



M 2015

**U. PORTO**  
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

# SISTEMAS DE PREFABRICAÇÃO DE PAREDES EM ALVENARIA

**CATARINA REGO DE ARAÚJO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA  
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM  
ENGENHARIA CIVIL - CONSTRUÇÕES



# **SISTEMAS DE PREFABRICAÇÃO DE PAREDES EM ALVENARIA**

**CATARINA REGO DE ARAÚJO**

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

---

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

---

Coorientador: Engenheiro Rui Miguel Almeida Vieira de Sousa

JUNHO DE 2015

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2012/2013**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

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

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

Aos meus pais

*Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento que se sintam humildes. (...)*

*Leonardo da Vinci*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Hipólito Sousa pelo enorme apoio prestado, pela compreensão, disponibilidade e pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço à minha família, pais e irmãos, por me abrirem as portas que me levaram até onde estou, por porem muitas vezes os seus interesses em segundo plano, e por estarem sempre presentes.

Agradeço ao Fábio, pela paciência e apoio incondicional.

Agradeço aos meus amigos, em particular à Rita, pelos bons momentos, pela ajuda e motivação.



## **RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo o estudo das possibilidades de prefabricação de paredes em alvenaria. Antes de passar diretamente à temática da prefabricação optou-se por fazer a exposição do conceito de industrialização da construção, explicando em que medida este poderá trazer benefícios ao setor, através da aplicação de medidas associadas a outras indústrias, com o objetivo de otimizar a produção.

Realizou-se uma avaliação técnico-económica de vários sistemas de paredes em alvenaria exteriores e interiores, construídos de modo tradicional, com o objetivo de estabelecer uma análise comparativa entre estes, identificando as melhores soluções em cada aspeto estudado. Com esta análise pretendia-se ter uma noção dos valores de preços e tempos associados a estes sistemas construídos pelo método tradicional, ao mesmo tempo que se selecionavam as melhores soluções para futuramente, efetuar a tentativa de as replicar através da prefabricação.

Foi abordada a problemática da prefabricação do ponto de vista global, e posteriormente a da prefabricação de paredes, onde são estudados os vários aspetos que condicionam a prefabricação destes sistemas e a sua aplicação na construção. Por último, abordou-se o caso particular das paredes prefabricadas em alvenaria analisando os principais problemas associados à sua prefabricação.

O trabalho culmina num estudo de caso de um projeto no qual se tenta fazer a aplicação de paredes prefabricadas em alvenaria resistente, salientando as adaptações que o projeto original teria de sofrer para permitir a incorporação de painéis prefabricados, bem como os pormenores associados aos tipos de painéis e respetivas ligações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Industrialização, produtividade, prefabricação, paredes, alvenaria.



## **ABSTRACT**

The present assignments goal was to study the possibility of prefabrication of masonry walls, therefore, to begin the subject of prefabrication, it was chosen to first, expose the concept of industrialization in the construction industry explaining in what way, it may bring benefits to the sector, by implementing measures associated to other industries, with the purpose of optimizing the production.

A technical and economical evaluation took place regarding several systems of external and internal masonry walls built by the traditional method, in order to establish a comparative analysis between them, identifying the better options in each studied matter. With this analysis it was expected to obtain an idea of the amount of time and costs associated to the building of this systems in the traditional method, while selecting the better options in an attempt to, in the future, replicate them in a prefabricated manner.

An approach was made towards the prefabrication matter in a global perspective, posteriorly focusing the prefabrication of walls, studying the various topics that influence this systems prefabrication as well as its application in the construction industry. Finally, the particular case of prefabricated masonry walls was analysed, pointing out the main concerns associated to its prefabrication.

The work is finalised with the case-study of a project in which there's an attempt to apply prefabricated masonry walls with structural resistance, pointing out the changes the original project would have to suffer in order to accommodate the prefabricated panels in its architecture, as well as the details associated with the type of panels and its connections.

**KEYWORDS:** Industrialization, productivity, prefabrication, walls, masonry.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA .....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO .....	2
<b>2. INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO</b> .....	3
2.1. INTRODUÇÃO .....	3
2.2. INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO .....	3
2.2.1. CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA NO ALCANCE DA QUALIDADE .....	3
2.2.2. MUDANÇA DE PARADIGMA .....	5
2.2.3. LOGÍSTICA .....	8
2.3. PREFABRICAÇÃO .....	9
2.3.1. CONCEITOS GERAIS .....	9
2.3.2. VANTAGENS E INCONVENIENTES .....	12
2.3.3. MODULAÇÃO .....	13
2.3.4. TOLERÂNCIAS .....	15
2.3.5. TOYOTA HOMES .....	15
<b>3. PAREDES EM ALVENARIA</b> .....	17
3.1. INTRODUÇÃO .....	17
3.2. EVOLUÇÃO DAS PAREDES EM ALVENARIA .....	17
3.3. FACTORES EXIGENCIAIS .....	19
3.4. ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA .....	19
3.4.1. PAREDES EM ANÁLISE .....	19
3.4.2. DISTRIBUIÇÃO DE CUSTOS .....	22
3.4.3. RENDIMENTOS DAS TAREFAS .....	28
3.4.4. DESEMPENHO .....	29

3.4.5. AVALIAÇÃO GLOBAL.....	34
------------------------------	----

## **4. PREFABRICAÇÃO DE PAREDES EM ALVENARIA.....41**

<b>4.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>41</b>
-----------------------------	-----------

<b>4.2. MODULAÇÃO.....</b>	<b>42</b>
----------------------------	-----------

<b>4.3. DIMENSIONAMENTO.....</b>	<b>42</b>
----------------------------------	-----------

<b>4.4. LIGAÇÕES.....</b>	<b>43</b>
---------------------------	-----------

4.4.1. REQUISITOS GERAIS.....	43
-------------------------------	----

4.4.2. FIXAÇÃO DOS COMPONENTES DO PAINEL.....	44
---	----

4.4.3. LIGAÇÃO DO PAINEL À ESTRUTURA.....	45
---	----

4.4.4 LIGAÇÃO ENTRE PAINÉIS ADJACENTES.....	48
---	----

<b>4.5. TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS.....</b>	<b>49</b>
---	-----------

<b>4.6. TRANSPORTE.....</b>	<b>50</b>
-----------------------------	-----------

<b>4.7. CONTROLO DE QUALIDADE.....</b>	<b>51</b>
--	-----------

<b>4.8. COMPORTAMENTO TÉRMICO.....</b>	<b>51</b>
--	-----------

4.8.1. INTRODUÇÃO.....	51
------------------------	----

4.8.2. SISTEMA THERMOMASS.....	51
--------------------------------	----

4.8.3. PAINÉIS SANDWICH CONSTITUÍDOS POR PCM.....	52
---	----

4.8.4. SISTEMA “FULL BACK-UP”.....	53
------------------------------------	----

4.8.5. PAINÉIS P2P.....	54
-------------------------	----

<b>4.9. INSTALAÇÕES.....</b>	<b>54</b>
------------------------------	-----------

<b>4.10. PREFABRICAÇÃO DE PAREDES EM ALVENARIA.....</b>	<b>55</b>
---	-----------

4.10.1. PRINCIPAIS QUESTÕES.....	55
----------------------------------	----

4.10.2. MÉTODOS DE PRODUÇÃO.....	55
----------------------------------	----

<b>4.11. PAINÉIS DE FACHADA RESISTENTES E NÃO RESISTENTES.....</b>	<b>56</b>
--	-----------

## **5. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE PAREDES PREFABRICADAS EM ALVENARIA RESISTENTE.....59**

<b>5.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>59</b>
-----------------------------	-----------

<b>5.2. PAINEL-TIPO.....</b>	<b>59</b>
------------------------------	-----------

<b>5.3. ADAPTAÇÕES DA ARQUITETURA.....</b>	<b>62</b>
--	-----------

<b>5.4. INÍCIO DA APLICAÇÃO <i>IN SITU</i>.....</b>	<b>66</b>
---	-----------

<b>5.5. LIGAÇÃO ENTRE PAINÉIS.....</b>	<b>66</b>
--	-----------

5.6. REALIZAÇÃO DE NOVO PISO.....	67
5.7. PRINCIPAIS ASPETOS.....	68
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>69</b>
6.1. NOTAS FINAIS .....	69
BIBLIOGRAFIA .....	71
ANEXO A.1 – FICHAS DE CUSTOS E RENDIMENTOS UTILIZADAS EXTRAÍDAS DA PUBLICAÇÃO DO LNEC: “INFORMAÇÃO SOBRE CUSTOS: FICHAS DE RENDIMENTOS” .....	I
ANEXO A.2 – QUADROS DE CÁLCULO UTILIZADOS NA ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICA .....	XI

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Execução de parede em alvenaria pelo método tradicional .....	6
Fig. 2 - Instalação em obra de paredes prefabricadas.....	6
Fig. 3 - Mecanismo de colocação de tijolos .....	7
Fig. 4 - Comparação da distribuição de tempos e tarefas entre a construção tradicional e a industrializada.....	7
Fig. 5 - Exemplo de calendário das atividades de levantamento, instalações e acabamentos de uma propriedade de 230 m <sup>2</sup> .....	8
Fig. 6 - Estaleiro e obra coincidem espacialmente .....	9
Fig. 7 - Estaleiro e obra separados .....	9
Fig. 8 - Princípio de montagem de módulos prefabricados .....	11
Fig. 9 - Prefabricação leve: Parede de compartimentação.....	11
Fig. 10 - Prefabricação pesada: Viga de betão.....	11
Fig. 11 - Elemento com medidas nominais .....	14
Fig. 12 - Elemento com as medidas de coordenação modulares.....	14
Fig. 13 - Sistema de referência modular .....	15
Fig. 14 - Evolução histórica das paredes de alvenaria .....	18
Fig. 15 - Esquema de parede exterior dupla de tijolo vazado 15+11 cm com isolamento térmico na caixa-de-ar.....	18
Fig. 16 - Relação entre o custo global da parede e as dimensões dos blocos que a constituem das paredes interiores exceto I2.....	24
Fig. 17 - Características dos blocos de betão correntes utilizados em Portugal .....	25
Fig. 18 - Características dos tijolos correntes em Portugal .....	26
Fig. 19 - Percentagem média de custos direcionada para a mão-de-obra face aos restantes componentes dos três tipos de paredes, (da esquerda para a direita): exteriores simples, exteriores duplas e interiores .....	26
Fig. 20 - Exemplo do raciocínio utilizado para um conjunto de valores.....	28
Fig. 21 – Relação entre o coeficiente de transmissão térmica (U) com o peso da parede em cada parede analisada .....	35
Fig. 22 – Relação entre o coeficiente de transmissão térmica (U) e o rendimento médio em cada parede analisada.....	36
Fig. 23 - Relação entre o coeficiente de transmissão térmica (U) e o custo global em cada parede analisada .....	36
Fig. 24 - Relação entre o custo global e o rendimento médio em cada parede analisada.....	37
Fig. 25 - Relação entre o custo global e o peso da parede em cada parede analisada.....	37

Fig. 26 - Relação entre o peso da parede e o rendimento médio em cada parede analisada .....	38
Fig. 27 - Princípio de colocação dos elementos de fixação dos painos (vista do painel e corte) .....	45
Fig. 28 - Pormenor da ligação entre o painel e a estrutura.....	46
Fig. 29 - Junta vertical de ligação a pilar.....	46
Fig. 30 - Ligação do painel à fundação .....	47
Fig. 31 - Ligação entre painéis P2P e piso .....	47
Fig. 32 - Métodos de ligação dos painéis.....	48
Fig. 33 - Pormenor de ligação vertical entre painéis P2P através de elemento metálico de fixação ....	48
Fig. 34 - Pormenor do corte vertical da junta de estanquidade entre 2 andares .....	49
Fig. 35 - Painel de alvenaria de tijolo com sistema de suspensão de âncoras .....	50
Fig. 36 - Sistema Thermomass .....	52
Fig. 37 - “Full Back-up system”, sistema de isolamento associado a painéis prefabricados de alvenaria de tijolo .....	53
Fig. 38 - Painel prefabricado com instalação elétrica .....	54
Fig. 39 - Construção de parede de alvenaria com andaime ajustável.....	56
Fig. 40 - Produção de paredes na posição horizontal.....	56
Fig. 41 - Sistema “Dupla Pele” .....	57
Fig. 42 – Alçado do projeto-exemplo .....	59
Fig. 43 - Princípio de construção de paredes em alvenaria resistente .....	60
Fig. 44 - Tipo de bloco utilizado no painel prefabricado .....	60
Fig. 45 - Esquema dos painéis-tipo de fachada (esquerda) e compartimentação (direita). .....	61
Fig. 46 - Esquema do painel com abertura de janela (PJ).....	62
Fig. 47 - Esquema do painel exterior com abertura para porta (PP) .....	62
Fig. 48 - Planta do piso modelo.....	63
Fig. 49 - Planta do piso com os painéis instalados .....	64
Fig. 50 - Esquema da ligação de painéis do exemplo .....	66
Fig. 51 - Esquema da ligação entre painéis.....	67
Fig. 52 - Construção de segundo piso com painéis prefabricados .....	67

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Paralelismo entre construção tradicional e construção industrializada. ....	5
Quadro 2 - Análise da distribuição de custos de paredes exteriores simples .....	20
Quadro 3 - Análise da distribuição de custos de paredes exteriores duplas .....	21
Quadro 4 - Análise da distribuição de custos de paredes interiores.....	22
Quadro 5 - Coeficientes de incidência considerando as condições da obra e eficiência de trabalho ...	22
Quadro 6 - Organização crescente em função do custo global de cada tipo de parede .....	23
Quadro 7 - Ordenação crescente da percentagem de gastos com mão de obra em função do custo global, dentro de cada tipo de parede.....	27
Quadro 8 - Ordenação crescente das paredes em função do número de horas de rendimento médio em valores relativos face à parede com menor número de horas .....	29
Quadro 9 - Valores das Resistências e Coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores	31
Quadro 10 - Valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica em função da zona climática de Inverno para paredes exteriores .....	31
Quadro 11 - Método de classificação do nível de qualidade em relação ao coeficientes de transmissão térmica de referência.....	32
Quadro 12 - Valores de U na zona do Grande Porto correspondentes a cada nível de qualidade .....	32
Quadro 13 - Classificações de todas as paredes analisadas, em cada parâmetro considerado .....	34
Quadro 14 - Lista de painéis de fachada utilizados .....	65
Quadro 15 - Lista de painéis de compartimentação utilizados .....	66

## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

U – Coeficiente de transmissão térmica [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$  – Watts por metros quadrados graus celsius

$\text{€}/m^2$  – Euros por metro quadrado

$r_m$  – Rendimento médio [Hh/unidade de tarefa]

Hh/ $m^2$  – Homens hora por metro quadrado

$r_{of/s}$  – Rendimento do oficial/servente

$h_{of}/m^2$  – Horas de oficial por metro quadrado

R – Resistência térmica [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

e – Espessura da parede [m]

$\lambda$  – Condutibilidade térmica do material [ $W/m \cdot ^\circ C$ ]

Rse – Resistência térmica superficial exterior [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

Rsi – Resistência térmica superficial interior [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]

Uref – Coeficiente de transmissão térmica de referência [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

It – Inércia térmica [ $kg/m^2$ ]

Msi – Massa superficial útil do elemento [ $kg/m^2$ ]

$r_i$  – Factor de correção do revestimento superficial

Si – Área da superfície interior do elemento [ $m^2$ ]

Ap – Área útil de pavimento [ $m^2$ ]

PCM – Phase Change Material



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

A atual crise na indústria da construção civil marca a necessidade de mudança a vários níveis no setor, nomeadamente na forma como se constrói.

Os métodos tradicionais de construção requerem que a quase totalidade do trabalho seja realizado “in situ”, aspeto que, aliado à intensa movimentação de pessoas, materiais e cargas contribui para um ambiente em obra propício à ocorrência de erros, que atrasam todo o processo, induzem a defeitos no produto final ou aumentam os custos.

A industrialização da construção surge como uma resposta aos problemas de produtividade na construção civil, possibilitando economizar tempo e dinheiro através da aplicação de conceitos associados à indústria automóvel, existindo a transição de atividades tradicionalmente executadas no local da obra, para fábricas.

A prefabricação, consiste, tal como o nome indica, na construção de determinado elemento em fábrica que é depois transportado para a obra e montado no local. Através da produção em unidades industriais com pessoal especializado é possível garantir um controlo da qualidade ao longo de todas as suas fases de produção e o carácter sistemático das unidades automatizadas permite o aumento da rapidez de execução e a diminuição de erros, tanto na fábrica como em obra. Também a independência da realização dos trabalhos das condições atmosféricas revela-se um importante contributo para o cumprimento de prazos.

Existem contudo ainda diversos entraves no uso generalizado da prefabricação, como o facto de ser requerida sobretudo mão-de-obra especializada e a necessidade de grande planeamento e pormenorização nas fases de projeto [1]. A inevitabilidade de um investimento inicial tende a desencorajar a adesão a este método construtivo.

A possibilidade de fazer uma parte do trabalho em fábrica para posterior montagem em obra, representa uma simplificação em todo o processo construtivo sendo expectável que futuramente se verifique uma diminuição progressiva da quantidade de trabalho executada em obra, e um aumento das atividades de planeamento em escritório e de produção em fábrica.

As paredes em alvenaria estão na base da construção tradicional portuguesa, representando uma percentagem considerável do tempo e dinheiro das empreitadas e a sua execução condiciona outras atividades, pelo que um eventual atraso na construção das paredes possui um efeito dominó ao atrasar toda a obra. Assim sendo, a prefabricação destes sistemas pode constituir uma oportunidade para aumentar a sua produtividade.

As alvenarias têm vindo a evoluir para sistemas cada vez mais esbeltos e tecnologicamente pensados para dar resposta a vários factores em simultâneo, como o conforto térmico, higrotérmico e acústico, e o constante aperfeiçoamento destes sistemas ao longo dos anos permitiu chegar a um ponto em que são cumpridos estes vários requisitos através, por exemplo, das alvenarias mais frequentemente utilizadas correspondentes a paredes duplas em tijolo cerâmico com o isolamento térmico na caixa-de-ar [2].

Posto isto, a dificuldade da prefabricação de paredes em alvenaria prende-se, para além do referido acima relativamente aos entraves da prefabricação em geral, na capacidade de replicar as soluções elaboradas de modo tradicional em fábrica, produzindo sistemas que incorporem os isolamentos térmicos e instrumentos que realizam a ligação entre os panos que constituem a parede, entre painéis adjacentes e que fixam os painéis à estrutura, garantindo o comportamento ideal das juntas sem comprometer a qualidade da solução.

## **1.2. OBJETIVOS E METODOLOGIA**

Com vista a refletir sobre a industrialização da construção, e em que medida os sistemas de prefabricação das alvenarias estão evoluídos ou têm espaço para crescer, são traçados os seguintes objetivos a desenvolver no decorrer do presente trabalho:

- Estudar os princípios da prefabricação e industrialização orientados para sistemas de prefabricação de alvenarias;
- Análise de soluções de montagem e disposições construtivas destes sistemas;
- Avaliação sobre a possibilidade de aplicação em sistemas resistentes;
- Análise de um caso concreto.

## **1.3. ORGANIZAÇÃO**

O presente trabalho será distribuído por 6 capítulos.

No primeiro capítulo é feita uma breve introdução na qual se apresentam os principais assuntos relacionados com o tema do trabalho, numa tentativa de justificar o interesse do seu estudo.

O capítulo 2 representa o estado de arte do tema numa perspetiva geral, onde é abordada a industrialização da construção com ênfase na prefabricação.

O terceiro capítulo fará uma apreciação da importância das paredes em alvenaria em Portugal, seguida pela avaliação técnico-económica de algumas soluções no ponto de vista de custo, tempos e desempenho.

No quarto capítulo será feita a análise dos vários problemas e respetivas soluções associados à prefabricação de paredes, nomeadamente ao nível de transporte e ligações.

No capítulo 5 será apresentado um estudo de caso ao qual se avalia a viabilidade de aplicação de paredes de alvenaria com função resistente.

As conclusões encontram-se no capítulo 6 que fecha o estudo com as apreciações finais sobre o trabalho desenvolvido.

# 2

## INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

### 2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão abordadas as definições de industrialização da construção e de prefabricação, assinalando a sua relação com a garantia de qualidade e produtividade neste setor.

### 2.2. INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

#### 2.2.1 CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA NO ALCANCE DA QUALIDADE

A construção civil é um setor onde as atividades artesanais constituem ainda uma parte considerável dos trabalhos, com intenso recurso a mão-de-obra. É por vezes questionada a rapidez de execução das tarefas e o seu rigor.

A industrialização da construção é uma matéria sujeita a grande discussão na atualidade, estando intimamente ligada à garantia de qualidade e produtividade do setor.

Por qualidade depreende-se a capacidade que um produto possui em dar resposta a exigências implícitas (de caráter óbvio) e expressas, isto é, exigências eventualmente explicitadas pelo cliente [3]. É também importante ter em conta a noção de qualidade económica, onde o custo do produto é determinante quando contraposto com o valor de utilização [4].

Num edifício de habitação, a sua qualidade será influenciada por questões de segurança, saúde e conforto, factores onde o nível exigencial é cada vez maior, reflexo da evolução económica e social dos países.

Dos problemas que afetam a qualidade e produtividade na indústria da construção civil salienta-se a falta de organização, coordenação e integração dentro das empresas. A falta de homogeneidade marcada pela tendência de as empresas de construção se especializarem em várias subempreitadas na mesma obra, dá azo a dificuldades de comunicação. Na sequência desta separação entre atividades, a falta de rigor na transmissão de informação, como por exemplo, a frequente situação em que existe um número insuficiente de desenhos de pormenor, ou fraca compreensão destes, surge como um ponto chave para a ocorrência de desentendimentos que conduzem a erros de execução ou enganos na encomenda de materiais.

A título de exemplo desta situação, é de interesse mencionar o colapso de uma passagem suspensa no hotel Hyat Regency em Kansas City em 1989 que matou 114 pessoas, onde a razão apontada para o sinistro tem origem numa falha de comunicação entre o engenheiro e o fabricante de aço [5].

O facto de uma indústria ter em simultâneo uma constante pressão para o cumprimento de prazos e ter as suas atividades assentes em métodos artesanais constitui um paradoxo. Não só o trabalho manual é contraprodutivo, como pode tender a carecer de retidão perante a construção de elementos mais complexos por mão-de-obra pouco especializada.

A relação com o cliente representa o primeiro contributo para a qualidade de um empreendimento. Em grande parte, a falta de satisfação do cliente, ou atrasos da obra motivados pela influência deste no acréscimo ou alteração de algum aspeto, têm origem na falta de capacidade por parte dos projetistas para compreender as necessidades do cliente, pois muitas vezes este não é devidamente informado sobre a relação entre aquilo que ele quer e o que pode ser atingido, e a comunicação não tem por base uma linguagem acessível [5].

Em 1983 era abordada a problemática da garantia de qualidade na construção em Portugal e da necessidade da criação de legislação para esse efeito à semelhança do que começava a acontecer noutros países na altura, “faltam o espaço e o tempo claramente destinados às atividades de controlo de qualidade” [4]. Trinta e dois anos depois e apesar de existirem organismos destinados a estas políticas, é seguro afirmar que o assunto permanece praticamente estagnado, havendo ainda um longo trabalho a desenvolver não só na criação de normas para os produtos participantes na construção civil que, graças à evolução tecnológica são cada vez mais e mais variados, carecendo de cuidada análise, mas também no espaço físico e temporal para a verificação de que estes produtos estão de acordo com as referidas normas.

A possibilidade de reproduzir o que acontece nas outras indústrias com processos de natureza repetitiva, onde o produto é elaborado em unidades automatizadas de produção, apresenta vantagens relacionadas com a minimização dos tempos de produção e organização de todo o processo construtivo, bem como numa maior facilidade na aplicação de técnicas de controlo de qualidade.

A aplicação de medidas com vista a contrariar o desperdício e a estimular a produtividade representam a base do conceito de racionalização, factor apontado como o primeiro passo e essencial no sentido de uma construção industrializada [6].

No entanto, a indústria da construção possui características que não permitem uma aplicação direta dos conceitos de industrialização de forma análoga ao que se verifica para ramos de atividade, como por exemplo a indústria automóvel, sendo por isso necessário realizar uma implementação devidamente adaptada para dar resposta à sua particularidade enquanto indústria, tendo presente de que um produto derivado de uma unidade industrial será diferente do resultado de métodos artesanais.

Destas adaptações tem-se por exemplo que, em vez de uma produção centralizada existe a prefabricação dos componentes em fábrica, e enquanto que uma unidade industrial-tipo tem por base modelos padronizados na linha de produção em série, onde só em determinadas variações se recorre a mão de obra, na construção industrializada recorre-se à produção standarizada dos componentes, mas o projeto mantém a flexibilidade para personalização.

É de constatar que, contrariamente a algumas perceções sobre esta temática, a industrialização da construção não se pode basear unicamente na substituição da mão-de-obra por unidades mecanizadas, mas sim num repensar de todo o processo, pelo que a transição da construção tradicional para a industrial, não pode ser feita da noite para o dia, é necessário elevado investimento monetário para criar

os meios tanto físicos como organizativos necessários, requer tempo para que todas as formulações sejam devidamente enraizadas e uma mudança de mentalidade tome lugar.

Assim sendo, a industrialização da construção pressupõe a aplicação de um conjunto de conceitos:

- Sistematização;
- Automatização;
- Normalização;
- Racionalização;
- Prefabricação.

### 2.2.2 MUDANÇA DE PARADIGMA

Como foi referido, a transformação em análise implica mudanças em vários pontos e a incorporação de novas práticas, ou seja, ocorre toda uma mudança de paradigma que pode ser traduzida a vários níveis como se pode verificar no quadro 1.

Quadro 1: Paralelismo entre construção tradicional e construção industrializada.

<b>Construção Tradicional</b>	<b>Construção Industrializada</b>
Trabalho artesanal	Trabalho manual substituído por máquinas
Quase a totalidade das tarefas são executadas <i>in situ</i>	Grande parte das atividades passa para a fábrica
Mão-de-obra com conhecimento assente na experiência	Maior necessidade de mão-de-obra especializada
Construção dependente das condições atmosféricas	As condições atmosféricas perdem relevância
Planeamento pouco rigoroso e sujeito a mudanças ao longo do processo construtivo	Requer maior preparação e planeamento das atividades numa fase mais precoce
Materiais de construção dependentes da sua disponibilidade no local da empreitada	Surgem materiais de construção inovadores
Controlo das atividades pouco rigoroso	Controlo das atividades do princípio ao fim com recurso a ferramentas adequadas

O planeamento das atividades permite traçar um caminho lógico das operações de modo a que o trabalho seja fluído e o tempo perdido minimizado, ao passo que a não preparação do trabalho torna o processo vulnerável perante a ocorrência de imprevistos.

O investimento de tempo e dinheiro em prefabricação para a criação de elementos de construção *standard* com elevado nível de desempenho e atenção aos detalhes, tende a ser recuperado mediante a produção em série desse modelo, durante a qual existem também processos de controlo de qualidade, pelo que é possível obter simultaneamente um produto de qualidade num intervalo de tempo reduzido.

Posto isto, a chave para a otimização da construção está na *standarização*, isto é, apostar em produtos com dimensões modulares repetitivas, onde por exemplo as aberturas existentes têm tamanho e

localização constantes. Por outras palavras, o objetivo resume-se em reduzir a um mínimo o número de peças únicas, com particularidades, devendo existir um número limitado de conectores diferentes, sendo assim possível industrializar verdadeiramente a construção, através da produção em série do mesmo componente, onde todos os detalhes são cuidadosamente tratados mas que depois, é repetido um número considerável de vezes, para várias obras. Este aspeto não poupa unicamente tempo de produção da peça, mas também, no tempo e facilidade de manobra em obra, isto porque, se os trabalhadores estão habituados a determinado componente é mais fácil e rápida a sua montagem, daí que seja considerada uma boa prática limitar o tipo de ligações diferentes, precisamente para que, numa operação tão importante como a ligação dos componentes, se possa usufruir da experiência e do à vontade da mão-de-obra a operar com estes acessórios [7].

Nas figuras 1 e 2 nota-se a clara diferença na construção do mesmo componente (parede de alvenaria) através de dois métodos distintos, o tradicional na figura 1 e industrializado na figura 2.

No primeiro caso a parede é construída *in situ* e de forma manual ao passo que no segundo, está presente aquilo a que correntemente se chama de construção a seco, vê-se a parede completa a ser transportada para posterior assemblagem, de tal modo que o local da obra torna-se mais “limpo”.



