



## Universidades Lusíada

Urbano, Marlene Canudo, 1977-

### **A evolução das paredes exteriores de edifícios no período 1940-2019**

<http://hdl.handle.net/11067/5888>

#### **Metadados**

<b>Data de Publicação</b>	2020
<b>Resumo</b>	<p>Esta dissertação analisa e estuda a evolução histórico-arquitectónica das paredes exteriores de edifícios de estrutura porticada de betão armado com paredes de enchimento, no específico período de 1940 a 2019. Muitas vezes, a sua real importância é descurada. Nesta investigação, as paredes exteriores assumem o papel principal. As paredes exteriores fazem parte do envelope do edifício, são um dos principais elementos verticais que o compõem, protegendo-o dos agressores externos, sejam estes de n...</p> <p>This dissertation analyses and studies the historical-architectural evolution of the exterior walls from buildings of reinforced concrete with filling walls structure, in the specific period from 1940 to 2019. Often, their real importance is overlooked. In this research, the exterior walls take the main role. The exterior walls are part of the building envelope, they are one of the main vertical elements that compose it, protecting it from external aggressors, whether they are of a climatic nat...</p>
<b>Palavras Chave</b>	Paredes exteriores, Paredes exteriores - Projectos e construção
<b>Tipo</b>	masterThesis
<b>Revisão de Pares</b>	yes
<b>Coleções</b>	[ULL-FAA] Dissertações

Esta página foi gerada automaticamente em 2024-04-29T15:09:30Z com informação proveniente do Repositório



**UNIVERSIDADE LUSÍADA**  
**FACULDADE DE ARQUITECTURA E ARTES**  
**Mestrado Integrado em Arquitectura**

**A evolução das paredes exteriores de  
edifícios no período 1940-2019**

**Realizado por:**  
Marlene Canudo Urbano

**Orientado por:**  
Prof. Doutor Arqt. Alberto Cruz Reaes Pinto

**Constituição do Júri:**

Presidente: Prof. Doutor Horácio Manuel Pereira Bonifácio  
Orientador: Prof. Doutor Arqt. Alberto Cruz Reaes Pinto  
Arguente: Prof.<sup>a</sup> Doutora Arqt.<sup>a</sup> Cristina Maria dos Santos Nunes Caramelo Gomes

Dissertação aprovada em: 29 de Março de 2021

Lisboa

2020



**U N I V E R S I D A D E L U S Í A D A**

FACULDADE DE ARQUITECTURA E ARTES

Mestrado Integrado em Arquitectura

# A evolução das paredes exteriores de edifícios no período 1940-2019

Marlene Canudo Urbano

Lisboa

Novembro 2020



**U N I V E R S I D A D E L U S Í A D A**

FACULDADE DE ARQUITECTURA E ARTES

Mestrado Integrado em Arquitectura

A evolução das paredes exteriores de edifícios no  
período 1940-2019

Marlene Canudo Urbano

Lisboa

Novembro 2020

Marlene Canudo Urbano

# A evolução das paredes exteriores de edifícios no período 1940-2019

Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitectura e Artes da Universidade Lusíada para a obtenção do grau de Mestre em Arquitectura.

Orientador: Prof. Doutor Arqt. Alberto Cruz Reaes Pinto

Lisboa

Novembro 2020

## FICHA TÉCNICA

**Autora** Marlene Canudo Urbano  
**Orientador** Prof. Doutor Arqt. Alberto Cruz Reaes Pinto  
**Título** A evolução das paredes exteriores de edifícios no período 1940-2019  
**Local** Lisboa  
**Ano** 2020

### **MEDIATECA DA UNIVERSIDADE LUSÍADA - CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO**

URBANO, Marlene Canudo, 1977-

A evolução das paredes exteriores de edifícios no período 1940-2019 / Marlene Canudo Urbano ; orientado por Alberto Cruz Reaes Pinto. - Lisboa : [s.n.], 2020. - Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura, Faculdade de Arquitectura e Artes da Universidade Lusíada.

I - PINTO, Alberto Reaes, 1932-

LCSH

1. Paredes exteriores
2. Paredes exteriores - Projectos e construção
3. Universidade Lusíada. Faculdade de Arquitectura e Artes - Teses
4. Teses - Portugal - Lisboa

1. Exterior walls

2. Exterior walls - Design and construction
3. Universidade Lusíada. Faculdade de Arquitectura e Artes - Dissertations
4. Dissertations, Academic - Portugal - Lisbon

LCC

1. TH2235.U73 2020

Dedico este trabalho à minha família, em particular, ao meu filho Gustavo.





## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos aqueles que tornaram este momento possível, em especial:

Ao meu filho Gustavo, que apesar da sua tenra idade, foi a minha maior motivação e razão para continuar.

Ao meu marido, que sempre acreditou que eu era capaz de vencer esta batalha.

Aos meus pais, porque estiveram sempre lá nos momentos mais difíceis.

À minha irmã que, mesmo longe, esteve sempre perto.

Ao meu estimado orientador Prof. Doutor Arqt. Alberto Reaes Pinto, que foi o principal impulsionador deste percurso atribulado, tornando tudo isto possível. A sua dedicação, conhecimento, disponibilidade e empenho foram incondicionais.

O meu muito obrigado!



“O acto criativo comum a todas as artes [...] consta de um procedimento intelectual de natureza cognitiva [...] que se finaliza num procedimento técnico, isto é, a escolha de uma matéria e da maneira de a tratar. [...].

A técnica não pode ser separada da criação.”

TAINHA, Manuel (1994) – Arquitectura em questão. Lisboa : AEFA - UTL . p. 73.



## **APRESENTAÇÃO**

### **A evolução das paredes exteriores de edifícios no período 1940-2019**

Marlene Canudo Urbano

Esta dissertação analisa e estuda a evolução histórico-arquitectónica das paredes exteriores de edifícios de estrutura porticada de betão armado com paredes de enchimento, no específico período de 1940 a 2019.

Muitas vezes, a sua real importância é descurada. Nesta investigação, as paredes exteriores assumem o papel principal. As paredes exteriores fazem parte do envelope do edifício, são um dos principais elementos verticais que o compõem, protegendo-o dos agressores externos, sejam estes de natureza climática ou outra. Estas têm a função de garantir, não só a protecção do espaço interior utilizado, como um conjunto de factores essenciais para a eficiência do edifício onde estão inseridas. Factores como: o conforto higrotérmico, o isolamento acústico, a qualidade do ar interior, a energia consumida, as emissões de dióxido de carbono, a durabilidade e a sua manutenção, até ao fim do ciclo de vida do edifício (desconstrução e desmantelamento selectivo) são o resultado de uma boa concepção, um desenho adequado, uma correcta execução e uma adequada tecnologia de construção.

O estudo desta temática aborda ainda as anomalias que as paredes exteriores apresentam no património construído. Fundamentalmente, falhas ao nível do comportamento térmico e da defesa às humidades, com rebocos microfissurados e fendilhados, dando origem a espaços interiores utilizados húmidos e frios que se reflectem na saúde dos utilizadores.

A busca por resultados positivos para a construção das paredes exteriores, é a base desta dissertação, fundamentada na investigação pelo conhecimento do estado da arte, onde, actualmente, a sustentabilidade adquire um papel fundamental.

**Palavras-chave:** Tipologias de Paredes Exteriores, Materiais, Tecnologias de Aplicação, Construção Sustentável.

**Nota:** A seguinte dissertação foi escrita ao abrigo do antigo acordo ortográfico.

## **PRESENTATION**

### **The evolution of exterior walls of buildings from 1940–2019**

Marlene Canudo Urbano

This dissertation analyses and studies the historical-architectural evolution of the exterior walls from buildings of reinforced concrete with filling walls structure, in the specific period from 1940 to 2019.

Often, their real importance is overlooked. In this research, the exterior walls take the main role. The exterior walls are part of the building envelope, they are one of the main vertical elements that compose it, protecting it from external aggressors, whether they are of a climatic nature or otherwise. These have the function of ensuring, not only the protection of the used indoor space, but also a set of essential factors for the efficiency of the building where they are inserted. Factors such as: hygrothermal comfort, acoustic insulation, indoor air quality, energy consumed, carbon dioxide emissions, durability and its maintenance, until the end of the building's life cycle (deconstruction and selective dismantling) they are the result of a good conception, an adequate design, a correct execution and an adequate construction technology.

The study of this topic also covers the anomalies that exterior walls present in the built heritage. Fundamentally, failures in terms of thermal behaviour and defence against humidity, with micro-fissure and crack plastering, giving rise to humid and cold used indoor spaces that are reflected on the users' health.

The search for positive results for the construction of exterior walls, is the basis of this dissertation, based in the research for the knowledge of the state of art, where, sustainability is currently playing a fundamental role.

**Keywords:** Typologies of Exterior Walls, Materials, Application Technologies, Sustainable Construction.





## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Ilustração 1</b> – Representações de grutas e a sua evolução melhorando as condições de defesa. ([Adaptado a partir de:] Branco, 1993, p. 60). .....	42
<b>Ilustração 2</b> – Representações da evolução das primeiras construções em alvenaria de pedra. ([Adaptado a partir de:] Branco, 1993, p. 60). .....	42
<b>Ilustração 3</b> – Representações de diversos tipos de abrigos artificiais construídos com materiais locais. ([Adaptado a partir de:] Branco, 1993, p. 62). .....	44
<b>Ilustração 4</b> – Representações de diversos tipos de abrigos artificiais construídos com materiais locais. ([Adaptado a partir de:] Branco, 1993, p. 62-63) .....	44
<b>Ilustração 5</b> – Porta de Ishtar, da Babilónia, no Museu de Pérgamo em Berlim. (Fátima e Elenice, 2015). .....	45
<b>Ilustração 6</b> –Pormenor de tijolo vidrado da Porta de Ishtar, da Babilónia, no Museu de Pérgamo em Berlim. (Fátima e Elenice, 2015).....	45
<b>Ilustração 7</b> – Representação da evolução das paredes exteriores em Portugal. (Freitas, 2002, p. 2). .....	48
<b>Ilustração 8</b> – Principais funções do invólucro exterior dos edifícios. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 44). .....	55
<b>Ilustração 9</b> – Tipos de isolamento. (Amorim Cork Insulation, 2020 ; Knauf Insulation, 2020 ; Imperialum, 2020 ; EPS, 2012). .....	61
<b>Ilustração 10</b> – Edificações em terra, Taos, Novo México. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 13). .....	66
<b>Ilustração 11</b> – Edifícios em adobe, Shibam, Iémen. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 14). .....	66
<b>Ilustração 12</b> – A terra como material de construção, os 12 principais tipos de utilização. (González, 2006, p. 80 ; Auroville Earth Institute, 2020). .....	68
<b>Ilustração 13</b> – Manuscrito com pormenores da construção em taipa, Jaquin, 2008. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 12).....	69
<b>Ilustração 14</b> – Castelo de Paderne, arquitectura militar islâmica em taipa, no Algarve. (Ncouth, 2017).....	70
<b>Ilustração 15</b> – Construção tradicional de parede em taipa, em Moçambique, Miguel Mendes, 2006. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 35).....	71
<b>Ilustração 16</b> – Construção tradicional de taipa, com inclinação na parte superior da camada em execução. (Pinho, 2000, p. 132).....	72
<b>Ilustração 17</b> – Execução de taipa com compactador pneumático, obra em Serpa. (Betão e taipa, 2020). .....	73
<b>Ilustração 18</b> – Taipa mecanizada com técnicas tradicionais, obra em Carcavelos. (Betão e taipa, 2020). .....	73
<b>Ilustração 19</b> – Execução de paredes em taipa mecanizada em diferentes fases. (Betão e taipa, 2020). .....	74
<b>Ilustração 20</b> – Obra com paredes em taipa mecanizada à vista, obra em Serpa. (Betão e taipa, 2020). .....	74

<b>Ilustração 21</b> – Parede em taipa caiada. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 119).....	75
<b>Ilustração 22</b> – Desenho de fabrico de adobe no Egípto, Tebas, Tumba de Rekhmire no séc. XV a.C. (Auroville Earth Institute, 2020). .....	76
<b>Ilustração 23</b> – Produção manual de adobe em vários pontos do mundo. (Auroville Earth Institute, 2020). .....	77
<b>Ilustração 24</b> – Compactação manual de adobe em molde de madeira, Ignacio Gomez Pulido. (Baraya, 2020). .....	78
<b>Ilustração 25</b> – Produção mecanizada de adobe no Novo México, E.U.A., J. Evrard. (Auroville Earth Institute, 2020). .....	78
<b>Ilustração 26</b> – Alvenaria com adobeton, Martin, 1998. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 46). .....	79
<b>Ilustração 27</b> – Alvenaria de adobe <i>in situ</i> . (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 47). .....	79
<b>Ilustração 28</b> – Alvenaria de adobe sobre fundação de pedra no Alentejo. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 61). .....	80
<b>Ilustração 29</b> – Assentamento dos blocos de adobe. (Baraya, 2020). .....	80
<b>Ilustração 30</b> –Edifício com paredes exteriores em blocos de adobe no Algarve, Mateus, 2004. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 62). .....	81
<b>Ilustração 31</b> – Primeiras tentativas de produção de BTC. (Auroville Earth Institute, 2020). .....	82
<b>Ilustração 32</b> – A primeira prensa para blocos de terra comprimida da CINVA-Ram. (Auroville Earth Institute, 2020). .....	82
<b>Ilustração 33</b> – Execução dos BTC em prensa manual CINVA-Ram. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 65). .....	83
<b>Ilustração 34</b> – Prensas hidráulicas de BTC, à direita, fixa (Quintino, 2005) e à esquerda, móvel. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 53). .....	84
<b>Ilustração 35</b> – Blocos de Terra Comprimida Estabilizados (BTCE). (Auroville Earth Institute, 2020). .....	84
<b>Ilustração 36</b> – Blocos de Terra Comprimida (BTC) com encaixes tipo macho/fêmea. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 65). .....	85
<b>Ilustração 37</b> –Blocos de Terra Comprimida (BTC) perfurados. (Auroville Earth Institute, 2020). .....	85
<b>Ilustração 38</b> –Etapas de construção da casa móvel Aum, BTC perfurados, em Khavda na Índia. (Auroville Earth Institute, 2020). .....	86
<b>Ilustração 39</b> – Construção de alvenarias com BTC no Alentejo. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 64). .....	87
<b>Ilustração 40</b> – Blocos de terra comprimida (BTC) acabados. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 64). .....	87
<b>Ilustração 41</b> – Início de degradação de parede em adobe por exposição à água, Herbert Baresch. (Baraya, 2020). .....	89
<b>Ilustração 42</b> – Parede em alvenaria de pedra ordinária rebocada. (Ilustração nossa, 2020). .....	97

<b>Ilustração 43</b> – Fundação directa corrente em edifícios antigos. (Pinho, 2000, p. 29). .....	97
<b>Ilustração 44</b> – Parte de ruína com parede de alvenaria de pedra ordinária exposta por destacamento do reboco. (Ilustração nossa, 2020). .....	98
<b>Ilustração 45</b> – Alvenaria de pedra com travamento instável e estável . (Mascarenhas, 2004, p. 23). .....	99
<b>Ilustração 46</b> – Parede em alvenaria de pedra aparente irregular. (Ilustração nossa, 2020). .....	100
<b>Ilustração 47</b> – Alvenaria de pedra aparente irregular. (Colin, 2010). .....	101
<b>Ilustração 48</b> – Alvenaria de pedra aparente irregular. (Branco, 1993, p. 132). .....	101
<b>Ilustração 49</b> – Operações de regularização dos blocos de pedra. (Branco, 1993, p. 77). .....	102
<b>Ilustração 50</b> – Diversos tipos de alvenarias aparentes: regulares (A) e irregulares (B). Aparelhado variado nas faces regularizadas dos blocos: bujardado e pico fino (C); pico grosso e escassilhado (D).. (Branco , 1993, p. 133). .....	103
<b>Ilustração 51</b> – Alvenaria aparelhada e regra de travamento das alvenarias de pedra. (Branco, 1993, p. 78). .....	103
<b>Ilustração 52</b> – Sistema de corte dos toros de madeira: A - serração desfiada, tangencial ou pranchas paralelas; B - serração radial; C - serração mista. (Petrucci, 1995, p. 127). .....	112
<b>Ilustração 53</b> – Paredes de madeira com toros. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011, p. A3.3 ; Mascarenhas, 2004, p. 32). .....	112
<b>Ilustração 54</b> – Paredes de madeira com pranchas maciças. (Mascarenhas, 2004, p. 34). .....	113
<b>Ilustração 55</b> – Painel exterior aplicado na estrutura de parede exterior. (Twist e Lancashire, 2008, p. 69). .....	114
<b>Ilustração 56</b> – Fabrico de painéis pré-fabricados para sistema aligeirado, Rusticasa. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011, p. A5.15) .....	115
<b>Ilustração 57</b> – Parede com painéis leves, isolamento térmico e revestimento exterior desligado. (Amorim Cork Insulation, 2020). .....	115
<b>Ilustração 58</b> – Paredes exteriores com diversos tipos de revestimentos exteriores: cerâmico, ardósia e mosaicos de encaixe. Fixados mecanicamente a reticula de madeira desligados do suporte rígido da parede exterior. (Twist e Lancashire, 2008, p. 170). .....	116
<b>Ilustração 59</b> – Diversos tipos de revestimento de madeira exteriores aplicados na horizontal. (Twist e Lancashire, 2008, p. 176). .....	117
<b>Ilustração 60</b> – Movimento provocado na forma das réguas de revestimento devido à variação do teor de humidade e secagem, em cortes feitos nas diferentes partes do toro de madeira. (Twist e Lancashire, 2008, p. 181). .....	117
<b>Ilustração 61</b> – Revestimento exterior em reboco de cimento em malha fixado mecanicamente a reticula de madeira fixada à parede exterior de suporte. (Twist e Lancashire, 2008, p. 172). .....	118
<b>Ilustração 62</b> – Detalhe construtivo fundação. (Twist e Lancashire, 2008, p. 34). .....	118

<b>Ilustração 63</b> – Montagem de paredes portantes aligeiradas, Loghomes.(Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011, p. A5.19). .....	119
<b>Ilustração 64</b> – Vários tipos de empeno (desenho de Tomás Mateus, cc. 1960). (Cruz e Nunes, 2012, p. 639). .....	120
<b>Ilustração 65</b> – Direcções tangencial, radial e longitudinal e respectivos coeficientes de retracção em termos relativos (valores médios para o pinho bravo). (Cruz e Nunes, 2012, p. 639). .....	120
<b>Ilustração 66</b> –Parede de madeira com painéis em vidro, (Façades <i>apud</i> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 158). .....	121
<b>Ilustração 67</b> – Casas de madeira na Serra da Estrela., Luís Morgado, (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 158). .....	125
<b>Ilustração 68</b> – Parede exterior de alvenaria de tijolo simples com espessura de 22cm. (Melo, 2002, p. 150). .....	129
<b>Ilustração 69</b> – Formatos de tijolos cerâmicos mais correntes (Sousa, 2002, p. 28).130	
<b>Ilustração 70</b> – Diversos métodos de execução de alvenarias de tijolo cerâmico. (Colin, 2010). .....	131
<b>Ilustração 71</b> – Parede de tijolo com isolamento térmico à vista em aglomerado de cortiça expandida. (Amorim Cork Insulation, 2020). .....	131
<b>Ilustração 72</b> – Representação da evolução das paredes exteriores de alvenaria de tijolo de pano duplo em Portugal. ([Adaptado a partir de :] Freitas, 2002, p. 2). .....	132
<b>Ilustração 73</b> – Detalhe construtivo de parede exterior de alvenaria de tijolo de duplo pano, 2000. (Pinto, 2020). .....	134
<b>Ilustração 74</b> – Esquema do sistema de construção de alvenarias em tijolo de duplo pano. (Branco, 1993, p. 146). .....	135
<b>Ilustração 75</b> – Esquema do sistema de construção de alvenarias em tijolo de duplo pano. (Branco, 1993, p. 146). .....	135
<b>Ilustração 76</b> – Parede de alvenaria em tijolo vazado de duplo pano com isolamento térmico em cortiça. (Amorim Cork Insulation, 2020). .....	136
<b>Ilustração 77</b> –Execução de parede de alvenaria em tijolo vazado de duplo pano com isolamento térmico no interior. (Freitas e Gonçalves, P., 2005, p. 9). .....	136
<b>Ilustração 78</b> – Parede de alvenaria em tijolo furado simples com isolamento térmico no interior. (Freitas e Gonçalves, P., 2005, p. 9). .....	137
<b>Ilustração 79</b> – Construção mais eficaz de parede exterior de alvenaria em tijolo pano duplo com isolamento térmico. (Melo, 2002, p. 152). .....	138
<b>Ilustração 80</b> – Sistema de construção de alvenaria de blocos de betão tradicional e alvenaria. (Mascarenhas, 2004, p. 89). .....	142
<b>Ilustração 81</b> – Características dos blocos de betão correntes em Portugal. (Sousa, 2002, p. 29). .....	143
<b>Ilustração 82</b> – Diversos blocos de betão. (Febe, 2020). .....	144
<b>Ilustração 83</b> – Parede de blocos de betão à vista. (Febe, 2020). .....	144
<b>Ilustração 84</b> – Juntas horizontais de assentamento de alvenaria de blocos de argila expandida. (Leca, 2018, p. 18). .....	148

<b>Ilustração 85</b> – Parede exterior de alvenaria de blocos de argila expandida com sistema ETICS. (Leca, 2018, p. 18). .....	149
<b>Ilustração 86</b> – Parede exterior de alvenaria de blocos de argila expandida isolantes portantes. (Leca, 2018, p. 18). .....	149
<b>Ilustração 87</b> – Bloco de argila expandida, para alvenarias exteriores em pano simples de enchimento. (Leca, 2018, p. 23). .....	150
<b>Ilustração 88</b> – Bloco de argila expandida para alvenarias exteriores em pano simples, de enchimento ou resistente, revestidos com reboco mineral isolante ou não. (Leca, 2018, p. 24). .....	150
<b>Ilustração 89</b> – Cura de betão celular em autoclave, Guerreiro, 2002. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 49). .....	153
<b>Ilustração 90</b> – Assentamento de blocos de betão celular em autoclave, Mateus, 2004. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 50). .....	154
<b>Ilustração 91</b> – Assentamento e aplicação de argamassa nos blocos com espátula de dentes. (Xella - Ytong, 2020). .....	155
<b>Ilustração 92</b> – Corte dos blocos de betão celular autoclavado com serrote e esquadro. (Xella - Ytong, 2020). .....	155
<b>Ilustração 93</b> – Blocos de betão celular autoclavado com isolante integrado. (Xella - Ytong, 2020). .....	156
<b>Ilustração 94</b> – À esquerda, bloco de betão celular autoclavado com pegas - sistema de encaixe macho-fêmea, à direita, assentamento de ACC com pegas em parede exterior de enchimento. (Xella - Ytong, 2020). .....	156
<b>Ilustração 95</b> – Edifício público construído com blocos de betão celular autoclavado. (Xella - Ytong, 2020). .....	157
<b>Ilustração 96</b> – Coeficiente de condutibilidade térmica dos blocos de betão celular autoclavado, quanto mais baixo o coeficiente maior a sua capacidade isolante. (Xella - Ytong, 2020). .....	158
<b>Ilustração 97</b> – Comportamento térmico dos edifícios construídos com blocos de betão celular autoclavado quando comparados com outros edifícios com outros tipos de blocos convencionais, à esquerda no Inverno e à direita, no Verão. (Xella - Ytong, 2020). .....	159
<b>Ilustração 98</b> – Etapas do fabrico dos blocos de betão celular autoclavado. (Xella - Ytong, 2020). .....	160
<b>Ilustração 99</b> – À esquerda, fibras de cânhamo (caule), à direita, granulado de cortiça, exemplos de aglutinados usados no fabrico dos blocos de encaixe de baixo carbono. (Eires, Jalali e Camões, 2007, p. 3-4). .....	163
<b>Ilustração 100</b> – Da esquerda para a direita, planta, alçado e axonometria dos blocos de baixo carbono. (Pinto, 2018, p. 219). .....	164
<b>Ilustração 101</b> – Processo de execução dos blocos de encaixe de baixo carbono em moldes de chapa metálica. (Pinto, 2018, p. 220). .....	164
<b>Ilustração 102</b> – Molde em chapa metálica e bloco de cal de baixo carbono. (Pinto, 2018, p. 220). .....	165
<b>Ilustração 103</b> – Dimensões e sistema de encaixe dos moldes de chapa metálica. (Pinto, 2018, p. 219). .....	165

<b>Ilustração 104</b> – Elevação de parede realizada com blocos de encaixe de baixo carbono, moldes de construção de blocos em chapa metálica e em madeira. Blocos concebidos pelo Prof. Doutor. Arqt. Reaes Pinto. (Ilustração nossa, 2020). .....	166
<b>Ilustração 105</b> – Processo de execução das paredes com blocos de baixo carbono: a) sistema de encaixe sem argamassa; b) com reforço pontual de argamassa. (Pinto, 2018, p. 219). .....	166
<b>Ilustração 106</b> – À esquerda, planta de um segmento de parede com variações de encaixe dos blocos. À direita, elevação de parede realizada com blocos de baixo carbono. (Pinto, 2018, p. 219). .....	167
<b>Ilustração 107</b> – Construção industrializada. ([Adaptado a partir:] Amado <i>et al.</i> , 2015, p. 186). .....	171
<b>Ilustração 108</b> – Processo de montagem de paredes exteriores pré-fabricadas pesadas, edifícios em Santo António dos Cavaleiros, ICESA - SAC, 1966. (Pinto, 2001, p. 300). .....	173
<b>Ilustração 109</b> – Construção com paredes exteriores pré-fabricadas pesadas de edifícios habitacionais em Santo António dos Cavaleiros, ICESA - SAC, 1967. (Pinto, 2001, p. 300). .....	173
<b>Ilustração 110</b> – Fase de execução de painel pré-fabricado de parede exterior resistente, ICESA , 1966. (Pinto, 2001, p. 289).....	173
<b>Ilustração 111</b> – Painéis pré-fabricados de paredes exteriores já acabados, ICESA , 1966. (Pinto, 2001, p. 289). .....	173
<b>Ilustração 112</b> – Zona de armazenamento dos painéis pré-fabricados de paredes exteriores resistentes, ICESA , 1968. (Pinto, 2001, p. 290). .....	174
<b>Ilustração 113</b> – Pré-fabricação linear, em Aveiro, PAVICENTRO, 1998. (Pinto, 2001, p. 301). .....	174
<b>Ilustração 114</b> – Fases de construção dos painéis pré-fabricados leves. (Pinto e Dias, 2018, p. 18-19). .....	175
<b>Ilustração 115</b> – Montagem de acabamento exterior nos painéis pré-fabricados leves. (Pinto, 2018, p. 177). .....	175
<b>Ilustração 116</b> – Painel pré-fabricado leve de parede exterior, com isolamento térmico de palha. (Ilustração nossa, 2020). .....	176
<b>Ilustração 117</b> – Painel pré-fabricado leve de parede exterior, com isolamento térmico de granulado de cortiça. (Ilustração nossa, 2020). .....	176
<b>Ilustração 118</b> – Painel pré-fabricado leve de parede exterior, com revestimento exterior cerâmico fixado mecanicamente. (Ilustração nossa, 2020). .....	176
<b>Ilustração 119</b> – Funcionamento da parede ventilada contribui para o conforto térmico do espaço interior habitado. (Ulma, 2020). .....	181
<b>Ilustração 120</b> – Parede ventilada com sistema de fixação linear (indirecto) oculto e isolamento aglomerado de cortiça expandida pelo exterior. (Amorim Cork Insulation, 2020). .....	183
<b>Ilustração 121</b> – Parede ventilada com sistema de fixação pontual (directo) à vista. (Butech Porcelanosa Grupo, 2016, p. 82). .....	183
<b>Ilustração 122</b> – Instalação de sistema de suporte em juntas verticais, 2018. ([Adaptado a partir de:] Halfen, 2020). .....	184

<b>Ilustração 123</b> – Instalação de sistema de suporte em juntas horizontais, 2018. ([Adaptado a partir de:] Halfen, 2020). .....	184
<b>Ilustração 124</b> – Suporte metálico anticorrosivo encapsulado para placas de pedra, sistema de fixação mecânica pontual oculto. (Halfen, 2020). .....	185
<b>Ilustração 125</b> – Suporte metálico encapsulado para placas de pedra, chumbado ao suporte rígido, sistema pontual oculto 2018. (Halfen, 2020). .....	185
<b>Ilustração 126</b> – Parede ventilada com sistema de fixação linear (indirecto) oculto. (Butech Porcelanosa Grupo, 2016, p. 68). .....	185
<b>Ilustração 127</b> – Pormenor de parede ventilada com revestimento de pedra do edifício MIMA - Middlesbrough Institute of Modern Art no Reino Unido, Cristian Richters. (Egeraat, 2007). .....	185
<b>Ilustração 128</b> – Pormenor de sistema de fixação linear da Halfen usado no edifício MIMA no Reino Unido, 2018. (Halfen, 2020). .....	186
<b>Ilustração 129</b> – Representação do sistema de fixação oculto linear da Halfen exclusivo para placas de pedra natural, Halfen, 2018. ([Adaptado a partir de:] Halfen, 2020). .....	186
<b>Ilustração 130</b> – Comportamento do sistema da parede ventilada. (Construlink, 2006, p. 3). .....	187
<b>Ilustração 131</b> – Constituição de parede exterior com sistema ETICS. (Weber, 2015, p. 12). .....	191
<b>Ilustração 132</b> – Edifício com sistema ETICS, com isolamento térmico de cortiça (ICB) à vista. (Amorim Cork Insulation, 2020). .....	191
<b>Ilustração 133</b> – Sistema ETICS, com isolamento térmico de aglomerado de cortiça expandida (ICB). ([Adaptado a partir de:] Weber, 2015, p. 14). .....	192
<b>Ilustração 134</b> – Placa de isolamento térmico com argamassa de colagem do sistema ETICS aplicar nas paredes exteriores do edifício da Faculdade de Ciências de Lisboa. (Pinto, 2001, p. 308). .....	193
<b>Ilustração 135</b> – Fixação mecânica com perfis metálicos, as placas de isolamento devem ser aplicadas sem qualquer junta vertical, sistema ETICS do edifício da Faculdade de Ciências de Lisboa. (Pinto, 2001, p. 308). .....	193
<b>Ilustração 136</b> – Fase de construção do edifício da Faculdade de Ciências de Lisboa com a aplicação do sistema ETICS nas paredes exteriores. (Pinto, 2001, p. 306). ..	193
<b>Ilustração 137</b> – Fase de construção do edifício da Faculdade de Ciências de Lisboa com a aplicação do sistema ETICS nas paredes exteriores. (Pinto, 2001, p. 307). ..	193
<b>Ilustração 138</b> – Sistema ETICS. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010a, p. 5) .....	194
<b>Ilustração 139</b> – Pavilhão de Portugal na Expo 2000 Hannover, projecto dos arquitectos Siza Vieira e Souto Moura, com sistema ETICS nas paredes exteriores, com placas de aglomerado de cortiça à vista. (Associação Portuguesa da Cortiça, 2018). .....	197
<b>Ilustração 140</b> – Museu NAC na Marinha Grande com sistema de fachada agrafada ventilada. (Pentagonal, 2019). .....	199
<b>Ilustração 141</b> – (À direita) Aranhas para união de vidros em aço inox para sistema de paredes agrafadas. (à esquerda) Rótula em aço inox (Pentagonal, 2019). .....	200

<b>Ilustração 142</b> – Sistema de parede agrafada com vidro isolado com ponto fixo à folha interna. (Saint-Gobain, 2020). .....	200
<b>Ilustração 143</b> – Sistema de parede cortina com vidro flutuante desligado do montante de alumínio , modelo VS-1. (Saint-Gobain, 2020). .....	201
<b>Ilustração 144</b> – Detalhe de sistema de parede cortina com montantes de alumínio , modelo VS-1 . (Saint-Gobain, 2020). .....	201
<b>Ilustração 145</b> – Escola Secundária Alves Martins, em Viseu, com sistema de fixações mecânicas ocultas e silicone estrutural para fixar o vidro encapsulado. (Pentagonal, 2019). .....	202
<b>Ilustração 146</b> – Sistema de fixação mecânico de cortina de parede em vidro. (Halfen, 2020). .....	202
<b>Ilustração 147</b> – Montagem de elementos pré-fabricados em vidro no sistema de fixação mecânico de cortina. (Halfen, 2020). .....	202
<b>Ilustração 148</b> – Pormenor do sistema de fixação mecânico de cortina aplicado no topo da laje, Burj Khalifa, Dubai, Emirados Árabes Unidos, 2004-2010. (Halfen, 2020). .....	203
<b>Ilustração 149</b> – Suporte de fixação do sistema mecânico de cortina de parede em vidro. (Halfen, 2020). .....	203
<b>Ilustração 150</b> – Suporte de fixação colocado na parte superior da laje, sistema de fixação mecânico de cortina de parede em vidro. (Halfen, 2020). .....	203
<b>Ilustração 151</b> – Edifício Burj Khalifa com fachada de vidro com sistema de cortina, no Dubai, Emirados Árabes Unidos. (Ilustração nossa, 2016). .....	204
<b>Ilustração 152</b> – Edifício Burj Khalifa, pormenor de fachada de vidro com sistema de cortina, no Dubai, Emirados Árabes Unidos. (Ilustração nossa, 2016). .....	204
<b>Ilustração 153</b> – Tipologias de aquecimento solar passivo com ganhos indirectos (Pinto e Dias, 2015, p. 85). .....	209
<b>Ilustração 154</b> – Paredes de Trombe ventiladas na Casa Shäffer no Porto Santo, projecto do Arq. Günther Ludewig. (Gonçalves, H. e Graça, 2004, p. 36). .....	211
<b>Ilustração 155</b> – Funcionamento das paredes de Trombe ventiladas e não ventiladas, durante as diferentes estações do ano. (Pinto e Dias, 2015, p. 86). .....	211
<b>Ilustração 156</b> – Tipos de paredes ventiladas e não ventiladas. (Knaack <i>et al.</i> , 2007, p. 90). .....	212
<b>Ilustração 157</b> – Temperaturas atingidas numa parede de Trombe ventilada. (Moita <i>apud</i> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 105). .....	213
<b>Ilustração 158</b> – Funcionamento de parede de Trombe ventilada nos período do Inverno e do Verão. (Amado <i>et al.</i> , 2015, p. 143). .....	214
<b>Ilustração 159</b> – Parede de Trombe não ventilada ocupando a totalidade de uma janela. (Tirone e Nunes, 2007, p. 164). .....	215
<b>Ilustração 160</b> – Parede de Trombe não ventilada colocada por baixo de uma janela, ficando integrada e ocupando parte do vão. (Tirone e Nunes, 2007, p. 164). .....	215
<b>Ilustração 161</b> – Parede de Trombe não ventilada colocada por baixo de uma janela, ocupando uma faixa na altura de um assento. (Tirone e Nunes, 2007, p. 164). .....	216



<b>Ilustração 162</b> – Detalhe construtivo de parede de Trombe não ventilada. (Tirone e Nunes, 2007, p. 166). .....	217
<b>Ilustração 163</b> –Detalhe de sistema de parede de Trombe da casa de Steve Baer, no Corrales, Novo México, EUA, 1973. (Knaack <i>et al.</i> , 2007, p. 90).....	218
<b>Ilustração 164</b> – Funcionamento da parede de Trombe na Casa Shäffer no Porto Santo, projecto do Arq. Günther Ludewig. (Moita <i>apud</i> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 106). .....	219
<b>Ilustração 165</b> – Parede de Trombe em taipa construída no âmbito do programa Design Build Bluff. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 20). .....	223
<b>Ilustração 166</b> – Efeitos ambientais durante o ciclo de vida da construção. (Pinheiro, 2006, p. 74). .....	228
<b>Ilustração 167</b> – Emissões de Gases com Efeito de Estufa. (REN, 2020). .....	229
<b>Ilustração 168</b> – Evolução das preocupações na construção. (Pinheiro, 2006, p. 104). .....	232
<b>Ilustração 169</b> – Aplicação dos sistemas passivos. (Gonçalves, H. e Graça, 2004, p. 46). .....	234
<b>Ilustração 170</b> – Aplicação dos sistemas passivos. (Gonçalves, H. e Graça, 2004, p. 47). .....	235
<b>Ilustração 171</b> –Edifício da Câmara de Oliveira do Bairro,1999. (Pinto, 2020).....	237
<b>Ilustração 172</b> –Pormenor de fachada ventilada em fase de construção do edifício da Câmara de Oliveira do Bairro, 1999. (Pinto, 2020). .....	238
<b>Ilustração 173</b> –Fase de construção do edifício da Câmara de Oliveira do Bairro, 1999. (Pinto, 2001, p. 291). .....	239
<b>Ilustração 174</b> –Detalhe construtivo da fachada ventilada do edifício da Câmara de Oliveira do Bairro, 2000. (Pinto, 2020). .....	240
<b>Ilustração 175</b> –Pormenor do sistema de suporte das placas de pedra no edifício da Câmara de Oliveira do Bairro, 1999. (Pinto, 2001, p. 292). .....	241
<b>Ilustração 176</b> –Sistema de suporte da Halfen utilizado nas placas de pedra no edifício da Câmara de Oliveira do Bairro, 1999. (Pinto, 2020). .....	242
<b>Ilustração 177</b> –Detalhe construtivo de parede ventilada com placas de pedra e isolamento térmico pelo exterior, 2000. (Pinto, 2020). .....	243



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Designação das paredes de edifícios antigos, consoante a natureza da sua dimensão, grau de aparelho e ligantes dos elementos constituintes. ....	47
<b>Tabela 2</b> – Tipos de isolamento principais características e advertências. ....	62
<b>Tabela 3</b> – Principais pontos a enumerar nas construções em terra, quando comparados com as construções convencionais. ....	94
<b>Tabela 4</b> – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de pedra, quando comparados com as construções convencionais. ....	110
<b>Tabela 5</b> – Principais pontos a enumerar do uso da madeira na construção. ....	126
<b>Tabela 6</b> – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de tijolo cerâmico. ....	140
<b>Tabela 7</b> – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de blocos de betão, quando comparados com as construções convencionais. ....	147
<b>Tabela 8</b> – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de blocos de argila expandida, quando comparados com as construções convencionais. ....	152
<b>Tabela 9</b> – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de blocos de betão celular autoclavado, quando comparados com as construções convencionais. ....	162
<b>Tabela 10</b> – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de blocos de baixo carbono, quando comparados com as construções convencionais. ....	170
<b>Tabela 11</b> – Materiais de isolamento térmico em paredes exteriores pré-fabricadas leves. ....	177
<b>Tabela 12</b> – Principais pontos da construção pré-fabricada. ....	180
<b>Tabela 13</b> – Principais pontos a enumerar das paredes ventiladas. ....	190
<b>Tabela 14</b> – Principais pontos a enumerar das paredes com sistema ETICS. ....	198
<b>Tabela 15</b> – Principais pontos a enumerar nas paredes de vidro. ....	208
<b>Tabela 16</b> – Principais pontos a enumerar nas tipologias de paredes de Trombe. ....	224



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

- ACC - Autoclaved Cellular Concrete
- BTC - Blocos de Terra Comprimida
- BTA - Blocos de Terra Artesanal
- CEB - Compressed Earth Blocks
- CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono
- EPS - Expanded Polystyrene (Poliestireno Expandido Moldado)
- ETA - European Technical Approvals
- ETAG 004 - Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite System
- ETICS - External Thermal Insulation Composite System (Isolamento Térmico pelo Exterior)
- ICB - Insulation Cork Board (Placas de Aglomerado de Cortiça Expandida)
- GEE - Gases do Efeito de Estufa
- MW - Mineral Wool (Lã Mineral)
- PIB - Produto Interno Bruto
- RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
- RPE - Revestimentos Plásticos Espessos
- USA - United States of America
- XPS - Extruded Polystyrene (Poliestireno Extrudido)



## SUMÁRIO

1. Introdução .....	35
1.1. Justificação do tema .....	35
1.2. Principais problemas.....	36
1.3. Metodologia .....	38
1.4. Objectivos .....	39
1.5. Organização da dissertação .....	39
2. História da evolução das paredes exteriores.....	41
3. Tipologias de paredes exteriores.....	55
3.1. Paredes em terra .....	64
3.1.1. Taipa .....	68
3.1.1.1. Processos de construção.....	70
3.1.2. Adobe.....	76
3.1.2.1. Processos de construção.....	77
3.1.3. Blocos de terra comprimida .....	81
3.1.3.1. Processos de construção.....	82
3.1.4. Resistência mecânica .....	87
3.1.5. Comportamento higrotérmico.....	88
3.1.6. Isolamento acústico .....	89
3.1.7. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	89
3.1.8. Durabilidade .....	90
3.1.9. Sustentabilidade ambiental.....	91
3.1.10. Viabilidade construtiva e custo.....	92
3.2. Paredes em alvenaria de pedra.....	94
3.2.1. Alvenaria de pedra ordinária .....	96
3.2.1.1. Processos de construção.....	97
3.2.2. Alvenaria de pedra aparente.....	99
3.2.2.1. Processos de construção.....	100
3.2.3. Resistência mecânica .....	104
3.2.4. Comportamento higrotérmico.....	105
3.2.5. Isolamento acústico .....	106
3.2.6. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	106
3.2.7. Durabilidade .....	106
3.2.8. Sustentabilidade ambiental.....	108
3.2.9. Viabilidade construtiva e custo.....	109

3.3. Paredes de madeira.....	110
3.3.1. Processos de construção.....	111
3.3.2. Resistência mecânica .....	119
3.3.3. Comportamento higrotérmico.....	121
3.3.4. Isolamento acústico .....	122
3.3.5. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	122
3.3.6. Durabilidade .....	123
3.3.7. Sustentabilidade ambiental.....	124
3.3.8. Viabilidade construtiva e custo.....	125
3.4. Paredes em tijolo .....	127
3.4.1. Paredes de alvenaria em tijolo simples.....	129
3.4.1.1. Processos de construção.....	130
3.4.2. Paredes de alvenaria em tijolo pano duplo .....	132
3.4.2.1. Processos de construção.....	133
3.4.3. Resistência mecânica .....	136
3.4.4. Comportamento higrotérmico.....	136
3.4.5. Isolamento acústico .....	138
3.4.6. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	138
3.4.7. Durabilidade .....	138
3.4.8. Sustentabilidade ambiental.....	139
3.4.9. Viabilidade construtiva e custo.....	139
3.5. Paredes em alvenaria de blocos derivados do betão .....	140
3.5.1. Paredes em alvenaria de blocos de betão.....	141
3.5.1.1. Processos de construção.....	142
3.5.1.2. Resistência mecânica .....	144
3.5.1.3. Comportamento higrotérmico.....	145
3.5.1.4. Isolamento acústico .....	145
3.5.1.5. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	146
3.5.1.6. Durabilidade .....	146
3.5.1.7. Sustentabilidade ambiental .....	146
3.5.1.8. Viabilidade construtiva e custo.....	147
3.5.2. Paredes em alvenaria de blocos de argila expandida .....	147
3.5.2.1. Processos de construção.....	148
3.5.2.2. Resistência mecânica .....	149
3.5.2.3. Comportamento higrotérmico.....	149
3.5.2.4. Isolamento acústico .....	150



3.5.2.5. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	150
3.5.2.6. Durabilidade .....	151
3.5.2.7. Sustentabilidade ambiental .....	151
3.5.2.8. Viabilidade construtiva e custo.....	151
3.5.3. Paredes em alvenaria de blocos de betão celular autoclavado.....	152
3.5.3.1. Processos de construção.....	154
3.5.3.2. Resistência mecânica .....	157
3.5.3.3. Comportamento higrotérmico.....	158
3.5.3.4. Isolamento acústico .....	159
3.5.3.5. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	159
3.5.3.6. Durabilidade .....	160
3.5.3.7. Sustentabilidade ambiental .....	160
3.5.3.8. Viabilidade construtiva e custo.....	161
3.6. Paredes em alvenaria de blocos de encaixe de baixo carbono.....	162
3.6.1. Processos de construção.....	163
3.6.2. Resistência mecânica .....	167
3.6.3. Comportamento higrotérmico.....	168
3.6.4. Isolamento acústico .....	168
3.6.5. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	169
3.6.6. Durabilidade .....	169
3.6.7. Sustentabilidade ambiental.....	169
3.6.8. Viabilidade construtiva e custo.....	170
3.7. Paredes pré-fabricadas.....	171
3.7.1. Processos de construção.....	172
3.7.2. Resistência mecânica .....	176
3.7.3. Comportamento higrotérmico.....	177
3.7.4. Isolamento acústico .....	177
3.7.5. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	178
3.7.6. Durabilidade .....	178
3.7.7. Sustentabilidade ambiental.....	179
3.7.8. Viabilidade construtiva e custo.....	179
3.8. Paredes ventiladas .....	181
3.8.1. Processos de construção.....	182
3.8.2. Resistência mecânica .....	186
3.8.3. Comportamento higrotérmico.....	187
3.8.4. Isolamento acústico .....	188

3.8.5. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	188
3.8.6. Durabilidade .....	188
3.8.7. Sustentabilidade ambiental .....	189
3.8.8. Viabilidade construtiva e custo.....	189
3.9. Paredes com sistema ETICS .....	190
3.9.1. Processos de construção.....	192
3.9.2. Resistência mecânica .....	194
3.9.3. Comportamento higrotérmico.....	195
3.9.4. Isolamento acústico .....	195
3.9.5. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	195
3.9.6. Durabilidade .....	196
3.9.7. Sustentabilidade ambiental.....	197
3.9.8. Viabilidade construtiva e custo.....	197
3.10. Paredes em vidro.....	198
3.10.1. Processos de construção.....	199
3.10.2. Resistência mecânica .....	204
3.10.3. Comportamento higrotérmico.....	205
3.10.4. Isolamento acústico .....	205
3.10.5. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	206
3.10.6. Durabilidade .....	206
3.10.7. Sustentabilidade ambiental .....	206
3.10.8. Viabilidade construtiva e custo.....	207
3.11. Paredes de Trombe .....	208
3.11.1. Processos de construção.....	210
3.11.2. Resistência mecânica .....	218
3.11.3. Comportamento higrotérmico.....	219
3.11.4. Isolamento acústico .....	221
3.11.5. Resistência ao fogo e aos micro-organismos .....	221
3.11.6. Durabilidade .....	221
3.11.7. Sustentabilidade ambiental .....	222
3.11.8. Viabilidade construtiva e custo.....	224
4. Características da indústria da construção .....	225
5. Construção sustentável .....	227
6. Caso de estudo.....	237
7. Conclusões .....	247
Referências .....	249

Bibliografia .....	259
--------------------	-----



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. JUSTIFICAÇÃO DO TEMA

Por uma questão de sobrevivência, o Homem desde sempre, procurou proteger-se de diversas formas e situações para garantir a sua existência. A criação de abrigos, foi uma delas. A evolução humana trouxe a capacidade de “criar abrigos” cada vez mais complexos, resultado do desenvolvimento de técnicas construtivas e da descoberta de novos materiais ou das suas potencialidades.

Sendo o abrigo, nos dias de hoje, um elemento fulcral na nossa sociedade, a sua constituição também o é. Considerando o papel fundamental deste elemento constituinte, este trabalho foca-se na avaliação do envelope do edifício em si, nomeadamente das paredes exteriores.

Deste modo, esta investigação pretende analisar e estudar a evolução das paredes exteriores dos edifícios, de estrutura porticada de betão armado com paredes de enchimento, no período de 1940 até 2019, procurando identificar o seu potencial e as suas limitações construtivas. Dissecando vários pontos fundamentais para uma abrangente avaliação, onde a temática da sustentabilidade da construção entra com grande ênfase. Desde as exigências funcionais dos materiais às tecnologias construtivas utilizadas, serão estudadas várias tipologias de paredes exteriores em edifícios.

Assim, com base no estudo das diversas tipologias de paredes exteriores, numa metodologia de avaliação do estado da arte e na análise de um caso de estudo, aspectos positivos serão evidenciados com o objectivo de acrescentar conhecimento para ajudar a melhorar na construção das paredes exteriores.

Procura-se neste trabalho dar ênfase à importância das paredes exteriores dos edifícios ao longo da evolução histórica das construções, desde a antiguidade até aos nossos dias, com especial atenção ao período a partir da Segunda Guerra Mundial, de 1940 a 2019. Momento que, com o advento do betão, permitiu a transição das funções resistentes das robustas paredes exteriores, para a estrutura de betão armado reticulada com parede de enchimento. Estas deixaram assim de ser paredes portantes, reduzindo significativamente a espessura, começando a ter função de

enchimento, sendo, em alguns casos, desde o início, mal concebidas e mal executadas, e com erros que se foram repetindo, nomeadamente quanto ao deficiente comportamento ao isolamento térmico e defesa às humidades.

A importância das paredes exteriores, uma vez que desempenham um papel fundamental no envelope dos edifícios, é o elemento chave deste trabalho. Este elemento construtivo é um separador de protecção do espaço interior utilizado relativamente às agressões exteriores climáticas ou de outra natureza.

Este limite, de ambiente exterior e interior, tem tido actualmente uma crescente preocupação com o seu desempenho funcional. É com base nesta preocupação que se fundamenta esta investigação.

O invólucro exterior dos edifícios, é composto pelas paredes exteriores, pelos vãos e pelas coberturas, estando associados ao comportamento higrotérmico, ao isolamento acústico, à energia, à qualidade do ar interior, à saúde dos utilizadores e à eficiência do ambiente interior (informação verbal)<sup>1</sup>.

No entanto, a sua concepção, desenho e tecnologia de construção, numa busca por mais qualidade do edificado, devem ter presentes o conforto higrotérmico e acústico, a qualidade do ar interior, a energia, a produção do dióxido de carbono, a economia, a sua durabilidade até a desconstrução dos edifícios onde estão inseridas. (Pinto, 2018, p. 298).

Frequentemente verifica-se, no património construído, que as paredes exteriores apresentam, fundamentalmente, falhas ao nível do comportamento térmico e da defesa às humidades, com rebocos microfissurados e fendilhados, dando origem a espaços interiores utilizados húmidos e frios, que se reflectem na saúde dos utilizadores (informação verbal)<sup>2</sup>.

## **1.2. PRINCIPAIS PROBLEMAS**

As paredes exteriores são um elemento fundamental, e sua correcta concepção é muitas vezes descurada. As anomalias que ocorrem, na sua maioria, são resultantes

---

<sup>1</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto na inscrição do tema da dissertação.

<sup>2</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto na inscrição do tema da dissertação.

da falta de qualidade, estando estas relacionadas com a má concepção e a má execução das paredes exteriores dos nossos edifícios. Os principais problemas, que têm ocorrido nas paredes exteriores surgem precisamente por estas não terem qualidade.

As paredes exteriores funcionam como separador de protecção exterior dos edifícios, resguardando o espaço interior das agressões climáticas externas e outras. No entanto, o património construído, na sua maioria, apresenta grandes problemas na eficiência das suas paredes exteriores. São paredes mal isoladas termicamente, que perdem calor facilmente, dando origem a ambientes interiores frios no Inverno e quentes no Verão; com fraca inércia térmica, levando à necessidade de aquecimento do espaço interior, com elevados consumos energéticos fósseis e emissões de CO<sub>2</sub>; que apresentam mau desempenho de isolamento acústico; com mau comportamento na defesa às humidades, tanto superficiais como intersticiais, dando origem ao aparecimento de micro-organismos; com rebocos microfissurados e fendilhados, permitindo infiltrações da água da chuva que emigra para o interior das paredes, entre outros problemas. (informação verbal)<sup>3</sup>.

Durante quase todo o século passado e até agora, as paredes exteriores dos nossos edifícios apresentam erros de concepção e de execução que se continuam a repetir. Desde a década de 50, do século passado, começaram a surgir paredes com grandes problemas de concepção e execução. São paredes que perdem muito calor e energia para exterior, pois são mal isoladas e de fraca inércia térmica (informação verbal)<sup>4</sup>.

Os edifícios são responsáveis por produzirem aproximadamente cerca de 30% do dióxido de carbono global, situação que, actualmente, é mais preocupante que nunca. Por serem paredes mal isoladas termicamente, perdem facilmente calor, levando ao aquecimento expressivo do espaço interior utilizado, que por sua vez leva à perda de energia fóssil dando origem à produção de dióxido de carbono. Contribuem, por isso, negativamente para o aquecimento global e para as mudanças climáticas que estamos a assistir (informação verbal)<sup>5</sup>.

Estes são temas de sustentabilidade muito oportunos, com caris de urgência acrescido, onde todos os intervenientes têm responsabilidade.

---

<sup>3</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

<sup>4</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

<sup>5</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

Por isso, as paredes exteriores têm também elas uma grande responsabilidade. A sua correcta concepção e adequada execução, têm uma grande importância no comportamento do edifício e, em especial, no que diz respeito à saúde e conforto dos seus utilizadores, assim como na responsabilidade ambiental.

### **1.3. METODOLOGIA**

A metodologia desenvolvida nesta investigação começa com uma análise do estado da arte, dos conhecimentos actuais, na temática em causa conseguida através da revisão bibliográfica, de livros, artigos, comunicações, conferências, recolha de dados junto de especialistas, da observação directa, do conhecimento obtido através do contacto com o orientador.

