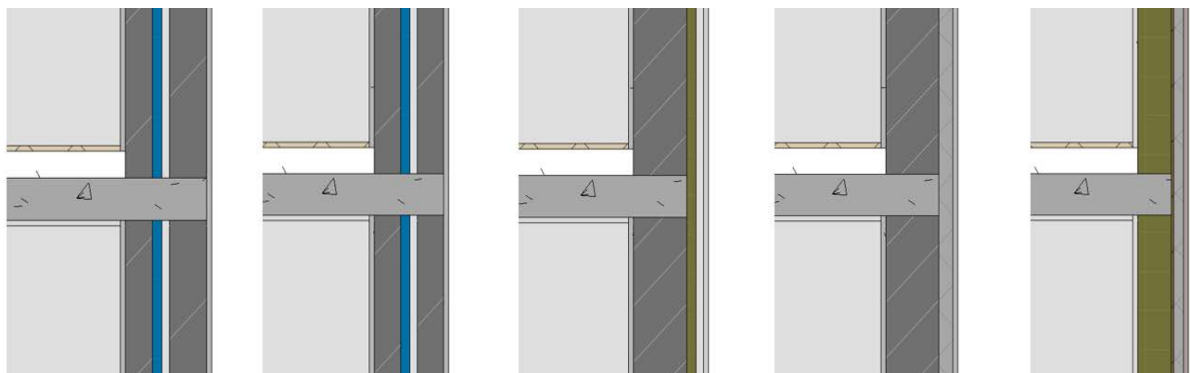


Figura 5. 9 - Ligação Parede / Laje

A figura 5.10 representa um corte onde foram corrigidos alguns aspectos na ligação da parede à laje, inseriram-se as cotas de pisos, as dimensões entre pisos, a designação de materiais constituintes, a numeração de degraus e a identificação de eixos e de níveis. É ainda seleccionada a escala de representação (1:100).

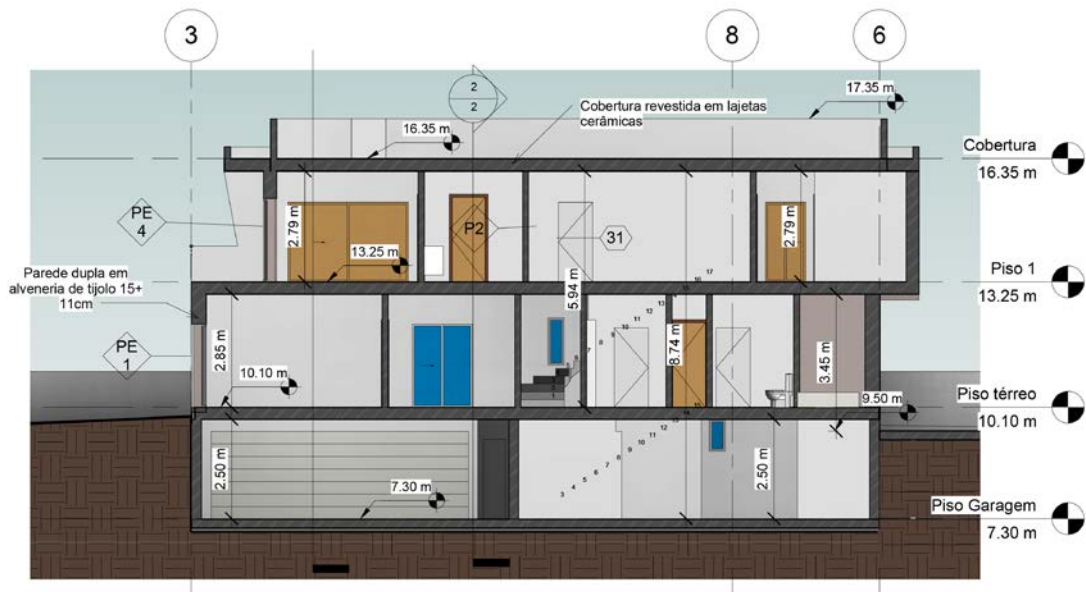


Figura 5. 10 - Desenho de corte após inclusão de informação

Quando uma parede é modelada deve ser indicada a linha de referência em relação à qual o elemento é posicionado. Pode ser o eixo central, o eixo do núcleo, a linha do acabamento interior ou exterior, ou a face exterior ou interior do núcleo. Estas fronteiras são definidas aquando da atribuição das camadas e do que é considerado núcleo ou revestimento. A condição de fronteira da parede é uma opção a estabelecer pelo utilizador e tem implicações ao nível da alteração das soluções construtivas de fachada, pois é definida a linha da parede que permanece imóvel. No processo de modelação o utilizador tem de atender as condicionantes de projecto, como por exemplo, a área de implantação não pode ser modificada e, portanto, a face exterior da fachada deverá manter-se no mesmo local. Durante a modelação, o *Revit* permite definir essa linha, como observado através do menu ilustrado na figura 5.11. No modelo criado recorreu-se à face exterior da parede. Esta condição conduziu às situações observadas na figura 5.2.

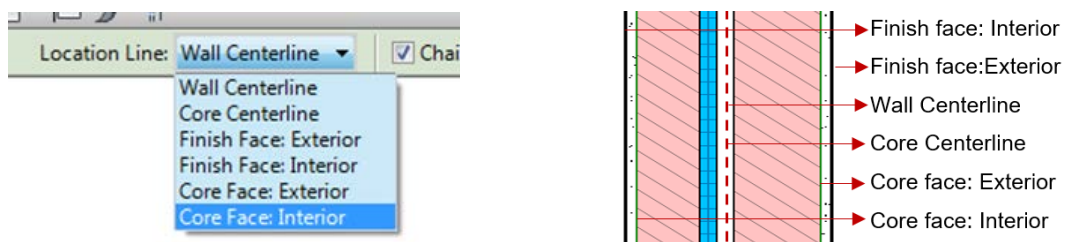


Figura 5. 11 - Condições da implantação das paredes

Um outro aspecto verificado na produção de desenho, relaciona-se com a forma como o *software* interpreta a interação da estrutura com as paredes exteriores, podendo ter influência na representação e quantificação do material. Assim, nas intersecções entre a estrutura e a parede exterior é necessário efectuar a sobreposição das componentes de arquitectura e da estrutura e caso necessário efectuar manualmente o prolongamento de materiais como isolamentos por forma a evitar pontes térmicas. O volume ocupado pelo pilar é posteriormente subtraído ao da parede. A figura 5.12 à esquerda, ilustra a situação em que o *Revit* não analisa este tipo de interface de uma forma automática, e o volume de

parede é maior que o real. É necessário que o utilizador identifique cada situação e proceda ao seu ajuste individualmente por forma a obter o resultado observado à na imagem da direita.



Figura 5. 12 - Vista em corte horizontal da sobreposição de elementos de arquitectura e das estruturas.

Verifica-se, ainda, que após a subtracção do material, o *software* não tem capacidade de avaliar a continuidade dos elementos, como o isolamento e caixa-de-ar (figura 5.11). Assim, a modelação deve considerar estas situações na geração do modelo BIM. Pode também, na produção de desenhos, recorrer a pormenores construtivos incluídos na base de dados e de outros projectos, ou ajustar o desenho automático obtido no *Revit*. É necessário acautelar as situações de pormenores pré-definidos aos desenhos obtidos automaticamente, pois esses detalhes só são válidos para o caso analisado. Quando o modelo BIM é adaptado a outras soluções alternativas, os detalhes específicos devem ser reajustados. Ou seja, como os detalhes não são efectuados sobre o modelo digital, quando o tipo de parede é alterado, a informação inserida permanece no desenho até ser corrigida manualmente. Apesar dos constrangimentos verificados, conclui-se que a produção de desenhos é mais rápida e fácil de obter quando comparada com sistemas em ambiente CAD, mas também sujeito a alguns erros.

5.3. Obtenção de perspectivas

Uma das limitações do processo tradicional, baseado na interpretação de desenhos, é a dificuldade de percepção espacial do projecto por parte dos diferentes participantes do processo construtivo. O *Revit*, recorrendo às diferentes possibilidades de visualização, permite a compreensão espacial do modelo de um modo bastante intuitivo, e do modo como os diferentes elementos do edifício interagem entre si. A figura 5.13 representa dois cortes, um vertical e outro horizontal, efectuados sobre o modelo 3D. As perspectivas possibilitam uma melhor compreensão do espaço interior da habitação e de distinguir os materiais constituintes representados nas zonas seccionadas de acordo com os padrões atribuídos. Este aspecto torna-se ainda mais relevante quando são inseridas os sistemas no modelo, podendo detectar conflitos espaciais, aspecto não abordado no estudo.

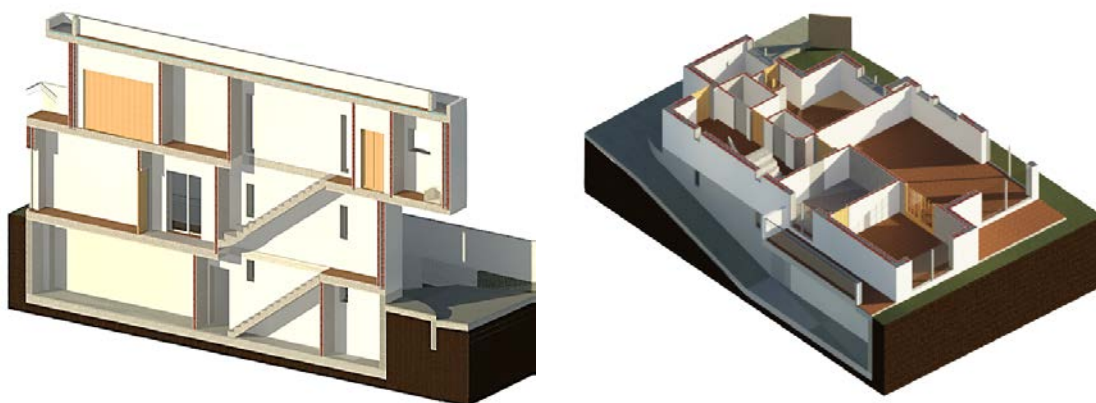


Figura 5. 13 - Corte efectuado sobre o modelo BIM/3D

A obtenção das perspectivas do modelo em corte é praticamente automática. Contudo para obter um resultado em que a informação centrada no modelo paramétrico seja claramente identificada, é necessário efectuar alguns ajustes. Os traços e texturas podem ser adaptadas à simbologia de corte, acrescentar designações de (materiais e tipo de parede) e eliminar alguma sobreposição incorreta. A figura 5.14 apresentam o mesmo corte, efectuado sobre as diferentes soluções construtivas de paredes exteriores. As imagens são esclarecedoras relativamente aos materiais e disposição de camadas em cada tipo de parede.

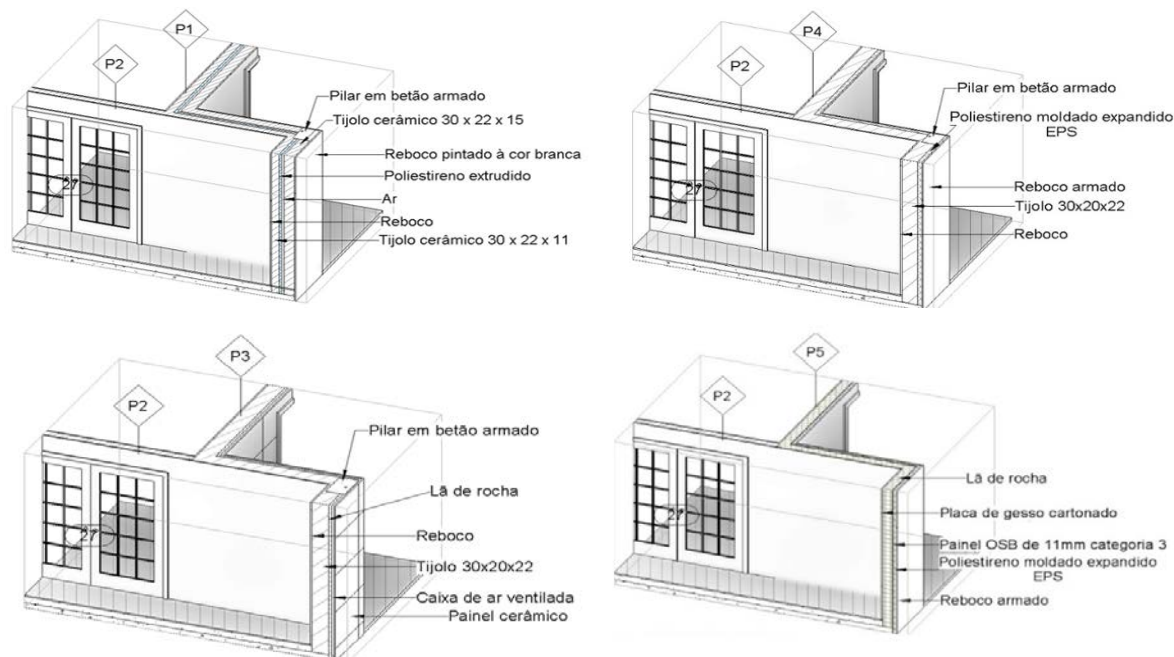


Figura 5. 14 - Esquema representativo das quatro soluções construtivas

A obtenção de documentação gráfica do projecto é uma das vantagens face ao processo tradicional, destacando-se a capacidade de automatização, de actualização, de adição de detalhes, e ainda, de composição do desenho. Para tal, na organização de folhas do desenho são seleccionados os desenhos, as tabelas, os desenhos complementares de pormenores, e outras informações. O *software* cria automaticamente uma folha com todos estes elementos, à escala seleccionada, as quais são alteradas de um modo automático se o modelo digital é alterado, evitando assim grande parte de informação incoerente, incorreta ou desactualizada, como é frequente nos desenhos CAD.

Como referido, quando é adicionada a informação a um desenho, por exemplo, sobre o pormenor construtivo da figura 5.7, essa informação não é adicionada ao modelo BIM mas apenas a este desenho. Tal facto conduz a informação incoerente quando a parede exterior do modelo digital é alterado. A figura 5.15 reflecte o problema de representação originado pela alteração da parede exterior de alvenaria de tijolo dupla (15+11cm) para (11+11cm). O posicionamento da linha de isolamento e legenda não acompanhou a nova posição da parede. Este

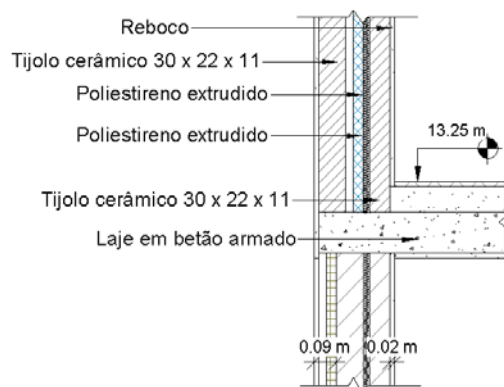


Figura 5. 15 - Problema de representação na alteração de solução construtiva

tipo de incorrecção pode ser originado aquando da análise de soluções alternativas de um mesmo caso. Têm de ser verificadas, de uma forma cuidada, as alterações ao nível da organização dos desenhos e dos comentários adicionais. No processo de desenho do caso de estudo, foram identificados outros problemas semelhantes, em cortes e plantas motivados pela alteração das soluções construtivas, obrigando a ajustar, manualmente, os desenhos obtidos para cada opção. A figura 5.16 representa um desenho do conjunto com duas plantas, dois cortes verticais adicionais, dois esquemas construtivos, uma perspectiva do modelo 3D, um pormenor construtivo e uma tabela de caracterização das paredes. A folha de desenho representada em A1 apresenta-se no anexo 8.