Figura 1: Execução de parede em alvenaria pelo método tradicional [41].



Figura 2: Instalação em obra de paredes em alvenaria prefabricadas [42].

A industrialização não deve ser unicamente prefabricação, pelo que a automatização no próprio local de construção através da substituição do trabalho manual por unidades robotizadas com um certo nível de mobilidade, permite uma razoável simplificação logística e eficácia em atividades específicas, como o levantamento ou assemblagem de componentes. A figura que se segue é um possível exemplo de uma

unidade robotizada, neste caso, para assentamento de tijolos permitindo um acréscimo de produtividade nesta atividade.

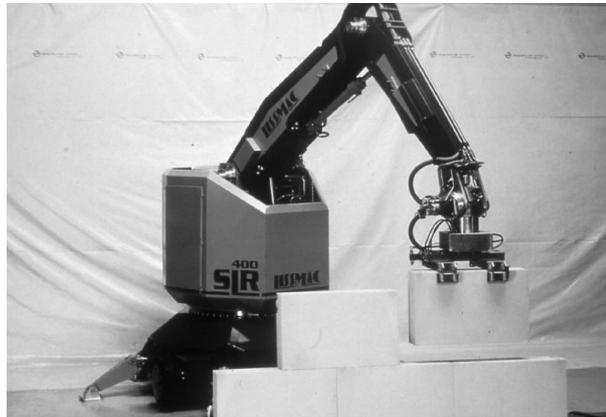


Figura 3: Mecanismo de colocação de tijolos [14].

A implementação de procedimentos que garantam a facilidade e transparência de comunicação entre as operações, será um aspeto determinante no incremento de vantagens e na popularização deste modo de construir.

No que diz respeito à mão de obra, o facto de uma construção industrializada requerer mão-de-obra especializada compreende vantagens e desvantagens. Por um lado, é facilmente compreensível a necessidade de maior nível de formação por parte dos trabalhadores, uma vez que está subjacente o trabalho em máquinas com as suas particularidades e num contexto mais desenvolvido, o que, tem o inconveniente de implicar maiores despesas com a mão-de-obra em relação à construção tradicional. O ambiente automatizado e racional que permite garantir a qualidade do produto, terá necessariamente associado pessoal competente que possua as características para esse efeito.

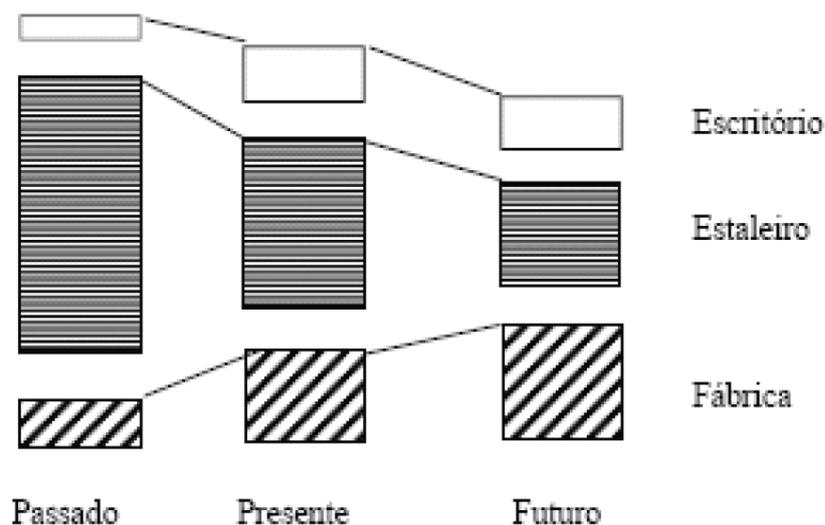


Figura 4: Evolução da distribuição de tempos e tarefas [1].

A figura 4 caracteriza a tendência da evolução da distribuição de tempo das atividades executadas em escritório, estaleiro e fábrica, à medida que se faz a transição de uma construção tradicional (passado)

para uma construção industrializada (futuro). Na segunda, existe uma tendência para aumentar o tempo dedicado a atividades de planeamento e projeto no escritório e de produção na fábrica em detrimento das atividades executadas em estaleiro, ao passo que na construção tradicional, a maior parte das atividades desenvolvem-se na obra.

A figura 5 mostra um exemplo da possível duração das tarefas *in situ* num contexto industrializado, desde a elevação da estrutura, passando pelas instalações de água e elétricas até aos acabamentos finais.

Como é possível verificar na figura, o levantamento da estrutura, que pressupõe a montagem dos componentes prefabricados, dura apenas 1 semana ao passo que a construção desses mesmos componentes na obra de modo tradicional levaria muito mais tempo.

Atividade	1º mês				2º mês				3º mês	
	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Levantamento da estrutura	█									
Instalação de canalizações		█								
Instalação elétrica			█							
Revestimentos e cura do piso				█	█	█				
Decoração						█	█			
Outros revestimentos								█		
Instalação de outros serviços									█	
Acabamentos										█

Figura 5: Exemplo de calendário das atividades de levantamento da estrutura, instalações e acabamentos de uma propriedade com 230 m<sup>2</sup> [48].

### 2.2.3 LOGÍSTICA

A partir do momento em que uma parte considerável do trabalho é transferido para uma fábrica levantam-se questões relacionadas com a logística, isto é, com a localização da referida fábrica em relação ao local da obra. Se a fábrica de prefabricação possuir posição fixa, então a proximidade da obra a esta será tema sujeito a análise numa fase preliminar, visto que, caso tenha que ser vencida uma distância considerável entre estes dois pontos, o tempo de viagem e o dinheiro gasto no transporte podem não compensar. Nesse caso, a localização da obra irá atuar como uma espécie de filtro, reduzindo o número de empreitadas que podem ser consideradas viáveis.

Elementos de grandes dimensões obrigam a que seja transportado um ou muito poucos componentes de cada vez, o que dá novo destaque à importância da logística. Como é possível verificar na figura 7, a utilização de uma fábrica com posição fixa faz com que o tempo e dinheiro gastos com o transporte sejam uma variável crucial.

Por outro lado, optando pelo conceito de fábrica “descartável“, a posição da fábrica em relação à obra deixa de ser um factor relevante uma vez que esta será montada na sua vizinhança aquando o começo da mesma e de seguida desmontada e reaproveitada para a obra seguinte, reduzindo desta forma o tempo e dinheiro gastos com o transporte para um patamar de relevância desprezável. No entanto, está condicionada pela existência de um terreno nas proximidades da obra para ser alugado, pelo que, havendo disponibilidade, está implícito esse custo, adicionalmente, está subjacente a necessidade de montagem no início da obra, o que implica consumo de tempo e dinheiro na mão-de-obra que vai

proceder à montagem, sem contar com o investimento da fábrica em si. É precisamente este conceito que se encontra apresentado na figura 6, onde a fábrica de prefabricação coincide espacialmente com o local onde a obra se irá realizar.

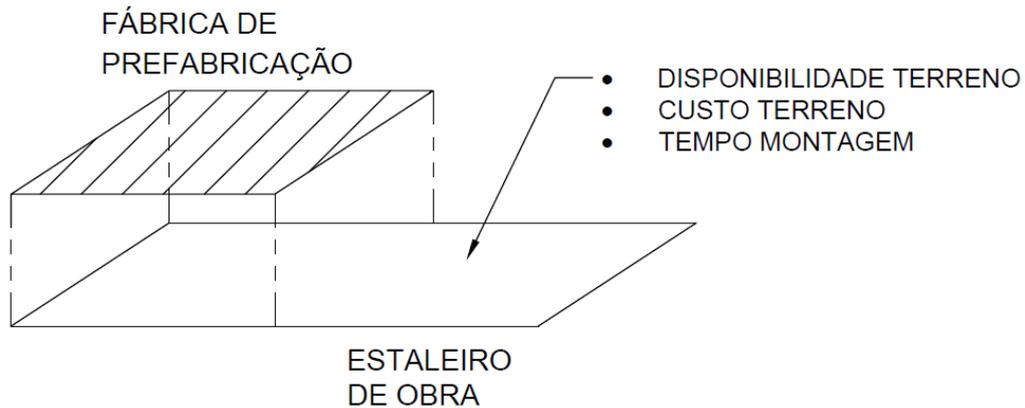


Figura 6: Fábrica de prefabricação de obra coincidem espacialmente.

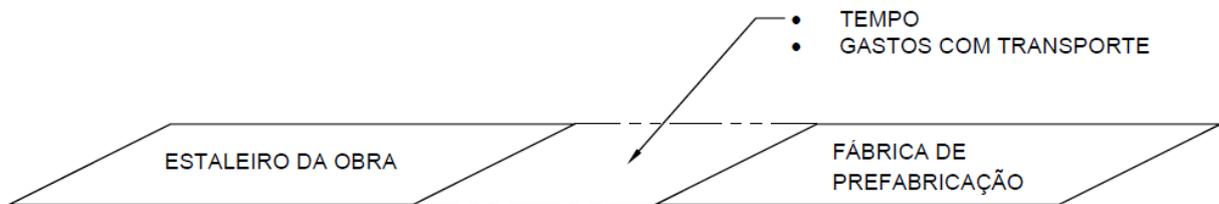


Figura 7: Fábrica de prefabricação e obra separados.

## 2.3. PREFABRICAÇÃO

### 2.3.1 CONCEITOS GERAIS

Como já foi constatado, quando se fala de construção industrializada, é inevitável falar de prefabricação.

Esta pode ser definida como a produção em fábrica dos componentes que, uma vez chegados à obra e assemblados farão parte integrante de um determinado edifício.

É possível ter um grau de prefabricação total ou parcial, com sistemas de prefabricação abertos ou fechados e tipo de prefabricação leve ou pesada.

Parece razoável começar por distinguir o grau de prefabricação:

- Total: Diz respeito a um elevado índice de prefabricação onde a maior parte das operações são realizadas em fábrica reduzindo a um mínimo o tempo em estaleiro [8].
- Parcial: Entende uma linha de operações que vai desde a fabricação dos materiais à sua montagem, constituindo um subsistema participante do edifício fortemente industrializado

[6], ao passo que no grau de prefabricação total todo o edifício será criado por prefabricação. Essa realidade não é muito tangível, pelo que trabalha-se sobretudo em prefabricação parcial.

Juntam-se os sistemas de prefabricação abertos e fechados.

No primeiro, entende-se a existência de componentes com um certo grau de flexibilidade e compatibilidade, aptos a serem incorporados com elementos de fabricantes diferentes. Ou seja, será possível associar um componente tipo A do fabricante B com o componente do tipo C do fabricante D. Esta flexibilidade permite aumentar o número de combinações possíveis diversificando as soluções.

Num sistema fechado pressupõe-se a participação de um só fabricante num processo onde os componentes estão bem definidos, isto é, enquanto no sistema aberto falamos de peças que podem ser usadas de várias maneiras, aqui não há espaço para diversificar a sua aplicação.

As noções de prefabricação aberta ou fechada podem não estar necessariamente associadas à compatibilidade com componentes de outros fabricantes, mas também dizer respeito ao nível de acabamento e de prefabricação, isto é, há diversas formas de incorporar painéis prefabricados num edifício, sendo possível definir 3 classes relacionadas com a forma e geometria dos elementos incorporados [9]:

- Linear;
- Bidimensional;
- Tridimensional.

Os sistemas lineares compreendem a ligação na obra, através de preenchimento com betão, de sistemas como pilares, vigas e componentes para paredes, pisos e telhados. Compreendem a associação de elementos do esqueleto estrutural com elementos do tipo placa.

Os sistemas bidimensionais estão relacionados com o uso de painéis e são assemblados através de juntas mecânicas ou pelo seu preenchimento com betão ou argamassa, estando estes dois sistemas associados ao tipo de prefabricação aberta.

O caso tridimensional entende um módulo prefabricado que inclui paredes e piso e é praticamente acabado em fábrica deixando para operação *in situ* unicamente a montagem.

A cada caso referido está associado um maior ou menor nível de acabamento e uma maior ou menor flexibilidade. A aplicação de painéis implica maior número de atividades em obra, mas torna-se mais flexível e personalizável. Estes podem sofrer várias operações depois de montados, mas também podem ser colocadas todas as instalações (componentes elétricos, portas, janelas...) e acabamentos na fábrica, reduzindo-se o trabalho na obra para simplesmente a sua montagem.

Os módulos prefabricados (geralmente realizados em estrutura metálica) tornam o processo bastante industrializado ao reduzir os trabalhos na obra à sua colocação, que corresponde a uma divisão completa, contudo, as dimensões e geometria são de flexibilidade limitada, e o espaço em fábrica bem como as particularidades do transporte requerem maior investimento [10]. Na figura 8 está apresentado o procedimento de montagem dos módulos prefabricados, observando-se todo um compartimento a ser pousado sobre os blocos previamente montados onde serão efetuadas as operações de ligação e acabamentos.



Figura 8: Princípio de montagem de módulos prefabricados [49].

Por fim, é ainda possível referir a prefabricação leve e pesada, que, tal como o nome indica, é distinguida pelo peso dos componentes prefabricados, pelo que a prefabricação pesada vem normalmente associada a elementos prefabricados como vigas, pilares e lajes de betão armado e pré-esforçado (figura 10), ao passo que a prefabricação leve comporta elementos cujo peso não excede os 100 kg por m<sup>2</sup> (há opiniões divergentes quanto a este valor) sendo exemplo disso as fachadas e divisórias leves, tetos falsos ou sistemas de revestimento de paredes e de piso (figura 9) [6].

Assim sendo, podemos por exemplo, ter um dado empreendimento com um grau de prefabricação parcial, no qual se utiliza um sistema de prefabricação aberto, leve.



Figura 9: Prefabricação leve: Parede de compartimentação [63].



Figura 10: Prefabricação pesada: Viga de betão [64].

### 2.3.2 VANTAGENS E INCONVENIENTES

Já foram sendo referidos alguns aspetos vantajosos ou prejudiciais da prefabricação, mas vamos expô-los de modo mais compreensível [2, 1, 11, 12]:

Vantagens:

- Independência das condições atmosféricas;
- Rapidez de execução e redução de desperdícios;
- Maior controle de qualidade;
- Simplificação do ambiente em obra, traduz-se em melhores condições de segurança e de produtividade;
- O controlo das operações e envolvimento de pessoal especializado são um grande contributo para a garantia de qualidade;
- Diminuição do custo;
- Maior planeamento das atividades conduz a melhores soluções e diminui a ocorrência de erros que originam desperdícios e atrasos.

A transferência de atividades do estaleiro para a fábrica está na origem de quase todas as vantagens discriminadas. A diminuição do número de tarefas a realizar *in situ* contribui para um local de obra mais organizado e limpo, o que se reflete na qualidade e fluidez das operações.

Além disso, fábrica pressupõe a existência de unidades automatizadas de produção em série, onde o caráter normalizado é responsável pela otimização dos tempos de produção e as condições atmosféricas não influenciam a produção no seu interior.

Desvantagens:

- Maior necessidade de planeamento rigoroso e detalhes das peças;
- Necessidade de mão-de-obra especializada;
- Complexidade das ligações;
- Investimento inicial;
- Falta de flexibilidade em algumas soluções;
- Questões de logística e de transporte;
- Dificuldades no manuseio dos componentes em obra;
- Problemas em efetuar modificações no projeto por vontade do dono de obra uma vez iniciada a produção.

O cuidado no planeamento dos projetos é aspeto difundido como a base das boas práticas da construção, porém, quando se anexa a prefabricação tem importância acrescida. Errar na produção de elementos prefabricados não é uma opção, pois modificá-los é quase uma impossibilidade dependendo do material em questão, o que resultaria muitas vezes na necessidade de fazer de novo. Além disso como se trata de produção em série, pode ser realizado um número considerável de peças defeituosas antes do erro ser detetado, ou seja, se o planeamento falhar, os potenciais erros podem conduzir a desperdício considerável de tempo e de dinheiro.

O ser humano sente a necessidade de ter algo único que reflita a sua personalidade, pelo que, a prefabricação pode apresentar alguns entraves nesse campo caso não exista um número suficiente de componentes que, mediante várias combinações consigam obter a singularidade pretendida. É possível que se levantem questões relacionadas com o arquiteto sentir a sua liberdade artística reprimida.

É de notar que a movimentação vertical dos elementos prefabricados do rés-do-chão para determinado piso pode comportar dificuldades (dependendo das dimensões do elemento em si) ao nível do tempo de transporte e a necessidade de equipamento adequado para o efeito.

A prefabricação não constitui tema de estudo aprofundado nos cursos de engenharia civil em Portugal, pelo que, perante sistemas com certas particularidades que demandem outras abordagens, a falta de formação técnica dificulta a ultrapassagem das dificuldades que surjem e cria barreiras à difusão e evolução deste método construtivo.

Podendo ser abordado de forma superficial no curso, não constitui ainda tema de estudo aprofundado, pelo que, perante sistemas diferentes que requerem outras abordagens, a falta de informação técnica cria barreiras à difusão e evolução deste método construtivo.

### 2.3.3 MODULAÇÃO

Módulo apresenta-se como unidade de medida padrão, definida com vista a estabelecer dimensões e proporções de componentes.

Define-se atualmente o conceito de módulo básico como a unidade de medida linear utilizada, em função da qual são definidas todas as outras dimensões em modulação sob a forma de múltiplo ou submúltiplo do módulo para dimensões maiores ou menores que este respetivamente. O valor do módulo básico estabelecido é de 100 mm, podendo ser representado como:  $1 M = 100 \text{ mm}$ .

A coordenação modular manifesta-se pela fixação de uma malha plana ou 3D dentro da qual são introduzidos os componentes de tal modo que a posição e dimensão de um componente pode ser completamente definida de modo claro e direto através das coordenadas do sistema de pontos que constituem a referida malha.

De um vasto conjunto de vantagens da modulação, salienta-se a facilidade de montagem dos componentes prefabricados em edifícios através da criação de módulos com dimensões completamente determinadas a partir de múltiplos ou submúltiplos de uma medida padrão [6] e posições estabelecidas. Pode ser aplicada num grau de prefabricação parcial, como complemento num empreendimento de construção tradicional ou em reabilitação.

Este sistema estimula a organização espacial do edifício e permite reduzir o desperdício de material pois minimiza a necessidade de cortes ou ajustes em obra para encaixar as peças, possui benefícios ao nível da produtividade e qualidade pelas mesmas razões referidas na industrialização da construção, associadas à sistematização e produção industrial.

A criação de módulos pode ser conduzida no sentido de aumentar a quantidade e diversidade de modo a que exista um número de combinações possíveis de tal modo alargado que a criatividade não é afetada, representando uma ferramenta apropriada para um sistema de prefabricação aberto.

As figuras 11 e 12 representam o antes e o depois respetivamente da influência da modulação num elemento. Se tivermos por exemplo uma determinada dimensão de 19 cm, ao fazer a “tradução” para um sistema modular, esse comprimento passará a ser de 20 cm, sofrendo um ajuste de coordenação de 1 cm. Sendo que  $1 M = 10 \text{ cm}$ , então as medidas modulares da peça serão  $2M \times 2M \times 4M$ .

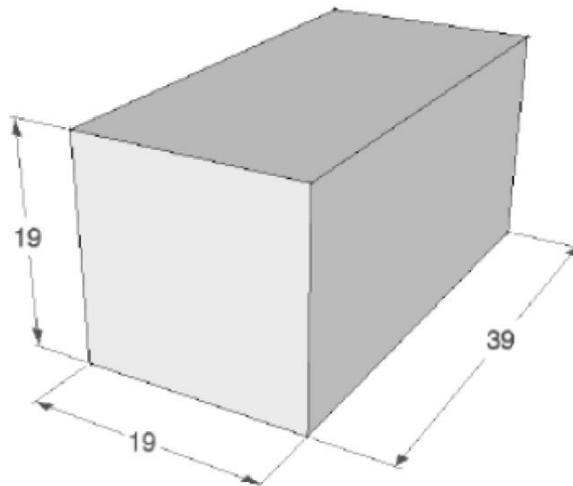


Figura 11: Elemento com medidas nominais [34].

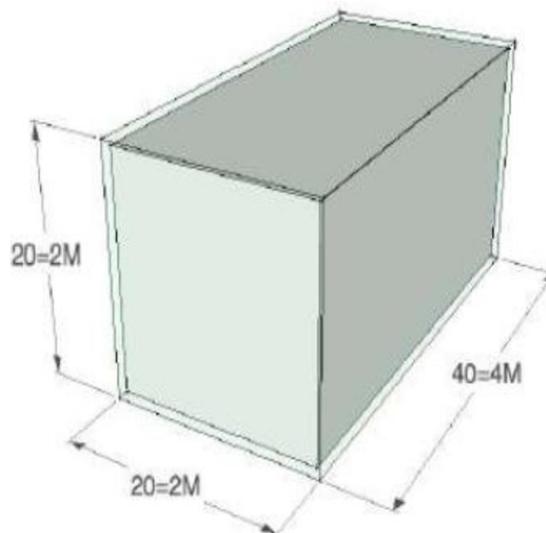


Figura 12: Elemento com as medidas de coordenação e modulares [34].

Na figura 13 está representado o sistema de referência modular constituído pelos planos tridimensionais nos quais é estabelecida uma grelha resultante da divisão destes planos por linhas espaçadas de  $n M$ . Se o espaçamento for igual ao módulo básico (1M) temos aquilo a que se chama a grelha modular básica que constitui a grelha de dimensão mais pequena utilizada em coordenação modular. Caso  $n$  seja um múltiplo do módulo denomina-se grelha multi-modular [13].

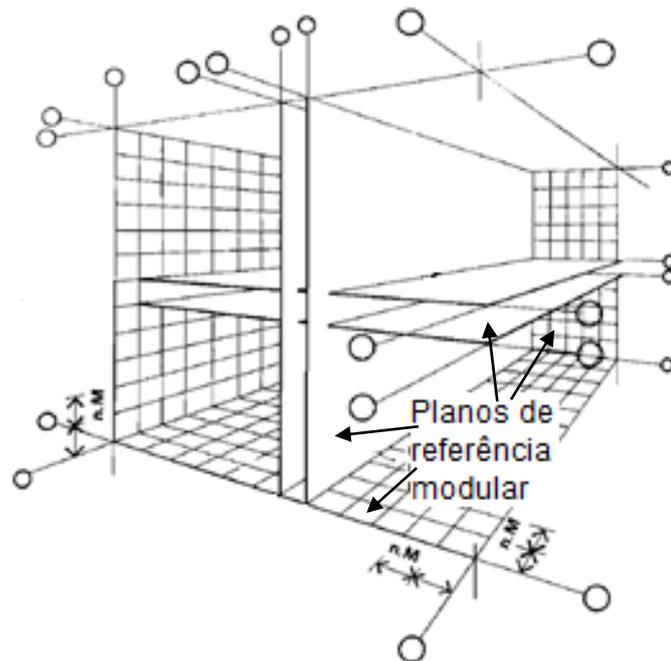


Figura 13: Sistema de referência modular [13].

Idealmente, com a coordenação modular, construir uma casa poderia ser um processo tão simples quanto a montagem com as peças de “Lego”, onde todos os componentes encaixam perfeitamente no interior da grelha sem que exista espaço sobrando ou em falta, mas isso constitui uma irrealidade uma vez que irão sempre existir diferenças entre as dimensões de projeto e as reais, pelo que surge a necessidade de estabelecer tolerâncias.

#### 2.3.4 TOLERÂNCIAS

A estipulação de tolerâncias corresponde a uma medida defensiva perante a ocorrência de erros providenciando uma margem de manobra para que esses potenciais erros não comprometam o projeto, uma vez que o sucesso deste depende essencialmente do rigor com que todos os detalhes são tratados. Uma vez definido o valor das tolerâncias no projeto, segue-se a atribuição de responsabilidade aos intervenientes da produção de as fazer cumprir.

Simplificadamente, a tolerância surge como a necessidade de definir um intervalo de valores dentro do qual a dimensão da peça pode variar em torno de um valor estabelecido de modo que o erro não acarrete consequências prejudiciais na montagem. Assim sendo, se determinada peça tem um comprimento definido  $l$ , e seja  $x$  a amplitude da tolerância (valor absoluto da variação dimensional), este comprimento poderá variar de  $l-x$  a  $l+x$ .

#### 2.3.5 “TOYOTA HOMES”

A prefabricação tende a adquirir um carácter determinista pois uma vez iniciado o processo de produção dos componentes o cliente não tem a possibilidade de voltar atrás com a decisão e escolher o elemento do tipo  $x$  em vez do  $y$ . No entanto, a empresa Toyota possui uma unidade dedicada à construção de casas adaptando os procedimentos utilizados para a fabricação automóvel, denominada “Toyota Home”, cujos métodos de desenho e fabricação assistidos por computador permitem ajudar a ultrapassar esse entrave.

De modo a garantir que o cliente obtém aquilo que idealizou não mudando de opinião a meio do processo, e como forma de assistência na escolha dos elementos de entre várias opções, a Toyota Homes disponibiliza ao cliente uma experiência de realidade virtual na qual este tem a possibilidade de ver exatamente como vai ficar a sua casa consoante as escolhas que fez, realizando as alterações que considere necessárias, antes de todo o processo se iniciar. Desta forma, não só se assegura a satisfação do cliente como se simplifica a relação deste com o construtor [14].

A trabalhar com uma estrutura base metálica à qual são anexados em obra módulos cúbicos prefabricados, pensa-se que o tempo necessário para construir uma casa desde a fábrica até ao último acabamento *in situ* seja de 45 dias. O tempo de produção em fábrica de um módulo cúbico é cerca de 2,5 minutos [14]. Aliado a estes tempos de construção, é referido que uma casa de dois andares com cerca de 93 m<sup>2</sup> no Japão (a Toyota Homes só constrói no Japão) custa cerca de \$200 000 [15].

Não só é possível construir uma casa num espaço de tempo reduzido e a preço acessível como também é possível fazê-lo sem pôr em causa a sua qualidade, como é o caso da Toyota Homes que assegura uma durabilidade entre 10 e 20 anos em casas projetadas com boa capacidade de resposta perante a ocorrência de sismos.

# 3

## PAREDES EM ALVENARIA

### 3.1. INTRODUÇÃO

No capítulo que se segue será analisada a história e desenvolvimento das paredes de alvenaria em Portugal, assim como os elementos que participam na sua construção tradicional, avaliando os custos e tempo envolvidos.

### 3.2. EVOLUÇÃO DAS PAREDES EM ALVENARIA

Uma alvenaria representa uma combinação de elementos naturais (pedra) ou artificiais (cerâmicos ou betão) unidos através de uma argamassa [22].

A utilização de paredes em alvenaria está na base da tradição construtiva portuguesa seja na sua aplicação na fachada, ou como elementos divisórios.

Inicialmente estas paredes possuíam função resistente, mas o aparecimento do betão armado veio substituir o seu emprego possibilitando a construção de estruturas mais altas e esbeltas. Contudo, a sua popularidade manteve-se, assumindo o papel de alvenaria não resistente.

Dependendo da zona em questão, a típica parede de alvenaria podia ser construída à base de granito ou xisto no Norte, calcário no Sul ou outros materiais em função dos recursos da região, como é exemplo o uso de adobe na região de Aveiro.

Com o passar do tempo a influência regional deixou de se fazer sentir de forma tão acentuada na construção das paredes e a evolução da indústria cerâmica abriu o caminho para a estreia do tijolo cerâmico como principal material de construção nestes sistemas.

Assim sendo, as paredes evoluíram desde pedra com espessura considerável para as paredes relativamente esbeltas utilizadas atualmente, como se pode ver na figura 14.

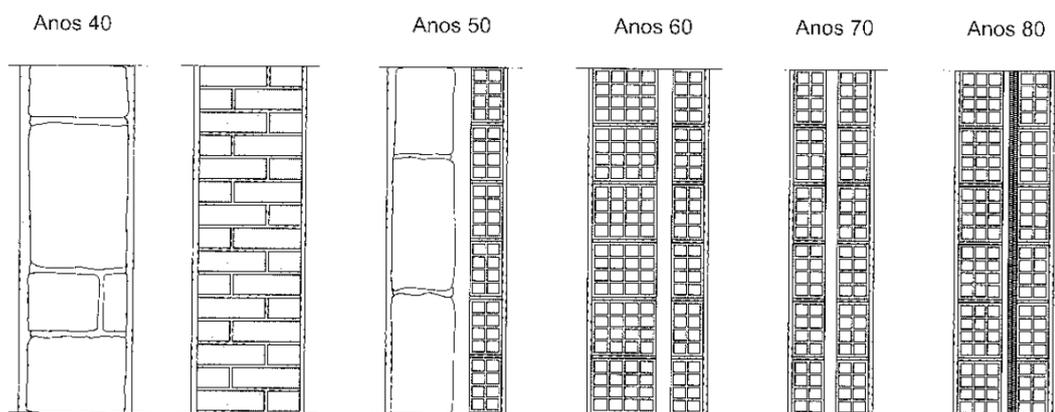


Figura 14: Evolução histórica das paredes de alvenaria [32].