Numa fase inicial, a investigação assenta na procura e leitura de informação bibliográfica sobre as tipologias de paredes exteriores, os sistemas construtivos, as vantagens e desvantagens, os materiais que as compõem, o papel da indústria da construção e a construção sustentável. Assim, compreendendo-se o contexto e a sua estrutura, em cada fonte bibliográfica e após esta análise gradual, a informação foi sendo arrumada e organizada de forma sintética.

Esta análise, em conjunto com um reordenamento do conhecimento adquirido, na temática das paredes exteriores, foi organizada por forma a ser lida com uma perspectiva utilitária e orientada, contribuindo assim para solucionar os problemas das paredes exteriores aumentando a sua eficácia.

Esta metodologia passa também pela análise de um caso de estudo, sendo este um processo importante da investigação, pois permite pôr em prática a informação recolhida na investigação, por forma a chegar a determinadas conclusões. Com o caso de estudo é possível avaliar os pontos fortes e pontos fracos do sistema construtivo da tipologia escolhida, com o objectivo de apresentar soluções mais eficientes e mais sustentáveis para o caso em questão. O caso de estudo apresentado é o edifício da Câmara Municipal de Oliveira do Bairro, com uma tipologia de paredes exteriores ventiladas.



## 1.4. OBJECTIVOS

O principal objectivo que esta investigação propõe é o de reunir informação credível, fundamentada no conhecimento adquirido, através da metodologia desenvolvida, acrescentando conhecimento para ajudar a melhorar na construção das paredes exteriores.

O estudo das paredes exteriores dos edifícios e das soluções mais adequadas para a sua utilização nos edifícios, é a base da investigação.

Com as tipologias apresentadas neste trabalho, pretende-se chegar a conclusões quanto à sua real adequação, quer no campo técnico e económico, quer em relação às condições climáticas, enumerando aquelas que ofereçam maior potencialidade e viabilidade para serem implementadas na indústria da construção a nível nacional.

Este trabalho pretende ser uma peça da solução e não do problema, passando por fazer um estudo e uma análise aprofundado das paredes exteriores, no sentido de otimizar soluções de construção mais eficientes e mais sustentáveis.

## 1.5. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está dividida em sete capítulos principais, descritos sucintamente:

O **capítulo 1** faz uma abordagem introdutória sobre o tema a tratar, em que é descrita a justificação do tema, os principais problemas, a metodologia utilizada, os objectivos a alcançar e a organização da dissertação.

O **capítulo 2** dá início à história da evolução das paredes exteriores, por forma a fazer um enquadramento histórico do tema até ao dias de hoje.

O **capítulo 3** faz uma análise pormenorizada das diversas tipologias de paredes exteriores, desde as paredes em terra até às paredes construídas actualmente. Em cada tipologia serão analisados os seguintes pontos: processos de construção, resistência mecânica, comportamento higratérmico, isolamento acústico, resistência ao fogo e aos micro-organismos, durabilidade, sustentabilidade ambiental e viabilidade construtiva e custo.

As características da indústria da construção, serão analisadas no **capítulo 4**. Será referida a sua importância na economia nacional, evolução tecnológica e os diversos impactes associados.

No **capítulo 5**, será analisado o tema da construção sustentável, de enorme importância e oportunidade. Serão expostos os principais aspectos e princípios, que contribuem para uma boa prática de construção minimizando o impacto negativo que este sector tem a nível ambiental.

Pondo em prática o tema abordado, o **capítulo 6** analisa um caso de estudo. O caso de estudo escolhido para análise é o edifício da Câmara Municipal de Oliveira do Bairro, que possui uma fachada com uma tipologia bastante actual, constituída por paredes exteriores ventiladas.

A análise terá foco na contribuição da tipologia de paredes exteriores usadas no edifício em estudo, onde serão estudados e enumerados os seus pontos fortes e fracos, recomendando-se para estes últimos soluções de resolução, resultado da investigação apresentada neste trabalho.

O **capítulo 7** é o último, e apresenta as conclusões e as considerações finais da dissertação sobre o tema desenvolvido. Dá ênfase à importância da correcta execução das paredes exteriores enquanto elemento fulcral num edifício. Refere a necessidade urgente de mudança da indústria da construção por forma a adoptar objectivos e metas bem definidos no sentido da construção sustentável.

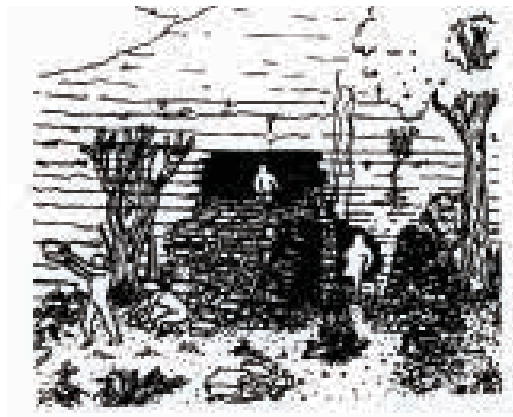
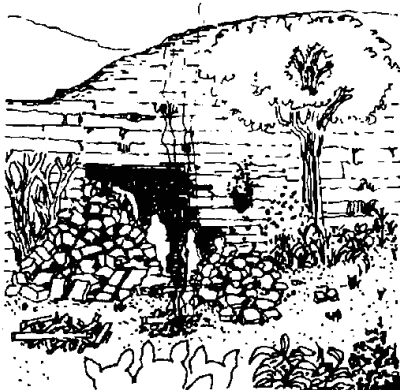
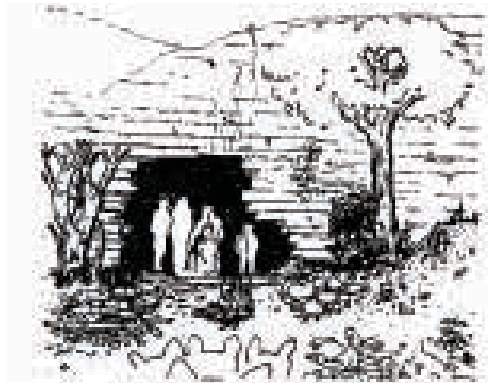
## 2. HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DAS PAREDES EXTERIORES

"[...] desde que há registos escritos sobre a actividade do Homem à face da Terra, a sua vida surge inevitavelmente associada às mais variadas formas de *habitar*, sob a forma nómada ou sob a forma sedentária." (Pinho, 2000, p. 1).

Em primeiro lugar, Tales pensou que a água era o princípio de todas as coisas. Heraclito de Éfeso [...] julgou que era o fogo; Demócrito e, com ele, seguindo-o, Epicuro [...]. Porém a ciência dos pitagóricos acrescentou à água e ao fogo o ar e a terra [...]. Como, pois, todas as coisas parecem formar uma totalidade e ser originadas a partir destes elementos concordantes, coisas essas divididas pela natureza numa imensidade de géneros, julguei ser oportuno tratar acerca das variedades e diferenças do seu uso e das qualidades que cada uma delas poderá ter nos edifícios, de modo que, sendo conhecidas, os que projectam construir não caiam em erro, mas preparem para as construções os materiais convenientes a utilizar. (Vitrúvio Polião, 2006, p. 74-75).

Desde o início da sua existência, o Homem, intuitivamente, teve necessidade de se proteger de tudo o que o rodeava em prol do seu bem-estar. Procurar um abrigo para garantir a sua sobrevivência, era uma necessidade tão básica, quanto a de se alimentar. De início, e sendo o Homem na época nómada, as grutas eram os abrigos naturais que ofereciam alguma protecção face às condições climáticas e a possíveis ataques de animais ferozes, uma vez que a sua permanência no mesmo local era condicionada pela abundância de alimentação e pelas condições climáticas. Os primeiros abrigos artificiais de que há referência, eram feitos com os materiais que tinham disponíveis como as peles dos animais, a pedra e a madeira (arbustos). (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 17).

Não sendo totalmente consensual, na opinião dos autores analisados, prevalece a dúvida de qual o primeiro material que começou a ser usado pelo Homem na construção dos primeiros abrigos artificiais, se foram materiais perecíveis, como a madeira, ou mais duradouros, como a pedra arrumada em seco ou o barro seco ao sol (terra crua). Dúvida que está, fundamentalmente, relacionada com a questão da permanência local, que dependia dos recursos disponíveis localmente, assim como das condições climáticas. Esta temática, transporta-nos para estes dois materiais, a pedra e a terra, porque é destes que existem os primeiros registos mais evidentes. Portanto, as origens estão na pedra, na terra crua, em arbustos, mas principalmente, a pedra e a terra crua primitiva, como os adobes feitos de lama e terra, cozidos ao sol. (Branco, 1981, p. 1).



**Ilustração 1** – Representações de grutas e a sua evolução melhorando as condições de defesa. ([Adaptado a partir de:] Branco, 1993, p. 60).

**Ilustração 2** – Representações da evolução das primeiras construções em alvenaria de pedra. ([Adaptado a partir de:] Branco, 1993, p. 60).

Primeiramente, o Homem abrigava-se em grutas, que lhe ofereciam condições para a sua permanência por longos períodos de tempo, possibilitando assim a sua rápida multiplicação, acabando por se tornarem insuficientes para todos (Ilustração 1). Deste modo, e com a evolução da espécie, teve a necessidade e capacidade de criar abrigos artificiais, com condições para resistirem às temperaturas climáticas locais, criando diversos tipos de abrigos, desde abrigos em tundras árticas a abrigos adaptados às

florestas tropicais, capazes de cumprir as mesmas necessidades. (Branco, 1993, p. 59).

Com a evolução da espécie, outros materiais e técnicas de construção começaram a surgir. O uso do barro cozido e da lama com palha, permitiram a criação de abrigos mais seguros e consistentes materialmente (Ilustração 2). Esta evolução, ajudou o Homem a fixar-se e a proteger-se dos agentes agressores, trazendo também um novo conceito de vivência em grupo. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 17).

Esta mudança, levou o homem a entender e a desenvolver técnicas de construção, como é o caso do amontar de pedras, de diferentes dimensões e tipos, compreendendo o modo de as equilibrar na sua sobreposição, percebendo as suas potencialidades conduzindo de forma natural, à criação de muralhas de defesa e abrigos com a técnica de pedras arrumadas em seco (Ilustração 2). (Branco, 1993, p. 59).

A agricultura, foi um elemento fulcral no sedentarismo humano, obrigando-o à procura de terrenos mais férteis. Esta proporcionou a fixação do Homem e despoletou uma nova necessidade na construção dos abrigos, o de serem mais resistentes e duráveis. Novos materiais foram usados, como alvenarias de blocos de terra amassados e alvenaria seca de pedra, tudo ainda sem materiais aglutinantes. Muitos vestígios deste tipo de civilização, presume-se que se tenham iniciado na Mesopotâmia. A evolução na construção era evidente com o domínio de novas técnicas e uso de novos materiais como a pedra, a madeira, e muito mais tarde, o ferro. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 18).

Estes abrigos, mais duradouros ou perecíveis, apresentavam um problema comum, serviam na defesa de grandes inimigos, mas não impediam a passagem dos mais pequenos, como roedores, répteis, insectos, entre outros. Apercebendo-se desse problema, e com a percepção do comportamento das lamas argilosas, de forma isolada, mas também reforçadas com fibras vegetais, perceberam que conseguiriam solucionar o preenchimento das pequenas aberturas e frinchas (Ilustração 3 e 4). Mais tarde, começaram também a utilizar este tipo de "argamassas" no assentamento da pedra arrumada, dando origem à alvenaria de pedra argamassada. (Branco, 1981, p. 3-4).



**Ilustração 3** – Representações de diversos tipos de abrigos artificiais construídos com materiais locais. ([Adaptado a partir de:] Branco, 1993, p. 62).

**Ilustração 4** – Representações de diversos tipos de abrigos artificiais construídos com materiais locais. ([Adaptado a partir de:] Branco, 1993, p. 62-63)

A percepção no comportamento das lamas argilosas, no seu estado mais plástico, o barro, e o seu endurecimento quando exposto ao sol, deve ter dado origem aos primeiros blocos de pedra artificial, como é o caso dos adobes. Inicialmente, eram, possivelmente, talhados blocos de barro seco, que depois evoluiu para a moldagem do barro plástico com as dimensões e os formatos pretendidos (Ilustração 3). (Branco, 1993, p. 61).

Ao certo, nada existe que nos permita afirmar com exactidão o período em que o Homem se começou a preocupar em criar os seus abrigos artificiais. Os poucos registos ou vestígios, descobertos até então, rondam os 10000 anos de idade, mas existem teorias de que há mais de 30000 anos já existiam abrigos, pois alguns artefactos desse período foram encontrados, podendo ser prova da necessidade da criação de abrigos seguros para a laboração dos mesmos. (Branco, 1993, p. 59).



**Ilustração 5** – Porta de Ishtar, da Babilónia, no Museu de Pérgamo em Berlim. (Fátima e Elenice, 2015).

Segundo Torgal e Jalali (2010a, p. 226), alguns autores referem existir registos de alvenarias em pedra desde praticamente o início da civilização humana. Outros referem que os primeiros tijolos, constituídos apenas por lama seca ao sol, tenham surgido no ano 8000 a.C. na Mesopotâmia. Segundo outros, só bem mais tarde, 3000 a.C., é que aparecem os primeiros tijolos cozidos, compostos por argilas.



**Ilustração 6** –Pormenor de tijolo vidrado da Porta de Ishtar, da Babilónia, no Museu de Pérgamo em Berlim. (Fátima e Elenice, 2015).

Prova de uma técnica bastante elaborada no domínio do tijolo cerâmico vidrado é a Porta de Ishtar (Ilustração 5 e 6). A Porta de Ishtar foi a oitava porta do lado norte da muralha da cidade da Babilônia, construída aproximadamente em 575 a.C.. (Fátima e Elenice, 2015).

Apesar do vasto legado edificado deixado pela civilização Romana onde a alvenaria em pedra é predominante, existem vários exemplos de edificações erguidas com tijolos cozidos. Exemplo disso é a livraria de Celso, em Efeso, datada de 117 d.C.. Por todo o mundo existem exemplos de construções em alvenaria de tijolo, executadas a partir do século X. (Torgal e Jalali, 2010a, p. 226).

Segundo o autor João Mateus (2002, p. 25), foi no início do século XI que se regressou à construção em pedra e tijolo, de edifícios de grande envergadura destinados à defesa, como castelos, e outro tipo de residências privadas. Após a queda do império Romano do Ocidente, e até ao século XI, o edificado privado na Europa era maioritariamente construído em madeira, excluindo os edifícios eclesiásticos.

Como referem Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006, p. 18), no término do século XIX, aparece um novo material que, aparentemente, era capaz de dar resposta às exigências funcionais que as novas construções necessitavam, o betão. Mas só mais tarde, é que este material apresenta significativas melhorias de resistência mecânica, quando surge associado ao aço otimizando o comportamento à tracção, dando origem ao betão armado. Actualmente, é um dos materiais mais usados na construção do edificado nacional.

Só no século XX é que as técnicas e sistemas construtivos têm uma evolução mais marcante. Em Portugal, só nesta altura é que surgem as primeiras construções com alvenaria de tijolo cozido, que tomam o lugar da alvenaria de pedra, até então, tão usada. (Torgal e Jalali, 2010a, p. 227).

As alvenarias de paredes resistentes, durante muito tempo, tiveram em Portugal uma importância muito preponderante na construção, constituindo grande parte do património arquitectónico. Os edifícios antigos usaram as alvenarias de pedra, os blocos de adobe, a taipa e os blocos cerâmicos na constituição das suas paredes resistentes. Sendo na época, dada primazia ao uso de materiais locais, factor que



resultou numa vasta diversificação de tipologias de paredes exteriores, que variam de região para região. (Veiga, 2009, p. 9).

**Tabela 1** – Designação das paredes de edifícios antigos, consoante a natureza da sua dimensão, grau de aparelho e ligantes dos elementos constituintes.

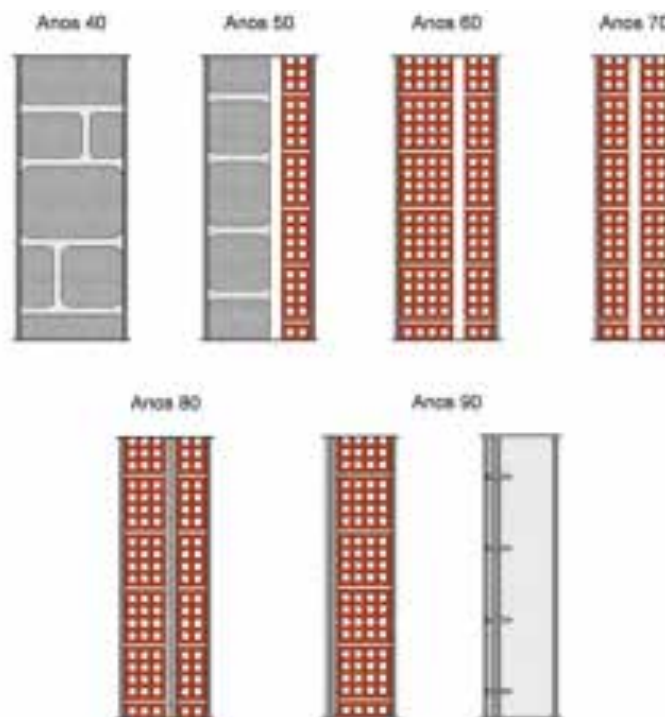
<b>Natureza e características dos materiais e dos ligantes utilizados na construção das paredes dos edifícios antigos em Portugal</b>	<b>Designação</b>
Pedras de cantaria com as faces devidamente aparelhadas, assentes em argamassa, ou apenas sobrepostas e justapostas	Parede de cantaria
Pedras de dimensões irregulares com formas paralelepípedicas aparelhadas, assentes em argamassas com juntas finas	Alvenaria de enxilharia ou silharia
Pedras irregulares aparelhadas numa das faces, assentes em argamassa ordinária	Alvenaria de pedra aparelhada
Pedras toscas, de formas e dimensões irregulares, e ligadas com argamassa ordinária	Alvenaria ordinária (corrente)
Alvenaria e cantaria; alvenaria e tijolo; alvenaria com armação de madeira; etc.	Paredes mistas
Pedras ligadas com argamassa hidráulica	Alvenaria hidráulica
Pedras ligadas com argamassa refractária	Alvenaria refractária
Paredes assentes por justaposição, apenas travadas entre si, sem qualquer tipo de argamassa	Alvenaria de pedra seca; Empedrados
Paredes construídas com betão	Parede de betão
Paredes construídas com tijolo	Alvenaria de tijolo
Paredes construídas com terra	Paredes de adobe e de taipa

Fonte: Adaptado a partir de: Pinho (2000, p. 9).

Conforme se pode verificar na Tabela 1, existe alguma coerência na materialidade usada nos vários tipos de paredes de alvenaria que constituem os edifícios antigos em Portugal. Desde a pedra, o tijolo, a madeira e a terra, eram os materiais disponíveis na altura para a construção do edificado e a sua utilização variava mediante a região ou localização onde eram construídos.

Como refere Tirone (2013, p. 24), no passado, e como o é hoje em dia, os edifícios eram construídos para o Homem se poder proteger das intempéries e de agressores externos. Enumera que a envolvente de um edifício antigo tem um propósito muito claro, o de "filtrar" o que o clima oferece, daí que um edifício pensado para o clima Mediterrânico, inserido noutra contexto climático, não terá a mesma eficiência.

Quando se analisam edifícios construídos há mais de duas décadas, altura em que não existia uma rede de energia que colmatasse as necessidades de conforto, percebe-se o elevado nível de conhecimento associado às técnicas construtivas na conjugação dos materiais, permitindo criar edifícios de extrema eficácia, capazes de responder às condições climáticas mais agrestes. Nesse período, os edifícios eram constituídos por grossas paredes exteriores portantes, em pedra ou tijolo maciço, com valores nominais entre 60 centímetros a 1 metro, dando mais estabilidade e criando também ambientes internos de elevado conforto no Verão, por possuírem uma grande inércia térmica, e garantirem temperaturas mais amenas quando comparadas com as temperaturas externas. Percebe-se que o edifício foi pensado e adaptado ao clima, reagindo de forma selectiva em relação ao que o exterior disponibiliza. É capaz de rejeitar o que não quer que entre, armazenando o que irá dissipar gradualmente e quando for necessário, admitir o que precisa, reorientando o excedente para outras divisões, segundo Tirone, daqui nasce o conceito de "edifícios com atitude". (Tirone, 2013, p. 24).



**Ilustração 7** – Representação da evolução das paredes exteriores em Portugal. (Freitas, 2002, p. 2).

O modo de construção das paredes exteriores dos edifícios, tanto a nível de materialidade como de sistema de execução, teve uma evolução bastante significativa a nível nacional, como é perceptível na Ilustração 7.

Até aos anos 40, do século passado, as paredes tinham funções resistentes, sendo constituídas por paramentos espessos e robustos, em alvenarias de pedra ou tijolo maciço. Mantendo a sua robustez e espessura considerável garantindo a sua função portante. O tipo de pedra usada variava mediante a região onde era construída, dos granitos, a Norte aos calcários, a Sul. Quando a pedra não existia localmente, o uso do tijolo era a alternativa. Só na década seguinte é que começam a surgir as primeiras tipologias de paredes duplas, compostas por um pano exterior de maior inércia, separado por uma caixa-de-ar de um delgado pano interior em alvenaria de tijolo (Ilustração 7). (Freitas, 2002, p. 2).

A Europa, após a Segunda Guerra Mundial, depara-se com uma difícil situação económica. A devastação em massa de muitas cidades por bombardeamento, a grande explosão demográfica, a conseqüente concentração populacional nas grandes cidades, o custo de aquecimento dos edifícios e a escassez de combustíveis fósseis, eram reflexo do problema económico e objecto de grande preocupação. Nesse sentido, e a par de outras necessidades, surge uma necessidade de mudança de paradigma no sector da construção, por forma a conseguir dar uma rápida resposta às grandes necessidades no parque habitacional. Pode-se dizer que este período é o impulsionador e a charneira da mudança no desenvolvimento da construção industrializada, principalmente a pré-fabricação. (Eça *et al.*, 2008, p. 3) (informação verbal)<sup>6</sup>.

Tanto a indústria da construção como a constituição das paredes exteriores, sofre grandes mudanças. Pois, conforme referido por Reaes Pinto,

perante a incapacidade de resposta da construção tradicional, que se encontrava pulverizada e desorganizada, a falta de mão-de-obra qualificada, de materiais e energia, a generalidade dos países da Europa chegou à conclusão que as grandes carências de edifícios, em termos de quantidade, rapidez de construção e preços, só poderiam ser resolvidas com a aplicação da construção industrializada. (2018, p. 141).

Entre 1947 até meados dos anos 70, foi o período de viabilização económica "[...] da industrialização da construção, marcado pela quantidade, pela necessidade da massificação da construção, com o objectivo da resolução das grandes carências de edifícios." (Pinto, 2018, p. 141).

---

<sup>6</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

Segundo o autor Reaes Pinto, este período pós-guerra, marca também o momento em que as duas grandes vias da construção industrializada, a pré-fabricação (total ou parcial, leve ou pesada) e o tradicional evoluído ou racionalizado (betão moldado "*in situ*"), se demarcaram e competiram, e em que a pré-fabricação, teve uma importância muito grande para a redução dos deficits na habitação. (2018, p. 140-141).

Contudo, até à década de 50, a taipa, principalmente, e o adobe foram os sistemas construtivos mais utilizados no sul de Portugal, onde existe um vasto património construído em terra que faz prova dessa realidade. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 33).

As exigências funcionais das paredes exteriores, conforme referido por Veiga (2009, p. 5), "[...] sofreram uma mudança significativa após o advento do betão, com a adopção, rapidamente generalizada, da estrutura de betão armado, com funções resistentes que assim foram retiradas às paredes."

"Em Portugal, a fronteira entre estas diferentes concepções de paredes é geralmente estabelecida na década iniciada em 1950, mas existe naturalmente um período de transição em que os dois tipos de concepções coexistem no mesmo edifício." (Veiga, 2009, p. 6).

Os anos 50 demarcaram-se também com o surgimento de uma nova tipologia de parede exterior de pano duplo, resultado da fusão de duas tipologias que já se realizavam. Aligeiraram a parede de alvenaria de pedra (paramento exterior), erguendo pelo interior uma estreita parede de tijolo vazado, desligadas por uma caixa-de-ar interna. (Freitas, 2002, p. 2).

A partir de 1960, as paredes exteriores deixaram de ser robustas e espessuradas, passando a panos de alvenaria de tijolo vazado duplos aligeirados. A sua função também mudou, passaram de paredes resistentes e portantes, para paredes exteriores só com a função de enchimento. De início, o paramento exterior era significativamente mais espessurado que o paramento interior, mas houve uma alteração na sua constituição dando origem, já na década de 70, a paramentos com espessuras idênticas, encontrando-se situações excessivamente adelgaçadas. (Freitas, 2002, p. 2).

Também nos anos 60, a nível internacional, em países como a Alemanha, surgem as primeiras tipologias de paredes ventiladas. Contudo, a nível nacional o uso deste

sistema construtivo só ocorreu mais tarde, no início da década de 70. (Pinto *et al.*, 2006, p. 132).

Já nos anos 70 e 80, houve um aumento substancial de construção de edifícios de habitação em Portugal, mais concretamente na periferia das grandes cidades e em torno dos eixos de transportes modais que permitiam o fácil acesso aos centros urbanos. Constata-se que o edificado construído a partir da década de 70, representa cerca de 50% do edificado total nacional. (Tirone, 2013, p. 26).

Neste período, a necessidade de habitações em Portugal já era considerável, tendo sido significativamente acentuada pelo êxodo populacional oriundo das guerras civis que deflagraram nas ex-colónias. O afluxo de pessoas foi dramaticamente excessivo, ultrapassando a capacidade de resposta do ordenamento do território, dando origem a apropriações de locais sem enquadramento legal, nascendo assim vastas zonas habitacionais de génese ilegal colocando em causa os princípios básicos da construção até então estabelecidos. (Tirone, 2013, p. 26).

O crescimento desmesurado da construção ilegal, levou à sua efectiva consequente má execução e falta de qualidade. Reflexo desse grave problema social, foi a evitável crescente construção legal que foi executada também com a mesma problemática de qualidade. O resultado foi que surgiram inúmeros fogos, que não respeitavam os princípios mínimos de salubridade e conforto, oferecendo deficientes condições de bem-estar. Foram criados ambientes sem conforto, sem eficiência energética, temas que na altura eram menosprezados. (Tirone, 2013, p. 27).

Como refere Tirone (2013, p. 27),

um edifício construído nas décadas de 1970 e de 1980 tem algumas características que o diferenciam da construção que o antecedeu e sofre das [...] [anomalias] resultantes. As paredes simples ou duplas com caixa-de-ar e sem isolamento térmico, mal rebocadas e frequentemente pintadas com tintas de membrana que retiram toda a permeabilidade ao vapor e coberturas, igualmente isentas de isolamento térmico e com fracos sistemas de impermeabilização, transformam os edifícios em autênticos focos de problemas.

Contrariamente aos edifícios do passado, segundo Tirone (2013, p. 27), os chamados "edifícios com atitude", estes distinguem-se pela sua passividade, não contribuindo em termos de salubridade nem de conforto para os seus utilizadores, distinguindo-se os principais problemas:

- **reduzida qualidade do ar interior** – pois não permitem uma renovação natural do ar, por possuírem pé-diretos baixos, não se conseguindo uma convecção natural que permita purificar o ar saturado e poluído contido no espaço utilizado;
- **temperaturas interiores desconfortáveis** – o ambiente interior é muito frio no Inverno e demasiado quente no Verão;
- **surgimento de condensações e fungos** – as paredes exteriores não são permeáveis ao vapor, dando origem a condensações resultantes das actividades geradas no interior, no Inverno surgem com mais expressão nos elementos de construção mais frios, como lajes e pilares de betão, nas designadas pontes térmicas, dando origem por sua vez a fungos e outros micro-organismos que são prejudiciais para a saúde dos seus utilizadores.

Segundo Reaes Pinto (2018, p. 142), "é a partir [...] de meados da década de 70, que se verifica o aumento da percentagem das obras de reabilitação relativamente à produção de fogos novos [...]."

Ainda durante a década de 70, não houve uma grande evolução na constituição das paredes exteriores. Como referido anteriormente, a tipologia de parede dupla em tijolo manteve-se, embora com uma ligeira alteração no dimensionamento dos paramentos. Ambos foram aligeirados, ficando, em muitos casos, os dois paramentos com a mesma espessura, separados pela caixa-de-ar. (Freitas, 2002, p. 2).

Os autores Vasco Freitas e Pedro Gonçalves, referem que "durante a crise energética do final dos anos 60 e início dos anos 70 aumentou o interesse pelo isolamento térmico pelo exterior principalmente pela conservação de energia que lhe estava associada." (2005, p. 38).

Há a salientar que os anos 70 foram bastante tumultuosos em Portugal, com a mudança de regime político, resultante da revolução do 25 de Abril, dando origem a uma enorme incerteza e um período de mudança, desde a liberdade de expressão, em todas as áreas, à atitude crítica no campo da arquitectura. (Mascarenhas, 2008, p. 11).

Esta liberdade de afirmação, permitiu uma mudança de atitude levando à reivindicação e exigência de melhores condições de conforto e salubridade do espaço habitado.

Dando assim à arquitectura uma enorme relevância enquanto actor principal deste tipo de questões sociais. (Mascarenhas, 2008, p. 12).

Na década de 80, a tipologia de paredes de tijolo de pano duplo começa a dar resposta à problemática energética. Surgiram em Portugal as primeiras paredes exteriores com isolamento térmico compartimentando de forma parcial ou total no intervalo da caixa-de-ar. Nesta altura, as questões relacionadas com as pontes térmicas não faziam ainda parte dos requisitos a resolver na construção do edifício. Com a introdução do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro, esse paradigma alterou-se. (Freitas, 2002, p. 3).

Os anos 90, são um período de franca mudança quanto à constituição das paredes exteriores. Como o RCCTE surgiram novos sistemas de isolamento térmico pelo exterior, como os sistemas ETICS, e também pelo interior, estes menos usuais em Portugal e utilizados normalmente em reabilitação. O suporte rígido, vulgarmente utilizado, para a aplicação destes sistemas de isolamento térmico pelo exterior, era constituído por uma parede em alvenaria ou em betão armado. (Freitas, 2002, p. 3).

Estes sistemas de isolamento pelo exterior, consistiam na aplicação directa do isolamento ao paramento de suporte rígido, por colagem ou fixação mecânica, sendo finalizado com rebocos delgados armados com rede de fibra de vidro, argamassados directamente ao isolamento térmico. Os sistemas ETICS mostraram ser bastante eficazes na eliminação das pontes térmicas, tão frequentes nas paredes que foram aligeiradas nas décadas anteriores, mostrando ser um sistema com um bom desempenho no conforto e salubridade do espaço interior utilizado (informação verbal)<sup>7</sup>.

Presentemente, no século XXI, os sistemas construtivos de paredes exteriores mais usuais na construção nova são talvez os sistemas de isolamento térmico pelo exterior (ETICS). Estes oferecem um bom desempenho global, contribuem na redução de pontes térmicas, são paredes mais aligeiradas aumentando o espaço interior habitado, visível melhoria do conforto térmico interior, facilidade na aplicação e protegem a envolvente contribuindo para o aumento do ciclo de vida dos edifícios.

---

<sup>7</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

Actualmente, a indústria da construção tem de oferecer maior qualidade, reduzir os consumos energéticos fósseis, reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, reduzir o consumo de recursos naturais finitos, usar materiais mais eficientes, com pouca energia embebida, mais ecológicos, recicláveis ou reutilizáveis e com pouco desperdício. A sustentabilidade é um tema actual a que temos de saber dar resposta.

Existe portanto, uma evolução bastante significativa das paredes exteriores até aos nossos dias.

Foi assim que, depois de vários milhares de anos, a *habitação* passou de simples local abrigado para refúgio de animais e intempéries, na sua forma mais primitiva, a verdadeiro local de bem estar, onde todas as exigências de habitabilidade são contempladas até ao mais ínfimo pormenor, tendo por base as mais desenvolvidas soluções construtivas da actualidade. (Pinho, 2000, p. 1).

Conforme refere Pinho,

o património edificado, classificado ou não, constitui uma referência histórica de extrema importância, quer sob o ponto de vista técnico, fornecendo elementos preciosos para o entendimento da própria evolução da capacidade humana ao meio envolvente, desde os primórdios da História. (2000, p. 1).



### 3. TIPOLOGIAS DE PAREDES EXTERIORES

Conforme citado por João Mateus (2002, p. 71), a definição do edifício em alvenaria consiste numa "[...] estrutura tridimensional em que a combinação dos vários elementos estruturais delimitadores de um espaço serve à constituição de células que se associam lateralmente ou se sobrepõem [...]" constituindo a obra pretendida, o edifício.

"A casa é um sistema", sendo que tem uma membrana envolvente que deverá ter características tais que seja capaz de captar energia, mantê-la e ao mesmo tempo capacidade para resistir às condições mais adversas do meio em que se insere. Tal consegue-se através de uma fronteira capaz de resistir a processos de variação e alteração das condicionantes exógenas sem que sofra danos e/ou mutações." (González, 2006, p. 40).



**Ilustração 8** – Principais funções do envólucro exterior dos edifícios. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 44).

O envólucro exterior dos edifícios, é composto pelas paredes exteriores, pelos vãos e pelas coberturas, que funcionam como separador protector do espaço interior contra agressores externos (Ilustração 8). Este envelope protector, deve na sua concepção considerar algumas exigências funcionais, tais como: adequada ventilação, adequado comportamento higrotérmico, permeabilidade visual, iluminação natural, isolamento acústico, consumo de energia associada ao uso e ciclo de vida do edifício, eficiência

do ambiente interior, qualidade do ar interior e, em especial, à saúde dos utilizadores. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 44).

Os autores Ricardo Mateus e Luís Bragança, afirmam que as paredes exteriores cobrem grande parte do envelope do edifício onde se inserem e pela função que desempenham, uma parede exterior, deve garantir um conjunto de factores: "[...] deve ser estável e a sua durabilidade [...] assegurada durante um determinado período de tempo, enquanto que actua como uma barreira para o vento, chuva, radiação solar, calor, ruído, fogo, insectos, animais e até humanos." (2006, p. 245).

As paredes exteriores são um elemento fulcral no envelope do edifício onde estão inseridas, tendo uma importância fundamental na protecção do espaço interior utilizado, contra os agressores externos, sejam eles climáticos ou de outra natureza. Normalmente, mesmo na área do ensino, não sendo regra, há tendência para não valorizar com a devida importância a função das paredes exteriores. Ora uma parede exterior tem uma enorme importância, porque está relacionada, não só com a sua constituição e visibilidade, mas principalmente com o isolamento térmico e acústico, com a qualidade do ar interior, com a energia, com a produção de dióxido de carbono, entre outros factores (informação verbal)<sup>8</sup>.

Na base da pirâmide social, a classe menos favorecida, ou até mesmo a classe média, não têm solvência, não têm liquidez suficiente para aquecer as suas casas, e quando o fazem, raramente as conseguem aquecer totalmente. Muitas vezes aquecem só uma ou outra divisão, tornando por norma as casas desconfortáveis. Portanto, porque não existem condições de liquidez para climatizar devidamente as casas, pois sendo possível, ocorreria num gasto exagerado de consumo energético, energia essa que é facilmente perdida para o exterior dando origem ao dióxido de carbono. Isto acontece porque, as paredes exteriores não têm isolamento térmico suficiente, para evitar a saída do calor (informação verbal)<sup>9</sup>.

A ausência de isolamento térmico das zonas opacas das fachadas dos edifícios, ou o uso de soluções inadequadas, influenciam substancialmente o seu desempenho energético, quanto ao conforto térmico e higrotérmico, assim como na durabilidade dos materiais das alvenarias e da estrutura.

---

<sup>8</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

<sup>9</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

Nas diversas tipologias abordadas nesta investigação, encontramos algumas soluções que se mostram mais eficazes neste campo. As soluções que isolam a envolvente vertical exterior de forma contínua, são aquelas que garantem um bom comportamento térmico e higrotérmico de Inverno, melhores condições de conforto de Verão, uma redução significativa de pontes térmicas e salvaguardam a durabilidade das alvenarias e estrutura face às humidades e choques térmicos.

As paredes exteriores dos edifícios variaram muito, na sua constituição e forma, ao longo dos séculos e de região para região. No entanto, podemos considerar que, desde a antiguidade até ao advento do betão armado, em meados do século XX, pelo menos em toda a Europa, tinham importantes características comuns: acumulavam a função resistente com a função de protecção em relação aos agentes climáticos e às acções externas em geral; os materiais usados na sua constituição eram mais porosos e deformáveis que os usados actualmente; e as capacidades de resistência mecânica e de protecção eram asseguradas essencialmente através da espessura. (Veiga, 2009, p. 9).

Na construção convencional das paredes exteriores de edifícios são usadas alvenarias. A palavra alvenaria deriva do termo atribuído ao operário que a executava, o alvener ou alvenel, actualmente pedreiro. A alvenaria consiste no sistema de aglutinação de materiais, com formatos e dimensões variadas consoante a sua natureza, formando elementos maciços com uma certa altura e espessura, sobrepostas devidamente respeitando as regras de travamento, na maioria dos casos argamassadas. Existem diversas tipologias de alvenarias, mas genericamente todas apresentam boa resistência à compressão e suportam mal os restantes esforços. (Eça *et al.*, 2008, p. 4).

As paredes exteriores dos edifícios podem desempenhar funções de resistência ou de enchimento. Sendo que as paredes resistentes, podem ser paredes mestras ou de empena. (Pinho, 2000, p. 7).

As paredes resistentes são as que

[...] dadas as suas características geométricas e mecânicas, contribuem de forma decisiva para a estabilidade do edifício, quer quando sujeito à acção das forças verticais (designadamente as de natureza gravítica), quer quando sujeito à actuação das forças horizontais de natureza aleatória (vento e sismos). (Appleton *apud* Pinho 2000, p. 10).

Em comum estas paredes têm: uma espessura significativa, serem constituídas por materiais heterogéneos, resultando em suportes rígidos e com elevado peso. (Pinho 2000, p. 10-11).

As paredes exteriores têm funções vitais na constituição do corpo de um edifício. Como referem Eça *et al.* (2008, p. 22-26), as paredes exteriores de um edifício para cumprirem com eficácia a função que desempenham, devem dar resposta aos seguintes pontos:

- **Estabilidade** - as paredes resistentes, sendo um elemento estrutural, devem ser capazes de suportar os esforços de compressão e horizontais, a que são submetidas; as paredes de enchimento, dependem de outros elementos estruturais que lhes conferem resistência aos esforços externos provocados pelas acções do vento, choques, sismos, etc.;
- **Estanquidade** - é importante que não existam quaisquer passagens de águas das chuvas absorvidas pelo revestimento exterior, garantindo que não ficam retidas no interior das paredes assim como as humidades de condensação interiores, contribuindo para a sua expulsão. Por isso, a concepção e a execução das paredes exteriores têm uma importância muito relevante;
- **Isolamento térmico e acústico** - problema frequente no edificado existente, é a capacidade que os mesmos têm em manter o melhor conforto possível no seu interior aos seus utilizadores. Daí ser primordial que as paredes exteriores tenham a capacidade de evitar ao máximo as trocas de calor entre o exterior e o interior, a permeabilidade de ruídos vindos do exterior assim como a sua propagação no interior pelas diferentes divisões. Com a evolução tecnológica na construção e o desenvolvimento de novos materiais com propriedades de isolamento térmico e acústico, actualmente é fácil resolver este tipo de problemas;
- **Resistência ao fogo** - as paredes compostas por pedras, tijolos cerâmicos, blocos de derivados do betão, apresentam um bom comportamento, pois são incombustíveis, não favorecendo a propagação do fogo;
- **Durabilidade** - com qualidade, as paredes protegem e contribuem para o aumento do ciclo de vida do edifício onde estão inseridas. A maior parte dos materiais constituintes das paredes exteriores resistem bem à erosão e corrosão causada pelos agentes atmosféricos, e às agressões dos agentes químicos e orgânicos, tornando-se mais eficaz com a ajuda do revestimento exterior que lhes é atribuído;

- **Visibilidade** - os projectistas valorizam muito este ponto, mas importa referir que, só no conjunto de todos os pontos mencionados é que este ponto faz sentido. O que importa a estética, se não apresentar qualidade.

Segundo Veiga, vários autores referem que nos edifícios mais antigos, constituídos por paredes exteriores resistentes, espessuradas e porosas, estas funcionavam com a admissão da passagem moderada de água para o interior da alvenaria evitando a sua permanência prolongada, possibilitando naturalmente a sua rápida expulsão por evaporação. A ascensão da água, em quantidades moderadas, por capilaridade permitindo, pela sua constituição, a sua saída natural para o exterior, era um processo normal no funcionamento destas paredes. (2009, p. 9-10).

Actualmente, e por estar em desuso a construção de paredes pesadas e grossas fundamentalmente, na protecção ao isolamento térmico e contra a humidade, as paredes exteriores dos edifícios são concebidas com o propósito de impedir ao máximo a entrada de água pelo exterior. Este problema é resolvido correntemente com o uso de materiais com capacidades isolantes e impermeabilizantes, que podem constituir paredes simples ou com caixa de ar. A introdução de tubos de drenagem e caleiras nas caixas de ar, permitindo o escoamento de qualquer humidade que ali se deposite, quer seja proveniente do exterior ou do interior, são também soluções usadas actualmente nalgumas tipologias (informação verbal)<sup>10</sup>.

Nos edifícios antigos as paredes exteriores resolviam todos os problemas, de estabilidade, robustez, durabilidade, isolamento térmico, inércia térmica, defesa contra as humidades e isolamento acústico. Por serem grossas, tinham boa defesa contra as humidades, uma vez que, nos ciclos de arrefecimento a parede absorvia a humidade através das múltiplas juntas horizontais e verticais, o que dificultava a chegada ao paramento interior das paredes e com o aparecimento dos ciclos de aquecimento esta humidade regredia para o exterior (informação verbal)<sup>11</sup>.

Os edifícios em que as paredes deixaram de ter funções resistentes, devem ser constituídos por uma estrutura reticulada portante capaz de travar devidamente todas as paredes de enchimento que no conjunto dão estabilidade ao edificado. A estrutura reticulada deve ser executada com materiais capazes de suportar esforços de tracção, serem resistentes à "[...] actuação simultânea das cargas e sobrecargas de carácter

---

<sup>10</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

<sup>11</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

permanente e das solicitações sísmicas [...] e resistirem ao fogo, como o betão armado, o aço, o betão pré-esforçado, entre outros. As paredes de enchimento têm funções de confinamento e protecção do espaço interior habitado, assegurando níveis de conforto e salubridade adequados aos seus utilizadores. (Eça *et al.*, 2008, p. 6).

A água proveniente da condensação do vapor resultante das actividades no interior do edifício, é muito frequente, porque os materiais de construção correntes possuem uma fraca resistência à humidade, permitindo a passagem e a formação de humidades através das paredes exteriores. A correcção de pontes térmicas é fulcral, pois garante a resistência térmica global da envolvente do edifício, evitando assim condensações superficiais.

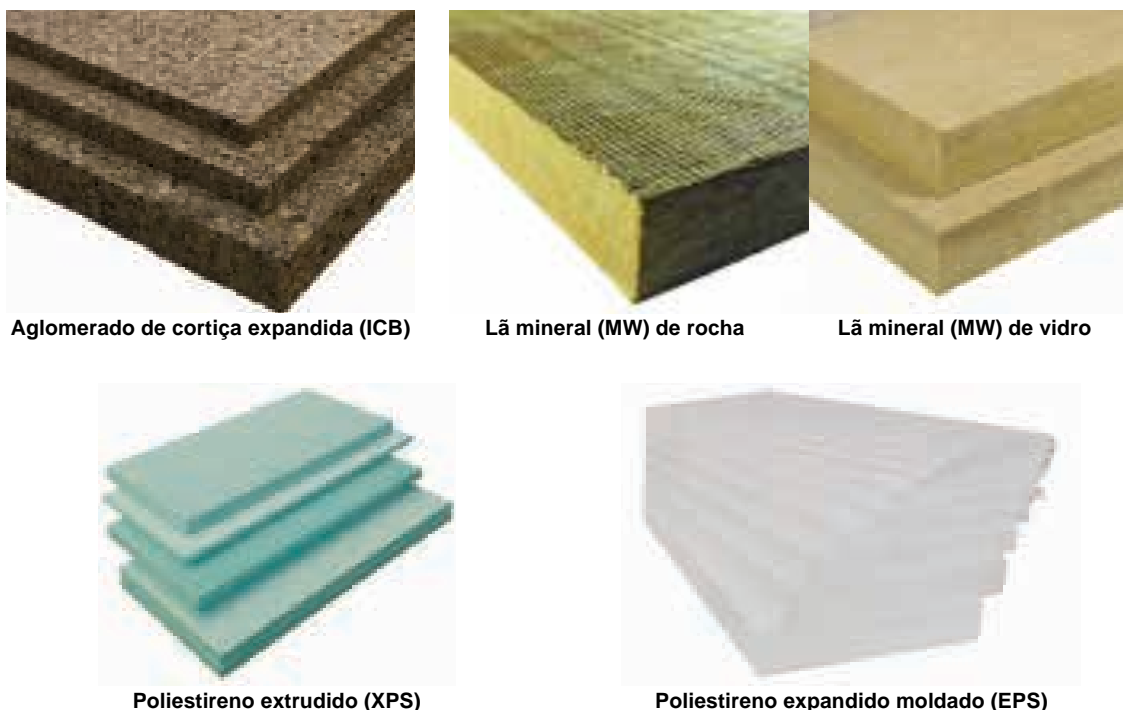
O conforto ambiental e a qualidade do ar são factores preponderantes para a saúde e bem-estar dos utilizadores. A qualidade do ar interior do espaço habitado, quando inadequado, está associado a muitas anomalias, especialmente do foro respiratório. Os utilizadores estão cerca de 90% do tempo em ambientes interiores, nem sempre com os melhores níveis de conforto e salubridade, cada vez mais estanques, com sistemas de ventilação forçada, expostos às emissões tóxicas resultantes dos materiais utilizados, dando origem a uma contaminação substancial do ar interior. (Tirone e Nunes, 2007, p. 36, 38).

O uso de **soluções passivas** nos edifícios, são um factor importante para garantir um maior conforto do espaço interior, sendo benéfico para os utilizadores e minimizando os impactes ambientais. Recorrer à ventilação natural do espaço interior, renova e melhora a qualidade do ar, ajudando a regular o conforto térmico. A escolha criteriosa dos materiais, minimiza as emissões de toxinas libertadas no espaço interior salvaguardando a saúde dos utilizadores e reduzindo os impactes ambientais. A permeabilidade da envolvente vertical é vital para que o edifício consiga "respirar" do interior para o exterior, possibilitando a transferência de vapor. A composição da envolvente construída do espaço interior, como paredes e tectos, devem interagir com a humidade do ar, absorvendo e restituindo ar, quando existe a produção de vapores oriundos das actividades humanas. (Tirone e Nunes, 2007, p. 38).

Factor também importante, é o **isolante térmico**, sendo um material que dificulta a dissipação de calor, distinguindo-se pela sua alta resistência térmica e pelo bom desempenho ao isolamento térmico. O isolamento térmico permite melhorar o conforto térmico nos edifícios, por isso é importante isolar termicamente a sua envolvente,

minimizando assim as trocas térmicas com o exterior e o risco de condensações superficiais, reduzindo significativamente as necessidades de climatização do espaço interior utilizado. Este, também está relacionado nas paredes exteriores, com o desempenho às humidades, que são factor de degradação dos elementos construtivos, tanto as oriundas do exterior como as do interior. As humidades provenientes do interior são resultantes de águas de condensação. Ou seja, as paredes exteriores estando frias e em contacto com os vapores de água, resultantes da cocção dos alimentos, dos banhos térmicos e dos vapores de água dos utilizadores, produzem humidades de condensação (informação verbal)<sup>12</sup>.

Actualmente, é muito usual a aplicação de sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior (ETICS), especialmente em situações de reabilitação de edifícios que apresentem uma envolvente vertical com algum nível de degradação, uma deficiente eficácia de estanquidade ou insuficiente eficácia de isolamento térmico e acústico. Os isolamentos, têm propriedades isolantes térmicas e acústicas, a nível nacional os mais usados são: aglomerado de cortiça expandida (ICB), lã mineral (MW) de rocha, lã mineral (MW) de vidro, poliestireno extrudido (XPS) e poliestireno expandido moldado (EPS) (Ilustração 9).



**Ilustração 9** – Tipos de isolamento. (Amorim Cork Insulation, 2020 ; Knauf Insulation, 2020 ; Imperialum, 2020 ; EPS, 2012).

<sup>12</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

Na Tabela 2, estão as principais características e advertências de cada isolamento.

**Tabela 2** – Tipos de isolamento principais características e advertências.

Tipos de isolamento	Características	Observações
<b>Aglomerado de cortiça expandida (ICB)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>matéria-prima orgânica, 100% natural</li> <li>sequestrador de CO2</li> <li>elevado desempenho no isolamento térmico, acústico e antivibrático, reduz pontes térmicas</li> <li>permeável ao vapor e impermeável a líquidos (água) e gases</li> <li>leve, 50% do seu corpo é ar</li> <li>muito baixa energia incorporada</li> <li>durável, reciclável e reutilizável</li> <li>oriundo da casca do sobreiro, não danificando a árvore no descortçamento</li> <li>material de combustão lenta, não libertando gases tóxicos, retardando o fogo</li> <li>contribui para a qualidade do ar interior, antiestática e hipoalergénica</li> <li>elástica e compressível, adaptando-se a variações de temperatura e pressão sem deformação</li> <li>resistente ao atrito</li> <li>no sistemas ETICS protege a parede exterior e aumenta o ciclo de vida do edifício, reduzindo anomalias e manutenção</li> <li>resistência biológica, não permite a proliferação de micro-organismos - imputrescível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>indicado para construção sustentável</li> <li>a exploração de cortiça deve de ser enquadrada numa política de florestação</li> <li>ter em atenção a tolerância à água parada</li> <li>fixação mecânica ou por colagem</li> <li>pode ser usado em alvenarias de paredes exteriores: de pano simples, de pano duplo, em fachadas ventiladas, como sistema ETICS, como revestimento</li> <li>aplicação em construção nova ou reabilitação</li> <li>placas com diversas espessuras e dimensões</li> </ul>
<b>Lã mineral (MW) de rocha</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>matéria-prima inorgânica</li> <li>bom desempenho no isolamento térmico, acústico e contra o fogo, reduz pontes térmicas</li> <li>não deve ter contacto directo com a água, por difusão ou por imersão</li> <li>leve, permeável ao vapor e hidrorrepelente</li> <li>não é hidrófila, não absorvendo humidade por capilaridade</li> <li>muito energia incorporada, libertação de CO2 na sua produção</li> <li>durável, reciclável e reutilizável</li> <li>incombustível, em contacto com o fogo não liberta gases tóxicos</li> <li>contribui para a qualidade do ar interior</li> <li>elástica e compressível, adaptando-se a variações de temperatura e pressão sem deformação</li> <li>não permite a proliferação de micro-organismos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>requer de muita matéria-prima na sua produção</li> <li>libertação de CO2 na sua produção</li> <li>não deve ficar exposto</li> <li>pode ser usado em alvenarias de paredes exteriores: de pano simples, de pano duplo, em fachadas ventiladas, em sistemas ETICS</li> <li>aplicação em construção nova ou reabilitação</li> <li>placas ou manta, com diversas densidades (acústica)</li> </ul>
<b>Lã mineral (MW) de vidro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>matéria-prima inorgânica</li> <li>bom desempenho no isolamento térmico, acústico e contra o fogo, reduz pontes térmicas</li> <li>permeável ao vapor e hidrorrepelente</li> <li>não é hidrófila, não absorvendo humidade por capilaridade</li> <li>muito energia incorporada e libertação de CO2 na sua produção</li> <li>leve, durável e reciclável</li> <li>incombustível, em contacto com o fogo não liberta gases tóxicos</li> <li>contribui para a qualidade do ar interior</li> <li>elástica e compressível, adaptando-se a variações de temperatura e pressão sem deformação</li> <li>não permite a proliferação de micro-organismos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>requer de muita matéria-prima na sua produção</li> <li>libertação de CO2 na sua produção</li> <li>parte da produção provém de vidro reciclado</li> <li>não deve ficar exposto</li> <li>pode ser usado em alvenarias de paredes exteriores: de pano simples, de pano duplo, em fachadas ventiladas</li> <li>aplicação em construção nova ou reabilitação</li> <li>placas ou manta, com diversas densidades (acústica)</li> </ul>
<b>Poliestireno extrudido (XPS)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>matéria-prima sintética, derivado do petróleo, espuma rígida de poliestireno</li> <li>bom desempenho no isolamento térmico e acústico</li> <li>aplicável em ambientes húmidos, capilaridade nula e insensibilidade à água</li> <li>resistência à difusão de vapor de água, evita condensações</li> <li>leve, autoportante, fácil de cortar, durável e reciclável</li> <li>auto-extinguível, possui inibidor de combustão na composição, liberta gases tóxicos</li> <li>elevada resistência à compressão, frágil ao punçoamento</li> <li>resistência biológica - imputrescível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>não deve estar exposto</li> <li>fixação mecânica ou por colagem</li> <li>pode ser usado em alvenarias de paredes exteriores: de pano simples, de pano duplo, em fachadas ventiladas, como sistema ETICS</li> <li>aplicação em construção nova ou reabilitação</li> <li>placas com diversas densidades, espessuras e dimensões</li> </ul>
<b>Poliestireno expandido moldado (EPS)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>matéria-prima sintética, derivado do petróleo, plástico celular rígido</li> <li>bom desempenho no isolamento térmico e acústico</li> <li>permeável ao vapor, impermeável a líquidos (água) e gases</li> <li>muito leve, 98% do seu corpo é ar, autoportante e fácil de cortar</li> <li>durável</li> <li>elevada resistência, frágil ao punçoamento</li> <li>resistência biológica - imputrescível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>não deve estar exposto</li> <li>fixação mecânica ou por colagem</li> <li>usado em alvenarias de paredes exteriores: de pano simples, de pano duplo, fachadas ventiladas, sistema ETICS</li> <li>aplicação em construção nova ou reabilitação</li> <li>placas com diversas densidades, espessuras e dimensões</li> </ul>

Fonte: Amorim Cork Insulation (2020) ; Knauf Insulation (2020) ; Imperialum (2020) ; EPS (2012).