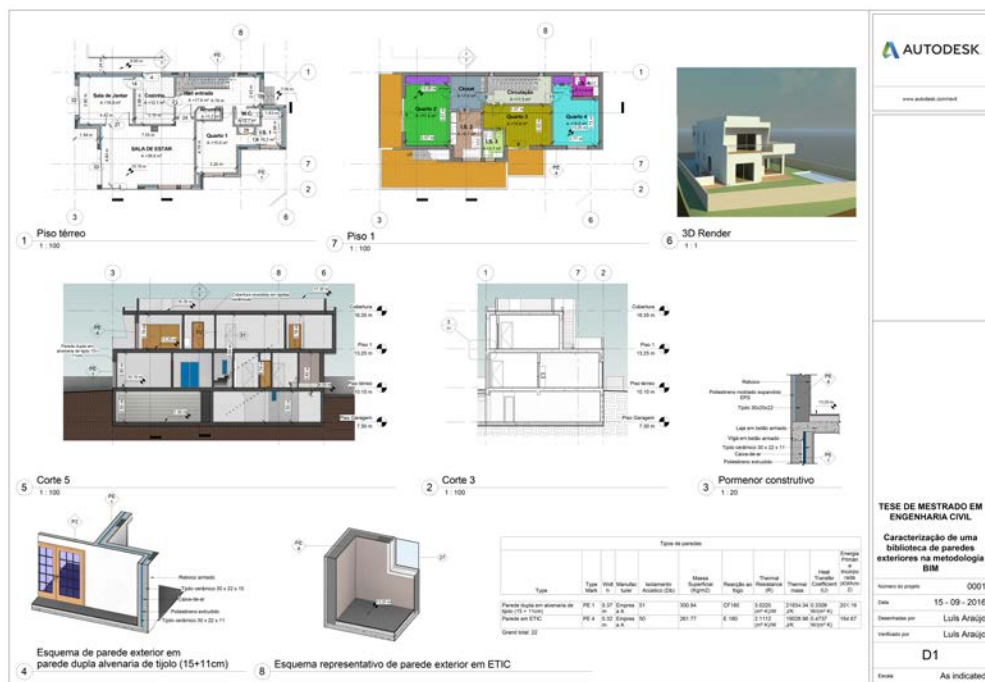


Figura 5. 16 - Conjugação de diferentes elementos num desenho (Anexo 8)

5.4. Modelo 4D

A obtenção de um modelo 4D está relacionada com a associação dos elementos do modelo BIM 3D ao factor tempo. Embora, o *Revit* permita anexar a cada objecto paramétrico do modelo 3D, a informação relativa ao planeamento da obra, como, por exemplo, rendimentos de trabalho de execução de dado elemento, apresenta poucas funcionalidades. Contudo, possui algumas capacidades úteis ao planeamento, como a opção de atribuição da respectiva fase de construção a cada elemento do modelo 3D e com base nessa informação produzir os desenhos referentes às diferentes fases. Esta informação inserida como valor de uma propriedade associada ao objecto paramétrico permite, ainda, obter estimativas temporais da construção, se a cada fase se associar um período de tempo [W47]. A possibilidade de adicionar distinto tipo de parâmetro ao objecto paramétrico permite, por exemplo, obter mapas de quantidade de material por fase construtiva e, assim, apoiar a gestão de estaleiro. Podem ser criadas tabelas dinâmicas que constituam a base de trabalho para o planeamento das encomendas de material solicitado aos fornecedores, a entrega de material e o seu armazenamento em obra [W48]. As tabelas pretendidas, não só neste item, mas também nos seguintes, obtêm-se recorrendo ao menu

“View → Create → Schedule → Schedule/Quantities”, ilustrado na figura 5.17. Na definição da tabela, a selecção é efectuada por especialidade, por forma a serem listadas as categorias de objectos paramétricos associados a essa especialidade. Neste caso, a especialidade é a arquitectura, e a categoria corresponde a paredes (“Walls”).

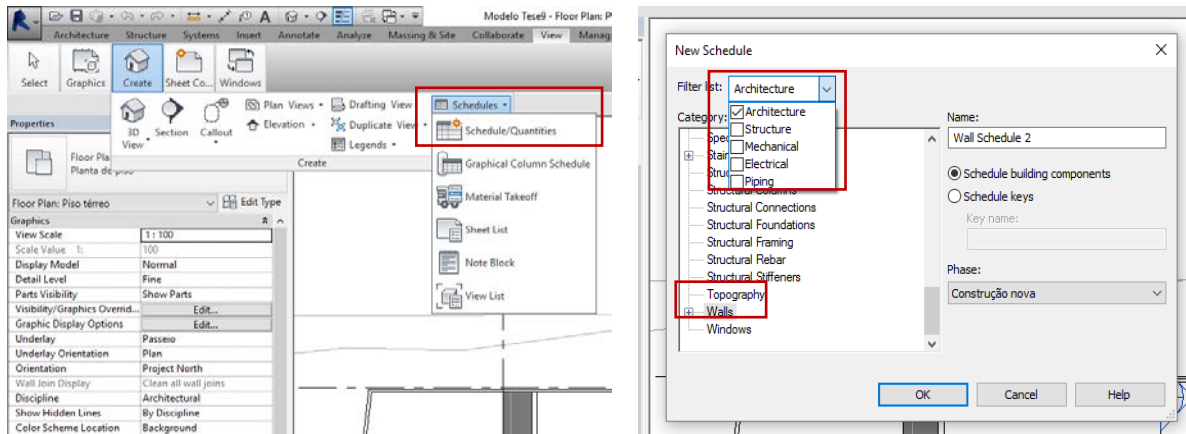


Figura 5. 17 - Menu de obtenção de tabela

O utilizador pode introduzir os campos que julgue necessários para a avaliação pretendida, como também vamos observar nos itens seguintes. Por exemplo, com a informação introduzida no caso de estudo, referente ao rendimento de trabalho por m² de parede, é possível, como exercício ilustrativo das capacidades do modelo BIM, obter a tabela correspondente ao número total de horas que são necessárias depender na construção de uma parede de alvenaria dupla (15+11cm). A figura 5.18 ilustra o menu que permite escolher os diferentes parâmetros a adicionar à tabela relativa a paredes. Neste caso pretende-se, para determinada solução construtiva, determinar a área total da parede exterior e o número total de horas e dias de construção. Assim, os parâmetros escolhidos são: o tipo de família da parede, “Family”, a marca de parede, “Type Mark”, o tipo de parede, “Type”, o rendimento em condições normais (m²/hr) e a área.

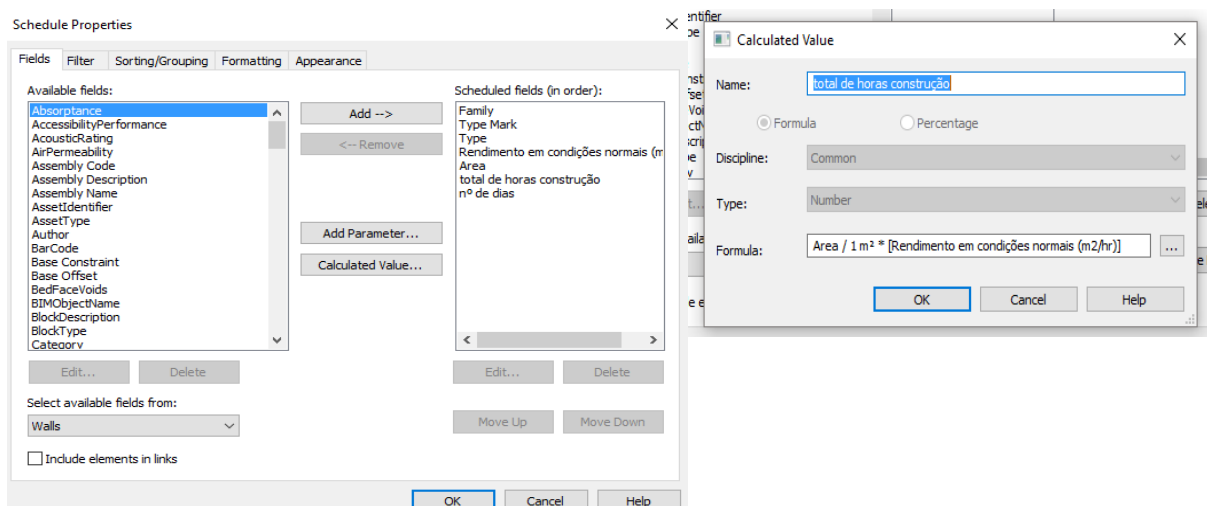


Figura 5. 18 - Parâmetros a associar à tabela de número de horas de construção

Por forma a contabilizar o total de horas e dias de construção o Revit permite criar valores obtidos através de operações aritméticas simples, recorrendo à opção “Calculated Value”. Pode observar-se

que a forma utilizada para o “total de horas de construção” obtém-se multiplicando o rendimento, por área total de parede. Para a obtenção um número sem unidade (horas) divide-se a área por 1m². Tal como no cálculo das horas totais de construção, no cálculo do número de dias recorreu-se a uma expressão aritmética semelhante. Definidos os parâmetros necessários, obtém-se a tabela 5.1 de uma forma automática. A tabela pode ser graficamente trabalhada, contudo, essas capacidades não foram analisadas.

Tabela 5. 1 - Total de horas de construção de parede exterior (15+11cm)

<nº de horas de construção de parede exterior>						
A	B	C	D	E	F	G
Family	Type Mark	Type	Rendimento em condições normais (m2/hr)	Area	total de horas construção	nº de dias
Basic Wall	P1	Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 + 11cm)	1.795	261.2 m ²	468.923902	58.615488
Nº de horas de construção				261.2 m ²	468.923902	58.615488

A utilização da metodologia BIM abrange, actualmente, múltiplos *softwares*, que interpretam a informação contida no modelo, para diversas aplicações. A *Autodesk* desenvolveu produtos que permitem planear e gerir a obra, nomeadamente o *Naviswork* e o *Synchro Scheduler*. Estes visualizadores BIM têm a capacidade de reconhecer o formato nativo do *Revit* e o padrão IFC. O visualizador admite o modelo BIM e o ficheiro *Microsoft Project* com o planeamento de construção, em simultâneo. Com base na informação articulada, de composição do modelo BIM e das tarefas de construção, o *software* permite estabelecer o modelo BIM/4D. O modelo 4D simula a construção de acordo com o cronograma de Gant estabelecido no *Microsoft Project*. Sobre o ambiente virtual criado é possível acompanhar a obra e efectuar alterações ao processo construtivo. O *Naviswork* permite a extracção do planeamento das tarefas, em formato de tabela do *Microsoft Project*, associando aos objectos paramétricos do modelo 3D, os atributos que os referenciem como tarefas previstas no planeamento de construção. Através desta associação é possível visualizar a simulação da construção do edifício, detectar conflitos de obra, planear a logística no estaleiro, coordenar equipamento e fornecedores de material. Como exemplo a figura 5.19 ilustra a manipulação de um modelo BIM/4D.

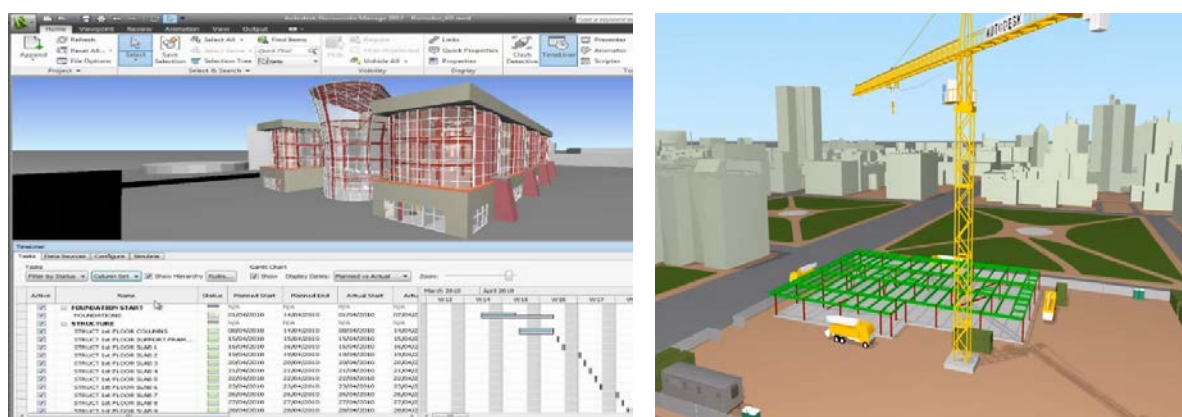


Figura 5. 19 – Interface de utilizador do *Naviswork* [W49]

Apesar das potencialidades mencionadas, o modelo 4D apresenta algumas limitações. Não considera, no cronograma, as actividades que não são suscetíveis de serem modeladas no modelo 3D, como por exemplo, o tempo necessário na obtenção de licenças ou o trabalho externo de pré-fabricação (Tarrar, 2012 e Basu, 2007).

5.5. Modelo 5D

O modelo 3D permite a obtenção da quantidade de materiais a utilizar na construção. Como os objectos do modelo são paramétricos, a sua constituição por camadas de material é conhecida, assim, como a área ou volume de cada elemento. Se ao modelo for associado o custo unitário é possível obter também uma estimativa de orçamentos para o projecto. Para tal, no *Revit* recorre-se ao menu “*View → Create → Schedule → Schedule/Quantities*”, como efectuado no *item* anterior, seleccionando seguidamente, a componente de arquitectura e o elemento parede. As opções abrangem a área do elemento, o coeficiente de segurança, a redução sonora, o comprimento, o custo, o coeficiente de transmissão térmica, a sua função, a marca e fabricante, entre outros, dependendo dos parâmetros que foram associados ao objecto paramétrico, aquando da sua definição. As propriedades dos elementos que interessa quantificar são: área, comprimento, custo, tipo e família de objectos, largura da parede e o volume da parede. O *software* permite efectuar uma identificação individual ou em conjunto dependendo da identificação de grupo pretendida, por exemplo, por tipo de parede, por orientação, ou por outras condições estabelecidas pelo utilizador. A tabela 5.2 apresenta a quantificação obtida para a totalidade das paredes do modelo, para a solução de parede dupla (11+11cm), com adição do custo referente à fase de construção, manutenção e demolição. Esta tabela pode ser adicionada aos desenhos realizados, ou ser manipulada por outros *softwares* como o *Microsoft Excel*. A tabela 5.3 apresenta o resultado da quantificação e orçamento para os 5 tipos de parede, permitindo a sua análise comparativa. A tabela de *Revit* é automaticamente actualizada quando o modelo BIM é modificado, garantindo assim, a actualização e a fiabilidade da informação.