Nos dias de hoje, as paredes em alvenaria são correntemente constituídas por tijolos cerâmicos de perfuração horizontal, vertical ou maciços, por blocos de betão leve ou ainda pedra natural, sendo que os tijolos cerâmicos de perfuração horizontal são a unidade mais frequentemente aplicada (cerca de 90%) [23].

A constante pesquisa e aperfeiçoamento na área, levou a que as paredes em alvenaria, resistentes ou não, fossem adquirindo características cada vez mais complexas, pensadas para dar resposta a um conjunto de exigências. A progressão destes sistemas conduziu à situação atual, onde a solução mais comum para paredes de fachada corresponde a paredes duplas em tijolo de perfuração horizontal com isolamento térmico na caixa-de-ar, espessuras de 0,15m e 0,11m para os panos exteriores e interiores respetivamente, sendo também vulgar a execução de paredes duplas com associações betão/tijolo vazado ou tijolo maciço/tijolo vazado [24]. No caso das paredes divisórias, é popular o uso de tijolos cerâmicos de perfuração horizontal com 0,07m de espessura em toda a habitação ou com tijolo de 0,1m nas zonas húmidas (casa de banho e cozinha).

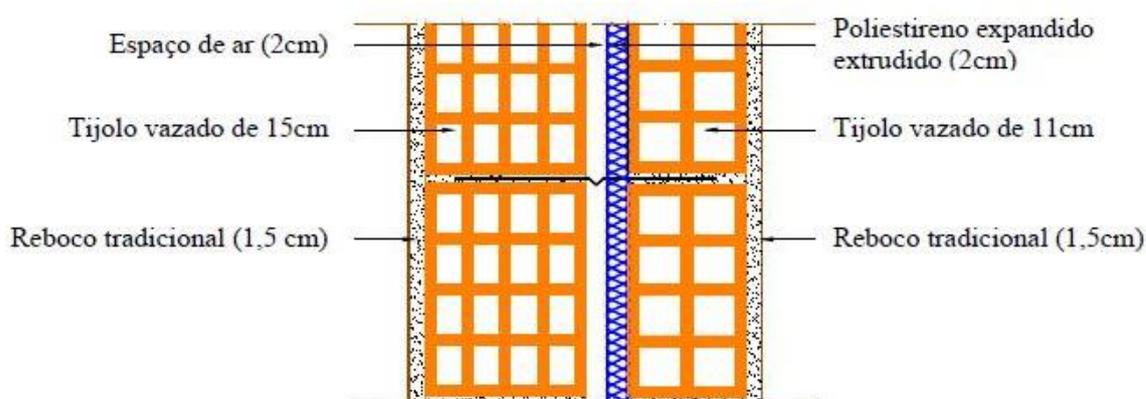


Figura 15: Esquema de parede exterior dupla de tijolo vazado 15+11 cm com isolamento térmico na caixa-de-ar [43].

Apesar de existirem outras soluções para as paredes divisórias com vantagens do ponto de vista de aplicação e preço, perfeitamente viáveis, a robustez oferecida pela alvenaria oferece uma sensação que

a maioria dos portugueses não está provavelmente preparada para dispensar. Perante isto, e a capacidade de resposta a vários aspetos que estes sistemas possuem, é de prever que as paredes em alvenaria façam não só parte da nossa história mas também do nosso futuro.

### 3.3. FACTORES EXIGÊNCIAS

Certas exigências associadas a uma parede de alvenaria, seja ela exterior ou de compartimentação, são de carácter implícito, isto é, óbvias e essenciais onde o seu incumprimento põe praticamente em causa a razão de existir da parede, estamos a falar de requisitos como a estabilidade, mesmo as alvenarias não resistentes têm que ser auto-portantes e suportar ações provenientes da utilização por parte dos utentes como por exemplo a fixação de estantes ou algum tipo de impacto, exteriores como o vento, ou ainda para situações acidentais como sismos. É também essencial a proteção contra agentes atmosféricos através da estanquidade ao ar e à água.

Estas características são aquelas que se procuravam cumprir a partir do momento em que se começaram a construir paredes, contudo, com o passar do tempo, a evolução tecnológica e social levaram a exigências cada vez maiores e mais abrangentes.

Posto isto, crescem as imposições ao nível do conforto térmico e acústico, segurança ao fogo, durabilidade, facilidade de manutenção, estética e economia.

A atual situação europeia revela uma grande preocupação com a eficiência energética dos edifícios, existe um cuidado cada vez maior para minimizar as perdas de calor na situação de Inverno e ganhos no Verão, diminuindo a necessidade de recorrer a equipamentos para o efeito. Considerando a área de interação com o exterior, as paredes são dos elementos com maior relevância no estudo das trocas de calor, sendo essencial garantir que a sua execução é realizada de modo cuidado e rigoroso, com vista proteger o ambiente interior e a obter as condições ideais.

A atenção já referida e crescente com o conforto térmico e minimização de gastos energéticos dos edifícios encaminhou a evolução da legislação portuguesa para o estabelecimento de valores máximos ou de referência de vários factores térmicos, no sentido de garantir a viabilidade técnico-económica das soluções.

Atualmente, para uma parede exterior (envolvente opaca), o valor máximo admissível por exemplo, para a zona do Grande Porto (zona climática II), do coeficiente de transmissão térmica superficial (U) é de  $1,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , mas o valor de referência para este parâmetro nesta zona é consideravelmente menor, estabelecendo-se nos  $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Estes requisitos conseguem ser cumpridos através da combinação de elementos cujas resistências térmicas aliadas a determinada espessura permitem reduzir a grandeza de U para os valores considerados aceitáveis.

### 3.4. ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

#### 3.4.1 PAREDES EM ANÁLISE

As paredes em alvenaria têm um peso correspondente a cerca de 35 % do peso total de um edifício e o seu custo varia entre 8,5% a 10,5% do custo global [25]. Tendo em conta a sua importância, é de interesse demonstrar a quantidade de tempo e dinheiro que estes sistemas movem ao serem executados de modo tradicional, atribuindo classificações às várias soluções permitindo assim estabelecer uma comparação com a opção prefabricada.

Posto isto, neste subcapítulo pretende-se estudar várias soluções de paredes em alvenaria não estruturais interiores e exteriores utilizadas em Portugal, nas quais figuram as soluções mais correntes e algumas menos vulgares, tendo por base as fichas de custos e rendimentos presentes na publicação do LNEC intitulada: Informação sobre custos: Fichas de rendimentos [26].

O estudo das soluções será feito em três perspetivas principais:

- Custos;
- Rendimentos;
- Desempenho.

Nos quadros 2, 3 e 4 que se seguem encontram-se apresentadas as paredes exteriores simples e duplas e interiores em análise, respetivamente. Cada tipo de parede é antecedido por um código que a identifica, pelo que a uma parede exterior simples correspondem as letras  $ES_x$  sendo  $x$  o número da ordem em que a mesma foi listada e da mesma forma acontece para as exteriores duplas (ED) e para as interiores (I).

Nestes quadros é feita uma apreciação sobre a forma como o custo global da execução de determinado tipo de parede é repartido por tipo de recurso, isto é, que percentagem do valor total vai para os materiais, mão-de-obra e para a categoria “outros”, que engloba operações auxiliares e equipamentos.

Quadro 2: Análise da distribuição de custos de paredes exteriores simples.

<i><b>Tipo de Parede</b></i>	<i><b>Indicadores de custos (%)</b></i>		
	<i><b>Materiais</b></i>	<i><b>Mão-de-obra</b></i>	<i><b>Outros</b></i>
<b>ES1:</b> Alvenaria de pedra irregular em paredes exteriores, “sem paramentos vistos” com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	11,2	65,1	23,8
<b>ES2:</b> Alvenaria de blocos de argila expandida 50x20x20 cm, com 20cm de espessura assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	51,7	39,5	8,8
<b>ES3:</b> Alvenaria de blocos de betão celular autoclavado 60x20x15 cm com 15 cm de espessura e pasta de cimento e areia ao traço 1:1 até 2,80m de altura sem aberturas.	65,4	30,7	3,9
<b>ES4:</b> Alvenaria de blocos de betão normal 40x20x15 cm com 15cm de espessura assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5, até 2,80m de altura, sem aberturas (vãos).	50,9	40,1	9,0
<b>ES5:</b> Alvenaria simples de tijolo de barro vermelho furado 30x20x22 cm com 22 cm de espessura assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	36,2	53,4	10,4

Quadro 3: Análise da distribuição de custos das paredes exteriores duplas.

<b>Tipo de Parede</b>	<b>Indicadores de custos (%)</b>		
	<b>Materiais</b>	<b>Mão-de-obra</b>	<b>Outros</b>
<b>Paredes Exteriores Duplas</b>			
<b>ED1:</b> Alvenaria dupla de tijolo com panos de tijolos maciços de 22x11x7 cm com 7 cm de espessura e 22x11x7 cm com 11 cm de espessura, assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	48,7	47,7	3,6
<b>ED2:</b> Alvenaria dupla de tijolo de barro vermelho com panos de tijolos furados de 30x20x11 cm com 11 cm de espessura e 30x20x15 cm com 15 cm de espessura, assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	31,7	59,4	8,9
<b>ED3:</b> Alvenaria dupla de tijolo com panos de tijolos furados e maciços de 22x11x7 cm com 11 cm de espessura assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	41,0	52,9	6,1
<b>ED4:</b> Alvenaria dupla de tijolo com panos de tijolos furados de 30x20x11 cm com 11 cm de espessura e tijolos maciços de 22x11x7 cm com 11 cm de espessura, assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	43,9	50,4	5,6
<b>ED5:</b> Alvenaria dupla de tijolo com panos de tijolos maciços de 22x11x7 cm com 11 cm de espessura e tijolos furados de 30x20x22 cm com 22 cm de espessura, assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	44,2	49,5	6,3

Quadro 4: Análise da distribuição de custos das paredes interiores.

<b>Tipo de Parede</b>	<b>Indicadores de custos (%)</b>		
	<b>Materiais</b>	<b>Mão-de-obra</b>	<b>Outros</b>
<b>Paredes Interiores Simples</b>			
<b>I1:</b> Blocos de argila expandida 50x20x5 cm com 5 cm de espessura assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5, até 2,80 m de altura, sem aberturas (vãos).	56,5	36,7	6,8
<b>I2:</b> Blocos de betão celular autoclavado com 60x20x12 cm com 12 cm de espessura assentes com pasta de cimento e cal ao traço 1:1.	66,2	32,0	1,8
<b>I3:</b> Blocos de betão de inertes correntes 40x20x10 cm com 10 cm de espessura assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5, até 2,80 m de altura, sem aberturas (vãos).	44,3	47,8	7,9
<b>I4:</b> Tijolo de barro vermelho furado 30x20x7 cm com 7 cm de espessura assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	31,1	62,6	6,3
<b>I5:</b> Tijolo de barro vermelho furado 30x20x11 cm com 11 cm de espessura assentes com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5.	31,0	60,6	8,3

### 3.4.2 DISTRIBUIÇÃO DE CUSTOS

Os consumos de materiais, equipamento e de mão-de-obra estão apresentados em €/m<sup>2</sup> de parede, e todos os sistemas analisados estão presentes em quadros individuais correspondentes a cada tipo de parede identificados com o devido código. Estes quadros podem ser encontrados no Anexo A.1.

Como os rendimentos da mão-de-obra dependem das condições em obra e da própria eficiência de trabalho, estes valores apresentados são ponderados por um coeficiente de incidência que poderá assumir os valores presentes no quadro 5. No caso em questão, os custos foram influenciados por um coeficiente de incidência de 1,00, o que significa que foram consideradas boas condições em obra e uma muito boa eficiência de trabalho.

Quadro 5: Coeficientes de incidência considerando as condições da obra e eficiência de trabalho, (quadro 1 de [26]).

<b>Condições da obra</b>	<b>Eficiência de trabalho</b>			
	Muito boa	Boa	Média	Má
<b>Boas</b>	1,00	1,11	1,24	1,38
<b>Médias</b>	1,13	1,26	1,40	1,55
<b>Más</b>	1,31	1,45	1,61	1,80

Os custos constantes da análise dizem respeito aos custos diretos sem lucro, isto é, são resultado da soma dos valores associados a despesas com materiais, equipamento, mão-de-obra e eventuais operações auxiliares, sem considerar os custos indiretos de 10% nem os demais encargos [26].

Numa primeira instância será feita uma análise direcionada para valores relativos, motivada pela possível desatualização dos dados utilizados das fichas do LNEC e porque os valores dos preços tendem a perder significado com a constante variação ao longo do tempo ao passo que as relações entre estes tendem a manter-se estáveis.

Com o objetivo de avaliar a dispersão de custos globais entre as várias soluções, foi criado o quadro 6 constituído por todas as paredes analisadas de cada tipo, devidamente ordenadas, funcionando como uma espécie de ranking consoante o seu preço.

Quadro 6: Organização crescente em função do custo global de cada tipo de parede.

<b>Tipo de Parede</b>	<b>Ordem de Custo</b>	<b>Tipo de Parede</b>	<b>Ordem de Custo</b>	<b>Tipo de Parede</b>	<b>Ordem de Custo</b>
<b>ES4</b>	1,00	<b>ED2</b>	1,00	<b>I1</b>	1,00
<b>ES2</b>	1,23	<b>ED4</b>	1,79	<b>I3</b>	1,23
<b>ES3</b>	1,26	<b>ED5</b>	2,04	<b>I4</b>	1,46
<b>ES5</b>	1,66	<b>ED1</b>	2,21	<b>I5</b>	1,73
<b>ES1</b>	8,52	<b>ED3</b>	2,24	<b>I2</b>	1,83

Os valores presentes dizem respeito à relação de custo entre a parede mais barata e as restantes, isto é, nas paredes interiores sabe-se que a parede em blocos de betão celular autoclavado (I2) é 1,8 vezes mais cara que a solução mais económica. As relações entre valores evoluem de forma expectável, à exceção da parede ES1 que se destaca ao nível do custo global por constituir um caso muito particular da construção atual.

É possível estabelecer uma relação entre o custo global e as dimensões dos blocos analisados. Verifica-se em muitos casos que a paredes mais baratas correspondem soluções onde cada unidade tem dimensões maiores. Este aspeto pode ser justificado pelo facto de que será assente um menor número de blocos por  $m^2$ , o que se reflete em economia de material e melhores rendimentos de mão-de-obra. Contudo isto nem sempre se verifica, não é possível realizar uma correspondência direta e linear porque existem outras variáveis a considerar, nomeadamente, o tipo de material em questão pode ter um custo associado que torne esta comparação irrelevante, e por outro lado, é preciso ter em conta que, apesar de blocos maiores implicarem um menor número de unidades a assentar por  $m^2$ , também tendem a ser mais pesados, o que acarreta repercussões ao nível do rendimento da mão-de-obra.

No caso das paredes interiores, a parede mais cara é aquela cujos blocos têm maiores dimensões, o que contraria o argumento que está ser formulado, no entanto, esta é a I2 e, a par da ES3 é constituída por blocos de betão autoclavado, associados a custos maiores com o material do que as restantes paredes. Se pusermos de parte a parede I2 da análise, constata-se que as paredes interiores mais caras são aquelas onde os blocos têm menores dimensões e à medida que estas aumentam, o preço da parede que lhe corresponde diminui, como se pode ver na figura 16. Existem duas paredes com a mesma área de blocos ( $600\text{ cm}^2$ ) pelo que o valor de  $13\text{ €/m}^2$  corresponde a uma média dos dois valores.

A análise desenvolvida no parágrafo tem a sua base na comparação dos valores das variáveis em questão na relação entre o custo global e horas de mão-de-obra com o peso e dimensão dos blocos, valores esses que estão apresentados em quadros que podem ser encontrados no anexo A.2. Para efetuar a comparação direta dos dados, foram consideradas as áreas das faces dos blocos em  $\text{cm}^2$  e no caso das paredes duplas, a área considerada corresponde à soma das áreas das faces dos possíveis dois tipos distintos de blocos utilizados em cada pano.

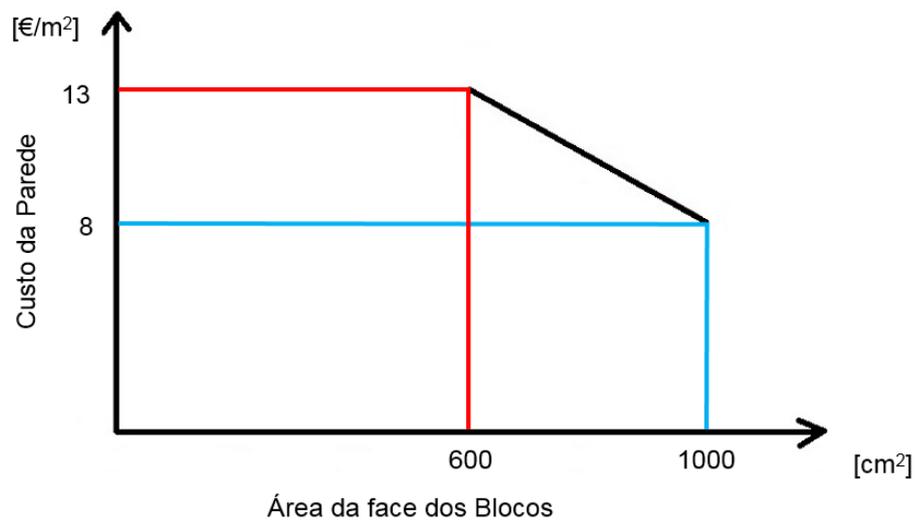


Figura 16: Relação entre o custo global da parede e as dimensões dos blocos que a constituem das paredes interiores exceto I2.

Da mesma forma que se comparou o custo global da parede com as dimensões dos blocos, associou-se também o tempo de mão-de-obra acumulado, isto é, a soma entre as horas de pedreiro e as horas de servente que cada parede requer. Verifica-se que, tal como acontece no estudo demonstrado na figura 16, à exceção da parede I2 a relação entre as horas de mão-de-obra e as dimensões dos blocos varia de forma linear, ou seja, quanto maiores as dimensões, menor o tempo de mão-de-obra. No caso da parede I2, o número de horas de pedreiro e servente não é o menor como seria de esperar se esta exibisse um comportamento semelhante às restantes, contudo, o número de horas é o segundo mais baixo, o que contribui para afirmar que esta, deve o seu custo essencialmente ao tipo de material que utiliza.

Observando o peso das unidades, constata-se que este não interfere significativamente no rendimento dos trabalhos, pelo que a variável mais influente será mesmo a área da face dos blocos.

As informações relacionadas com os pesos dos blocos foram obtidas a partir da massa volúmica do material ou retiradas das figuras 17 e 18 que se seguem, extraídas da dissertação constante na bibliografia em [25], nas quais estão descritos os principais tipos de blocos de betão e tijolo utilizados na construção civil.

Formas	Dimensões	Peso aproximado	Furação	Resistência à compressão
	(cm)	(kg)	(%)	(MPa)
	40*20*30	20-29	45-65	3,5-4,5
	50*20*30			
	40*20*25	20-25	45-65	3,0-4,5
	50*20*25			
	40*20*20	15-22	40-50	3,0-4,5
	50*20*20			
	40*20*15	12-18	40-50	4,0-5,0
	50*20*15			
	40*20*12	12-15	40-50	4,0-5,0
	50*20*12			
	40*20*10	10-13	30-50	4,0-5,0
	50*20*10			
	40*20*8	8-12	30-50	4,0-6,0
	50*20*8			
	40*20*5	8-10	-	6,0-8,0
	50*20*5			

Figura 17: Características dos blocos de betão correntes utilizados em Portugal [25].

Formas	Dimensões (cm)	Peso aproximado (kg)	Furação (%)	Resistência à compressão <sup>(2)</sup> (MPa)
	30*20*22 <sup>(1)</sup>	7,0-11,0	55-70	1,9-3,9
	30*20*15 <sup>(1)</sup>	5,0-7,0	50-65	2,5-4,9
	30*20*11 <sup>(1)</sup>	4,0-6,0	50-65	2,8-5,2
	30*20*9	3,5-5,5	40-60	3,0-5,7
	30*20*7 <sup>(1)</sup>	3,0-5,0	40-60	3,7-7,0
	30*20*4	2,0-3,0	40-50	6,0-7,0
	22*11*7 <sup>(1)</sup>	1,5-2,5	25-40	8,0-9,5
	22*11*5	1,2-1,7	25-40	8,0-9,5
	22*11*7 <sup>(1)</sup>	2,5-3,5	0	17,0-48,0

Figura 18: Características dos tijolos correntes em Portugal [25].

A partir dos dados presentes nos 3 quadros em 3.4.1, foram realizados os gráficos constantes na figura 19 nos quais é feita a distribuição do valor percentual médio dos custos relativos à mão-de-obra e outros recursos para cada tipologia de parede estudada.



Figura 19: Percentagem média de custos direcionada para a mão-de-obra face aos restantes componentes dos três tipos de paredes, (da esquerda para a direita): exteriores simples, exteriores duplas e interiores.

A parcela atribuída à designação de “Outros Recursos” na figura 19 compreende o consumo de materiais, equipamentos e operações auxiliares.

É possível aferir que em média, para os 3 tipos de paredes, cerca de metade do custo de execução vai para a mão-de-obra.

Com estes dados conclui-se que a execução tradicional de uma parede em alvenaria é um trabalho extremamente artesanal onde os custos com a mão-de-obra são significativos.

Tal como foi feito na análise dos custos globais, é exibido no quadro 7 um ranking que pretende traduzir quais as paredes onde os gastos com a mão-de-obra são mais significativos face ao total despendido.

Quadro 7: Ordenação crescente da percentagem de gastos com mão-de-obra em função do custo global, dentro de cada tipo de parede.

Tipo de Parede	Mão-de-obra	Tipo de Parede	Mão-de-obra	Tipo de Parede	Mão-de-obra
<b>ES3</b>	1,00	<b>ED1</b>	1,00	<b>I2</b>	1,00
<b>ES2</b>	1,29	<b>ED4</b>	1,06	<b>I1</b>	1,14
<b>ES4</b>	1,31	<b>ED3</b>	1,11	<b>I3</b>	1,49
<b>ES5</b>	1,74	<b>ED2</b>	1,25	<b>I5</b>	1,89
<b>ES1</b>	2,12	<b>ED5</b>	1,30	<b>I4</b>	1,95

Comparando a distribuição apresentada no quadro 6 relativa aos custos globais, com a ordenação do quadro 7 alusiva à percentagem de gastos com a mão-de-obra no custo total de execução, infere-se que em alguns casos a seriação é consistente, ou seja, as paredes mais caras são também as que possuem maiores percentagens de gastos com a mão-de-obra, como é o caso das exteriores simples ES1 e ES5 que se posicionam nos últimos lugares da tabela tanto na análise do quadro 6 como na do quadro 7. Por outro lado, são também detetadas discrepâncias nos posicionamentos de determinadas tipologias de paredes, onde uma parede barata deve considerável parte do seu valor à mão de obra ou uma parede cara pouco influenciada por esta. Como exemplo disso surge a parede interior I2, que representa uma situação onde a parede mais cara é aquela que atribui menor percentagem dos seus custos à mão de obra. O mesmo material (betão celular autoclavado) é usado na parede exterior simples ES3 onde se verifica que constitui também, dentro deste tipo, aquela cuja parcela de gastos com a mão-de-obra tem menos significado no custo global.

Tal situação sugere que o material é mais dispendioso, podendo por isso ter implicações ao nível do desempenho da parede.

Numa tentativa de atribuir graduações aos vários sistemas consoante os custos envolvidos na sua execução, elaborou-se uma classificação tendo por base a comparação entre importâncias, visto ser este o único elemento passível de servir como orientador para definir quais os preços melhores ou piores. Assim sendo, em cada grupo de paredes (tendo-se dividido em exteriores e interiores) é identificado o custo médio, tendo no entanto em atenção possíveis disparidades que tendam a distorcer esse valor em cada sistema, como acontece com o caso particular relacionado com a parede de pedra ES1, que por possuir um custo muito acima do normal, estabelece uma média de preços muito acima da realidade.

Posto isto, nas paredes exteriores foi isolado o caso ES1, atribuindo-lhe logo à partida a pior pontuação. De seguida, foi detetada a média das restantes situações, definindo que os valores abaixo da média teriam classificação de bom e muito bom enquanto que aqueles com valor acima desta são definidos como

médios ou maus. Para distinguir de entre os dois conjuntos de classificações (os que estão acima e abaixo da média) foi novamente descoberto qual o montante médio de cada novo conjunto, fixando que, por exemplo no caso da distinção entre bom e muito bom, aquele que estiver abaixo desta nova média deverá ter uma qualificação de muito bom. Estes critérios serão aplicados de igual forma para as paredes interiores.

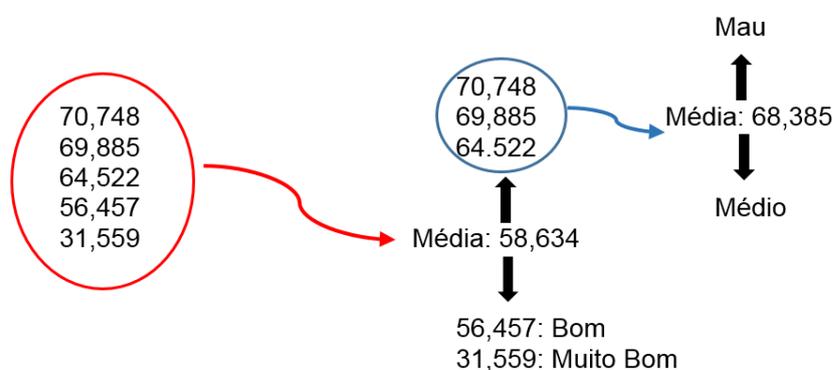


Figura 20: Exemplo do raciocínio utilizado para um conjunto de valores dos custos das paredes exteriores duplas.

### 3.4.3 RENDIMENTOS DAS TAREFAS

O tempo de execução das tarefas é uma variável crucial na construção civil em geral e em particular na construção das paredes exteriores e divisórias, dado o volume de trabalho que existe nesse sentido.

Para comentar o tempo médio que a execução de uma parede em alvenaria implica, é necessário recorrer à informação sobre os rendimentos da mão-de-obra e do equipamento, presentes na já referida publicação do LNEC [26].

Complementarmente, será necessário esclarecer algumas noções fundamentais sobre o cálculo de rendimentos de tarefas [27].

O rendimento de mão-de-obra corresponde ao tempo necessário para a execução de uma tarefa, por parte de um trabalhador ou de uma equipa.

$r_m$  – Rendimento médio e representa as horas de trabalho totais por unidade de tarefa em Hh/m<sup>2</sup>, ou seja, em Homens hora por m<sup>2</sup> (ou outra unidade de tarefa);

$r_{of/s}$  – Rendimento do oficial/servente e traduz as horas do respetivo (oficial ou servente) por unidade de tarefa, por exemplo:  $x$  h<sub>of</sub>/m<sup>2</sup>.

Assim sendo, pode ser calculado o seu rendimento médio através da fórmula:

$$r_m = r_{of} + r_s \quad (1)$$

A partir da noção de rendimento médio, serão apresentados os valores das horas de trabalho para cada parede, fazendo, tal como para outros factores, uma ordenação para distinguir quais as que requerem maiores horas de trabalho, utilizando para o efeito valores relativos em função da parede mais barata, como se pode verificar no Quadro 8.

Quadro 8: Ordenação crescente das paredes em função do número de horas de rendimento médio (rm) em valores relativos face à parede com menor número de horas.

<b>Tipo de Parede</b>	<b>rm (h)</b>	<b>Tipo de Parede</b>	<b>rm (h)</b>	<b>Tipo de Parede</b>	<b>rm (h)</b>
<b>ES3</b>	1,00	<b>ED2</b>	1,00	<b>I1</b>	1,00
<b>ES4</b>	1,05	<b>ED4</b>	1,53	<b>I2</b>	1,64
<b>ES2</b>	1,23	<b>ED5</b>	1,71	<b>I3</b>	1,66
<b>ES5</b>	2,32	<b>ED1</b>	1,79	<b>I4</b>	2,55
<b>ES1</b>	14,08	<b>ED3</b>	2,01	<b>I5</b>	2,93

Numa primeira impressão, e comparando com o “ranking” do quadro 7, verifica-se que o número de horas requerido por cada tipo de parede não está necessariamente associado à percentagem de custos empregues na mão-de-obra face aos restantes recursos, ou seja, a parede onde o número de horas de mão-de-obra investidas é menor, não é obrigatoriamente aquela com a menor percentagem do custo global na mão-de-obra e vice-versa.