As **anomalias** que podem advir dos movimentos das alvenarias provocados pelas acções higrotérmicas dão origem à precoce degradação das paredes e o surgimento de fissurações.

Actualmente, os **revestimentos** aplicados nas paredes exteriores das edificações são usualmente rebocos pintados, betão à vista, revestimentos cerâmicos e de pedra. Os revestimentos exteriores, para além da visibilidade que conferem ao edifício, protegem os suportes rígidos e influenciam o desempenho mecânico e térmico das paredes onde estão inseridos. (Amado *et al.*, 2015, p. 210).

Em Portugal, o edificado existente possui diversas tipologias construtivas de paredes exteriores. As tipologias de paredes exteriores mais correntes nos edifícios, podem ser identificadas em dois períodos: anteriores aos anos 80 e a partir dos anos 80.

Enumeramos as tipologias de paredes exteriores mais correntes no parque edificado nacional, com funções resistentes ou de enchimento, por ordem cronológica:

#### **Antes dos anos 80:**

- Paredes resistentes - monolíticas de taipa;
- Paredes resistentes - alvenarias de adobe;
- Paredes resistentes - alvenaria de pedra usada no preenchimento da estrutura de madeira, edifícios Pombalinos e Gaioleiros;
- Paredes resistentes - alvenaria de pedra ordinária;
- Paredes resistentes - com duplo pano de alvenaria de pedra e alvenaria de tijolo maciço ou perfurado com caixa de ar;
- Paredes resistentes - com estrutura reticulada de betão e alvenaria de tijolo maciço ou perfurado;
- Paredes resistentes - monolíticas de betão armado (com pouca expressão);
- Paredes de enchimento - com estrutura reticulada e alvenaria de tijolo simples ou pano duplo com caixa de ar sem isolamento térmico ou acústico.

#### **A partir dos anos 80:**

- Paredes de enchimento - com estrutura reticulada de betão armado e enchimento em alvenaria de tijolo ou de blocos de betão vazados (estes com menor expressão), as alvenarias simples ou duplas com ou sem isolamento térmico e/ou acústico;
- Paredes de enchimento - com estrutura reticulada de betão armado e enchimento em alvenaria de tijolo de pano duplo com isolamento térmico e/ou acústico (preenchendo parcialmente ou totalmente a caixa de ar);
- Paredes de enchimento - com estrutura reticulada de betão armado e enchimento em alvenaria de tijolo simples, de blocos de betão, de blocos de argila expandida com isolamento térmico pelo exterior (sistemas ETICS);
- Paredes de enchimento - com estrutura reticulada de betão armado e enchimento em alvenaria de tijolo simples, de blocos de betão, de blocos de argila expandida com isolamento térmico pelo exterior (sistemas ETICS) e revestimento de acabamento (pedra, cerâmico, metal, vidro, etc.) independente do suporte rígido criando uma câmara-de-ar, designadas por paredes ventiladas. (Faria e Chastre, 2015, p. 1).

Neste capítulo serão consideradas grande parte das tipologias de paredes exteriores mais relevantes na construção de edifícios, especialmente em Portugal. Uma vez que este trabalho se foca no estudo da evolução das paredes exteriores, esta selecção tipológica teve como premissa essa base. A análise evolutiva destas tipologias tem como foco principal a análise da sua materialidade no seu todo, estando agrupadas por surgimento cronológico, material e evolução tecnológica.

Das primeiras construções em terra, passando pelas construções em alvenaria de pedra até aos "tijolos" mais evoluídos ou aos blocos de baixo carbono de hoje, muito se avançou fruto do conhecimento adquirido através dos registos dos edificadados antepassados, adquirindo um *know-how* essencial sobre as regras fundamentais da construção.

### **3.1. PAREDES EM TERRA**

Nos registos existentes que resistiram ao tempo, não é consensual qual o primeiro material a ser usado pelo Homem na construção de abrigos. O que se percebe, é que,

consoante as zonas onde habitavam, assim variavam os materiais e as técnicas construtivas que o Homem usava. Segundo González, a construção em terra é uma das técnicas construtivas mais antigas da qual não se consegue precisar o seu exacto início no edificado. Este simples sistema construtivo, surge como um natural sucessor das grutas, os primeiros abrigos naturais criados pelo Homem. (González, 2006, p. 25).

Como refere González, as construções em terra crua, devido à sua reciclabilidade, dificultam a comprovação efectiva, pois sem a devida manutenção são construções que sofrem uma degradação rápida até à sua total extinção. (2006, p. 82).

Segundo Pinho, as primeiras construções em terra crua surgiram há 12000 anos na cidade mais antiga do mundo, Jericó (2000, p. 129). Outros autores defendem que as primeiras construções em terra tenham surgido a par das primeiras sociedades agrícolas, ao remoto período entre 12000 a 7000 a.C.. São muitos os exemplos de construções em terra que resistiram temporalmente até ao século XXI provando esse facto. (Torgal e Jalali, 2010a, p. 288).

Ao contrário do que se pensa, a construção em terra foi usada em construções de habitação, de menor escala, mas também em edificados de grande escala. Exemplo disso são construções como: a Muralha da China, cujo a sua construção teve início há 3000 anos atrás, apresentando inicialmente grandes troços feitos em taipa; as pirâmides de Saqqarah no Egipto ou na América do Sul, as ruínas de Chan Chan ocupando uma área de 14 km<sup>2</sup>. De menor dimensão, mas não menos importantes, podemos encontrar grandes áreas de construção em terra no Alentejo e Algarve, onde o clima em Portugal é mais quente. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 121).

Outro exemplo de cidade antiga construída em terra é o Povoado de Taos (Ilustração 10), no estado do Novo México, que foi executada entre 1000 e 1500 d.C., composta por paredes de argila misturada com fibras vegetais e depois seca ao sol. (Torgal e Jalali, 2010a, p. 288).



**Ilustração 10** – Edificações em terra, Taos, Novo México. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 13).

A mostrar a sua persistência e resistência ao tempo, está a histórica cidade de Shibam do Iémen (Ilustração 11), quase toda construída em terra, que remonta ao século III, embora os edifícios que ainda existam sejam na sua maioria já do século XVI. É um exemplo de construção em altura feita em terra, composta por edifícios em adobe que vão dos 5 aos 11 pisos, com um minarete de 38 metros de altura. As suas paredes exteriores são feitas com blocos de adobe, os quais se vão aligeirando nos pisos superiores para reduzir o peso sobre o edifício, melhorando assim a sua estabilidade. (Torgal e Jalali, 2010a, p. 289).



**Ilustração 11** – Edifícios em adobe, Shibam, Iémen. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 14).

Na Europa, Portugal é um dos países com um dos mais vastos e importantes registos de património construído em terra crua, perfazendo grande parte do território nacional. Com mais ênfase no Alentejo e Algarve, mas com diversos edifícios em terra também na Beira Baixa, Beira Interior, Trás-os-Montes, Ribatejo, entre outras regiões.

É possível encontrar construções em terra um pouco por todo o mundo, em diversas zonas com climas completamente adversos, como húmidos, com frequente precipitação ou em regiões quentes e secas.

“A utilização da construção em terra crua, como sistema construtivo de base tem vindo a desaparecer com a introdução de novos materiais de construção e até com a criação de novos níveis de conforto habitacional e mesmo de estratificação social.” (González, 2006, p. 29).

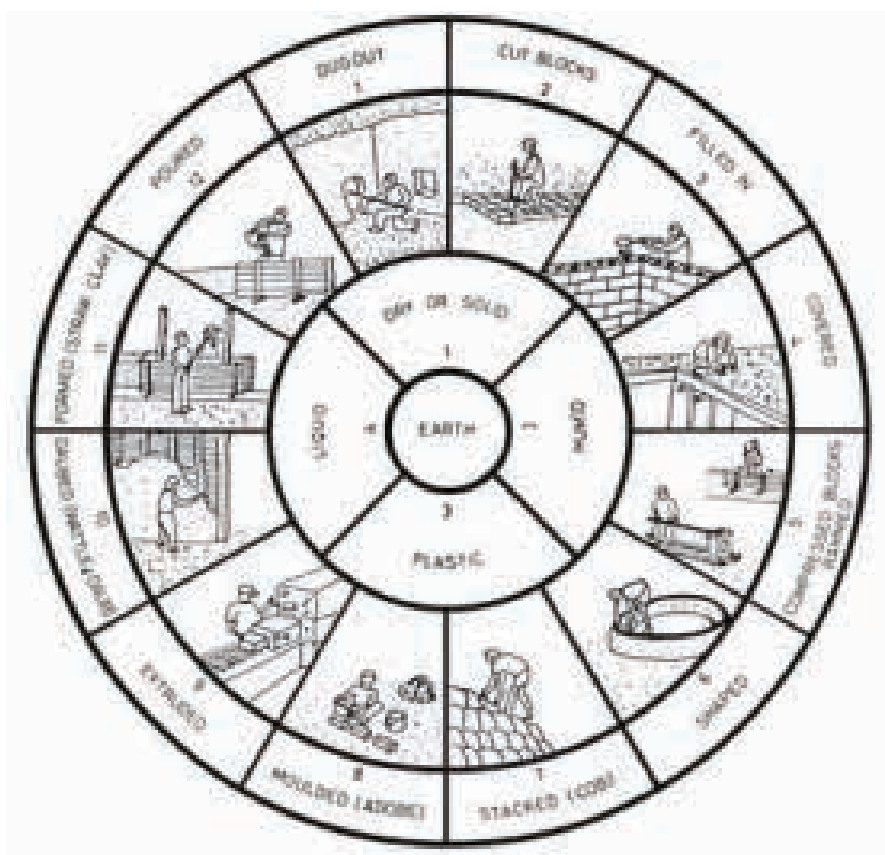
Segundo Torgal e Jalali (2010a, p. 291), alguns autores afirmam que, quase cerca de 50% da população mundial, reside em edifícios feitos de terra, o que corresponde a cerca de 3000 milhões de pessoas.

Actualmente, com a evolução tecnológica, as técnicas de construção em terra são muito diversificadas. Foram desenvolvidos novos processos construtivos com sistemas automatizados, industriais e mecanizados. Apesar desta evolução, as técnicas mais rudimentares ainda são usadas.

Verifica-se em muitos países um movimento e um franco retorno ao uso destas técnicas ancestrais de construção tradicional em terra. No caso de Portugal, esse retorno existe, mas com pouca expressão. Esta tomada de consciência ocorre devido ao aumento de projectos de arquitectura em terra contemporâneos, ao crescente interesse da investigação científica por esta matéria e às diversas publicações que dão cada vez mais ênfase ao tema. Talvez o factor mais importante na divulgação desta temática, será mesmo o interesse e envolvimento global manifestado nesta área por diversas entidades, como universidades, municípios, associações, entre outros, que em uníssono geraram um manifesto avanço na temática de construir em terra. (Correia, Dipasquale e Mecca, 2011, p. 167).

Podemos verificar que, em Portugal, a arquitectura contemporânea em terra assume linguagens distintas nas edificações construídas, assim como usos e fins diversos, destes distinguem-se as habitações, os equipamentos de serviços, o turismo rural, a hotelaria, entre outros. Dos anos 80 a esta parte, mais de 200 edifícios foram erguidos, só no Algarve e Alentejo. No início deste século, a taipa teve alguma expressão na construção contemporânea. Já pelo contrário, os sistemas de construção em terra por unidades, como o adobe e os BTC, têm sido menos usados. Contudo, houve um

crescimento no uso dos BTC na região algarvia. (Correia, Dipasquale e Mecca, 2011, p. 166).



- |                             |                               |                           |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Terra escavada           | 5. Blocos comprimidos e Taipa | 9. Terra extrudida        |
| 2. Blocos de terra cortados | 6. Terra moldada              | 10. Terra de recobrimento |
| 3. Terra de enchimento      | 7. Terra empilhada            | 11. Terra palha           |
| 4. Terra de cobertura       | 8. Adobe                      | 12. Terra plástica        |

**Ilustração 12** – A terra como material de construção, os 12 principais tipos de utilização. (González, 2006, p. 80 ; Auroville Earth Institute, 2020).

Neste trabalho, abordamos algumas das técnicas construtivas em terra (Ilustração 12) mais significativas para a edificação de paredes exteriores e cuja a aplicação ainda tem uso nos dias de hoje no mundo inteiro. Estas podem ser divididas em dois tipos de sistemas: monolítica (*in situ*), no caso da taipa e por unidades (alvenaria), falamos do adobe e dos blocos de terra comprimida (BTC).

### 3.1.1. TAIPA

A taipa segundo González “é conhecida nos países anglófonos como “*rammed earth*”, e nos francófonos como “*pisé*”” (2006, p.106). Trata-se de um processo construtivo com mais de 2000 anos de história (Ilustração 13) que, apesar da distância temporal que os separa, pode ser considerado o precursor das paredes moldadas, pois o seu

nome deriva do termo taipal (cofragens), que designa as réguas de madeira de cofragem usadas nos moldes de betão armado. Era constituída por camadas alternadas de barro misturado com areia e palha seca e da mesma mistura com pequenas pedras tornando a massa menos espessa. (Branco, 1993, p. 64).



**Ilustração 13** – Manuscrito com pormenores da construção em taipa, Jaquin, 2008. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 12).

É em Lyon, França em 1562, que se utiliza este processo pela primeira vez. A denominação foi empregue a paredes construídas através da compactação da terra entre dois moldes paralelos, com pelo menos 50 cm de espessura, e que eram removidos após a secagem da mesma. Inicialmente, conhecia-se o termo associado a paredes bem mais espessuradas, apesar de ser possível a sua construção com espessuras bem mais reduzidas, com a adição de cimento ou cal à mistura de inertes. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p.125).

Das técnicas de construção em terra crua, a taipa foi talvez das mais usadas em Portugal até à primeira metade do século XX, na regiões centro e sul do país principalmente, como o Alentejo, o Algarve e o Ribatejo, com edificações maioritariamente de um piso. Nas décadas que se precederam, o tijolo cerâmico furado de produção industrial ganhou terreno na indústria da construção, mesmo apresentando piores prestações térmicas em relação às espessas paredes de taipa tradicional. (Correia *apud* Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 33-34).

Existem ainda alguns edifícios antigos construídos em taipa um pouco por toda a Europa, em bom estado de conservação, ainda habitados e já com mais de 300 anos. Branco (1993, p. 64), refere que “[...] ainda hoje existem no Alentejo e no Algarve,

pequenas habitações e dependências agrícolas construídas há muitos anos, inteiramente de taipa impermeabilizada com cal e sebo.” E também existem exemplos de fortalezas defensivas para fins militares, como o castelo de Paderne (Ilustração 14), feitas em taipa estruturalmente resistente, composta por cal, pozolana e agregados naturais, com cerca de 800 anos, executadas durante o período Islâmico, entre os séculos VIII e XIII. (Correia, Dipasquale e Mecca, 2011, p. 165).



Ilustração 14 – Castelo de Paderne, arquitectura militar islâmica em taipa, no Algarve. (Ncouth, 2017).

Segundo alguns investigadores, como afirma González (2006, p. 106), a taipa foi o processo construtivo que mais seguidores teve, sendo também o que mais evoluiu com o propósito de se adaptar aos usos e às exigências modernas.

### 3.1.1.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

A taipa consiste num sistema de construção de paredes monolíticas em terra, sejam estas exteriores ou interiores, que resulta da compactação, manual ou mecânica, de terra húmida, com uma mistura de gravilha, areia, siltes e um pouco de argila, introduzida por camadas numa cofragem formada por taipais em madeira ou metal. Segundo González (2006, p. 106), é conveniente a agregação de fibras vegetais aos inertes mencionados. E segundo Torgal, Eires e Jalali, a taipa é uma técnica de construção que não necessita de muita água para a sua execução, daí se encontrarem mais construções em taipa nas regiões do Alentejo e Algarve. (2009, p. 34).

Na taipa encontramos dois tipos de processos de construção: a **taipa tradicional** e a **taipa mecanizada**. Ambas consistem na compactação da mistura de terra com uma



certa selecção de inertes recorrendo a um molde com taipais, de madeira aparelhada ou de painéis aço ou de madeira de cofragem, com a principal diferença de ser com um pilão manual ou com um pilão pneumático. (González, 2006, p. 106).

No método de **taipa tradicional** e por estas não apresentarem as propriedades de estabilidade pretendidas, são muitas vezes agregadas na mistura outros materiais como: tijolos cerâmicos maciços, cortiça, pedras ou até argamassas entre os blocos monolíticos de taipa. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 34).

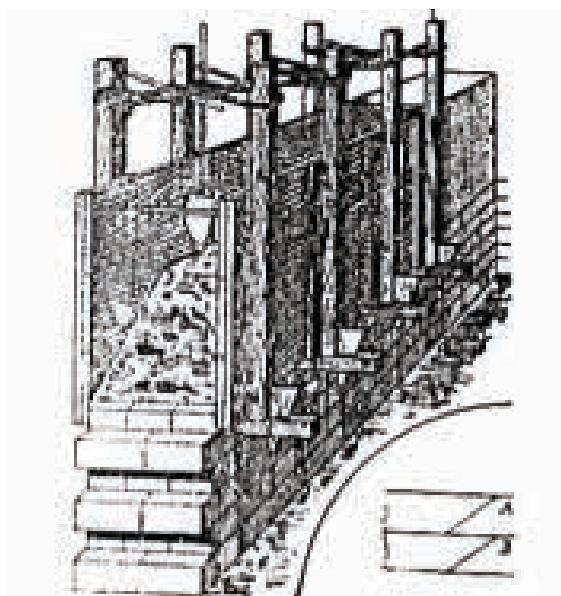
Alguns cuidados são necessários ter em conta para a sua correcta execução. Começando pela correcta execução do molde de taipais, passando pela escolha criteriosa da mistura da terra, escolhendo a argila com a humidade certa para se proceder à sua adequada compactação. Não menos importantes são os remates, com o embasamento e cobertura, evitando assim qualquer infiltração de águas. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 34).

Como referem Torgal, Eires e Jalali, tratando-se de uma parede resistente comprimida, é necessário o seu travamento para garantir a sua estabilidade. Por isso são introduzidos nos cunhais elementos de pedra cruzada, para dar estabilidade ou, muitas vezes, os cunhais são feitos de pedra. No caso do esforço transversal, são colocados contrafortes ou tirantes de aço que o estabilizavam. As paredes em terra crua comprimida, pela sua grande espessura e constituição não permitem grandes aberturas, daí o seus vãos serem mais reduzidos. (2009, p. 34-35).



**Ilustração 15** – Construção tradicional de parede em taipa, em Moçambique, Miguel Mendes, 2006. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 35).

Na taipa tradicional (Ilustração 15), as paredes são construídas introduzindo a terra húmida nos moldes formados pelos taipais de madeira aparelhada desmontáveis, designadas também por enxamel. A nível nacional, é frequente a construção de paredes constituídas por camadas de terra compactada com 50 cm a 1 m de altura, com espessuras entre os 40 cm e os 70 cm e um comprimento de 2 m, podendo chegar aos 4 m. Cada camada de terra húmida tem cerca de 10 cm de espessura, sendo calcada até atingir metade do valor, e o processo repete-se até atingir a altura total do taipal, sendo depois tapado com um taipal em madeira até a parede secar. Após a secagem da terra, o molde é removido e repostado para construir a próxima camada. Na mudança dos taipais, para a execução de nova camada, as camadas terminam com um sistema de encaixe recto ou inclinado nas faces superiores e nas juntas, com um ângulo de 45° ou 60° (Ilustração 16), para dar estabilidade à parede e garantir um travamento entre camadas. Este modo de construção tem uma grande desvantagem, pois é um processo muito moroso, requerendo de muito tempo de obra para a sua conclusão. Para que a terra, fique com os níveis de humidade uniformemente distribuídos, é necessário que repouse pelo menos uma semana, para que atinja uma compactação e resistência eficaz, dando origem a uma parede incombustível e isotérmica. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 125 ; Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 35 ; Pinho, 2000, p. 132-133).



**Ilustração 16** – Construção tradicional de taipa, com inclinação na parte superior da camada em execução. (Pinho, 2000, p. 132).

Na construção das paredes exteriores em taipa, estas devem assentar em fundações feitas com alvenaria de pedra ordinária ou de tijolo, acima do solo 25 a 60 cm de altura, principalmente quando se trata de terrenos húmidos ou propícios à invasão de

águas, protegendo-as assim contra as águas ou humidades que possam ascender por capilaridade até à taipa e que rapidamente a desagregariam. (Branco, 1993, p. 122 ; Pinho, 2000, p. 130).

Nos edifícios antigos em taipa, as paredes eram maioritariamente rebocadas com uma argamassa de cal ordinária, conseguindo ter uma durabilidade de séculos. Este tipo de reboco só podia ser aplicado nas estações secas e com a taipa devidamente seca e estabilizada, a durabilidade desta tipologia aumentava significativamente se na sua constituição a terra fosse humedecida com leite de cal. O reboco deveria ser aplicado sobre a superfície da parede com uma textura ligeiramente bujardada e humedecida, para lhe conferir aderência. Após rebocada, a parede era caiada. A manutenção do estado de conservação do edifício passava pela renovação periódica da caição. (Pinho, 2000, p. 133).

Com o processo de construção da **taipa mecanizada**, muita coisa se agilizou. É um processo recente, em que a essência do método empregue é a mesma, com a vantagem de ser mecanizado. São usadas cofragens (Ilustração 18), movíveis ou amovíveis, de madeira ou em aço deslizantes, a compactação e a projecção da terra é feita através de sistemas mecânicos. A escolha do tipo de cofragem, depende do aspecto final que se pretenda atribuir à parede a executar. A terra usada deverá ser a correcta para garantir a humedificação adequada a uma boa compactação, assim como a aditivação de cimento ou cal são importantes para a sua solidez. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 125 ; Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 38-39).



**Ilustração 17** – Execução de taipa com compactador pneumático, obra em Serpa. (Betão e taipa, 2020).



**Ilustração 18** – Taipa mecanizada com técnicas tradicionais, obra em Carcavelos. (Betão e taipa, 2020).

Ao contrário da taipa tradicional, a taipa mecanizada é executada com recurso a um compactador pneumático (Ilustração 17), com pilões de cabeça circular de 70 a 150 mm de diâmetro, que compacta a terra humedecida em pouco tempo, permitindo reduzir significativamente o tempo total de execução da construção. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 39).



**Ilustração 19** – Execução de paredes em taipa mecanizada em diferentes fases. (Betão e taipa, 2020).

As paredes em taipa, sendo uma construção monolítica (Ilustração 19) podem ter ou não funções resistentes. Se na sua constituição se usar uma estrutura em madeira ou betão, estas assumem a função de enchimento. As suas fundações, actualmente com este sistema mecanizado, são executadas mais frequentemente em betão armado, sendo a alvenaria de pedra também opção, de modo a evitar a ascensão da água ou humidade por capilaridade, como acontece na taipa tradicional. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 40).



**Ilustração 20** – Obra com paredes em taipa mecanizada à vista, obra em Serpa. (Betão e taipa, 2020).

Idealmente, a extracção da matéria-prima deverá ser efectuada no local de implantação da construção a executar, de modo a que hajam compensações energéticas, sem haver necessidade de custos de transporte. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 126).

Na aplicação de revestimentos em construções de terra devem ser tidos em conta os seguintes pontos, os revestimentos usados devem ter: um módulo de elasticidade com valor igual ou inferior ao do suporte; uma resistência mecânica, à compressão e à flexão, com valor igual ou inferior à do suporte; uma permeabilidade ao vapor de água com valor igual ou inferior à do suporte; uma baixa retracção; ausência de sais solúveis ou um teor mínimo; e uma adequada trabalhabilidade sem excesso de água adicionada. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 119). Também existem construções, cujo o objectivo, é tirar partido do aspecto visual (Ilustração 20) da textura e da cor, tão singular deste tipo de construção. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 118). A aparência desta tipologia de paredes, varia consoante o tipo de terra e o tipo de agregados usados na sua constituição. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 130).

Os autores Torgal, Eires e Jalali (2009, p. 119) referem que o processo de caiação era tradicionalmente o revestimento mais usual, que obrigando a uma manutenção periódica, ao fim de alguns anos adquiria uma camada de espessura considerável (Ilustração 21).



**Ilustração 21** – Parede em taipa caiada. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 119).

Outro tipo de revestimentos também usados, como mencionam Torgal, Eires e Jalali (2009, p. 120), mas que tecnicamente são desaconselhados nestas tipologias, são os revestimentos à base de cimento. São de rápido endurecimento, mas com uma elevada retracção, uma baixa permeabilidade ao vapor de água, pelo teor de sais

solúveis que apresentam e por serem demasiado rígidos. Contudo, outros revestimentos à base de cinzas volantes, resíduos de tijolo e cal, apresentam vantagens em relação aos cimentícios, mostrando serem bastante mais duráveis.

### 3.1.2. ADOBE

A palavra adobe tem origem árabe e deriva do termo "*attob*" que denomina tijolo seco ao sol. Alguns autores pensam que a introdução desta técnica de construção na Península Ibérica ocorreu durante a ocupação árabe. A sul de Portugal é onde podemos encontrar mais exemplos de edifícios com este tipo de alvenaria datados do início do século XX e em razoável estado de conservação. Esta tipologia de paredes é mais frequente em construções de habitação que ainda existem no nosso país, muitos construídos no início do século passado, onde o clima seco e o uso da cal, contribuíram para a sua conservação. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 60–61).

Esta técnica de construção, devido à sua simplicidade de fabrico e de edificação, foi usada um pouco por todo o mundo, alguns autores defendem que, pelos registos encontrados, o seu nome teve origem primeiramente no Egipto (Ilustração 22) e daí derivou mais tarde para o termo árabe. Os vestígios mais antigos foram encontrados na cidade mais antiga do mundo, Jericó, na Mesopotâmia, datados de 8000 a.C., tendo sido moldados à mão pelas impressões digitais visíveis nalguns deles. (Auroville Earth Institute, 2020).



**Ilustração 22** – Desenho de fabrico de adobe no Egipto, Tebas, Tumba de Rekhmire no séc. XV a.C. (Auroville Earth Institute, 2020).

Em Portugal, as dimensões e formas dos adobes diferem consoante as regiões, existindo uma grande variedade em formato, composição, textura e coloração. Até aos anos 70 do século passado, o adobe era muito usado em construções de pequeno porte e em regiões com solo argiloso, perto das margens dos rios, como é o caso dos vales do Tejo e do Sado. Encontram-se pequenas edificações com adobe um pouco por todo o país, mesmo em regiões com solo arenoso, como no litoral de Aveiro à



Nazaré, onde agregavam cal na mistura dos blocos de adobe para lhe darem mais consistência e resistência. (Correia, Dipasquale e Mecca, 2011, p. 165).

### 3.1.2.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

Os blocos de adobe, também designados por blocos de terra artesanal (BTA), são produzidos através de um sistema de moldagem de blocos, podendo ser executados de modo manual ou mecanizado. O fabrico dos BTA, recorre a moldes de madeira ou metal paralelepípedicos, onde é depositada a terra bastante argilosa, sendo moldada e desmoldada de seguida (Ilustração 23), ficando a secar ao sol cerca de quatro semanas, endurecendo, ganhando consistência e resistência, permitindo erguer paredes de edifícios. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 60 ; González, 2006, p. 117-118).



Ilustração 23 – Produção manual de adobe em vários pontos do mundo. (Auroville Earth Institute, 2020).

Contrariamente à taipa, o adobe necessita de ser executado onde a água abunde. É uma técnica que requer o uso da terra num estado plástico e argiloso, com um grande grau de humidade. Por isso, deve ser reforçado com fibras vegetais secas (Ilustração 24), como é o caso da palha, evitando assim o aparecimento de fissuras por retracção no processo de secagem e melhorando a resistência mecânica. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 43).

Deve optar-se por efectuar a extracção da terra para a execução dos blocos no local da obra a construir, minimizando deslocações. Quanto mais homogénea for a mistura, melhores serão a suas propriedades de resistência mecânica. Também o uso de estabilizantes como cimento, cal ou betume, melhoram o seu comportamento mecânico. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 135). Após a moldagem dos blocos de adobe, garantir uma secagem ao ar livre, preferencialmente em local coberto mas

arejado, permitindo uma perda de água gradual garantindo assim um produto final com mais qualidade. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 61).



**Ilustração 24** – Compactação manual de adobe em molde de madeira, Ignacio Gomez Pulido. (Baraya, 2020).

Sendo os blocos de adobe de simples execução, permitem uma grande oferta de dimensões e formatos. Existem blocos simples e com sistemas de encaixe macho-fêmea, para dar mais estabilidade às paredes e facilitar o assentamento das alvenarias. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 42-43).

Tecnicamente, existem mais métodos de execução dos blocos de adobe, tais como: o manual (já referido), o mecanizado, o “adobeton” e o adobe “*in situ*”.

Como o próprio nome sugere, o **adobe mecanizado** usa a “máquina” no seu fabrico (Ilustração 25). Esta técnica permite fabricar mais blocos de forma mais rápida, que no método convencional. (Torgal e Jalali, 2010a, p. 301).



**Ilustração 25** – Produção mecanizada de adobe no Novo México, E.U.A., J. Evrard. (Auroville Earth Institute, 2020).



Com origem em Marrocos o “**adobeton**” é uma técnica de fabrico de blocos de adobe com a incorporação de revestimento em betão. Torgal, Eires e Jalali (2009, p. 45), referem que o “adobeton” é uma técnica de “[...] construção de paredes exteriores em adobe com protecção à intempérie exterior em elementos de betão prefabricados, em forma de “L” invertido (Ilustração 26), aumentando a sua durabilidade e dando um aspecto mais industrial à construção em terra.” Este método atribui uma maior durabilidade ao suporte, protegendo-o das agressões externas directas, e um sentido estético díspar das outras construções em terra, com um aspecto industrializado. Infelizmente só permite construções simples e rectas, tendo também a desvantagem de ter mais energia incorporada no seu fabrico por usar o cimento na sua composição.



**Ilustração 26** – Alvenaria com adobeton, Martin, 1998. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 46).



**Ilustração 27** – Alvenaria de adobe *in situ*. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 47).

Recorrendo a um processo de fabrico com taipais (cofragem), muito similar ao da taipa, o **adobe *in situ*** são blocos moldados no local (Ilustração 27). Permite a descofragem logo após a moldagem ou a cura na própria cofragem desmoldando no dia seguinte. Dá a possibilidade de serem moldados com formas, texturas e formatos diversos, quando são desmoldados no imediato. Na sua produção, a terra deve apresentar uma consistência plástica, ajudando na moldagem e descofragem dos blocos, permite também usar moldes de cofragem de maior dimensão que os usados nos outros adobes desmoldados na hora. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 46-47).

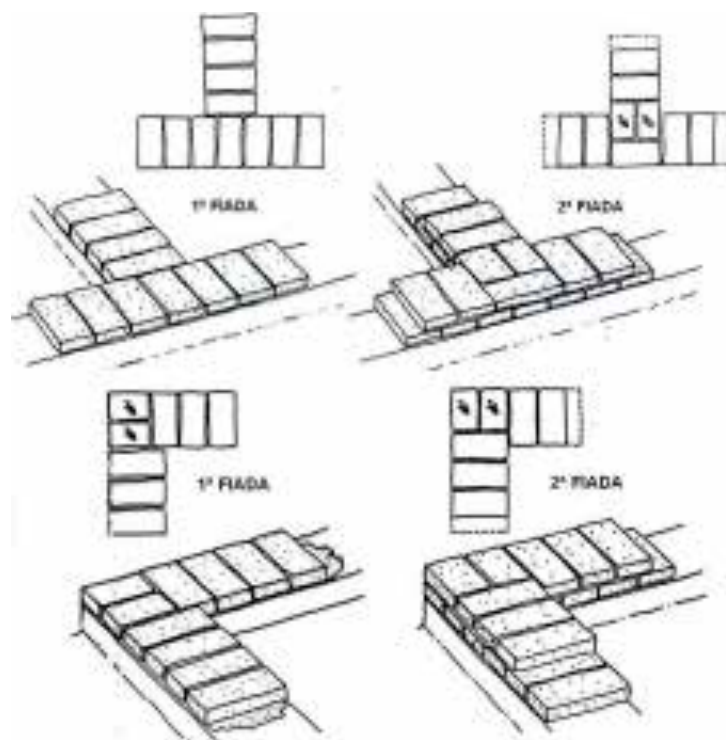
A alvenaria em adobe em pouco difere da alvenaria tradicional com tijolos de barro cozido, sendo os seus blocos assentes sobre uma fundação elevada do solo, em pedra ordinária (Ilustração 28), sendo a solução tradicional em cascalho, ou betão armado que é a solução que actualmente cumpre as exigências regulamentares e que

dá mais garantias de maior nivelamento para o assentamento da alvenaria de blocos de adobe. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 135).



**Ilustração 28** – Alvenaria de adobe sobre fundação de pedra no Alentejo. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 61).

Assim como a alvenaria de tijolos cerâmicos, a alvenaria em adobe usa a mesma técnica de travamento, com o desfasamento dos blocos entre fiadas (Ilustração 29). Argamassas de terra são usadas para o seu assentamento, permitindo uma melhor ligação entre os materiais e reduzindo o aparecimento de fissuras ou destacamento de material, uma vez que materialmente têm o mesmo comportamento retráctil ao secarem. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 42).



**Ilustração 29** – Assentamento dos blocos de adobe. (Baraya, 2020).

Assim como acontece na taipa, conforme referem Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006, p. 135-136), as alvenarias em adobe podem ter funções resistentes ou de enchimento. Sendo a alvenaria de enchimento, os blocos de adobe são agregados a uma estrutura resistente reticulada porticada, que normalmente é em madeira ou aço. Já na construção de alvenarias de adobe resistentes, conforme acontece na taipa, o seu contraventamento deve ser considerado, com ligações verticais nas paredes (Ilustração 30) e horizontais nas lajes, por forma a garantir o equilíbrio da parede construída, aumentando a sua resistência débil às cargas perpendiculares transmitidas.



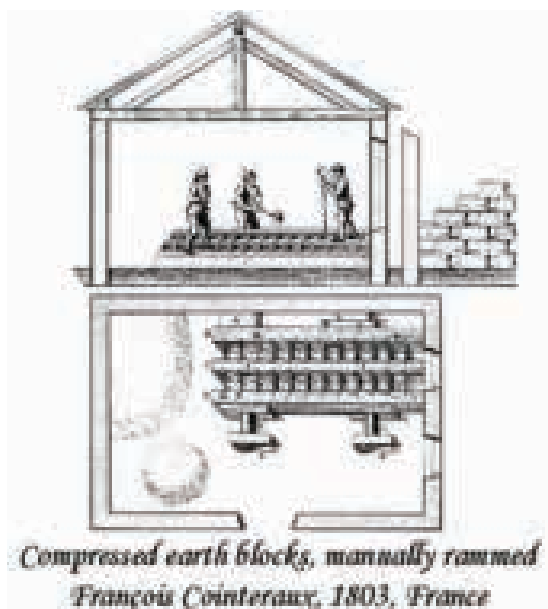
**Ilustração 30** –Edifício com paredes exteriores em blocos de adobe no Algarve, Mateus, 2004. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 62).

As paredes exteriores de alvenaria de adobe podem ser ou não revestidas. Se ficarem à vista, não requerem de qualquer tipo de tratamento na sua superfície, assumindo a cor, da argila e areia que a compõem, e forma do bloco de adobe que a constrói, como um padrão similar ao dos tijolos cerâmicos maciços. Quando revestidas, as paredes exteriores podem ser rebocadas com um reboco à base de terra ou de argamassa de cal e areia. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 136).

### **3.1.3. BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA**

No início do século XIX, em França, deram-se as primeiras tentativas de fabricação de blocos de terra comprimida. O arquitecto François Cointeraux experimentou pré-fabricar pequenos blocos de taipa, utilizando sistemas manuais de compactação com os pés (Ilustração 31). (González, 2006, p. 115).

A primeira prensa manual, denominada por CINVA-Ram (Ilustração 32), criada para a execução de blocos de terra comprimida (BTC) foi inventada pelo engenheiro Raul Ramirez, que em 1956 se encontrava ao serviço de uma organização no ramo da habitação, designada por CINVA, no âmbito de um programa de pesquisa para habitação rural na Colômbia, com o intuito de melhorar os blocos de adobe secos ao sol produzidos na altura. Tornando os blocos de terra mais densos e resistentes, com formas e tamanhos mais regulares e mais resistentes à água que o adobe convencional. Desde essa altura muitas outras máquinas de compressão dos blocos foram desenvolvidas. A tecnologia empregada nos BTC foi em parte, um grande impulsionador para o renascimento mundial e promoção da construção em terra no século XX. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 139-140).



**Ilustração 31** – Primeiras tentativas de produção de BTC. (Auroville Earth Institute, 2020).



**Ilustração 32** – A primeira prensa para blocos de terra comprimida da CINVA-Ram. (Auroville Earth Institute, 2020).

Actualmente, a nível nacional, as alvenarias de BTC não são um sistema construtivo muito usual na edificação habitacional. Contudo, os BTC têm um grande potencial quando falamos de sustentabilidade e de desempenho, quando comparados com o adobe. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 63).

### 3.1.3.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

Os Blocos de Terra Comprimida (BTC) ou *Compressed Earth Blocks* (CEB) são no fundo uma evolução dos adobes, na sua essência são muito semelhantes mas com melhorias de compactação acrescentadas. Por se processarem através da compressão de

terra crua ligeiramente humedecida em pequenos moldes, os BTC resultam numa taipa pré-fabricada de pequenas dimensões, sendo por isso tecnicamente muito similares à taipa tradicional e com um desempenho superior quando comparados ao adobe. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 63).

O processo de produção dos BTC resulta da prensagem da terra húmida, estabilizada ou não, com cimento, cal ou outras misturas, através de meios manuais ou mecânicos. É um sistema que permite obter blocos bastante resistentes, com diversos formatos e tipologias, maciços ou perfurados, devidamente acabados e regulares, muito capaz de competir com os sistemas construtivos actuais.



**Ilustração 33** – Execução dos BTC em prensa manual CINVA-Ram. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 65).

A execução dos BTC em prensas manuais (Ilustração 33) requerem mais mão-de-obra e tempo de produção. Contudo, são sistemas menos dispendiosos em termos energéticos e podem ser feitos com a terra do local da construção, dispensando custos de transporte. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 51).

Já na prensa mecanizada hidráulica, o bloco é prensado de forma mais eficaz e rápida, conseguindo, consoante os modelos, produzir diversos blocos em simultâneo. São blocos que apresentam uma maior resistência mecânica em relação aos BTC fabricados em prensa manual. Sendo mais resistentes à água, por terem uma densidade superior. Estes sistemas de fabrico mecanizados hidráulicos, podendo ser



fixos ou móveis (Ilustração 34). As prensas móveis permitem a execução dos blocos no local da construção, usando a terra local, dispensando custos de transporte e produzindo mais blocos com maior qualidade. Factor, também ele favorável no âmbito da sustentabilidade. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 52-53).



**Ilustração 34** – Prensas hidráulicas de BTC, à direita, fixa (Quintino, 2005) e à esquerda, móvel. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 53).

O uso de estabilizadores na composição dos blocos, permite obter blocos de terra prensada mais resistentes e duráveis, com maior resistência à compressão e à água. Com o uso do cimento na sua composição, os BTC devem ter um tempo de cura de cerca de quatro semanas após a produção. Passado esse tempo, podem secar naturalmente ao ar e serem utilizados na construção de paredes argamassadas, como acontece na construção tradicional em tijolo cerâmico cozido. (Auroville Earth Institute, 2020).

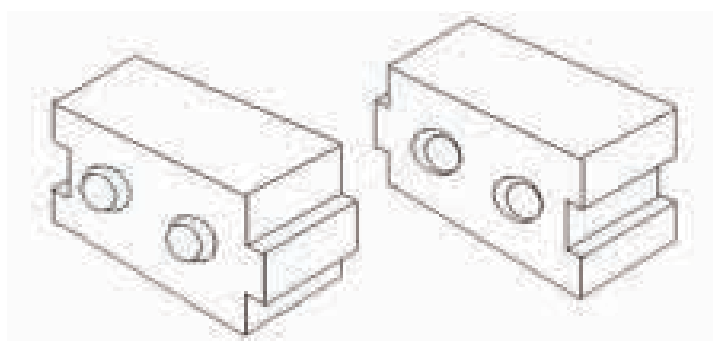


**Ilustração 35** – Blocos de Terra Comprimida Estabilizados (BTCE). (Auroville Earth Institute, 2020).

O estabilizante mais usado na produção dos BTC é o cimento, apesar de existir a cal, que é mais acessível e sustentável, com um impacte ambiental mais reduzido, daí ser previsível que num futuro próximo o seu uso venha a aumentar significativamente.

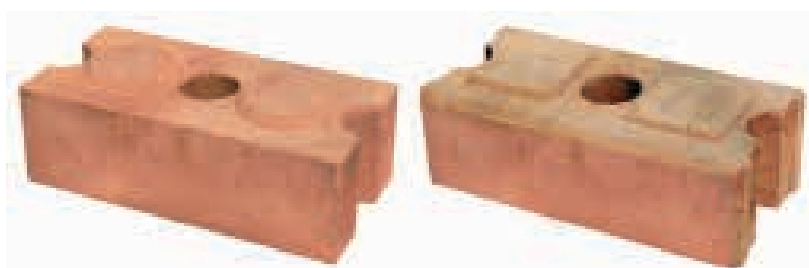
Investigações foram efectuadas no sentido de usar solo arenoso com percentagens adequadas de metacaulino e cal hidratada, chegando à conclusão de que complementando a mistura com certos aditivos, os BTC conseguiam ter uma melhoria significativa no seu desempenho mecânico e aumentar a sua resistência aos micro-organismos. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 66).

Estes Blocos de Terra Comprimida Estabilizada (BTCE) (Ilustração 35), também designados por Compressed Stabilised Earth Blocks (CSEB), permitem construções mais altas com paredes mais finas, mas com melhor comportamento à compressão e maior resistência à água que outros blocos em terra. (Auroville Earth Institute, 2020).



**Ilustração 36** – Blocos de Terra Comprimida (BTC) com encaixes tipo macho/fêmea. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 65).

Existem diversos formatos, dimensões e tipos de BTC. Os BTC com sistema de encaixe tipo macho/fêmea (Ilustração 36) que facilitam a aplicação, reduzindo tempo de execução, e dispensando, nalgumas situações, de argamassa de assentamento. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 65).



**Ilustração 37** – Blocos de Terra Comprimida (BTC) perfurados. (Auroville Earth Institute, 2020).

Outra tipologia de BTC são os perfurados (Ilustração 37), que permitem o reforço da estrutura e a passagem das tubagens das instalações técnicas, desde a rede de águas à rede eléctrica, evitando a abertura de roços e sendo as tubagens passadas durante a execução da parede. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 66).

As alvenarias de BTC têm uma execução fácil e rápida, reduzindo custos e pouco desperdício ou resíduos associados. Na Ilustração 38, a construção da casa móvel Aum, um projecto de uma pequena casa que pode ser montada e desmontada facilmente. Toda a construção feita em alvenaria de BTC com sistema de encaixe e perfurado, o assentamento dos blocos feito com uma argamassa de terra estabilizada, recorrendo a uma equipa de 20 elementos, conseguiu executar o edifício de pequeno porte em 62 horas. A estrutura que reforça toda a alvenaria foi incorporada nos blocos durante o processo de execução. Mas, também pode ser adaptada uma estrutura convencional para uma solução mais definitiva. (Auroville Earth Institute, 2020).



**Ilustração 38** –Etapas de construção da casa móvel Aum, BTC perfurados, em Khavda na Índia. (Auroville Earth Institute, 2020).

Por apresentarem melhor desempenho quando comparados com os adobe, o BTC, sendo pouco usados em Portugal, têm vindo a ganhar terreno no edificado habitacional (Ilustração 39) devido ao factor sustentável que lhes está associado. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 47).





**Ilustração 39** – Construção de alvenarias com BTC no Alentejo. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 64).



**Ilustração 40** – Blocos de terra comprimida (BTC) acabados. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 64).

### 3.1.4. RESISTÊNCIA MECÂNICA

Nas construções em terra, geralmente são adicionados na sua composição estabilizantes de origem mineral ou vegetal conferindo maior estabilidade e resistência mecânica às alvenarias ou blocos em terra, melhorando o seu comportamento aos esforços de tracção e de compressão, ficando também mais resistentes à abrasão e à água (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 123-124). Segundo González, a utilização de fibras vegetais, como a palha, para além de atribuir coesão à mistura, ajuda a evitar a fendilhação das construções em terra. (2006, p. 72).

Segundo Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006, p. 136-137), a construção em adobe permite edifícios com mais do que um piso, situação que é variável consoante a espessura considerada na parede e a resistência que esta apresentar às cargas atribuídas. Contudo, a sua resistência à compressão é bastante reduzida, sendo por isso mais frequente a construção de edifícios de pequeno porte não excedendo normalmente, no caso de Portugal, um piso. Coelho, Torgal e Jalali (2009, p. 62), referem que outros autores concluíram que adicionando cal a solos argilosos, na produção dos adobes, aumentava a sua resistência à compressão e reduzia a sua absorção de água.

Segundo Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006, p. 140), os BTC (Ilustração 40) quando comparados com os blocos de adobe, são tecnicamente e funcionalmente muito similares. Diferem essencialmente na sua resistência, em que o adobe só atinge o seu ponto máximo de resistência após o processo de cura, ou seja, quando devidamente seco, ao passo que os BTC assumem, com a compactação da prensa, o ponto máximo de resistência. A prensagem da terra confere ao material melhorias significativas, dando aos BTC maior densidade de massa, que se reflecte em maior

resistência à compressão, à erosão e à degradação quando exposto à água. No caso dos BTC em prensa hidráulica, apresentam maior resistência mecânica quando comparados aos BTC de prensa manual. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 52).

### **3.1.5. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO**

As habitações edificadas em terra crua apresentam inúmeras vantagens face a outros tipos de construção. São ecológicas, apresentam um conforto térmico e higrométrico estável, com níveis de salubridade bastante positivos. (González, 2006, p. 29).

Conforme mencionado por Torgal e Jalali (2009, p. 6-7), diversos autores consideram que a higroscopicidade dos materiais usados nas construções de edifícios, manifestam ser mais eficazes na redução da humidade do ar interior do espaço habitado do que o uso da ventilação. Estudos foram realizados e mostraram que a construção em terra era capaz de manter cerca de 40 a 60% de teor de humidade relativa interior, estando enquadrado nos parâmetros de humidade benéficos para a saúde dos seus utilizadores.

A construção de paredes em taipa, por se tratar de uma tipologia de parede monolítica com uma elevada massa, a sua inércia térmica também o é. Quanto mais espessa for a parede, maior a capacidade de isolar termicamente, apresentando um elevado nível de conforto do ambiente interior. A terra permite regular o ambiente interior, mantendo a temperatura e a humidade relativa nos níveis de conforto adequados. Inibem a entrada de calor no Verão, dissipando o calor acumulado só ao fim do dia quando a temperatura exterior está mais baixa. No Inverno, dificultam as perdas de calor devido à sua elevada inércia térmica. Contudo, esta opção de aumentar a espessura das paredes para garantir um adequado isolamento térmico aumenta os custos de produção e o peso da construção, que pode também comprometer a sua resistência mecânica. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 131-132). Contudo, a adição de agregados leves às misturas que constituem as paredes, ajudam a melhorar as propriedades de isolamento térmico do paramento exposto.

Contrariamente ao expectável as alvenarias em blocos de adobe apresentam um mau desempenho enquanto isolantes térmicos, porque a sua estrutura molecular é demasiado densa, com pouca porosidade, facilitando assim a passagem do calor contido. A resolução deste problema, passa por recorrer à aplicação de revestimentos

com características isolantes melhorando assim o seu desempenho térmico. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 137).

As alvenarias em adobe, apresentam uma deficitária resistência à água (Ilustração 41), devendo ficar elevadas acima do piso térreo, evitando assim a ascensão da água. (Pinho, 2000, p. 136)



**Ilustração 41** – Início de degradação de parede em adobe por exposição à água, Herbert Baresch. (Baraya, 2020).

Os BTC executados em prensa hidráulica, para além de oferecerem uma maior resistência mecânica, também são mais resistentes quando em contacto com a água, uma vez que a sua massa tem menos vazios e sendo, substancialmente, mais densa dificulta a penetração da água. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 52).

### **3.1.6. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Acusticamente, as construções em terra, têm um excelente comportamento isolante, por se tratarem de paredes monolíticas espessuradas ou por possuírem uma elevada massa, evitam a transmissão das ondas sonoras, sendo bom isolante sonoro. Sem a adição de qualquer tipo de revestimento, testes mostraram no caso da taipa, que possui excelentes características de absorção sonora, anulando de forma positiva as inconvenientes reverberações e ecos. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 130, 137).

### **3.1.7. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

Sendo a terra crua, a matéria-prima, um elemento incombustível e mau condutor de calor, logo a sua resistência ao fogo é excelente. (Pinho, 2000, p. 129).

A estrutura das paredes em taipa, uma vez que é toda bem compactada, não permitindo aberturas ou cavidades, e a sua matéria não potencia o aparecimento de micro-organismos, a sua capacidade de resistir aos seus ataques é bastante considerável. As paredes em adobe e BTC, apresentam as mesmas características de resistência. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 132, 137).

As construções em terra dão origem a paredes com elevado grau de salubridade, beneficiando a qualidade do ar interior, sendo capazes de absorver e libertar rapidamente a humidade do ar, regulando-o e equilibrando-o, evitando assim o desenvolvimento de micro-organismos. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 165-166). Contudo, as construções em terra são vulneráveis aos roedores, não sendo aconselhada a construção de edifícios com muitos pisos. (Pinho, 2000, p. 129).

### **3.1.8. DURABILIDADE**

Prova da sua resistência ao tempo, são os exemplos de construções em terra com séculos de existência que se apresentam em perfeito estado de conservação. A sua fragilidade passa pela exposição que possa ter à água. No caso da taipa, se o topo e a base de suporte da parede não forem devidamente protegidos da humidade da chuva, com uma exposição prolongada ou continuada, a estrutura interna da taipa poderá ser comprometida, permitindo uma desagregação da terra com os inertes e aditivos que a estabilizam. Uma forma de conferir mais estanquicidade e resistência à humidade numa parede de taipa, é utilizar aditivos impermeabilizantes. Contudo, o seu uso por outro lado torna as paredes pouco permeáveis, comprometendo a passagem do ar e do vapor de água, provocando condensações no interior, situação a evitar. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 132). No caso das construções em adobe, com uma manutenção adequada e resguardadas dos agressores climáticos mais severos, como as chuvas fortes e a exposição prolongada a teores elevados de humidade, é possível preservar as suas capacidades estruturais. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 138). Os BTC em muito se assemelham ao adobe, contudo, mostram ter maior resistência à penetração da água por possuírem uma massa própria bem mais densa. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 47).

Segundo o autor Pinho, nos edifícios antigos “as paredes de taipa eram quase sempre rebocadas com argamassa de cal ordinária, tendo assim uma duração que podia atingir séculos.” (2000, p.133).

Nas construções em terra a sua durabilidade também está associada à sua correcta execução, à qualidade da terra usada, ao processo de secagem, à adequada consistência da terra, entre outros factores. A má concepção das construções em terra é muitas vezes responsável por grande parte dos problemas estruturais que surgem neste tipo de edificações. Contudo, os problemas estruturais também podem resultar das acções provocadas por catástrofes naturais, como sismos, tufões, movimentos de terra, entre outros. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 141).