Tabela 5. 2- Levantamento da área e custo referente a parede de alvenaria de tijolo dupla (11+11cm)

Informação relativa a parede de alvenaria de tijolo duplo (11+11cm)											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Type	Type	Width	Length	Area	Volume	Custo d	Custo d	Cust	Custo total de construção	Custo total de demolição	Custo de manutenção total
Parede dupla em alvenaria de tijolo (11 + 11cm)	PE 2	0.33 m	113.89 m	282.6	85.62 m³	73.28	20.86	2.75	20706.17	5894.25	38852.33

Tabela 5. 3 - Tabela obtida no excel com levantamento de custos de paredes exteriores

Total	Parede em alvenaria de tijolo dupla (15+11cm)	Parede em alvenaria de tijolo dupla (11+11cm)	Parede em fachada ventilada	Parede em ETIC	Parede em LGSF
Volume	95,57 m³	85,62 m³	90,6 m³	83,12 m³	60,65 m³
Comprimento	113,56 m	113,89 m	113,72 m	113,98 m	114,74 m
Área	281,5 m²	282,6 m²	282,1 m²	282,8 m²	285,1 m²
Custo de construção	21191,32€	20706,17€	44767,18€	28341,18€	31853,27€
Custo de manutenção (50 anos)	38711,76€	38852,33€	38076,92€	165448,48€	127435,87€
Custo de demolição	6348,73€	5894,25€	9942,31€	5127,49€	9473,59€

Para a obtenção dos mapas de quantidades, o procedimento de obtenção de tabelas é semelhante ao anterior. Recorre-se ao “*View → Schedules → Schedules/Quantities → Material Takeoff*”, sendo que a última opção difere pois considera as diferentes camadas que constituem o objecto paramétrico parede, contrariamente ao efectuado na tabela anterior. Assim, para cada solução construtiva é necessário

selecionar como opção a designação de cada material, além das opções de área, tipo de parede e volume. Também é possível associar o custo de cada tipo de material, por unidade de área ou de volume, e assim, obter o custo total em cada solução de fachada. A tabela 5.4, quantifica a quantidade de cada tipo de material usada na solução construtiva em LGSF, as restantes soluções construtivas apresentam-se no anexo 9.

Tabela 5. 4 - Levantamento de materiais - Parede em LGSF

A	B	C	D
Type	Material: Name	Material: Area	Material: Volume
Parede leve LGSF	lã de rocha	265.0 m ²	36.98 m ³
Parede leve LGSF	Painel OSB de 11mm categoria 3	264.3 m ²	2.90 m ³
Parede leve LGSF	Pintura - Sienna	20.7 m ²	0.00 m ³
Parede leve LGSF	Pintura branca	432.0 m ²	0.00 m ³
Parede leve LGSF	Placa de gesso cartonado	264.7 m ²	5.29 m ³
Parede leve LGSF	Poliestireno moldado expandido EPS	264.4 m ²	10.56 m ³
Parede leve LGSF	Reboco armado	287.0 m ²	5.73 m ³

No processo de levantamento da quantidade de material, através do *Revit*, os elementos estruturais como as vigas e os pilares são subtraídos do volume de paredes, assim como é contabilizado o prolongamento de materiais, aspecto mencionado no item 5.2 (figura 5.12). A contabilização do material do modelo digital é pois fiável, contudo, o *Revit* não efectua contabilização de elementos introduzidos sobre o desenho, pois não constam no modelo, como por exemplo, os elementos de ligação entre as camadas da parede. A reorganização de resultados pode ser obtida recorrendo a outros *softwares* como o *Naviswork*, ou mesmo migrando as tabelas, por exemplo, para o *Microsoft Excel*.

5.6. Modelo 6d e 7d

A designação modelo BIM, 6D e 7D, é ambígua dependendo da perspectiva do utilizador. Contudo, a manutenção está associada ao modelo 6D e gestão do edifício ao modelo 7D. A análise de sustentabilidade energética pode ser incluída em ambos. O modelo BIM contém a informação que é requerida num estudo de sustentabilidade do edifício. Como revelam os relatórios elaborados pela Comissão Europeia (2013), os edifícios são responsáveis pelo consumo de 40% da energia, em todo o mundo, e por 36% da emissão de dióxido de carbono. Interessa, assim, ao projectista conhecer as ferramentas que o possam ajudar na tomada de decisões relativas ao impacto para o meio ambiente que o projecto irá impor. Relativamente à obtenção da simulação do comportamento ambiental, o *Revit* permite efectuar uma simulação energética sobre o modelo. Possibilita ainda a sua transferência, directamente ou através de ficheiro IFC, para outros *softwares* como o *Ecotec*, o *Equest*, ou o *Energyplus*. Como descrito no capítulo 3 foi associado, ao objecto paramétrico criado para cada tipo de fachada, o coeficiente de transmissão térmica das paredes. Segundo informação técnica divulgada pela Autodesk [W50] quer o coeficiente de transmissão térmica (U), quer a resistência térmica de uma solução construtiva (R), são calculados de acordo com as fórmulas previstas no regulamento de desempenho energético para edifícios de habitação, indicadas no capítulo 3. Apesar da fórmula ser a mesma, assim como as resistências superficiais (Rse e Rsi), existem discrepâncias reduzidas nos valores obtidos manualmente, face aos obtidos directamente do *Revit*, como se pode observar na tabela 5.5.

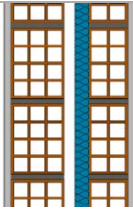
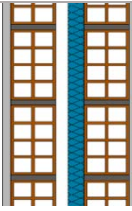
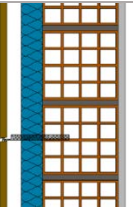
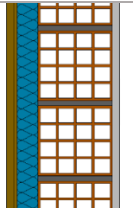
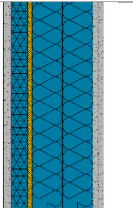
Tabela 5. 5 - Propriedades térmicas de cada solução construtiva

	Alvenaria de tijolo (15 + 11) cm	Alvenaria de tijolo (11 + 11) cm	Fachada ventilada	ETIC	LGSF
TIPO DE PAREDE EXTERIOR					
R (W)/(m²K)	3,084	2,954	2,095	2,11	4,71
R (W)/(m²K) obtido no revit	3.022	2,892	2,096	2,11	4,68
U (m²K)/(W)	0.307	0,32	0,441	0,438	0,205
U (m²K)/(W) obtido no revit	0,331	0,346	0,477	0,474	0,214

Um dos factores a considerar na selecção de determinado sistema construtivo é a sua capacidade de reduzir o consumo energético num edifício, proporcionando, ao mesmo tempo, as condições de conforto exigíveis. O *software* BIM permite efectuar a simulação energética avaliando os indicadores referentes ao consumo energético e combustível. O *Revit* inclui a funcionalidade *Green Building Studio*, que efectua a análise do comportamento energético do modelo 3D. Assim, sobre cada solução construtiva, podem ser obtidas os respectivos resultados da simulação energética, e em diferentes fases do projecto. Por comparação dos resultados relativos ao comportamento ambiental e à contribuição para a redução de emissões de dióxido carbono de cada solução, podem ser tomadas decisões fundamentadas. A aplicação de análise do *Revit*, recorre ao simulador (*DOE-2 simulation engine*), que é semelhante a outros *softwares* de análise energética, como o *eQuest*, que têm por base as recomendações *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). Contudo, na construção nacional, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, não contempla estas directivas, e portanto, os resultados obtidos pelo *Revit* apenas apoiam o projectista a decidir sobre a melhor prestação energética.

Contudo, em relação ao caso de estudo, procedeu-se à análise energética das diferentes soluções. A aplicação do *Revit* requer a indicação de um conjunto de parâmetros de referência, nomeadamente, o local de implantação do edifício, por forma a recorrer aos registos meteorológicos locais, o tipo de uso e número de habitantes previstos, o tipo de equipamento a usar para o aquecimento e arrefecimento, a taxa de renovação de ar pretendida, o recurso ou não da informação associada aos objectos paramétricos referentes às suas propriedades térmicas. Na tabela 5.6 transcrevem-se os valores obtidos na simulação das diferentes soluções construtivas modeladas. Em cada modelo as propriedades das diferentes componentes e as opções consideradas são idênticas, excepto o tipo de parede exterior. Além dos valores listados na tabela, pode ser consultado no anexo 10, outro tipo de informação relacionada, como, estimativas de consumo de HVAC, de águas quentes sanitárias e de outros equipamentos, a análise mensal de consumo, os índices de humidade prevista, a temperatura e a variação do vento. Todos estes valores podem ser obtidos através da aplicação do *Revit*.

Tabela 5. 6 - Simulação de desempenho energético

	Alvenaria de tijolo (15 + 11) cm	Alvenaria de tijolo (11 + 11) cm	Fachada ventilada	ETIC	LGSF
TIPO DE PAREDE EXTERIOR					
RECURSOS ENEGÉTICOS CONSUMIDOS					
Electricidade	67(Kwh ano /m²ano)	67 (Kwh ano /m²ano)	67 (Kwh ano /m²ano)	67 (Kwh ano /m²ano)	67 (Kwh ano /m²ano)
Combustível (aquecimento)	279 (MJ/m²ano)	276 (MJ/m²ano)	283 (MJ/m²ano)	282 (MJ/m²ano)	266 (MJ/m²ano)
Energia Total	519 (MJ/m²ano)	516 (MJ/m²ano)	523 (MJ/m²ano)	522 (MJ/m²ano)	507 (MJ/m²ano)
POTENCIAL DE USO DE ENERGIA RENOVÁVEL					
Sistema Fotovoltaico	4,466 (Kwh/ ano) (L)	4,469 (Kwh/ ano) (L)	4,462 (Kwh/ ano) (L)	4,466 (Kwh/ ano) (L)	4,866 (Kwh/ ano) (L)
	8,933 (Kwh/ ano) (M)	8,937 (Kwh/ ano) (M)	8,924 (Kwh/ ano) (M)	8,933 (Kwh/ ano) (M)	9,733 (Kwh/ ano) (M)
	13,399 (Kwh/ ano) (H)	13,406 (Kwh/ ano) (H)	13,386 (Kwh/ ano) (H)	13,399 (Kwh/ ano) (H)	14,599 (Kwh/ ano) (H)
Turbina eólica	2,588 (Kwh/ ano)	2,588 (Kwh/ ano)	2,588 (Kwh/ ano)	2,588 (Kwh/ ano)	2,588 (Kwh/ ano)
EMISSIONES DE DÍOXIDO DE CARBONO					
Com Instalação de energias renováveis	4 Ton/ano	4 Ton/ano	4 Ton/ano	4 Ton/ano	4 Ton/ano

Preço kwh = \$0.22; custo combustível = \$2,42, L- baixa eficiência; M – eficiência média; H – Alta eficiência

Para além da simulação energética, é possível obter, de um modo rápido, a informação a aplicar na metodologia prevista no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação. Por exemplo, o regulamento requer o coeficiente de transmissão térmica necessária no cálculo da inércia térmica do edifício e as áreas das zonas opacas e de envidraçados, discriminadas de acordo com a orientação cartográfica e, ainda, toda a informação pode ser transferida para o formato *Excel*, como normalmente exigido no projecto. A energia primária, incorporada nos materiais, e a energia correspondente a cada sistema construtivo pode também ser quantificada através do *Revit*, como lista a tabela 5.7

Tabela 5. 7 - Energia primária incorporada das diferentes paredes

Parede em alvenaria de tijolo dupla (15+11cm)	Parede em alvenaria de tijolo dupla (11+11cm)	Parede em fachada ventilada	Parede em ETIC	Parede em LGSF
57 057,5 Kwh	51 627,5 Kwh	60 931,5 Kwh	46 914,5 Kwh	40 747,9 Kwh

Como referido o modelo 6D é frequentemente associado à manutenção do edifício enquanto o modelo 7D, à sua gestão. Para o apoio a estas actividades é necessário associar ao modelo 3D a informação relativa, à manutenção, à gestão de espaços, a fornecedores de produtos, a funcionários, manuais de instalação de equipamentos e garantias, e à funcionalidade dos espaços. Existem vários *softwares* que apoiam a metodologia BIM na tarefa de gestão do edifício, como, a *EcoDomus*, a *ArchifM*, a *FM:Interact* e a *Bentley Facilities*. Estas ferramentas apresentam a capacidade de manipular a informação de um modelo BIM de interesse na gestão do edifício, em tempo real, associando as necessidades de manutenção dos equipamentos e os planos de acção estabelecidos no plano de manutenção. O *Revit* permite associar a cada objecto paramétrico diverso tipo de informação, como, a geometria do objecto, imagens, exigências de manutenção, contratos de fabricantes, a localização de equipamentos ou as suas especificações. A figura 5.20 ilustra o exemplo, do aparelho de ar condicionado.

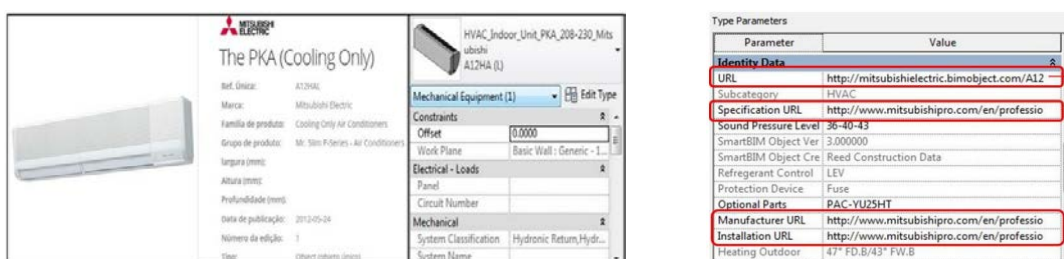


Figura 5. 20 - Aparelho de ar condicionado e respectivas informações no *Revit* (Rodas, 2015)

Relativamente às paredes exteriores do caso de estudo, é associado a cada objecto paramétrico um conjunto de informações, que pode ser extraída pelo *Revit* ou transpostas para *softwares* adequados à gestão de obras. Por recurso ao *Revit* foi obtida a lista apresentada tabela 5.8, referente aos aspectos de manutenção para cada tipo de parede exterior, assim, como outras informações, úteis às actividades de manutenção e de gestão ao longo do ciclo de vida do edifício.