Apesar de ter sido mencionado na introdução desta análise que o interesse será discutir valores relativos dado o carácter inconstante dos preços e para poder estabelecer comparações entre as paredes, é também interessante ter uma noção dos valores absolutos dos tempos e custos envolvidos, para que, quando existirem dados suficientes sobre a prefabricação de paredes, se possam confrontar os dois métodos construtivos aos vários níveis, justificando assim, a decisão por um método ou outro.

Posto isto, observando os dados das soluções de paredes exteriores e interiores mais frequentes, vemos que para uma parede exterior dupla com panos de tijolo furado de 15 e 11 cm de espessura (ED2), com isolamento térmico na caixa-de-ar, o tempo de execução desta tarefa corresponde a cerca de 1,52h/m<sup>2</sup>. Por outro lado, para a construção da comum parede interior de tijolo furado com 7 cm de espessura (I4), os tempos envolvidos são de 0,6h/m<sup>2</sup>, sem contar com os acabamentos.

Estes valores foram obtidos através dos rendimentos médios dos pedreiros e serventes, sendo que, para a tarefa de construção da parede dupla 15+11 temos 1,42 horas de pedreiro e 1,3 horas de servente, considerando-se a duração da tarefa como a maior dos dois. A esse valor foi somada a duração da atividade de colocação de isolamento para a qual são necessárias 0,1 horas de pedreiro e 0,1 horas de servente, constituindo o total de 1,52 horas.

Analogamente ao que aconteceu com a avaliação dos custos globais, a classificação dos rendimentos de equipa terá um fundamento relativo, baseado na comparação entre os vários tempos e na identificação dos valores médios. Os resultados serão apresentados no final do capítulo, num quadro resumo para todos os parâmetros.

#### 3.4.4 DESEMPENHO

Com o intuito de fechar a apreciação levada a cabo dos vários tipos de paredes em alvenaria, a avaliação do desempenho destas constitui um aspeto crucial, isto porque, para argumentar se determinada parede representa uma boa opção é crucial avaliar para além dos factores tempo e dinheiro, a sua capacidade em respeitar certas exigências funcionais.

Como já foi mencionado no subcapítulo orientado para as exigências funcionais, é esperado que as paredes em alvenaria possuam capacidade de resposta a uma série de factores, nomeadamente ao nível

de proteção contra os agentes atmosféricos exibindo boa estanquidade à água e ao vento, estabilidade, segurança ao fogo, conforto térmico e acústico, durabilidade e sustentabilidade.

Alguns dos factores que representam um papel crucial no desempenho de uma parede em alvenaria são de simples quantificação, enquanto outros, embora igualmente importantes, tornam-se difíceis de expressar na análise que está a ser realizada, dada a subjetividade destes.

Assim sendo, a avaliação do desempenho das paredes vai ter por base o comportamento térmico que pode ser facilmente quantificado através dos valores das resistências térmicas dos materiais constituintes das paredes. Complementarmente, será feita uma observação do parâmetro massa, demonstrando a sua ligação com o comportamento acústico e com a inércia térmica de uma habitação.

Para dar início à observação do comportamento térmico das paredes será necessário avaliar os coeficientes de transmissão térmica (U) das paredes exteriores, por permitirem conhecer a quantidade de calor que é perdido para o exterior. Para o efeito, foi consultado o ITE50 [28] no qual constam os valores das condutibilidades térmicas ( $\lambda$ ) de vários materiais de construção ou já os valores das resistências térmicas (R) de algumas paredes.

Para calcular os valores de R e de U é necessário recorrer às equações (2) e (3) respetivamente:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

Onde:

R – Resistência térmica do material [(m<sup>2</sup>.°C)/W];

e – Espessura da parede em [m];

$\lambda$  – Condutibilidade térmica do material [W/(m.°C)];

$$U = \frac{1}{R} \quad (3)$$

Onde:

U – Coeficiente de transmissão térmica da parede [W/(m<sup>2</sup>.°C)];

Recorrendo às equações apresentadas e ao ITE50 foram obtidos os valores de coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores simples e duplas. No caso da parede de pedra (ES1), por falta de informação mais específica, foram feitas algumas considerações para prosseguir com a análise de modo semelhante às restantes paredes, assim sendo, admitiu-se o uso de granito, com uma massa volúmica de 2000 kg/m<sup>3</sup> (uma aproximação feita aos 2500 kg/m<sup>3</sup> constantes no ITE50 para contar com vazios), e adotou-se uma espessura de blocos de 0,29 m, como sendo essa uma das espessuras mais correntemente encontradas em casas de alvenaria de pedra na zona do Porto.

No caso da parede constituída por blocos de betão celular autoclavado foi assumida uma massa volúmica de 550 kg/m<sup>3</sup> para poder conhecer a condutibilidade térmica ( $\lambda$ ).

Os valores apresentados consideram não só a alvenaria, mas também o espaço de ar para as paredes duplas (R=0,18 (m<sup>2</sup>.°C)/W), as resistências térmicas superficiais (R<sub>se</sub> = 0,04 (m<sup>2</sup>.°C)/W e R<sub>si</sub> = 0,13 (m<sup>2</sup>.°C)/W, exteriores e interiores respetivamente) e um reboco tradicional exterior e interior com 15mm de espessura correspondente a uma resistência térmica de 0,012 (m<sup>2</sup>.°C)/W). Sendo estes dados comuns para cada tipo de parede, de modo a possibilitar uma comparação confiável entre cada sistema.

Para proceder a uma avaliação dos coeficientes de transmissão térmica mais realista, é importante acrescentar às paredes analisadas a influência do isolamento térmico, já que atualmente este é sempre colocado nas paredes exteriores.

Existem soluções de isolamento térmico mais adequadas para determinada disposição construtiva do que outras, pelo que o sistema de isolamento difere das paredes duplas para as simples, e dentro das simples de acordo com o tipo de parede que está a ser utilizada. Contudo, para efeitos de simplificação e porque este é um exercício meramente teórico onde o único objetivo é comparar os coeficientes de transmissão térmica da alvenaria, a única distinção que será feita será ao nível do local onde se encontra o isolamento térmico, pelo que no caso das paredes duplas, as placas de de 4 cm de poliestireno expandido extrudido serão colocadas a preencher parcialmente a caixa e ar enquanto que as paredes exteriores simples as mesmas placas de isolamento serão colocadas pelo exterior. Posto isto, aos valores das resistências térmicas da alvenaria será acrescentado o valor da resistência térmica do isolamento,  $R = 1,081 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W}$ .

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores estão presentes no quadro 9.

Quadro 9: Valores das Resistências e Coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores.

<b>Exterior Simples</b>			<b>Exterior Dupla</b>		
	<b>R [(m<sup>2</sup>.C°)/W]</b>	<b>U [W/(m<sup>2</sup>.°C)]</b>		<b>R [(m<sup>2</sup>.C°)/W]</b>	<b>U [W/(m<sup>2</sup>.°C)]</b>
<b>ES1</b>	1,367	0,732	<b>ED1</b>	1,653	0,605
<b>ES2</b>	1,753	0,570	<b>ED2</b>	2,103	0,476
<b>ES3</b>	2,052	0,487	<b>ED3</b>	1,843	0,543
<b>ES4</b>	1,463	0,684	<b>ED4</b>	1,843	0,543
<b>ES5</b>	1,823	0,549	<b>ED5</b>	2,093	0,478

Com o objetivo de elaborar um sistema de classificação para cada parede de acordo com os valores dos coeficientes de transmissão térmica, recorreu-se aos dados relativos aos coeficientes de transmissão térmica de referência para cada zona climática de Inverno presentes na Portaria n°349-B/2013 [29], e aos níveis de qualidade considerados, através da relação entre o valor real e o valor de referência.

Quadro 10: Valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica em função da zona climática de Inverno para paredes exteriores [29].

<b>Zona climática</b>	<b>I1</b>	<b>I2</b>	<b>I3</b>
<b>Uref [W/(m<sup>2</sup>.°C)]</b>	0,50	0,40	0,35

Quadro 11: Método de classificação do nível de qualidade em relação aos coeficientes de transmissão térmica de referência [44].

<b>Nível de Qualidade</b>	<b>Limites de U</b>
<b>N0</b>	$U > U_{ref}$
<b>N1</b>	$U = U_{ref}$
<b>N2</b>	$U = 0,75U_{ref}$
<b>N3</b>	$U = 0,60U_{ref}$
<b>N4</b>	$U = 0,50U_{ref}$

Assim sendo, se considerarmos uma situação para o Grande Porto (zona climática de Inverno II), teremos os seguintes valores de U para cada nível de qualidade:

Quadro 12: Valores de U na zona do Grande Porto correspondentes a cada nível de qualidade.

<b>Nível de Qualidade</b>	<b>Ulimite [W/(m<sup>2</sup>.°C)]</b>
<b>N0</b>	> 0,50
<b>N1</b>	0,50
<b>N2</b>	0,375
<b>N3</b>	0,30
<b>N4</b>	0,25

Tendo como inspiração a classificação levada a cabo pelo REH para estipular níveis de qualidade em função dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos, adotou-se um sistema de classificação com abordagem semelhante para proceder à avaliação das paredes nas diversas perspetivas.

O referido sistema compreende a atribuição de uma classificação de 1 a 4, correspondentes à pior e melhor classificação respetivamente.

No caso da avaliação dos coeficientes de transmissão térmica (U), o nível de qualidade N4 é descartado, fazendo-se uma associação direta entre as classificações de 1 a 4 com os níveis de N0 a N3.

Para avaliar a qualidade das paredes interiores não faz sentido falar na sua resistência térmica, no entanto, estas terão influência no comportamento térmico e acústico das habitações.

A massa das paredes tem influência ao nível das cargas que o peso próprio destas exerce no edifício, na estabilidade da parede e no seu comportamento térmico e acústico da habitação. Serão avaliados estes dois últimos aspetos, partindo do princípio de que a massa representa uma contribuição vantajosa no sentido de obter o comportamento acústico e inércia térmica desejáveis.

Para tratar a atuação da massa no comportamento térmico, fala-se de inércia térmica, sendo esta uma propriedade que traduz a capacidade de armazenamento ou restituição do calor de um local e depende da massa superficial útil por unidade útil de pavimento [30].

Para calcular a inércia térmica é necessário aplicar a fórmula:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} r_i S_i}{A_p} \quad (4)$$

Onde:

$I_t$  – Inércia térmica interior [ $\text{kg/m}^2$ ];

$M_{si}$  – Massa superficial útil do elemento [ $\text{kg/m}^2$ ];

$r_i$  – Factor de correção do revestimento superficial;

$S_i$  – Área da superfície interior do elemento [ $\text{m}^2$ ];

$A_p$  – Área útil de pavimento [ $\text{m}^2$ ];

Pela análise da equação (4) verifica-se que, quanto maior a massa superficial útil do elemento, maior a sua inércia térmica, ou seja, quanto maior a massa total das paredes divisórias e exteriores simples, e a massa do lado interior do isolamento no caso das paredes exteriores duplas, maior será a inércia térmica. Tendo em conta que em qualquer dos três casos, esta massa tem valores limites ( $150 \text{ kg/m}^2$  para as exteriores e  $300 \text{ kg/m}^2$  para as interiores), não se pode pura e simplesmente concluir que quanto mais massa melhor, pois a partir de certo ponto torna-se indiferente. É ainda de referir que, a inércia térmica pode ser boa ou indiferente, dependendo muito do caso em questão, iremos no entanto retratar como um aspeto positivo.

A capacidade de isolamento das paredes a sons de condução aérea é de difícil quantificação pois interferem diversos factores, como a massa, a frequência e ângulo de incidência das ondas sonoras ou a rigidez da parede [25]. O facto de se tratar de uma parede dupla ou simples, com tijolos maciços ou furados traz repercussões ao nível da transmissão, mesmo que as massas dos panos das paredes duplas ou simples sejam iguais.

Pondo de parte a subjetividade do assunto e colocando em foco o parâmetro massa e a sua importância neste, é possível de modo simplista dizer que, o aumento da massa contribui para aumentar o isolamento a sons de condução aérea.

Será então analisado o referido parâmetro no ponto de vista dos dois aspetos referidos, sem outras considerações, e elaborando em conformidade com os outros factores já analisados, uma avaliação de 1 a 4, na qual os elementos com maior massa serão julgados com melhor pontuação (4).

De modo a simplificar a sua quantificação, a massa será avaliada através do peso da parede em  $\text{kg/m}^2$  resultante do peso de cada bloco multiplicado pelo número de blocos que a constituem.

## 3.4.5 AVALIAÇÃO GLOBAL

É possível argumentar que o interesse em avaliar qual a melhor opção de parede em alvenaria exterior ou interior num estudo direcionado para a prefabricação destes sistemas, tem como fundamento uma tentativa de replicar a solução ideal num contexto industrializado, através da sua prefabricação.

Quadro 13: Classificações de todas as paredes analisadas, em cada parâmetro considerado.

Parede	U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]	Custo global [€/m <sup>2</sup> ]	Tempo de Execução [h]	Peso Parede [kg/m <sup>2</sup> ]
ES1	1	1	1	4
ES2	1	3	4	2
ES3	2	3	4	1
ES4	1	4	4	4
ES5	1	2	3	2
ED1	1	1	1	3
ED2	2	4	3	2
ED3	1	1	1	3
ED4	1	3	2	3
ED5	2	2	2	4
I1	-	4	4	3
I2	-	1	3	1
I3	-	3	3	4
I4	-	2	2	1
I5	-	1	1	2

1	Mau
2	Médio
3	Bom
4	Muito Bom

No quadro 13 estão exibidas as classificações de todas as paredes nos vários parâmetros analisados referentes aos custos, rendimentos das tarefas, coeficientes de transmissão térmica e peso da parede.

Ao observar os resultados obtidos no parâmetro U, verifica-se que estes são muito negativos. Isto acontece porque os critérios utilizados para definir a avaliação dos coeficientes de transmissão térmica têm por base os níveis de qualidade estabelecidos pela regulamentação atualmente em vigor, enquanto que as soluções utilizadas são as que têm vindo a ser implementadas para dar resposta a outros níveis exigências.

Como já foi referido, as classificações são atribuídas do 1 ao 4 conforme seja pior ou melhor respetivamente a sua prestação no aspeto em observação. A partir deste quadro seria possível dizer qual a melhor opção do conjunto das paredes exteriores e interiores ao nível das perspetivas avaliadas. No

entanto, tendo em consideração a dificuldade em atribuir ponderações justas a cada aspeto, não é possível atribuir uma classificação global, contudo, com os dados do quadro 13 serão apresentados 6 gráficos que comparam cada parâmetro entre si, de modo que possam ser retiradas algumas ilações.

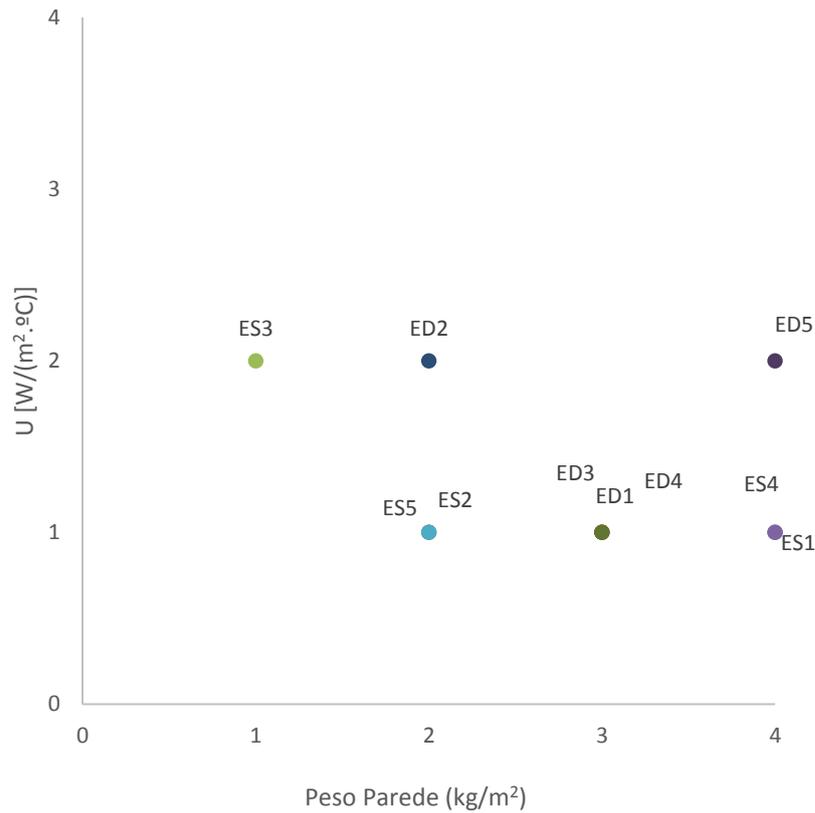


Figura 21: Relação entre o coeficiente de transmissão térmica (U) com o peso da parede em cada parede analisada.

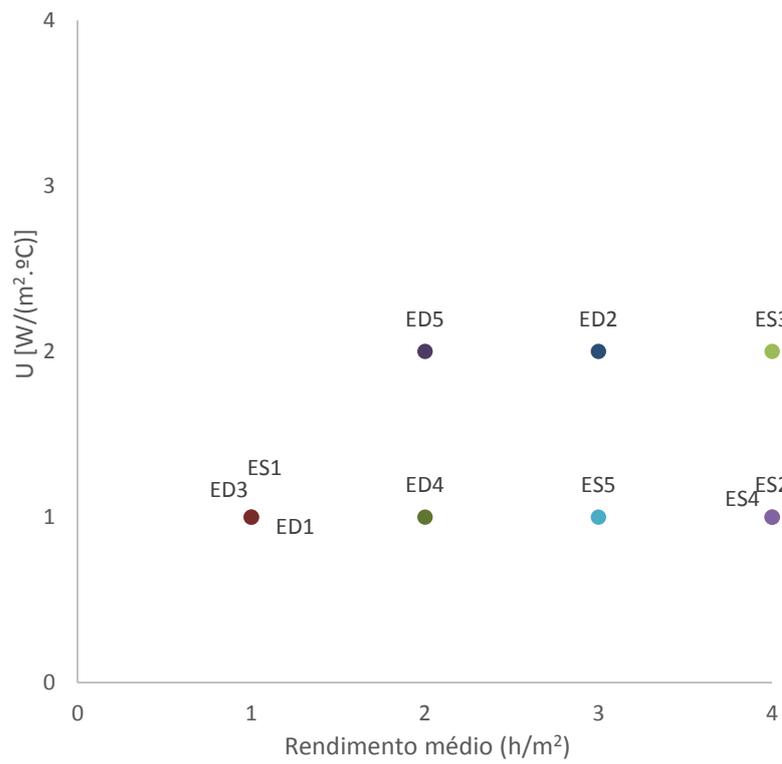


Figura 22: Relação entre o coeficiente de transmissão térmica (U) e o rendimento médio em cada parede analisada.

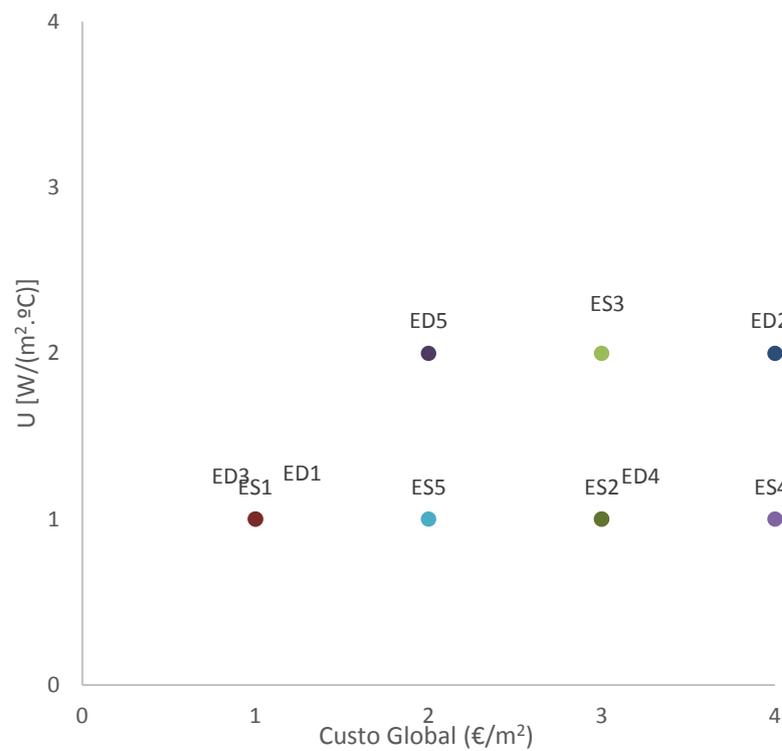


Figura 23: Relação entre o coeficiente de transmissão térmica (U) e o custo global em cada parede analisada.

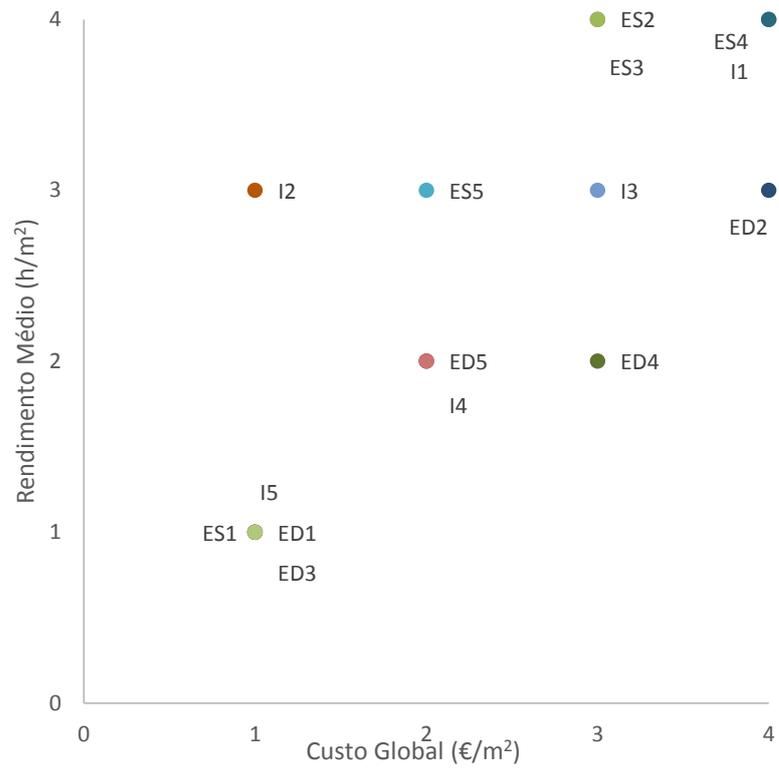


Figura 24: Relação entre o custo global e o rendimento médio em cada parede analisada.

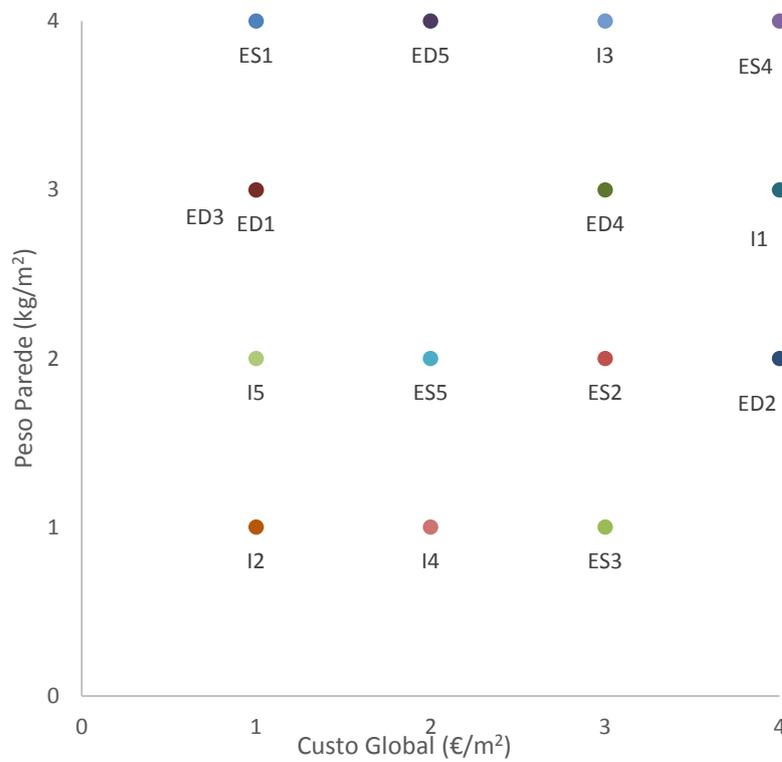


Figura 25: Relação entre o custo global e o peso da parede em cada parede analisada.

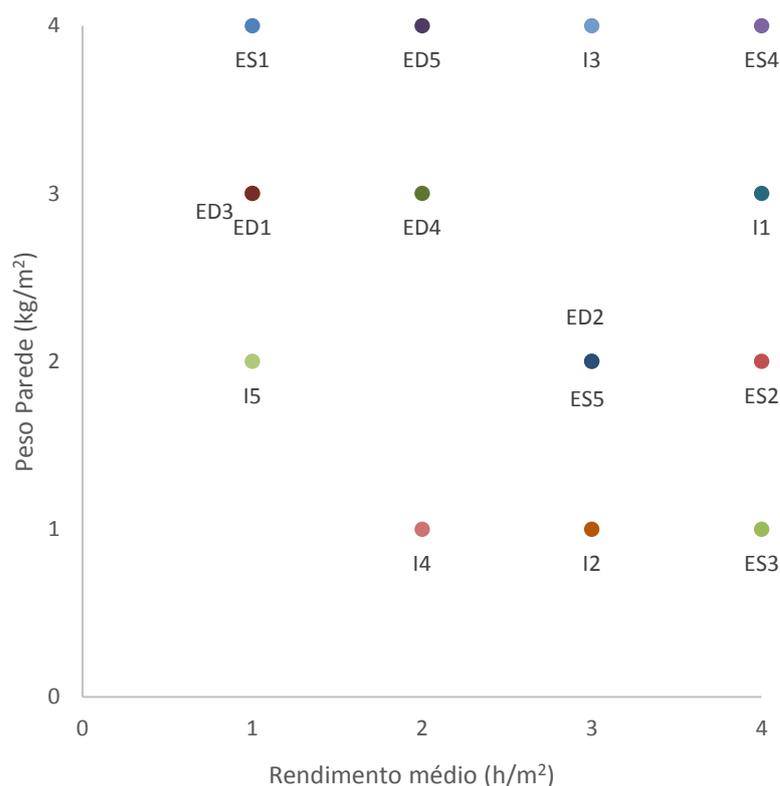


Figura 26: Relação entre o peso da parede e o rendimento médio em cada parede analisada.

Em certos casos não é possível estabelecer nenhuma relação lógica entre parâmetros, como acontece na comparação explicitada nas figuras 21, 22, 25 e 26 ou seja, o coeficiente de transmissão térmica não exerce influência sobre o rendimento ou o peso da parede, nem este estará dependente do custo global da parede. Também o rendimento, ao contrário do que seria intuitivamente de esperar, não é influenciado pelo peso da parede à qual estão associados blocos mais pesados manobrados pela mão-de-obra, havendo mesmo uma parede com a maior pontuação nos dois parâmetros, ou seja, com maior peso e melhor rendimento.

Por outro lado, retiram-se conclusões interessantes, nomeadamente, ao comparar o custo da parede com o coeficiente de transmissão térmica detetam-se paredes com piores U e piores custos ao mesmo tempo que uma parede com melhor pontuação de U é também das mais baratas. Tendo em consideração a importâncias dos parâmetros, a referida parede (ED2) representa provavelmente uma das soluções mais viáveis.

À partida, quanto melhor o rendimento, menor será o custo, ou seja, seria de esperar que as paredes que obtiveram pontuação 4 num parâmetro também o obtivessem para o outro, mas essa relação nem sempre se verifica, pois o custo é também influenciado pelos materiais utilizados, por exemplo, a parede I2 possui bons rendimentos para um mau custo global.

Voltando a mencionar o coeficiente utilizado para refletir a influência das condições em obra e da eficiência de trabalho nos rendimentos dos trabalhadores e conseqüentemente no custo global das operações, é de salientar que os dados apresentados consideram condições ideais, o que nem sempre, senão raramente, acontece na construção tradicional, onde os trabalhos são realizados sobretudo *in situ*, sujeitos a condições atmosféricas que podem complicar bastante as atividades. Também a fraca especialização da mão-de-obra deixa dúvidas quanto a considerar uma muito boa eficiência de trabalho.