Como os autores Ricardo Mateus e Luís Bragança mencionam, para se conseguir uma maior longevidade numa construção em terra devem ser garantidos os seguintes aspectos: local de implantação adequado, escolha criteriosa dos materiais e adequada produção, escolha dos sistemas de construção mais adequados, verificar as limitações das cargas horizontais com uma execução adequada garantindo o travamento das juntas entre fiadas, reforços de contraentamento em paredes com grandes comprimentos, seccionando as paredes de grande envergadura criando vários elementos independentes, definir formas e concepção arquitectónica adequado ao sistema construtivo, evitando assimetrias na sua geometria, fundações adequadas devidamente niveladas e elevadas o suficiente para impedir a ascensão por capilaridade das águas, os vãos de janelas e portas não devem exceder os 20% do total da superfície das paredes, as larguras das aberturas devem ser adequadas ao comprimento da parede onde estão inseridas, um coroamento contínuo e durável de ligação das paredes garantindo uma adequada resistência à tracção, os cunhais/ângulos devem ser reforçados e a cobertura deve, ter uma ligação consistente, ser leve evitando excesso de carga sobre as paredes exteriores. (2006, p. 141-142).

### **3.1.9. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

Em relação a outros materiais e técnicas construtivas correntes, as construções em terra apresentam inúmeros pontos positivos no âmbito da sustentabilidade. É um material abundante, existindo em quase todas as regiões do mundo, não carece de processamento industrializado para se usar, é amigo do ambiente (Figueira e Sanchez Salvador, 2015, p. 37), sem poluição e resíduos, e mesmo após o fim do seu ciclo de vida, é facilmente reciclado e reutilizado. Se houver uma adequada manutenção, este tipo de construção perdura por muito tempo. Tem a vantagem de não ter muita energia

incorporada na sua produção, uma vez que não necessita de ser cozida. Dispensado o gasto de energias não renováveis, evitando assim emissões de GEE para o ambiente.

No que respeita aos desperdícios da construção em terra (não estabilizados) estes podem simplesmente ser objecto de deposição do sítio da sua extracção sem qualquer perigo ambiental envolvido. Mesmo quando é objecto de estabilização com cal ou cimento, o solo pode voltar a ser reutilizado neste tipo de construção, pelo que se pode assim considerar que no tocante à parte de geração de resíduos, que a construção em terra praticamente não gera resíduos, com excepção daqueles que respeitam à utilização de outros materiais. (Torgal e Jalali, 2009, p. 2).

Apesar de tudo, e como referem Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006, p. 133), a construção em terra, apresenta um baixo impacte ambiental, que pode variar consoante a quantidade de cimento usado para a sua estabilização e a distância do local da extracção ao local da implantação, que obrigue ao seu transporte. Deste modo, extrair sempre que possível, a matéria-prima, no terreno de implantação da construção. Na construção em terra, numa composição com pouca percentagem de cimento, esta apresenta valores muito baixos de energia incorporada e de emissões de GEE. No caso dos adobes, os mesmos autores referem que, se estes forem simplesmente compostos por argila e areia, são manifestamente os que apresentam menor impacte ambiental. Acrescentando que a matéria-prima é toda local, sem carecer de transporte ou necessitar de outros meios mecânicos, a sua baixa energia incorporada apresenta níveis muito reduzidos de emissões de GEE. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 138).

### **3.1.10. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO**

Motivos da sua viabilidade construtiva é o que referem os autores Torgal, Eires e Jalali sobre a construção em terra.

Caracterizada por baixos consumos de energia e de emissões de carbono, por estar associada a baixos ou quase nulos níveis de poluição e ainda por ser responsável por níveis de humidade interior benéficos em termos da saúde humana, a construção em terra possui assim vantagens competitivas face à construção corrente que lhe auguram um futuro promissor. (2009, p. 27).

O custo da construção em taipa, é elevado devido a factores como: o elevado controlo de qualidade associado à extracção da matéria-prima para haver uma construção capaz e de qualidade; à quantidade de mão-de-obra necessária, sendo especializada, dispendiosa e escassa; e à dimensão dos trabalhos de cofragem. Mesmo, por uma

questão de aparente baixa de custos e de energia incorporada, com o recurso à taipa tradicional, não é actualmente uma solução viável numa programação normal de obra corrente. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 133).

A construção de alvenaria em adobe, a nível nacional, poucos são aqueles que a dominam tecnicamente e a executam. Actualmente o custo de execução deste sistema construtivo é superior às alvenarias convencionais, rondando cerca dos 10% a mais. Contudo, este sistema tem grandes vantagens associadas, como: o caso da matéria-prima, que está disponível na maior parte dos sítios, permitindo a sua produção local com recurso ao solo do terreno de implantação do edificado a construir; ser uma solução de baixo custo, que recorre a técnicas de execução ancestrais, um sistema de recurso manual tanto na sua produção como no seu assentamento, permitindo a sua autoconstrução minimizando ainda mais os custos associados; e com uma baixa quantidade de energia incorporada, e um reduzido impacte ambiental (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 139).

Segundo os autores Torgal e Jalali (2009, p. 1), o material de construção e as técnicas de construir em terra têm tido um papel de destaque no âmbito da comunidade científica, fruto, essencialmente, da sua potencial sustentabilidade. Contudo, a nível nacional, a utilização da terra continua sem lhe ser dada a devida importância no contexto da construção, apesar de sermos um país com excelentes condições para o seu uso.

As raízes e origens das construções em terra foram ao longo dos tempos compilando um conjunto de técnicas, soluções, melhorias que nos dá hoje um *know-how* para, através da inovação, resolvermos e criarmos novas soluções adaptadas às nossas necessidades construtivas. É fundamental esta preservação de conhecimento, para podermos avançar e recriar, tanto no novo edificado como na reabilitação.

Segundo Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006, p. 125), “os parâmetros de produção têm uma influência considerável sobre a qualidade do produto, sobre os rendimentos e sobre a economia da solução. A optimização da produção pode ser decisiva para a aceitabilidade e fiabilidade económica do produto”.

Contudo, como referem os autores Correia, Dipasquale e Mecca (2011, p. 167), só com estratégias bem definidas e organizadas com a intervenção de todas as instituições e entidades competentes, é possível alcançar resultados eficazes e

consolidar a qualidade do conhecimento ancestral preservando este património ameaçado.

Na Tabela 3 são referidos os principais pontos que distinguem as construções em terra das construções convencionais.

**Tabela 3** – Principais pontos a enumerar nas construções em terra, quando comparados com as construções convencionais.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matéria-prima natural e abundante</li> <li>▪ Baixo custo (em países com mão-de-obra barata)</li> <li>▪ Fácil execução e produção (por unidades permite autoconstrução)</li> <li>▪ Baixa energia incorporada (especialmente nos sistemas manuais)</li> <li>▪ Permeável ao vapor de água</li> <li>▪ Elevada inércia térmica</li> <li>▪ Bom isolante acústico</li> <li>▪ Não-tóxico</li> <li>▪ Incombustível</li> <li>▪ Reciclável e reutilizável</li> <li>▪ Dispensa revestimento ou reboco de acabamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sensível à presença da água</li> <li>▪ Degradação precoce por acção das intempéries</li> <li>▪ Requer de muita mão-de-obra</li> <li>▪ Construções com elevada massa e pesadas</li> <li>▪ Paredes espessuradas reduzindo o espaço útil</li> <li>▪ Limitações nas dimensões das aberturas de vãos e outras</li> <li>▪ Montagem não convencional (no caso da taipa)</li> </ul>

Fonte: Adaptado a partir de: Mateus, R. e Bragança (2006, p. 143).

### **3.2. PAREDES EM ALVENARIA DE PEDRA**

As pedras, assim como as madeiras, foram dos primeiros materiais naturais que o Homem usou. Eram inicialmente utilizados conforme se encontravam na natureza, sem grande transformação, e existiam em abundância, consoante os locais. (Petrucci, 1995, p. 262).

"As pedras naturais (rochas) são o principal componente sólido da crosta terrestre aparente, e é devido às características físicas, químicas e mecânicas que apresentam, que na sua grande parte, são utilizadas como material de construção." (Branco, 1993, p. 65).

Segundo João Mateus (2002, p. 159), para se construir em pedra, nem todo o tipo de pedra se presta para tal. Como material de construção, a pedra deve responder a alguns requisitos comportamentais, sejam eles motivados pela difícil extracção ou por uma questão de resistência física. As pedras devem cumprir requisitos como: boa resistência mecânica aos esforços a que poderá estar sujeita; oferecer boa resistência às humidades, mas com alguma porosidade permitindo boa aderência das



argamassas ligantes ou de revestimento; ser de fácil trabalhabilidade (dureza, fractura e homogeneidade), desde a extracção ao acabamento final, com qualidade e sem necessitar do uso abusivo de energia na sua transformação; ter durabilidade e resistência face às acções climáticas ou de outra natureza, mantendo as suas capacidades físicas e mecânicas inalteráveis durante o seu ciclo de vida; e visibilidade, mantendo a sua aparência inalterável, como textura, cor e estrutura . (Branco, 1993, p. 59 ; Petrucci, 1995, p. 275-276). A primeira triagem da pedra deve ser feita ainda na pedreira, e depois classificada consoante o seu nível de trabalhabilidade, sendo as pedras extraídas distinguidas por: duras ou compactas, onde se encontram alguns calcários, granitos, xistos e ardósias; e macias ou brandas, sendo estas (alguns) calcários, arenitos, grés, entre outros. (Mateus, J., 2002, p. 159).

A extracção mecanizada da pedra só se iniciou no final do século XIX, com o uso de perfuradoras que funcionavam a vapor. Anos mais tarde, surgiram as perfuradoras pneumáticas e, praticamente na mesma altura, surgem as serras sem fim, compostas por fios torcidos em hélice, que revolucionaram no campo da extracção. Permitindo cortar cerca de 10 cm por hora, mesmo em blocos de pedras bastante duros como alguns calcários. Contudo, em Portugal até ao término do século XIX a extracção de pedra era executada pelos métodos tradicionais. (Mateus, J., 2002, p. 158).

O uso de pedra na nossa edificação era bastante corrente, tanto em simples construções como muros, como em edificações monumentais e exuberantes como castelos, palácios, igrejas, entre outros, que fazem parte do nosso acervo arquitectónico. (Pinto *et al.*, 2006, p. 68).

Nos edifícios antigos, as pedras duras e compactas, sendo pouco porosas e com maior resistência, eram usadas em elementos portantes e em fundações. Com provas comportamentais dadas nos edificadados anteriores, as pedras mais duras ofereciam maior resistência às acções da água, humidade e gelo. As pedras mais macias, com menor durabilidade e resistência, eram empregadas em elementos decorativos e onde estivessem protegidas de agressores externos. Contudo, a selecção e qualificação do tipo de pedra baseava-se na função comportamental e posicionamento do bloco de pedra na composição da alvenaria. (Mateus, J., 2002, p. 159).

Com as consequências da Segunda Guerra Mundial e com o advento do betão, a pedra perdeu a sua função enquanto parede resistente do edifício, dando lugar à função meramente visual e estética enquanto revestimento do edificadado. O betão

armado, apresentou-se como uma alternativa mais viável e de baixo custo, destronando assim a alvenaria de pedra resistente. (Pinto, 2018, p. 184 ; Pinto *et al.*, 2006, p. 68).

A construção tradicional de alvenaria de pedra natural, era uma tipologia muito usual, pelo fácil acesso e abundância da matéria-prima. Actualmente, só muito pontualmente são consideradas na nossa construção. A construção tradicional de paredes em pedra, conferia-lhes uma enorme inércia térmica por serem muito robustas e espessas. Eram paredes grossas, com bom isolamento térmico, com um bom desempenho às elevadas temperaturas do Verão, mas demasiado pesadas, com elevados custos de transporte, exigindo mão-de-obra especializada que escasseia e obrigando a um tempo de execução bastante moroso para ser viável actualmente a sua continuidade. Tendo sido substituídas por outras tipologias de paredes mais leves e aligeiradas, como é o caso das paredes de tijolo, mais viáveis em termos de custos e de execução. (informação verbal)<sup>13</sup>.

Neste trabalho, as tipologias de paredes exteriores em alvenaria de pedra abordadas são: a alvenaria ordinária e a alvenaria aparente. Na alvenaria aparente, distinguimos três tipos de execução: a alvenaria aparente irregular, a alvenaria aparelhada e a enxilharia.

### **3.2.1. ALVENARIA DE PEDRA ORDINÁRIA**

A construção corrente de alvenarias de pedra tosca e irregular, ligada com argamassada ordinária, sem qualquer aparelho das faces, e normalmente rebocada (Ilustração 42), é designada por alvenaria ordinária. (Branco, 1993, p. 125).

No nosso país, em grande parte do edificado existente, até meados do século XX, era predominante a construção de paredes de alvenaria ordinária. Paredes exteriores que eram executadas com pedras irregulares de média dimensão, de modo a facilitar o transporte, e que eram assentes com argamassas constituídas por cal e areia. Isto acontecia, pelo fácil acesso que existia na altura a este material. (Pinho, 2000, p. 77).

---

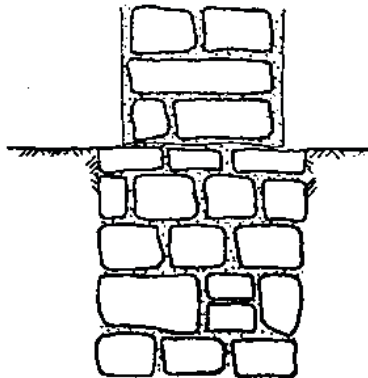
<sup>13</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.



**Ilustração 42** – Paredes em alvenaria de pedra ordinária rebocada. (Ilustração nossa, 2020).

### 3.2.1.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

Nas alvenarias de pedra a sua correcta execução depende do cumprimento das regras de travamento e a correcta relação dos blocos de pedra com as argamassas no assentamento. (Branco, 1993, p. 119-120).



**Ilustração 43** – Fundação directa corrente em edifícios antigos. (Pinho, 2000, p. 29).

A construção de uma parede exterior em alvenaria de pedra inicia-se pela execução das fundações. Dependendo do tipo de solo, o corrente é a fundação ser directa (Ilustração 43) e apresentar uma sobrelargura significativamente maior em relação à área de contacto com a parede. Isto porque, não só por se tratar de um suporte menos resistente, precisa de mais área de contacto, como por se tratar de uma fase da construção menos rigorosa, dando margem para alguns erros de implantação. Se o

solo de fundação for constituído por elementos resistentes, não necessita da diferença de largura. (Pinho, 2000, p. 29).

As pedras aquando da sua extracção, devem ser transformadas e regularizadas na medida e formato pretendido para poderem ser usadas nas alvenarias. (Branco, 1993, p. 77).



**Ilustração 44** – Parte de ruína com parede de alvenaria de pedra ordinária exposta por destacamento do reboco. (Ilustração nossa, 2020).

A alvenaria de pedra ordinária, é executada com pedras irregulares, não aparelhadas, mas corrigidas para permitirem planos horizontais e verticais mais regulares, não prejudicando a aplicação do reboco nem o assentamento das fiadas seguintes, e para a ligação das pedras recorre a argamassas de assentamento de cimento, de cal hidráulica, de cal comum ou bastarda. A aplicação das argamassas, quando solidificam, garantem a ligação das pedras por atrito e aderência. Esta tipologia de alvenarias, ao contrário das alvenarias aparentes, são rebocadas (Ilustração 44) ou revestidas, podendo no entanto também ficar à vista se assim o pretenderem. (Branco, 1981, p. 69 ; Branco, 1993, p. 77 ; Petrucci, 1995, p. 296).

Segundo Branco uma alvenaria de pedra argamassada é bem executada, quando respeita as regras de arrumação e travamento usadas nas alvenarias secas. Em que todas "[...] as pedras deverão estar perfeitamente firmes, sem possibilidade de oscilarem em qualquer dos sentidos. Os escassilhos estabilizadores deverão estar

perfeitamente apertados sem possibilidade de fuga ou esmagamento." As argamassas nas alvenarias funcionam como ligantes que conferem solidez à alvenaria e estabilizam a transmissão de cargas verticais. (1993, p. 123, 125).

"O travamento preconizado não pode ser apenas aparente (Ilustração 45), ou seja, não basta que as juntas verticais sejam interrompidas em cada fiada, é necessário que de facto cada fiada de pedra consolide e trave perfeitamente a anterior." (Branco, 1993, p. 123).

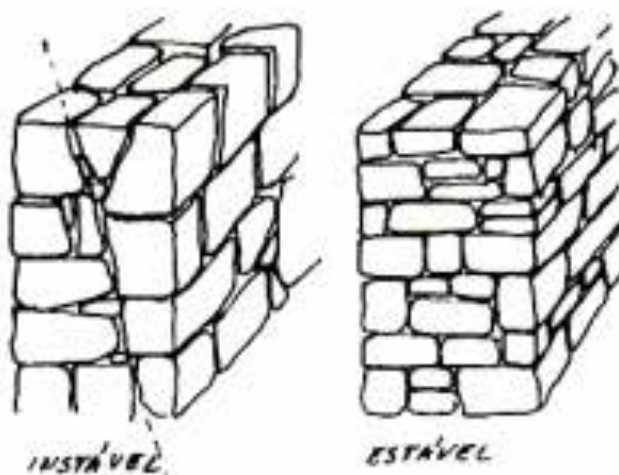


Ilustração 45 – Alvenaria de pedra com travamento instável e estável . (Mascarenhas, 2004, p. 23).

As regras de travamento, longitudinal e transversal, do sistema construtivo das alvenarias em pedra são a essência do êxito e longevidade do edificado construído. É no método de execução da pedra, que o pedreiro adquire o conhecimento para dominar tecnicamente as suas outras actividades. (Branco, 1993, p. 64).

Nas zonas das aberturas dos vãos, em que a parede resistente é interrompida deve ser reforçada, na sua periferia, devido à concentração de esforços que ocorrem nestes vazios, resultantes do assentamento de fundações ou de acções sísmicas. Esses reforços dão estabilidade à parede, e a sua materialidade e técnica de aplicação variam consoante a natureza da parede, a materialidade que a compõe, a sua função estrutural, a dimensão do vão, etc. (Pinho, 2000, p. 79).

### 3.2.2. ALVENARIA DE PEDRA APARENTE

A alvenaria de pedra aparente é aquela em que a pedra é argamassada na sua execução, mas ficando à vista, não levando qualquer reboco ou acabamento exterior.

(Branco, 1993, p. 132). Serão referidos três dos possíveis processos de construção de alvenaria de pedra aparente: a alvenaria aparente irregular (Ilustração 46), a alvenaria aparelhada e a enxilharia.

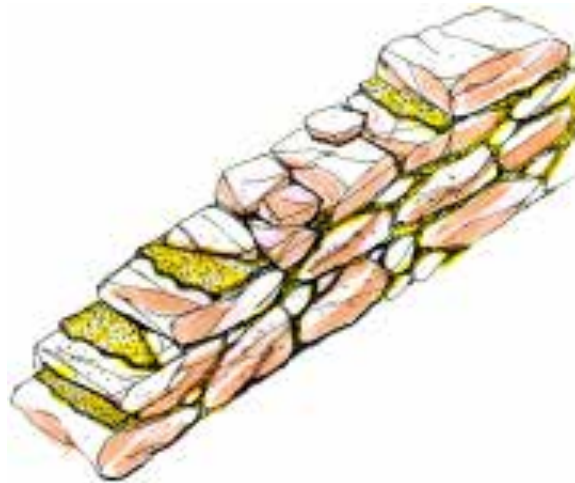


**Ilustração 46** – Parede em alvenaria de pedra aparente irregular. (Ilustração nossa, 2020).

### **3.2.2.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO**

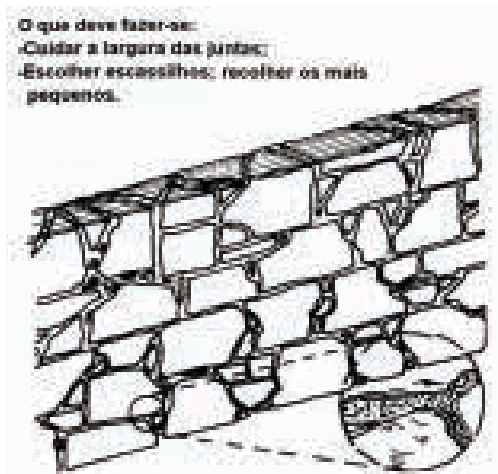
A alvenaria aparente irregular (Ilustração 47), na sua execução, segue o mesmo princípio de travamento e assentamento de uma alvenaria ordinária irregular, mas sem reboco ou revestimento, ficando toda a alvenaria à vista. Contudo, para se conseguir uma alvenaria aparente bem executada, há que ter em conta o tipo de escassilhos que ficam à vista, aplicando recuados da face aparente da alvenaria os que sejam demasiado finos e que tenham arestas agressivas e cortantes, encobrimdo-os posteriormente com a argamassa das juntas (Ilustração 48). (Branco, 1993, p. 132).





**Ilustração 47** – Alvenaria de pedra aparente irregular. (Colin, 2010).

Na alvenaria de pedra aparelhada, a selecção do tipo de pedra deve ser mais criteriosa, tendo em conta as características e qualidade da pedra em si. (Branco, 1993, p. 133). A alvenaria aparelhada tem a sua origem no antigo aparelho poligonal empregue pelos Romanos nas suas construções. (Pinho, 2000, p. 90).



**Ilustração 48** – Alvenaria de pedra aparente irregular. (Branco, 1993, p. 132).

Se a pedra for de origem lamelar deve-se proceder ao assentamento por fiadas no plano horizontal, de forma contínua ou não, tentando "[...] repetir na parede a situação e formação dos bancos de onde a pedra foi extraída", regularizando as faces paralelas, aparelhando cantos à vista e corrigindo os topos facilitando a conjugação com as pedras imediatas, evitando assim o enchimento com argamassas. (Branco, 1993, p. 133).

No caso de se tratar de uma pedra dura ou compacta, os blocos com formatos irregulares resultantes do desmonte devem ser utilizados quase como são extraídos,

recorrendo ao mínimo de aparelho possível, evitando desperdícios desnecessários de material e mão-de-obra excessiva. Para o leito e a face aparente da alvenaria usam-se os lados mais regulares dos blocos. No bloco de pedra, regulariza-se o lado do leito, o lado aparente deve ser aparelhado e as arestas aperfeiçoadas. O perímetro da superfície à vista deve ser regularizado o melhor possível. (Branco, 1993, p. 134).

Ao processo de preparação ou aperfeiçoamento da pedra para a alvenaria ou cantaria designa-se por aparelho, sendo este "a forma, arranjo ou disposição da pedra na construção." (Ilustração 49) (Petrucci, 1995, p. 295).

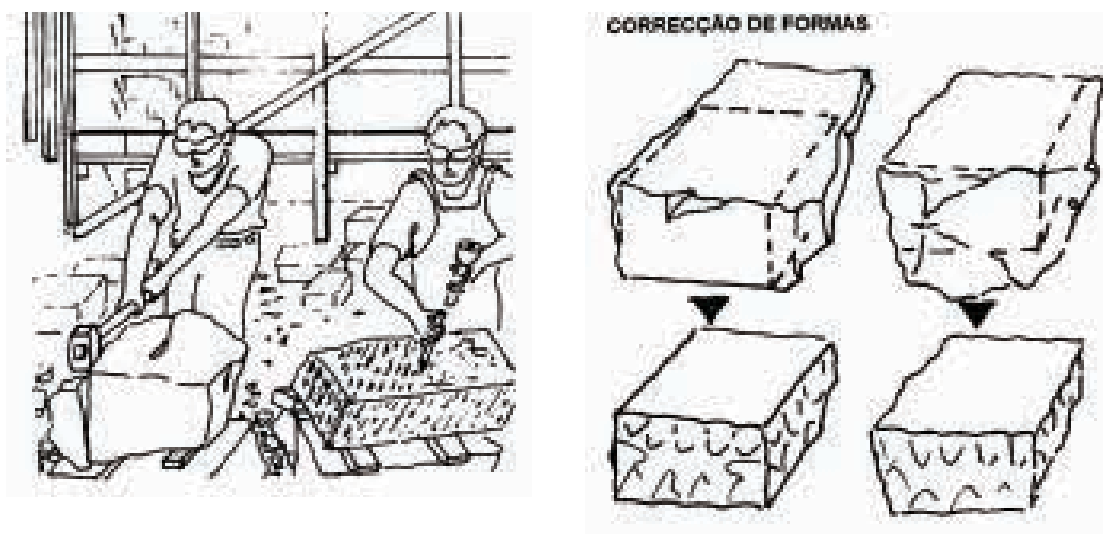


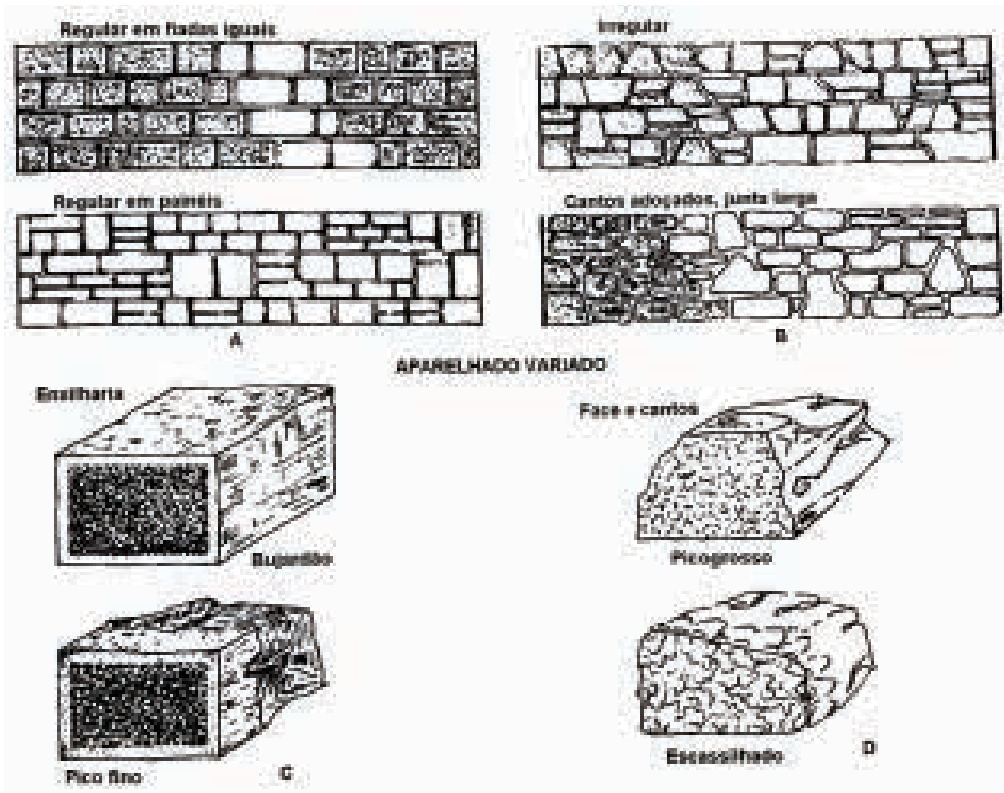
Ilustração 49 – Operações de regularização dos blocos de pedra. (Branco, 1993, p. 77).

Na alvenaria aparelhada, os blocos são regularizados para criar um paramento mais plano. Quando as juntas horizontais e verticais se desencontram, trata-se de alvenaria aparelhada regular, o aspecto contrário é alvenaria irregular ou poligonal (A e B da Ilustração 50). (Petrucci, 1995, p. 295).

Na alvenaria de pedra aparelhada, é preciso aparelhar as faces aparentes que foram regularizadas. Este aparelho (C e D da Ilustração 50) é executado na superfície da pedra através de um picão, um ponteiro ou escassilhando somente as arestas. O acabamento deverá ser adequado ao fim a que se destina a peça em si. Os acabamentos (C e D da Ilustração 50) mais frequentes são: os amaciados, dando um toque suavizado à superfície, bujardados, podendo ser pico fino, médio ou grosso, esposteirado, escassilhado, entre outros. (Branco, 1993, p. 77, 133).

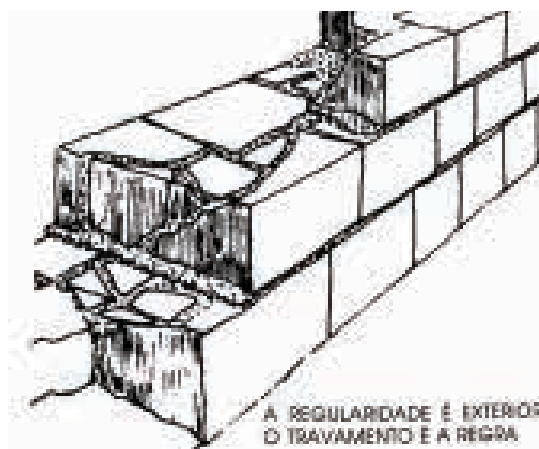
Estes trabalhos de acabamento, idealmente devem ser executados nas imediações ou no local da obra a que se destinam. (Pinho, 1981, p. 21).





**Ilustração 50** – Diversos tipos de alvenarias aparentes: regulares (A) e irregulares (B). Aparelhado variado nas faces regularizadas dos blocos: bujardado e pico fino (C); pico grosso e escassilhado (D).. (Branco, 1993, p. 133).

Depois das fundações feitas, para aperfeiçoar o assentamento da alvenaria aparelhada, as pedras já assentes são molhadas e aplicada uma camada de argamassa, onde sobre esta é acamada a pedra segundo leitos horizontais conferindo maior resistência aos esforços de compressão, e depois ajustada com pequenas pancadas atribuídas por um maço de madeira (ou cabo da colher de pedreiro) de forma a argamassa preencher totalmente as juntas. Os vazios devem ser preenchidos por pedras mais pequenas (escassilhos) e argamassa. (Pinho, 2000, p. 93-94).



**Ilustração 51** – Alvenaria aparelhada e regra de travamento das alvenarias de pedra. (Branco, 1993, p. 78).

Na construção da alvenaria aparelhada, cada pedra fica com uma face e quatro arestas aparentes regularizadas para que se consigam juntas perfeitas, onde o travamento das peças é regra (Ilustração 51). (Branco, 1981, p. 21).

Quando falamos em enxilharia ou silharia, reportamos para uma alvenaria de pedras regulares, descritas como enxilhares ou silhares, onde todos os blocos tem a forma de paralelepípedos. Estas pedras aparelhadas, deverão apresentar uma certa regularidade, esquadriando todas as faces de modo a que sejam paralelas entre si. Este método de construção, distingue-se também por apresentar blocos de pedra com um aparelho pouco cuidado e sem preocupação no rigor dimensional. Os trabalhos de aparelho das faces à vista devem ser executados localmente ou elaborado um plano de montagem que acompanhará o fornecimento dos blocos aparelhados na pedreira. A enxilharia deve usar uma argamassa com areia calibrada por joeira e minimizar a espessura das juntas. (Branco, 1993, p. 135 ; Pinho, 2000, p. 9).

### **3.2.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA**

Quanto à resistência mecânica, as pedras adequadas à construção de alvenarias, devem ter capacidades para resistir "[...] à compressão, tracção, flexão, cisalhamento, desgaste e choque." (Petrucci, 1995, p. 276).

A alvenaria de pedra apresenta menor resistência que a pedra em si, devido à sua constituição irregular na distribuição dos esforços, ao tipo de argamassa de ligação, à existência de juntas, à heterogeneidade, entre outros factores. (Petrucci, 1995, p. 297).

Para que se consiga obter uma boa resistência mecânica numa parede resistente em pedra, o tipo de pedra, deve ser tido em conta. Uma pedra adequada para fins construtivos deverá apresentar uma boa resistência aos esforços a que esta poderá ser submetida, como: esmagamento, causado pelo peso próprio das paredes, dos pisos, das coberturas, entre outros; cargas transmitidas, sejam estáticas ou dinâmicas, por estes elementos ou por agentes externos, sejam eles climáticos, como no caso do vento e dos sismos, ou de choques ou vibrações de outra natureza. (Branco, 1993, p. 59).

É desaconselhada a construção de edifícios de alvenaria de pedra irregular em zonas sísmicas, devido ao seu peso elevado e débil resistência mecânica. As alvenarias

executadas com elementos leves e de pedra resistentes desde que travadas correctamente, são viáveis em edificações mais pequenas. (Eça *et al.*, 2008, p. 5).

As espessas paredes de alvenaria de pedra, para além das suas funções resistentes, também ajudam na estabilidade global do edificado, graças ao seu excessivo peso, equilibrando as forças horizontais resultantes de acções de agentes externos ou de esforços transmitidos por elementos construtivos. O dimensionamento expressivo das paredes, minimiza a ocorrência de instabilidade por encurvadura e favorece o bom comportamento aos esforços de compressão. A sua elevada espessura, favorece também a sua capacidade de resistência à tracção, reduzindo o aparecimento de fendilhações. (Pinho, 2000, p. 11).

### **3.2.4. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO**

Nas paredes exteriores de alvenaria de pedra, a sua elevada espessura era intencional pela função estrutural que desempenhava, protegendo o espaço interior habitado da intrusão das águas da chuva, nas estações mais chuvosas e frias. A sua eficácia, dependia do dimensionamento adequado da parede. (Pinho, 2000, p. 12). Eram paredes robustas, com um ciclo de vida grande, uma boa inércia térmica e um grande isolamento à humidade, pois quando a humidade penetrava na parede a partir do exterior, nos ciclos húmidos, levava muito tempo a percorrer todas as juntas verticais e horizontais, devido à sua elevada espessura. Os ciclos de humidade alternavam com os ciclos secos fazendo regredir a humidade contida no interior da parede, não chegando a alcançar o interior do paramento. (informação verbal)<sup>14</sup>.

As alvenarias de pedra resistentes comparadas com outras tipologias, possuíam uma enorme inércia térmica, colectavam o calor durante o dia e só o diferiam à noite quando a temperatura exterior baixava, devido à sua elevada espessura, tinham um bom desempenho higrotérmico, um bom comportamento térmico e uma boa resistência às humidades resultantes das condensações internas. (informação verbal)

<sup>15</sup>.

---

<sup>14</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

<sup>15</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

### **3.2.5. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Por se tratarem de paredes robustas e espessas, e cuja matéria base constituinte é a pedra, são tipologias que respondem favoravelmente aos problemas de ruídos aéreos, tendo um bom isolamento acústico. (informação verbal)<sup>16</sup>.

### **3.2.6. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

Quanto à resistência ao fogo, todos os materiais constituintes das paredes em alvenaria de pedra são incombustíveis pelo que resistem e evitam a propagação do fogo. (Eça *et al.*, 2008, p. 25-26).

A sua resistência a micro-organismos, já não tem um comportamento tão positivo. O surgimento de micro-organismos na superfície das pedras é muito frequente especialmente em locais com elevado grau de humidade relativa e calor. Estes organismos vivos têm a capacidade de se colonizar, alterando a coloração das pedras alterando, muitas vezes de forma irreversível o seu aspecto visual. Contudo, com uma adequada manutenção, é possível prevenir o seu aparecimento. (Pinto *et al.*, 2006, p. 138).

O processo de secagem das paredes exteriores, durante as estações secas, nem sempre se efectiva de forma eficaz, especialmente se a época das chuvas for mais rigorosa, dando origem ao aparecimento de salitres, fungos, bolores e outros micro-organismos, devido à presença contínua da humidade na espessa massa da parede. (Pinho, 2000, p. 12).

### **3.2.7. DURABILIDADE**

A pedra não é um material estático, apesar de ser um dos materiais de construção mais duráveis, é constantemente alvo de agressões ambientais e antrópicas. Uma análise profunda das suas capacidades físicas é determinante para evitar a sua degradação precoce, preservando as suas capacidades e garantir o seu uso adequado. (Pinto *et al.*, 2006, p. 15).

---

<sup>16</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

Muito do edificado antigo construído, é constituído por elementos estruturais e paredes resistentes em pedra, apresentando um excelente estado de conservação, graças à sua materialidade. A pedra sendo um material de origem natural, não sendo nocivo para a saúde dos seus utilizadores, de elevada resistência e com características estéticas únicas, são factores que contribuem para a sua longevidade e durabilidade. (Lauria, 2007, p. 56).

A água é um dos principais responsáveis pela precoce deterioração das pedras. No estado líquido, sólido ou em vapor, a água altera significativamente a estrutura e a cor das pedras, levando ao seu enfraquecimento interno com o decorrer do tempo, reduzindo assim o seu ciclo de vida. (Pinto *et al.*, 2006, p. 138).

A alterabilidade das características e das propriedades físicas da pedra pode ocorrer por influência de agentes atmosféricos ou outros agentes agressivos. A baixa durabilidade pode influenciar negativamente a sua resistência mecânica e o seu aspecto visual. As alterações ocorrem geralmente por acções físicas (desagregação), como as variações de temperatura e o crescimento de cristais que alteram a sua estrutura, ou por acções químicas (decomposição), como oxidação, efeitos do dióxido de carbono e hidratação. (Petrucci, 1995, p. 276, 290).

Diversos factores de resistência podem influenciar a durabilidade das alvenarias de pedra, afectando o seu tempo de vida no desempenho das funções para as quais foram concebidas. A sua longevidade depende do seu nível de resistência ao gelo, à cristalização de sais, ao choque térmico, ao desgaste por abrasão, entre outros. Consoante a sua génese, assim variam as propriedades físicas, mecânicas e químicas das pedras, influenciando por sua vez o seu grau de resistência. (Pinto *et al.*, 2006, p. 138-139).

Para retardar a sua degradação e garantir que não ocorre um precoce envelhecimento, consoante o tipo de pedra, o acabamento superficial e os factores externos a que está exposta, a sua adequada e frequente manutenção, é fulcral. (Pinto *et al.*, 2006, p. 98).

Uma avaliação inicial e criteriosa, na hora de escolher o tipo de pedra, com base no conhecimento comportamental adquirido em obras passadas com provas dadas, é fundamental. Prevendo assim a sua adequabilidade, quanto a seu desempenho, quer seja estrutural ou estético, e quanto ao seu custo de manutenção, idealmente sem

necessitar de grande intervenção pelo o máximo de tempo possível garantindo um longo ciclo de vida útil ao edifício sem ocorrência de degradações. (Pinto *et al.*, 2006, p. 98).

O correcto travamento na construção das paredes em pedra é essencial para a sua eficácia e durabilidade.(Branco, 1993, p. 120).

Portugal tem um vasto património de edificado em alvenaria de pedra maciça. A longevidade da sua construção, é prova da sua boa resistência, correcta execução e adequada escolha. (Pinto *et al.*, 2006, p. 68).

### **3.2.8. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

No que diz respeito ao impacte ambiental, só na sua extracção (desmonte) e transporte é que a pedra se torna num material desaconselhável no âmbito da construção sustentável. Os custos energéticos despendidos na sua extracção e para o seu transporte, os pós nocivos que resultam da sua transformação, sendo um risco para a saúde das pessoas, são os principais pontos negativos deste material. (Lauria, 2007, p. 56). As operações de extracção, podem ser através de processos manuais, mecânicos ou com recurso a explosivos, tendo muitas vezes efeitos negativos nos ecossistemas naturais, dando origem a alterações topográficas profundas. A pedra apesar da sua origem natural, só é ecológica quando abunda localmente sem provocar impactes ambientais substanciais. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 154).

Apesar de ser um material natural não renovável, a pedra associada às novas tecnologias que optimizam o seu aproveitamento, viabilizam a sua utilização dentro de um conceito de desenvolvimento sustentável, não para a execução de paredes resistentes, como era no passado, mas para a aplicação enquanto revestimento de paredes de tipologias mais recentes, como por exemplo as paredes ventiladas. Este avanço tecnológico garante novos produtos eco-eficientes em pedra natural baseados em factores, como: uma exploração mais adequada e sustentável, uma optimização do aproveitamento do recurso natural, um usufruto de um eco-produto com um ciclo de vida longo, um produto acabado mais leve e menos espessurado, uma efectiva redução nos custos associados ao seu transporte, uma redução substancial de resíduos associados, uma notória redução de energia incorporada, uma possível

reutilização por várias vezes ou reciclagem após o ciclo de vida útil do edifício, um nível muito baixo de emissões de gases nocivos para o meio ambiente e para a saúde dos seus utilizadores, uma redução das anomalias e dos custos de manutenção associados à inovação, durabilidade e qualidade do produto acabado. (Pinto *et al.*, 2006, p. 132).

### **3.2.9. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO**

A construção de paredes resistentes em alvenaria de pedra é, actualmente, inviável. A pedra, por se tratar de um material extremamente pesado, implicando custos demasiado elevados de transporte, e a construção de alvenarias exigir paredes robustas e pesadas, requerendo uma mão-de-obra especializada, que cada vez mais escasseia, são todo um conjunto de factores que condicionam a sua continuidade enquanto paredes resistentes. Tendo por isso sido, por evolução natural, substituídas por outras tipologias de paredes, menos morosas e com menor custo, como é o caso das paredes de tijolo. Só nalgumas regiões muito específicas, onde a pedra abunda é que, actualmente, ainda se constroem paredes maciças. (informação verbal)<sup>17</sup>.

Contudo, a pedra também apresenta vantagens. É um material abundante nalgumas regiões de Portugal, tendo benefícios enquanto material de construção, tais como: ser reciclável, possibilidade de reutilização contínua, possuir uma elevada capacidade térmica e elevada resistência mecânica. (Lauria, 2007, p. 56).

A sua viabilidade construtiva em alvenarias resistentes só fará sentido, se a matéria-prima existir nas imediações da obra, com mão-de-obra qualificada local, sendo ali transformada, acabada e aplicada, recorrendo assim a baixos custos energético de transporte e sem significativos impactes ambientais negativos resultantes da sua extração. (Mourão e Pedro, 2012, p. 147).

Segundo Reaes Pinto, a utilização da pedra como revestimento é impulsionada por factores tecnológicos, que a valorizaram do ponto de vista estético, reduzindo a sua espessura, peso e custo, tornando-a mais competitiva com o intuito de ser mais abrangente na sua aplicação. A pedra natural distingue-se pela sua visibilidade singular, desempenho tecnológico e relação competitiva de qualidade/custo (2018, p. 184).

---

<sup>17</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

A Tabela 4 refere alguns dos principais factores das alvenarias de pedra comparando com outras construções convencionais.

**Tabela 4** – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de pedra, quando comparados com as construções convencionais.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matéria-prima natural não renovável</li> <li>▪ Permeável ao vapor de água</li> <li>▪ Elevada resistência mecânica</li> <li>▪ Boa resistência às humidades</li> <li>▪ Elevada inércia térmica</li> <li>▪ Bom isolamento térmico e acústico</li> <li>▪ Não-tóxico</li> <li>▪ Incombustível</li> <li>▪ Abundante e elevada durabilidade</li> <li>▪ Reutilização contínua</li> <li>▪ Fácil manutenção</li> <li>▪ Visibilidade singular</li> <li>▪ Dispensa revestimento ou reboco de acabamento (alvenaria aparente)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Degradação precoce quando expostas a condições adversas e poluentes alterando a sua estrutura mineralógica (exposição prolongada à água)</li> <li>▪ Possível emissão de gás radão nocivo para a saúde (de alguns granitos)</li> <li>▪ Material não renovável</li> <li>▪ Tempo de execução moroso</li> <li>▪ Requer mão-de-obra especializada, que escasseia</li> <li>▪ Construções com elevada massa e pesadas dando origem a solicitações gravíticas e sísmicas</li> <li>▪ Paredes espessuradas reduzindo o espaço útil habitável</li> <li>▪ Elevado consumo energético na extracção, transformação e transporte</li> <li>▪ Significativo impacte ambiental e alterações morfológicas profundas resultantes do desmonte das pedreiras</li> <li>▪ Elevado custo transporte e mão-de-obra</li> </ul>

Fonte: Adaptado a partir de: Mourão e Pedro (2012, p. 147-148) ; Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2010b, p. 154).

### 3.3. PAREDES DE MADEIRA

A madeira, foi um dos primeiros materiais de construção a ser utilizado pelo Homem na execução de abrigos, é um compósito natural de origem biológica, proveniente de árvores, formada por uma matéria heterogénea e anisotrópica pela constituição celular organizada que apresenta enquanto organismo vivo. (Petrucci, 1995, p. 117 ; Cruz e Nunes, 2012, p. 632).

Na sua constituição interna, na sua secção transversal através dos anéis de crescimento é possível identificar as diferentes orientações da sua anisotropia: longitudinal e axial, no sentido das fibras, e tangencial e radial, perpendicular às fibras. A parte mais resistente do tronco da árvore é designada por lenho, e é formada pelo cerne, constituído por tecidos mortos, e o albarno, constituídos por células vivas. Contudo, o cerne é mais denso, mais pesado, duro e durável, menos nutritivo, logo menos susceptível de ser atacado por agentes biológicos. Já o albarno, tem menor resistência mecânica e muito menos durável, por ser mais absorvente, permite impregnar melhor os produtos de preservação. (Petrucci, 1995, p. 120).



Para o seu uso como material de construção é importante considerar a sua classificação de adequabilidade ao fim tecnológico a que se destinam. Estas são distinguidas por:

- Madeiras duras - muito utilizadas pela sua fácil trabalhabilidade, bastante flexíveis se não estiverem totalmente secas e com maior resistência, são usadas na construção, especialmente em elementos estruturais.
- Madeiras brandas - muito usadas em mobiliário e em construções resguardadas das intempéries, necessitando de tratamentos químicos, sendo estes prejudiciais para a saúde e meio ambiente. (Petrucci, 1995, p. 118 ; Lauria, 2007, p. 57).

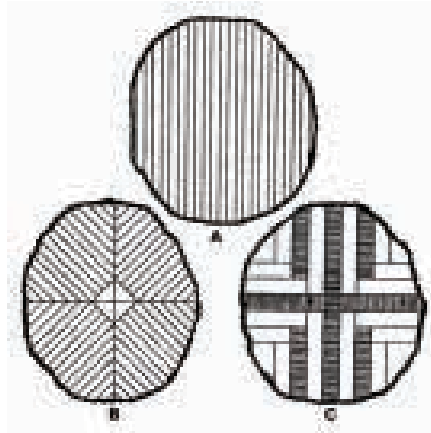
No património nacional edificado, é perceptível a importância que a madeira teve enquanto elemento estrutural. O período pombalino é disso exemplo, pois após o terramoto de 1755, que devastou grande parte da cidade de Lisboa, na sua reconstrução a madeira teve um papel preponderante. Era imperativo, o desenvolvimento duma solução construtiva capaz de colmatar as falhas dos sistemas construtivos tradicionais, e capaz de evitar tal grau de destruição numa eventual nova catástrofe natural. A madeira mostrou assim a sua manifesta capacidade atribuída a um sistema construtivo, designado por gaiola, que consistia num esqueleto em madeira maciça, devidamente interligado, distinguindo-se pela sua exemplar resistência sísmica (Mateus, J., 2002, p. 73). Com o advento do betão, a madeira deixou de ser usada na edificação como elemento estrutural dando lugar a estruturas reticuladas em betão armado.

A madeira é um material, que devido às suas potencialidades estruturais, é adequado para vários fins na construção de edifícios. (Lauria, 2007, p. 57). A vasta oferta de novos produtos de madeira modificados, com características físicas e mecânicas melhoradas, permitem usar a madeira em paredes exteriores e interiores, revestimentos de fachadas, pavimentos, caixilharias de vãos, portas e janelas, elementos estruturais, como coberturas, pilares e vigas, entre outros elementos.

### **3.3.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO**

O processo de produção das madeiras inicia-se com o abate ou corte da árvore, depois é cortada em toros, com cerca de 5 a 6 metros de comprimento para poder ser

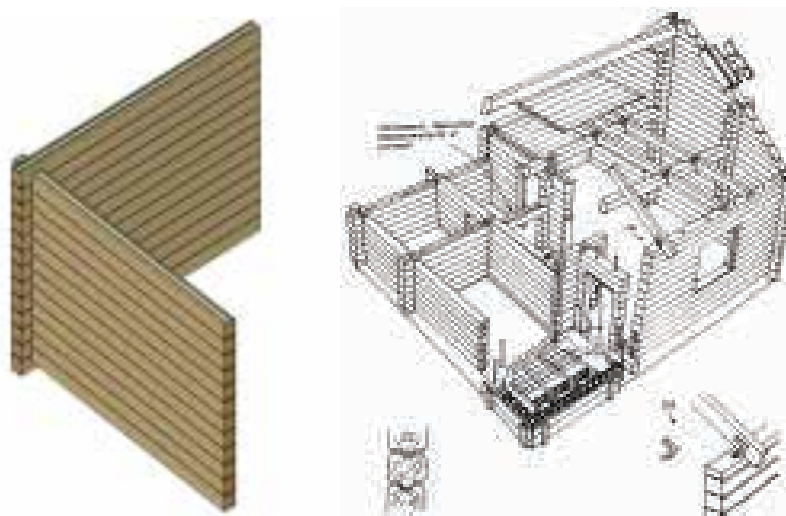
transportada, sendo os toros desramados e despontados, seguindo-se o falqueamento dos toros, ficando estes com secções esquadriadas e finalizando-se com a serração dos toros (Ilustração 52) para a obtenção da madeira bruta seccionada longitudinalmente em pranchas com formas e tamanhos diversos. (Petrucci, 1995, p. 126-127).



**Ilustração 52** – Sistema de corte dos toros de madeira: A - serração desfiada, tangencial ou pranchas paralelas; B - serração radial; C - serração mista. (Petrucci, 1995, p. 127).

Enumeramos algumas tipologias de paredes exteriores em madeira:

**Paredes com toros** - são paredes estruturais constituídas por toros maciços de madeira de secção quadrada ou redonda com sistema de encaixe, dispostos em fiadas horizontais com um travamento cruzado nos topos estabilizando todo o conjunto, obrigam a rigor dimensional, permitindo uma rápida e fácil execução em obra. Sem isolamento adicional ou outros materiais associados, podendo ficar aparentes (Ilustração 53). (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011, p. A3.3).



**Ilustração 53** – Paredes de madeira com toros. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011, p. A3.3 ; Mascarenhas, 2004, p. 32).

**Paredes com pranchas maciças** - formadas por elementos de pranchas portantes de madeira maciças que encaixam na horizontal formando fiadas verticais, travadas nos topos com prumos verticais (pilares), que estabilizam toda a parede. Sistema que requer rigor dimensional, de execução fácil e rápida. São paredes só de madeira com acabamento de pintura ou aplicação de verniz, podendo ficar à vista desde que devidamente tratadas. (Ilustração 54). Existe uma variante desta tipologia de parede composta por painéis duplos de régua com caixa-de-ar preenchida por isolamento térmico. (Mascarenhas, 2004, p. 34 ; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011, p. A4.4).

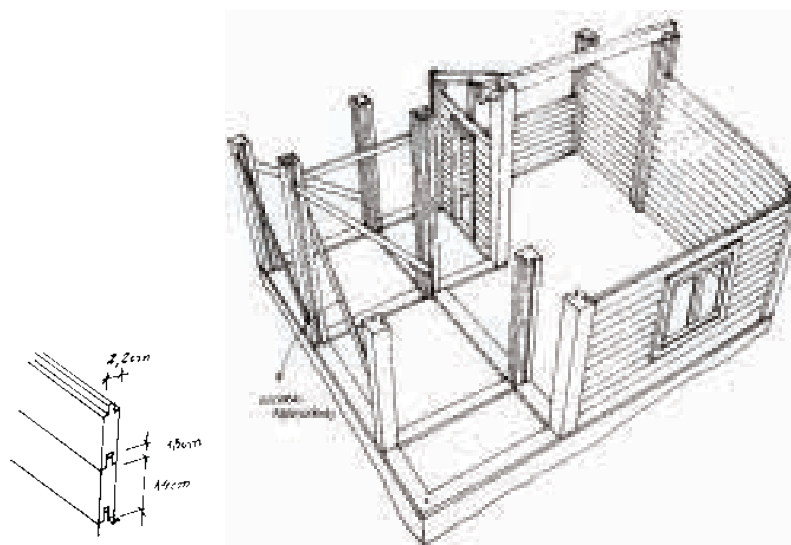
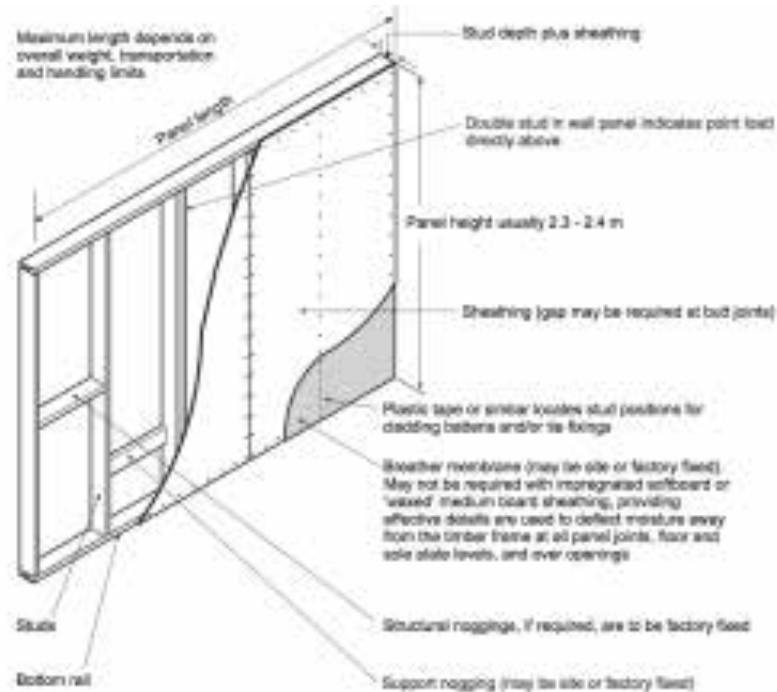


Ilustração 54 – Paredes de madeira com pranchas maciças. (Mascarenhas, 2004, p. 34).