Tabela 5. 8 - Exemplo de composição de informação relativa a manutenção

A	B	C	D	E	F
Type	Manufacturer	Data de instalação	Data de manutenção preventiva	Inspeção realizada	Manutenção preventiva
Parede dupla em alvenaria de tijolo (11 + 1	Empresa B	1/1/2012	1/1/2016	<input checked="" type="checkbox"/>	Efectuar inspeção geral de 4 em 4 anos analisando fissurações, esmagam
Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 + 1	Empresa C	1/1/2013	1/1/2017	<input checked="" type="checkbox"/>	Efectuar inspeção geral de 4 em 4 anos analisando fissurações, esmagam
Parede em ETIC	Empresa A	1/1/2014	1/1/2018	<input checked="" type="checkbox"/>	Inspeção visual especialmente nas juntas, para assegurar inexistência de i
Parede em fachada ventilada	Empresa D	1/1/2016	1/1/2020	<input checked="" type="checkbox"/>	Inspeção visual com atenção particular para alteração de cor dos revestim
Parede leve LGSF	Empresa E	1/1/2014	1/1/2018	<input checked="" type="checkbox"/>	Inspeção visual de 4 em 4 anos com atenção particular nas juntas, para a

Referiram-se algumas das capacidades que o modelo BIM pode executar, as quais são designadas frequentemente pelos modelos nD/BIM. As “n” dimensões permitidas pelo modelo BIM dependem do tipo e quantidade de informação associado aos objectos paramétricos que compõem o modelo. O *Revit* permite inserir inúmeros parâmetros a cada objecto de acordo com a intenção do utilizador. Alguns dos parâmetros introduzidos como a resistência ao fogo, a capacidade sonora ou a massa superficial, podem ser dados úteis para outro tipo de análise não abordados neste trabalho. Relativamente aos objectos paramétricos, é importante que a informação considerada seja coordenada com as propriedades dos outros elementos do edifício, para que o utilizador, seja o projectista ou o dono-de-obra, possa consultar o modelo e obter a informação requerente ou adicionar a que esteja em falta. A tabela 5.9 representa um conjunto de informação associada aos objetos paramétricos de paredes exteriores.

Tabela 5. 9 - Diferentes propriedades de paredes

<Tipos de paredes>

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Type	Type Mark	Width	Manufacturer	Isolamento Acústico (Db)	Massa Superficial (Kg/m2)	Reacção ao fogo	Thermal Resistanc	Thermal mass	Heat Transfer Co	Energia Prim
Parede dupla em alvenaria de tijolo (11 + 11cm)	PE 2	0.33 m	Empresa A	50	277.64	A1	2.8919 (m²·K)/W	19800.14 J/K	0.3458 W/(m²·K)	181.34
Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 + 11cm)	PE 1	0.37 m	Empresa A	51	300.84	A1	3.0220 (m²·K)/W	21834.34 J/K	0.3309 W/(m²·K)	201.19
Parede em ETIC	PE 4	0.32 m	Empresa A	50	261.77	E 180	2.1112 (m²·K)/W	19028.98 J/K	0.4737 W/(m²·K)	164.67
Parede em fachada ventilada	PE 3	0.35 m	Empresa A	51	255	F180	2.0959 (m²·K)/W	15596.12 J/K	0.4771 W/(m²·K)	214.02
Parede leve LGSF	PE 5	0.23 m	Empresa A	47	86.25	F 60	4.6800 (m²·K)/W	6036.70 J/K	0.2137 W/(m²·K)	141.88

5.7. Considerações finais

A utilização do *software Revit* na modelação, do caso de estudo, e a exploração das suas capacidades na extracção de informação associada do modelo, representa uma vantagem face ao processo tradicional, geralmente baseado em sistemas CAD:

- Verificou-se a facilidade da obtenção de desenhos, apesar de exigir um trabalho adicional para a eliminação de erros de representação, e de modelação;
- O planeamento de obra pode ser apoiado na associação de alguma informação, relativa ao faseamento de construção. Mas a sua maior eficiência é demonstrada quando o modelo é transportado para o *Naviswork* com o objectivo de gerar o modelo 4D de simulação da construção;
- A obtenção de mapa de quantidades e a estimativa de custos é efectuada de uma forma automática;
- A análise do comportamento ambiental é uma avaliação importante no estudo do impacto do edifício, sendo permitido pelo *software BIM*. Contudo é necessário que o utilizador interprete correctamente as variáveis envolvidas na simulação, e a sua fiabilidade;
- Relativamente à gestão do edifício, cada objecto paramétrico admite a associação de informação, mas as ferramentas de base BIM disponíveis de apoio à manutenção, ainda são muito limitadas;
- O desenho de soluções construtivas como a fachada ventilada e parede em LGSF é de difícil modelação, se não recorrer a *plug-ins*. A introdução de *plug-ins* podem facilitar imensas tarefas desde a modelação à obtenção de tabelas.

Apesar das limitações mencionadas neste capítulo, a metodologia BIM abrange o uso do modelo BIM 3D em múltiplas actividades tendo como base a modelação paramétrica, proporcionando ao projectista, dono-de-obra, ou consultores, um conjunto de informações centradas num único ficheiro, podendo ser manipulada em múltiplos *softwares*.

6. Conclusão

6.1. Conclusões, benefícios e limitações

O presente trabalho alcançou os objectivos estabelecidos. Exigiu a aprendizagem da manipulação de um *software* BIM, assim como o aprofundamento de conhecimento relativo à metodologia inerente, proporcionando enriquecimento pessoal e tecnológico, um incremento de competências numa área que se acredita fazer parte do futuro do processo construtivo. No desenvolvimento do trabalho procurou-se reunir a base de conhecimentos teóricos e práticos, de forma a poder estabelecer uma visão crítica da metodologia e do conceito BIM:

- O BIM contextualiza-se numa indústria da construção caracterizada pela fragmentação das actividades e especialidades que geram um volume considerável de informação de difícil coordenação, e em que a comunicação assenta no desenho digital e papel, conduzindo a uma baixa produtividade;
- Apesar do conceito BIM existir há já algumas décadas, a aplicação da metodologia é ainda recente, verificando-se na última década um forte incremento na sua implementação no sector;
- O BIM é uma metodologia que abrange as diferentes fases do processo construtivo, nomeadamente, o projecto, a construção e a gestão do edifício, centralizando o processo num único modelo digital acessível por todos os participantes;
- As diversas aplicações que podem ser operadas sobre o modelo BIM, originando os designados modelos nD/BIM, caracterizam a metodologia BIM e contribuem para a integração de actividades conduzindo ao aumento da produtividade e da qualidade do produto final;
- O processo colaborativo de desenvolvimento de projecto proporcionado pelo uso de ferramentas BIM, distinto do processo tradicional, promove uma melhoria de comunicação entre os especialistas e evitando erros de inconsistência em obra, reduzindo os custos inerentes e aumentando a produtividade do processo;
- O nível de implementação BIM na empresa traduz-se frequentemente, na capacidade de utilização de algumas funcionalidades do *software*, mas não no domínio total do processo. No âmbito internacional, verificam-se alguns esforços governamentais de divulgação e de implementação do processo no sector. No contexto nacional, algumas empresas que começam a interessar-se por conhecer as suas capacidades e reconhecem algumas vantagens que lhes podem proporcionar uma maior competitividade na indústria da construção, nomeadamente, em concursos internacionais;
- A multiplicidade de *software* existente e as diferentes funcionalidades que executam requerem um adequado nível de interoperabilidade entre os sistemas, essencial para o sucesso BIM, e nesse sentido verifica-se um crescente esforço no desenvolvimento e aperfeiçoamento tecnológico, nomeadamente, ao nível das capacidades do padrão IFC;
- A implementação da metodologia apresenta inúmeras vantagens nas diferentes fases do projecto, construção e procedimentos de trabalho, mais colaborativo e participativo, envolvendo o dono-de-obra, os projectistas, o construtor e o gestor do edifício.

A necessidade de modelar uma biblioteca de objectos paramétricos de paredes exteriores, implicou alargar o campo de pesquisa para a temática referente à caracterização de diferente tipo de fachada, de aplicação na construção nacional:

- Foi estudada a evolução histórica da construção de paredes exteriores, referindo a sua expressão formal relacionada com o conhecimento tecnológico dos materiais, em cada época, e a necessidade de incrementar a produtividade e o conforto interior do habitáculo;
- São mencionadas as exigências funcionais requeridas a um elemento da fachada, nomeadamente, a segurança, o conforto, a economia energética e a sustentabilidade ambiental, e a contribuição estética para a envolvente urbana;
- Foram caracterizadas diversas tipologias de paredes exteriores e identificada a sua frequência de aplicação na construção nacional e especificidade, assim como, principais vantagens e desvantagens;
- Por forma a estabelecer uma base de suporte à modelação paramétrica em BIM, com a aplicação de distintas soluções construtivas de paredes exteriores, foram considerados múltiplos parâmetros, contudo, podiam ser adicionados outros relativos a outras áreas do processo construtivo não abordadas.

O enquadramento teórico do conceito e metodologia BIM, fundamenta a segunda parte da presente dissertação, relativa à criação da biblioteca de objectos paramétricos de paredes exteriores à sua aplicação na modelação do caso de estudo:

- O processo de modelação do *Revit* difere do traçado em sistema CAD, baseada na representação por linhas e superfícies, enquanto uma ferramenta BIM utiliza objectos com informação associada, como a sua composição, as condições de fronteira, os custos, ou os planos de manutenção;
- O processo de modelação, por recurso ao *software Revit* foi executado com facilidade pois a interface de trabalho é bastante intuitiva, encontrando-se disponibilizadas *offline* múltiplas fontes e vídeos que ajudam à aprendizagem;
- Os objectos paramétricos de paredes exteriores, contemplados no *Revit* não abrangem o tipo de paredes usadas no mercado nacional, tendo sido necessário criar uma biblioteca de paredes exteriores adequada implicando o estudo dos materiais e respectivas propriedades;
- Adicionalmente, o *Revit* permite a inserção de objectos paramétricos, obtidos *online* referentes a alguns tipos de parede específicas, nomeadamente, a fachada ventilada e LGSF, permitindo modelar a parede com todas as especificações indicadas pelo fabricante;
- Na definição do objecto paramétrico para cada tipo de solução de parede exterior foram considerados os parâmetros e as propriedades consideradas relevantes na caracterização de uma fachada, e que pudessem ser associados como atributos aos objectos;
- A biblioteca criada constitui uma base de dados digital de fácil acesso e partilha, e que pode ser melhorada com outro tipo de informação com a criação de objectos para outras paredes.

Após a modelação do caso de estudo, analisaram-se as potencialidades de extracção de informação a partir do modelo BIM e sua manipulação, no apoio à execução de diferentes fases do processo construtivo. Recorrendo ao *software Revit* analisaram-se algumas das dimensões atribuídas à

metodologia BIM, nomeadamente, as dimensões 2D, 3D, 4D, 5D, 6D e 7D. A metodologia BIM não se restringe apenas à modelação 3D e aos aspectos referentes às capacidades de visualização, mas engloba a utilização do modelo 3D na execução de distintas tarefas, ficando garantido a fiabilidade da informação em termos de conceção, consistência e atualização.

- A produção de desenhos técnicos, nomeadamente, plantas, cortes, alçados, pormenores construtivos e de perspectivas do modelo 3D é obtida rapidamente conseguindo-se obter no geral, desenhos correctos e actualizados. Contudo foi verificada a necessidade de correcção e ajustes sobre alguns desenhos, nomeadamente, a eliminação de desenho de detalhe, não incorporáveis no modelo digital, e portanto, não são actualizadas;
- O *Revit* apresenta reduzidas capacidades para definição do modelo 4D, relacionado com o planeamento de obra, contudo, admite alguns parâmetros, como a taxa homem-hora relativa à execução de trabalhos previstos. Permite, no entanto, a transposição do modelo BIM para o visualizador *Naviswork*, onde é possível, associar o cronograma de actividades e visualizar a evolução da construção;
- A obtenção de quantidades de materiais e estimativas de orçamento são realizadas de uma forma automática e precisa. Contudo, não é permitida a adição de custos referentes a elementos não contemplados no modelo digital;
- Para efeitos de manutenção destaca-se a capacidade do modelo *Revit* conter um conjunto de informação requerida na actividade, nomeadamente, a composição de cada elemento e a adição de períodos de manutenção a equipamentos e materiais;
- O modelo BIM apoia o projectista a seleccionar opções e a fundamentar decisões relativas ao impacto ambiental. Apesar da ferramenta utilizada não admitir a atribuição de parâmetros térmicos ao conjunto da solução construtiva, como por exemplo a resistência térmica da parede constituída por diversas camadas, permite executar a simulação energética dependente do cálculo obtido pela contabilização das propriedades referentes a cada material;
- A ferramenta BIM permite a extracção expedita de informação correcta do modelo, que é útil na elaboração da certificação energética do edifício, como a área de cada parede, o coeficiente de transmissão térmica, a área de envidraçados, entre outros. Esta informação é requerida na metodologia do regulamento de desempenho energético para edifícios de habitação e o modelo BIM pode proporcionar facilmente essa base.

6.2. Estudos futuros

No seguimento do presente estudo, podem ser abordados com um maior desenvolvimento os seguintes aspectos:

- A modelação de todos os elementos constituintes e análise da colisão de componentes, nomeadamente, a estrutura com os sistemas de redes de águas e esgotos, electricidade, AVAC e gás.

- O levantamento de uma base de soluções construtivas mais alargada, e explorando o envolvimento de outros parâmetros relevantes, como o ciclo de vida do edifício e as patologias normalmente associadas às soluções e aos materiais;
- Desenvolver com uma maior profundidade as diferentes dimensões do BIM, e em relação ao caso de estudo, como o planeamento da construção (modelo 4D) ou a orçamentação (5D);

No presente trabalho foi possível demonstrar algumas vantagens e limitações da metodologia BIM no processo construtivo. O BIM é uma metodologia que não está isenta de erros, muitas das limitações analisadas decorrem do facto de ainda ser uma metodologia recente. Os *softwares*, *plug-ins* e bibliotecas continuam em crescimento, e as empresas, os fabricantes, e os projectistas estão a adaptar-se a esta metodologia, investindo na aprendizagem e na alteração dos métodos de trabalho. A nível nacional verifica-se algum esforço de adaptação, por partes da indústria, conduzindo a um número de utilizadores BIM crescente e, a Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção (PTPC), com a constituição de um grupo de trabalho dirigido ao BIM, apoia a criação de guias de uniformização dos processos, contribuindo para tornar a indústria da construção mais produtiva e eficaz.

O presente trabalho pretende contribuir para a divulgação das capacidades inerentes à metodologia BIM com suporte à actividade do projectista. O conhecimento da metodologia BIM, apoiado com o desenvolvimento de uma base de dados de elementos construtivos devidamente modelados como objectos paramétricos, assim como, a junção de múltiplas informações relevantes ao processo construtivo e de gestão, é claramente um auxílio ao projectista, num processo complexo. Assim, o presente estudo, com o desenvolvimento de uma biblioteca de paredes exteriores ajustadas ao mercado nacional, constitui uma componente importante de uma base de dados de objectos paramétricos referente ao processo construtivo, ajudando-o assim a fundamentar as decisões de projecto, aumentando a eficiência do seu trabalho e qualidade do produto final.