Contudo, num contexto industrializado e empregando produtos prefabricados, é mais fácil atingir a situação correspondente ao coeficiente de 1, porque, como já foi mencionado, é comum nesta situação o investimento em trabalhadores com maiores habilitações, e a existência de um local de trabalho mais produtivo.



# 4

## PREFABRICAÇÃO DE PAREDES EM ALVENARIA

### 4.1. INTRODUÇÃO

A prefabricação ainda tende a possuir uma imagem negativa no mercado habitacional por ser muitas vezes associada a materiais que não oferecem a resistência nem as condições correntemente associadas à construção *in situ*. Neste cenário, a prefabricação de paredes em alvenaria não será enquadrada unicamente no contexto de construção rápida, onde as paredes são erguidas num dia, mas sim no de prefabricação pesada, como um sistema seguro e de qualidade.

Numa realidade onde a prefabricação ainda não se encontra muito difundida, componentes como paredes divisórias e de fachada serão presumivelmente os próximos a receber destaque e a ser implementados, atendendo à influência que estes exercem tanto a nível económico como na coordenação de tarefas, condicionando a execução de outras operações e consequentemente, a duração de toda a empreitada.

Para o efeito têm sido desenvolvidos esforços de investigação e de desenvolvimento na prefabricação de paredes cujo objetivo é oferecer preços e tempos de execução competitivos face à prefabricação leve, proporcionando características que esta não possui.

Dentro da prefabricação pesada, salienta-se a incidência mais habitual nos seguintes componentes:

- Lajes;
- Pilares e vigas;
- Paredes de fachada e de compartimentação.

No que respeita às paredes, é mais frequente optar pelo betão armado para a prefabricação de paredes de fachada, sendo a alvenaria uma solução pouco comum.

Embora o objetivo do presente trabalho seja avaliar a prefabricação de paredes em alvenaria, parece adequado fazer uma análise de um ponto de vista geral no que toca à prefabricação de paredes, sublinhando os problemas comuns, independentemente do material, fazendo mais à frente uma análise focada nas questões específicas da alvenaria.

Neste sentido, a análise feita no presente capítulo resulta de uma tentativa de explicar os critérios que uma parede prefabricada deverá respeitar, e principais factores que condicionam a sua construção, relacionados com todos os aspetos que direta ou indiretamente influenciam a prefabricação deste sistema, desde o início de produção até ao seu comportamento em serviço. De entre as questões gerais da prefabricação de paredes salientam-se os seguintes:

- Modulação;

- Dimensionamento;
- Ligações e juntas;
- Tolerâncias;
- Incorporação de isolamento térmico;
- Transporte;
- Controlo de qualidade;
- Instalações e acabamentos.

Segue-se a exploração dos vários aspetos referidos e considerados determinantes para a construção prefabricada de paredes onde serão identificados os problemas e demonstradas algumas das soluções elaboradas por várias organizações para ultrapassar os desafios e contribuir para o desenvolvimento dos produtos industriais na construção.

## 4.2. MODULAÇÃO

A construção *in situ* oferece uma flexibilidade ao nível das dimensões que o contexto prefabricado não possui. Pelo método tradicional a parede “cresce” no seu local final, pelo que é possível contornar facilmente possíveis desvios do projeto e o “monolitismo” não causa quaisquer problemas porque o edifício desenvolve-se como um todo.

A implementação de paredes prefabricadas recomenda que o arquiteto estabeleça o projeto em coordenação modular, isto é, numa malha onde a unidade de medida é o módulo de modo a definir por completo a posição e dimensão dos componentes com vista a minimizar o espaço para erros. O uso da malha de coordenação modular entende a organização espacial do edifício como um todo, uma vez que os componentes vão depender uns dos outros, ou seja, se um falha, tudo falha.

## 4.3. DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento de uma estrutura prefabricada segue os mesmos princípios estruturais que uma estrutura construída *in situ* contudo, um edifício formado pela assemblagem de componentes prefabricados possui certas singularidades face à construção tradicional, monolítica. Enquanto que no segundo a estrutura é homogénea e a transmissão de cargas é tratada de certo modo, a primeira será constituída por várias parcelas, possuirá interfaces e juntas com possíveis movimentos que o dimensionamento tradicional não inclui.

Especificando para o projeto de paredes, este dependerá obviamente de fazer a distinção entre parede resistente e não resistente, de fachada ou de compartimentação, existindo soluções distintas para cada situação. Os eurocódigos podem servir de apoio dependendo do caso e material em questão (betão, alvenaria, compósitos...), contudo é sempre necessário fazer considerações para atender às particularidades que a prefabricação coloca.

A segurança estrutural depende do dimensionamento do painel em si e em grande parte, do projeto das ligações do painel à restante estrutura (piso, pilares e vigas), entre as suas possíveis camadas e entre painéis adjacentes [45].

O projeto estrutural de painéis deve ser realizado de acordo com os códigos locais e deve contemplar as ações e condições a partir da sua fabricação até estar em serviço, passando pelas manobras de arrumação, transporte e montagem a que vai estar sujeito desde o momento em que é produzido em fábrica [46].

As ações consideradas são as que figuram em projeto elaborado mediante os códigos em vigor, pelo que os painéis e respectivas ligações deverão resistir tanto a cargas dinâmicas, como ventos e sismos, como a forças positivas e negativas em todas as direções.

Para servir de exemplo de algumas considerações tidas em conta no dimensionamento de painéis prefabricados, será observado um tipo específico de painel sandwich, denominado P2P cujas características e critérios são abordados pelo documento francês “Document Technique d’Application, Référence Avis Technique 3/12-722. P2P” [47].

Estes painéis de fachada são constituídos por 2 panos de betão armado com isolamento térmico na camada intermédia e podem possuir função resistente ou não resistente, sendo que os últimos são autoportantes, isto é, apesar de não contribuírem para a estabilidade do edifício possuem resistência para suportar o seu peso próprio. As espessuras variam de acordo com os seguintes valores:

- Pano exterior de betão armado com 7 a 8 cm de espessura;
- Isolamento térmico na camada intermédia com 6 a 15 cm de espessura;
- Pano interior de betão armado com espessuras mínimas de 9 e 12 cm caso se trate de um painel não resistente ou resistente, respetivamente. A espessura máxima deste pano é de 25 cm.

No caso de painéis resistentes, o gabinete de estudos técnicos calcula os esforços de transmissão dos elementos definindo a distribuição e as secções de armaduras necessárias à sua estabilidade.

Salienta-se que os painéis com aberturas, para além das especificações determinadas para os painéis completos, devem respeitar os seguintes critérios:

- Caso o painel possua duas aberturas, estas não podem ultrapassar as dimensões 1,20x1,20 m.
- Para painéis com uma abertura, as dimensões máximas para a largura e altura da mesma são de 2,40 e 2,10 m respetivamente.

Na eventualidade de se tratar de uma zona sísmica, é necessário fazer considerações dimensionais em função desta situação particular, pelo que o cálculo terá por base os métodos de análise indicados na norma NF EN-1998-1.

Os princípios de transmissão de cargas neste tipo de zona deverão ser feitos através ligações rotuladas.

## **4.4. LIGAÇÕES**

### **4.4.1 REQUISITOS GERAIS**

A montagem dos painéis prefabricados entre si e com a restante estrutura é um dos aspetos que levanta maiores preocupações e dificuldades na temática da prefabricação, uma vez que influencia a sua estabilidade e bom funcionamento em geral. Estas ligações podem ser diferenciadas de acordo com os componentes a que é feita a fixação, distinguindo-se 3 situações de ligação:

- Entre os componentes do painel;
- À estrutura (solo, pilares, vigas);
- Entre painéis adjacentes.

É necessário garantir que as ligações que transformam um conjunto de componentes prefabricados num edifício completo, tenham a capacidade de resistir às várias solicitações, sejam elas derivadas do peso próprio e sobrecargas, de ações dinâmicas, acidentais ou de forças causadas por restrições volumétricas.

Tal como acontece para o dimensionamento estrutural em geral, para garantir o bom funcionamento da ligação é aconselhável considerar um factor de segurança que poderá variar entre 1,0 e 1,33 (no caso de painéis em betão) estando este valor dependente da importância da conexão em específico [7].

A ductilidade é uma característica que a ligação entre os componentes não pode dispensar. Esta permite que a ligação, perante um excesso de carga (superior à carga para a qual foi projetada) tenha a capacidade de sofrer uma deformação plástica. Desta forma, ocorre um deslocamento que gera a atenuação das forças em ação em vez da rutura imediata. Por outro lado, a deformação facilita a identificação de uma anomalia [48].

É necessário ter em atenção a proteção dos elementos metálicos ao meio exterior, pois a sua oxidação põe em causa a resistência da peça e provoca danos no material onde está inserida. Para isso é aconselhável a colocação de pinturas anti-ferrugem, uma camada de proteção de por exemplo argamassa, ou a utilização de aço inoxidável se o meio ambiente assim o justificar. Esta proteção deve também considerar a resistência ao fogo que será garantida de modo semelhante, ao cobrir os elementos com betão ou argamassa e utilizando materiais cujas características cumpram os requisitos de qualidade exigidos pelos regulamentos de segurança ao fogo [49].

Para salvaguardar das variações dimensionais entre projeto e a realidade e como auxílio no posicionamento, é de interesse projetar as ligações de modo a que estas possuam dispositivos que permitam o ajuste em três direções de modo a nivelar facilmente os componentes.

Surgem numerosas soluções mais ou menos criativas para a realização das ligações entre componentes, mas, dependendo do material e geometria respetivos, de um modo geral esta é realizada através do preenchimento com betão ou argamassa (ligação de continuidade), ligação aparafusada, soldada ou de atrito.

#### 4.4.2 FIXAÇÃO DOS COMPONENTES DO PAINEL

É importante garantir a fixação entre as camadas constituintes dos painéis, de modo a impedir a queda de parcelas ou instabilidade que afete o comportamento do painel ao nível das várias funções que desempenha.

Como exemplo disso temos a união do painel P2P assegurada através de elementos de fixação projetados para suportar três solicitações diferentes (ver figura 27):

- Esforços verticais provenientes do peso próprio do pano exterior (“Plat porteur”);
- Esforços horizontais paralelos ao plano do pano gerando torção (“Plat torsion”);
- Esforços horizontais perpendiculares ao plano do pano (“Eplingle liason”).

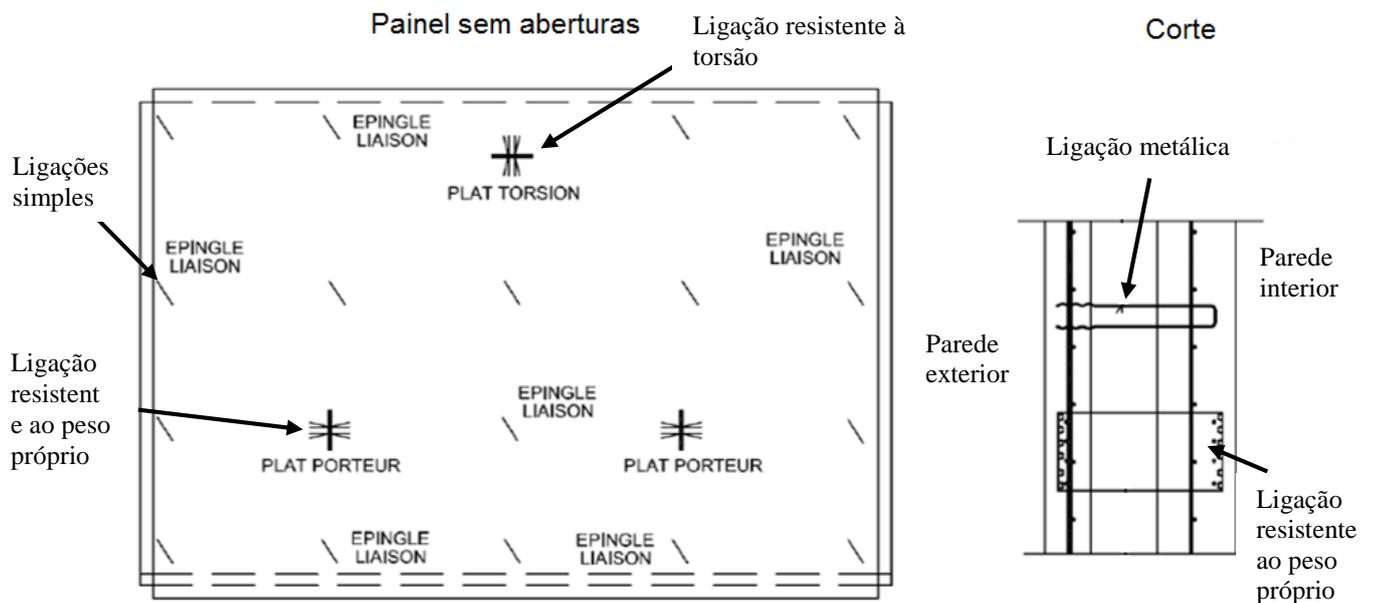


Figura 27: Princípio de colocação dos elementos de fixação dos panos (vista do painel e corte) [47].

#### 4.4.3 LIGAÇÃO DO PAINEL À ESTRUTURA

A ligação entre o painel e a estrutura é geralmente realizada com recurso a elementos de fixação. Seguem-se alguns exemplos concretos de como é resolvida esta questão, na empresa barkshire panels systems, nos painéis thermomass e P2P.

A Barkshire Panels Systems é uma empresa norte-americana de construção civil dedicada à prefabricação de paredes em alvenaria de tijolo, pelo que interessa estudar os métodos que esta utiliza para dar resposta ao vários aspetos críticos, nomeadamente aquele que se irá analisar agora, relacionado com a ligação dos painéis à estrutura.

Para cada painel existem dois pontos para suporte do peso próprio que se encontram na parte superior deste, e idealmente localizados no seu centro de massa lateral.

Para fornecer resistência a cargas dinâmicas (ventos, sismos, ...) e proporcionar estabilidade, são colocados conetores laterais abaixo dos pontos de suporte e ao longo do painel.

Antes de instalar os painéis, são soldadas barras de aço na estrutura, normalmente a acessórios metálicos inseridos na laje ou a pilares. A estas barras é feita a ligação com os conetores que suportam o peso próprio do painel (figura 28). Uma vez associados os painéis ao conetores, os trabalhadores ajustam a sua posição para que, assim que estes estejam no sítio certo a ligação seja soldada [50].

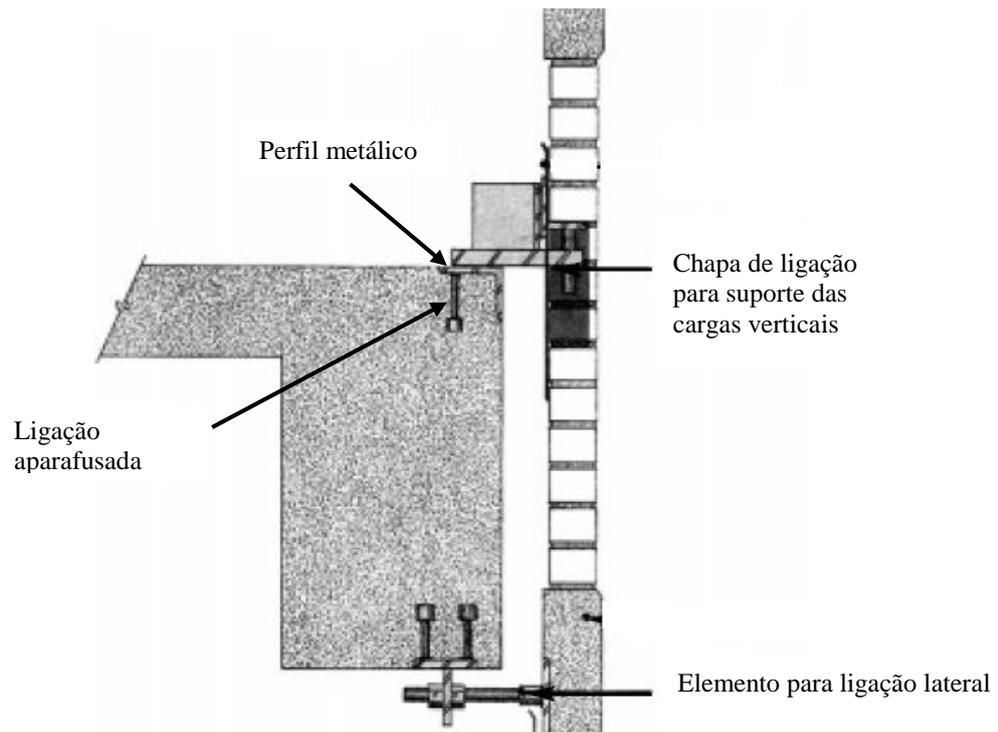


Figura 28: Pormenor da ligação entre o painel e a estrutura [50].

O sistema Thermomass foi apresentado pela National Precast com vista a solucionar problemas de inserção de isolamento térmico em painéis prefabricados, cujas características são desenvolvidas mais à frente no sub-capítulo do comportamento térmico.

Os painéis deste sistema são ligados à estrutura metálica *in situ* por meio de uns acessórios inseridos neles aquando a sua prefabricação como se pode ver na figura 29.

A ligação entre painéis é feita a partir de juntas verticais localizadas na parte superior e inferior de cada painel. Nestas mesmas juntas é realizada uma conexão lateral do painel à estrutura [51].

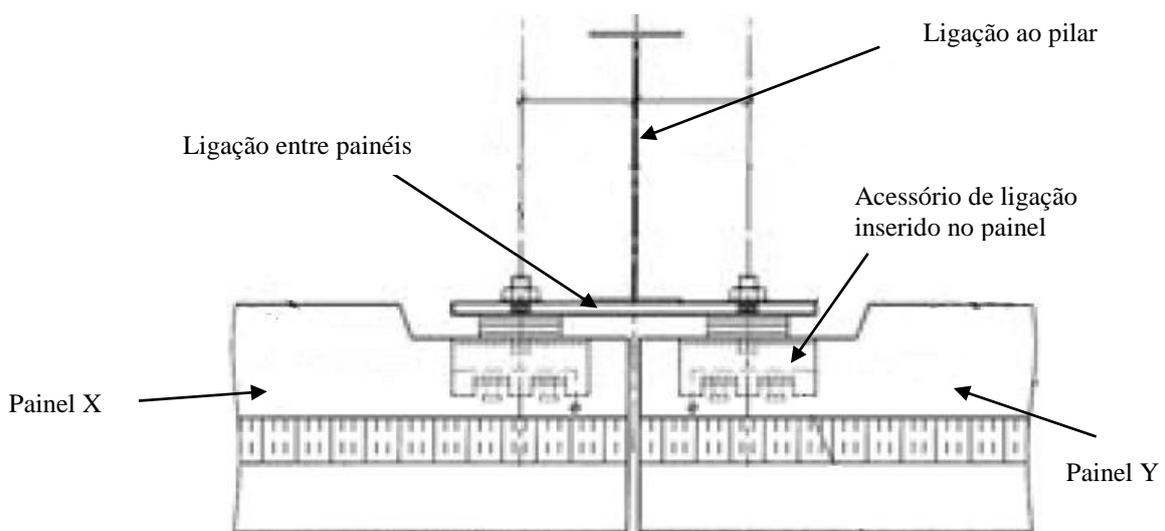


Figura 29: Junta vertical de ligação a pilar [51].

A base dos componentes, é argamassada diretamente à fundação (figura 30).

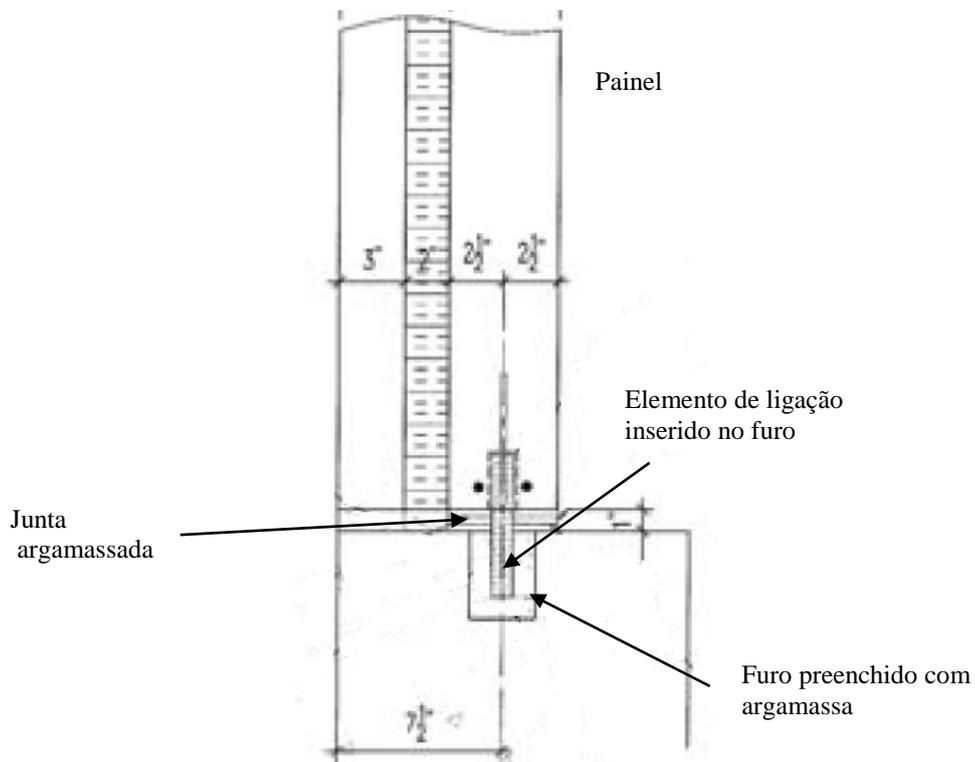


Figura 30: Ligação do painel à fundação [51].

Na figura 31 é possível verificar que a ligação entre os painéis P2P e o piso é realizada através de armaduras inseridas no painel e a betonagem do pavimento *in situ*.

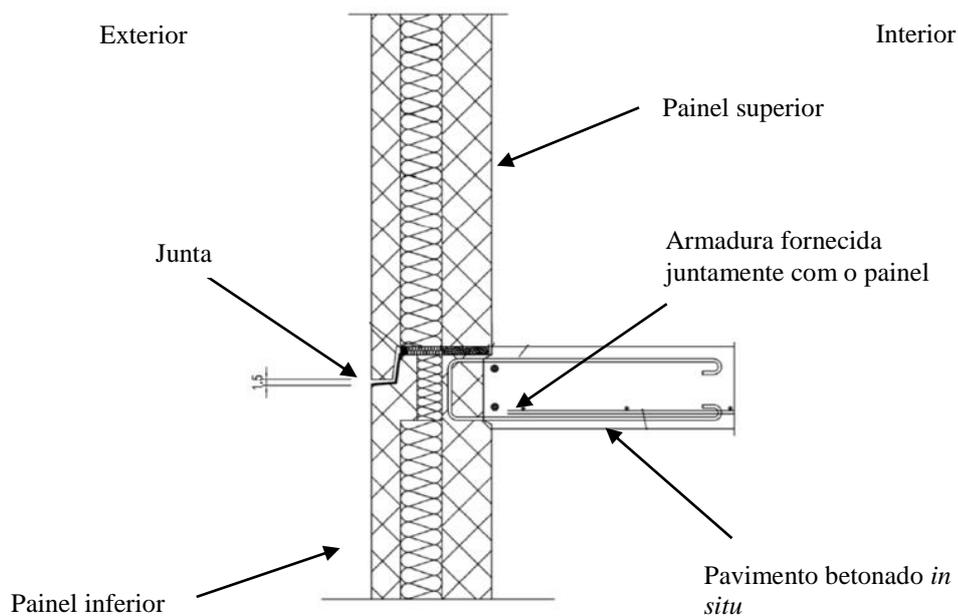


Figura 31: Ligação entre painéis P2P e piso [47].

#### 4.4.4 LIGAÇÃO ENTRE PAINÉIS ADJACENTES

O estudo de um protótipo em painéis prefabricados com blocos cerâmicos estudado pelo grupo de desenvolvimento de sistemas em alvenaria estrutural e pelo laboratório de sistemas construtivos da Universidade Federal de Santa Catarina, permitiu detetar uma abordagem curiosa à problemática da ligações nos painéis prefabricados.

Estes são constituídos por uma armadura perimetral na qual estão inseridos *inserts* e *parabolts* metálicos com o objetivo de assegurar a fixação a ganchos de içamento e para unir uma tela perfurada responsável pela ligação entre painéis.

A fixação da base do painel é realizada diretamente na laje e o travamento dos painéis através de escoras metálicas situadas no centro destes. Os painéis-laje são posicionados sobre chapas perfuradas galvanizadas e devidamente niveladas, fixadas na parte superior dos painéis de parede e contribuem para a ligação e travamento dos corpos verticais [52]. Ou seja, a ligação de painéis adjacentes é assegurada pela chapa colocada na parte superior destes, sobre a qual é vertida argamassa e posicionado o painel de piso cabendo a este a função de unir os painéis (figura 32).

Esta metodologia torna o processo simples e rápido, mas levanta algumas questões quanto à estabilidade da estrutura.

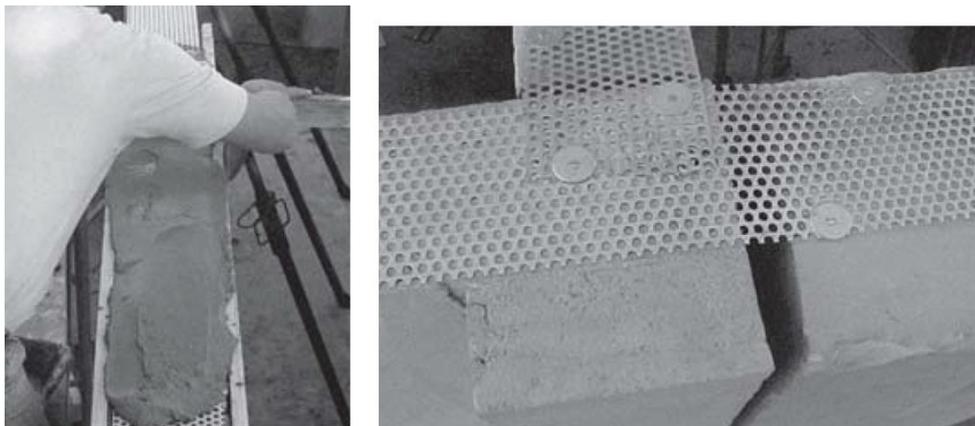


Figura 32: Métodos de ligação dos painéis [52].

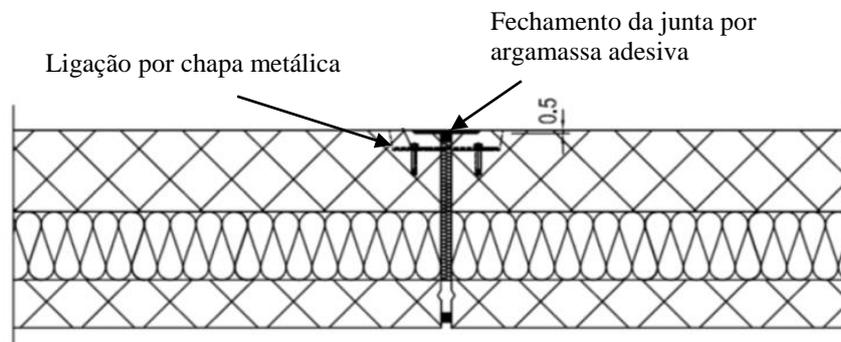


Figura 33: Pormenor de ligação vertical entre painéis P2P através de elemento metálico de fixação [47].

A ligação entre painéis do sistema Thermomass é feita em simultâneo com a ligação à estrutura como se pode observar na figura 29.

As juntas entre materiais diferentes devem ser projetadas para acomodar movimentos diferenciais e desvios de cada painel, material e componentes adjacentes (diferentes materiais implicam diferentes variações dimensionais com a temperatura). No caso dos painéis P2P, a largura nominal das juntas é de 1,5cm a fim de permitir a dilatação do pano exterior sem que corra risco de choque [47].

É preciso garantir a proteção das juntas de modo a evitar infiltração de água e de ar. Esta estanquidade é garantida através da aplicação de produtos apropriados geralmente uma espuma impregnada formando uma barreira. A aplicação é efetuada na parte exterior da fachada, deve cumprir requisitos de qualidade, as suas propriedades não deverão ser influenciadas pelas condições atmosféricas e a sua posição permitir fácil reparação/renovação. O detalhe pode ser visualizado na figura 34.