**Paredes com painéis leves, isolamento térmico e revestimento exterior** - esta tipologia deriva do sistema aligeirado composto por montantes e travessas de reduzidas secções, oriundo dos EUA que surgiu no século XIX. Existem diversas variantes, a mais usual é a "*platform frame*", tendo sido aperfeiçoada para o sistema aligeirado de painéis pré-fabricados, constituída por painéis que encerram a estrutura com o isolamento térmico pelo interior e permitindo a aplicação de revestimento exterior podendo no entanto já estar incluído, sendo também designada por *painéis leves*. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011, p. A4.4).



**Ilustração 55** – Painel exterior aplicado na estrutura de parede exterior. (Twist e Lancashire, 2008, p. 69).

A estrutura aligeirada das paredes exteriores de madeira (Ilustração 55) é composta por travessas e montantes em madeira com dimensões superiores criando uma caixa-de-ar mais generosa preenchida, total ou parcialmente, pelo o isolamento térmico, colocado entre os prumos verticais. O isolamento térmico pode ser lã mineral, aglomerado de cortiça expandida ou granulada de cortiça, fibras de coco ou de cânhamo, XPS ou EPS. A estrutura de madeira é revestida exteriormente por um painel, normalmente de um derivado de madeira (Ilustração 56), fixado mecanicamente, e pelo lado interior, é revestida com um painel de gesso cartonado, podendo também ser revestida com painéis de derivados de madeira, como OSB, painéis de fibras minerais ou painéis de gesso reforçados com fibra, formando uma parede portante pré-fabricada que transmitirá todas as cargas verticais e horizontais às fundações. O revestimento de acabamento exterior não suporta carga, mas contribui para a resistência da parede às acções do vento, sendo usado para impermeabilizar e dar visibilidade ao edifício. A aplicação de membranas permeáveis ao vapor e impermeáveis à água (membranas "respirantes") pelo exterior do painel pré-fabricado, protege a parede portante e o isolamento térmico das intempéries, especialmente das águas da chuva, e também impede a passagem do vento, contribuindo para o conforto térmico do espaço interior dos edifícios. (Twist e Lancashire, 2008, p. 17, 20, 69, 71).



**Ilustração 56** – Fabrico de painéis pré-fabricados para sistema aligeirado, Rusticasa. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011, p. A5.15)

Para evitar o risco de condensação prejudicial no interior da parede portante, uma membrana de controlo de vapor é fixada entre a superfície interna da parede, habitualmente, em gesso cartonado, e o lado interior do isolamento térmico, a sua função é controlar a quantidade de vapor de água que passa através da parede devido aos diferentes níveis de pressão de vapor interno e externo. Esta combinação de membranas permite uma adequada gestão da humidade no espaço interior, reduzindo a ocorrência de condensações e ataques biológicos de fungos e bolores nas estruturas de madeira. (Twist e Lancashire, 2008, p. 74-75).



**Ilustração 57** – Parede com painéis leves, isolamento térmico e revestimento exterior desligado. (Amorim Cork Insulation, 2020).

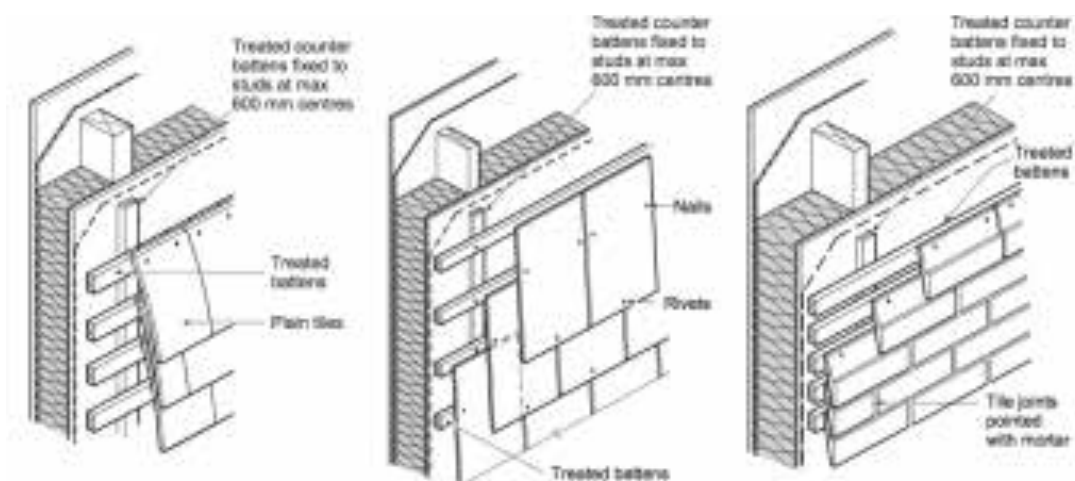
Embora o isolamento considerado seja aplicado para reduzir a perda de calor, este também contribui para o isolamento acústico e para a resistência da parede exterior ao fogo. O isolamento, é o maior contribuinte para o desempenho térmico da parede.

As infraestruturas, deverão ser passadas pelos espaços disponíveis formados no interior da estrutura da parede exterior. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011, p. A4.6).

A construção das paredes exteriores divide-se em duas fases: a parede portante (painéis pré-fabricados), e o revestimento exterior, podendo ser um revestimento pesado independente apoiado nas fundações ou um revestimento leve desligado fixado mecanicamente através duma malha de madeira à parede portante (Ilustração 57).

Os revestimentos de acabamento exterior podem-se distinguir em dois tipos: os que são erguidos a partir da sua própria fundação e são simplesmente agarrados através de tirantes pontuais à estrutura da parede exterior de madeira, como alvenarias de tijolo, blocos ou pedra; e os que se suportam totalmente na estrutura da parede exterior de madeira, como ladrilhos cerâmicos ou ardósias naturais de fixação mecânica, ripas ou régua de madeira, reboco de cimento em placa de apoio, entre outros. Qualquer que seja o tipo de revestimento utilizado, é essencial que esteja corretamente fixado à estrutura da parede de madeira, com junta adequada para movimentos diferenciais quando necessário, e que os detalhes de intemperismo sejam aceitáveis. (Twist e Lancashire, 2008, p. 159).

Entre o revestimento de acabamento exterior e a parede estrutural deve existir uma câmara-de-ar ventilada, prevenindo condensações, com um sistema de drenagem incorporado, drenando qualquer humidade que possa entrar na cavidade da parede externa. Para evitar a entrada de insectos, as aberturas da cavidade devem ser protegidas com uma tela adequada.

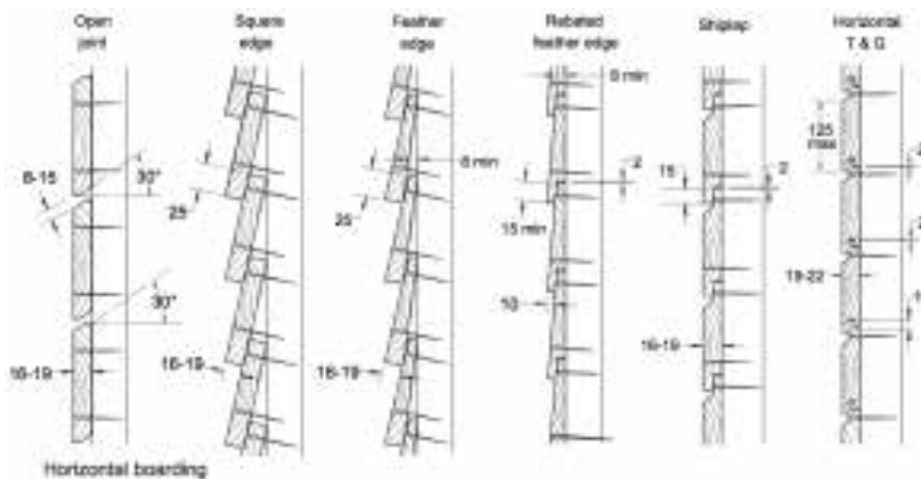


**Ilustração 58** – Paredes exteriores com diversos tipos de revestimentos exteriores: cerâmico, ardósia e mosaicos de encaixe. Fixados mecanicamente a reticula de madeira desligados do suporte rígido da parede exterior. (Twist e Lancashire, 2008, p. 170).

Os revestimentos de ladrilhos cerâmicos ou de ardósia naturais verticais suspensos, são soluções com um longo ciclo de vida e baixa manutenção. Os mosaicos cerâmicos

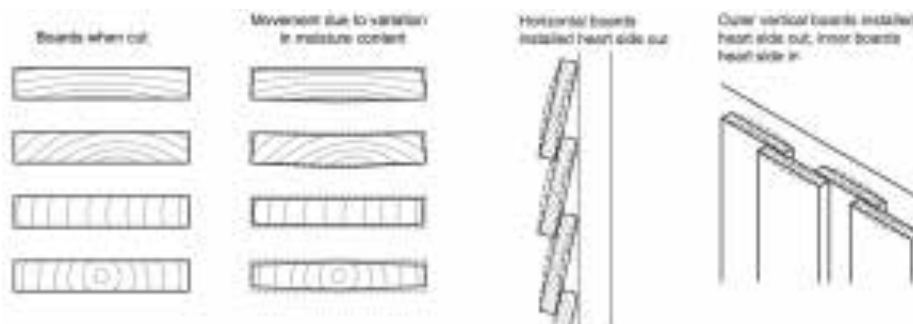
de encaixe, depois de aplicados esteticamente assemelham-se a uma alvenaria, não sendo a solução mais corrente. Ambas são soluções de revestimento de acabamento fixado em ripas de madeira tratada, pregadas à estrutura da parede exterior (Ilustração 58). (Twist e Lancashire, 2008, p. 170).

Os revestimentos em madeira, de réguas ou tiras, na sua ligação estão sujeitos a alguma penetração de água proveniente das chuvas, pelo que o suporte da parede estrutural deverá ser devidamente isolado e protegido contra as intempéries e preparado para expulsar para o exterior qualquer água que se deposite na cavidade. As réguas podem ser aplicadas na vertical, horizontal ou diagonal (Ilustração 59) e, com diferentes larguras, espessuras e juntas, uma variedade enorme de efeitos de superfície pode ser conseguida. (Major, 1995, p. 51).



**Ilustração 59** – Diversos tipos de revestimento de madeira exteriores aplicados na horizontal. (Twist e Lancashire, 2008, p. 176).

Devido à higroscopicidade da madeira, a variação do teor de humidade exterior altera a forma original do revestimento de madeira (Ilustração 60) aplicado na parede exterior. A orientação dos anéis de crescimento determina o movimento das peças de madeira, podendo funcionar a favor da instalação resolvendo alguma irregularidade indesejada.



**Ilustração 60** – Movimento provocado na forma das réguas de revestimento devido à variação do teor de humidade e secagem, em cortes feitos nas diferentes partes do toro de madeira. (Twist e Lancashire, 2008, p. 181).





O uso de sistemas metálicos de conexão nas estruturas de madeira, permite uma maior otimização estrutural, uma fácil montagem e desmontagem e a reutilização da madeira por mais vezes, adequado a construções de pouca duração. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 157).



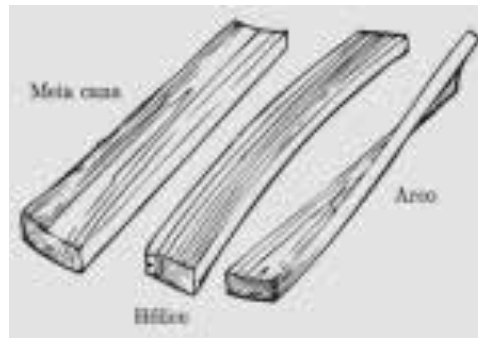
**Ilustração 63** – Montagem de paredes portantes aligeiradas, Loghomes.(Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2011, p. A5.19).

A pré-fabricação das paredes exteriores pode ser adequada a paredes de dimensões de fácil manuseamento, como a paredes de maior envergadura elevadas por meio de guindaste (Ilustração 63).

### **3.3.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA**

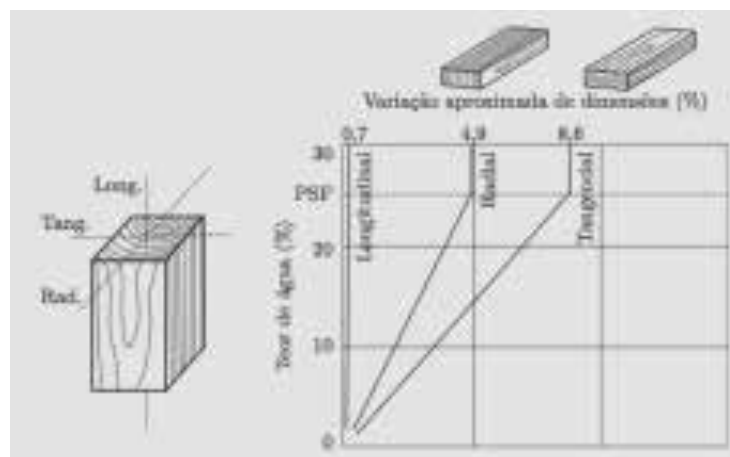
Devido à sua natureza física, a resistência mecânica da madeira a diversos esforços difere consoante os seguintes factores: o seu teor de água, a espécie florestal e da qualidade da madeira (dimensão e tipo de defeitos), a diferença entre o alburno e o cerno, a massa específica, o estado e qualidade do material, a carga atribuída e o tempo de actuação, a dimensão do elemento de madeira e a temperatura. O seu comportamento mecânico está sobretudo dependente da sua relação com a água. (Petrucci, 1995, p. 129-130 ; Cruz e Nunes, 2012, p. 644-645).

Uma adequada secagem da madeira melhora a sua resistência mecânica, evita o fendilhamento e a ocorrência de empenos (Ilustração 64). (Mascarenhas, 2004, p. 191). Os empenos não se traduzem em falta de resistência mecânica da madeira, são defeitos que dificultam a utilização do elemento. (Cruz e Nunes, 2012, p. 641).



**Ilustração 64** – Vários tipos de empeno (desenho de Tomás Mateus, cc. 1960). (Cruz e Nunes, 2012, p. 639).

As madeiras, de um modo geral, apresentam uma elevada resistência mecânica e uma baixa massa volúmica, as suas capacidades físicas permitem um bom desempenho aos esforços de compressão e tracção, quando paralelos às fibras, e uma elevada resistência à flexão. Tratando-se de um material anisotrópico, cuja a resistência é variável nos diferentes sentidos (Ilustração 65), deve-se sempre considerar a sua aplicação na direcção oposta à das cargas exercidas, pois só assim resiste bem à flexão, sendo muito usada para resolver o vencimento dos vãos. No sentido perpendicular às fibras, a resistência mecânica à compressão e à tracção estão comprometidas. Apresenta também uma fraca resistência ao corte e um módulo de elasticidade baixo, resultando tendencialmente em deformações e curvaturas. (Petrucci, 1995, p. 144-158).



**Ilustração 65** – Direcções tangencial, radial e longitudinal e respectivos coeficientes de retracção em termos relativos (valores médios para o pinho bravo). (Cruz e Nunes, 2012, p. 639).

Os produtos transformados e derivados da madeira com enorme aplicação na construção, apresentam maior estabilidade dimensional, melhor resistência mecânica, permitindo executar elementos com dimensões variadas, com grandes secções e comprimentos. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 159).

### 3.3.3. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

Nas suas propriedades físicas, a madeira devido à sua estrutura interna e por ser um material celulósico, é um mau condutor térmico logo um bom isolante térmico. (Petrucci, 1995, p. 139).

A madeira por ser um material higroscópico, capaz de perder e absorver a água, apresenta-se como uma grande desvantagem, uma vez que a sua capacidade de retracção e expansão é muito variável consoante a temperatura ambiente e os níveis de humidade relativa. (Cruz e Nunes, 2012, p. 641).

Por forma a reduzir a quantidade de vapor que entra nas paredes, dando origem a condensações ao longo da estrutura, deve garantir-se que o revestimento interior é mais resistente ao vapor que a face exterior da estrutura de madeira. (Twist e Lancashire, 2008, p. 21).

As paredes de madeira exteriores podem não conseguir permitir a permeabilidade de ar necessária sendo importante a associação de sistemas de ventilação mecânicos e recuperação de calor, que possibilitem a renovação frequente do ar interior, garantindo níveis adequados de humidade e conforto térmico. (Twist e Lancashire, 2008, p. 22).



**Ilustração 66** –Parede de madeira com painéis em vidro, (Façades *apud* Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 158).

A madeira por ser um material leve possui uma baixa inércia térmica, quando comparada à terra, usada em paredes exteriores é importante criar zonas de vidro (Ilustração 66) para permitir a captação de ganhos solares directos. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 158).

### **3.3.4. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

A madeira apresenta uma boa performance, quando associada a outros materiais, enquanto isolante acústico. O uso de revestimentos interiores, como o gesso cartonado e isolantes acústicos no interior das paredes, permite alcançar boas prestações de isolamento dos ruídos aéreos nas paredes exteriores. A sua eficácia no isolamento dos ruídos pode ser influenciada pela quantidade, tipo e eficiência dos vãos. (Twist e Lancashire, 2008, p. 25-26).

### **3.3.5. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

A madeira, por ser combustível, apresenta uma má resistência ao fogo. Contudo, a sua resistência depende da superfície específica da estrutura de madeira. "Estruturas com grandes secções transversais de madeira maciça ou lamelada-colada apresentam elevada resistência ao fogo, enquanto elementos com secção transversal diminuta apresentarão mau desempenho." (Cruz e Nunes, 2012, p. 648-649).

A madeira, devido a um mecanismo natural, quando queima as faces expostas cria uma camada de carvão incombustível, designada por carbonização, que reduz a temperatura e velocidade da combustão até à sua auto-extinção. A madeira tratada com produtos ignífugos ou o uso de soluções de protecção passiva (revestimentos ou pinturas com baixa reacção ao fogo), melhoram a sua resistência ao fogo. (Cruz e Nunes, 2012, p. 648).

A madeira, sendo um compósito natural, quando exposta a condições higrotérmicas ambientais por acção de agentes biológicos, como fungos, bactérias, insectos ou xilófilos marinhos, que se alimentam da sua matéria, está sujeita à sua deterioração natural, enfraquecimento e apodrecimento precoce, designada também por biodegradação. (Amado *et al.*, 2015, p. 89).

Aquando da sua extracção, a madeira sofre uma reacção natural de decomposição por agentes biológicos, físicos e químicos. Por forma a atenuar estas características negativas, devem ser considerados alguns processos de beneficiamento: adequada e controlada secagem artificial e tratamento preservador. (Petrucci, 1995, p. 117).

### 3.3.6. DURABILIDADE

Por se tratar de um material de origem biológica, a presença de humidade proporciona o desenvolvimento de determinados tipos de organismos biológicos, contribuindo para sua degradação. A vulnerabilidade da madeira a um determinado tipo de organismos biológicos depende da sua constituição química, não sendo alterada após o processo de secagem. A secagem da madeira aumenta a sua resistência mecânica reduzindo a variabilidade dos elementos construtivos do edifício, enquanto a introdução de produtos de preservação na sua matéria, lhe atribuem durabilidade a possíveis ataques de agentes biológicos. (Machado, Cruz e Nunes, 2003, p. 1285-1286).

Ainda na fase de projecto, qualquer construção deve ser adequadamente projectada garantindo uma durabilidade de longo prazo. Os elementos de madeira, no seu todo, devem ser projectados por forma a manter um teor de humidade de equilíbrio confortavelmente inferior ao que poderia permitir o desenvolvimento de agentes biológicos. É importante a escolha da espécie da madeira e a sua adequação, devendo ser naturalmente durável, a sua resistência a esforços e cargas associados, devem ser tomadas medidas de protecção face a previsíveis ataques biológicos ou realizar processos de preservação, contribuindo para a sua longevidade natural e conservação com reduzida manutenção. (Cruz e Nunes, 2012, p. 656).

A madeira é um material extremamente vulnerável aos agentes externos, pondo em causa a sua durabilidade, pois se desprotegida, é limitada. A degradação resultante das acções climáticas, tem como principais agentes a chuva e a exposição à radiação solar, sendo aqui o tempo de exposição um factor preponderante. A exposição à água é uma das acções mais nefastas para a degradação da superfície exposta da madeira, provocando fissuras e empenamento dos elementos constituintes. Já a radiação solar, através da incidência constante da luz natural e do aquecimento da superfície exposta dos elementos, conferem-lhe alterações de tonalidade, causadas também pela oxidação dos elementos, e fissurações. Em que as contracções e dilatações abruptas, são também as responsáveis pela ocorrência de fissuras nos elementos de madeira. (Petrucci, 1995, p. 117).

Havendo provas físicas no património edificado que mostram a sua capacidade de resistência ao tempo, a sua degradação pode tornar-se precoce quando inserida em condições inadequadas. (Pinho, 2000, p. 218).

### 3.3.7. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

No âmbito da sustentabilidade, a "[...] madeira deve ser suportada por uma política e estratégia de reflorestação através de florestas de produção, de modo a proceder a uma adequada gestão de recursos e, conseqüentemente, manter o equilíbrio dos ecossistemas locais." (Amado *et al.*, 2015, p.105).

A sua transformação, na maioria dos casos, recorre a baixos consumos energéticos, reflectindo-se numa baixa emissão de CO<sub>2</sub>. Por permitir construções com menor massa, devido ao seu baixo peso específico, menor é a energia que a madeira tem incorporada. (Amado *et al.*, 2015, p. 104).

Para uma construção sustentável, dar preferência ao uso de madeiras produzidas localmente ou recuperadas de edifícios em fim de vida, é tão ou mais importante do que usar madeiras certificadas, mesmo quando se tratam de espécies eco-certificadas como algumas madeira exóticas, o seu uso em quantidade acarreta elevados consumos de energia associados a seu transporte, sendo uma opção a evitar. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 156).

O uso da madeira certificada na construção, só constituirá uma opção ecológica se os seus tratamentos de preservação não usarem produtos tóxicos, como sais de cobre, arsénio ou sais de crómio, que são extremamente nocivos para a saúde e para o ambiente. Actualmente, existem algumas opções de tratamento ecológicas, como processos térmicos ou tratamentos à base de Borato. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 157).

Sendo a madeira o "material renovável" por definição, a questão principal é saber se este material e seus derivados podem substituir a procura por materiais sintéticos, sabendo que as árvores demoram décadas a crescer, e são, sem dúvida, um activo a gerir com grande parcimónia, nomeadamente no contexto de uma Gestão Sustentável, sob o selo de um organismo reconhecido, como é o caso do FSC (Forest Stewardship Council). (Oliveira e Pinto, 2011, p. 69).

Actualmente, devido às suas potencialidades estruturais, a madeira é um dos materiais mais usados nas construções modernas. Quando comparado com outros materiais tradicionais, como o betão ou o aço, o desempenho em relação ao ciclo de vida é superior. A madeira sendo um material sustentável de origem biológica, biodegradável, não tóxico, reciclável e auto-renovável, enquanto matéria viva é um retentor natural de CO<sub>2</sub>, mantendo essa capacidade após o abate da árvore e após a

sua transformação. Assim o CO<sub>2</sub> absorvido durante o ciclo de vida árvore, será retido e acompanhará a madeira transformada até ao fim do seu ciclo de vida, em que a libertação do CO<sub>2</sub> só ocorrerá por degradação natural ou pela sua combustão. A maior parte dos países europeus, excluindo Portugal, atribuem à madeira como material de construção um papel preponderante no combate ao aquecimento global. A florestação é o melhor método de eliminação do excesso de CO<sub>2</sub> contido na atmosfera. (Amado *et al.*, 2015, p. 104-105 ; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 156 ; Lauria, 2007, p. 57).

Os derivados da madeira, são uma opção favorável de optimização da matéria-prima, contudo nem todos se enquadram nos parâmetros de uma construção sustentável. O contraplacado tem consumos muito elevados de energia durante o seu processo de fabrico e as colas de ligação usadas não são amigas do ambiente. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 159).

### 3.3.8. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO

Não sendo um tipo de construção muito usual em Portugal, a edificação em madeira representa uma abordagem diferente para a maioria dos profissionais que não a dominam tecnicamente. Contudo, as vantagens de rapidez de execução das construções em madeira que podem ser alcançadas, desde que bem projectadas e devidamente planeadas, reduzem substancialmente os custos associados. Se a pré-fabricação, da maioria dos elementos constituintes, for executada em fábrica, em ambiente controlado e com o devido rigor, consegue-se alcançar a qualidade desejada e reduzir ao máximo o trabalho a executar no local.



**Ilustração 67** – Casas de madeira na Serra da Estrela., Luís Morgado, (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 158).

A nível nacional, associados ao termo ecologia, têm surgido nos últimos anos, com base em sistemas pré-fabricados e recorrendo a madeira importada, diversos tipos de módulos habitacionais (Ilustração 67). A procura por soluções de construções mais sustentáveis tem surgido um pouco por todo o país, onde a construção integralmente em madeira tem sido crescente. São habitações tidas como mais económicas, modulares e adaptáveis, de fácil e rápida execução. Contudo, apesar das vantagens outros factores são questionados: os custos de transporte da importação da madeira serão compensatórios, o conforto térmico é adequado a uma ocupação permanente e a arquitectura importada é adequada ao nosso contexto cultural. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 158).

Na Tabela 5 são considerados alguns pontos que distinguem a madeira como material de construção face a outros materiais tradicionais.

**Tabela 5** – Principais pontos a enumerar do uso da madeira na construção.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matéria-prima 100% natural de origem biológica, não-tóxico, reciclável e biodegradável</li> <li>▪ Renovável (reposição florestal certificada)</li> <li>▪ Em bom estado de conservação garante reutilização contínua</li> <li>▪ Sequestrador natural de CO2</li> <li>▪ Elevada resistência mecânica e boa elasticidade</li> <li>▪ Baixa condutibilidade térmica, bom isolamento térmico e boa absorção acústica</li> <li>▪ Elevada durabilidade (em ambiente adequado)</li> <li>▪ Resistente a choques, devido à sua resiliência</li> <li>▪ Inalterabilidade quando exposto a ambientes químicos</li> <li>▪ Apesar de ser combustível, em elementos de média dimensão apresenta estabilidade comportamental ao fogo</li> <li>▪ Pouca energia associada à sua transformação e aplicação</li> <li>▪ Fácil trabalhabilidade, leveza, permite emendas e ligação dos elementos entre si</li> <li>▪ Permite pré-fabricação e optimização da matéria-prima em madeiras modificadas e derivados</li> <li>▪ Visibilidade singular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Degradação precoce quando exposta por prolongados períodos a elevados teores de humidade</li> <li>▪ Higroscópico, perde e absorve água, capacidade de retracção-expansão variável</li> <li>▪ Vulnerável a agentes externos (climáticos e biológicos), limitando a sua durabilidade</li> <li>▪ Necessita de barreira de vapor, para evitar condensações intersticiais que podem causar degradação</li> <li>▪ Requer mão-de-obra especializada</li> <li>▪ Construção com custo elevado, reduzindo substancialmente recorrendo à pré-fabricação</li> <li>▪ Requer manutenção frequente se exposta a radiação solar excessiva</li> <li>▪ O uso de madeiras não locais, importadas de zonas distantes, tem custos e impactes ambientais expressivos</li> </ul>

Fonte: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2010b, p. 156-157) ; Petrucci (1995, p. 116-117) ; Mourão e Pedro (2012, p. 150).



### 3.4. PAREDES EM TIJOLO

Os tijolos surgiram inicialmente com formas paralelepípedicas com o intuito de se assemelharem aos blocos de pedra usados nas grandes construções. Eram no início, executados com uma mistura de terra argilosa, fibras vegetais e com impurezas contidas na terra que era retirada da camada mais superficial, sem qualquer crivagem ou selecção. Com o tempo foram aperfeiçoando as misturas, onde entravam as terras argilosas seleccionadas, as fibras vegetais secas, que perceberam que lhes conferiam resistência e alguma areia se a argila não tivesse. Esta técnica de secar os blocos de adobe ao sol foi usada à 10000 anos e perdurou até ao nossos dias, sendo ainda usada nalgumas regiões, como o Alentejo. (Branco, 1993, p. 81).

O tijolo cozido surgiu da evolução do adobe. Pois, o Homem ao tentar proteger as suas fogueiras do vento, envolvia-as com uma cercadura de blocos de adobes, e devem ter verificado que expostas ao calor, endureciam, resistindo melhor às agressões climáticas, como a chuva. A técnica foi desenvolvida e evoluiu, permitindo cozer os adobes que agora existem sob forma de tijolos. Há registos com mais de 5000 anos, de construções em tijolos cozidos feitas pelos babilónios. (Branco, 1993, p. 81).

Contudo, só em meados do século XIX é que surge a primeira máquina, movida por cavalos, capaz de moldar cerca de 1500 tijolos em cada 12 horas. Anos mais tarde, surgem os primeiros tijolos extrudidos através de uma boquilha, agregada a um sistema mecânico de fieiras de hélice movidas a vapor, onde um tapete de rolos com uma cortadora de arames manual atribuía a dimensão desejada aos tijolos (Branco, 1993, p. 81). Com os progressos tecnológicos, a produção do tijolo passou a ser toda mecanizada.

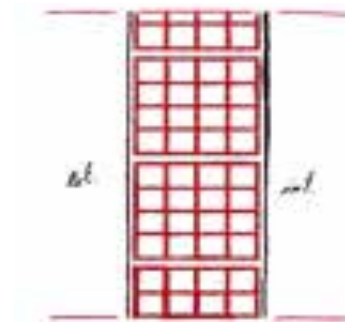
Na construção dos edifícios, com o aparecimento de estruturas reticuladas, em aço ou betão armado, o tijolo perdeu a função resistente que assumia nas paredes exteriores, para dar lugar ao pano exterior de enchimento associado à estrutura reticulada. O tijolo formalmente foi aligeirado, reduzindo o seu peso próprio, deixando de ser maciço para ser furado, apresentando um melhor comportamento térmico, resistência mecânica melhorada e com novas dimensões, maiores e mais versáteis associados a novas técnicas de aplicação e combinação.

Os tijolos, especialmente quando usados em alvenarias de paredes exteriores, devem de obedecer a um conjunto de requisitos de qualidade, tais como:

1. Deverão ter uma forma e dimensão regular, sem quaisquer deformações ou irregularidades resultantes do seu fabrico, com arestas bem definidas e rectas, cantos firmes e resistentes, faces planas com uma esquadria devidamente alinhada entre si, permitindo um assentamento da alvenaria de forma uniforme.
2. Um cozimento uniforme e adequado, sem fendas ou sinais de possível vitrificação, cor uniforme e o toque percutido por um martelo deverá ter um efeito muito sonoro.
3. A composição da massa deve ser homogênia, com uma equilibrada porosidade, ausência de elementos estranhos, como impurezas e outros, que influenciem o seu comportamento, deve ser resistente ao corte por percussão sem fracturar em forma de fragmentos.
4. O nível de absorção de água deve estar compreendido entre os 8% e os 15% do seu peso depois de molhado e estabilizado. Se apresentar valores superiores, é porque possui muita porosidade e permeabilidade. Com valores muito inferiores, será difícil a aderência das argamassas no processo de recobrimento.
5. Não deverá haver quaisquer sinais de eflorescências no corpo dos tijolos, provocadas por possíveis sais solúveis, porque a médio prazo comprometerão o comportamento dos revestimentos que lhes serão aplicados.
6. Deverão possuir uma boa resistência mecânica, principalmente um bom desempenho à compressão, tendo que ficar acima dos  $15\text{kg/cm}^2$  da face exterior do tijolo para panos de enchimento em estrutura reticulada porticada de betão armado; já em construções de alvenarias de tijolo resistentes os valores devem ser de pelo menos  $30\text{Kg/cm}^2$  (Branco, 1993, p. 88 ; Petrucci, 1995, p. 34).


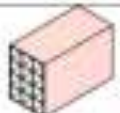
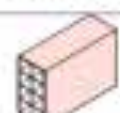
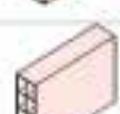
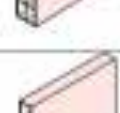



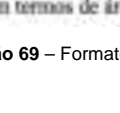
### 3.4.1. PAREDES DE ALVENARIA EM TIJOLO SIMPLES

Na construção das paredes exteriores dos edifícios antigos, eram usados tijolos maciços ou perfurados de média dimensão, formando paredes robustas e portantes. A espessura das paredes dependia essencialmente do número de pisos que edifício iria comportar. Eram paredes mais aligeiradas, que as de alvenaria de pedra, em que a horizontalidade dos seus leitos e a forma mais regular dos tijolos cerâmicos, quando sobrepostos, apresentavam maior resistência e possuíam uma condutibilidade térmica inferior (Pinho, 2000, p. 97, 101).



**Ilustração 68** – Parede exterior de alvenaria de tijolo simples com espessura de 22cm. (Melo, 2002, p. 150).

Actualmente, a alvenaria de tijolo vazado, de maior dimensão, é das tipologias de paredes exteriores mais usadas na construção corrente, existindo normalizados diversos formatos (Ilustração 69). As primeiras alvenarias de plano simples de tijolo cerâmico vazado satisfaziam o mínimo regulamentado, com a espessura de 22cm (Ilustração 68). Após a publicação em 1990, do primeiro "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios" (RCCTE), começaram a surgir as primeiras paredes exteriores com soluções de isolamento térmico (Santos, 2015, p. 139).

	Dimensão e forma (comp. x alt. x esp.) (cm)	Peso aprox. (kg)	Furação (%)	Resistência à compressão <sup>(2)</sup> (MPa)
Furação horizontal	 30 x 20 x 22 <sup>(1)</sup>	7-11	55-70	1.9-3.9
	 30 x 20 x 15 <sup>(1)</sup>	5-7	50-65	2.5-4.9
	 30 x 20 x 11 <sup>(1)</sup>	4-6	50-65	2.8-5.2
	 30 x 20 x 9	3.5-5.5	40-60	3.0-5.7
	 30 x 20 x 7 <sup>(1)</sup>	3-5	40-60	3.7-7.0
Furação vertical	 30 x 20 x 4	2-3	40-50	6.0-7.0
	 22 x 11 x 7 <sup>(1)</sup>	1.5-2.5	25-40	8.0-9.5
	 22 x 11 x 5	1.2-1.7	25-40	8.0-9.5
Sólido	 22 x 11 x 7 <sup>(1)</sup>	2.5-3.5	-	17.0-48.0

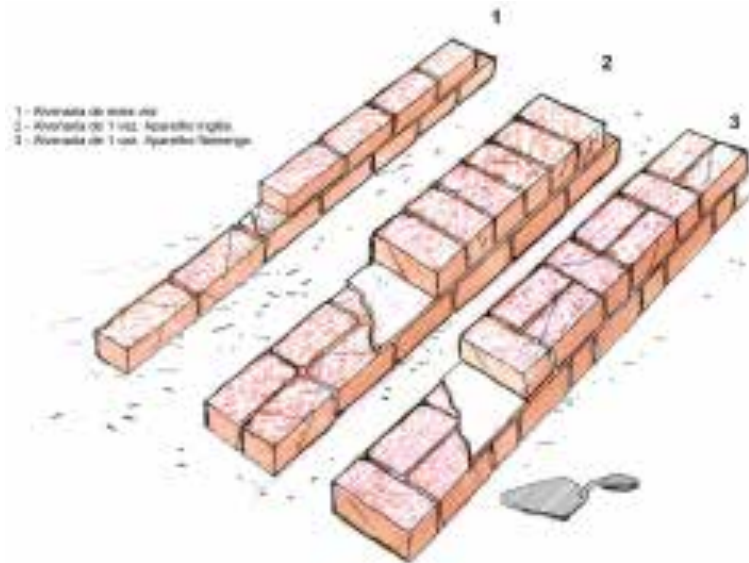
(1) Dimensões de acordo com normalização portuguesa

(2) Expressa em termos de área aparente, não normalizada por factores de forma

Ilustração 69 – Formatos de tijolos cerâmicos mais correntes (Sousa, 2002, p. 28).

### 3.4.1.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

As alvenarias de tijolo cerâmico seguem as mesmas regras de travamento e assentamento que os seus antepassados adobes (Ilustração 70). A qualidade e dimensão dos tijolos cerâmicos teve melhorias significativas, mas o sistema construtivo, na essência, é o mesmo. As regras de travamento, as possíveis combinações, o método de argamassar e as condicionantes são essencialmente as mesmas que se aplicam na construção da alvenaria em adobe.



**Ilustração 70** – Diversos métodos de execução de alvenarias de tijolo cerâmico. (Colin, 2010).

Quando se inicia o assentamento de uma alvenaria em tijolo cerâmico, assim como acontece na alvenaria de pedra, a quantidade de argamassa deve ser mínima, pois a função da massa, para além duma boa aderência entre os elementos, é a de anular as irregularidades existentes nos tijolos, garantido a estabilidade da alvenaria de modo a que as cargas verticais transmitidas estejam em perfeito equilíbrio. Aquando da aplicação da argamassa, os tijolos devem ser previamente molhados, garantindo uma melhor aderência das massas, e durante o processo de endurecimento, após a aplicação dos tijolos, devem ser feitas regas frequentes evitando assim a evaporação rápida, especialmente nas épocas quentes e secas. (Branco, 1993, p. 144).



**Ilustração 71** – Parede de tijolo com isolamento térmico à vista em aglomerado de cortiça expandida. (Amorim Cork Insulation, 2020).

As paredes exteriores de alvenaria de tijolo vazado simples podem ser revestidas com uma camada de gesso pelo interior e um reboco com uma argamassa de cimento pelo exterior acabada com pintura, pedra, mosaico cerâmico, azulejo, etc.. Contudo, esta

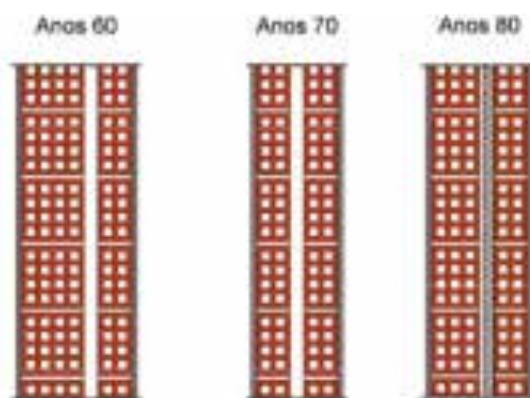
tipologia tem algumas variantes na sua constituição que contribuem para uma maior eficiência energética e um maior conforto do espaço interior do edifício, como a aplicação de sistemas de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) ou pelo interior, este mais usado em reabilitação, e sistemas de parede ventilada.

### 3.4.2. PAREDES DE ALVENARIA EM TIJOLO PANO DUPLO

As primeiras paredes exteriores de alvenaria em tijolo vazado com pano duplo, surgiram nos anos 60, em substituição das grossas e robustas paredes resistentes de alvenaria de pedra. Perdem a sua função resistente, sendo aligeiradas tornando-se meramente no "separador físico" que protege o espaço interior dos agressores externos (Freitas, 2002, p. 2).

A sua constituição foi sofrendo algumas variações, como se pode ver na Ilustração 72:

- **Anos 60** - Paredes compostas por pano exterior de maior inércia, caixa-de-ar e pano interior de menor inércia.
- **Anos 70** - Paredes compostas por pano exterior de igual inércia, caixa de ar e pano interior de igual inércia - os paramentos eram executados com espessuras mais reduzidas e idênticas que a tipologia anterior.
- **Anos 80** - Paredes compostas por pano exterior de maior inércia, caixa de ar com isolamento térmico (parcial ou total) e pano interior de menor inércia (Freitas, 2002, p. 2-3).



**Ilustração 72** – Representação da evolução das paredes exteriores de alvenaria de tijolo de pano duplo em Portugal. ([Adaptado a partir de :] Freitas, 2002, p. 2).

Esta tipologia permite abranger um grande leque de processos de construção no que diz respeito à sua composição. Estes, diferem principalmente na materialidade do isolamento utilizado, seja este térmico ou acústico, na resistência às humidades e na espessura dos panos exterior e interior, reflectindo-se na eficiência da própria tipologia da parede.

#### **3.4.2.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO**

A má execução das paredes exteriores de pano duplo pode tornar-se num problema e não numa solução. Ao invés de estarem preparadas para terem bom comportamento contra as humidades, podem acabar por funcionar ao contrário. Daí a importância na sua correcta execução e na escolha dos materiais que a reforçam como paredes eficientes. O que acontece na maioria das vezes é que são bem concebidas, mas mal executadas, dando origem a falhas graves na sua eficiência. Por vezes as falhas surgem de erros de execução, tais como: não respeitarem o intervalo de ar necessário entre os dois paramentos, onde a ligação entre os dois panos, que não deve existir, é feita muitas vezes com o travamento de um tijolo, quando devem ser usados elementos metálicos, de aço anticorrosivo, com um determinado desenho que não possibilite a passagem da humidade, permitindo o travamento das paredes e atribuindo-lhes estabilidade (Ilustração 73); o preenchimento total pelo isolamento na caixa-de-ar, um erro frequente, quando o princípio da parede dupla é que não se toquem, através de argamassas ou de outros materiais, pois esse contacto físico e anulação da caixa-de-ar permitem a condutibilidade higratérmica entre os panos; a colocação do paramento de maior inércia pelo exterior, quando o seu desempenho térmico é mais eficaz se for o contrário, uma vez que consegue dissipar de forma mais gradual o calor colectado para o interior, quando a temperatura no exterior baixa. (informação verbal) <sup>18</sup>.

A caixa-de-ar, na constituição de uma parede exterior de pano duplo é essencial, pois é esta que separa os dois panos exterior e interior, e, fundamentalmente, não permite que a água absorvida pelo pano exterior chegue ao pano interior. A água que entrar através do pano exterior, ficará retida na caixa de ar onde será canalizada para o exterior através da caleira de drenagem, sendo uma solução eficaz quanto à

---

<sup>18</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

estanquidade da parede dupla. A caixa de ar também confere à parede um bom desempenho térmico e acústico (informação verbal)<sup>19</sup>.

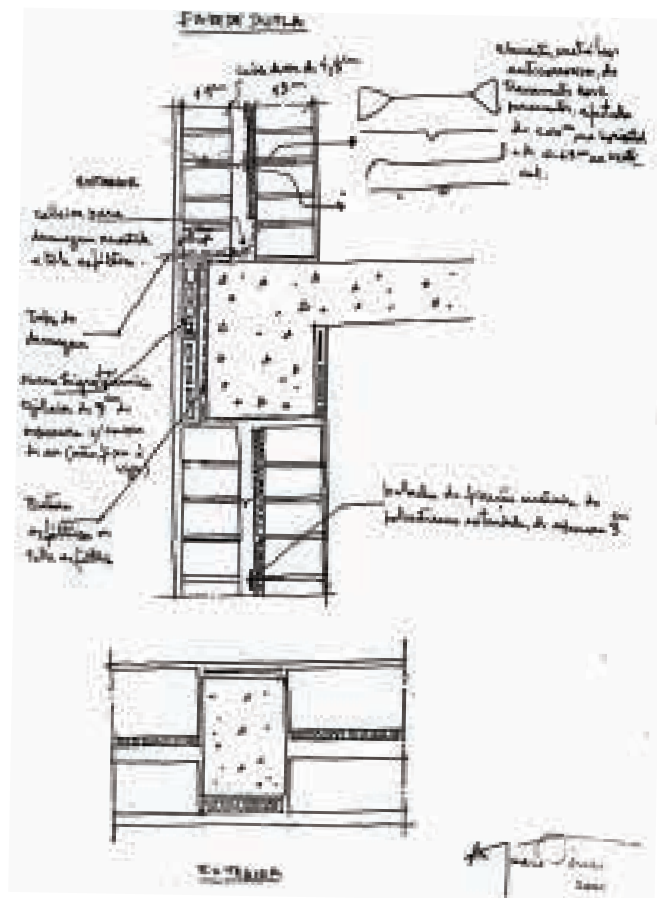


Ilustração 73 – Detalhe construtivo de parede exterior de alvenaria de tijolo de duplo pano, 2000. (Pinto, 2020).

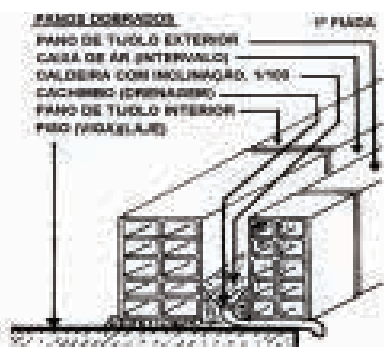
Outro erro de execução muito comum, associado muitas vezes à redução de custos da obra, é o uso excessivo de argamassa, tanto no reboco como no assentamento. Muitas vezes por especulação, os tijolos são adquiridos por valores mais baixos, por não serem de primeira escolha, apresentando diversas irregularidades, muitas vezes, dimensionais significativas, dando origem a paredes irregulares ao invés de apuradas. Para combater essas diferenças, quando se deveria aplicar um reboco nominal de 2 centímetros, aplica-se quase o dobro. Os rebocos, na sua maioria são executados com argamassas compostas por cimento, sendo o cimento um bom condutor de humidades, quanto mais cimento existir no assentamento e no reboco, mais condutibilidade higrotérmica existirá na relação do exterior com o interior. (informação verbal)<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

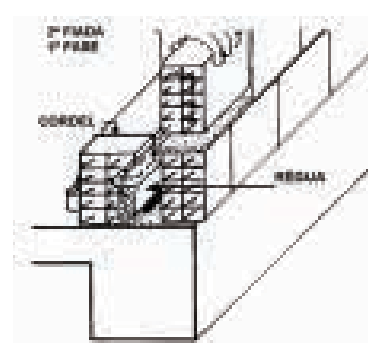
<sup>20</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.



Estas paredes eram construídas com panos duplos separados por uma caixa de ar, seguindo os seguintes passos na sua execução, conforme referido por Eça *et al.* (2008, p. 33-35) e Branco (1993, p. 146): primeiramente procedia-se ao assentamento da primeira fiada, dos dois panos (Ilustração 74), executando entre os dois panos uma caleira de drenagem com pendentes no sentido longitudinal, feita com argamassa, composta por cimento e areia, afagada e, preferencialmente, revestida por um produto betuminoso, nas zonas mais baixas da caleira, colocam-se tubos de drenagem, para permitir a saída das águas que possam passar pelo pano exterior ou as resultantes das condensações das actividades internas; de seguida, na caixa-de-ar é entalada uma régua de madeira entre os dois panos (Ilustração 75), que vai subindo e acompanhando a aplicação das fiadas, de modo a evitar o depósito de lixo das argamassas de assentamento na caleira de drenagem, drenando as águas que possam atravessar os paramentos através de um “cachimbo” (Ilustração 74); depois completar o pano exterior até acima e o pano interior também a toda a altura, considerando que a segunda fiada deste pano deve ser assente deixando entre cada tijolo assente, um intervalo com a mesma dimensão de um tijolo somando a medida das duas juntas verticais, permitindo assim o acesso à caleira para limpeza e remoção da régua que a protege; completar o assentamento dos vazios deixados na segunda fiada e aplicar um reboco de cimento com cerca de 2 centímetros pelo exterior da parede, aplicando depois o revestimento pretendido, como: pintura, pedra, ladrilho, azulejo cerâmico, entre outros; no pano interior, aplicar um reboco nominal de 1,5 centímetros de gesso acabado, normalmente, com pintura.



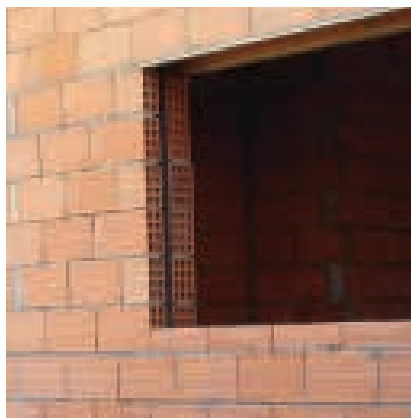
**Ilustração 74** – Esquema do sistema de construção de alvenarias em tijolo de duplo pano. (Branco, 1993, p. 146).



**Ilustração 75** – Esquema do sistema de construção de alvenarias em tijolo de duplo pano. (Branco, 1993, p. 146).

As paredes de duplo pano (Ilustração 76 e 77), actualmente a variante mais usada, com isolamento térmico localizado na caixa-de-ar, preenchendo parcial ou totalmente o intervalo, sendo a primeira opção a mais indicada. Os isolamentos térmicos mais

usados são os derivados do petróleo, o EPS e o XPS. Também usados, mas com menos incidência, são os aglomerados de cortiça expandida (Ilustração 76) e a lã mineral de rocha ou de vidro, sendo idealmente as opções mais sustentáveis. O isolamento é aplicado na face interior do paramento interior, de forma contínua e linear, garantindo idealmente a caixa-de-ar no interior da parede.



**Ilustração 76** – Parede de alvenaria em tijolo vazado de duplo pano com isolamento térmico em cortiça. (Amorim Cork Insulation, 2020).



**Ilustração 77** – Execução de parede de alvenaria em tijolo vazado de duplo pano com isolamento térmico no interior. (Freitas e Gonçalves, P., 2005, p. 9).

### 3.4.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA

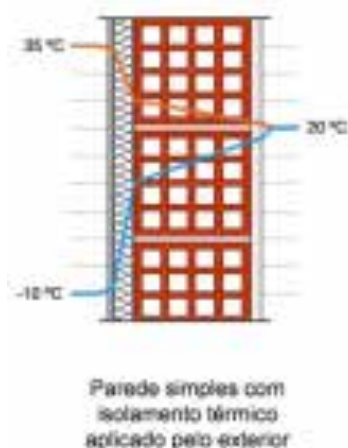
Quanto maior e melhor for a resistência mecânica de uma parede exterior, tenha ela funções resistentes ou não, por razões óbvias, melhor será o seu comportamento estrutural e menor será a probabilidade de ocorrência de anomalias, como fissurações. Nas paredes de enchimento de pano simples, a execução da ligação do pano à estrutura deve merecer especial atenção, uma vez que é frequente a ocorrência de anomalias nestes pontos (Sousa, 2002, p. 37).

Contudo, de um modo geral as paredes de tijolo simples ou duplas, apresentam boa resistência à compressão, mas um mau desempenho aos restantes esforços (Eça *et al.*, 2008, p. 3).

### 3.4.4. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

Nas paredes exteriores de tijolo simples maciço, muito usada em edifícios antigos, a sua inércia térmica dependia do seu dimensionamento. Quanto mais espessas e pesadas, melhor o seu comportamento higrotérmico. Já as paredes exteriores de tijolo furado de pano simples corrente, apresentam características de isolamento térmico

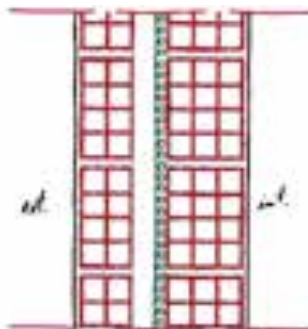
menos favoráveis, que outras alvenarias simples de blocos derivados do betão (Santos e Vasconcelos de Paiva, 2002, p. 41). Quando em paredes simples são aplicados sistemas de isolamento térmico pelo exterior ou pelo interior, o comportamento higrotérmico das alvenarias de tijolo melhora significativamente, como se vê na Ilustração 78.



**Ilustração 78** – Parede de alvenaria em tijolo furado simples com isolamento térmico no interior. (Freitas e Gonçalves, P., 2005, p. 9).

Apesar de, na maioria dos registos encontrados, se represente as paredes de duplo pano com a maior inércia térmica para o exterior, o que parece mais correcto e eficiente é que o mesmo esteja ao contrário. Para maior eficiência energética e inércia térmica, o pano mais fino deverá ficar virado para o exterior (Ilustração 79). Esta solução assenta no facto da verificação, no nosso país e em outros, da existência de grandes amplitudes térmicas no mesmo dia, temperaturas elevadas durante o dia e arrefecimento significativo no fim do dia. Por essa razão, a parede de menor inércia térmica deve estar no exterior. Assim, a parede exterior permite mais trocas térmicas ao longo do dia. Absorve o calor quando a temperatura exterior está elevada, mas perde calor quando ao fim do dia há um abaixamento brusco da temperatura exterior. Parte do calor que absorve, vai sendo transmitido para a parede interior com maior inércia, que por sua vez, por esse facto, vai acumulando o calor recebido e só o transfere para o espaço interior no fim do dia, quando a temperatura exterior está mais baixa. Também uma parede exterior com menor espessura no exterior, seca mais rapidamente as humidades contidas e a parede mais grossa no interior tem mais área para instalar canalizações ou suportar pesos (estantes, etc.) (informação verbal)<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.