7. Bibliografia

- AECOPS (2013), - **"A Construção Portuguesa nos Mercados Internacionais"**, Cadernos da Internacionalização
- ALMEIDA, M. (1994), - **"Simulação térmica de edifícios com um modelo numérico de capacidade térmica variável"** – Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica, FEUP, Porto
- ALVES, S. e SOUSA, H. (2003), - **"Paredes Exteriores de Edifícios em Pano Simples"** - LIDEL Edições Técnicas, Lisboa
- ALVES, S. (2001), - **"Paredes exteriores de edifícios em pano simples – fundamentos, desempenho e metodologia de análise"** - Dissertação de obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, FEUP – Porto
- AZHAR, S., HEIN, M., Sketo, B. (2008), - **"Building information modelling (BIM): Benefits, risks and challenges"** - Proceedings of the 44th ASC National Conference – USA
- BASU, A. (2007) – **"4D Scheduling - A case study"** - AACE International Transactions.
- CABRAL, J. (1998), - **"Organização e Gestão da Manutenção - Dos Conceitos à Prática"** - 5ª Edição, Lidel, Lisboa.
- CALEJO, R. (2001), - **"Gestão de edifícios – Modelo de Simulação Técnico-económica"** - Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;
- CASELLA, G. (2003) – **"Gramáticas de Pedra – Levantamentos de tipologias de construção murária"** – Centro Regional de Artes Tradicionais, Porto
- COLLEN, I. (2003), - **"A manutenção periódica de edifícios"** - Companhia de arquitectura e design, Lisboa
- CORREIA, J., BRITO, J. (2003), - **"Paredes de Alvenaria de Tijolo"** - folhas de apoio à cadeira de Tecnologia de Contêncões e Fundações. Mestrado em Construção, IST, Lisboa
- DEUTSCH, R. (2011) – **"BIM and integrated Design – Strategies for Architectural Practice"** - John Wiley & Sons, inc, New Jersey, USA
- DIAS, A. SOUSA, A. (2009) – **"Manual de Alvenaria de tijolo"** - APICER, Coimbra
- DIAS, L. (2015) – **"Organização e Gestão de obra"** – IST – Lisboa
- Directiva 89/106/CE (1989) – **"Transposição para a legislação portuguesa da diretiva nº 89/106/CEE, de 21 de dezembro de 1989, do Conselho das Comunidades Europeias (Diretiva dos produtos da construção (CPD) (Decreto-Lei nº 113/93, de 10 de abril e Portaria nº 566/93)"** - Diário da República - Lisboa
- EASTMAN, C. (1975) – **"The use of computers instead of drawings in building design"** - AIA jornal, Março, Volume 63, USA

- EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. (2011) – **“BIM Handbook – A guide to Building Information Modeling for owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors”** - John Wiley & Sons, inc, New Jersey, USA
- ESPADA, J., PIEDADE, A., EÇA, J., ANES, A., BRANCO, J., SILVA, J., SANTOS, L., (1997) – **“Paredes de Edifícios”** – LNEC, Lisboa
- EC6 (2005) – **“Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures, EN 1996-1-1:2005”** - Comité Européu de Normalização, Bruxelas.
- FARIA, J. (2014). **“Gestão de Obras e Segurança”** - Sebenta de apoio à cadeira gestão de obras e segurança. FEUP, Porto
- FILIPE, J. (2005) **“Arquitetura de terra em Portugal”** - ARGUMENTUM, Lisboa
- FREITAS, A., SANTIAGO, A., CASTRO, R. (2012) – **“Steel Framing: Arquitectura”** – Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA) – Rio de Janeiro
- FREITAS, P (2002) – **“Isolamento térmico de fachadas pelo Exterior”** – MAXIT – Porto
- FREITAS, V., GONÇALVES, P (2005) – **“Isolamento térmico de fachadas pelo exterior”** – Formação contínua, 21 de Outubro de 2005, FEUP, Porto
- FUNDEC. (2015) – **“A tecnologia BIM no desenvolvimento de projectos”**. Obtido em 18 de Outubro de 2015 – Curso de formação – IST - Lisboa
- GARBER, R. (2014) – **“BIM Design: Realising the Creative Potential of Building Information Modeling”** - John Wiley & Sons, inc, New Jersey, USA
- HOUBEN, H., GUILLAUD, H. (1994) **“Earth construction: a comprehensive guide”** - ITDG Publishing, London,
- JACOBS, J. (1961) - **“The Death and Life of Great American Cities”** - Random House, New York
- KAMARDEEN, I. (2015) – **“Fall Prevention through Design in Construction – The benefits of mobile computing”** – Routledge, New York, USA
- KIBERT, C. (2008) – **“Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery”** – John Wiley & Sons, New Jersey, USA
- KRYGIEL, E., NIES, B. (2008) – **“Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling”** - Willey Publishing, Inc, Indianapolis, Indiana, USA
- KYMMELL, W. (2008) - **“Building information modeling – Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and simulations”** – McGrawHill – Nova Iorque - USA
- LEITE, C. (2009), - **“Estrutura de um plano de manutenção de edifícios habitacionais”** – Relatório de projecto para obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil – FEUP, Porto, Portugal

LEROUX, K., SELDMAN, N. (1999), - "**Deconstruction: Salvaging Yesterday's Buildings for Tomorrow's Sustainable Communities**" - Second Edition, Institute for Local Self-Reliance, Washington D.C., USA.

MCGRAW-HILL.CONSTRUCTION. (2012). - "**The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007-2012)**" . SmartMarket Report - USA

MASCARANHAS, J. (2006) - "**Sistemas de Construção III**" - Livros Horizonte - Lisboa

MATEUS, R. (2004) - "**Novas tecnologias construtivas com vista á sustentabilidade da construção**" - Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil - UM - Minho

MATEUS, R. (2009) - "**Avaliação da Sustentabilidade da Construção. Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis**" - Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Minho, Portugal

MATEUS, R. BRAGANÇA, L. (2006), - "**Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção**" - Edições Ecopy;

MENDONÇA, P. (2005) - "**Habitar sob uma segunda pele - Estratégias para a redução do Impacto Ambiental de Construções Solar Passivas em Climas Temperados**" - Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, UM, Minho, Portugal

OLIVEIRA, P. (2011), - "**Metodologia de manutenção de edifícios - Fachadas Ventiladas**" - Tese de mestrado em Engenharia Civil - FEUP, Porto

PAULSON, B. (1976), - "**Designing to reduce construction costs**" - Journal of the construction division, ASCE, Vol. 102, Stanford, USA

PERDIGÃO, M. (2013), - "**Análise de ciclo de vida de suas soluções de ETICS**" - Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil - ISEL - Lisboa

PEREIRA, M. (2005), - "**Anomalias em paredes de alvenaria sem função estrutural**" - Dissertação para obtenção de grau de mestre em Engenharia Civil - UM - Guimarães

PERRET, J. (1995), - "**Guide de la maintenance des bâtiments**" - Moniteur Référence Technique - Paris

PINHO, F. (2000), - "**Paredes de edifícios antigos em Portugal**" - LNEC, Lisboa, Portugal

RAHMANI, M., BERGIN, M., MENTER, A., YAN, W., - "**BIM-Based Parametric Building Energy Performance Multi-objective Optimization**" - Tese de doutoramento - Texas - USA

REH (2013), - "**Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)**" - Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto - Portugal

RODRIGUES, A. (2003) - "**Fachadas com revestimentos exteriores descontínuos e independentes**" - Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, Porto

SANTOS, C. (2009) - "**A classificação Europeia de reacção ao fogo dos produtos de construção**" - ICT - Informação técnica de edifícios, ITE55 - LNEC - Lisboa

- SANTOS, C., MATIAS, L. (2009) – **“Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios”** – Versão actualizada 2006 – LNEC - Lisboa
- SANTOS, F. (1998) – **“Alvenarias em edifícios – Inventariação das soluções utilizadas e proposta de um novo sistema”** – Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil – FEUP – Porto
- SARAIVA, F. (2010) – **“Execução de estruturas pré-fabricadas em Betão-armado”** – apresentação IST – OPWAY, Lisboa
- SILVA, L. (2007) – **“Análise Técnico/Financeira de paredes exteriores em panos simples”** – Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, IST
- SMITH, D., TARDIF, M., CSI, H. (2009) – **“Building Information Modeling – A strategic implementation guide for architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers”** – John Wiley & Sons, inc, New Jersey, USA
- SOUSA, H. (2002). - **“Alvenarias em Portugal – Situação actual e perspectivas futuras”** - Livro de Actas do Seminário Sobre Paredes de Alvenaria, Porto.
- SOUSA, H. (2003) – **“Construções em alvenaria”** - FEUP - Porto
- STEEL, J., DROGEMULLER, R., TOTH B. (2012) - **“Model interoperability in building information modelling”** - Software & Systems Modeling February 2012, Volume 11, Heidelberg, Germany
- TARAR, D. (2012) – **“Impact of 4D Modeling on Construction Planning Process”** - Chalmers University of technology – Goteborg - Sweden
- TEICHOLZ, P. (2013) – **“Labour productivity declines in the construction industry: Causes and Remedies.”** – AECbytes, Standford, USA
- TRIGO, J. (1976) – **“Análise da evolução da construção de paredes de edifícios”** – LNEC - Lisboa
- WANG, W., ZMEUREANU, R., RIVARD, H. (2005) – **“Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization”** – Building and environments -
- WATSON, A. (2010) - **“BIM- a driver for change, Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering”** - ICCBE, Nottingham, UK
- YOUNG, N., JONES, S., BERNSTEIN, H. (2008) – **“Building Information Modelling (BIM) – Transforming design and construction to achieve greater industry productivity”** - McGrawHill – Nova Iorque - USA

Referências bibliográficas *online*

Capítulo 2

- [W1] - CODEBIM - <http://codebim.com/resources/history-of-building-information-modelling> (Dezembro de 2015)
- [W2] - TheBIMhub - https://thebimhub.com/2014/03/16/building-information-modelling/#.V_jHPOArIdU (Dezembro de 2015)
- [W3] - Proton- <http://www.proton-ing.com/wp-content/uploads/2012/12/BIM-en.jpg> (Dezembro de 2015)
- [W4] - National BIM Standard- https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMSUS_FactSheet_2015.pdf (Dezembro de 2015)
- [W5] - Out-law - <http://www.out-law.com/en/topics/projects--construction/projects-and-procurement/building-information-modelling/> (Dezembro de 2015)
- [W6] – AstaPowerProject - <http://www.astapowerproject.com/wp-content/uploads/2015/07/asta-powerproject-bim-screenshot.png> (Dezembro de 2015)
- [W7] – TopInfo - <http://www.topinformatica.pt/arq/img/BIM.png> (Dezembro de 2015)
- [W8] – Coordenar - <http://www.coordenar.com.br/bim-nivel-2-realidade-no-reino-unido/> (Janeiro de 2016)
- [W9] – BIMTaskGroup - <http://www.bimtaskgroup.org/> (Janeiro de 2016)
- [W10] – Construction Manager - <http://www.constructionmanagemagazine.com/agenda/bim-around-world-country-country/> (Janeiro de 2016)
- [W11] – IPG - <http://www1.ipq.pt/PT/Site/Destaques/Pages/Paradigma-BIM-e-a-normalizacao-como-fator-de-competitividade.aspx> (Janeiro 2016)
- [W12] – Mota-Engil - <http://www.mota-engil.pt/> (Janeiro 2016)
- [W13] – EFACEC - <http://www.efacec.pt/> (Janeiro 2016)
- [W14] – Somague - <http://www.somague.pt/> (Janeiro 2016)
- [W15] - <http://www.pt.roca.com/> (Janeiro 2016)
- [W16] – Mota-Engil - <http://pt.slideshare.net/TECAD/bimnet-apresentao-03-motaengil> (Janeiro 2016)
- [W17] – BimObjects - <http://info.bimobject.com/Read.aspx?type=pr&id=1900553&date=201503> (Janeiro 2016)
- [W18] – Blogger - <http://photos1.blogger.com/blogger2/4428/4240/1600/untitled.jpg> (Janeiro 2016)
- [W19] – BIMandBeam - http://bimandbeam.typepad.com/bim_beam/2012/05/integrating-autodesk-revit-revit-structure-and-robot-structural-analysis-professional-white-paper-no.html (Janeiro 2016)
- [W55] CIFE - Technical Reports - <http://cife.stanford.edu/Publications/index.html> (Janeiro 2016)

Capítulo 3

- [W20] – Caixa Fórum Madrid - <http://pimentel3d.com/site/wp-content/uploads/2014/02/5.jpeg> (Janeiro 2016)
- [W21] – Torre de Menagem - <http://www.cm-beja.pt/viewturismo.do2?numero=1822> (Janeiro 2016)
- [W22] – *The Gerkin* - <http://www.designbookmag.com/images/thegherkin.jpg> (Janeiro 2016)
- [W23] – Parede em taipa - http://4.bp.blogspot.com/_EAPvZQFfrh4/Sy6p4KojX7I/AAAAAAAAABRM/9w8zNquNVOY/s400/getimage.jpg (Janeiro 2016)
- [W24] – Parede em adobe - https://c2.staticflickr.com/4/3008/2904048277_a2c3ba9545_z.jpg?zz=1 - (Janeiro 2016)
- [W25] – Parede em alvenaria de pedra aparelhada - <http://www.revistadasdicas.com/category/construcao> - (Janeiro 2016)
- [W26] - Parede em alvenaria de pedra ordinária - <http://ru.depositphotos.com/3685154/stock-photo-old-stone-masonry.html> - (Janeiro 2016)
- [W27] - Parede em tabique - <http://arquitecturadouro.blogspot.pt/2008/01/tecnicas-de-construo-no-alto-douro-o.html> - (Janeiro 2016)
- [W28] - Parede de frontal tecido - <http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/tc-cor/17%20Paredes%20-%20COR.pdf> - (Janeiro 2016)
- [W29] - Tijolo de furação horizontal - <https://fr.dreamstime.com/photos-images/fond-de-mur-de-briques-de-terre-cuite.html> (Janeiro 2016)
- [W30] – Tijolo térmico - <http://www.orzare.com/pt/produtos/tijolos-termicos/tijolo-termico-30x19x24/103105> (Janeiro 2016)
- [W31] – Bloco de betão normal - http://www.obra24horas.com.br/FCKeditor/imagens/Image/03.08_-_Cresce_a_constru_o_de_edif_cios_de_alvenaria_com_blocos_de_concreto.jpg (Janeiro 2016)
- [W32] – Bloco de betão autoclavado - http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-749673134-bloco-de-concreto-celular-autoclavado-60x30x15cm-_JM (Janeiro 2016)
- [W33] – Habitação em betão - <http://www.afaconsult.com/portfolio/261811/92/habitacao-social-na-lagoa-das-7-cidades> (Janeiro 2016)
- [W34] – Edifício público em Betão pigmentado - <http://visuall.net/wp-content/uploads/2011/08/PaulaRegoMuseum01.jpg> (Janeiro 2016)
- [W35] – Estrutura LGSF - <http://www.wdwalldivisorias.com.br/mobile/servicos.php?id=45> (Janeiro 2016)
- [W36] – Revestimento de parede em LGSF - <http://www.dratach.com.uy/images/1524989442-1460059179.jpg> (Janeiro 2016)

[W37] – Painéis pré-fabricados do museu - <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/236x/9e/09/5b/9e095bc0e44634805c572a5c4037b94c.jpg> (Janeiro 2016)

[W38] – Painéis pré-fabricados em betão - http://www.textured3dwallpanels.com/photo/pc3484320-hollow_core_fibers_mgo_prefab_insulated_wall_panelsprecastconcretewallpanel.jpg (Janeiro 2016)