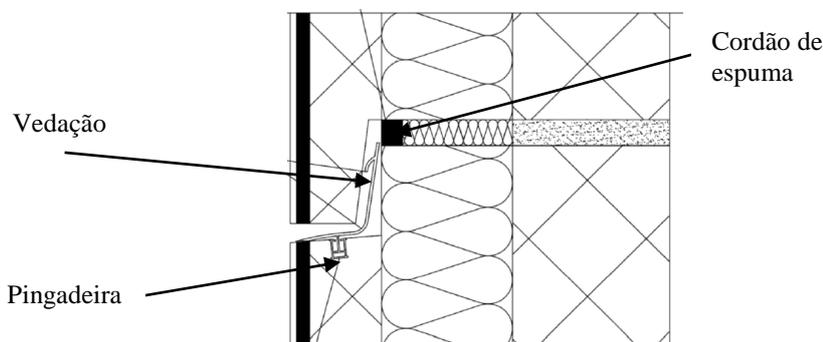


Figura 34: Pormenor do corte vertical da junta de estanquidade entre 2 painéis[47].

O sistema representado na figura é constituído por um cordão de espuma que assegura a estanquidade ao ar e à água com posição recuada para o interior do painel, tendo sido inserida uma pingadeira para efetuar a evacuação da água.

#### 4.5. TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS

As tolerâncias do produto compreendem a estipulação de variações admissíveis em relação ao que figura em projeto e podem ser aplicadas a questões dimensionais (largura, comprimento e espessura), ou a questões relacionadas com o posicionamento do componente em obra, face ao que estava definido na fase de planeamento [7].

Caso as tolerâncias não sejam respeitadas, o elemento pode ainda ser aceite mediante o cumprimento de certos critérios como a não afetação da integridade da estrutura em si ou a facilidade de correção do elemento de modo a colocá-lo dentro dos limites previamente estabelecidos.

Existem sempre ou quase sempre desvios entre as dimensões consideradas no projeto e as dimensões reais das peças. Posto isto, prevêem-se tolerâncias dimensionais.

Segundo a norma C901-01 intitulada “Standard Specification for Prefabricated Masonry Panels”, as dimensões correspondentes à largura e comprimento dos painéis prefabricados em alvenaria, devem ser múltiplas de unidades individuais de alvenaria. A espessura dos painéis deve ser adequada de modo a assegurar a resistência a vários critérios que devem estar estipulados nos códigos construtivos.

No que diz respeito às variações toleráveis dos painéis, estabelece-se que os comprimentos e larguras cumpram os limites listados, tendo em conta que se está a falar de uma norma americana, com outras unidades:

- +/- 3,2 mm para dimensões até 3,05m;
- + 3,2 mm ou - 4,8 mm entre 3,5 e 6,1 m;
- + 3,2 mm ou - 6,4 mm nos limites de 6,096 e 9,144 m;
- A partir do último limite, a cada acréscimo de 3,5 m a variação máxima é de 1,6 mm.

No caso da espessura, a variação não pode exceder os - 3,2 mm ou os + 6,4 mm.

#### 4.6. TRANSPORTE

Os painéis prefabricados são transportados em direção ao estaleiro com a ajuda de semi-reboques onde são colocados na posição vertical. Antes de saírem da fábrica, todos os elementos são alvo do devido controlo, confirmando as condições gerais do material e identificados com o respetivo peso e referência, bem como o nome do cliente e da fábrica onde foi produzido.

O equipamento para elevação dos componentes e a respetiva conexão com o painel devem suportar o equivalente a 4 vezes o peso do painel que está a elevar. É necessário fazer considerações relativamente às inclinações das forças de elevação a atuar [46]. Ou seja, a operação de elevação do componente deve ser pensada de modo que não exista o risco de o painel cair ou ser danificado devido a ligação deficiente entre este e o equipamento, ou por falta de capacidade do último, garantindo assim a segurança dos trabalhadores que manipulam o elemento e evitando danos que conduzam a problemas de estabilidade, durabilidade ou estéticos.

Para o transporte de painéis de alvenaria de tijolo que possuam canais verticais, existe uma solução que se provou vantajosa do ponto de vista de facilidade de manobra dos componentes e na sua resistência em geral. Esta consiste na inserção de ancoragens no interior dos vazios preenchidos de seguida com argamassa, de tal modo que, após o período de cura (cerca de 1 ou 2 dias, dependendo do tipo de argamassa), estas ancoragens são conetadas a guindastes que vão içar o painel e proceder às atividades de transporte e montagem (ver figura 35).

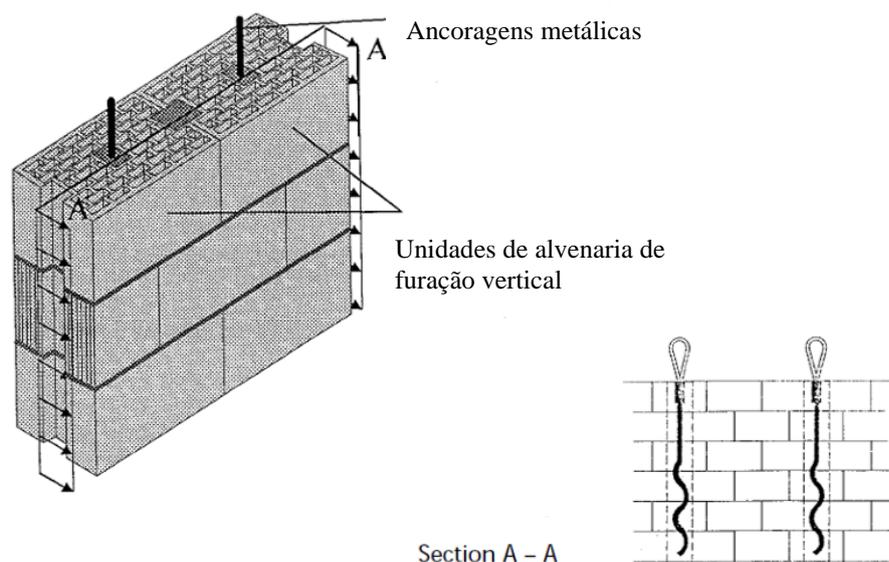


Figura 35: Painel de alvenaria de tijolo com sistema de suspensão através de ancoragens [53].

Para situações onde não existam os referidos vazios, surgem outras alternativas:

- É realizado um furo na base do bloco através do qual se faz passar um parafuso depois ligado a uma guindaste que, com o auxílio de correntes permite fazer a elevação da peça;
- Suspensão do painel através de tiras que o contornam, ou de um suporte para transporte. Pode surgir a necessidade de efetuar reforços no painel para o efeito.

Em qualquer dos casos referidos é necessária a existência de verificações minuciosas de segurança que garantam a capacidade de elevação de cargas das ancoragens, dos parafusos associados ao guindaste ou das tiras de suspensão na área de interface entre estas e o elemento prefabricado, de tal modo que é assegurada a proteção do material e dos trabalhadores que o manuseiam [53].

#### **4.7. CONTROLO DE QUALIDADE**

Para assegurar a qualidade, deverão ter lugar procedimentos de preparação dos materiais que constituem os painéis e testes de controlo de qualidade dos mesmos, cumprindo as especificações regulamentares.

É realizado um controlo ao longo dos vários processos de produção protagonizado pelo pessoal responsável, seguindo os procedimentos descritos nos guias técnicos. As principais medidas de controlo distribuem-se pelas várias etapas de produção, nomeadamente ao nível da moldagem nos panos interior e exterior, na verificação de conformidade destes antes da secagem e no levantamento, armazenamento e transporte dos painéis.

#### **4.8. COMPORTAMENTO TÉRMICO**

##### **4.8.1 INTRODUÇÃO**

No capítulo 3 foi mencionado o facto de as paredes estarem atualmente sujeitas a elevados padrões exigenciais envolvendo vários aspetos, nomeadamente ao nível de conforto térmico e acústico, resistência ao fogo, segurança, sustentabilidade, durabilidade e manutenção. Posto isto, as paredes prefabricadas deverão ser produzidas de modo a dar resposta a estas mesmas exigências, para que, desta forma, seja possível usufruir da melhoria da produtividade com a conseqüente economia de tempo e de dinheiro a que este método construtivo vem sempre associado, sem no entanto, abrir mão da qualidade das soluções.

O comportamento térmico assume atualmente grande influência na qualidade de um edifício, pelo que existem diversas soluções de paredes prefabricadas com diferentes formas de abordar a integração de elementos que contribuam para o isolamento térmico destas. Salientam-se as soluções dos seguintes casos concretos:

- Sistema Thermomass;
- Painéis sandwich constituídos por PCM;
- “Full Back-up system”;
- Painéis P2P.

##### **4.8.2 SISTEMA THERMOMASS [51]**

Este sistema consiste em três camadas:

- O pano exterior prefabricado, é constituído por tijolos unidos e revestidos na face interior por argamassa, formando uma camada total de cerca de 7,62 cm de espessura;

- Camada intermédia formada pelo isolamento numa espessura total de 5,08 cm.
- No pano interior encontra-se a parede estrutural realizada à base de uma combinação de betão com 12,7 cm de espessura.

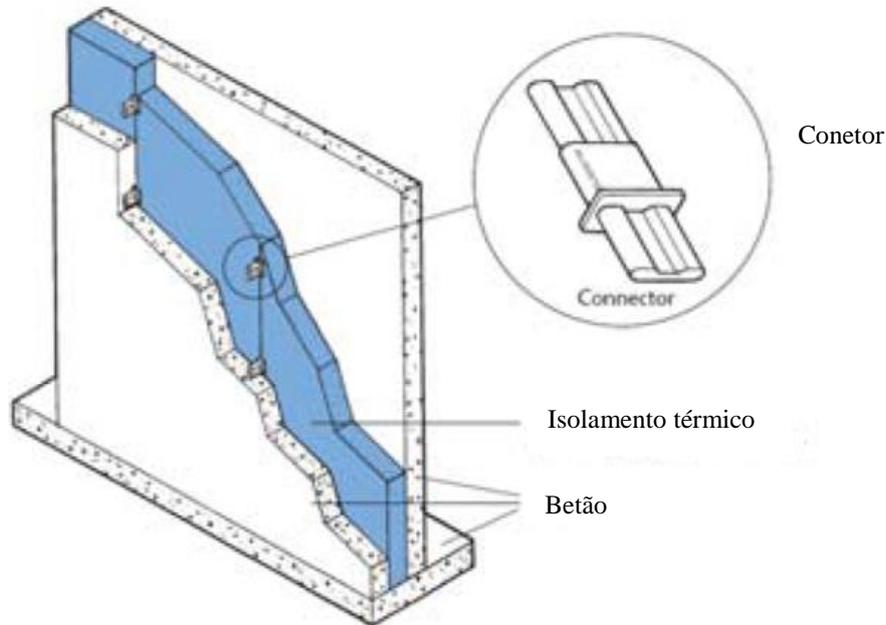


Figura 36: Sistema Thermomass [51].

Para assegurar a união das três camadas são utilizados os conectores “Thermomass”. Estes, para além da elevada resistência possuem uma característica que torna o sistema especial, isto porque, ao serem constituídos por um composto de fibra, as pontes térmicas são menores em comparação com os clássicos acessórios metálicos, o que contribui para uma melhoria do comportamento térmico geral da parede.

As etapas seguidas em fábrica consistem:

- i. No posicionamento dos tijolos do pano interior sobre os quais é vertida a argamassa;
- ii. Colocação do painel de isolamento com o conectores instalados sobre a camada de argamassa;
- iii. De seguida, o betão estrutural é despejado sobre a camada de isolamento;
- iv. Após o tempo de cura, o sistema é removido da forma e alvo dos procedimentos que o preparam para o transporte.

#### 4.8.3 PAINÉIS SANDWICH CONSTITUÍDOS POR PCM [54]

PCM significa “Phase Change Material”, e trata-se de um material desenvolvido para incorporação em painéis sandwich, no sentido de dar resposta a problemas de sobreaquecimento que ocorrem neste tipo de componentes, ou seja, a implementação deste sistemas está direcionada para um tipo particular de clima, no qual se considera crítica a estação de arrefecimento.

O sistema consiste na variação da inércia térmica dos painéis através da manipulação da temperatura de fusão do PCM. A partir de determinada temperatura, este sofre uma transformação do estado sólido para o líquido, o que contribui para o aumento da inércia térmica. Ora, quanto maior a inércia térmica maior a resistência da parede em mudar de temperatura, sendo assim possível evitar o seu sobreaquecimento.

Para evitar o derramamento, o material é colocado num invólucro plástico cujas dimensões se adequam à geometria da parede em que está inserido e permitem que o PCM mantenha a sua forma na passagem do estado sólido para o estado líquido. Este aspeto é de extrema importância por permitir que seja mantida uma espessura constante de PCM ao longo de toda a parede, proporcionando assim, condições térmicas também constantes.

Os painéis são constituídos por dois panos de metal colocados na face interior e exterior, por uma camada de isolamento de poliuretano e uma camada de PCM com temperatura de fusão de 32°C.

Os resultados de experimentações com protótipos deste sistema sugerem que a incorporação da camada de PCM em painéis sandwich consegue bloquear a temperatura no interior da parede nos valores coincidentes com a temperatura de fusão do material. Verificou-se ainda que, o acréscimo de uma camada de ar não ventilada entre o pano exterior e o PCM contribui para melhorar o sistema ao obter um comportamento térmico semelhante ao de paredes de elevada inércia sem aumentar significativamente o peso da parede, constituindo uma boa solução para implementação em fachadas leves, onde a facilidade de transporte, manuseamento e instalação são característicos.

#### 4.8.4 SISTEMA “FULL BACK-UP” [50]

A empresa de construção “Barkshire Panels Systems” instalou um sistema ao qual deu o nome de “Full back-up” para proceder ao isolamento de paredes prefabricadas em alvenaria, numa tentativa de contornar as dificuldades que surgem na instalação de isolamento destes sistemas, isto porque, a necessidade de conetores que fixem o painel à restante estrutura e juntas, torna complicada a implementação de um isolamento rígido e contínuo.

A informação sobre este sistema é escassa, mas é possível observar a partir da imagem (figura 37) que o isolamento térmico é integrado no sistema fazendo uso de conetores que o fixam, quer ao painel prefabricado quer ao suporte.

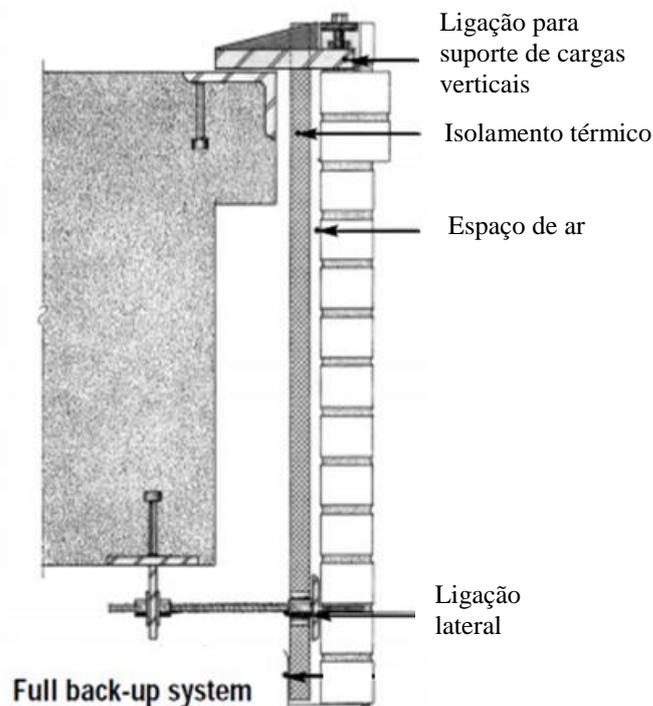


Figura 37: “Full Back-up system”, sistema de isolamento associado a painéis prefabricados de alvenaria de tijolo [50].

#### 4.8.5 PAINÉIS P2P

No caso dos painéis sandwich P2P, para a melhoria do comportamento térmico, entende-se a incorporação do isolamento térmico entre os dois panos de betão, sendo que o seu tipo e espessura dependem das exigências do projeto.

As espessuras podem variar entre 6 e 15 cm, e os tipos de material compreendem o poliestireno, poliuretano ou mousse de fenólica.

#### 4.9. INSTALAÇÕES

As instalações elétricas, sanitárias e de janelas ou portas contribuem para aumentar a complexidade das obras, na medida em que são atividades morosas que contribuem para a desarticulação do local, muitas vezes é necessário fazer ajustes não planeados e exigem pessoal especializado em cada uma delas, ou seja, existe a dependência de pessoas que podem gerar atrasos na conclusão da obra.

É possível incorporar em fábrica os elementos sanitários (lavatório, bacia de retrete, banheira e bidé) com uma “pré-canalização”. As tubagens são instaladas no pavimento pelo que o que tem que ser feito no local é a ligação à canalização do resto do edifício. São efetuadas todas as verificações necessárias relacionadas com a integridade do material e volumes de água adequados. Testes demonstram que é possível montar uma casa de banho completa em fábrica, em sensivelmente 15 minutos [10].

Este sistema traz numerosas vantagens ao acelerar as atividades ligadas às instalações, e no controlo mais rigoroso que é feito na fábrica, assegurando assim a qualidade. No entanto, a solução descrita sugere a instalação de todo um compartimento, o que não é compatível com todos os métodos construtivos, trata-se de um caso particular, em que se recorre a uma construção prefabricada modular.

As paredes prefabricadas podem ser produzidas com condutas prontas para receber os fios elétricos, e os cabos “pré-cortados” ao serem devidamente identificados com a aplicação para que se destinam facilitam a ligação na obra, por um trabalho polivalente. Também as tomadas e interruptores podem ser adicionados à parede através de ligações por encaixe [10].

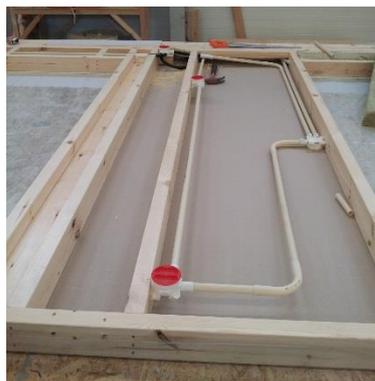


Figura 38: Painel prefabricado com instalação elétrica [60].

É na construção dos pontos singulares em torno das janelas que surgem muitas dificuldades na construção de paredes, estando as causas de muitas patologias em edifícios associadas a erros de execução destas, pelo que, a possibilidade de instalação de uma janela completa aquando a construção de uma parede em fábrica parece representar uma boa solução para facilitar a inserção destes elementos e aumentar a qualidade da parede como um todo.

Ao simplificar o processo de montagem *in situ* com os componentes instalados na parede aquando a sua prefabricação, para além da tarefa ser realizada num menor espaço de tempo, as pessoas que estão a trabalhar na obra e vão efetuar as ligações não têm que ser especializadas em instalações elétricas, carpintaria ou canalizações para assemblar este tipo de componentes. Deste modo, é possível ter uma equipa permanente no local capaz de realizar todos os trabalhos, e, com esta versatilidade, eliminar a dependência de pessoal externo.

## **4.10. PREFABRICAÇÃO DE PAREDES EM ALVENARIA**

### **4.10.1 PRINCIPAIS QUESTÕES**

Como já foi referido, a alvenaria possui grande popularidade na construção em Portugal e em muitos outros países, tanto por questões tradicionais como pelas vantagens que esta oferece. Assim sendo, se o objetivo é industrializar a construção e o principal meio para o fazer é através da prefabricação de componentes, então, a melhor forma de promover esta prática será dominar o conhecimento da prefabricação nos vários tipos de alvenaria.

A prefabricação de paredes é uma prática com largos anos de investigação e aplicação, porém, quando se fala em empregar esta técnica com a alvenaria, a experiência e informação reduz-se substancialmente.

De momento, a prefabricação de paredes em alvenaria ainda não reflete quaisquer vantagens económicas face à metodologia tradicional e o tamanho é limitado por questões de transporte e de montagem [55].

Por outro lado, é possível justificar a pouca utilização da alvenaria na prefabricação por trazer mais problemas do que por exemplo um painel betonado. Isto é, intuitivamente uma parede produzida na horizontal pela associação de blocos unidos por argamassa, mesmo depois do devido tempo de cura, pode acarretar dificuldades acrescidas no ato de a erguer, e na inserção de acessórios para transporte, elevação, montagem e para as próprias ligações, quando comparada com uma parede homogénea. O próprio facto da fabricação de uma parede em alvenaria essencialmente se resumir na colocação de blocos sugere que esta possua maiores tempos de produção do que por exemplo no caso em que simplesmente se verte betão para uma forma.

No entanto, surgem sistemas de paredes em alvenaria que permitem contornar esta questão com blocos retificados onde o emprego de uma cola especial permite que o painel tenha um comportamento monolítico ao mesmo tempo que a sua resistência à compressão é amplificada em 20% face aos métodos tradicionais, sem exigir armadura nem betão. É assim possível construir edifícios em alvenaria prefabricada resistente até 4 pisos de altura [56].

Apesar das dificuldades mencionadas, o interesse na prefabricação destes sistemas é justificado pelo bom comportamento térmico e acústico, por constituir um painel mais leve o que traz automaticamente vantagens ao nível do transporte e na minimização da sobrecarga do edifício e por ser um material mais barato que o betão.

### **4.10.2 MÉTODOS DE PRODUÇÃO**

Um dos métodos de produção consiste em aplicar manualmente os blocos com a argamassa, tal como acontece pelo modo tradicional com a diferença de que esta operação acontece em fábrica. O possível uso de equipamento pode acelerar o processo, como a utilização de andaimes ajustáveis ou máquinas para espalhar argamassa [55].

Este método de produção entende o crescimento da parede na vertical eliminando a necessidade de a erguer uma vez curada, o que minimiza a preocupação com essa operação. Por outro lado, exige a utilização de andaimes o que complica a produção tornando-a mais demorada. Uma outra vantagem deste método reside na semelhança com o modo de construção *in situ*, pelo que não requer pessoal particularmente especializado para a construção, reduzindo assim os gastos com a mão-de-obra.



Figura 39: Construção de parede de alvenaria com andaime ajustável [55].

Uma outra forma de produção baseia-se na moldagem do elemento na horizontal colocando os blocos manualmente ou com recurso a unidades automatizadas que posicionam estes com as devidas larguras de junta, seguindo-se a aplicação de argamassa através de sistemas pressurizados [55].

A fabricação das paredes na posição horizontal tende a ser mais simples do que na vertical [57].

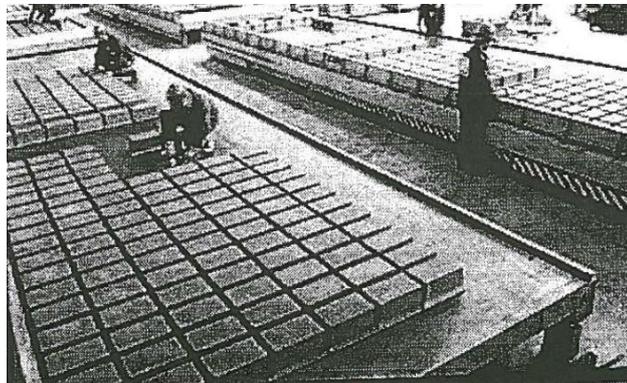


Figura 40: Produção de paredes na posição horizontal [57].

#### 4.11. PAINÉIS DE FACHADA RESISTENTES E NÃO RESISTENTES

Os painéis de fachada que possuem funções resistentes suportam as cargas verticais provenientes da estrutura superior e peso próprio, podendo contribuir para a estabilização horizontal com função de contraventamento. Estes podem assumir a forma de painel sandwich, constituídos por dois panos de betão com isolamento térmico na camada intermédia, ou painéis do tipo “spandrel” que atuam como vigas ao transferir as cargas diretamente para o apoio sem descarregar na laje. Neste caso é possível ter um painel que funciona como viga e outro como revestimento.

É ainda utilizado o sistema de fachada cortina, que consiste num painel estrutural localizado na parte interior apoiado o painel no piso enquanto na camada intermédia se coloca o isolamento térmico seguido de um painel exterior, sem função resistente, podendo por isso ser constituído por outro material. Entre o isolamento e o pano exterior existe um espaço de ar ventilado. A possibilidade de aplicar o isolamento térmico de forma contínua tem vantagens na diminuição das pontes térmicas, e o espaço de ar ventilado é conveniente para o comportamento higrotérmico do edifício.

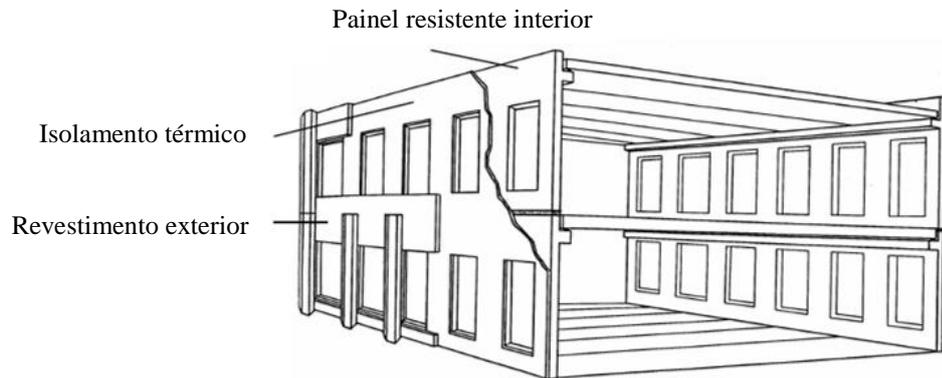


Figura 41: Sistema “Dupla Pele” [48].

No caso dos painéis não portantes, há duas formas de os inserir no edifício. Por um lado podem ser fixados à estrutura sendo suportados pelos pilares e vigas, por outro, podem ser auto-portantes formando uma cortina apoiada por uma viga externa à restante estrutura.

No que toca à incorporação de paredes prefabricadas num edifício, é mais simples fazê-lo se estas possuírem função resistente. Isto porque, o princípio de ligação de painéis não portantes a um edifício passa pela sua fixação ao esqueleto já construído, sendo esta, como já foi possível verificar no tema dedicado às ligações, não só de grande complexidade, mas também, reflexo de uma política de certo modo anti-económica, pois existem cuidados com o dimensionamento de painéis que verdadeiramente não irão contribuir para a estabilidade do edifício, contribuindo sim, para aumentar a carga sobre os elementos estruturais.

Por outro lado, o modo de aplicação de paredes resistentes prefabricadas é simplista, ao eliminar a necessidade de vigas e de pilares, resumindo-se ao posicionamento dos painéis sobre os quais é de seguida colocada a laje de piso. Este sistema é utilizado no exemplo já mencionado na análise de outros critérios em 4.4.4 relativo ao protótipo criado de painéis cerâmicos armados.

Serve também como exemplo de paredes prefabricadas em alvenaria com função resistente o sistema já referido da empresa Barkshire, onde os blocos perfurados permitem a inserção de varões de aço que contribuem para a estabilidade do painel. A sua disposição consiste na inserção de 3 varões horizontais em cima e em baixo constituindo uma espécie de viga parede alta. São colocados varões verticais ao longo de aproximadamente 1,22 m centrais num painel com 2,13 m de altura por 9,14 m de largura.



## 5

**ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE PAREDES PREFABRICADAS EM ALVENARIA RESISTENTE****5.1. INTRODUÇÃO**

Com o objetivo de avaliar a possibilidade de emprego de paredes prefabricadas em alvenaria com função resistente, será estudada a sua aplicação num projeto-exemplo de um edifício de habitação multi-familiar com 4 pisos (rés-do-chão mais três), apresentado na figura 42.



Figura 42: Alçado principal do projeto-exemplo.

**5.2. PAINEL-TIPO**

A utilização de paredes resistentes pressupõe a eliminação da necessidade de praticamente todas as vigas e pilares, pelo que as paredes são posicionadas, recebendo depois a laje de piso, tal como se pode ver na figura 43. Posto isto, estas têm que ser capazes de suportar as cargas verticais provenientes do piso superior, não só do peso próprio da laje mas também de todas as sobrecargas variáveis provocadas pelas pessoas, móveis etc, caso se trate de um edifício com mais do que um piso. Também cargas dinâmicas como ventos e sismos não poderão ser desprezadas. Todas as solicitações provocam esforços de compressão, tração e momentos para os quais o painel e respetiva ligação têm que ser projetados. Tendo estes factores em conta, as paredes interiores irão possuir também função resistente, de modo a assegurar a estabilidade.