**Ilustração 79** – Construção mais eficaz de parede exterior de alvenaria em tijolo pano duplo com isolamento térmico. (Melo, 2002, p. 152).

O comportamento higrotérmico, nas paredes exteriores de pano duplo, é significativamente variável, se a parede comporta ou não isolamento térmico no interior. As paredes exteriores duplas com isolamento apresentam melhores prestações de conforto térmico e redução de pontes térmicas.

### **3.4.5. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Assim como no desempenho do isolamento térmico, o isolamento de ruídos aéreos também é variável e depende do dimensionamento e composição das paredes exteriores. Onde, em paredes com isolamento térmico com propriedades isolantes acústicas, estas apresentam boas prestações no isolamento e absorção dos ruídos aéreos (Eça *et al.*, 2008, p. 25).

### **3.4.6. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

O tijolo cerâmico, sendo um material inorgânico, é incombustível não favorecendo a propagação do fogo (Eça *et al.*, 2008, p. 25-26) nem proporciona o desenvolvimento de micro-organismos. Contudo, as suas paredes exteriores comportam outros materiais, que não apresentam o mesmo comportamento, como alguns isolantes térmicos/acústicos. E aí a sua resistência ao fogo será mais reduzida, especialmente nas soluções com isolamento pelo exterior.

### **3.4.7. DURABILIDADE**

As paredes de alvenaria de tijolo, apresentam uma boa durabilidade, uma vez que são constituídas por materiais com boa resistência, como tijolo e cimento. Contudo, a sua má execução pode dar origem a anomalias, como fissurações, pelo que o aumento do

seu ciclo de vida só será garantido se houver uma adequada e periódica manutenção.

No edificado existente, a ocorrência de anomalias relacionadas com as alvenarias é frequente, sendo as fissurações as mais comuns, dando origem a problemas relacionados com a penetração de água e humidade, a degradação precoce dos revestimentos e acabamentos associados por sua vez a outras anomalias que daí advêm. As causas principais que estão na origem destas anomalias são essencialmente má concepção, má execução e aspectos relacionados com economia, qualidade e mão-de-obra (Sousa, 2002, p. 33-34).

#### **3.4.8. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

Atendendo às questões climáticas actuais, tem havido uma maior consciência no uso de materiais de construção mais sustentáveis e amigos do ambiente, por parte dos utilizadores, conduzindo a uma maior pressão sobre projectistas e donos-de-obra privilegiando soluções mais ecológicas, ambientalmente sustentadas e com reduzidos impactes negativos. Neste sentido, é uma preocupação a busca por soluções isolantes mais ecológicas em detrimento das que requerem de muita energia para o seu fabrico, usando matérias-primas fósseis não renováveis com grandes impactes ambientais associados. Privilegiando também, soluções que optimizem subprodutos, como resíduos, oriundos da construção ou de outras indústrias, como a alimentar e têxtil (Sousa, 2002, p. 38-39).

#### **3.4.9. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO**

A falta de pormenorização na concepção das paredes, leva ao improvisado correntemente adoptado, conduzindo a muitas anomalias frequentes. É primordial projectar a parede como um sistema construtivo vital no corpo do edifício, contemplando todas as peças de detalhe necessárias permitindo resolver as possíveis falhas que possam surgir na realização da parede, contribuindo para uma correcta execução, redução de anomalias, maior produtividade construtiva e redução de custos de execução (Sousa, 2002, p. 37).

O tijolo cerâmico tem sido o material mais usado nas alvenarias a nível nacional, apresentando um valor mais competitivo quando comparado com outros materiais com

acrescida qualidade, concepção e desenvolvimento, garantindo um mercado que baseia essencialmente na selecção dos produtos para alvenaria quase só pelo preço. Este mercado conquistado, tem-se mantido estagnado em relação aos produtos, mantendo uma distância face a outras soluções para a construção de paredes (Sousa, 2002, p. 30).

Na Tabela 6 são considerados alguns pontos que distinguem as construções em alvenaria de tijolo cerâmico de outras soluções convencionais.

**Tabela 6** – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de tijolo cerâmico.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matérias-primas inorgânicas</li> <li>▪ Boa resistência à compressão</li> <li>▪ Não-tóxico</li> <li>▪ Elevada resistência ao fogo</li> <li>▪ Baixo custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Razoável desempenho térmico e acústico, requerendo isolamento complementar</li> <li>▪ Produz muitos resíduos em obra</li> <li>▪ Uso de mão-de-obra pouco qualificada dando origem a erros graves de execução e falta de qualidade</li> <li>▪ Muita energia incorporada no seu fabrico com emissões de CO<sub>2</sub> e grande impacte ambiental</li> </ul>

Fonte: Adaptado a partir de: Eça *et al.* (2008, p. 20).

### **3.5. PAREDES EM ALVENARIA DE BLOCOS DERIVADOS DO BETÃO**

A palavra cimento deriva do latim "caementum" e significava argamassa ligante, e era um termo atribuído a qualquer argamassa independentemente do seu tipo. O significado original manteve-se com a designação de ligante hidráulico, aquele que é capaz de endurecer em contacto com a água. (Branco, 1993, p. 99).

No século XVIII, surgiram as primeiras cais hidráulicas semelhantes aos cimentos modernos, fundamentalmente devido aos avanços tecnológicos associados aos processos de cozimento. No ano de 1792, James Parker desenvolveu um cimento através de pedras calcário-argilosas, patenteando-o como cimento romano, que consistia num aglomerante hidráulico de presa mais rápida. Em 1759, o inglês John Smeaton produziu uma argamassa, que após endurecida ficava dura como uma pedra, consistia numa mistura de cal hidráulica e cinza vulcânica. Em 1817, em França, Louis Vicat descobriu os princípios químicos dos cimentos e definiu as regras para o fabrico do cimento hidráulico. Considerado o inventor do cimento moderno, mas que acaba por não registar qualquer patente. Mais tarde, foi o inglês Joseph Aspdin quem patenteou o cimento "Portland" em 1824, obtido a partir de um processo de

calcinação combinando a queima de calcário e argila em fornos movidos a carvão, obtendo clínquer<sup>22</sup>, que era triturado até se obter o pó de cimento. (Branco, 1981, p. 43)

Com o advento do betão armado, a indústria da construção encontrou uma solução construtiva inovadora capaz de substituir os sistemas construtivos da construção tradicional, devido às suas características e soluções de materialização estruturais e arquitectónicas. A eficácia, rapidez no tempo de execução, funcionalidade, resistência, trabalhabilidade, segurança, entre outros, foram tudo factores preponderantes para a mudança. Houve uma grande evolução tecnológica associada aos blocos usados na construção de alvenarias de paredes exteriores, essencialmente, e com maior expressão a partir da Segunda Guerra Mundial. O surgimento de novos blocos cerâmicos e de cimento, deram resposta à urgente necessidade de construção do parque habitacional devastado pela guerra, pelo aumento populacional e pela concentração demográfica de população nos grandes centros industriais. (Pinto, 2018, p. 217).

Segundo Reaes Pinto, os blocos derivados do betão, com pouco uso na construção actual, como os blocos de betão, compostos por cimento, areia e, por vezes, gravilhas, com muito peso próprio e um mau comportamento higrotérmico, não são aconselháveis na construção de alvenarias de paredes exteriores, contudo, ao contrário destes, os blocos de argila expandida e os blocos de betão celular autoclavado, apesar de conterem muita energia incorporada na sua constituição, preenchem todos os requisitos capazes de competir com os tijolos cerâmicos usados na alvenaria tradicional. (2018, p. 217).

### **3.5.1. PAREDES EM ALVENARIA DE BLOCOS DE BETÃO**

Os blocos de betão, também designados por blocos de cimento, são compostos por cimento Portland, areia e gravilhas, e nalguns casos sem gravilhas. (Pinto, 2018, p. 217).

O uso de blocos de betão na nossa construção no início do século XX, quando surgiram, não teve grande adesão. Pois a qualidade variável, maioritariamente má,

---

<sup>22</sup> Clínquer é o material resultante da calcinação de calcário e argila, usado como matéria-prima do cimento.

pelos métodos e meios de fabrico disponíveis na altura, fez com que não fossem utilizados durante vários anos. (Branco, 1993, p. 91).

Nas últimas décadas do século passado, aliados às novas tecnologias, com sistemas e maquinaria de produção inovadores, começaram a surgir novamente os blocos de betão no mercado nacional, com qualidade e regularidade dimensional, apresentando superfícies agradáveis dispensando acabamento em paredes de face à vista ou sendo acabados com finas camadas de revestimento. (Eça *et al.*, 2008, p. 40).

### 3.5.1.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

Na construção convencional é frequente o uso de estrutura porticada de betão armado com alvenaria de enchimento de tijolo ou blocos derivados do betão. Em edifícios até dois pisos, a construção de alvenarias armadas (Ilustração 80) traduz-se em significativa redução de custos e tempo de execução, em melhoria do comportamento às acções sísmicas, em panos duplos com execução mais simples e em resolução da problemática das forras térmicas. (Mascarenhas, 2004, p. 89).

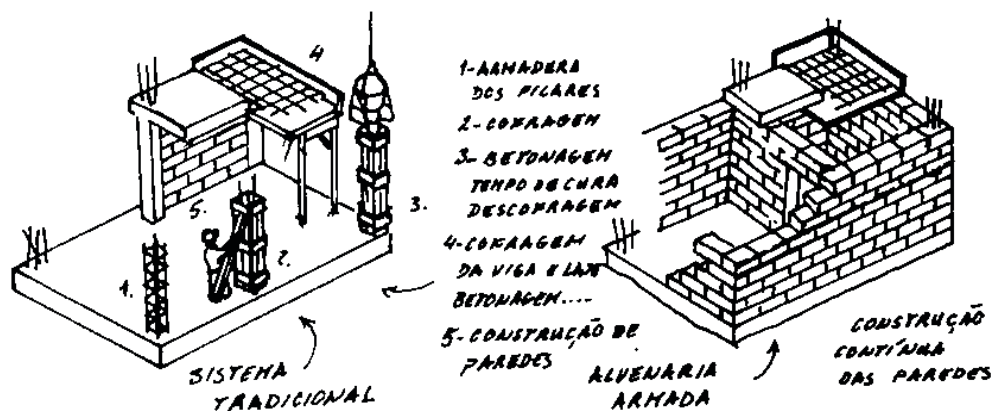


Ilustração 80 – Sistema de construção de alvenaria de blocos de betão tradicional e alvenaria. (Mascarenhas, 2004, p. 89).

Os blocos de cimento apresentam-se actualmente maciços ou furados (Ilustração 81). Quando furados, e segundo Eça *et al.* (2008, p. 20) “nos blocos furados a área dos furos não deve ser superior a 50% da secção aparente normal à orientação dos furos e a espessura das paredes e septos não deve ser inferior a 3 cm.”



Dimensão e formas (comp. x alt. x esp.) (cm)		Peso aprox. (kg)	Furação (%)	Resistência à Compressão <sup>(1)</sup> (MPa)
(50 ou 40) x 20 x 30		20-29	45-65	3,5-4,5
(50 ou 40) x 20 x 25		20-25	45-65	3,0-4,5
(50 ou 40) x 20 x 20		15-22	40-50	3,0-4,5
(50 ou 40) x 20 x 15		12-18	40-50	4-5
(50 ou 40) x 20 x 12		12-15	40-50	4-5
(50 ou 40) x 20 x 10		10-13	30-50	4-5
(50 ou 40) x 20 x 8		8-12	30-50	4-6
(50 ou 40) x 20 x 5		8-10	-	6-8

(1) Expressa em termos de área aparente, não normalizada por factores de forma

**Ilustração 81** – Características dos blocos de betão correntes em Portugal. (Sousa, 2002, p. 29).

Assim como no processo de execução de travamento usado nas paredes exteriores dos edifícios antigos em pedra, os blocos de cimento, seguem o mesmo princípio. Estes devem ser travados, sejam maciços ou furados, mas o mesmo deve ser sempre feito a meio do comprimento dos blocos, no caso dos furados respeitando a sobreposição total dos septos, também por uma questão de resistência no suporte das cargas. (Branco, 1981, p. 103).

No assentamento de blocos maciços de betão, devem aplicar-se as regras da enxilharia de pedra, a massa deve ser aplicada de forma uniforme com uma camada muito fina, não molhando os blocos, e a argamassa de assentamento deve ser muito fluída, sendo composta por cal, pó de pedra e cimento (nas proporções 3:1:1). O travamento pode ser feito de forma arbitrária, evitando o alinhamento das juntas verticais, permitindo uma otimização das peças cortadas e facilitando o assentamento. (Branco, 1993, p. 158).

Nos blocos furados (Ilustração 82), aplica-se a massa de assentamento nos topos verticais dos blocos, sendo depois assente devidamente alinhado sobre a fiada anterior que levou a massa no intervalo livre dos topos. (Branco, 1981, p. 104).



**Ilustração 82** – Diversos blocos de betão. (Febe, 2020).



**Ilustração 83** – Parede de blocos de betão à vista. (Febe, 2020).

Os blocos de betão permitem diversos tipos de acabamentos, podendo no entanto ficar à vista (Ilustração 83), e em muito se assemelham ao método de execução das alvenarias de tijolo cerâmico, seja de pano simples ou duplo. Sendo, no entanto, utilizados maioritariamente em alvenarias exteriores de pano simples, onde é frequente o uso dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior (ETICS), acabados com pintura, também são usados em suportes rígidos de paredes ventiladas, com isolamento térmico pelo exterior e revestimentos desligados do suporte como pedra, cerâmica, entre outros. Nas alvenarias de pano duplo a sua constituição é similar à parede dupla de tijolo, constituída por dois panos, caixa-de-ar, isolamento térmico pelo interior dos panos ligado ao paramento interior, rebocado pelo exterior e pintado, e estucado e pintado pelo interior, sendo estes acabamentos os mais usuais.

#### **3.5.1.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA**

Os blocos de betão permitem um fácil assentamento, uma boa resistência à compressão, mas as aberturas de roços, para a colocação das tubagens para as instalações técnicas, não são fáceis de executar. (Eça *et al.*, 2008, p. 40).

Caracterizado por possuir uma elevada resistência à compressão, o betão, contrariamente, apresenta uma baixa resistência à tracção. Quando reforçado com armaduras de aço, o betão melhora o seu comportamento mecânico, respondendo de forma positiva à tracção, permitindo um prolongamento considerável no tempo de deformação de elementos mais dúcteis até que atinjam a fase de ruptura. (Torgal e Jalali, 2010a, p. 267).

O aumento da espessura dos paramentos de alvenaria pode contribuir para melhorar as suas capacidades mecânicas, resistindo melhor às acções externas e deformações do suporte, aumentando a sua capacidade de resistir à penetração das águas da chuva e melhorando a sua inércia térmica interior (só se houver paramento interior). (Santos, 2007, p. 56).

#### **3.5.1.3. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO**

Sendo os blocos de betão, um composto derivado do cimento, possuem uma massa própria pesada e com grande transmissão higrotérmica, daí não serem os mais adequados para a construção de paredes exteriores. (Eça *et al.*, 2008, p. 40).

Se aplicados isoladamente, apresentam um mau comportamento de isolamento térmico. Devem ser compensados na sua construção com sistemas de isolamento térmico, idealmente aplicados pelo exterior para garantirem melhores prestações de conforto do espaço interior do edifício.

#### **3.5.1.4. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Contrariamente ao mau desempenho enquanto isolante térmico, as alvenarias de blocos de betão apresentam boas prestações enquanto isolantes acústicos. (Eça *et al.*, 2008, p. 40).

A aplicação de isolamento térmico, frequentemente lã mineral (MW), funciona também como absorvente sonoro, em paredes exteriores duplas confere isolamento térmico e ajuda a melhorar o desempenho acústico. (Santos, 2007, p. 61).

#### **3.5.1.5. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

Os bloco de betão, devido à sua composição são incombustíveis, retardando a combustão do fogo em caso de incêndio. Sendo uma vantagem, se ocorrer um incêndio, no caso da evacuação do edifício.

Nas paredes em alvenaria de blocos de cimento, são essencialmente os revestimentos e isolamentos térmicos utilizados, que podem alterar a resistência dos blocos ao fogo. Os revestimentos compostos por materiais orgânicos, devem ser resistentes ao fogo e não favorecer a propagação do fogo. Optar por isolamentos não derivados do petróleo garante a resistência da parede exterior ao fogo. (Santos, 2007, p. 47).

Quando expostos à água e outros organismos, devido à sua elevada permeabilidade, são propícios à proliferação e desenvolvimento de fungos e bactérias.

#### **3.5.1.6. DURABILIDADE**

A sua elevada permeabilidade à água (líquidos) e gases, dão origem à carbonatação dos blocos de betão, fragilizando a sua resistência e comprometendo a sua durabilidade, principalmente quando utilizados em alvenarias de paredes exteriores. Devendo os suportes rígidos ser impermeabilizados com soluções impermeáveis à água mas permeáveis ao vapor.

#### **3.5.1.7. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

O betão é um dos materiais mais usados na indústria da construção, os seus blocos na construção de edifícios de habitação não é muito usual, essencialmente pelas deficientes prestações higrotérmicas que apresenta, sendo o seu uso evitado. Os blocos de betão devido ao seu peso próprio, têm grandes custos de transporte associados que se traduz em impactes ambientais, requer de muita matéria-prima para a sua produção tendo muita energia incorporada na sua transformação.

O processo de produção do betão consome uma grande quantidade de energia fóssil e de recursos naturais não renováveis, emitindo assim quantidades consideráveis de gases nocivos, como o dióxido de carbono, que só contribuem para o agravamento do aquecimento global do planeta. Procurar formas ecologicamente mais correctas de usar na indústria da construção, aproveitando na mesma as suas capacidades

estruturais, é um passo importante para um futuro mais sustentável. Por isso, é importante compreender a potencialidade do betão, assim como as suas fraquezas. Procurar soluções sustentáveis, pode significar criar novos materiais e novas tecnologias, mas também pode ser tão simples como usar o mesmo material de forma mais inteligente, consciente e eficiente.

### 3.5.1.8. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO

Apesar de alguns inconvenientes que apresentam, os blocos de betão, também apresentam algumas vantagens que ajudam a colmatar essas falhas. A sua boa resistência à compressão, o bom isolamento acústico, a resistência ao fogo, o fácil assentamento, permite a aplicação de diversos tipos de revestimentos e acabamentos e o razoável custo, são factores positivos para a sua continuidade. (Eça *et al.*, 2008, p. 40).

Já no caso dos custos, por se tratar um material com algum peso próprio, o seu transporte torna-se mais dispendioso comparado com alguns tijolos ou blocos.

Na Tabela 7 são mencionados os pontos fortes e fracos a considerar na sua viabilidade construtiva.

**Tabela 7** – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de blocos de betão, quando comparados com as construções convencionais.

PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matérias-primas inorgânicas</li> <li>▪ Boa resistência à compressão</li> <li>▪ Não-tóxico</li> <li>▪ Isolamento acústico</li> <li>▪ Elevada resistência ao fogo</li> <li>▪ Dimensões dos blocos uniforme e aspecto agradável</li> <li>▪ Fácil assentamento, em alvenarias armadas menor tempo de execução</li> <li>▪ Maior resistência sísmica em alvenarias armadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevado peso próprio</li> <li>▪ Quando exposto pode ocorrer degradação precoce por acção das intempéries</li> <li>▪ Elevada absorção de humidade</li> <li>▪ Mau isolante térmico (requer isolamento térmico complementar)</li> <li>▪ Difícil abertura de roços</li> <li>▪ Custos de transporte mais altos devido ao seu peso próprio</li> <li>▪ Muita energia incorporada no seu fabrico</li> </ul>

Fonte: Adaptado a partir de: Eça *et al.* (2008, p. 20).

### 3.5.2. PAREDES EM ALVENARIA DE BLOCOS DE ARGILA EXPANDIDA

Os blocos de argila expandida, são blocos de aglomerados leves derivados do betão, constituídos por argila expandida, cimento, areia e água, e quando aplicados na execução de alvenarias de paredes exteriores, apresentam algumas vantagens

quando comparados com outras tipologias convencionais, como é o caso dos blocos de betão. São mais leves e possuem boas características, entre elas têm um bom isolamento térmico, sendo competitivos face ao tijolo cerâmico corrente, apesar de conterem muita energia incorporada associada ao seu fabrico.

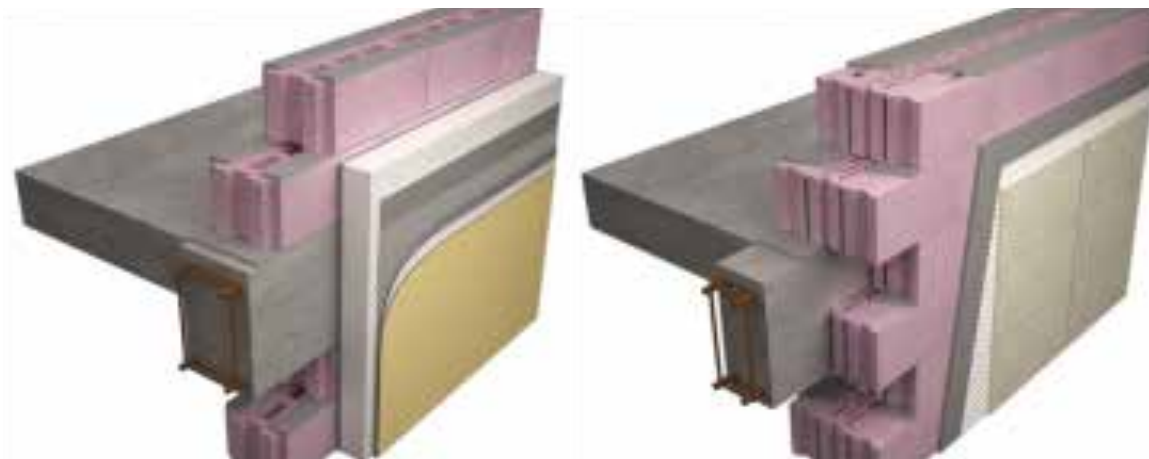
### 3.5.2.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

As alvenarias das paredes exteriores de blocos de argila expandida seguem as mesmas regras de travamento que o tijolo convencional, com juntas verticais contrafiadas. O seu assentamento deve ser efectuado com juntas horizontais argamassadas e juntas verticais secas, pelo sistema de encaixe que apresentam nos topos, com excepção de alguns blocos de alvenaria estruturais que devem ser argamassados só em certos pontos . No assentamento dos blocos de maior espessura, as juntas horizontais devem ser aplicadas de forma descontínua formando duas tiras de argamassa laterais, excluindo algumas excepções. Contribuindo para a redução de pontes térmicas e dificultando a penetração da água (Leca, 2018, p. 17-18).



**Ilustração 84** – Juntas horizontais de assentamento de alvenaria de blocos de argila expandida. (Leca, 2018, p. 18).

O arranque do paramento deverá ser impermeabilizado antes da aplicação da primeira fiada de alvenaria, prevenindo a ascensão de humidade por capilaridade. Para garantir uma correcta aplicação das argamassas de assentamento horizontais, deve ser usado um dispositivo próprio fornecido pelos fabricantes (Ilustração 84), para assegurar a espessura de argamassa indicada e evitar que esta se deposite nos furos dos blocos. (Leca, 2018, p. 18).



**Ilustração 85** – Parede exterior de alvenaria de blocos de argila expandida com sistema ETICS. (Leca, 2018, p. 18).

**Ilustração 86** – Parede exterior de alvenaria de blocos de argila expandida isolantes portantes. (Leca, 2018, p. 18).

Os blocos de argila expandida apresentam uma elevada resistência sendo bastante leves, permitindo executar alvenarias de enchimento (Ilustração 85) e isolantes portantes (Ilustração 86), sendo uma opção em relação aos revestimentos isolantes. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 147).

As suas alvenarias de pano simples, permitem diversos tipos de revestimentos, como rebocos minerais (isolantes ou não), sistemas ETICS, cerâmicos ou pedra natural (Leca, 2018, p. 6).

### **3.5.2.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA**

Os blocos de argila expandida cuja a estrutura interna é celular, comporta mais ar, logo implica maior leveza e menor sobrecarga estrutural. Uma enorme vantagem enquanto parede de enchimento, pois alivia os esforços que a estrutura do edifício tem de comportar. A sua textura contribui para uma melhor aderência das argamassas de assentamento, dando mais estabilidade à parede. Apresentam boa resistência à compressão, mas quando aplicados em paredes menos densas e sem rebocos, mostram ser pouco resistentes ao choque. Sendo igualmente de fraca resistência e de difícil execução na abertura de roços para a aplicação das instalações técnicas embutidas. (Eça *et al.*, 2008, p. 40 ; Branco, 1993, p. 90).

### **3.5.2.3. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO**

Esta tipologia de paredes quando desprotegida, ainda sem revestimento, e exposta à água, apresenta uma fraca resistência, pois é muito absorvente. Os blocos por serem

constituídos por uma estrutura alveolar interna, apresentam uma elevada inércia térmica e garantem um maior isolamento térmico, dando melhor resposta às trocas de calor entre os dois paramentos e diminuindo o risco de condensações, em relação a outras soluções convencionais (Eça *et al.*, 2008, p. 40-41 ; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 147). Contudo, existem soluções que permitem satisfazer a execução de paredes exteriores, sem necessidade de isolamentos térmicos/acústicos complementares, cumprindo a exigências regulamentares em vigor (Sousa, 2002, p. 32).

#### 3.5.2.4. ISOLAMENTO ACÚSTICO

Os blocos de argila expandida (Ilustração 87) por possuírem um baixo peso próprio, apresentam um menor isolamento acústico na transmissão do som pelo ar (Eça *et al.*, 2008, p. 41). No entanto, existem soluções de blocos especiais que optimizam as propriedades de isolamento e absorção acústica conseguindo criar dando uma boa resposta ao conforto acústico interior, dispensando, nalguns casos, até o uso de isolamento complementar (Ilustração 88). (Leca, 2018, p. 6).



**Ilustração 87** – Bloco de argila expandida, para alvenarias exteriores em pano simples de enchimento. (Leca, 2018, p. 23).



**Ilustração 88** – Bloco de argila expandida para alvenarias exteriores em pano simples, de enchimento ou resistente, revestidos com reboco mineral isolante ou não. (Leca, 2018, p. 24).

#### 3.5.2.5. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS

Comparando com outras tipologias convencionais, as alvenarias de blocos de argila expandida, por não conterem quaisquer materiais orgânicos, são extremamente resistentes à acção do fogo, mostrando também elevada resistência à exposição a produtos alcalinos e ácidos (Eça *et al.*, 2008, p. 40). Contudo, quando aplicados em



paredes exteriores a sua resistência em muito depende dos materiais que constituem o seu sistema de isolamento térmico.

Sendo um material com uma elevada absorção de humidade quando desprotegidos, são propensos ao desenvolvimento de micro-organismos na sua superfície. (Eça *et al.*, 2008, p. 41).

#### **3.5.2.6. DURABILIDADE**

Os blocos de argila expandida são compostos por materiais inorgânicos, apresentando uma elevada durabilidade (Leca, 2018, p. 6). Onde aliados a uma adequada e periódica manutenção, contribuem para o aumento do ciclo de vida útil do edifício onde estão inseridos.

#### **3.5.2.7. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

No seu fabrico, os blocos de argila expandida têm muita energia incorporada, mas necessitam de substancialmente menos energia e o nível de emissões de CO<sub>2</sub> é menor, quando comparados aos tijolos correntes, e apresentam melhores prestações de isolamento térmico. São recicláveis e possibilitam uma execução limpa das alvenarias, contribuindo para uma redução da produção de resíduos em obra (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 146-147). A sua eficiência térmica contribui para um menor consumo energético associado à necessidade de aquecimento e arrefecimento do espaço interior do edifício. (Leca, 2018, p. 31).

#### **3.5.2.8. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO**

Os blocos de argila expandida, as suas dimensões e faces regulares, permitem uma rápida e eficaz aplicação em obra, economizando em tempo e mão-de-obra, quando comparados a outras soluções convencionais. (Eça *et al.*, 2008, p. 40).

A produtividade na execução deste tipo de alvenaria, é superior a algumas alvenarias convencionais, assim como o consumo de argamassa de assentamento é substancialmente menor, contribuindo para uma redução global de custos associados. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 147).

**Tabela 8** – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de blocos de argila expandida, quando comparados com as construções convencionais.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matérias-primas naturais e inorgânicas</li> <li>▪ Fácil manuseamento, maior produtividade e menor tempo de execução</li> <li>▪ Baixa condutibilidade térmica, elevado isolamento térmico</li> <li>▪ Elevada resistência ao fogo e não-tóxico</li> <li>▪ Reduzidos custos de transporte e construção (devido à sua leveza)</li> <li>▪ Elevada solidez com capacidades portantes e reduzido peso próprio</li> <li>▪ Permite argamassas de assentamento finas</li> <li>▪ Requer menos energia na produção dos blocos (que o tijolo cerâmico corrente)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevado grau de absorção de humidade sem revestimento</li> <li>▪ Fraca resistência ao choque</li> <li>▪ Dificil execução de roços</li> </ul>

Fonte: Adaptado a partir de: Leca (2018, p. 6-9) ; Eça *et al.* (2008, p. 40-41).

### **3.5.3. PAREDES EM ALVENARIA DE BLOCOS DE BETÃO CELULAR AUTOCLAVADO**

A cal, como material de construção, tem um uso muito frequente na composição de diversas argamassas. Seja de forma isolada ou misturada com outros ligantes ou aditivos, é um material muito versátil. Pela sua plasticidade e trabalhabilidade, enquanto frescas, e de rigidez consistente após o endurecimento. Contudo, também se encontram no fabrico de blocos de construção, entre outros elementos construtivos, contribuindo para a redução da quantidade de cimento incorporada. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 48).

O betão celular autoclavado (ACC)<sup>23</sup> surgiu em 1914 na Suécia, tendo sido descoberto pelo arquitecto Johann Axel Erikson, e só mais tarde, em 1924, é que foi patenteado. É um produto resultante da reacção química entre cal gorda, cimento "Portland" normal, areia siliciosa, água e pó de alumínio. Esta mistura, depois de dilatar, é sujeita a um processo de cura (solidificar) em autoclave (câmara de vapor de alta pressão), que dá origem à formação de compostos estáveis de silicato de cálcio, onde o pó de alumínio confere ao betão celular uma estrutura porosa. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 160).

Após a Segunda Guerra Mundial, uma tecnologia de corte dos blocos, com os formatos pretendidos e rigor adequado, foi conseguida através de um método preciso

<sup>23</sup> Sigla do inglês "Autoclaved Cellular Concrete".

e inovador na época, por meio de fios de aço tensionados seccionando os blocos com grande precisão e sem se deformarem.

Na Alemanha, no período pós-guerra, recorreu-se ao uso de blocos de betão celular autoclavado na reconstrução das cidades atingidas pelos bombardeamentos, mas foi no início dos anos 60 que os blocos de ACC alcançaram o ponto mais alto na construção. O sua aceitação deveu-se à sua precisão dimensional, única na época, permitindo a construção de paredes aparentemente contínuas recorrendo a camadas muito finas de argamassa no assentamento. (Xella - Ytong, 2020).



**Ilustração 89** – Cura de betão celular em autoclave, Guerreiro, 2002. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 49).

A cal é um dos materiais constituintes dos blocos de betão celular autoclavado, também designados por blocos celulares silico-calcários endurecidos em autoclave (Ilustração 89). (Branco, 1993, p. 89).

Ao contrário do que acontece noutros países, Portugal não é grande consumidor deste tipo de material na indústria da construção, apesar de ter um grande potencial conseguindo dar resposta a "[...] todas as exigências funcionais dos elementos construtivos, permitindo ainda grande flexibilidade de desenho e prazos de construção reduzidos." (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 161).

Segundo Ricardo Mateus e Luís Bragança, o seu uso a nível nacional está praticamente condicionado à utilização dos blocos de ACC na execução de panos de alvenarias de enchimento, porque apesar dos diversos elementos estruturais

disponíveis, incluindo blocos adequados à execução de paredes resistentes, não são materiais usuais na nossa construção. (2006, p. 161).

Apesar de nos interessar nesta investigação os blocos de ACC para a alvenaria de paredes exteriores, é curioso referir que o betão celular autoclavado também é usado em diversos outros produtos de construção como: paredes interiores pré-fabricadas, painéis de laje, escadas, caixas de estore, elementos armados, entre outros.

### 3.5.3.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

No assentamento dos blocos de ACC (Ilustração 90), uma vez que são maciços, são usadas as mesmas regras da enxilharia de pedra ou dos blocos de betão maciços. (Branco, 1993, p. 158). Segundo Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006, p. 163-164), "a primeira fiada de blocos é assente nas fundações e nivelada utilizando-se uma argamassa convencional." Depois nas fiadas seguintes, os blocos devem ser argamassados com a aplicação de uma camada muito fina de massa passando depois uma espátula de dentes própria (Ilustração 91) para retirar o excedente ou usando uma colher, específica do fabricante, que permite estender a argamassa de forma contínua e regular, deixando sulcos contínuos, que com pequenas pancadas de um martelo de borracha sobre o bloco assente, é atribuída uma adequada aderência no assentamento. Como são blocos com um mau comportamento à humidade, molhá-los não é opção. Assim, a massa de assentamento deve ser a adequada para este tipo de material, que se encontra disponível no mercado. (Portland Cement Association, 2019).



**Ilustração 90** – Assentamento de blocos de betão celular em autoclave, Mateus, 2004. (Coelho, Torgal e Jalali, 2009, p. 50).

O travamento neste tipo de blocos não é tão rigoroso como nos blocos furados, pois é possível ser aplicado de forma mais desfasada, desde que nunca coincidam as juntas verticais entre fiadas, permitindo assim um maior aproveitamento dos cortes. Os blocos são cortados nas dimensões pretendidas através de serrotes, com a ajuda de um esquadro (Ilustração 92), ou com serras eléctricas, garantindo cortes perfeitos e regulares, permitindo uma execução rápida e fácil. A regularização de pequenas falhas é possível através do lixamento da superfície. (Xella - Ytong, 2020).



**Ilustração 91** – Assentamento e aplicação de argamassa nos blocos com espátula de dentes. (Xella - Ytong, 2020).



**Ilustração 92** – Corte dos blocos de betão celular autoclavado com serrote e esquadro. (Xella - Ytong, 2020).

Por se tratar de um material macio, a abertura de roços e de pequenos orifícios, para embutir as tubagens das instalações técnicas, é muito simples recorrendo a equipamentos mecânicos ou manuais adequados para esse fim e disponibilizados pelos fabricantes do sistema construtivo. Na sua perfuração ou corte mecanizado, a produção de pó pode ser um factor negativo neste material, onde deve ser considerado o uso de protecção adequada aos olhos e às vias respiratórias, como óculos e máscara, para evitar acidentes resultantes da libertação de pequenas partículas e a inalação do pó libertado durante a sua execução no local. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 164).

Os blocos de ACC são usados em paredes exteriores de pano simples sem necessitar de isolamento térmico adicional, podendo no entanto ser utilizado, existindo já soluções com o isolamento integrado (Ilustração 93), sendo depois acabados com rebocos finos de revestimento em ambas as faces, terminados com pintura. Permitem criar paredes exteriores com função de enchimento, mas com os blocos de ACC indicados, também é possível construir paredes exteriores resistentes. (Xella - Ytong, 2020).



**Ilustração 93** – Blocos de betão celular autoclavado com isolante integrado. (Xella - Ytong, 2020).

Na alvenaria de blocos de ACC de encaixe macho-fêmea, em paredes de enchimento, a argamassa de assentamento só se aplica nas juntas horizontais, pois os topos com sistema de encaixe, que formam as juntas verticais, não devem ser argamassadas (Ilustração 94), evitando assim condutibilidade higrotérmica através das argamassas. (Xella - Ytong, 2020).



**Ilustração 94** – À esquerda, bloco de betão celular autoclavado com pegas - sistema de encaixe macho-fêmea, à direita, assentamento de ACC com pegas em parede exterior de enchimento. (Xella - Ytong, 2020).

Conforme referem os autores Ricardo Mateus e Luís Bragança, nas alvenarias de enchimento, por uma questão estrutural e por forma a dar resposta à resistência sísmica em situações de mais do que um piso de altura, é normalmente usada uma estrutura resistente porticada, seja em betão armado, madeira ou aço, de modo a que as cargas horizontais transmitidas sejam absorvidas. A sua integração com pórticos de madeira e aço é muito fácil em termos de execução e adequação. Estas paredes, não resistentes, são agarradas à estrutura resistente porticada de betão armado ou aço através de elementos de ligação apropriados. (2006, p. 162-164).



**Ilustração 95** – Edifício público construído com blocos de betão celular autoclavado. (Xella - Ytong, 2020).

As alvenarias de blocos de ACC permitem uma vasta gama de acabamentos, podendo ser fixados mecanicamente (parede ventilada) ou por colagem directa ao suporte rígido, assemelhando-se assim às alvenarias de tijolo cerâmico convencionais. No caso dos revestimentos fixados por colagem, idealmente devem ser utilizados materiais mais leves. (Portland Cement Association, 2019).

Existem disponíveis no mercado argamassas de estuque específicas para aplicar em alvenarias de blocos de ACC. A sua composição evita a passagem da água através do paramento, mas é permeável ao vapor permitindo a sua passagem. (Portland Cement Association, 2019).

### **3.5.3.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA**

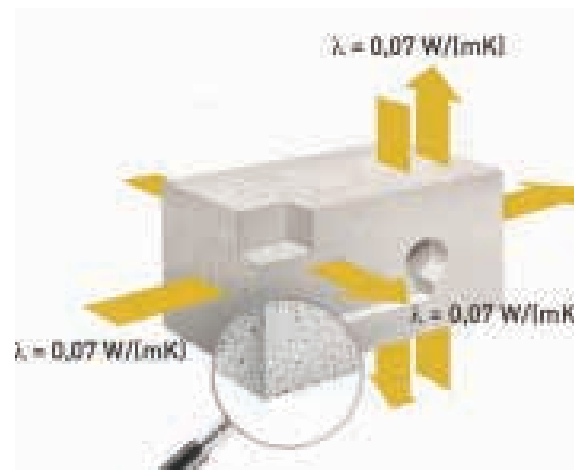
Os blocos de ACC pela estrutura celular porosa que apresentam, são bastante leves, variando entre os 550 e 850Kg/m<sup>3</sup>, mostrando um bom desempenho face à sua resistência mecânica. (Branco, 1993, p. 89).

Os blocos de betão celular autoclavado, permitem a execução de alvenarias com excelentes capacidades de suporte de carga e resistência anti-sísmica. Por apresentarem boas propriedades dúcteis, os blocos de ACC, resistem bem aos choques e terremotos. (Xella - Ytong, 2020).

### 3.5.3.3. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

Quanto ao isolamento térmico, os blocos de ACC apresentam um coeficiente de condutibilidade térmica bastante baixo (Ilustração 96), significando uma capacidade isolante muito elevada. Por isso é, que na construção de paredes exteriores, dispensam a utilização de sistemas de isolamento. O comportamento dos blocos enquanto isolante térmico, é invariável, mantém-se constante em toda a sua massa, contribuindo assim para a significativa redução de pontes térmicas. (Xella - Ytong, 2020).

A natureza do material dos blocos de ACC, permeável ao vapor, absorve a humidade interior e previne condensações. (Xella - Ytong, 2020).



**Ilustração 96** – Coeficiente de condutibilidade térmica dos blocos de betão celular autoclavado, quanto mais baixo o coeficiente maior a sua capacidade isolante. (Xella - Ytong, 2020).

A estrutura molecular peculiar do ACC, que se assemelha à de uma pedra-pomes, é composta por milhões de minúsculos poros vazios, que são pequenos acumuladores de calor e ajudam a evitar as perdas de energia no Inverno (Ilustração 97 à esquerda). Possuindo uma baixa inércia térmica e uma baixa condutibilidade térmica, o que faz destes materiais uma eficiente opção em climas muito frios, com temperaturas baixas e dependentes de aquecimento do espaço interior. (Xella - Ytong, 2020).





**Ilustração 97** – Comportamento térmico dos edifícios construídos com blocos de betão celular autoclavado quando comparados com outros edifícios com outros tipos de blocos convencionais, à esquerda no Inverno e à direita, no Verão. (Xella - Ytong, 2020).

No Verão (Ilustração 97 à direita), os blocos de ACC por serem bons isolantes térmicos, evitam as variações de temperatura, regulam a humidade interior e graças à sua constituição porosa, que o torna permeável ao ar, garantem uma qualidade e renovação adequada do ar, atribuindo conforto ao espaço interior e contribuindo assim para a saúde dos seus utilizadores. (Xella - Ytong, 2020).

#### **3.5.3.4. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Acusticamente, os blocos de ACC por apresentarem um baixo peso próprio, devido à sua estrutura celular, quando aplicados em paredes exteriores com alguma espessura, conseguem garantir um isolamento acústico mais adequado.

Contudo, em alvenarias pouco espessuradas, se revestidas, em ambos os lados, com um reboco de pelo menos 10mm de espessura, o seu desempenho de isolamento acústico melhora consideravelmente. (Eça *et al.*, 2008, p. 42).

#### **3.5.3.5. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

Os blocos de betão celular autoclavado possuem excelentes propriedades de resistência ao fogo. Sendo incombustíveis, resistem até 3 horas de protecção contra incêndio, sendo dos materiais de construção que apresentam melhor comportamento, usado muitas vezes como barreira de protecção para outros materiais. Quando expostos a temperaturas elevadas, como as causadas por incêndios, não queimam nem libertam substâncias tóxicas na sua exposição a elevadas temperaturas. (Xella - Ytong, 2020).

Quanto à sua resistência aos micro-organismos, os blocos de ACC mostram ser bastante eficazes, não sendo a sua composição propícia ao aparecimento de fungos ou outros organismos vivos. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 161).

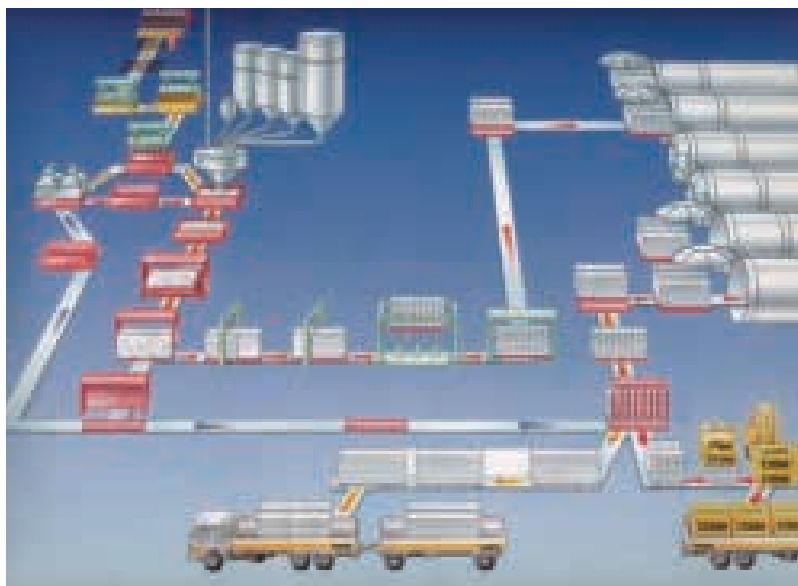
### 3.5.3.6. DURABILIDADE

Ao contrário dos blocos de betão, os blocos de betão celular autoclavado quando expostos a condições atmosféricas normais não se degradam, nem alteram as suas propriedades físicas em condições climáticas adversas. A sua estrutura celular porosa fragiliza este material quando sujeito a grandes impactos ou punçoamento, mas ainda assim é um material resistente e com capacidades portantes. (Xella - Ytong, 2020).

É um material que requer um acabamento de revestimento protector, pois por se tratar de um material formado por uma estrutura celular porosa fica mais vulnerável quando exposto, podendo deteriorar-se. (Portland Cement Association, 2019).

### 3.5.3.7. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

Os blocos de betão celular autoclavado são um produto inorgânico e reciclável constituído por matérias-primas naturais, como a areia, a cal, o cimento e a água, e na sua produção, a tecnologia de transformação usada é amiga do ambiente, pois não carece de muita matéria-prima, tendo consumos energéticos muito baixos e os poucos desperdícios resultantes da sua produção, que são totalmente reciclados voltando a ser inseridos num novo processo de produção, havendo assim um aproveitamento total das matérias-primas (Ilustração 98). Também durante a sua produção ou até mesmo durante o ciclo de vida do edifício onde são inseridos, não são libertados quaisquer tipo de gases ou poluentes nocivos ao meio ambiente. (Xella - Ytong, 2020).



**Ilustração 98** – Etapas do fabrico dos blocos de betão celular autoclavado. (Xella - Ytong, 2020).

No âmbito da sustentabilidade, os blocos de ACC oferecem boas características materiais e um bom desempenho. Materialmente, podem conter materiais reciclados na sua fabricação, é um produto não tóxico e possui cerca de 80% de ar na sua constituição, contendo assim menos matéria-prima que outros materiais convencionais. Apresentam um bom desempenho quando aplicado em paredes exteriores, garantindo uma boa eficiência energética, sem perdas térmicas, capacidade isolante térmica elevada, minimizando o consumo energético para climatização, permeável ao vapor, mantendo níveis saudáveis de humidade relativa, criando um ambiente interior confortável e saudável. (Xella - Ytong, 2020).

#### **3.5.3.8. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO**

Os blocos de betão celular autoclavado são uma combinação utópica de materiais de construção, pois são fáceis de trabalhar como a madeira, com elevada resistência ao fogo e grande durabilidade como o tijolo, e ecologicamente similares ao silicato de cálcio. (Xella - Ytong, 2020).

As peças cortadas sobrantes, podem ser aproveitadas em novas alvenarias, uma vez que se tratam de blocos maciços, evitando assim desperdícios em obra e economizando custos.

As paredes podem ser acabadas com uma fina camada de 1 a 3mm de espessura, reduzindo o excesso de reboco, muitas vezes aplicado nas paredes executadas com materiais convencionais, diminuindo custos e tempo de execução. (Xella - Ytong, 2020). A fina camada de reboco, deve ser permeável ao vapor, mas deve impedir a passagem da água.

Pelo excelente desempenho térmico que apresentam, os blocos de ACC evitam a construção de paredes duplas otimizando o espaço interior útil contribuindo para a redução de custos associados.

A rapidez no assentamento proporcionada pela sua leveza e fácil manuseamento, conferem aos blocos de ACC características únicas em relação a outros blocos de construção. Os blocos de ACC permitem a construção de alvenarias totalmente monolíticas, com uma solidez elevada e baixo peso próprio. A facilidade de perfuração ou seccionamento dos blocos, são factores que contribuem para uma maior e mais eficaz produtividade, reduzindo tempo de execução e custos associados. Quando

comparados com o betão convencional, os blocos de ACC possuem cerca de metade do peso, reduzindo significativamente os custos de transporte e construção inerentes. (Xella - Ytong, 2020).

Um ponto negativo, neste sistema construtivo, que é maioritariamente constituído por elementos pré-fabricados com margens de erro menores, é o recurso a mão-de-obra qualificada e um devido acompanhamento de obra. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 171-172).

De facto, as construções com blocos de betão celular autoclavado garantem alguns dos requisitos mais significativos no âmbito da sustentabilidade, de modo a cumprir com as necessidades actuais e das gerações vindouras (Tabela 9).

**Tabela 9** – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de blocos de betão celular autoclavado, quando comparados com as construções convencionais.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matérias-primas naturais e inorgânicas</li> <li>▪ Fácil manuseamento, maior produtividade e menor tempo de execução</li> <li>▪ Facilidade de perfuração e seccionamento</li> <li>▪ Permeável ao vapor de água</li> <li>▪ Baixa condutibilidade térmica e elevado isolante térmico</li> <li>▪ Não-tóxico</li> <li>▪ Elevada resistência ao fogo</li> <li>▪ Reciclável</li> <li>▪ Reduzido ou nulo desperdício</li> <li>▪ Reduzidos custos de transporte e construção (devido à sua leveza)</li> <li>▪ Elevada solidez com capacidades portantes e reduzido peso próprio</li> <li>▪ Permite rebocos finos entre 1 a 3mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Quando exposto pode ocorrer degradação precoce por acção das intempéries</li> <li>▪ Prestações razoáveis de isolamento acústico (em paredes mais espessas e com rebocos mais expressivos o seu comportamento é mais adequado)</li> <li>▪ Frágil quando sujeito a grandes impactos ou punçoamento</li> <li>▪ Requer mão-de-obra qualificada e devido acompanhamento de obra</li> <li>▪ Menor resistência sísmica em paredes resistentes</li> <li>▪ Produção de poeiras durante a execução de alvenarias</li> <li>▪ Sistema constituído por elementos pré-fabricados com margens de erro menores</li> </ul>

Fonte: Adaptado a partir de: Mateus, R. e Bragança (2006, p. 173).

### **3.6. PAREDES EM ALVENARIA DE BLOCOS DE ENCAIXE DE BAIXO CARBONO**

A preocupação pelo uso de materiais de baixo carbono é cada vez mais um factor de escolha para se poder dar resposta a uma construção mais sustentável, minimizando assim os impactes negativos ambientais resultantes do sector da construção.

Materiais como a cortiça, a madeira e os seus derivados, o cânhamo, o linho, as fibras de coco, na sua maioria são recursos naturais de origem vegetal, oriundos de culturas ou florestas rotativas, que são acessíveis e normalmente abundam, de culturas não

alimentares e que contribuem também para a economia local. (Oliveira e Pinto, 2011, p. 74). São materiais de origem 100% natural, renováveis, com pouca energia embecida, sem emissões ou resíduos tóxicos, reutilizáveis ou recicláveis e que possuem uma vantagem em comum, todos actuam "[...] como "sequestradores de carbono", [...] durante todo o tempo de vida útil da construção, o que lhes confere uma característica de aliado à mitigação dos efeitos das alterações climáticas antropogénicas [...]." (Oliveira e Pinto, 2011, p. 70).

Os blocos de encaixe de baixo carbono são constituídos por materiais de baixo carbono destinados à construção de paredes exteriores de edifícios de pequeno porte, podendo ser utilizado para autoconstrução. (Pinto, 2018, p. 215).

No âmbito das duas competitivas vias da construção industrializada, o designado **tradicional evoluído**, que corresponde à construção *in situ*, e a **pré-fabricação**, que representa a construção em fábrica, total ou parcial, no uso dos materiais e tecnologias de aplicação, estão inseridos na primeira via, o tradicional evoluído, os "[...] "Blocos de encaixe com materiais de baixo carbono " para paredes exteriores de edifícios de baixa densidade." (Pinto, 2018, p. 217).

### 3.6.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

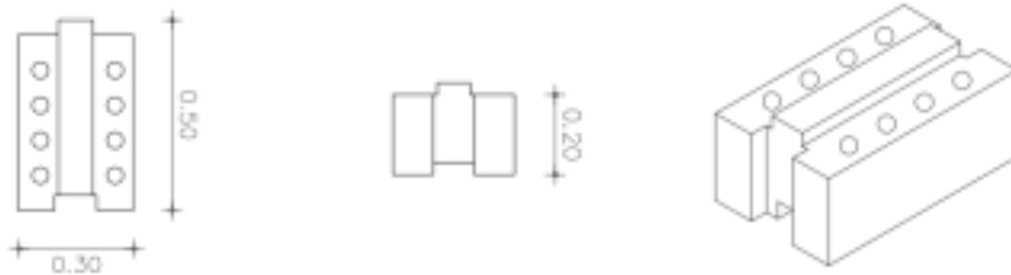
Conforme refere Reaes Pinto os blocos de cal de baixo carbono, são "[...] constituídos, essencialmente por materiais locais – utilizando, na sua construção a cal como aglutinante e aglutinados, com elevado nível de isolamento térmico, como o cânhamo, a cortiça (Ilustração 99), a fibra de coco, o bagaço de azeitona, o engaço, a casca de arroz." (2018, p. 218).



**Ilustração 99** – À esquerda, fibras de cânhamo (caule), à direita, granulado de cortiça, exemplos de aglutinados usados no fabrico dos blocos de encaixe de baixo carbono. (Eires, Jalali e Camões, 2007, p. 3-4).

A sua configuração e formato, tem preocupações ambientais que são muito importantes, e permite uma elevada produtividade, porque são blocos de encaixe que

se autonivelam no assentamento, pelo seu dimensionamento - 500 mm de comprimento, 200 mm de altura e 300 mm de largura (Ilustração 100) -, pelo seu peso próprio - materiais aglutinados leves, como o cânhamo, as fibras de coco, a cortiça, entre outros - e pelo assentamento dos blocos sem argamassa - com reforços pontuais se necessário -, permitindo um processo de execução de paredes mais rápida que os métodos tradicionais. (Pinto, 2018, p. 218).

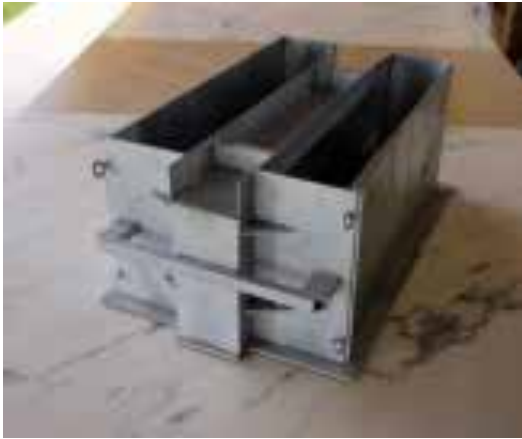


**Ilustração 100** – Da esquerda para a direita, planta, alçado e axonometria dos blocos de baixo carbono. (Pinto, 2018, p. 219).