[W39] – Normas Internacionais relativas ao isolamento sonoro - <http://www.itecons.uc.pt/index.php?module=serv&smodule=medens&ae=1> (Janeiro 2016)

[W40] – Parede dupla em alvenaria de tijolo - <http://building.dow.com/europe/pt/insulate/termal/walls/instal/duplas.htm> (Janeiro 2016)

[W41] – Esquema construtivo em fachada ventilada - http://rwiumbracoesnew-pt.inforce.dk/media/103017/fachada_ventilada.gif (Fevereiro 2016)

[W42] – Esquema construtivo do sistema ETIC - <http://edilcommerce.com/cappotto/344-lana-di-roccia-fkd-s-c1-knauf-insulation.html> (Fevereiro 2016)

[W43] – Futureng - <http://www.futureng.pt/fundacoes> (Fevereiro 2016)

[W44] – Estrutura de uma parede LGSF - <http://buildipedia.com/knowledgebase/division-05-metals/05-40-00-cold-formed-metal-framing/05-40-00-cold-formed-metal-framing> (Fevereiro 2016)

[W45] – Camadas de uma parede LGSF - <http://advanced-building.org/wp-content/uploads/2012/01/LSF-Wall-panel.jpg> (Fevereiro 2016)

Capítulo 4

[W46] – Plug-in STO - <http://bimmeeting.es/plugin-para-fachadas-ventiladas-revit/> (Fevereiro 2016)

Capítulo 5

[W47] – Etc-cc - http://www.etc-cc.com/etc/download/bmi/BIM_project_planning_EN (Março 2016)

[W48] – BIM and 4d - https://www.youtube.com/watch?v=6r1AK_goLIM - (Março 2016)

[W49] – Naviswork - <https://i.ytimg.com/vi/9GCbLM43r9g/maxresdefault.jpg> - (Março 2016)

[W50] – Calculo de Coeficiente de transmissão térmica <http://www.autodesk.de/adsk/servlet/pc/item?siteID=403786&id=20378691> - (Março 2016)

Anexos

[W51] – Propriedades físicas de tijolos - <http://www.preceram.pt/> - (Março 2016)

[W52] – Gerador de preços de trabalhos de construção - <http://www.geradordeprecos.info> - (Março 2016)

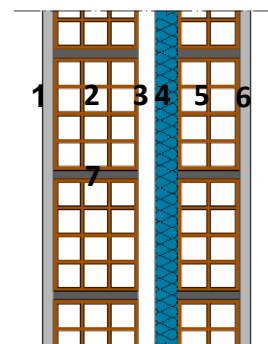
[W53] – Gerador de preços de trabalhos de construção - <http://www.orcamento.eu> - (Março 2016)

[W54] – Informações de paredes em ETIC - http://www.robbialac.pt/media/170037/Manutencao-ETICS_2016.pdf - (Março 2016)

8. Anexos

Anexo 1 - Ficha 1. Parede dupla em alvenaria de tijolo 15+11cm

- 1 - Reboco exterior pintado
- 2 - Tijolo cerâmico com furação horizontal de 15cm
- 3 - Caixa-de-ar com 3cm parcialmente preenchida
- 4 - Isolamento térmico XPS com 4cm
- 5 - Tijolo cerâmico com furação horizontal de 11cm
- 6 - Reboco interior pintado
- 7 - Argamassa de assentamento com 1,5cm

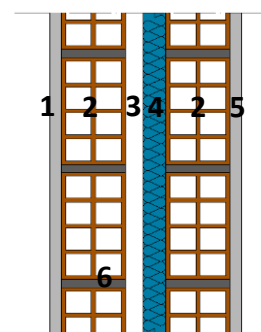


Descrição: Parede dupla em alvenaria de tijolo de pano 15cm + 11cm com caixa-de-ar e isolamento interno em poliuretano extrudido, e revestimento com reboco pintado.

Parâmetros físicos		
Espessura (m)	Reboco exterior	0.02m
	Tijolo 30x20x15	0.15m
	Caixa-de ar	0.03m
	Isolamento XPS	0.04m
	Tijolo 30x20x11	0.11m
	Reboco interior	0.02m
	Total:	0,37m
Massa Superficial (Kg/m ²)	Reboco ($\rho=1800 \text{ kg/m}^3$)	72 Kg/m ²
	Tijolo 30x20x15 ($\rho=650 \text{ kg/m}^3$; 5,2 Kg/uni)	92,82 Kg/m ²
	Tijolo 30x20x11 ($\rho=670 \text{ kg/m}^3$; 3,9 Kg/uni)	69,62 Kg/m ²
	Isolamento XPS ($\rho=35 \text{ kg/m}^3$)	1,4 Kg/m ²
	Argamassa assentamento (250kg/m ³)	65 Kg/m ²
Total:	300,84 Kg/m²	
Resistência térmica ($\text{m}^2\text{K}/W$)	Reboco exterior ($\lambda= 1,3$)	0,015($\text{m}^2\text{K}/W$)
	Tijolo 30x20x15	0,42 ($\text{m}^2\text{K}/W$)
	Caixa-de ar ($\lambda= 0,025$)	1,2 ($\text{m}^2\text{K}/W$)
	Isolamento XPS ($\lambda=0,035$)	1,14 ($\text{m}^2\text{K}/W$)
	Tijolo 30x20x11	0,29 ($\text{m}^2\text{K}/W$)
	Reboco interior ($\lambda= 1,3$)	0,015($\text{m}^2\text{K}/W$)
Total:	3,08 ($\text{m}^2\text{K}/W$)	
Coeficiente de transmissão térmica ($U = W/\text{m}^2\text{K}$)		0,307 ($W/\text{m}^2\text{K}$)
Parâmetros económicos		
Custo de construção - €/m ² [W52]		75,28 €/m²
Custo de manutenção: €/m ² [W52]		2,75 €/ano.m²
Custo de demolição - €/M ² [W53]		22,55 €/m²
Rendimento [W53]		1.795 Homem.hr/m²
Plano de manutenção: efectuar uma inspecção de 4 em 4 anos analisando eventuais fissurações, esmagamentos de material, desagregação de tijolo/argamassa, manchas de humidade, destaque de tijolo, ligação com outros elementos da fachada, microfissuração do reboco, empolamento de pintura, manchas de sujidade, fragmentação do reboco, eflorescências, vegetação parasitária, entre outros. Aplicação de pintura de 7 em 7anos (Leite, 2009)		
Parâmetros acústicos		
Isolamento sonoro por condução aérea (dB) (Mateus, 2004)		51
Parâmetro de segurança contra o fogo		
A1 (Pereira, 2005)		
Parâmetros ambientais		
PEC (Kwh/ m ²) (Mateus, 2004)	Reboco (PEC= 0.28 Kwh/kg)	20.16 Kwh/m²
	Tijolo 30x20x15 (PEC= 0.83 Kwh/kg)	77.04 Kwh/m²
	Argamassa de assentamento (PEC= 0.28 Kwh/kg)	18.2 Kwh/m²
	Isolamento XPS (PEC= 20 Kwh/kg)	28 Kwh/m²
	Tijolo 30x20x11 (PEC= 0.83 Kwh/kg)	57.79 Kwh/m²
	Total:	201.19 Kwh/m²

Anexo 2. Ficha 2. Parede dupla em alvenaria de tijolo 11+11cm

- 1 - Reboco exterior pintado
- 2 - Tijolo cerâmico com furação horizontal de 11cm
- 3 - Caixa-de-ar com 7cm parcialmente preenchida
- 4 - Isolamento térmico XPS com 4cm
- 5 - Reboco interior pintado
- 6 - Argamassa de assentamento com 1,5cm

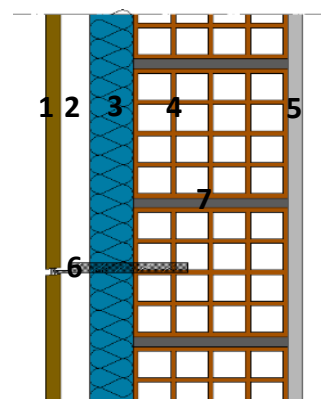


Descrição: Parede dupla em alvenaria de tijolo de pano 11cm + 11cm com caixa-de-ar e isolamento interno revestida a reboco pintado.

Parâmetros físicos		
Espessura (m)	Reboco exterior	0.02m
	Tijolo 30x20x15	0.11m
	Caixa-de ar	0.03m
	Isolamento XPS	0.04m
	Tijolo 30x20x11	0.11m
	Reboco interior	0.02m
	Total:	0,33m
Massa Superficial (Kg/m ²)	Reboco ($\rho=1800 \text{ kg/m}^3$)	72 Kg/m ²
	Tijolo 30x20x15 ($\rho=650 \text{ kg/m}^3$; 5,2 Kg/uni)	69,62 Kg/m ²
	Tijolo 30x20x11 ($\rho=670 \text{ kg/m}^3$; 3,9 Kg/uni)	69,62 Kg/m ²
	Isolamento XPS ($\rho=35 \text{ kg/m}^3$)	1,4 Kg/m ²
	Argamassa assentamento (250kg/m ³)	65 Kg/m ²
Total:	277,64 Kg/m²	
Resistência térmica (m ² K)/W	Reboco exterior ($\lambda= 1,3$)	0,015 ((m ² K)/W)
	Tijolo 30x20x15	0,29 ((m ² K)/W)
	Caixa-de ar ($\lambda= 0,025$)	1,2 ((m ² K)/W)
	Isolamento XPS ($\lambda=0,035$)	1,14 ((m ² K)/W)
	Tijolo 30x20x11	0,29 ((m ² K)/W)
	Reboco interior ($\lambda= 1,3$)	0,015 ((m ² K)/W)
Total:	2.95 ((m²K)/W)	
Coeficiente de transmissão térmica ($U = W/m^2K$)		0,32 (W/m²K)
Parâmetros económicos		
Custo de construção - €/m ² [W52]		73,28 €/m²
Custo de manutenção: €/m ² [W52]		2,75 €/ano.m²
Custo de demolição - €/M ² [W53]		20,86 €/m²
Rendimento [W53]		1.747 Homem.hr/m²
Plano de manutenção: efectuar uma inspeção de 4 em 4 anos analisando eventuais fissurações, esmagamentos de material, desagregação de tijolo/argamassa, manchas de humidade, destaque de tijolo, ligação com outros elementos da fachada, microfissuração do reboco, empolamento de pintura, manchas de sujidade, fragmentação do reboco, eflorescências, vegetação parasitária, entre outros. Aplicação de pintura de 7 em 7anos (Leite, 2009)		
Parâmetros acústicos		
Isolamento sonoro por condução aérea (dB) (Mateus, 2004)		50 Db
Parâmetro de Segurança contra o fogo		
A1 (Pereira, 2005)		
Parâmetros ambientais		
PEC (Kwh/ m ²) (Mateus, 2004)	Reboco (PEC= 0.28 Kwh/kg)	20.16 Kwh/m²
	Tijolo 30x20x15 (PEC= 0.83 Kwh/kg)	57.79 Kwh/m²
	Argamassa de assentamento (PEC= 0.28 Kwh/kg)	18.2 Kwh/m²
	Isolamento XPS (PEC= 20 Kwh/kg)	28 Kwh/m²
	Tijolo 30x20x11 (PEC= 0.83 Kwh/kg)	57.79 Kwh/m²
	Total:	181.34 Kwh/m²

Anexo 3 - Ficha 3 - Fachada Ventilada

- 1 – Revestimento exterior em grés extrudido
- 2 – Caixa-de-ar ventilada de 3 cm
- 3 – Isolamento térmico em lâ de rocha de 4cm
- 4 – Suporte em alvenaria de tijolo 22cm
- 5 – Revestimento em reboco interior
- 6 – Suporte metálico em aço
- 7 – Argamassa de assentamento com 1,5cm

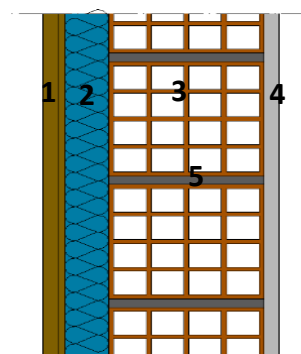


Descrição: A fachada ventilada revestida com painéis cerâmicos, com isolamento em lâ de rocha aplicado em suporte alvenaria de alvenaria de tijolo furado.

Parâmetros físicos		
Espessura (m)	Painel cerâmico	0.02m
	Caixa-de-ar ventilada	0.03m
	Isolamento térmico em lâ de rocha	0.06m
	Tijolo 30x20x22	0.22m
	Reboco interior	0.02m
	Total:	0,35m
Massa Superficial (Kg/m ²)	Reboco interno ($\rho=1800 \text{ kg/m}^3$)	36 Kg/m ²
	Tijolo 30x20x22 ($\rho=633 \text{ kg/m}^3$; 7,5 Kg/uni)	133,87 Kg/m ²
	Isolamento lâ de rocha ($\rho=50 \text{ kg/m}^3$)	3 Kg/m ²
	Argamassa assentamento (250kg/m ³)	55 Kg/m ²
	Suporte em aço	3,1 Kg/m ²
	Revestimento cerâmico	25 Kg/m ²
Total:	255,1 Kg/m²	
Resistência térmica (m^2K/W)	Reboco interior ($\lambda= 1,3$)	0,015(m^2K/W)
	Tijolo 30x20x22	0,58 (m^2K/W)
	Isolamento lâ de rocha ($\lambda=0,04$)	1,14 (m^2K/W)
	Total:	1,73 (m^2K/W)
Coeficiente de transmissão térmica ($U = W/m^2K$)		0,525 (W/m^2K)
Parâmetros Económicos		
Custo de construção - €/m ² [W52]		158,72 €/m²
Custo de manutenção: €/m ² [W52]		27,1 €/ano.m²
Custo de demolição - €/M ² [W53]		35,25 €/m²
Rendimento [W53]		1.0 Homem. Hora/ m²
<i>Inspecção</i> (4 em 4 anos): <i>inspecção visual</i> com atenção em particular para alteração de cor dos revestimentos, existências de manchas de sujidade, existência de manchas de escorrência, presença de organismos biológicos, quebra de elemento de revestimento, fissuração do revestimento. <i>Inspecção métrica</i> de medição de teores de humidade e verificação de planimetria. <i>Medidas pró-activas</i> (10 em 10 anos): limpeza generalizada com detergente neutro adicionado com hidrorrepelente e/ou produto fungicida/algicida; Impermeabilização. Medidas de substituição: seguir as práticas recomendadas pela aplicação técnica da marca. (Oliveira, 2011)		
Parâmetros Acústicos		
Isolamento sonoro por condução aérea (dB) (Mateus, 2004)		51 Db
Parâmetro de Segurança contra o fogo		
F180 [W52]		
Parâmetros Ambientais		
PEC (Kwh/ m ²) (Mateus, 2004)	Reboco interno (PEC= 0,28 Kwh/kg)	10,08 Kwh/m ²
	Tijolo 30x20x22 (PEC= 0,83 Kwh/kg)	111,11 Kwh/m ²
	Isolamento lâ de rocha (PEC= 4,45 Kwh/kg)	13,35 Kwh/m ²
	Argamassa assentamento (PEC= 0,28 Kwh/kg)	15,4 Kwh/m ²
	Suporte em aço (PEC= 2,77 Kwh/kg)	8,58 Kwh/m ²
	Revestimento cerâmico (PEC= 2,22 Kwh/kg)	55,5 Kwh/m ²
Total:	214,02 Kwh/m²	

Anexo 4 - Ficha 4 – Parede em ETIC

- 1 – Revestimento pintado em reboco armado de 2 cm
- 2 – Poliestireno moldado expandido de 6 cm
- 3 – Suporte em tijolo cerâmico 22cm
- 4 – Revestimento interior em reboco 2cm
- 5 – Argamassa de assentamento com 1,5cm

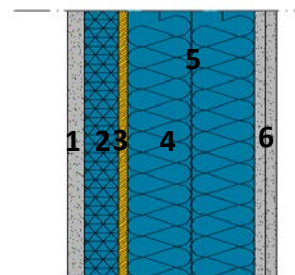


Descrição: Sistema ETIC constituído por poliestireno moldado fixado mecanicamente sobre suporte composto por alvenaria de tijolo furado. O revestimento exterior é reboco armado pintado.