Figura 43: Princípio de construção em painéis de alvenaria resistente [56].

Será estabelecido um painel que servirá de modelo, sendo preferível maximizar a utilização de painéis iguais, isto é, idealmente, a arquitetura permitiria a aplicação do mesmo painel várias vezes, pois deste modo era possível fazer o projeto de um painel com todos os pormenores devidamente estudados, mas cuja repetição compensaria o trabalho inicial de planeamento, otimizando todo o processo.

Neste contexto, tomou-se por referência a aplicação do sistema italiano constante da publicação “Il Laterizio e la Qualità del Costruire” [61].

Para definir devidamente o painel é necessário começar por estabelecer o tipo de bloco que o vai constituir. A sua escolha deverá ter em atenção as características de resistência mecânica e térmica adequadas, bem como pormenores geométricos que facilitem os métodos de ligação que uma parede prefabricada requer.

O exemplo mencionado na referida publicação projeta os painéis em função do módulo de 15 cm, pelo que, embora irrealista, será considerado que os blocos utilizados para produzir os painéis são múltiplos desta dimensão na largura e altura. Esta dimensão, apesar de não corresponder a uma situação real, uma vez que a altura normal dos tijolos em Portugal é de cerca de 20 cm e o comprimento de 30 cm, oferece uma maior flexibilidade nas dimensões dos painéis, facilitando a conciliação com a arquitetura já existente.

Optou-se por um bloco de tijolo cerâmico de furação vertical do tipo apresentado na figura 44, com a particularidade de possuir um furo central maior e juntas possibilitando a incorporação de armadura.

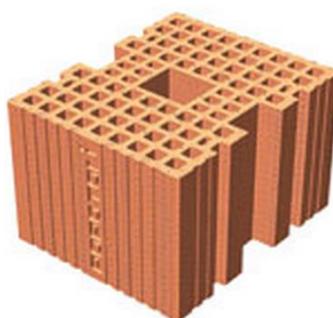


Figura 44: Tipo de bloco utilizado no painel prefabricado [62].

O bloco apresentado na figura é meramente indicativo do tipo utilizado, uma vez que não foi possível encontrar um bloco que correspondesse às dimensões de largura e altura de 15 cm para trabalhar com painéis dentro deste módulo, ou espessuras iguais às sugeridas no exemplo presente na referida publicação.

A existência de um furo central de maior secção permite a inserção de varões verticais que irão contribuir para a resistência mecânica do painel e em função dos quais serão feitas as operações de transporte e montagem, permitindo também a ligação entre painéis.

Os painéis terão uma altura de 2,85 m e espessuras de 0,35 m no caso de painel de fachada e 0,25 m para os de compartimentação. A largura (l) é variável em função do módulo de 15 cm podendo ir de 0,75 a 1,95 m. Os esquemas para os painéis-tipo de fachada e de compartimentação podem ser visualizados na figura 45.

A escolha da altura do painel de 2,85 m quando o pé direito do projeto é de 2,70 m deve-se à necessidade de salvaguardar algum espaço para a aplicação de revestimentos cumprindo o módulo de 15 cm. No modelo da publicação mencionava-se a possibilidade de fazer os painéis com 25, 30 ou 35 cm de espessura pelo que, optou-se pelos 35 cm para os painéis de fachada por representar maior resistência, sendo também favorável do ponto de vista de resistência térmica.

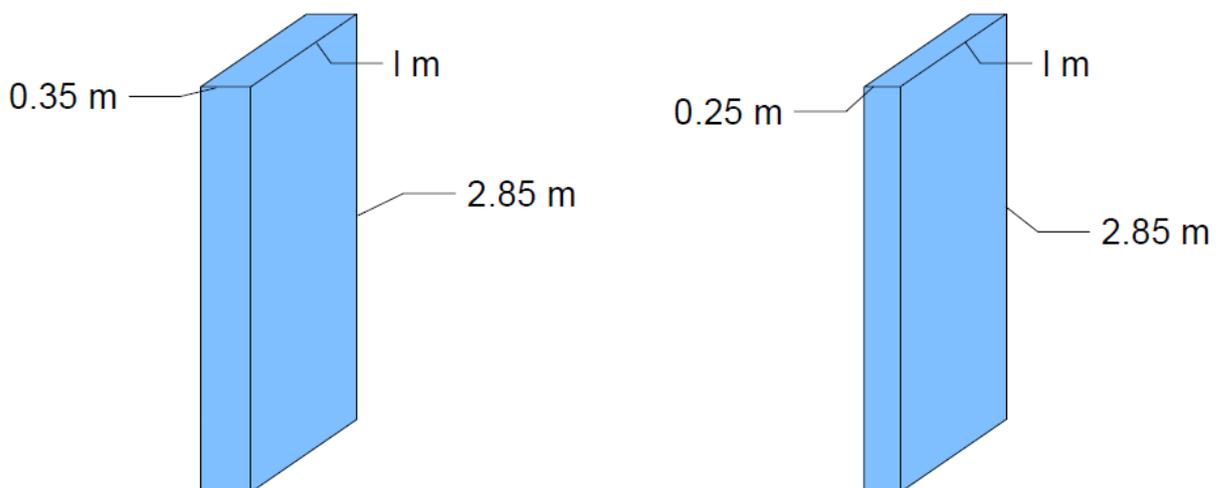


Figura 45: Esquema dos painéis-tipo de fachada (esquerda) e de compartimentação (direita).

Preve-se que os painéis com aberturas para a instalação de janelas e portas possuam um reforço de armadura para aumentar a sua resistência. Nas figuras 46 e 47 que seguem estão apresentados os respetivos esquemas.

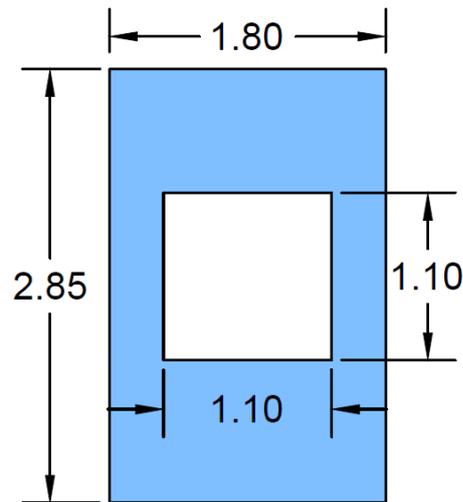


Figura 46: Esquema do painel com abertura de janela (PJ).

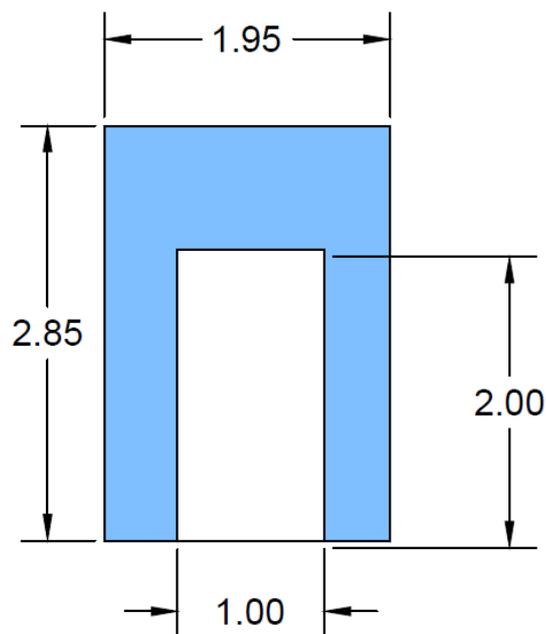


Figura 47: Esquema do painel exterior com abertura para porta (PP).

### 5.3. ADAPTAÇÕES DA ARQUITETURA

O projeto de arquitetura para componentes prefabricados deve ser realizado em coordenação modular, de forma a que os painéis que são produzidos em função de uma unidade de medida padrão (de um módulo) se encaixem facilmente nas dimensões estabelecidas pela arquitetura.

Na escolha dos painéis a utilizar foi preciso conjugar o interesse em maximizar a aplicação do mesmo modelo de painel (otimização da produção) com a necessidade de colocar painéis cujas dimensões se adaptem facilmente a uma arquitetura que não foi pensada para este tipo de projeto em estudo. Posto

isto, neste caso, de modo a respeitar ao máximo as dimensões originais, foi utilizada uma variedade de dimensões de painéis afastada do desejável.

Também a dimensão preferível pode ser objeto de discussão. Por um lado, existe o interesse em usar painéis com maiores dimensões uma vez que isso diminui o número de painéis necessários bem como o número de operações de assemblagem. Por outro lado, quanto maiores as dimensões do painel, mais pesado este se torna o que traz repercussões ao nível das dificuldades de transporte e de montagem.

Assim sendo, tendo em atenção que o caso de estudo é um projeto de construção tradicional, serão feitas considerações dimensionais que permitem adaptar as medidas para fazer a transição para a situação prefabricada.

Na figura 48 apresenta-se a planta original do piso tipo, na qual se encontram dois apartamentos idênticos constituídos cada um por 3 quartos, uma casa de banho e uma sala/cozinha.

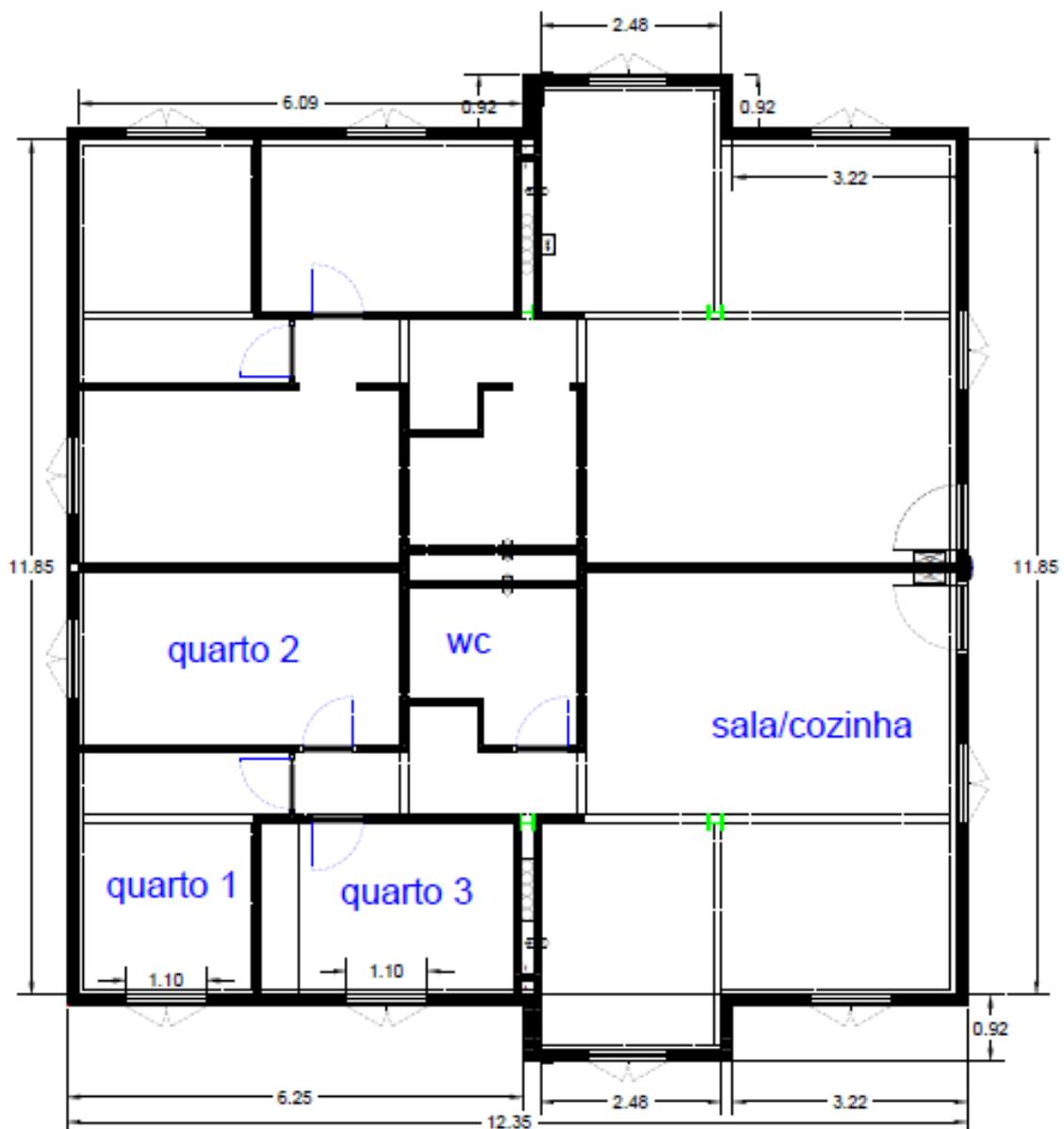


Figura 48: Planta do piso modelo.

As adaptações feitas na fachada consistem em alterar ligeiramente as dimensões de modo a que os painéis realizados em função do módulo de 15 cm possam ser facilmente incorporados. Também as janelas e portas irão sofrer alterações no que diz respeito ao seu posicionamento, mantendo as suas dimensões originais.

Na figura 49 encontra-se a nova planta constituída pelos painéis prefabricados de fachada e de compartimentação, com as designações que caracterizam a sua dimensão “l” correspondente a cada painel, de acordo com o local onde este será colocado.

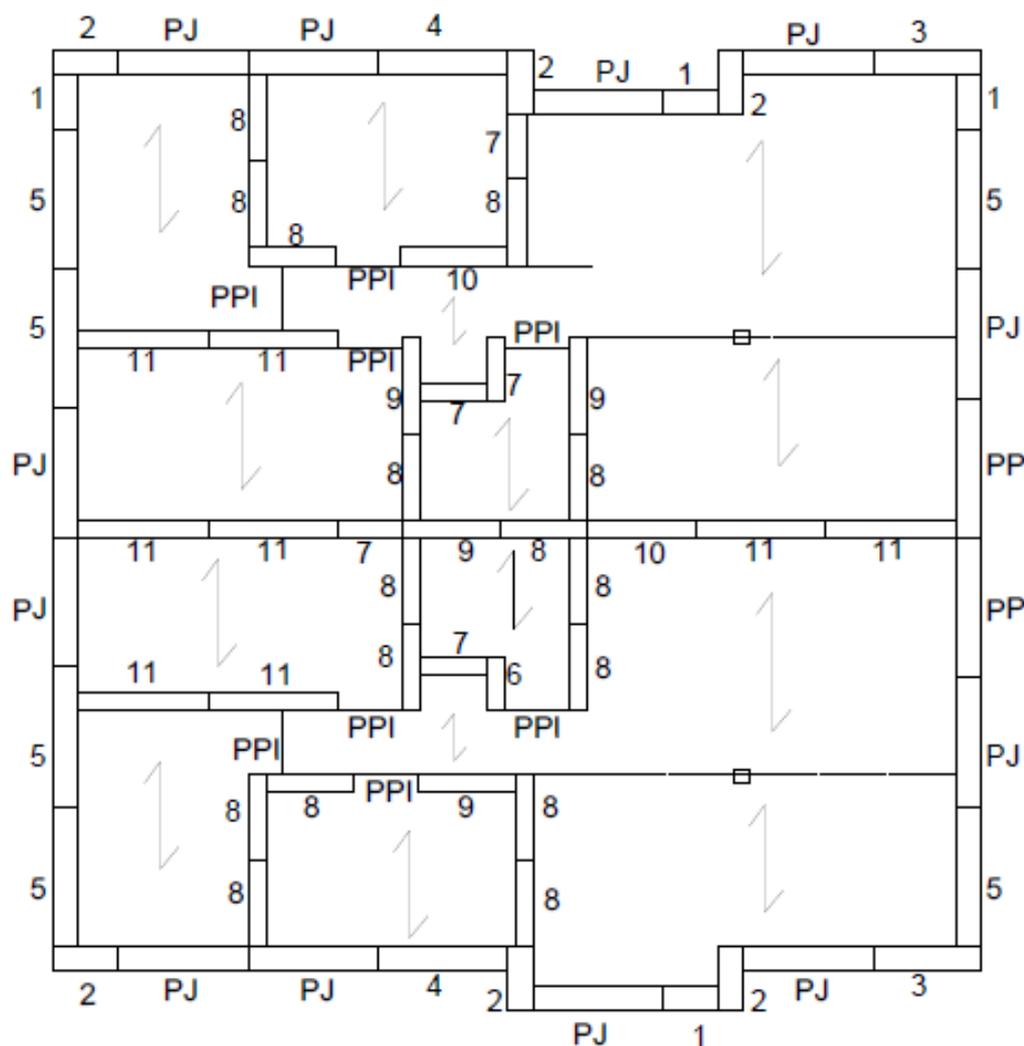


Figura 49: Planta do piso com os painéis instalados.

No quadro que se segue estão apresentados os painéis utilizados com as respetivas designações apresentadas nas plantas, bem como a largura e o número de painéis de cada tipo a serem colocados na fachada.

Quadro 14: Lista de painéis de fachada utilizados.

<b>Designação</b>	<b>Largura (l) em metros</b>	<b>Número de painéis</b>
PJ (painel para instalação de janela)	1,80	12
PP (painel para instalação de porta)	1,95	2
1	0,75	4
2	0,90	6
3	1,50	2
4	1,80	2
5	1,95	6

Os painéis de compartimentação terão também função resistente e possuirão a mesma altura que os de fachada (2,90 m) mas com uma espessura menor, de 0,25 m, sendo que a largura dependerá da variedade de painéis necessária para melhor os acomodar na planta original. Um dos cuidados a ter ao fazer as alterações das dimensões das paredes interiores passa por garantir que os ajustes correspondem aos que já foram feitos nas paredes de fachada, por outras palavras, os novos painéis têm que “encaixar” na nova envolvente.

Com as dimensões do quarto 1 definiu-se de imediato que o painel de porta interior teria que ter uma largura de 0,90 m uma vez que neste caso isso não implicaria qualquer mudança e era a única opção sensata. De modo a evitar fazer mais do que um modelo, estipulou-se esta largura do painel de porta interior para as restantes divisões. Contudo, este painel assinalado na planta como PPI não terá função resistente, daí que surja sem espessura. A par deste caso, uma pequena parcela de parede será também ignorada para o propósito de painel resistente, estando apresentada na planta somente com uma linha e sem qualquer identificação.

Em todo o piso foi possível maximizar o uso do painel de compartimentação 8 (de 1,20 m), o que, como já foi mencionado, é benéfico do ponto de vista de repetição do modelo. Também a sua dimensão pode provar-se vantajosa no sentido de não se tratar de um painel com dimensões muito grandes, tornando acessível a sua manipulação em obra.

No quadro 15 estão listados os tipos de painéis de compartimentação utilizados com a respetiva largura e número de painéis de cada tipo colocados como parede interior no piso modelo.

Quadro 15: Lista de painéis de compartimentação utilizados.

Designação	Largura (l) em metros	Número de painéis
PPI (painel para instalação de porta)	0,90	8
6	0,75	1
7	0,90	5
8	1,20	16
9	1,35	4
10	1,50	2
11	1,80	8

#### 5.4. MARCAÇÕES E INÍCIO DA APLICAÇÃO *IN SITU*

Antes de dar início ao posicionamento dos painéis em obra, são feitas todas as marcações no local correspondentes à identificação do painel destinado a determinada posição.

As paredes são colocadas sobre uma camada de argamassa, utilizando cunhas de madeira para garantir a verticalidade do painel enquanto este não possui a resistência necessária na base nem é apoiado por painéis adjacentes.

#### 5.5. LIGAÇÃO ENTRE PAINÉIS

Como já foi referido, os blocos que constituem os painéis possuem uma furação que permite a inserção de varões de aço verticais aos quais são associados os ganchos para transporte. Para além desta função, estes varões vão permitir a amarração de varões horizontais presentes em camadas ao longo do painel que, além de fornecer resistência mecânica são utilizados para fazer a ligação entre painéis ao fazer um nó com os varões, como se pode ver nas figuras 50 e 51. Posteriormente, esta ligação é preenchida com, por exemplo, argamassa.

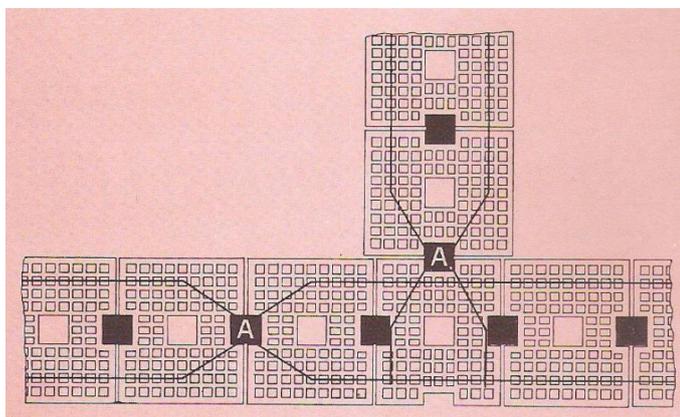


Figura 50: Esquema da ligação de painéis do exemplo [61].

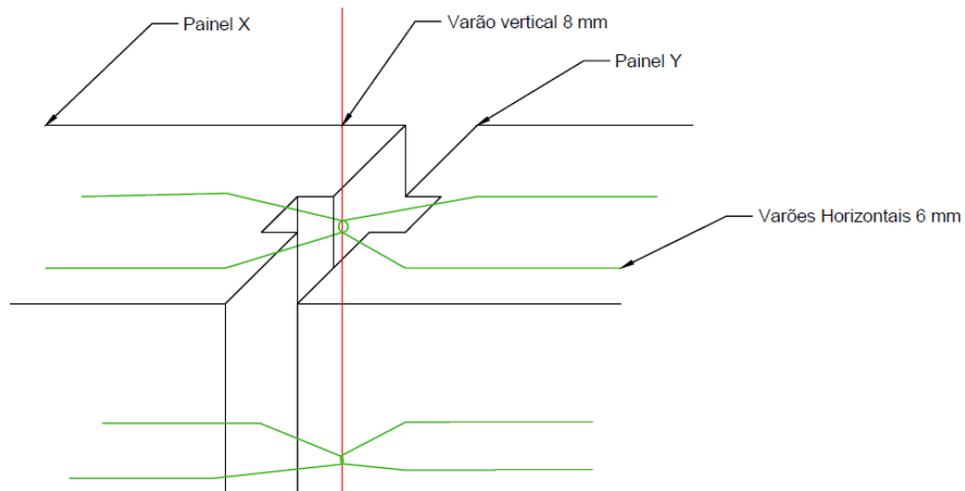


Figura 51: Esquema da ligação entre painéis.

## 5.6. REALIZAÇÃO DE NOVO PISO

A ligação dos painéis prefabricados com o piso é realizada através da betonagem da laje colocada sobre estes.

A colocação dos painéis de parede do próximo piso é realizada sobre a laje recém betonada e a sua verticalidade é assegurada através de cunhas de madeira e andaimes, tal como se demonstra na figura 52.

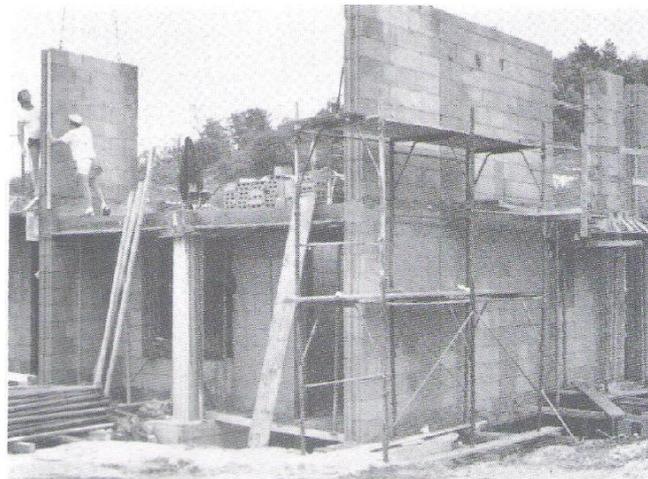


Figura 52: Construção de segundo piso com painéis prefabricados [61].

## 5.7. PRINCIPAIS ASPETOS

O estudo realizado para o caso em questão está longe de estar completo. As dimensões e modos de ligação dos painéis são baseados num exemplo apresentado no livro já acima mencionado, pelo que realisticamente, é necessário fazer um dimensionamento cuidado tanto da geometria das paredes como da quantidade de armadura necessária e sua disposição.

Note-se que na nova planta a atenção esteve voltada para a apresentação dos painéis, contudo, poderá ser necessário colocar um pilar e viga na zona da sala/cozinha para apoiar a laje de piso, já que aqui se prevêem grandes vãos sem qualquer parede.

A incorporação de isolamento térmico foi desprezada neste exemplo, mas na prática, a utilização de apenas uma parede simples na fachada, como se vê no caso de estudo não é aceitável à luz dos atuais regulamentos, sem pelo menos um isolamento térmico complementar.

Na planta apresentada com os painéis prefabricados, à exceção dos painéis interiores de porta e da referida pequena parede, todos foram considerados com função resistente, possuindo espessuras maiores do que o normal. Os painéis interiores para instalação de porta e a parcela terão assim a mesma espessura que tinham no projeto original (10 cm) e não serão considerados no estudo.

Na prática, deverá ser possível desprezar a contribuição resistente de mais paredes do que foi considerado, no entanto, essa rejeição tem que ser cuidadosamente ponderada, especialmente no caso em questão, onde o edifício é constituído por rés-do-chão mais 3 pisos.

A necessidade de possuir paredes com maiores espessuras implica um maior consumo de área para construção, sendo esse um dos principais problemas na utilização de paredes resistentes. Por exemplo, no caso em questão, a área bruta do piso original era de 153,6 m<sup>2</sup> e com os painéis passou a ser de 166,5 m<sup>2</sup>.

Apesar das particularidades das ligações que requerem cuidados específicos, este método possui uma produtividade expectável maior que o método tradicional. Ao recorrer à prefabricação para a produção dos componentes principais deste caso de estudo (as paredes resistentes), não só a própria construção destas torna-se mais rápida por ser feita em fábrica, mas também o número de atividades realizadas *in situ* é substancialmente reduzido pelo que o local da obra torna-se muito mais organizado, o que contribui para a melhoria das condições de trabalho.

# 6

## CONCLUSÕES

### 6.1. NOTAS FINAIS

A indústria da construção civil precisa de sofrer mudanças para combater os problemas de produtividade que debilitam o setor, passando essas mudanças por medidas associadas à industrialização da construção.

A industrialização da construção visa a otimização do processo construtivo através da implementação de princípios inspirados na indústria automóvel de racionalização e de standardização que contribuem para a melhoria da organização, diminuição do desperdício, para agilizar os tempos de produção e assegurar a qualidade do produto final.

A industrialização da construção não deverá ser encarada como uma solução para todos os problemas que constituem a atual crise no setor. As referidas medidas constituem vantagens na melhoria da produtividade, mas os problemas nesta indústria carecem de soluções que vão para além destas práticas [18].

A prefabricação vem muitas vezes associada como uma medida inerente da industrialização, e pode ser implementada de várias formas, como total ou parcial, aberta ou fechada e aplicada a diversos componentes assumindo a designação de leve ou pesada. Esta tem numerosas vantagens que se resumem na simplificação e aumento da rapidez de produção dos componentes individualmente ao transferir a maior parte das atividades que se realizariam *in situ* para uma fábrica, contudo, a sua incorporação na indústria ainda padece de dificuldades relacionadas com o grau de investimento e dedicação necessários, bem como a complexidade das ligações e soluções que permitam um desempenho igual ou superior ao esperado pela construção tradicional.

Uma parcela considerável do custo de um edifício é atribuída às paredes. Estas são um elemento crucial para proteção do meio exterior e garantia de conforto térmico e acústico, podendo também possuir função resistente, ainda que não seja muito comum nos dias que correm. As paredes em alvenaria são consideradas boas soluções para dar resposta a estes aspetos, sendo que dentro das várias opções, o sistema de parede dupla de tijolo cerâmico com furação horizontal e caixa-de-ar parcialmente preenchida por isolamento térmico é o mais utilizado.

Falta informação concreta detalhada sobre os tempos e custos envolvidos na construção com paredes prefabricadas para que seja possível estabelecer uma comparação sustentada entre esta e o método tradicional, avaliando os benefícios que é possível obter com a mudança.

A prefabricação de paredes surge como uma oportunidade de agilizar o processo construtivo uma vez que este sistema, para além do peso económico que possui, condiciona fortemente o planeamento das atividades, condicionando o cumprimento de prazos. Existem numerosos desafios a ultrapassar

salientando-se a questão da complexidade das ligações, do transporte e da incorporação de isolamento térmico.