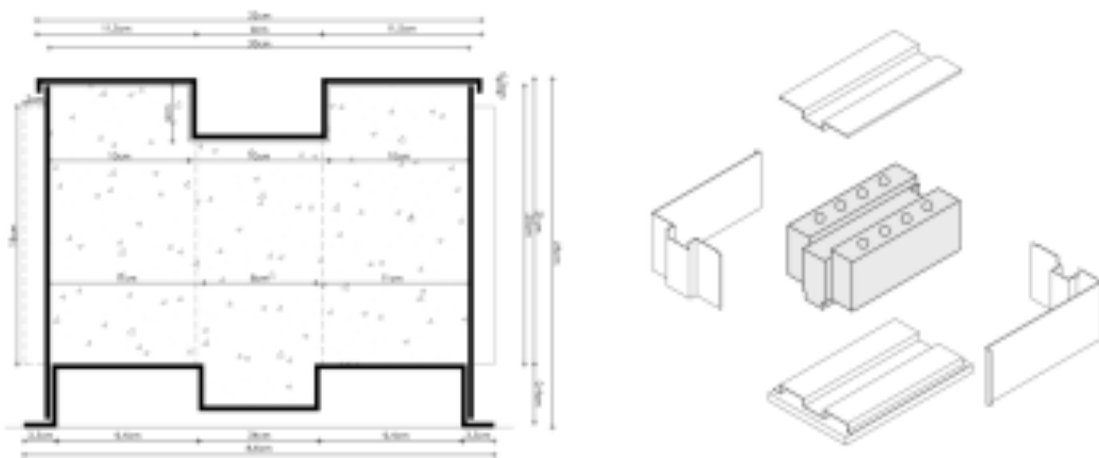
O método de construção dos blocos de cal de baixo carbono (Ilustração 101) consiste na colocação de uma mistura homogênea composta pelo aglutinante, a cal hidráulica, que aglutina os agregados, materiais de origem vegetal, fundamentalmente, grânulos de cortiça ou fibras cânhamo ou de coco, em moldes de chapa metálica (Ilustração 102) ou em madeira, com um sistema de encaixe de fácil montagem e desmontagem (Ilustração 103), que permite um grande número de utilizações sem se danificar ou alterar o seu dimensionamento. Após o enchimento dos blocos, segue-se a sua secagem natural, que lhes confere resistência. Para lhes conferir menor peso próprio, são colocados na massa que forma os blocos uns tubos de cartão tapados nos topos. (Pinto, 2018, p. 219-220).



**Ilustração 101** – Processo de execução dos blocos de encaixe de baixo carbono em moldes de chapa metálica. (Pinto, 2018, p. 220).



**Ilustração 102** – Molde em chapa metálica e bloco de cal de baixo carbono. (Pinto, 2018, p. 220).



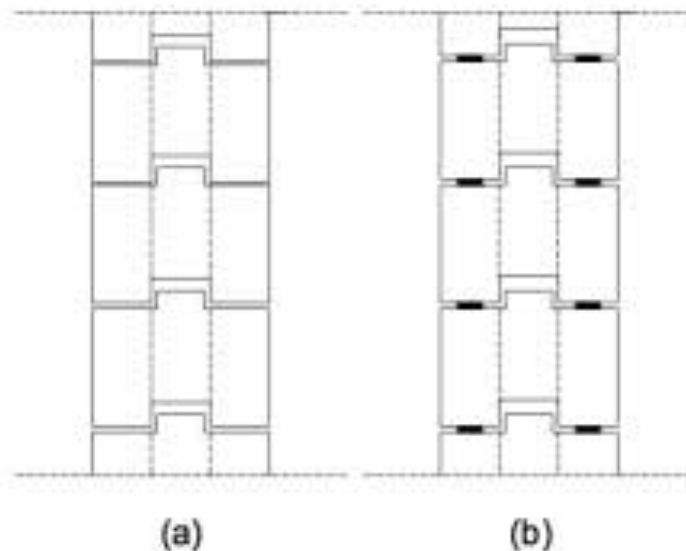
**Ilustração 103** – Dimensões e sistema de encaixe dos moldes de chapa metálica. (Pinto, 2018, p. 219).

Estes blocos foram desenvolvidos com o objectivo de permitir a construção de paredes exteriores de edifícios de pequeno porte, com funções resistentes ou de enchimento quando associados a uma estrutura porticada, baseado num sistema de construção tradicional evoluído, sendo todo processo realizado localmente. Tem como objectivo a sua aplicação em zonas com pouca densidade populacional, permitindo também a autoconstrução, facilitado pelo sistema de encaixe que apresentam (Ilustração 104). (Pinto, 2018, p. 218).



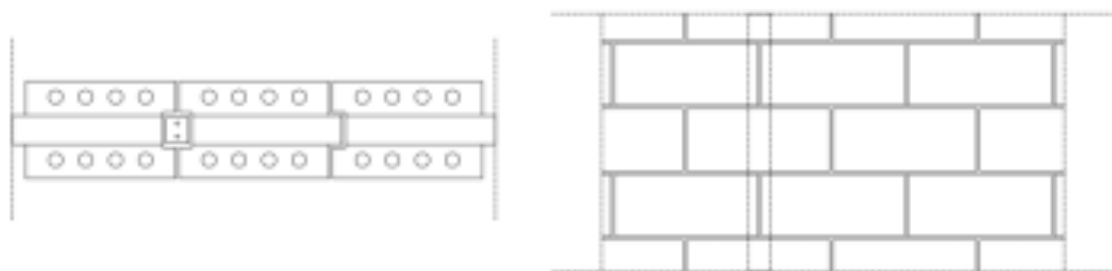
**Ilustração 104** – Elevação de parede realizada com blocos de encaixe de baixo carbono, moldes de construção de blocos em chapa metálica e em madeira. Blocos concebidos pelo Prof. Doutor. Arqt. Reaes Pinto. (Ilustração nossa, 2020).

O seu simples e fácil sistema de construção, é uma mais-valia face a outros blocos convencionais, permitindo uma execução bastante mais rápida. Na construção das paredes exteriores, são blocos de fácil manuseamento, com um sistema de encaixe que permite um adequado e fácil assentamento, com redução de argamassas de assentamento, uma vez que estas só são aplicadas nas bases periféricas de cada bloco, podendo dispensar totalmente as argamassas de assentamento, sendo neste caso a parede reforçada pontualmente, como se pode ver na Ilustração 105 e 106. (Pinto, 2018, p. 218).



**Ilustração 105** – Processo de execução das paredes com blocos de baixo carbono: a) sistema de encaixe sem argamassa; b) com reforço pontual de argamassa. (Pinto, 2018, p. 219).





**Ilustração 106** – À esquerda, planta de um segmento de parede com variações de encaixe dos blocos. À direita, elevação de parede realizada com blocos de baixo carbono. (Pinto, 2018, p. 219).

Esta tipologia de paredes exteriores, executadas com os blocos de encaixe de baixo carbono, para além de poderem ser rebocadas e pintadas, permitem também outros tipos de acabamentos, nomeadamente fixados mecanicamente ao suporte rígido. Os acabamentos podem ser diversos, tais como: sistemas de isolamento térmico pelo exterior, como os sistemas ETICS, dando preferência ao uso de materiais isolantes renováveis, como a cortiça, o cânhamo ou a lã mineral de rocha; revestimentos de cortiça, madeira ou pré-fabricados, como painéis de madeira, desligados do suporte e fixados mecanicamente através de pequenas estruturas; revestimentos de pedra ou cerâmicos, que dispensam a colocação de isolamento térmico devendo ser sempre aplicados desligados do suporte e fixados mecanicamente; entre outros. (informação verbal)<sup>24</sup>.

### 3.6.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA

Como outros blocos de construção tradicionais, os blocos de encaixe de baixo carbono, também permitem a construção de paredes exteriores com características resistentes, função só possível, porque estes apresentam uma boa resistência mecânica. (Pinto, 2018, p. 217-218).

Como referem os autores Coelho, Torgal e Jalali, a cal hidráulica, contribui para a resistência mecânica dos blocos.

A cal hidráulica proporciona às argamassas uma boa trabalhabilidade, um aumento da resistência mecânica, boa aderência às superfícies, um bom acabamento, maior rentabilidade de mão-de-obra, melhorando consideravelmente a qualidade da construção civil (2009, p. 34).

Segundo Coelho, Torgal e Jalali (2009, p. 19) a cal hidráulica tem na sua constituição hidróxidos de cálcio, silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio, esta tem a vantagem de

---

<sup>24</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

ganhar presa e endurecer quando emergida na água, assim como quando em contacto com o CO<sub>2</sub> por reacção com o hidróxido de cálcio.

Os autores Coelho, Torgal e Jalali (2009, p. 44) concluem que a cal hidráulica quando aplicada em paredes, na forma de argamassas, confere a capacidade desta absorver deformações. Mencionam ainda que, a carbonatação do hidróxido processa-se por perda de volume, fazendo com que o material se retraia, dando origem a fissuras. Por esse motivo, a introdução de agregados miúdos na elaboração das argamassas, em quantidades adequadas reduzem esses efeitos de retracção.

### **3.6.3. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO**

Devido à sua constituição, as paredes exteriores de blocos de baixo carbono são materiais com elevadas características de isolamento térmico, compostos por uma espessa massa térmica, são capazes de regular o teor de humidade interna, melhorando as condições de conforto e proporcionando um ambiente saudável, sem efeitos nefastos para a saúde, livre de poluentes tóxicos, quando comparado com outros materiais convencionais. (Oliveira e Pinto, 2011, p. 71).

Estes materiais apresentam, comparativamente, um leque de vantagens técnicas, no que respeita [...] à melhoria de características termo-higrométricas ligadas à capacidade de isolamento e à inércia térmica, e que se reflectem directamente na capacidade de regulação da temperatura, humidade e qualidade do ar interior. (Oliveira e Pinto, 2011, p. 70).

Estes blocos, quando aplicados nas paredes exteriores, como dispensam a colocação de argamassa no seu assentamento, porque funcionam com um sistema de encaixe, são argamassados apenas perifericamente em cada lado da parede, contribuindo assim para a anulação da transmissão higrotérmica, que na construção tradicional ocorre através da argamassa de assentamento. (Pinto, 2018, p. 218).

### **3.6.4. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Os blocos de baixo carbono, distinguem-se de outros blocos de construção convencionais por terem um excelente comportamento acústico, contribuindo para um ambiente mais saudável e não produzindo efeitos nefastos na saúde dos seus utilizadores. (Oliveira e Pinto, 2011, p. 71).

### **3.6.5. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

Os blocos de encaixe de baixo carbono, sendo constituídos por agregados de materiais vegetais, como grânulos de cortiça ou fibras de cânhamo ou de coco, e por cal hidráulica como aglutinante, apresentam um bom comportamento quando expostos ao fogo, assim como na resistência a bactérias e fungos (informação verbal)<sup>25</sup>.

### **3.6.6. DURABILIDADE**

Uma vez que existe a preocupação no sentido da sua reutilização, esta é possível pelas características que os blocos de baixo carbono apresentam. A opção da escolha de materiais renováveis e a tecnologia de aplicação, como o sistema de encaixe sem argamassa de assentamento e a aplicação do revestimento de acabamento fixado mecanicamente, são todo um conjunto de factores que permitem a sua reutilização e que contribuem para a sua maior durabilidade com qualidade, minimizando assim as anomalias e os custos de manutenção associados.

### **3.6.7. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

Contrariamente à maioria dos materiais convencionais, os blocos de baixo carbono, apresentam uma constituição assente em materiais locais, naturais e renováveis, oriundos de florestas ou de culturas rotativas para fins não alimentares, com pouca energia incorporada, não poluentes em termos de emissões e resíduos tóxicos, permitindo serem reutilizados, daí a importância da tecnologia de aplicação por encaixe e da fixação mecânica na aplicação do acabamento de revestimento ao suporte, e recicláveis. A sua reciclagem ou reutilização são uma grande vantagem no âmbito das questões ambientais, aumentando a sua duração de uso após o fim do ciclo de vida dos edifícios onde estão inseridos. Na fase de desconstrução e desmantelamento selectivo, que ocorre após o ciclo de vida dos edifícios onde estão incorporados, os blocos, pela configuração e constituição, permitem a sua integração no contexto duma economia circular. (Pinto, 2018, p. 216, 218).

Outro factor determinante, que é preponderante no âmbito da construção sustentável, é a sua função de "sequestrador de carbono" durante todo o tempo de vida útil do

---

<sup>25</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

edifício onde está inserido, mostrando ser um contributo na atenuação dos efeitos das alterações climáticas provocadas pela acção do Homem, contrariamente a outros materiais convencionais. (Oliveira e Pinto, 2011, p. 71).

### 3.6.8. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO

A tecnologia de aplicação associada é uma mais valia para o factor durabilidade das paredes exteriores compostas pelos blocos de encaixe de baixo carbono, durante o ciclo de vida útil do edifício, aumentando a sua longevidade com qualidade, minimizando anomalias, assim como possíveis custos de manutenção.

Na sua produção, os blocos de cal de baixo carbono, recorrem a materiais locais, contribuindo para uma optimização de recursos e uma significativa redução de custos de transporte e energia consumida.

Os blocos de encaixe de baixo carbono, apresentam características que os diferenciam dos demais, mostrando serem uma mais valia face a outros blocos comercializados actualmente, pelo que a sua viabilidade construtiva é promissora e faz todo o sentido no âmbito da sustentabilidade. Os blocos de baixo carbono inseridos nas paredes exteriores do edifício contribuem para um maior conforto, regulando a temperatura, humidade e qualidade do ar interior. Na Tabela 10 são enumerados alguns pontos importantes que ajudam a viabilizar o uso dos blocos de baixo carbono na construção, quando comparados a outros blocos convencionais.

**Tabela 10** – Principais pontos a enumerar nas construções em alvenaria de blocos de baixo carbono, quando comparados com as construções convencionais.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Constituição sustentável com materiais renováveis e locais</li> <li>▪ Fácil e rápida execução com elevado rendimento construtivo</li> <li>▪ Sistema de encaixe podendo não utilizar argamassa de assentamento permitindo maior produtividade</li> <li>▪ Baixa energia incorporada</li> <li>▪ Elevada inércia térmica</li> <li>▪ Bom isolante térmico e acústico</li> <li>▪ Não-tóxico, não prejudiciais para a saúde</li> <li>▪ Reciclável e reutilizável</li> <li>▪ Redução de custos (transporte, energia e manutenção)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tempo de secagem demorado na produção dos blocos</li> <li>▪ Menor resistência mecânica</li> <li>▪ Maior dimensionamento dos blocos</li> </ul>

Fonte: Pinto (2018, p. 215-221).

### 3.7. PAREDES PRÉ-FABRICADAS

A industrialização da construção surgiu com a Primeira Revolução Industrial, método de construção que rapidamente se disseminou. Até meados do século XIX a arquitectura teve aqui uma oportunidade que não soube otimizar. Talvez por falta de conhecimento, os projectistas não se aperceberam das vantagens que a indústria lhes poderia oferecer. (Reaes Pinto *apud* Amado *et al.*, 2015, p. 181).

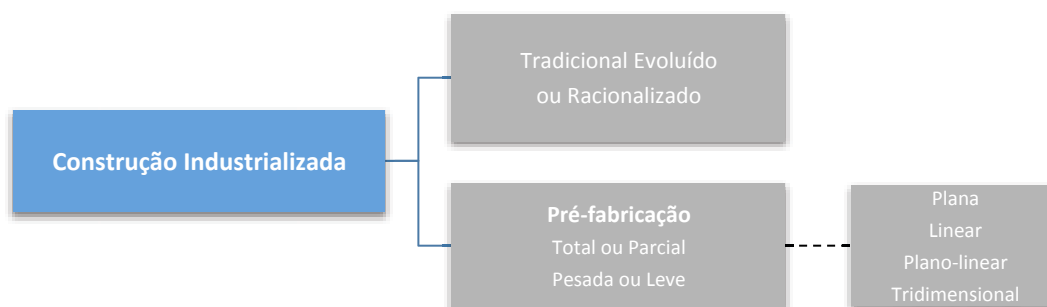


Ilustração 107 – Construção industrializada. ([Adaptado a partir:] Amado *et al.*, 2015, p. 186).

Contudo, só após a Segunda Guerra Mundial, é que a pré-fabricação tem viabilidade económica e adquire um papel de relevância na construção industrializada (Ilustração 107), tornando-se numa das suas duas grandes vias. A pré-fabricação caminhou a par do tradicional evoluído ou racionalizado, que consistia na construção no local da obra recorrendo à organização do trabalho, do planeamento e a equipamentos específicos para esse propósito. (Pinto, 2018, p. 141).

"Pré-fabricação é um método de construção por montagem rápida de elementos idênticos, fabricados em série, mecânica e antecipadamente." (Barros *et al.*, 1967, p. 14). O processo evolutivo da pré-fabricação deu-se em dois períodos distintos. O primeiro período ficou marcado pela quantidade, de 1947 até meados dos anos 70, e o segundo período pela qualidade, que surgiu em 1970. (Pinto, 2018, p. 141-142).

O período da quantidade dá-se face às

[...] grandes carências de edifícios resultantes da destruição maciça das cidades por bombardeamento, a grande explosão demográfica e a concentração industrial nas cidades, depois da 2ª Guerra Mundial, que viabilizaram economicamente e foram o motor de desenvolvimento da construção industrializada e nomeadamente da pré-fabricação. (Pinto, 2018, p. 141).

Este período ficou marcado pelo uso da "pré-fabricação fechada", em que os elementos pré-fabricados são utilizados num só edifício, construindo painéis pesados

e com grandes dimensões, em grandes estaleiros, dando resposta a uma quantidade significativa de fogos (Pinto, 2018, p. 142).

Já o segundo período, caracteriza-se pela qualidade começar a preceder a quantidade. Distinguido essencialmente por começar a dar resposta às necessidades qualitativas dos utilizadores do edifícios, no sentido de melhor concepção, execução e conforto (higrotérmico e acústico) do espaço interior habitado (Pinto, 2018, p. 142).

A "pré-fabricação aberta" ou a de "catálogo", é a que produz elementos pré-fabricados normalizados e tipificados para serem utilizados em qualquer edifício. Com uma evolução efectiva na produção de componentes compatíveis, com base num mercado mais flexível e aberto, num contexto de produção parcial, surgem elementos de pré-fabricação plana, como fachadas integradas numa estrutura reticulada de betão armado ou de aço, construídas no local (Pinto, 2018, p. 142).

Actualmente, deparamo-nos com uma nova necessidade à qual precisamos urgentemente de dar resposta, as alterações climáticas. Nesse sentido é essencial enquadrar a actividade da construção no âmbito e princípios da sustentabilidade.

### **3.7.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO**

A pré-fabricação é um tipo de construção industrializada, cujo os componentes que constituem o edifício, parcialmente ou totalmente, são produzidos em fábrica. Os elementos fabricados são depois montados recorrendo a meios mecânicos de elevação. (Pinto, 2001, p. 13).

As variantes da pré-fabricação distinguem-se em dois grupos, pesada ou leve e total ou parcial, nas suas diferentes perspectivas de produção, plana, linear, plano-linear e tridimensional. (Reaes Pinto *apud* Amado *et al.*, 2015, p. 182).

A pré-fabricação pesada ou por grandes painéis apresenta elementos pré-fabricados de grandes dimensões e pesados, produzidos em fábrica, transportados e montados no local recorrendo a mecanismos e equipamentos mais complexos e dispendiosos (Barros *et al.*, 1967, p. 25).

A pré-fabricação leve é caracterizada pela produção de elementos de menores dimensões e mais leves, onde o seu peso reduzido possibilita o seu fácil e possibilita

maior raio de acção, e uma montagem com recurso a meios mecânicos mais rudimentares (Barros *et al.*, 1967, p. 24).



**Ilustração 108** – Processo de montagem de paredes exteriores pré-fabricadas pesadas, edifícios em Santo António dos Cavaleiros, ICESA - SAC, 1966. (Pinto, 2001, p. 300).



**Ilustração 109** – Construção com paredes exteriores pré-fabricadas pesadas de edifícios habitacionais em Santo António dos Cavaleiros, ICESA - SAC, 1967. (Pinto, 2001, p. 300).

A empresa ICESA, foi pioneira da **pré-fabricação pesada** em Portugal (Barros *et al.*, 1967, p. 13). Na pré-fabricação pesada de paredes exteriores, o processo FIORIO de origem francesa, composto por grandes painéis de tijolo e betão, foi um sistema utilizado em grande escala na construção de edifícios de habitação a nível nacional. Exemplo disso, é a unidade habitacional em Santo António dos Cavaleiros de 1964, sendo o primeiro projecto a nível nacional de pré-fabricação pesada total, da empresa ICESA com a coordenação e autoria do Arquitecto Reaes Pinto (Ilustração 108 e 109). (Pinto, 2001, p. 18).

O processo de pré-fabricação FIORIO utiliza elementos de construção de grandes dimensões normalmente realizados com métodos tradicionais, consistindo num sistema de pré-fabricação pesada total. Os painéis portantes são constituídos por tijolos cerâmicos furados dispostos em fiadas e ligados com betão, formando um painel sólido. (Pinto, 2001, p. 29).



**Ilustração 110** – Fase de execução de painel pré-fabricado de parede exterior resistente, ICESA, 1966. (Pinto, 2001, p. 289).



**Ilustração 111** – Painéis pré-fabricados de paredes exteriores já acabados, ICESA, 1966. (Pinto, 2001, p. 289).

Os painéis pré-fabricados pesados de paredes exteriores resistentes são constituídos por uma camada interior de gesso, uma fiada de tijolo, com um perfil especial assegurando a continuidade do elemento cerâmico (Ilustração 110), garantindo um adequado isolamento térmico, já que não existem quebras com juntas de betão na continuidade do elemento cerâmico, contribuindo por sua vez para a estabilidade da camada de gesso interior, e com uma camada de betão pelo exterior. Para se conseguir melhor desempenho térmico e acústico, podem ser consideradas soluções de isolamento térmico/acústico aplicadas pelo interior entre a camada de gesso e o tijolo (Barros *et al.*, 1967, p. 90).

O acabamento exterior das paredes exteriores (Ilustração 111) pode ser efectuado também durante o fabrico dos painéis, da aplicação de revestimentos cerâmicos à pintura (Barros *et al.*, 1967, p. 102).

Outras variantes existem desta tipologia, desde paredes simples a paredes duplas, com melhor isolamento térmico e acústico, diferindo no tipo de isolamento, custos e processo construtivo (Barros *et al.*, 1967, p. 90).

Na operação de montagem dos painéis pré-fabricados de paredes exteriores no local, estes são elevados e colocados através de gruas nas posições previstas com intervalos adequados à construção "*in situ*" dos pilaretes de travamento, preenchidos com betão. As juntas exteriores são vedadas com uma banda porosa, compressível e resistente às intempéries e seladas pelo interior com uma fita betuminosa. O conjunto de elementos de betão armado executado "*in situ*", os pilaretes e cintas de ligação entre painéis pré-fabricados, compõem um sistema tridimensional que, em simultâneo confere a rigidez necessária à estrutura e absorve solicitações horizontais (Ilustração 112 e 113). (Barros *et al.*, 1967, p. 118 ; Amado *et al.*, 2015, p. 187).



**Ilustração 112** – Zona de armazenamento dos painéis pré-fabricados de paredes exteriores resistentes, ICESA, 1968. (Pinto, 2001, p. 290).



**Ilustração 113** – Pré-fabricação linear, em Aveiro, PAVICENTRO, 1998. (Pinto, 2001, p. 301).



Já na **pré-fabricação leve** de paredes exteriores, distinguimos uma solução inserida no âmbito e nos princípios da construção sustentável. Esta solução, é constituída por painéis ou módulos pré-fabricados construídos com materiais renováveis e de baixo carbono, estruturalmente constituídos por aros de madeira maciça, cujo enchimento, com funções de isolante térmico, é resolvido com fardos de palha ou grânulos de cortiça, contribuindo para uma maior eficiência energética do envelope exterior do edifício. Estes painéis utilizam uma pré-fabricação parcial, leve e com pouca mecanização associada (Pinto e Dias, 2018, p. 5, 33).



**Ilustração 114** – Fases de construção dos painéis pré-fabricados leves. (Pinto e Dias, 2018, p. 18-19).

O processo de construção dos painéis leves inicia-se na fábrica (Ilustração 114), com a execução da estrutura de madeira que irá comportar o isolamento térmico de fardos de palha, estes são devidamente arrumados e fixados no vazio da estrutura de madeira, sendo depois rebocados com 3 camadas distintas de argamassas. (Pinto e Dias, 2018, p. 18).



**Ilustração 115** – Montagem de acabamento exterior nos painéis pré-fabricados leves. (Pinto, 2018, p. 177).

Para a parede exterior pré-fabricada com isolamento de granulado de cortiça, é fixada uma placa de madeira estrutural na parte exterior do painel pré-fabricado, permitindo o enchimento do espaço vazio com outros isolantes térmicos como o granulado de cortiça (Ilustração 117). A solução permite reduzir a espessura do painel e ter maior flexibilidade dimensional (ao contrário dos fardos de palha que condicionam a dimensão da estrutura), melhorar o coeficiente de transmissão térmica, o uso de materiais locais (resíduos isolantes térmicos/acústicos) e dispensa a aplicação de reboco exterior aumentando a produtividade do painel (Pinto e Dias, 2018, p. 27).



**Ilustração 116** – Painel pré-fabricado leve de parede exterior, com isolamento térmico de palha. (Ilustração nossa, 2020).



**Ilustração 117** – Painel pré-fabricado leve de parede exterior, com isolamento térmico de granulado de cortiça. (Ilustração nossa, 2020).



**Ilustração 118** – Painel pré-fabricado leve de parede exterior, com revestimento exterior cerâmico fixado mecanicamente. (Ilustração nossa, 2020).

Estas soluções permitem a aplicação de diversos revestimentos exteriores e interiores. Contudo, sendo uma solução que visa ser reutilizada, a opção de revestimentos deve passar por aqueles que funcionem por fixação mecânica, como os revestimentos ventilados desligados do suporte rígido (Ilustração 118), e em que se exclui totalmente rebocos ou similares que impossibilitam a reutilização. (Pinto, 2018, p. 31).

### **3.7.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA**

Nos casos da pré-fabricação pesada de paredes exteriores, constituídas por tijolo e betão, apresentam uma boa resposta aos esforços de compressão, como aliás acontece na pré-fabricação de paredes de betão. Esta pré-fabricação pesada total de paredes exteriores - em que todos os elementos do edifício são totalmente pré-fabricados e montados no local - formam um sistema monolítico interligado, travada em todas as suas dimensões, apresentando um excelente comportamento às solicitações horizontais (informação verbal)<sup>26</sup>.

No caso dos painéis pré-fabricados leves, é um sistema com potencial para a edificação de construções de pequeno porte, resistindo favoravelmente às solicitações que lhe são submetidas, dispensando estruturas adicionais. Na solução com isolamento de cortiça, de modo a melhorar a sua resistência ao contravento, é utilizada uma placa de madeira estrutural na parte exterior do painel pré-fabricado. (Pinto e Dias, 2018, p. 29, 31).

---

<sup>26</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

### 3.7.3. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

Sendo a pré-fabricação pesada um sistema de juntas, só é possível garantir um bom comportamento higrotérmico das paredes exteriores se for assegurada uma boa estanquicidade das juntas, uma adequada concepção, uma correcta execução e uma montagem com precisão. (Pinto, 2018, p. 145).

Quanto, às paredes exteriores pré-fabricadas leves, podem ser constituídas com isolante térmico de fardos de palha ou granulado de cortiça, apresentando um bom isolamento e inércia térmica. A palha, para além de ser uma opção mais ecológica, mostrou ser um material com características bastante positivas contribuindo significativamente para melhorar a eficiência energética e conforto no interior dos edifícios. (Pinto e Dias, 2018, p. 11, 28). No caso do granulado de cortiça, material resultante da reciclagem de resíduos pré e pós-consumo, apresenta uma baixa condutibilidade térmica e uma elevada inércia térmica, traduzindo-se num isolante térmico bastante eficaz (Amorim Cork Insulation, 2020).

Contudo, como referem Pinto e Dias (2018, p. 28), nesta solução de paredes exteriores pré-fabricadas leves, o interior da estrutura, pode ser preenchido por outros materiais de isolamento térmico/acústico, apresentando boas prestações face ao mínimo regulamentar de 0,50W/m<sup>2</sup>k, como podemos ver na Tabela 11.

Tabela 11 – Materiais de isolamento térmico em paredes exteriores pré-fabricadas leves.

MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO COM ESPESSURA DE 36,5cm U(W/m <sup>2</sup> k)	
Fibras têxteis recicladas	0,076
Fibras de celulose	0,096
Fibra de cânhamo	0,096
Lã de ovelha	0,098
Fibras de coco	0,12
Granulado de cortiça	0,12
Fardos de palha	0,14
Casca de arroz	0,16
Argila expandida	0,23

Fonte: Adaptado a partir de: Marcelo, S., 2017 *apud* Pinto e Dias (2018, p. 28).

### 3.7.4. ISOLAMENTO ACÚSTICO

As paredes exteriores pré-fabricadas pesadas, apresentam uma boa prestação de isolamento acústico, que, como no isolamento térmico, pode ser melhorada com a utilização de isolantes térmicos/acústicos (Barros *et al.*, 1967, p. 90).

As paredes exteriores de pré-fabricação leve, com isolamento térmico de palha no interior, para além do bom desempenho enquanto isolante térmico também se mostram eficazes enquanto isolante acústico (Pinto e Dias, 2018, p. 12). Já a cortiça, apresenta também excelentes prestações enquanto isolante acústico (Amorim Cork Insulation, 2020).

### **3.7.5. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

Na construção pré-fabricada pesada, as paredes exteriores são compostas por materiais inorgânicos incombustíveis, não contribuindo para a propagação do fogo, e apresentam uma boa resistência a agentes biológicos (Eça *et al.*, 2008, p. 25-26).

As paredes exteriores pré-fabricadas leves, são compostas por madeira, que é um material combustível podendo ser atenuado com tratamento de ignifugação, e materiais isolantes de origem biológica, pelo que a sua resistência ao fogo depende essencialmente do seu isolamento térmico. Os fardos de palha compactada e rebocada, pela ausência de oxigénio, apresentam uma boa resistência ao fogo, contudo podem proporcionar o eventual alojamento de parasitas, insectos e roedores. No isolamento de grânulos de cortiça, este suporta temperaturas até 120°C, em caso de incêndio não liberta gases tóxicos e não é atacável por roedores. A madeira, um material de origem biológica, aquando da sua extracção e exposta a condições higrotérmicas ambientais, sofre uma reacção natural de decomposição por agentes biológicos, físicos e químicos, pelo que deve ser efectuada uma adequada e controlada secagem, preferencialmente, artificial e tratamentos de preservação, prevenindo o ataque de agentes biológicos (Laboratório Nacional de engenharia Civil, 2010b, p. 149 ; Petrucci, 1995, p. 117 ; Amorim Cork Insulation, 2020).

### **3.7.6. DURABILIDADE**

A construção pré-fabricada pesada, apresenta uma boa durabilidade, uma vez que é constituída por materiais de alvenaria com boa resistência, tanto o tijolo como o betão.

As paredes exteriores na pré-fabricação leve, são paredes constituídas estruturalmente por derivados de madeira e madeira maciça. A resistência da madeira é variável e depende essencialmente da sua relação com a água (Petrucci, 1995, p. 144-158). Contudo, um ambiente com um teor de humidade adequado, a aplicação de

tratamentos de preservação e protecção a ataques biológicos, uma correcta concepção e execução, são um conjunto de factores que contribuem para uma reduzida manutenção e maior durabilidade dos materiais (Cruz e Nunes, 2012, p. 656).

### **3.7.7. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

Face às construções correntes, a nível nacional a pré-fabricação pesada, executada no século passado, teve uma conotação negativa associada à habitação social ou de custos reduzidos, por isso é importante uma mudança de mentalidade credibilizando um sistema construtivo que apresenta diversas vantagens de cariz ambiental, energético e produtivo, apresentando soluções inovadoras que ajudem a ultrapassar este paradigma (Lopes e Amado *apud* Amado *et al.*, 2015, p. 19).

Os painéis pré-fabricados leves no âmbito da sustentabilidade, são uma solução que apresenta diversas vantagens tais como: ser uma opção ecológica, utilizar materiais renováveis, não-tóxicos e/ou locais, sem emissões tóxicas durante o ciclo de vida dos edifícios, com elevada eficiência energética, contribuindo para a redução de consumos energéticos, maior durabilidade, a possibilidade de reutilização após o fim do ciclo de vida do edifício, permitir a reciclagem, com baixa energia incorporada no seu fabrico e sistema construtivo, com uma reduzida produção de resíduos em obra e com baixo impacte ambiental (Pinto e Dias, 2018, p. 32-33).

Como referem Torgal e Jalali, "a utilização de materiais provenientes de fontes renováveis contribui inequivocamente para a sustentabilidade da indústria da construção. Neste grupo podem incluir-se materiais como a madeira [...]" (2010b, p. 51).

### **3.7.8. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO**

O recurso a materiais de pré-fabricação na construção de edifícios, apresenta algumas vantagens como: projecto concebido com maior rigor, com menos erros, maior coerência entre concepção e execução, maior controlo de qualidade em todo o ciclo produtivo, rapidez de execução em obra com um planeamento adequado, redução de resíduos em obra, maior segurança em obra, redução de mão-de-obra durante a construção, redução de tempo e custos de construção, entre outros factores (Couto e Couto ; Lopes e Amado *apud* Amado *et al.*, 2015, p. 192-193).

Contudo, Reaes Pinto refere que para que haja viabilidade da pré-fabricação na construção, o objectivo passa por assegurar um mercado suficiente, conseguindo sempre que possível, uma produção contínua, ao invés de uma produção de massa, actualmente irrealista (2018, p. 151).

No caso específico dos painéis pré-fabricados leves, para além das vantagens que apresentam como sistema de elevada eficiência energética, durabilidade e reduzido impacto ambiental, a possibilidade de reutilização, adequação e flexibilidade, são outras mais valias. A rápida e fácil execução dos painéis pré-fabricados em ambiente controlado, permitem uma redução de custos e tempo de construção. O transporte dos painéis, do estaleiro para a obra, é viável sem que haja ocorrência de perdas materiais. Tratando-se de uma pré-fabricação parcial, leve e pouco mecanizada, a solução apresentada é uma opção construtiva viável, que para além dos aspectos já referidos, carece de pouca mão-de-obra especializada e reduzidos custos associados, quando comparada com soluções de construção tradicional ou convencional (Pinto e Dias, 2018, p. 11, 16, 19, 33).

Para que seja viável a utilização de processos industrializados, na unificação dos elementos de construção, todos os intervenientes devem participar em uníssono, com empenho e de forma activa. (Barros *et al.*, 1967, p. 78).

Na Tabela 12 são referidos alguns factores que viabilizam o recurso à construção pré-fabricada.

**Tabela 12** – Principais pontos da construção pré-fabricada.

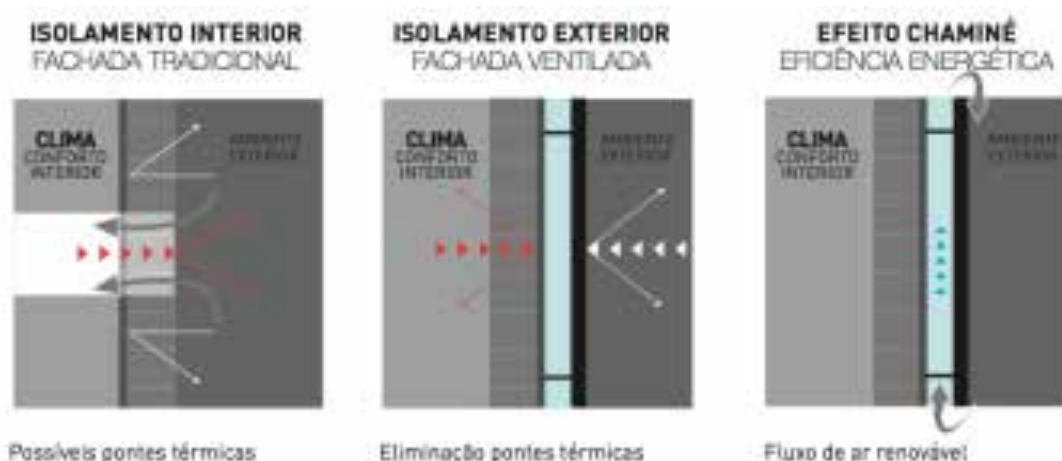
<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Maior rigor concepção e menos erros</li> <li>▪ Maior coerência e correspondência entre projecto e construção</li> <li>▪ Produção industrializada com rotinas de produção que melhoram o controlo de qualidade</li> <li>▪ Rapidez de execução dos elementos em obra</li> <li>▪ Melhor planeamento e cumprimento de prazos</li> <li>▪ Redução de resíduos e demolição em obra</li> <li>▪ Redução de tempo de construção</li> <li>▪ Redução global de custos de construção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Obriga a um projecto mais rigoroso</li> <li>▪ Obriga a uma execução rigorosa e com precisão em obra</li> <li>▪ Não admite erros de concepção ou de execução</li> <li>▪ Requer um devido acompanhamento de obra</li> <li>▪ Exige elementos pré-fabricados bem executados, para que todos os elementos consigam apresentar um bom comportamento global</li> </ul>

Fonte: Adaptado a partir de: Amado *et al.* (2018, p. 192).

### 3.8. PAREDES VENTILADAS

As primeiras paredes ventiladas surgiram no início dos anos 70, oriundas de soluções que se executavam na Alemanha. Mas, só por volta dos anos 90, do século passado, é que esta tipologia de paredes exteriores começa a ser usada em Portugal. (Pinto, 2018, p. 185).

Resultado do grande avanço tecnológico, actualmente as paredes ventiladas são das tipologias mais eficazes quanto ao conforto térmico do espaço interior habitado. As paredes ventiladas caracterizam-se por possuírem um sistema de protecção e revestimento exterior fixado mecanicamente e afastado do suporte rígido do edifício, de modo a criar uma câmara-de-ar que permita a circulação de ar, evitando humidades e condensações, reflectindo-se assim num maior conforto térmico do espaço interior habitado.



**Ilustração 119** – Funcionamento da parede ventilada contribui para o conforto térmico do espaço interior habitado. (Ulma, 2020).

O termo ventilada, surge pela existência do elemento que distingue este sistema construtivo, a câmara-de-ar. A mesma possibilita a circulação natural de ar, de forma contínua, através do chamado efeito de chaminé (Ilustração 119). Permitindo a entrada do ar frio pela parte inferior da parede e a secagem das humidades da parede por ventilação. (Construlink, 2006, p. 2).

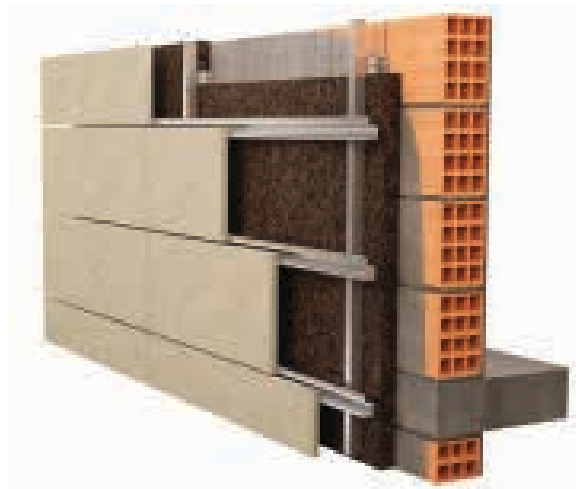
### 3.8.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

Tratando-se de uma solução construtiva com alguma importância na arquitectura actual, quer pelas suas particularidades técnicas quer pelas estéticas, é um sistema constituído pelos seguintes elementos (Ilustração 120):

- **Revestimento exterior** - este revestimento desligado do suporte rígido (aberto nos dois topos para reforçar a ventilação) caracteriza-se por ter uma função, de protecção quanto ao isolamento higrotérmico do suporte rígido e da estrutura do edifício.
- **Câmara-de-ar** - que permite uma ventilação natural entre o suporte de fixação e o revestimento exterior, sendo um elemento essencial para a eficiência do sistema.
- **Estrutura de suporte** - independente, pontual ou linear, mais usual em metal, podendo também ser em madeira, dependendo do tipo de revestimento, permitindo fixar o revestimento exterior e atribuir estabilidade a todo o sistema. Os sistemas de fixação são aplicados directamente numa parede resistente (directo) ou exigindo uma estrutura própria numa parede de enchimento (indirecto).
- **Isolamento térmico** - contínuo que será aplicado (por colagem ou mecanicamente) directamente na face externa da parede exterior impermeabilizada, o que contribui para o melhor isolamento e protecção da parede do edifício (Construlink, 2006, p. 2). Os isolamentos mais usuais são os derivados do petróleo, XPS, EPS e espuma de poliuretano projectada, os mais sustentáveis são o aglomerado de cortiça expandida, fibras de cânhamo ou coco, lã mineral de rocha ou vidro.
- **Parede exterior** - o suporte rígido, resistente ou de enchimento, pode ser de tijolo, betão armado (não sendo o mais aconselhável), blocos de derivados de betão, como betão celular autoclavado ou argila expandida, ou outros blocos, como os de baixo carbono. Impermeabilizado com uma tela, é corrente o uso

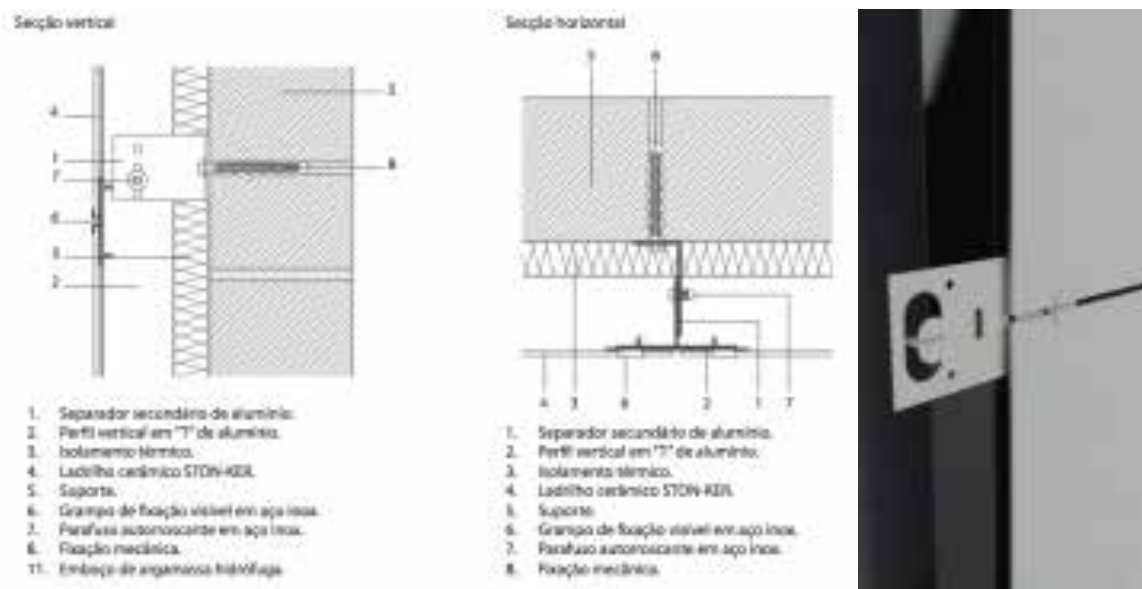


da asfáltica, mas será mais indicada a utilização de uma tela impermeável à água mas permeável ao vapor (informação verbal)<sup>27</sup>.



**Ilustração 120** – Parede ventilada com sistema de fixação linear (indirecto) oculto e isolamento aglomerado de cortiça expandida pelo exterior. (Amorim Cork Insulation, 2020).

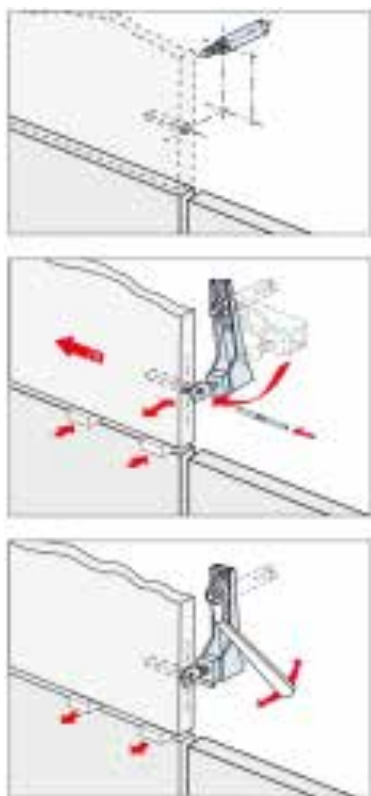
As paredes ventiladas podem ser executadas tanto em obras novas, como em suportes rígidos existentes, reabilitados ou recuperados. Estas são fixadas mecanicamente à parede exterior, com sistemas de fixações pontuais (Ilustração 121) ou lineares, à vista ou ocultos, escondendo quaisquer tipo de irregularidades que possam existir no suporte de fixação, protegendo a parede e a estrutura contra as acções directas dos agressores climáticos.



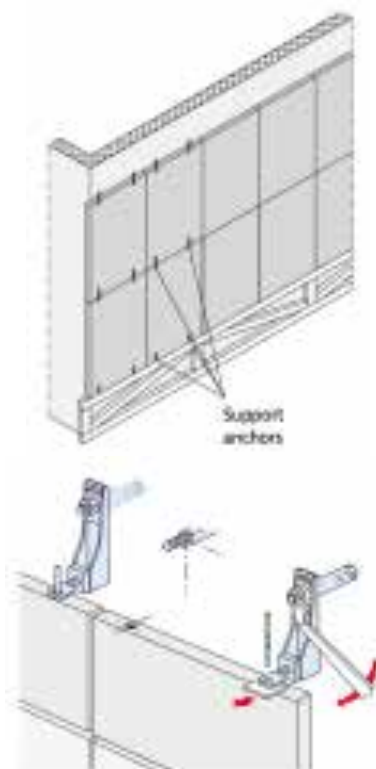
**Ilustração 121** – Parede ventilada com sistema de fixação pontual (directo) à vista. (Butech Porcelanosa Grupo, 2016, p. 82).

<sup>27</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

É um sistema que exige rigor na sua aplicação, consistindo na fixação mecânica das peças de revestimento sobre uma estrutura linear (Ilustração 126) ou por elementos pontuais (Ilustração 122 e 123) que são fixados ao suporte rígido. As peças de revestimento descontínuo, podem ter várias dimensões ou materialidades. É possível aplicar revestimentos em pedra natural ou reconstituída, cerâmico, madeira tratada, fenólico, betão polímero, metal, vidro, entre outros materiais (informação verbal)<sup>28</sup>.



**Ilustração 122** – Instalação de sistema de suporte em juntas verticais, 2018. ([Adaptado a partir de:] Halfen, 2020).



**Ilustração 123** – Instalação de sistema de suporte em juntas horizontais, 2018. ([Adaptado a partir de:] Halfen, 2020).

No caso da ancoragem das placas de pedra, os sistemas são compostos por elementos e estruturas metálicos que permitem o afastamento do revestimento do suporte rígido. São sistemas que permitem a aplicação ou fixação mecânica pelo exterior do isolamento térmico, mantendo sempre a câmara-de-ar entre o suporte isolado e o revestimento. Estes componentes metálicos, em aço inoxidável capsulados, permitem a fixação das placas de revestimento em pedra (Ilustração 124 e 125), suportando o seu peso, garantindo uma boa resistência às acções externas, e aos movimentos do próprio edifício, como dilatações e contracções. (Pinto *et al.*, 2006, p. 132).

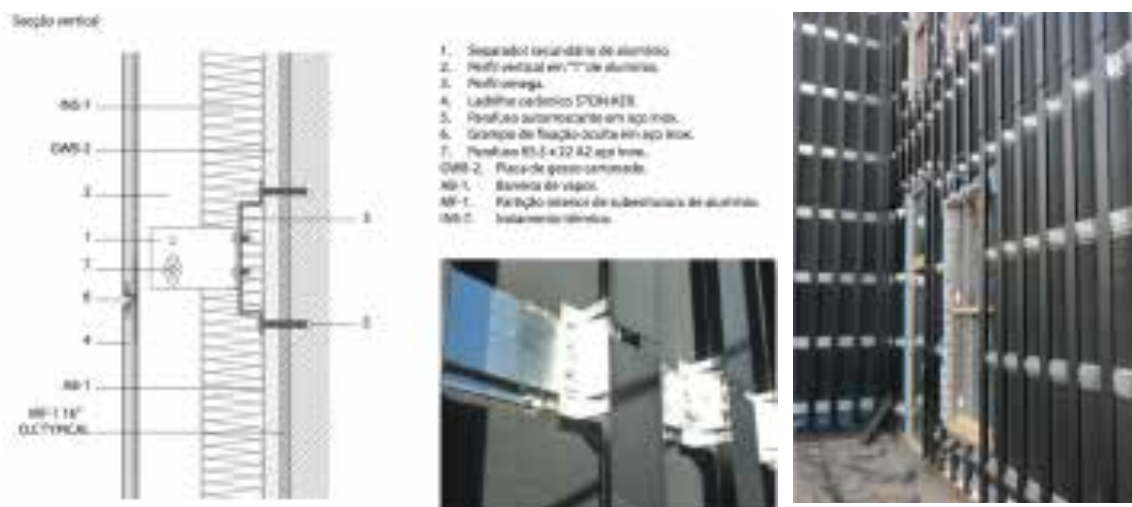
<sup>28</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.



**Ilustração 124** – Suporte metálico anticorrosivo encapsulado para placas de pedra, sistema de fixação mecânica pontual oculto. (Halfen, 2020).



**Ilustração 125** – Suporte metálico encapsulado para placas de pedra, chumbado ao suporte rígido, sistema pontual oculto 2018. (Halfen, 2020).



**Ilustração 126** – Parede ventilada com sistema de fixação linear (indirecto) oculto. (Butech Porcelanosa Grupo, 2016, p. 68).

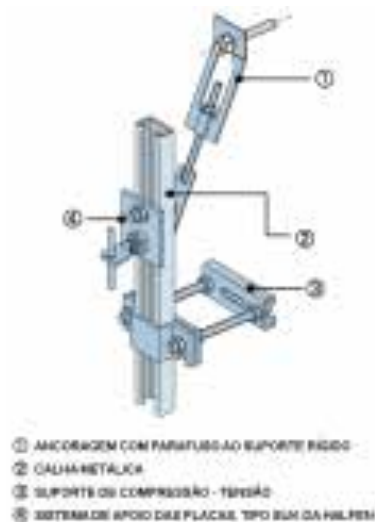


**Ilustração 127** – Pormenor de parede ventilada com revestimento de pedra do edifício MIMA - Middlesbrough Institute of Modern Art no Reino Unido, Cristian Richters. (Egeraat, 2007).

O sistema de fixação usado para a ancoragem das placas de pedra no edifício MIMA - Middlesbrough Institute of Modern Art no Reino Unido (Ilustração 127) consiste numa série de calhas metálicas verticais (Ilustração 128 e 129) dispostas entre pisos, cujo as fixações são necessárias com intervalos relativamente grandes, reduzindo assim o número de ligações ao suporte rígido. Permitindo assim um isolamento térmico e uma impermeabilização da parede exterior continuo e uma significativa redução de possíveis pontes térmicas. Estes componentes metálicos existem em aço inoxidável e em alumínio, por forma a evitar a corrosão e possível o desprendimento das placas de pedras, garantindo um ciclo de vida longo do edifício reduzindo assim a sua manutenção (Halfen, 2020).



**Ilustração 128** – Pormenor de sistema de fixação linear da Halfen usado no edifício MIMA no Reino Unido, 2018. (Halfen, 2020).



**Ilustração 129** – Representação do sistema de fixação oculto linear da Halfen exclusivo para placas de pedra natural, Halfen, 2018. ([Adaptado a partir de:] Halfen, 2020).

### 3.8.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA

Face a outras tipologias, as paredes ventiladas mostram bons resultados quanto à resistência mecânica, permitem a utilização de estruturas mais leves e independentes, reflectindo-se como uma menor sobrecarga para o edifício. Apresentam grande estabilidade estrutural, não ocorrendo fissurações no revestimento resultantes das variações de temperatura externas uma vez que é descontinuo. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 186).

A maioria dos sistemas de suporte garantem resistência às acções sísmicas que possam ocorrer, desde que na fase de projecto as mesmas sejam adequadamente

adaptadas atendendo assim aos requisitos de segurança considerados para zona sísmica em questão (Halfen, 2020).