Parâmetros físicos		
Espessura (m)	Argamassa de reboco armado	0.02m
	Isolamento em Poliestireno expandido	0.06m
	Tijolo 30x20x22	0.22m
	Reboco interior	0.02m
	Total:	0,32m
Massa Superficial (Kg/m ²)	Reboco externo (ρ=1800 kg/m ³)	36 Kg/m ²
	Tijolo 30x20x22 (ρ=633 kg/m ³ ; 7,5 Kg/uni)	133,87 Kg/m ²
	Isolamento em poliestireno (ρ=15 kg/m ³)	0,9 Kg/m ²
	Argamassa assentamento (250kg/m ³)	55 Kg/m ²
	Reboco interno (ρ=1800 kg/m ³)	36 Kg/m ²
Total:	261,77 Kg/m²	
Resistência térmica (m ² K)/W	Reboco exterior (λ= 1,3)	0,015((m ² K)/W)
	Reboco interior (λ= 1,3)	0,015((m ² K)/W)
	Tijolo 30x20x22	0,58 ((m ² K)/W)
	Isolamento poliestireno (λ=0,04)	1,5 ((m ² K)/W)
	Total:	2,11 ((m²K)/W)
Coeficiente de transmissão térmica (U = W/m ² K)		0,44 (W/m²K)
Parâmetros Económicos		
Custo de construção - €/m ² [W52]		100,21 €/m²
Custo de manutenção: €/m ² [W52]		11,70 €/ano.m²
Custo de demolição - €/M ² [W53]		18,13 €/m²
Rendimento [W53]		2.381 m²/hr
Plano de manutenção preventivo: De 4 em 4 anos: Inspeção Visual especialmente nas juntas, para assegurar que não surjam infiltrações, roturas e fissurações ao sistema aplicado e limpeza das fachadas de com água limpa com baixa pressão, no caso de sujidades mais intensas, pode utilizar-se uma escova de pelo macio, bem como detergentes sem agentes abrasivos e neutros. De 10 em 10 anos aplicação de primário de regularização de fundo e de tinta de acabamento. [W54]		
Parâmetros Acústicos		
Isolamento sonoro por condução aérea (dB) (Mateus, 2004)		50 Db
Parâmetro de Segurança contra o fogo		
E 180[W54]		
Parâmetros Ambientais		
PEC (Kwh/ m ²) (Mateus, 2004)	Reboco interno (PEC= 0,28 Kwh/kg)	10,08 Kwh/m ²
	Tijolo 30x20x22 (PEC= 0,83 Kwh/kg)	111,11 Kwh/m ²
	Isolamento poliestireno (PEC= 20 Kwh/kg)	18 Kwh/m ²
	Argamassa assentamento (PEC= 0,28 Kwh/kg)	15,4 Kwh/m ²
	Reboco exterior (PEC= 0,28 Kwh/kg)	10,08 Kwh/m ²
	Total:	164,67 Kwh/m²

Anexo 5 - Ficha 5 -Parede em LGSF

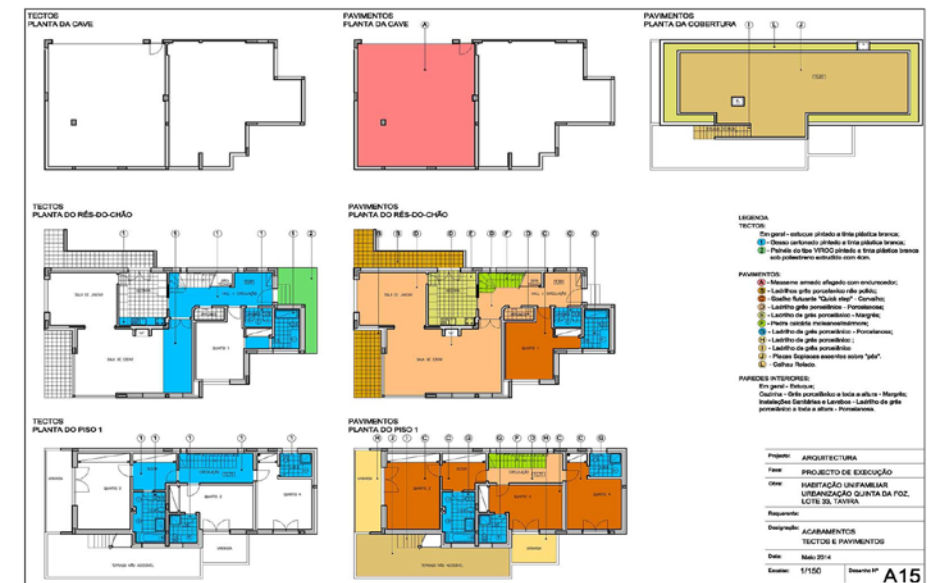
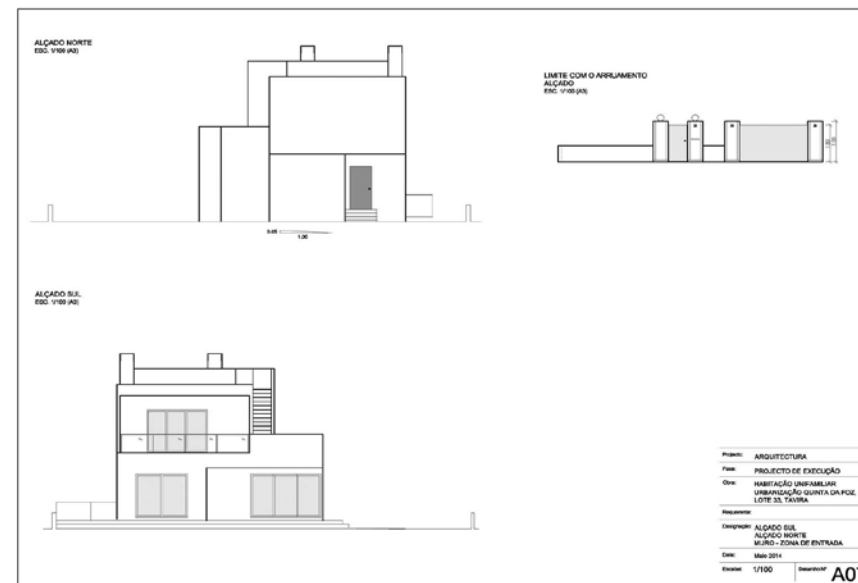
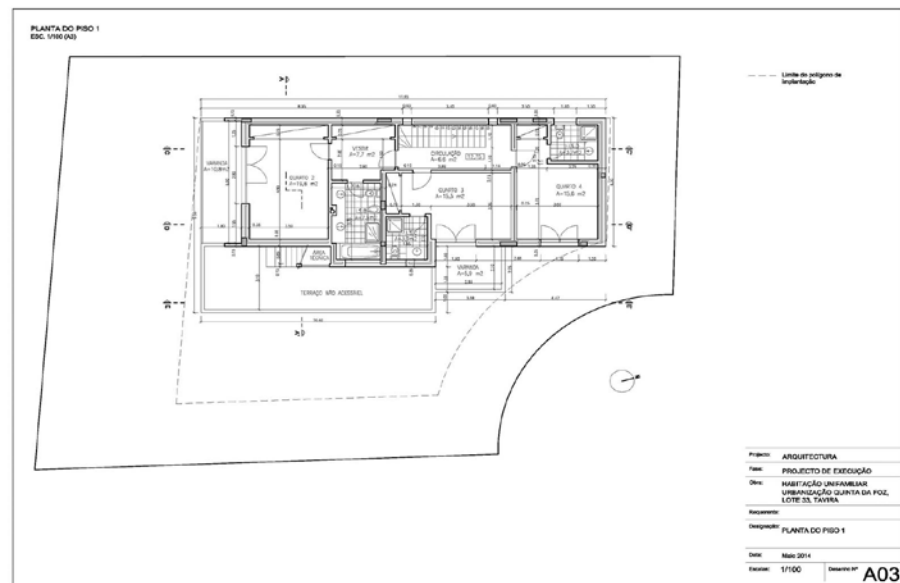
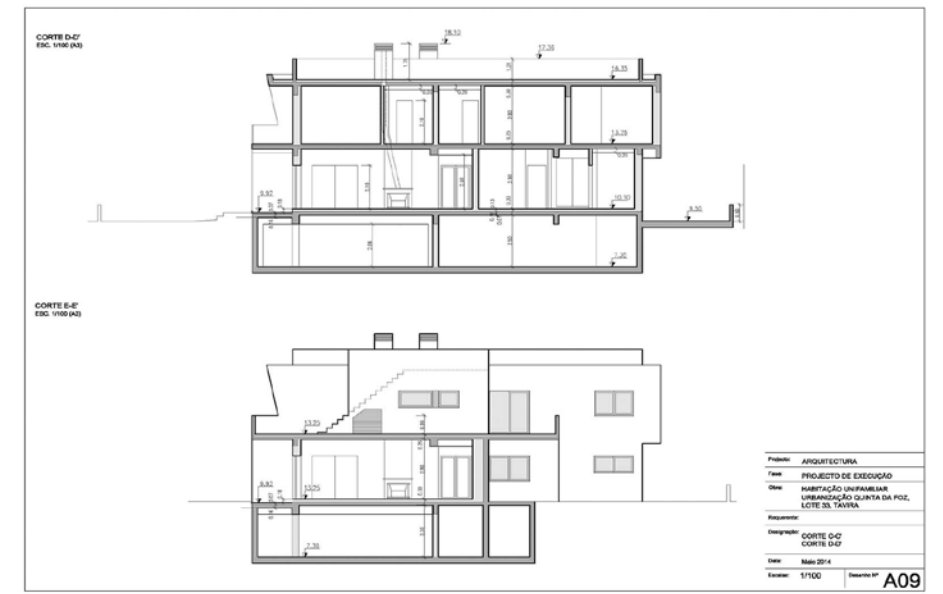
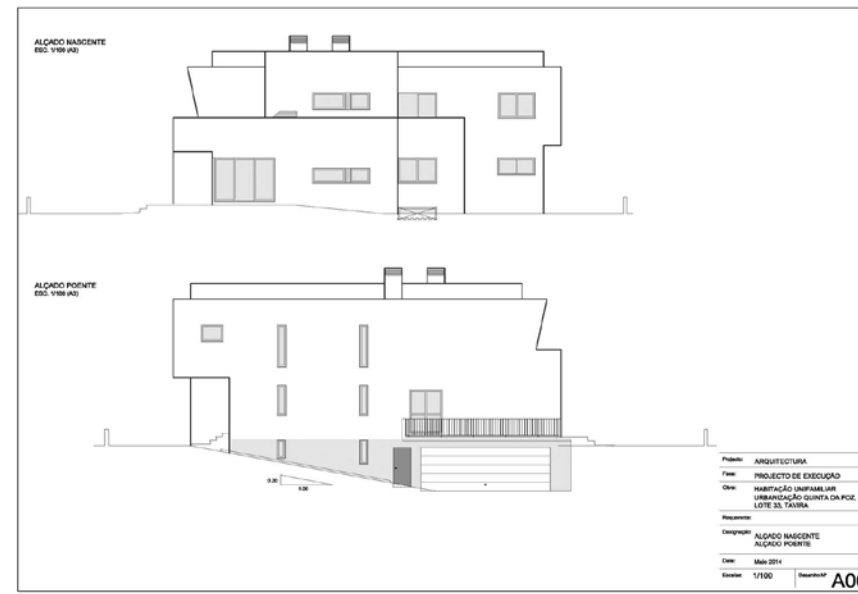
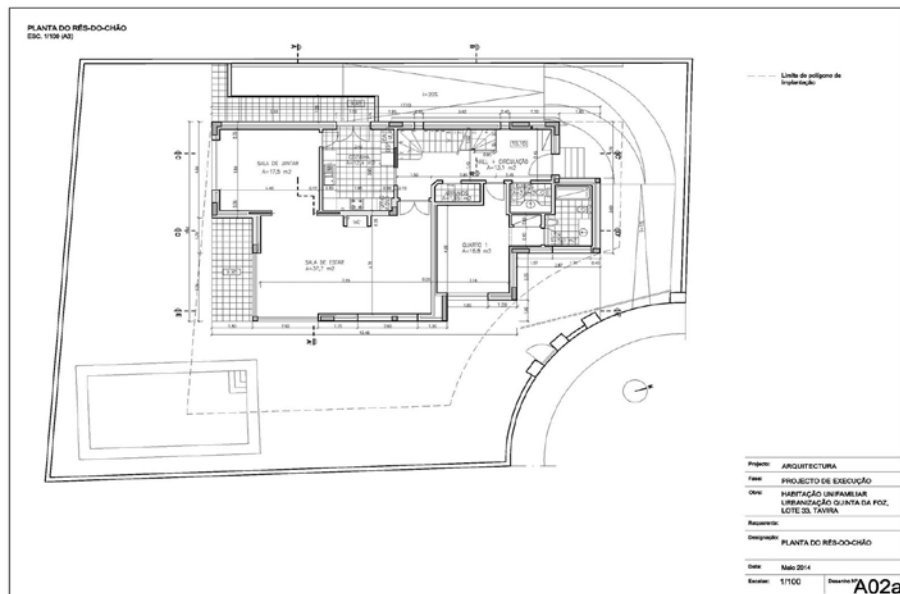
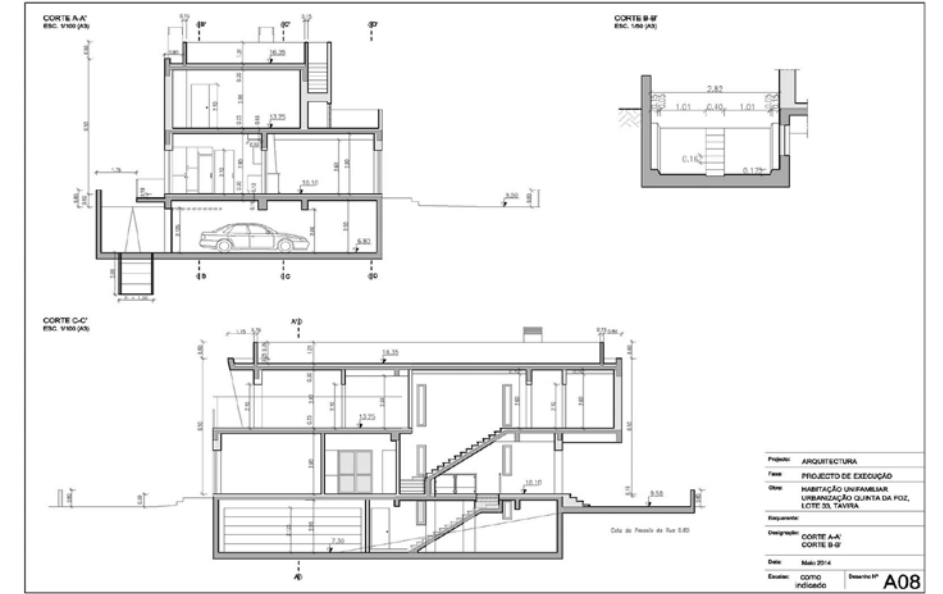
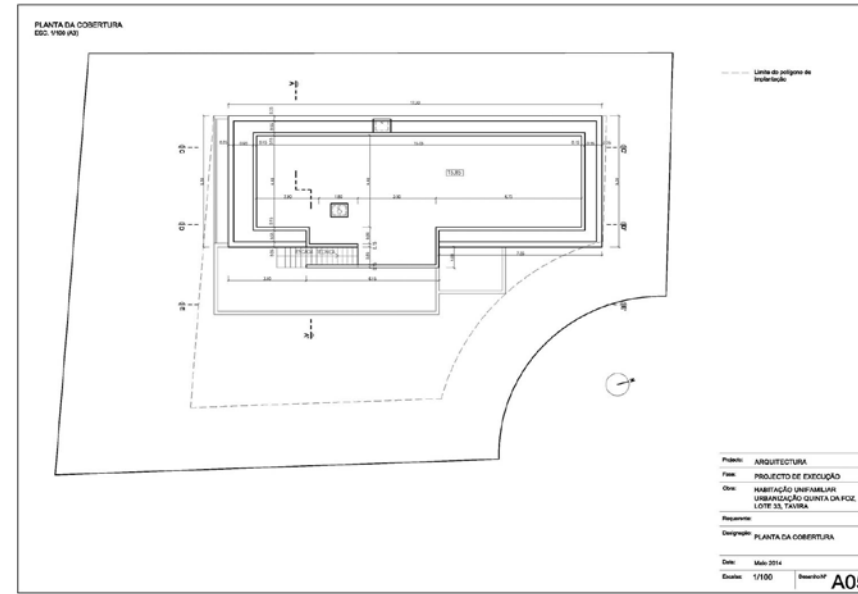
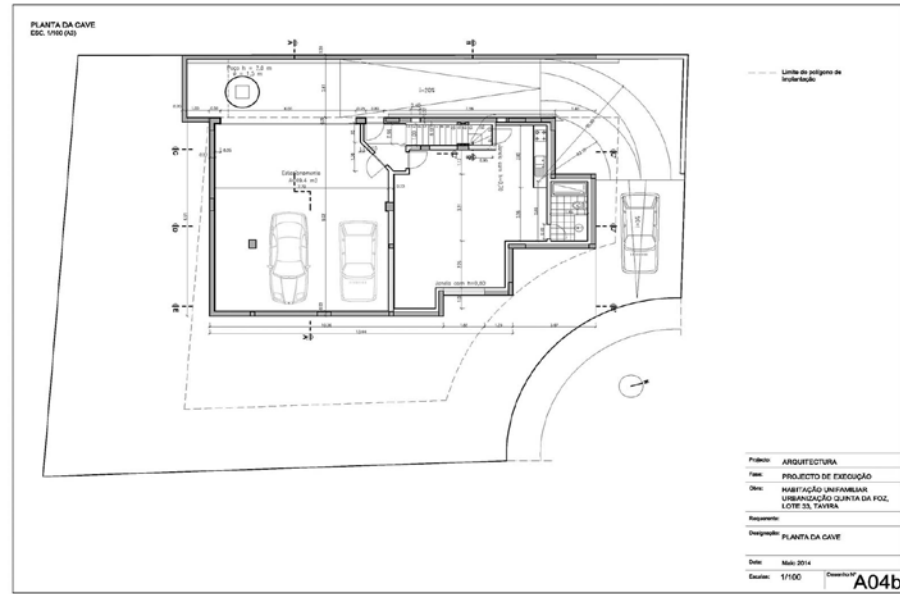
- 1 – Argamassa de revestimento 2cm
- 2 – Poliestireno expandido de 4cm
- 3 – Painel OSB de 11mm de categoria 3
- 4 – Isolamento constituído por dois painéis em lã de rocha com 6cm cada
- 5 – Perfil em aço galvanizado 150mm
- 6 – Revestimento constituído por 2 painéis de 1mm em gesso cartonado