A prefabricação de paredes em alvenaria é ainda invulgar, sendo frequente optar-se por painéis sandwich em betão. Esta escolha é fundamentada pela maior facilidade de produção e de manuseamento deste material em painéis, no entanto, a alvenaria tende a ser mais barata, mais leve e com melhores características térmicas e acústicas.

Posto isto, é importante investir na investigação, fazendo um esforço em desenvolver sistemas viáveis de paredes prefabricadas em alvenaria de modo a ultrapassar as dificuldades específicas que esta contém, para que seja possível tirar partido das suas vantagens técnico-económicas.

Deste trabalho resulta a constatação de que é possível adotar soluções em estruturas parede prefabricadas, designadamente em alvenaria.

Teoricamente esta solução deve permitir alguns dos ganhos já referidos, mas em Portugal, o recurso à prefabricação em geral e de alvenarias em particular, tem ainda expressão insignificante, por razões que se prendem com preconceito, falta de uma verdadeira indústria e ainda a pouca referência nos cursos de engenharia civil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Couto, A., Couto, P. *Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-fabricação*. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8520/2/132.pdf>. 25/02/2015.
- [2] Ferraz, D. *Análise da produtividade na execução associada a diferentes sistemas de alvenaria: medidas tendentes à sua melhoria*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [3] Costa, Jorge Moreira. *Definição de Qualidade*. Apontamentos das aulas de Qualidade na Construção, FEUP, 2014/2015.
- [4] Trigo, J. *Industrialização da construção de edifícios: contribuição para uma política de qualidade*. LNEC, Lisboa, 1983.
- [5] Lopez, Robert, Love, Peter, Edwards, David, Davis, Peter. *Design Error Classification, Causation and Prevention in Construction engineering*. Julho/Agosto 2010. Journal of performance of constructed facilities.
- [6] Faria, J. Prefabricação leve em edifícios. In *Prefabricação – Desenvolvimentos atuais*, 51 – 66, Edição da Secção de Construções Civas da FEUP, 1993.
- [7] PCI Industry Handbook Committee, *PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete institute*, Sixth Edition, 2004.
- [8] <http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=537>. 19/03/2015.
- [9] Rossetti, M. *Sustainable upgrade: methodologies for the recovery of the Italian housing built with heavy prefabrication systems*. [http://www.researchgate.net/profile/Massimo\\_Rossetti/publication/236585899\\_Sustainable\\_upgrade\\_methodologies\\_for\\_the\\_recovery\\_of\\_the\\_Italian\\_housing\\_built\\_with\\_heavy\\_prefabrication\\_systems/links/0c9605181371433075000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Massimo_Rossetti/publication/236585899_Sustainable_upgrade_methodologies_for_the_recovery_of_the_Italian_housing_built_with_heavy_prefabrication_systems/links/0c9605181371433075000000.pdf). 24/05/2015.
- [10] Roy, R., Brown, J., Gaze, C., *Re-engineering the construction process in the speculative house-building sector*. Construction Management and Economics, 21:2, 137-146.
- [11] Heng Li, H.L. Guo, Martin Skitmore, Ting Huang, K.Y.N. Chan & Greg Chan (2011). *Rethinking prefabricated construction management using the VP-based IKEA model in Hong Kong*. Construction Management and Economics, 29:3, 233-245. 2011.
- [12] Chiang, Yat-Hung, Chan, Edwin Hon-Wan, Lok, Lawrence Ka-Leung. *Prefabrication and barriers to entry – a case study of public housing and institutional buildings in Hong Kong*. Habitat International, 482-499. 2006.
- [13] The International Modular Group. *The Principles of Modular Co-ordination in Building*. CIB W24. CIB Report No 68, 1984. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB14487.pdf>. 12/03/2015.
- [14] Bock, T. Flexible Industrialization in Construction By Humanoid Construction Robots? In *Understanding the Construction Business and Companies in the New Millenium*, 442-449, published by Technical Research Centre of Finland and Association of Finish Civil Engineers, 2005.
- [15] <http://www.wsj.com/articles/SB121496449430221935>. 16/04/2015.
- [16] Ramalho, M. *Paredes divisórias. Painéis préfabricados de alvenaria revestida a gesso: Estudo Comparativo*. Abril 2003.

- [http://www.techitt.com/Homepage/2003\\_ConstrulinkPress/Ficheiros/MonografiasPrimeirasPaginas/tce\\_pdv\\_p6df.pdf](http://www.techitt.com/Homepage/2003_ConstrulinkPress/Ficheiros/MonografiasPrimeirasPaginas/tce_pdv_p6df.pdf). 23/02/2015.
- [17] Ribeiro, Marcellus Serejo. *A industrialização como requisito para a Racionalização da Construção*. Dissertação M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.
- [18] Girmscheid, G. Industrialization in Building Construction - Production Technology or Management Concept? In *Understanding the Construction Business and Companies in the New Millenium*, 427-441, published by Technical Research Centre of Finland and Association of Finish Civil Engineers, 2005.
- [19] Van Egmond, E., Scheublin, F. Successful Industrialisation, innovation and prefabrication in construction. In *Understanding the Construction Business and Companies in the New Millenium*, 415-426, published by Technical Research Centre of Finland and Association of Finish Civil Engineers, 2005.
- [20] Oliveira, L., Melhado, S., Sabbatini, S. *O papel estratégico do projeto para a qualidade dos painéis pré-fabricados de fachada*. <http://conpar.eng.br/public/Papel%20estrat%C3%A9gico%20projeto%20pain%C3%A9is.pdf>. 17/03/2015.
- [21] Costa, Joana. *Construção Prefabricada – Análise da utilização da Prefabricação nas várias etapas do processo construtivo*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [22] Sousa, H. Construções em Alvenaria. Apontamentos FEUP, Porto, 2003. <http://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteudos/TPPC/Sebenta.pdf>. 25/03/2015.
- [23] Sousa, H. *Exigências Funcionais de Paredes em Alvenaria*. Apontamentos FEUP, Porto, 2010. <http://paginas.fe.up.pt/~earpe/conteudos/TPPC/exigenciasfuncionais.pdf>. 30/03/2015.
- [24] Santos, F. *Alvenarias em Edifícios: Inventariação das soluções utilizadas e proposta de um novo sistema*. Dissertação para obtenção do grau de Metre em Construção de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1998.
- [25] Pereira, M. Anomalias em paredes de alvenaria sem função estrutural. Dissertação para obtenção do grau de Metre em Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 2005.
- [26] Manso, A., Fonseca, M., Espada, J. *Informação Sobre Custos: Fichas de Rendimentos*. LNEC, Lisboa, 2004.
- [27] Faria, J. Noções elementares sobre orçamentos de obras de construção civil. In *Gestão de Obras e Segurança*. Apontamentos FEUP, Porto, 2012/2013.
- [28] Santos, C., Matias, L. *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. LNEC, Lisboa, 2006.
- [29] Portaria nº349-B/2013. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) – Requisitos de conceção para edifícios novas e intervenções.
- [30] Freitas, V. *Inércia Térmica*. Apontamentos das aulas teóricas da unidade curricular de Térmica de Edifícios. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2014/2015.
- [31] Almeida, C. *Paredes de Alvenaria do Porto. Tipificação e caraterização experimental*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

- [32] *Concepção e projecto de Alvenarias não resistentes em paredes de fachada*. Apontamentos da unidade curricular de Tecnologia das Construções, FEUP, Porto. [https://sigarra.up.pt/feup/pt/conteudos\\_geral.ver?pct\\_pag\\_id=249640&pct\\_parametros=pv\\_ocorrencia\\_id=276680](https://sigarra.up.pt/feup/pt/conteudos_geral.ver?pct_pag_id=249640&pct_parametros=pv_ocorrencia_id=276680). 25/03/2015.
- [33] Fernandes, A. *Habitação (coletiva) modular pré-fabricada: Considerações, origens e desenvolvimento*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Arquitetura da Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 2009.
- [34] <http://www.pit.org.br/sites/default/files/MODULACAO%20-%20ABCP%20-%20ENIC%202010.pdf>. 26/03/2015.
- [35] Freire, A. *Coordenação Modular de Projetos como ferramenta para a racionalização da construção*. Monografia para obtenção de título de MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- [36] Lança, P. *Paredes*. Apontamentos de Processos de Construção, Escola superior de Tecnologia e Gestão de Beja. [http://www.estig.ipbeja.pt/~pdnl/Sub-paginas/ProcesConst\\_apoio\\_ficheiros/aulas/PC\\_Cap9\\_Paredes\\_web.pdf](http://www.estig.ipbeja.pt/~pdnl/Sub-paginas/ProcesConst_apoio_ficheiros/aulas/PC_Cap9_Paredes_web.pdf). 31/03/2015.
- [37] Flores-Colen, I., Correia, J., Almeida, N., Gonçalves, A. *Processo Construtivo de Paredes de Alvenaria*. Apontamentos Tecnologias da Construção de Edifícios, Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico. [http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/tccor/18%20Execucao\\_%20paredes%20alvenaria%20título%20e%20blocos%20-%20COR.pdf](http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/tccor/18%20Execucao_%20paredes%20alvenaria%20título%20e%20blocos%20-%20COR.pdf). 31/03/2015.
- [38] <http://faculty.arch.usyd.edu.au/pcbw/brickwork-design/prefabricated/index.html>. 08/04/2015.
- [39] Goodman, S. *4 - Prefab with Precast Brick Panels*. <http://www.engr.psu.edu/ae/thesis/portfolios/2009/smg5003/Final%20Web%20Postings/Prefab%20with%20Precast%20Brick%20Panels.pdf>. 08/04/2015.
- [40] [http://www.toyota-global.com/company/profile/non\\_automotive\\_business/housing.html](http://www.toyota-global.com/company/profile/non_automotive_business/housing.html). 16/04/2015.
- [41] [http://www.torange-pt.com/photo/4/13/Constru%C3%A7%C3%A3o-de-casas-1259649345\\_46.jpg](http://www.torange-pt.com/photo/4/13/Constru%C3%A7%C3%A3o-de-casas-1259649345_46.jpg). 18/04/2015.
- [42] Oliveira, J. *Estudo Experimental sobre a Pré-fabricação de Cascas de Alvenaria Cerâmica Armada*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005.
- [43] <http://forumdacasa.com/extensions/InlineImages/image.jpg.php?AttachmentID=22665>. 14/05/2015.
- [44] Freitas, V., Guimarães, A., Ferreira, C., Alves, S. *Medidas de Melhoria – Edifícios Residenciais Existentes*. Apontamentos das aulas teóricas da unidade curricular de Térmica de Edifícios. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Laboratório de Física das Construções. 2014/2015.
- [45] Oliveira, V., *Fachadas Arquitônicas em Painéis Pré Fabricados de Concreto*. Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Anhembi Morumbi no âmbito do curso de Engenharia Civil, São Paulo, 2004.

- [46] Designation: C901-01. Standard Specification for Prefabricated Masonry Panels.
- [47] Document Technique d'Application. Référence Avis Technique 3/12-722. Mur de façade de type panneaux sandwich. P2P.
- [48] Acker, A. Manual de sistemas pré-fabricados de concreto, 2002. [https://scholar.google.pt/scholar?start=10&q=paredes+pr%C3%A9+fabricadas+em+alvenaria&hl=pt-PT&as\\_sdt=1,5&as\\_vis=1](https://scholar.google.pt/scholar?start=10&q=paredes+pr%C3%A9+fabricadas+em+alvenaria&hl=pt-PT&as_sdt=1,5&as_vis=1). 21/05/2015.
- [49] Albarran, E., *Construção com Elementos Pré-fabricados em Betão Armado: Adaptação de uma Solução Estrutural "in situ" a uma Solução Pré-fabricada*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- [50] [http://www.masonryconstruction.com/Images/The%20Power%20of%20Prefabricated%20Brick%20Panels\\_tcm68-1375757.pdf](http://www.masonryconstruction.com/Images/The%20Power%20of%20Prefabricated%20Brick%20Panels_tcm68-1375757.pdf). 02/03/2015.
- [51] <http://www.engr.psu.edu/ae/thesis/portfolios/2009/smg5003/Final%20Web%20Postings/Prefab%20with%20Precast%20Brick%20Panels.pdf>. 08/04/2015.
- [52] Guimarães, C., Roman, H. Desenvolvimento de um processo construtivo racionalizado: painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. In *Inovação Tecnológica na Construção Habitacional*, 117-141, Coletânea Habitare, Porto Alegre, 2006.
- [53] <http://www.ziegelementbau.de/content/presse/dokumentation/doku/ziegelmontagebau.pdf>. 17/05/2015.
- [54] Carbonari, A., De Grassi, M., Di Perna, C., Principi, P. *Numerical and experimental analyses of PCM containing sandwich panels for prefabricated walls*. Energy and Buildings, 10/08/2005, 472-483, Elsevier.
- [55] <http://www.gobrick.com/portals/25/docs/technical%20notes/tn40.pdf>. 27/05/2015.
- [56] Dezzuti, R., *La rivoluzione della prefabbricazione in blocchi rettificati*. [http://costruire.laterizio.it/costruire/pdf/n110/110\\_52\\_55.pdf](http://costruire.laterizio.it/costruire/pdf/n110/110_52_55.pdf). 03/06/2015.
- [57] Maack, P., *Integrated Planning, Prefabrication and Logistics*. [http://www.iaarc.org/publications/fulltext/Integrated\\_Planing\\_Prefabrication\\_and\\_Logistics.pdf](http://www.iaarc.org/publications/fulltext/Integrated_Planing_Prefabrication_and_Logistics.pdf). 08/04/2015.
- [58] Venables, T., Courtney, R. *Modern methods of construction in Germany- playing the off-site rule*. Report of a DTI global watch mission. Março de 2004. <http://www3.imperial.ac.uk/pls/portallive/docs/1/40872.PDF>. 23/05/2015.
- [59] Manzano, R., Roman, H., Gómez, L. *Análise do comportamento de conexão vertical de painéis estruturais cerâmicos pré-fabricados*. 35-50, Janeiro/Março 2013. Ambiente Construído, Porto Alegre.
- [60] [http://www.timbeco.ee/wp-content/uploads/2014/09/Electricity\\_prefab\\_panels.jpg](http://www.timbeco.ee/wp-content/uploads/2014/09/Electricity_prefab_panels.jpg). 28/05/2015.
- [61] Acotella, A., Buccolieri, C., Gialacosta, G., Staurengi, A., Zaffagnini, M. *Il Laterizio e la Qualità del Costruire*. Laterconsult, Roma, 1983.
- [62] <http://www.cisedil.it/sistemi-costruttivi/muratura-armata.aspx>. 04/05/2015.

[63]

[http://thoughts.arup.com/App/Images/Posts/Large/882x300\\_Prefab\\_Home\\_Assembly\\_iStock\\_00007289024.jpg](http://thoughts.arup.com/App/Images/Posts/Large/882x300_Prefab_Home_Assembly_iStock_00007289024.jpg). 16/05/2015.

[64] <http://midsouthprestress.com/images/products/precast-columns.jpg>. 26/03/2015.



# **Anexo A.1**

**FICHAS DE CUSTOS E RENDIMENTOS UTILIZADAS,  
EXTRAÍDAS DA PUBLICAÇÃO DO LNEC: “INFORMAÇÃO  
SOBRE CUSTOS: FICHAS DE RENDIMENTOS”.**



**ANEXO A.1 – FICHAS DE CUSTOS E RENDIMENTOS UTILIZADAS, EXTRAÍDAS DA PUBLICAÇÃO DO LNEC: “INFORMAÇÃO SOBRE CUSTOS: FICHAS DE RENDIMENTOS” [26].**

**1. PAREDES EXTERIORES SIMPLES**

ES1	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m3)
	Pedra Irregular para Alvenaria	1,100	m3	9,900	10,890
	Gasóleo	3,000	l	0,700	2,100
	<b>Total material</b>				<b>12,990</b>
	Equipamento				
	Dumper 1000 12cv	0,600	h	13,490	8,094
	Mão de obra				
	Pedreiro	4,500	h	7,520	33,840
	Servente	6,750	h	6,210	41,918
	<b>Total mão de obra</b>				<b>75,758</b>
	Operação auxiliar	0,400	m3	48,890	19,556
	<b>Total direto</b>				<b>116,398</b>
	<b>Total com custos indiretos (10%)</b>				<b>128,037</b>

ES2	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)
	Bloco de Betão de argila expandida	10,000	un	0,860	8,600
	Gasóleo	0,150	l	0,700	0,105
	<b>Total material</b>				<b>8,705</b>
	Equipamento				
	Dumper 1000 12cv	0,030	h	13,490	0,405
	Mão de obra				
	Pedreiro	0,663	h	7,520	4,986
	Servente	0,270	h	6,210	1,677
	<b>Total mão de obra</b>				<b>6,662</b>
	Operação auxiliar	0,022	m3	48,890	1,076
	<b>Total direto</b>				<b>16,848</b>
	<b>Total com custos indiretos (10%)</b>				<b>18,533</b>

ES3	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)
	Cimento portland normal classe 30	4,500	kg	0,080	0,360
	Água	0,002	m3	0,460	0,001
	Cal branca em pó	3,000	kg	0,150	0,450
	Bloco de betão celular autoclavado	8,000	un	1,380	11,040
	Gasóleo	0,250	l	0,700	0,175
	Total material				11,215
	Equipamento				
	Dumper 1000 12cv	0,050	h	13,490	0,675
	Mão de obra				
	Pedreiro	0,420	h	7,520	3,158
	Servente	0,340	h	6,210	2,111
	Total mão de obra				5,270
	<b>Total direto</b>				<b>17,159</b>
Total com custos indiretos (10%)				18,875	

ES4	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)
	Bloco de Betão	12,000	un	0,570	6,840
	Gasóleo	0,150	l	0,700	0,105
	Total material				6,945
	Equipamento				
	Dumper 1000 12cv	0,030	h	13,490	0,405
	Mão de obra				
	Pedreiro	0,398	h	7,520	2,993
	Servente	0,400	h	6,210	2,484
	Total mão de obra				5,477
	Operação auxiliar	0,017	m3	48,890	0,831
	<b>Total direto</b>				<b>13,658</b>
	Total com custos indiretos (10%)				15,024

ES5	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)
	Tijolo furado barro vermelho	16,000	un	0,500	8,000
	Gasóleo	0,275	l	0,700	0,193
	Total material				8,193
	Equipamento				
	Dumper 1000 12cv	0,055	h	13,490	0,742
	Mão de obra				
	Pedreiro	0,900	h	7,520	6,768
	Servente	0,860	h	6,210	5,341
	Total mão de obra				12,109
	Operação auxiliar	0,033	m3	48,890	1,613
	<b>Total direto</b>				<b>22,656</b>
	Total com custos indiretos (10%)				24,922

## 2. PAREDES EXTERIORES DUPLAS

ED1	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)
	Tijolo maciço barro vermelho 22x11x7	89,000	un	0,380	33,820
	Gasóleo	0,350	l	0,700	0,245
	Total material				34,065
	Equipamento				
	Dumper 1000 12cv	0,070	h	13,490	0,944
	Mão de obra				
	Pedreiro	2,200	h	7,520	16,544
	Servente	2,700	h	6,210	16,767
	Total mão de obra				33,311
	Operação auxiliar	0,032	m3	48,890	1,564
	<b>Total direto</b>				<b>69,885</b>
	Total com custos indiretos (10%)				76,873

ED2	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)	
	Tijolo furado 30x20x11 cm de primeira qualidade	16,000	un	0,270	4,320	
	Tijolo furado 30x20x15 cm de primeira qualidade	16,000	un	0,340	5,440	
	Gasóleo	0,350	l	0,700	0,245	
	Total material				10,005	
	Equipamento					
	Dumper 1000 12cv	0,070	h	13,490	0,944	
	Mão de obra					
	Pedreiro	1,420	h	7,520	10,678	
	Servente	1,300	h	6,210	8,073	
	Total mão de obra				18,751	
	Operação auxiliar	0,038	m3	48,890	1,858	
	Total direto				31,559	
Total com custos indiretos (10%)				34,714		

ED3	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)	
	Tijolo furado barro vermelho 22x11x7 cm	53,000	un	0,160	8,480	
	Tijolo maciço barro vermelho 22x11x7 cm	53,000	un	0,380	20,140	
	Gasóleo	0,575	l	0,700	0,403	
	Total material				29,023	
	Equipamento					
	Dumper 1000 12cv	0,115	h	13,490	1,551	
	Mão de obra					
	Pedreiro	2,600	h	7,520	19,552	
	Servente	2,880	h	6,210	17,885	
	Total mão de obra				37,437	
	Operação auxiliar	0,056	m3	48,890	2,738	
	Total direto				70,748	
Total com custos indiretos (10%)				77,823		

ED4	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)	
	Tijolo furado barro vermelho 30x20x11 cm de primeira qualidade	16,000	un	0,270	4,320	
	Tijolo maciço barro vermelho 22x11x7 cm	53,000	un	0,380	20,140	
	Gasóleo	0,475	l	0,700	0,333	
	Total material				24,793	
	Equipamento					
	Dumper 1000 12cv	0,095	h	13,490	1,282	
	Mão de obra					
	Pedreiro	1,970	h	7,520	14,814	
	Servente	2,200	h	6,210	13,662	
	Total mão de obra				28,476	
	Operação auxiliar	0,039	m3	48,890	1,907	
	<b>Total direto</b>				<b>56,457</b>	
Total com custos indiretos (10%)				62,103		

ED5	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)	
	Tijolo furado barro vermelho 30x20x22 cm de primeira qualidade	16,000	un	0,500	8,000	
	Tijolo maciço barro vermelho 22x11x7 cm	53,000	un	0,380	20,140	
	Gasóleo	0,500	l	0,700	0,350	
	Total material				28,490	
	Equipamento					
	Dumper 1000 12cv	0,100	h	13,490	1,349	
	Mão de obra					
	Pedreiro	2,200	h	7,520	16,544	
	Servente	2,480	h	6,210	15,401	
	Total mão de obra				31,945	
	Operação auxiliar	0,056	m3	48,890	2,738	
	<b>Total direto</b>				<b>64,522</b>	
Total com custos indiretos (10%)				70,974		

## 3. PAREDES INTERIORES

I1	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)
	Bloco de betão argila expandida	10,000	un	0,460	4,600
	Gasóleo	0,100	l	0,700	0,070
	Total material				4,670
	Equipamento				
	Dumper 1000 12cv	0,020	h	13,490	0,270
	Mão de obra				
	Pedreiro	0,287	h	7,520	2,158
	Servente	0,140	h	6,210	0,869
	Total mão de obra				3,028
	Operação auxiliar	0,006	m3	48,890	0,293
	<b>Total direto</b>				<b>8,261</b>
	Total com custos indiretos (10%)				9,087

I2	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)
	Cimento portland normal classe 30	3,750	kg	0,080	0,300
	Água	0,002	m3	0,460	0,001
	Cal branca em pó	2,500	kg	0,150	0,375
	Bloco de betão celular autoclavado	8,000	un	1,150	9,200
	Gasóleo	0,150	l	0,700	0,105
	Total material				9,981
	Equipamento				
	Dumper 1000 12cv	0,020	h	13,490	0,270
	Mão de obra				
	Pedreiro	0,370	h	7,520	2,782
	Servente	0,330	h	6,210	2,049
	Total mão de obra				4,832
<b>Total direto</b>				<b>15,082</b>	
Total com custos indireto (10%)				16,591	

I3	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)
	Bloco de betão	12,000	un	0,370	4,440
	Gasóleo	0,100	l	0,700	0,070
	Total material				4,510
	Equipamento				
	Dumper 1000 12cv	0,020	h	13,490	0,270
	Mão de obra				
	Pedreiro	0,350	h	7,520	2,632
	Servente	0,360	h	6,210	2,236
	Total mão de obra				4,868
	Operação auxiliar	0,011	m3	48,890	0,538
	<b>Total direto</b>				<b>10,185</b>
	Total com custo indireto (10%)				11,204

I4	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)
	Tijolo furado de barro vermelho, 30x20x7	16,000	un	0,230	3,680
	Gasóleo	0,100	l	0,700	0,070
	Total material				3,750
	Equipamento				
	Dumper 1000 12cv	0,020	h	13,490	0,270
	Mão de obra				
	Pedreiro	0,600	h	7,520	4,512
	Servente	0,490	h	6,210	3,043
	Total mão de obra				7,555
	Operação auxiliar	0,010	m3	48,890	0,489
	<b>Total direto</b>				<b>12,064</b>
	Total com custo indireto (10%)				13,270

	Material	Qt	Un	Custo un (€)	Custo total (€/m2)	
15	Tijolo furado de barro vermelho, 30x20x11 cm	16,000	un	0,270	4,320	
	Gasóleo	0,150	l	0,700	0,105	
	Total material				4,425	
	Equipamento					
	Dumper 1000 12cv	0,030	h	13,490	0,405	
	Mão de obra					
	Pedreiro	0,670	h	7,520	5,038	
	Servente	0,580	h	6,210	3,602	
	Total mão de obra				8,640	
	Operação auxiliar	0,016	m3	48,890	0,782	
	Total direto				14,252	
	Total com custo indireto (10%)				15,677	

# **Anexo A.2**

## **QUADROS DE CÁLCULO UTILIZADOS NA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA**



## ANEXO A.2 – QUADROS DE CÁLCULO UTILIZADOS NA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

## 1. QUADRO COMPARATIVO DAS ÁREAS DAS FACES DOS BLOCOS COM OS CUSTOS GLOBAIS E RENDIMENTOS

Parede	<sup>1</sup> Áreas Ordenadas (cm <sup>2</sup> )	Custo global (€/m <sup>2</sup> )	R <sub>m</sub> (h/m <sup>2</sup> )	Peso blocos (kg)
I5	600,00	14,25	1,47	5,00
I4	600,00	12,06	1,09	4,00
I3	800,00	10,19	0,71	11,00
I1	1000,00	8,26	0,43	9,00
I2	1200,00	15,08	0,70	6,48
ES5	600,00	22,66	1,76	9,00
ES4	800,00	13,66	0,80	24,00
ES2	1000,00	16,85	0,93	18,50
ES3	1200,00	17,16	0,76	6,60
ES1	Não se aplica: Dimensões irregulares			
ED3	308,00	70,75	5,48	5,00
ED1	396,00	69,88	4,90	6,00
ED5	754,00	64,52	4,68	12,00
ED4	754,00	56,46	4,17	8,00
ED2	1200,00	31,56	2,73	11,00

<sup>1</sup> Área da face dos blocos constituintes das paredes, correspondente à soma das áreas dos blocos de cada pano no caso das paredes duplas.

## 2. QUADRO DE CÁLCULO DOS VALORES DE U

Parede	$\lambda$ [W/m.°C]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	e [m]	Rpanos [(m <sup>2</sup> .°C)/W]	<sup>2</sup> Routros [(m <sup>2</sup> .°C)/W]	Rtotal [(m <sup>2</sup> .°C)/W]	<sup>3</sup> U [W/(m <sup>2</sup> .°C)]
ES1	2,8	2000	0,29	0,1036	1,2750	1,3786	0,7254
ES2	-	-	0,2	0,4900	1,2750	1,7650	0,5666
ES3	0,19	550	0,15	0,7895	1,2750	2,0645	0,4844
ES4	0,75	2000	0,15	0,2000	1,2750	1,4750	0,6780
ES5	-	-	0,22	0,5600	1,2750	1,8350	0,5450
ED1	-	-	0,07	0,3900	1,2750	1,6650	0,6006
			0,11				
ED2	-	-	0,11	0,8400	1,2750	2,1150	0,4728
			0,15				
ED3	-	-	0,11	0,5800	1,2750	1,8550	0,5391
			0,11				
ED4	-	-	0,11	0,5800	1,2750	1,8550	0,5391
			0,11				
ED5	-	-	0,11	0,8300	1,2750	2,1050	0,4751
			0,22				

<sup>2</sup> Routros = 0,13+0,04+1,081+(2x0,012) (m<sup>2</sup>.°C)/W, onde:

- 2 x 0,012 – corresponde às resistências térmicas do reboco tradicional interior e exterior, com  $\lambda=1,3$  W/(m.°C) e espessura de 15 mm;
- 0,13 (m<sup>2</sup>.°C)/W – resistência térmica superficial interior ( $R_{si}$ );
- 0,04 (m<sup>2</sup>.°C)/W – resistência térmica superficial exterior ( $R_{se}$ );
- 1,081 (m<sup>2</sup>.°C)/W – resistência térmica das placas de 4 cm de isolamento de poliestireno expandido extrudido com  $\lambda=0,037$  W/(m.°C).

<sup>3</sup> U = 1/Rtotal, com Rtotal = Rpanos+Routros;