Descrição: Parede constituída por perfil em aço galvanizado de 150mm, preenchido com dois painéis de lã de rocha com 6cm. O exterior é constituído por painel OSB revestido com poliestireno expandido moldado revestido por argamassa. O interior é composto por duas placas de gesso cartonado.

Parâmetros físicos		
Espessura (m)	Argamassa de Revestimento	0.02m
	Poliestireno expandido moldado	0.04m
	Placa OSB de 11mm	0.015m
	Isolamento em lã de rocha	0.14m
	Painéis de gesso cartonado	0.02m
	Total:	0,235m
Massa Superficial (Kg/m ²)	Argamassa de Revestimento ($\rho=1800 \text{ kg/m}^3$)	36 Kg/m ²
	Poliestireno expandido moldado ($\rho=15 \text{ kg/m}^3$)	0,6 Kg/m ²
	Placa OSB de 11mm ($\rho=640 \text{ kg/m}^3$)	9,6 Kg/m ²
	Isolamento em lã de rocha ($\rho=50 \text{ kg/m}^3$)	7 Kg/m ²
	Painéis de gesso cartonado ($\rho=680 \text{ kg/m}^3$)	13,6 Kg/m ²
	Estrutura em aço	19,45 Kg/m ²
Total:	86,25 Kg/m²	
Resistência térmica (m^2K/W)	Argamassa de Revestimento ($\lambda= 1,3$)	0,015(m^2K/W)
	Poliestireno expandido moldado ($\lambda= 0.04$)	1 (m^2K/W)
	Placa OSB de 15mm ($\lambda= 0.13$)	0,115(m^2K/W)
	Isolamento em lã de rocha ($\lambda= 0.04$)	3,5 (m^2K/W)
	Painéis de gesso cartonado ($\lambda= 0.25$)	0,8 (m^2K/W)
	Total:	5,43 (m^2K/W)
Coefficiente de transmissão térmica ($U = W/m^2K$)		0,179 (W/m^2K)
Parâmetros Económicos		
Custo de construção - €/m ² [W52]		111,73 €/m²
Custo de manutenção: €/m ² [W52]		8,94 €/ano.m²
Custo de demolição - €/M ² [W53]		33,23 €/m²
Rendimento [W53]		1.38 Homem.hora/ m²
Plano de manutenção preventivo: De 4 em 4 anos: Inspeção Visual especialmente nas juntas, para assegurar que não surjam infiltrações, roturas e fissurações ao sistema aplicado e limpeza das fachadas de com água limpa com baixa pressão, no caso de sujidades mais intensas, pode utilizar-se uma escova de pelo macio, bem como detergentes sem agentes abrasivos e neutros. De 10 em 10 anos aplicação de primário de regularização de fundo e de tinta de acabamento. [W54]		
Parâmetros Acústicos		
Isolamento sonoro por condução aérea (dB)		47 Db
Parâmetro de Segurança contra o fogo		
F60 (Mateus, 2004)		
Parâmetros Ambientais		
PEC (Kwh/ m ²) (Mateus, 2004)	Argamassa de Reboco (PEC= 0,28 Kwh/kg)	10,08 Kwh/m ²
	Placa OSB de 11mm (PEC= 4,17 Kwh/kg)	40,03 Kwh/m ²
	Isolamento em lã de rocha (PEC= 4,45 Kwh/kg)	7 Kwh/m ²
	Poliestireno expandido moldado (PEC = 20 Kwh/kg)	12 Kwh/m ²
	Painéis de gesso cartonado (PEC= 1,39 Kwh/kg)	18,9 Kwh/m ²
	Estrutura em aço (PEC= 2,77 Kwh/kg)	53,87 Kwh/m ²
	Total:	141,88 Kwh/m²

Anexo 6 – Desenhos fornecidos em pdf relativos ao modelo de estudo



Anexo 7 – Propriedades físicas de materiais constituintes das soluções construtivas

	Peso Volúmico (kg/m³)	Coefficiente de transmissão térmica linear (W/(m.K))	Calor específico J/(kg.K)	Emissividade	Energia primária incorporada (PEC =Kwh/kg)
Reboco Exterior/ Interior	1800 (Santos, 2009)	1,3 (Santos, 2009)	1046 (Mendonça, 2005)	0,87 (Mendonça, 2005)	0,28 (Mateus, 2004)
Tijolo 30x20x22	633 [W51]	2.63 [W51]	920 (Mendonça, 2005)	0,93 (Mendonça, 2005)	0,83 (Mateus, 2004)
Tijolo 30x20x15	650 [W51]	2.8 [W51]	920 (Mendonça, 2005)	0,93 (Mendonça, 2005)	0,83 (Mateus, 2004)
Tijolo 30x20x11	670 [W51]	2.63 [W51]	920 (Mendonça, 2005)	0,93 (Mendonça, 2005)	0,83 (Mateus, 2004)
Poliestireno moldado extrudido (XPS)	35 (Santos, 2009)	0.037 (Santos, 2009)	1550 (Mendonça, 2005)	0,60 (Mendonça, 2005)	20 (Mateus, 2004)
Lã de rocha	50 (Santos, 2009)	0,04 (Santos, 2009)	700 (Mendonça, 2005)	0,95 (Mendonça, 2005)	4,45 (Mateus, 2004)
Poliestireno moldado expandido (EPS)	15 (Santos, 2009)	0.04 (Santos, 2009)	1550 (Mendonça, 2005)	0,95 (Mendonça, 2005)	20 (Mateus, 2004)
Painel OSB	650 (Santos, 2009)	0.13 (Santos, 2009)	1250 (Mendonça, 2005)	0,87 (Mendonça, 2005)	4,17 (Mateus, 2004)
Ar	1.23 (Santos, 2009)	0.025 (Santos, 2009)	1000 (Mendonça, 2005)	0	0
Placa de grés	2000 (Santos, 2009)	1.9 (Santos, 2009)	745 (Mendonça, 2005)	0,96 (Mendonça, 2005)	2,22 (Mateus, 2004)
Placas de gesso cartonado	750 (Santos, 2009)	0.25 (Santos, 2009)	837 (Mendonça, 2005)	0,9 (Mendonça, 2005)	1,39 (Mateus, 2004)

Anexo 8 – Desenho A1 obtido no Revit com várias informações e desenhos

1 Piso térreo
1 : 100

7 Piso 1
1 : 100

6 3D Render
1 : 1

5 Corte 5
1 : 100

2 Corte 3
1 : 100

4 Esquema de parede exterior em parede dupla alvenaria de tijolo (15+11cm)

8 Esquema representativo de parede exterior em ETIC

3 Pormenor construtivo
1 : 20

Tipos de paredes

Type	Type Mark	Widt h	Manufac turer	Isolamento Acustico (Db)	Massa Superficial (Kg/m2)	Reacção ao fogo	Thermal Resistance (R)	Thermal mass	Heat Transfer Coefficient (U)	Energia Primária Incorporada (KWh/m²)
Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 + 11cm)	PE 1	0.37 m	Empres a A	51	300.84	CF180	3.0220 (m²·K/W)	21834.34 J/K	0.3309 W/(m²·K)	201.19
Parede em ETIC	PE 4	0.32 m	Empres a A	50	261.77	E 180	2.1112 (m²·K/W)	19028.98 J/K	0.4737 W/(m²·K)	164.67
Grand total: 22										

www.autodesk.com/revit

TESE DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

Caracterização de uma biblioteca de paredes exteriores na metodologia BIM

Número do projeto: 0001

Data: 15 - 09 - 2016

Desenhadas por: Luís Araújo

Verificado por: Luís Araújo

D1

Escala: As indicated

15/10/2016 21:21:08

Anexo 9 - Levantamento de Quantidade de Materiais

Levantamento de materiais - Parede dupla de alvenaria (15+11cm)

Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 +	Ar	261.6 m ²	7.83 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 +	Aço, 45-345	0.4 m ²	0.00 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 +	Pintura - Sienna	20.7 m ²	0.00 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 +	Pintura branca	428.3 m ²	0.00 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 +	Poliestireno extrudido	261.7 m ²	10.45 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 +	Reboco externo	545.3 m ²	10.89 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 +	tijolo 11	262.0 m ²	28.75 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (15 +	tijolo 15	261.8 m ²	39.14 m ³

Levantamento de materiais - Parede dupla de alvenaria (11+11cm)

Parede dupla em alvenaria de tijolo (11 +	Ar	262.5 m ²	7.86 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (11 +	Aço, 45-345	0.4 m ²	0.00 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (11 +	Pintura - Sienna	20.7 m ²	0.00 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (11 +	Pintura branca	429.3 m ²	0.00 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (11 +	Poliestireno extrudido	262.6 m ²	10.48 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (11 +	Reboco externo	547.3 m ²	10.92 m ³
Parede dupla em alvenaria de tijolo (11 +	tijolo 11	525.6 m ²	57.63 m ³

Levantamento de materiais - Parede em ETIC

Parede em ETIC	Aço, 45-345	0.4 m ²	0.00 m ³
Parede em ETIC	Pintura - Sienna	20.7 m ²	0.00 m ³
Parede em ETIC	Pintura branca	429.6 m ²	0.00 m ³
Parede em ETIC	Poliestireno moldado expandido EPS	262.6 m ²	15.71 m ³
Parede em ETIC	Reboco armado	284.7 m ²	5.68 m ³
Parede em ETIC	Reboco externo	263.1 m ²	5.25 m ³
Parede em ETIC	Tijolo 30x20x22	263.6 m ²	57.70 m ³

Levantamento de materiais - Parede em fachada ventilada

Parede em fachada ventilada	Aço, 45-345	0.4 m ²	0.00 m ³
Parede em fachada ventilada	Caixa de ar ventilada	262.2 m ²	7.85 m ³
Parede em fachada ventilada	lã de rocha	262.3 m ²	10.47 m ³
Parede em fachada ventilada	Pintura - Sienna	20.7 m ²	0.00 m ³
Parede em fachada ventilada	Pintura branca	429.3 m ²	0.00 m ³
Parede em fachada ventilada	Placas cerâmicas 1200 x 600	284.4 m ²	5.68 m ³
Parede em fachada ventilada	Reboco externo	262.9 m ²	5.25 m ³
Parede em fachada ventilada	Tijolo 30x20x22	263.3 m ²	57.65 m ³

Anexo 10 – Análise energética da parede exterior em fachada ventilada