### 3.8.3. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

Por se encontrarem desligadas das paredes exteriores, pelo sistema de isolamento térmico exterior contínuo e pelo sistema de fixação que as distingue, as paredes ventiladas apresentam um excelente comportamento térmico (Ilustração 130), ausência de pontes térmicas e resistência contra as humidades e infiltrações por permitirem a circulação de ar entre o revestimento e o suporte de fixação (Pinto *et al.*, 2006, p. 133). Protegem igualmente a estrutura do edifício das agressões climáticas directas, quer se trate de grandes variações de temperatura, radiação solar, chuvas ou ventos. Mostrando manifestamente, menores contracções ou dilatações, proporcionando maior resistência a humidades e fissuras. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 186).



Ilustração 130 – Comportamento do sistema da parede ventilada. (Construlink, 2006, p. 3).

A câmara-de-ar, permite a ventilação natural e a regulação de humidade. Mostrando assim, um bom desempenho relativamente às humidades, por se tratar de um sistema com juntas abertas, por estar desligado do suporte rígido, evitando assim os fenómenos de lixiviação e ciclos de molhagem, usuais nas soluções tradicionais com o revestimento colado ao suporte. (Pinto, 2018, p. 186).

### **3.8.4. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Por se tratar de um sistema de fachada em que o revestimento se encontra desligado das paredes exteriores contribui para uma melhor insonorização do edifício. Para além da câmara-de-ar, as juntas abertas ajudam igualmente na atenuação acústica do ruído aéreo. (Butech Porcelanosa Grupo, 2016, p. 37).

### **3.8.5. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

Esta tipologia de parede deve ser compartimentada na câmara-de-ar com obstáculos incombustíveis dispostos ao alto e ao baixo, evitando a possível propagação do fogo em caso de incêndio, uma vez que a câmara-de-ar tem esse efeito. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 186).

Pelo sistema de circulação de ar que possui, não cria um ambiente favorável à ocorrência de micro-organismos. Contudo, devem ser colocadas grelhas nos topos da câmara-de-ar, evitando a entrada de animais de pequeno porte, como roedores.

### **3.8.6. DURABILIDADE**

O sistema de parede ventilada apresenta algumas vantagens face a outras tipologias cujo o revestimento é colado ao suporte rígido. Por não ter o revestimento colado, e ser fixado mecanicamente, não existe o risco de desprendimento ou fissuração. Protege a parede exterior, o isolamento térmico e a estrutura do edifício das acções directas dos agressores climáticos, aumentando assim a vida útil do edifício e permitir a sua reutilização. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 186).

Consoante o revestimento exterior que possa ser usado, assim varia o seu comportamento face aos agressores externos. Por exemplo, no caso dos revestimentos cerâmicos, apresentam comportamentos positivos quando se fala na durabilidade. Possuem grande resistência ao desgaste, ao punçoamento ou riscos, e aos ácidos e produtos químicos. Absorção muito reduzida, resistente às variações de temperatura e de fácil manutenção.

Para uma maior durabilidade e vida útil do edifício, alguns dos materiais utilizados na composição da parede ventilada necessitam de uma protecção prévia, de acordo com

as agressões ambientais a que estão expostos, evitando assim a sua degradação, que se manifestam nalgumas anomalias como corrosão, alterações de cor, envelhecimento, entre outras.

### **3.8.7. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

Uma das vantagens que distingue esta tipologia de paredes é a de levar a uma redução do consumo energético significativa, tendo especial protagonismo na área da construção sustentável. A sua capacidade de proteger o edifício face às variações térmicas exteriores, garantindo um equilíbrio térmico no interior do espaço utilizado, é outra mais valia. A escolha deste sistema, nalguns casos, pode levar o edifício a poupar energia relativamente a algumas tipologias convencionais.

A possível reutilização das placas de revestimentos no fim do ciclo de vida do edifício, apresenta-se como uma vantagem no âmbito da construção sustentável, reduzindo assim os impactes negativos ambientais na produção ou exploração de um novo material (informação verbal)<sup>29</sup>.

### **3.8.8. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO**

Por ser um revestimento de protecção das paredes exteriores dos edifícios, a sua utilização permite a redução dos custos de manutenção e energéticos.

A dispensa de manutenção, face às tipologias de paredes tradicionais, torna-a num sistema construtivo viável quando associado às qualidades funcionais do mesmo. Desde um isolamento térmico, uma maior durabilidade e aumento da vida útil do edifício, constitui um sistema eficaz na eliminação das humidades e infiltrações, um manifesto conforto térmico, aliado a uma significativa redução de consumo energético do edifício, são tudo factores que viabilizam a escolha desta tipologia.

Pelas vantagens de carácter funcional que apresenta, é uma tipologia que resolve grande parte dos problemas que é usual ocorrerem na maior parte das tipologias convencionais, mostrando ser uma boa opção na área da construção sustentável, desde que se opte pelo uso de materiais com menor energia incorporada e que possam ser reutilizáveis ou recicláveis, preservando assim os recursos naturais.

---

<sup>29</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

Na Tabela 13 são enumerados uma série de factores que credibilizam esta tipologia de paredes exteriores.

**Tabela 13** – Principais pontos a enumerar das paredes ventiladas.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevado isolante térmico e boa inércia térmica, evitando variações térmicas no interior e reduzindo o consumo energético para climatização do espaço interior</li> <li>▪ Bom desempenho à humidade, impermeável à água e permeável ao vapor de água</li> <li>▪ Bom isolamento acústico</li> <li>▪ Diminutos efeitos de dilatação térmica e reduzida ocorrência de fissuração no revestimento</li> <li>▪ Permite a reutilização do revestimento exterior que é fixado mecanicamente, aspecto positivo no âmbito de uma construção sustentável</li> <li>▪ Baixa e fácil manutenção</li> <li>▪ O sistema de isolamento térmico contínuo pelo exterior contribui para a eliminação de pontes térmicas e menor espessura da parede exterior, optimizando área útil interior</li> <li>▪ Contribui para o aumento do ciclo de vida do edifício onde estão inseridas, conferindo-lhe maior durabilidade</li> <li>▪ Sistema adequado à reabilitação de paredes convencionais, contribuindo para o conforto térmico, higroscópico e acústico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Visibilidade do edifício condicionada</li> <li>▪ Custos mais elevados em relação às paredes convencionais</li> <li>▪ Requer mão-de-obra qualificada e devido acompanhamento de obra</li> <li>▪ Exigem sistemas de fixação capazes de suportar o peso dos revestimentos e acções de agentes externos (vento, sismos, chuvas, etc).</li> <li>▪ Os suportes de ancoragem (lineares ou pontuais) devem ser em materiais metálicos anticorrosivos, garantindo um longo ciclo de vida e evitando a ocorrência de desprendimento de placas</li> <li>▪ Complexa execução de remates</li> <li>▪ Mais vulnerável a actos de vandalismo</li> <li>▪ Na constituição da câmara-de-ar deve ser considerado o seu seccionamento, prevenindo a propagação do fogo entre pisos</li> </ul>

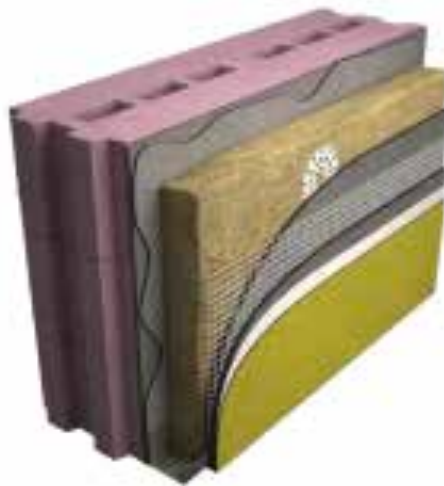
Fonte: Adaptado a partir de: Mateus, R. e Bragança (2006, p. 188) ; Pinto (2018, p. 185-186).

### **3.9. PAREDES COM SISTEMA ETICS**

É na década de 40, que na Suécia surge o primeiro sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, utilizando a lã mineral como isolante rebocada com uma argamassa de cal e cimento (Freitas e Miranda, 2014, p. 3).

Os sistemas ETICS, cuja sigla provém da terminologia anglo-saxónica pelo qual são conhecidos (External Thermal Insulation Composite Systems) (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010a, p.1-2), são identificados como sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior da envolvente vertical opaca, e actualmente muito usuais pelas diversas potencialidades que apresentam, tais como: bom desempenho térmico, versatilidade projectual, sistema inovador eficaz e fácil aplicação.





**Ilustração 131** – Constituição de parede exterior com sistema ETICS. (Weber, 2015, p. 12).

Consiste, de forma sucinta, num sistema de isolamento térmico pelo exterior (Ilustração 131) que compreende uma camada de isolamento térmico aplicada directamente sobre o paramento exterior, composto por diversos componentes com funções bem definidas, que em conjunto deverão ser bem executados e compatíveis, para que, considerando as exigências energéticas actuais e enquanto solução técnica, garanta um bom desempenho global.

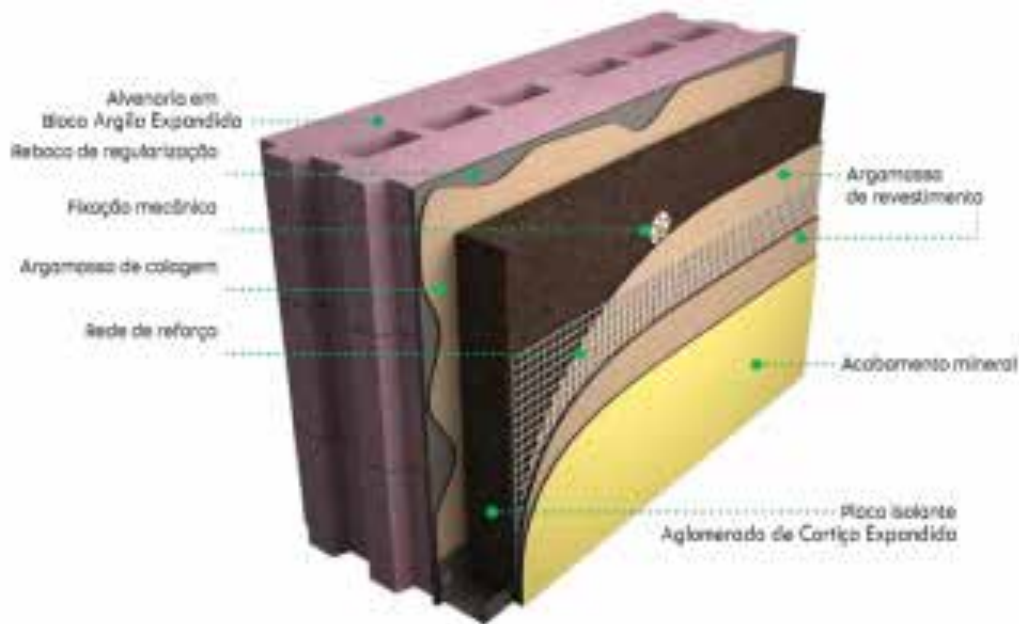


**Ilustração 132** – Edifício com sistema ETICS, com isolamento térmico de cortiça (ICB) à vista. (Amorim Cork Insulation, 2020).

Este sistema pode ser aplicado tanto em construções novas como nas reabilitações de edifícios e permite um acabamento de aspecto tradicional, similar a um reboco exterior acabado com pintura ou com o isolamento térmico à vista, como o aglomerado de cortiça expandida (Ilustração 132). (Veiga e Santos, 2009, p. 4).

### 3.9.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

Os sistemas ETICS, de isolamento térmico em paredes pelo exterior, podem ser aplicados em diversos tipos de suporte rígido. Desde paredes de alvenaria, compostas por tijolos cerâmicos ou blocos derivados do betão, a paredes de betão feitas no local ou pré-fabricadas.

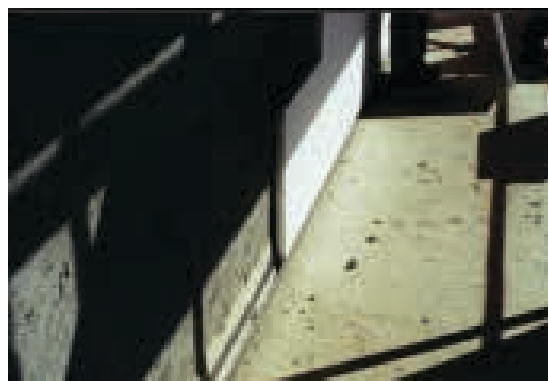


**Ilustração 133** – Sistema ETICS, com isolamento térmico de aglomerado de cortiça expandida (ICB). ([Adaptado a partir de:] Weber, 2015, p. 14).

Os sistemas ETICS são constituídos por diversos componentes, cuja as funções são distintas, mas compatíveis, para garantir um bom desempenho global. Primeiramente é aplicada uma camada de isolante térmico que pode ser fixada mecanicamente ou por colagem na superfície externa da parede a isolar (Ilustração 134 e 135). Os materiais isolantes mais utilizados em Portugal neste sistema são: o EPS (poliestireno expandido moldado), o XPS (poliestireno expandido extrudado), o ICB (placas de aglomerado de cortiça expandida) (Ilustração 133) e a MW (lã mineral de rocha). Estes materiais, apresentam-se na forma de placas e podem possuir uma espessura variável consoante a resistência térmica pretendida, as espessuras disponíveis estão entre os 40 e os 100 mm. A nível nacional, é frequente o uso de espessuras que vão dos 40 aos 60 mm (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010a, p. 4).



**Ilustração 134** – Placa de isolamento térmico com argamassa de colagem do sistema ETICS aplicar nas paredes exteriores do edifício da Faculdade de Ciências de Lisboa. (Pinto, 2001, p. 308).



**Ilustração 135** – Fixação mecânica com perfis metálicos, as placas de isolamento devem ser aplicadas sem qualquer junta vertical, sistema ETICS do edifício da Faculdade de Ciências de Lisboa. (Pinto, 2001, p. 308).

Na face externa da placa isolante é aplicada directamente uma camada de argamassa de cerca de 7 mm de espessura total, usualmente composta por cimento modificado com resinas sintéticas, incorporando armaduras, de rede de fibra de vidro, criando assim um reboco delgado armado de reforço, melhorando assim a resistência à fendilhação e aos choques. Na fixação por colagem (Ilustração 138 à esquerda), é frequente o uso do produto de colagem também na camada base. Já nos sistemas de fixação mecânica, as ancoragens ao suporte podem ser feitas directamente do isolante ao suporte ou através de perfis metálicos ancorados ao suporte (Ilustração 138 à direita), onde as placas isolantes encaixam (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010a, p. 4).



**Ilustração 136** – Fase de construção do edifício da Faculdade de Ciências de Lisboa com a aplicação do sistema ETICS nas paredes exteriores. (Pinto, 2001, p. 306).



**Ilustração 137** – Fase de construção do edifício da Faculdade de Ciências de Lisboa com a aplicação do sistema ETICS nas paredes exteriores. (Pinto, 2001, p. 307).



Ilustração 138 – Sistema ETICS. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010a, p. 5)

Estes sistemas permitem uma grande variedade de acabamentos, desde revestimentos contínuos, como revestimentos por pintura com tintas, revestimentos plásticos espessos (RPE), revestimentos minerais, de silicatos ou de cimento; a revestimentos descontínuos, como placas de pedra, ladrilhos cerâmicos ou outros similares, não tendo ainda sido objecto do ETAG 004<sup>30</sup>. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010a, p. 4). O acabamento final deste sistema tem funções de protecção contribuindo para a resistência do sistema aos choques, para além de outros aspectos. (Veiga e Santos, 2009, p. 5).

### 3.9.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA

Com os sistemas ETICS, conseguem-se paramentos exteriores mais leves e resistentes, contribuindo assim para uma menor carga permanente sobre a estrutura dos edifícios. Apresentam no conjunto, uma boa resistência mecânica. Contudo, deve de haver alguma cautela na protecção mecânica da parede junto ao solo, pela possível ocorrência de actos de vandalismo, dado que os materiais de isolamento não apresentam grande resistência ao punçoamento. Deve ser sempre considerado um revestimento num outro material mais resistente, por exemplo pedra, formando um soco (Ilustração conferindo nesse ponto resistência mecânica à parede. (informação verbal)<sup>31</sup>.

<sup>30</sup> ETAG 004 - *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite System whit redering*. Desde Março de 2000, a avaliação da aptidão destes sistemas é realizada com base no ETAG 004, originando Aprovações Técnicas Europeias (ETA) ou Homologações nacionais, podendo ser realizada pelo LNEC.

<sup>31</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

### **3.9.3. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO**

O acabamento final impermeabiliza todo o sistema, garantindo a impermeabilidade à água e a permeabilidade ao vapor de água (Veiga e Santos, 2009, p. 5).

O isolamento térmico das paredes exteriores, tem uma importância muito grande na eficiência energética, no conforto térmico/acústico e na durabilidade das alvenarias e estruturas dos edifícios, sendo neste âmbito os sistemas ETICS são as soluções mais eficazes. Uma das principais vantagens que o sistema ETICS apresenta é o de garantir um bom desempenho no isolamento térmico do edifício, aliada à redução ou eliminação de diversas pontes térmicas, minimizando o risco de condensações superficiais interiores, como as que ocorrem correntemente, nas ligações entre elementos estruturais e alvenarias, muitas vezes mal resolvidas noutras tipologias. Mantendo essa eficácia, mesmo com um isolante de valor nominal inferior, garantindo na mesma o mesmo coeficiente de transmissão térmica do paramento exterior do edifício (Veiga e Santos, 2009, p. 1).

### **3.9.4. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

Os sistemas ETICS para além das elevadas prestações de isolamento térmico, acusticamente apresentam as mesmas capacidades isolantes, conseguindo garantir um conforto acústico interior elevado.

### **3.9.5. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

Nos sistemas ETICS, a sua resistência ao fogo depende essencialmente do tipo de isolamento térmico aplicado. Assim, a parede exterior não sendo incombustível na sua plenitude, pode contribuir para a propagação vertical do incêndio no edifício onde se insere, sobretudo se não forem consideradas barreiras de corte de propagação no interior ou superfície do sistema (isolantes fusíveis). (Santos, 2015, p. 145).

O acabamento exterior final destes sistemas de isolamento térmico pelo exterior quando expostos a humidade elevada e temperaturas têm alguma tendência para o desenvolvimento de agentes biológicos, essencialmente fungos e algas, que provocam uma degradação no aspecto da parede exterior, uma anomalia frequente nesta

tipologia, sendo também muitas vezes um factor de recusa do dono-de-obra no uso deste tipo de sistemas a nível nacional (Veiga e Santos, 2009, p. 5 -7).

### **3.9.6. DURABILIDADE**

Como referem Veiga e Santos "o isolamento térmico dos edifícios tem um papel essencial no seu bom desempenho energético, no conforto interior e na durabilidade da envolvente". (2009, p. 1).

Os sistemas ETICS devem de apresentar um comportamento estável e resistente às variações de temperatura exteriores, humidade e retracção. Todos os seus componentes devem manter as suas características integras durante o ciclo de vida útil do sistema, onde um correcto uso e uma adequada manutenção contribuirão para a sua longevidade. (Freitas, 2002, p. 40).

O sistema ETICS, com uma correcta e rigorosa aplicação, melhora essencialmente o desempenho térmico do edifício, reflectindo-se em eficiência energética, protege a sua envolvente exterior das agressões climáticas, variações térmicas, contribuindo para uma maior durabilidade das alvenarias e estruturas, garantindo assim um bom desempenho global e aumentando o ciclo de vida do edifício. Contudo, a sua durabilidade depende da qualidade dos elementos que o constituem, da correcta aplicação e de uma adequada e periódica manutenção, essencialmente da camada de acabamento, prolongam a durabilidade do sistema e do edifício onde estão inseridos (Veiga e Santos, 2009, p. 7).

### 3.9.7. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL



**Ilustração 139** – Pavilhão de Portugal na Expo 2000 Hannover, projecto dos arquitectos Siza Vieira e Souto Moura, com sistema ETICS nas paredes exteriores, com placas de aglomerado de cortiça à vista. (Associação Portuguesa da Cortiça, 2018).

Sendo um sistema de isolamento aplicado de forma contínua, reduz pontes térmicas, permitindo uma maior eficiência térmica, reduzindo a necessidade de climatização do espaço interior do edifício, contribuindo assim para a diminuição do consumo energético associado, atribuindo maior conforto higrotérmico e melhorando a qualidade do ar do espaço interior, tornando os edifícios mais duráveis, por prevenir pontes térmicas, possíveis condensações e colonização de fungos e algas, e mais eficientes no âmbito de uma construção mais sustentável (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 253).

### 3.9.8. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO

Por vezes, o sistema ETICS não é considerado como uma solução de paredes exteriores em muitos projectos porque, comparativamente com outras soluções convencionais, têm um custo mais elevado na sua construção. Contudo, esta desvantagem é, a longo prazo, compensada economicamente pela sua maior valia ao conseguir tornar o edifício mais eficiente energeticamente.

É um sistema que permite aumentar a área útil interior, por possibilitar a execução de paredes mais aligeiradas. No campo da reabilitação é um sistema com enorme potencial, contribuindo para a resolução de muitas das anomalias existentes no edificado construído.

Tabela 14 – Principais pontos a enumerar das paredes com sistema ETICS.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevado isolante térmico e boa inércia térmica, evitando variações térmicas no interior e reduzindo o consumo energético para climatização do espaço interior</li> <li>▪ Bom desempenho à humidade, impermeável à água e permeável ao vapor de água</li> <li>▪ Bom isolamento acústico</li> <li>▪ Baixa e fácil manutenção</li> <li>▪ O sistema de isolamento térmico contínuo pelo exterior contribui para a eliminação de pontes térmicas e menor espessura da parede exterior, otimizando área útil interior</li> <li>▪ Contribui para o aumento do ciclo de vida do edifício onde estão inseridas, conferindo-lhe maior durabilidade</li> <li>▪ Sistema adequado à reabilitação de paredes convencionais, contribuindo para o conforto térmico, higroscópico e acústico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Requer mão-de-obra qualificada</li> <li>▪ Mais vulnerável a actos de vandalismo</li> <li>▪ O isolamento térmico pode contribuir para propagação vertical do fogo</li> </ul>

Fonte: Adaptado a partir de: Mateus, R. e Bragança (2006, p. 188) ; Veiga e Santos (2009, p. 4-7).

### **3.10. PAREDES EM VIDRO**

O vidro distingue-se de outros materiais pela sua transparência e dureza. Trata-se de uma substância inorgânica, de massa homogénea e amorfa, que é conseguido através do arrefecimento de uma massa em fusão. (Petrucci, 1995, p. 393).

É actualmente um material muito usado na indústria da construção. A sua transparência, resistência e plasticidade, são os principais factores para a sua escolha, permitindo a criação de projectos com visibilidade única.

O tipo de vidro a utilizar em cada projecto dependerá de factores como: o efeito visual pretendido, o objectivo quanto à sua resistência, nomeadamente aos esforços a que será submetido, o isolamento térmico e acústico, entre outros.

Permite a criação de zonas visualmente permeáveis em fachadas, como a construção de paredes, vãos de janelas e portas, coberturas, pisos, divisórias, alguns deles com funções estruturais. Permite uma envolvente do edifício transparente ventilada ou portante, tão frequente na arquitectura modernista, algo possível resultante da evolução tecnológica que o vidro tem vindo a sofrer nas últimas décadas. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 162).



As fachadas ou paredes em vidro dos edifícios, visam não só proteger o espaço interior utilizado, como proporcionar conforto ao nível do isolamento térmico e acústico, permitindo uma permeabilidade visual aos seus utilizadores, proporcionando por sua vez a entrada de luz natural. O seu desempenho, é por isso muito importante, sendo este influenciado por factores como o isolamento térmico, o controlo do ganho solar e a entrada de luz natural. Assumindo a "pele" do edifício, a parede em vidro, é crucial na eficiência do desempenho energético e no conforto do espaço interior habitado.

### 3.10.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO

Existem dois tipos de paredes exteriores em vidro, as com função de enchimento e as ventiladas (desligadas do suporte rígido). De forma abrangente, existem dois sistemas de suporte/fixação do vidro em paredes exteriores: o sistema agrafado e o sistema de cortina.



**Ilustração 140** – Museu NAC na Marinha Grande com sistema de fachada agrafada ventilada. (Pentagonal, 2019).

O sistema construtivo de paredes de vidro agrafado permite executar paredes de enchimento ou ventiladas. Que faz uso de um sistema de aranhas com uma espécie de bolachas com rótulas internas que agarram as chapas de vidro e conseguem estar com um afastamento considerável do suporte rígido do edifício, como se pode verificar no Museu NAC da Marinha Grande (Ilustração 140). Em que o sistema de fachada agrafada é ventilada e está suportada na envolvente rígida (parede exterior), através de peças adaptadas como bielas e varões tensionados. (Pentagonal, 2019).



**Ilustração 141** – (À direita) Aranhas para união de vidros em aço inox para sistema de paredes agrafadas.(à esquerda) Rótula em aço inox (Pentagonal, 2019).

O sistema agrafado, consiste no fundo num mecanismo de fixação pontual simples, composto normalmente por aranhas em aço inoxidável (Ilustração 141 à direita), que permite a união e a sustentação dos painéis de vidro - monolítico temperado, laminado temperado e duplo temperado - e os fixa a estruturas metálicas de aço inoxidável de suporte ou subestruturas de vidro. Podem funcionar como fachadas ventiladas ou paredes duplas, permitindo obter paredes transparentes contínuas de vidro. Exige precisão e rigor dimensional na fase de concepção e execução, garantindo juntas de dilatação. O vidro deverá ser preferencialmente temperado e laminado, para garantir estabilidade e suportar possíveis tensões nas furações escareadas de fixação. É um sistema flexível, em que cada ponto de fixação ao vidro possui uma rótula interna (Ilustração 141 à esquerda), que evita e impede o tensionamento nos pontos de fixação dos painéis de vidro quando sujeitos a esforços, como a acção do vento. (Saint-Gobain, 2020).



**Ilustração 142** – Sistema de parede agrafada com vidro isolado com ponto fixo à folha interna. (Saint-Gobain, 2020).

Existem diversas soluções e elementos de fixação, que variam consoante o fabricante. Contudo, existe uma variante deste sistema, é um vidro isolado com ponto fixo em que existe uma separação das duas folhas de vidro, estruturalmente ligados por silicone adequado, e os elementos pontuais de fixação são agrafados só à folha interna do

vidro temperado laminado, sem penetrar a folha externa, garantindo um bom desempenho térmico. Os esforços transmitidos pelas acções do vento, assim como o peso próprio da folha externa é suportado pela ligação de silicone estrutural à folha interna (Ilustração 142). (Saint-Gobain, 2020).



**Ilustração 143** – Sistema de parede cortina com vidro flutuante desligado do montante de alumínio , modelo VS-1. (Saint-Gobain, 2020).

O sistema de cortina, consiste num sistema totalmente integrado, com uma grande diversidade de montantes e travessas, permitindo ter uma imagem visual contínua e talvez mais minimalista que o sistema agrafado. Diversos são os sistemas de ligação dos painéis cortina que formam as paredes exteriores, mas todos consistem em painéis de vidro pré-fabricados sem pontos de fixação, dispostos verticalmente formando a parede cortina contínua e com um sistema de montagem mais simples, eficaz e rápido, reduzindo custos e prazos de execução.



**Ilustração 144** – Detalhe de sistema de parede cortina com montantes de alumínio , modelo VS-1 . (Saint-Gobain, 2020).

Dos diversos sistemas cortina disponíveis no mercado, existe um que é composto só pelas chapas de vidro e montantes (perfis verticais) metálicos (Ilustração 143 e 144), dispensando parafusos e travessas intrusivas. É um sistema em que o vidro se encontra afastado do montante dando um efeito visual de vidro flutuante, exige rigor dimensional, mas permite a execução dos painéis em fábrica, cujo o sistema de pré-fabricação facilita a construção das paredes e reduz tempo de execução (Saint-Gobain, 2020).



**Ilustração 145** – Escola Secundária Alves Martins, em Viseu, com sistema de fixações mecânicas ocultas e silicone estrutural para fixar o vidro encapsulado. (Pentagonal, 2019).

Noutros sistemas de parede cortina, conseguimos obter uma fachada de envidraçado simples que funciona com o uso de ligações ocultas de silicone estrutural e aço inoxidável (Ilustração 145), permitindo uma junta discreta de cerca de 10 a 12 mm entre as chapas de vidro. Isto com vidro simples. Se for com vidro duplo o sistema, em vez de grampos usa braçadeiras ocultas, e necessita de juntas de 16 mm entre os vidros. Estes sistemas podem ser usados em paredes exteriores ou coberturas, a suas especificações de instalação variam consoante os suportes e fabricantes. (Pentagonal, 2019).



**Ilustração 146** – Sistema de fixação mecânico de cortina de parede em vidro. (Halfen, 2020).



**Ilustração 147** – Montagem de elementos pré-fabricados em vidro no sistema de fixação mecânica de cortina. (Halfen, 2020).

O sistema de parede cortina, de forma generalizada, consiste na fixação de elementos de paredes em vidro pré-fabricadas à estrutura principal do edifício, dando um efeito de envidraçado contínuo após a sua aplicação (Ilustração 146 e 147). Existem também disponíveis no mercado diferentes suportes de fixação que possibilitam a montagem dos elementos pré-fabricados no topo ou na parte superior da laje (Ilustração 149, 150). (Halfen, 2020).



**Ilustração 148** – Pormenor do sistema de fixação mecânico de cortina aplicado no topo da laje, Burj Khalifa, Dubai, Emirados Árabes Unidos, 2004-2010. (Halfen, 2020).



**Ilustração 149** – Suporte de fixação do sistema mecânico de cortina de parede em vidro. (Halfen, 2020).



**Ilustração 150** – Suporte de fixação colocado na parte superior da laje, sistema de fixação mecânico de cortina de parede em vidro. (Halfen, 2020).

O edifício mais alto do mundo, o Burj Khalifa, no Dubai, (Ilustração 151 e 152) é um exemplo deste sistema de parede de cortina com elementos de fixação no topo da laje (Ilustração 148), com elevado desempenho térmico e excelentes prestações de conforto associadas, num clima atípico com temperaturas bastante elevadas, por se tratar de vidros especiais, revestidos na face interna por uma película transparente de titânio, que capta e reflete os raios infravermelhos, e na superfície externa revestido com uma película incolor de prata, que capta e reflete os raios ultravioleta, contribuindo para uma significativa redução da quantidade de calor que penetra para o interior do edifício, evitando o seu sobreaquecimento.





**Ilustração 151** – Edifício Burj Khalifa com fachada de vidro com sistema de cortina, no Dubai, Emirados Árabes Unidos. (Ilustração nossa, 2016).



**Ilustração 152** – Edifício Burj Khalifa, pormenor de fachada de vidro com sistema de cortina, no Dubai, Emirados Árabes Unidos. (Ilustração nossa, 2016).

### 3.10.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência mecânica do vidro depende da espessura da chapa face às solicitações actuantes e tensões a que está sujeito. (Petrucci, 1995, p. 397). O módulo de elasticidade do vidro é outro factor que influencia na sua resistência mecânica, especialmente quando associados a outros materiais, como o betão e o aço, com módulos de elasticidade superiores, causando tensões elevadas no vidro que é menos deformável. (Petrucci, 1995, p. 399).

Os sistemas de fixação de paredes exteriores, devidamente calculados e dimensionados, atribuem uma elevada resistência mecânica ao vidro, que também deverá ser bem calculado e dimensionado. O conjunto apresenta um comportamento bastante positivo na resistência às acções do vento e às acções de utilização. (Pentagonal, 2019).

Nas paredes de vidro com sistemas de fixação agrafados que requerem a furação das chapas de vidro nos pontos de fixação, podem ser um ponto de ruptura quando sujeitos a algumas tensões transmitidas. Contudo, o sistema de fachada agrafado apresenta boa resistência mecânica, um bom comportamento a cargas em força combinada, quer seja na vertical como na horizontal. (Pentagonal, 2019).

### **3.10.3. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO**

O vidro é um mau condutor de calor, impermeável aos gases e aos líquidos, e com baixa permeabilidade aos raios solares ultravioletas e infravermelhos. (Petrucci, 1995, p. 393).

A emissão de calor por radiação deve ser baixa, para garantir um conforto interior habitado equilibrado. A resistência térmica que o vidro possui depende da sua constituição e dimensionamento, por exemplo vidros duplos bem dimensionados apresentam ótimas prestações.

A maioria dos sistemas garante uma redução efectiva de pontes térmicas nos pontos de ligação das chapas de vidro que as paredes comportam.

Quanto ao isolamento térmico, o vidro tem vindo a ser desenvolvido tecnologicamente por forma a resolver este problema tão importante como o conforto interior do espaço utilizado. A alta eficiência energética, comprovada por alguns fabricantes, em vidros especiais criados com o intuito de garantir um isolamento térmico e um controlo solar eficaz, permitindo assim o conforto do ambiente interior, tanto no verão como no inverno, eliminando também o efeito de parede fria. (Saint-Gobain, 2020).

Nas paredes exteriores orientadas a Sul, o vidro consegue ganhos solares directos efectivos, reflectindo-se em aquecimento do espaço interior do edifício, contribuindo para o conforto global nas estações mais frias. Nas estações quentes, quando a radiação é mais incidente, soluções de sombreamento ou o uso de vidros com características reflectoras e isolantes térmicas, são soluções que ajudam a controlar o sobreaquecimento do ambiente interior nos edifícios.

### **3.10.4. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

O conforto do espaço interior utilizado, muito depende do desempenho dos materiais aplicados nas paredes exteriores. A sua capacidade de isolar acusticamente, é um dos factores influenciadores. O vidro, consegue obter uma elevada prestação neste campo. As paredes exteriores em vidro garantem, na sua maioria, uma protecção eficaz à poluição sonora, dependendo obviamente do tipo de vidro aplicado e do sistema de construção utilizado, a sua prestação é variável.

O vidro duplo usualmente utilizado em paredes exteriores, é um vidro com capacidades isolantes termoacústicas, que dependendo do tipo de vidro que o compõe, assim varia a sua eficiência, como é exemplo disso o vidro laminado acústico. (Saint-Gobain, 2020).

### **3.10.5. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

O vidro por se tratar de um material inorgânico, é incombustível, apresentando uma elevada resistência ao fogo.

Sendo paredes exteriores de enchimento ou ventiladas, constituídas essencialmente por painéis de vidro - monolítico temperado, laminado temperado ou duplo temperado -, a sua superfície, os seus sistemas de ligação e suporte evitam condensações e pontes térmicas, não proporcionando um ambiente adequado à proliferação de fungos ou outros organismos vivos, especialmente em vidros com tratamentos de autolimpeza.

### **3.10.6. DURABILIDADE**

O vidro actualmente, associado ao desenvolvimento tecnológico, consegue assumir, através da criação de vidros especiais e inovadores sistemas de fixação, potencialmente surpreendentes. Com estes, é possível conseguir uma protecção elevada às agressões externas, como a poluição ambiental e sonora. Contribuindo assim para o aumento do ciclo de vida deste material e do edifício onde estão inseridos, sendo um factor positivo para o uso desta tipologia. A capacidade de resistir a agressores climáticos como a exposição prolongada à radiação solar e às acções do vento, são vantagens que o distingue.

### **3.10.7. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

Segundo a informação reportada por um dos maiores fabricantes de vidro, a Saint-Gobain (2020), é possível ter fachadas com vidros duplos de baixa emissão e alto desempenho, contribuindo assim para a economia substancial de energia, isolamento acústico e melhoria no conforto do espaço interior utilizado, respondendo também aos principais tipos de requisitos funcionais projectuais.



A eficiência energética é um factor primordial no âmbito da sustentabilidade. É possível, numa parede exterior em vidro obter ganhos solares significativos, cujo desempenho energético é semelhante ao de uma parede maciça. Os vidros com controle solar condicionam o ganho de energia solar, minimizando a perda de calor, aumentando assim a luz natural interior. Esta capacidade limitadora de ganho solar, evita a acumulação excessiva de calor no interior, pois conseguem elevadas prestações reflexão dos raios solares incididos, reduzindo assim a necessidade de climatização do espaço interior utilizado.

Essencialmente é no processo de transformação da matéria-prima que o vidro apresenta um maior impacte ambiental, pelo excessivo consumo energético associado e resultantes emissões de CO<sup>2</sup>. Contudo, apresentam vantagens positivas capazes de compensar esse impacte ambiental negativo, permitem economizar em consumo energético, garantindo iluminação natural e conforto no espaço interior dos edifícios. É um material com reciclabilidade quase total, mas na indústria da construção no fim do ciclo de vida dos edifícios a falta de desmantelamento selectivo, leva a que a reciclagem oriunda deste sector seja reduzida. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 161)

Na sua exploração, fabrico e durante o seu ciclo de vida, os fabricantes têm caminhado no sentido de reduzir a pegada ecológica do vidro. Têm contribuído com a redução do consumo de energia incorporada, água e matéria-prima, assim como com a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, durante a sua produção. Melhorar o desempenho térmico, garantindo um conforto eficaz do espaço interior utilizado, e garantir uma adequada reciclagem do vidro no final da sua vida útil, são objectivos que vêm sendo alcançados. (Saint-Gobain, 2020).

### **3.10.8. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO**

Tratando-se de um material reciclável e reutilizável, a sua viabilidade construtiva é considerada. Talvez não se adapte a todo o tipo de construção, mas é uma tipologia que tem inúmeras potencialidades quando se fala de sustentabilidade.

Por se tratarem de sistemas de fabricação simples e rápidos, com pré-fabricação associada, que dispensam de muita intervenção adicional "*in situ*", contribuem para a redução global de custos e tempo de execução.

Com os avanços tecnológicos a indústria da construção tem surgido com inúmeras variantes e soluções de vidro para resolver os problemas actuais associados à construção sustentável. Optimizar o uso do vidro em paredes exteriores contribuindo para o conforto do espaço interior habitado, reduzindo o consumo de energias fósseis não renováveis, é o objectivo principal. Existem soluções de vidros com sistemas de captação de energia com células fotovoltaicas integradas na superfície, com o intuito de "alimentar gratuitamente" o mecanismo electroquímico que cria um efeito sombreamento na superfície dos vidros evitando o sobreaquecimento das paredes exteriores, excessivamente expostas às radiações solares, que confinam o espaço interior do edifício. Outros vidros, permitem diferentes níveis de transmissão de calor e luz natural, garantindo iluminação natural generosa sem comprometer o conforto térmico do espaço interior do edifício. De modo a aumentar a sua durabilidade e facilitar a sua manutenção, existem soluções de vidros com tratamento de autolimpeza integrados. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 161)

A Tabela 15 apresenta os principais pontos das paredes de vidro.

**Tabela 15** – Principais pontos a enumerar nas paredes de vidro.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matéria-prima inorgânica abundante</li> <li>▪ Qualidades transparência e dureza</li> <li>▪ Permite pré-fabricação, maior produtividade, menor tempo de execução e menor custo</li> <li>▪ Bom isolante acústico</li> <li>▪ Baixa condutibilidade térmica e elevado isolante térmico com baixo consumos energéticos</li> <li>▪ Potencia a iluminação natural e os ganhos solares</li> <li>▪ Adequado controlo da transmissão da radiação solar</li> <li>▪ Elevada resistência ao fogo e não-tóxico</li> <li>▪ Resistente às acções dos agentes climáticos</li> <li>▪ Versatilidade construtiva</li> <li>▪ Existem soluções de vidros que permitem uma baixa manutenção com tratamentos de autolimpeza integrados aumentando o seu ciclo de vida</li> <li>▪ Fácil reciclagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Frágil ao vandalismo, quando sujeito a impactos ou punçoamento</li> <li>▪ Elevada energia incorporada no seu fabrico com elevadas emissões de CO2 e outras emissões nefastas (libertadas durante a fase de fusão)</li> <li>▪ Obriga a rigor dimensional e adequado planeamento</li> <li>▪ Requer mão-de-obra qualificada e devido acompanhamento de obra</li> <li>▪ Sistema constituído por elementos pré-fabricados com margens de erro menores</li> </ul>

Fonte: Adaptado a partir de: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2010b, p. 161).

### **3.11. PAREDES DE TROMBE**

As tipologias de paredes exteriores dos edifícios antigos eram constituídas por paredes robustas e grossas, com funções resistentes e também com o propósito de armazenar a energia solar incidente diurna, transferindo essa energia-calor, de forma gradual, durante o período noturno para o interior do espaço habitado. Neste âmbito,

mas associada a um de sistema solar passivo, surge, no final da década de 50 do século passado, a tipologia de parede de Trombe. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 175).

A parede de Trombe é constituída por um sistema solar passivo de ganhos energéticos indirectos. Este sistema teve origem em França, tendo sido desenvolvido pelo investigador Felix Trombe e Jacques Michel. O mesmo "consiste na captação da energia solar por meio de um sistema colector que armazena calor em massa térmica." (Pinto e Dias, 2015, p. 84-85).

Nos sistemas de ganhos energéticos indirectos (Ilustração 153), como referem os autores Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006, p. 176), a energia solar é captada através de uma massa térmica que acumula o calor. "[...] O calor é cedido ao interior, a partir deste elemento, por processos de convecção e condução, o que, devido à sua inércia térmica, retarda e amortece a oscilação das temperaturas interiores."



Ilustração 153 – Tipologias de aquecimento solar passivo com ganhos indirectos (Pinto e Dias, 2015, p. 85).

De um modo simples, a parede de Trombe é um sistema integrado no corpo construtivo e estrutural do edifício, destinado ao aquecimento passivo, que colecta e acumula a energia solar que nele incide, distribuindo essa energia-calor através de vias naturais de transferência para o ambiente interior. (Gonçalves, H., 1986, p. 1).

Todos os sistemas solares passivos são constituídos por uma superfície externa de vidro orientada a Sul, para uma maior captação da energia solar, e uma massa térmica colectora, que vai armazenando e distribuindo o calor acumulado para o interior do edifício. Sendo que, no caso da parede de Trombe, por ser um sistema de ganho indirecto, a massa térmica está localizada entre a superfície de ganho e o espaço

interior a aquecer, conseguindo assim atrasar a transferência do calor acumulado. (Gonçalves, H., 1986, p. 3).

Segundo Amado *et al.* (2015, p. 139) a parede de Trombe é uma das soluções construtivas mais aplicadas enquanto sistema de ganho indirecto. "Paredes maciças com a superfície exterior pintada de negro e utilização de vidro duplo entre esta e o exterior, possibilitam a criação do efeito de estufa." (Gonçalves, H., 1986, p. 3).

### **3.11.1. PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO**

As paredes de Trombe, consistem num sistema solar passivo, de ganho indirecto, que funcionam como radiadores gratuitos, que desde que haja sol, mesmo nas estações com menor radiação solar, permitem o aquecimento do espaço onde estão inseridas. (Tirone e Nunes, 2007, p. 164).

O sistema solar passivo, funciona como um colector passivo de energia solar. E como trabalha este sistema? Com os materiais e elementos de construção apropriados, faz uso das suas capacidades físicas, absorvendo, armazenando, distribuindo, controlando e mantendo "[...] por mais tempo os ganhos solares que aumentam a inércia térmica do edifício e reduzem a necessidade de utilização de sistemas de aquecimento artificiais." (Pinto e Dias, 2015, p. 82).

Reaes Pinto e Dias referem que se trata de um sistema solar passivo onde a opacidade é total, garantindo a total privacidade do espaço interior utilizado. (2015, p. 85).

A parede de Trombe funciona como um sistema de convecção térmica, onde o ar aquecido, estando quente e com mais peso próprio, tendencialmente desce, ao contrário do ar frio que sobe, entrando num sistema de circulação de ar descendente. (Amado *et al.*, 2015, p. 139).

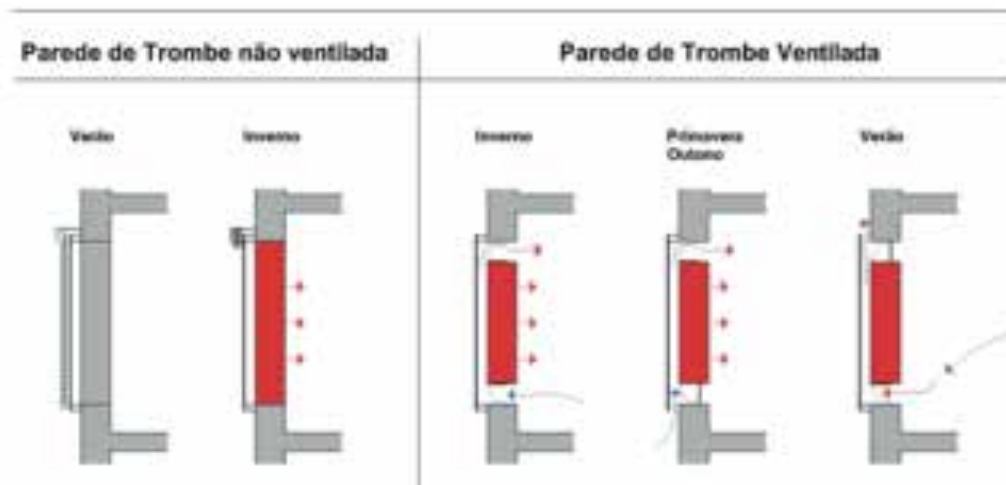
Na construção das paredes de Trombe é executada uma parede interior, designada por massa térmica, com propriedades físicas capazes de armazenar o calor colectado. Os materiais de armazenamento e construção utilizados podem ser diversos, desde que possuam uma elevada capacidade térmica, tais como pedra (Ilustração 154), betão, terra compactada, tijolos maciços ou água. Pelo exterior, é aplicada uma parede de vidro, sempre orientada a Sul, criando uma caixa-de-ar de cerca de 5 a 20

cm, entre o vidro e a parede interior de massa térmica. (Amado *et al.*, 2015, p. 139 ; Gonçalves, H., 1986, p. 5).



**Ilustração 154** – Paredes de Trombe ventiladas na Casa Schäffer no Porto Santo, projecto do Arq. Günther Ludwig. (Gonçalves, H. e Graça, 2004, p. 36).

Genericamente, existem dois tipos de paredes de Trombe, as ventiladas e as não ventiladas (Ilustração 155). Em ambas as soluções, o armazenamento dos raios solares captados, é realizado através de uma parede opaca construída com materiais pesados, com espessuras entre os 15 cm e os 50 cm, acabada normalmente numa cor escura mate na face exterior, para ajudar a aumentar os ganhos térmicos e não reflectir os raios incidentes. Pelo exterior, a parede deve ser revestida por um vidro, de preferência duplo, especialmente em climas frios, com uma caixa-de-ar, devidamente isolada, evitando assim perdas de energia para o exterior. (Mourão e Pedro, 2012, p. 102).



**Ilustração 155** – Funcionamento das paredes de Trombe ventiladas e não ventiladas, durante as diferentes estações do ano. (Pinto e Dias, 2015, p. 86).

Na parede de vidro exterior, as suas capacidades físicas pelo lado interior deverão, preferencialmente, garantir a reflexão da energia absorvida pela massa térmica e

contida na caixa-de-ar, evitando o seu retorno e conseqüente perda de energia para o exterior. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 105).

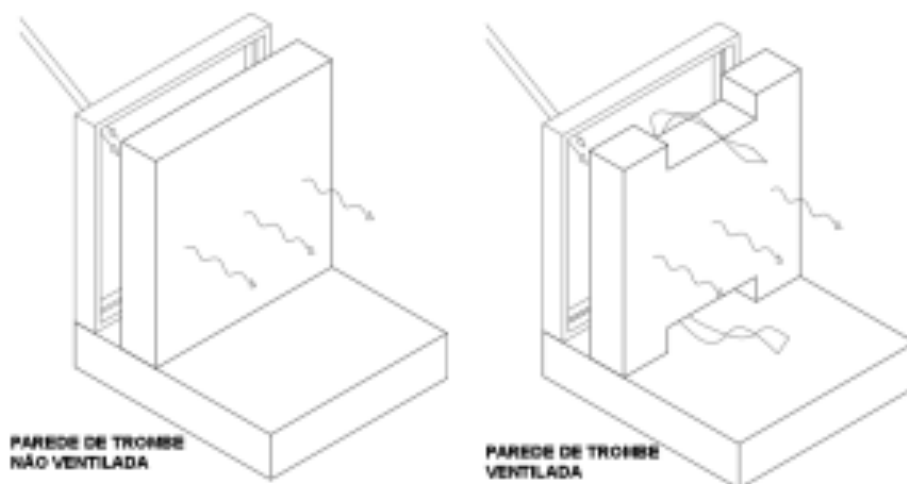
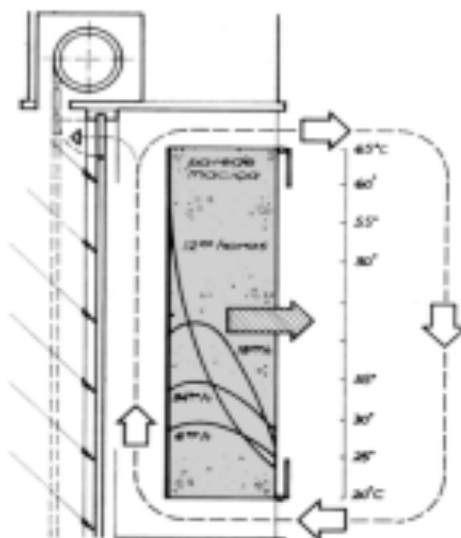


Ilustração 156 – Tipos de paredes ventiladas e não ventiladas. (Knaack *et al.*, 2007, p. 90).

Este efeito de estufa criado no interior da caixa-de-ar, consegue atingir temperaturas entre os 30° C e os 60° C (Ilustração 157). A energia colectada pela massa térmica, pode ser transferida no imediato, do espaço contido da caixa-de-ar para o espaço interior a aquecer, por meio de ventilação natural, através de aberturas superiores e inferiores existentes na parede colectora, integrado num sistema de convecção natural entre os dois espaços (Ilustração 156). Deste modo, a energia colectada pela parede é mais reduzida, uma vez que é distribuída directamente para aquecimento do espaço interior. Este é o princípio básico do sistema de funcionamento de uma parede de Trombe ventilada, tendo vindo a surgir nos últimos anos algumas variações no funcionamento e materialidade desta tipologia. Outra consideração possível neste sistema é a introdução de um orifício na parede de vidro exterior permitindo o pré-aquecimento do ar externo, validando assim também o seu uso nas estações da Primavera e do Outono. (Gonçalves, H. e Graça, 2004, p. 36).

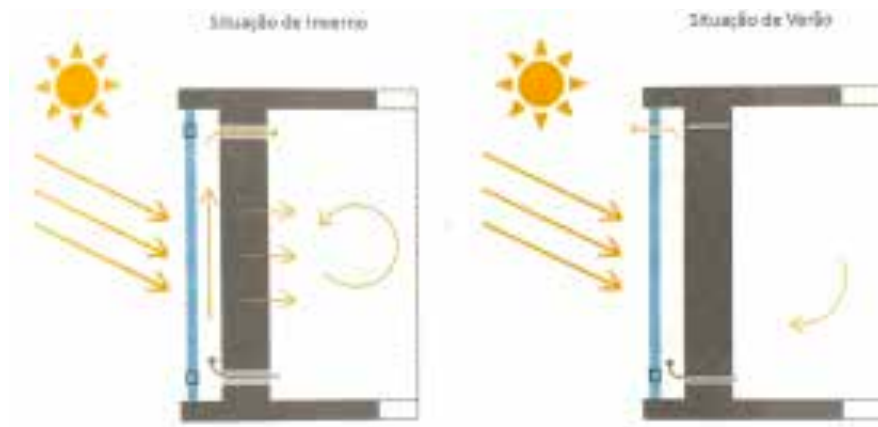


**Ilustração 157** – Temperaturas atingidas numa parede de Trombe ventilada. (Moita *apud* Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 105).

Nas paredes de Trombe ventiladas (Ilustração 157) bem dimensionadas o aquecimento do espaço interior é mais rápido, permitindo a renovação e circulação de ar, adaptando-se às variações climáticas das diferentes estações e exigindo uma manutenção mais detalhada. As aberturas aplicadas em cima e em baixo da parede de vidro, durante o período do Inverno, devem estar sempre fechadas tanto de dia como de noite, reduzindo substancialmente possíveis perdas térmicas. Já a parede interior de armazenamento de calor, deverá, durante o dia, manter abertos os orifícios de ventilação, permitindo assim a passagem, por convecção ou condução, do calor colectado e contido no espaço da caixa-de-ar para o espaço interior a aquecer. Quando a incidência solar é diminuta, as aberturas na parede interior, devem ser fechadas por forma a evitar perdas de calor. Já no período do Verão, na parede exterior de vidro, mecanismos de sombreamento devem ser considerados, onde em conjunto com a abertura na parte superior da parede deverão garantir o arrefecimento. A parede de armazenamento deverá permitir a circulação de ar natural através da abertura inferior. No período da noite, a ventilação e o arrefecimento do espaço da caixa-de-ar e da parede de armazenamento, deverá ser possível através das aberturas contidas na parede de vidro (Ilustração 157). (Rocheta e Farinha *apud* Amado *et al.*, 2015, p. 139-140).

Os autores Ricardo Mateus e Luís Bragança mencionam que as aberturas de ventilação consideradas nas paredes de Trombe devem contemplar mecanismos que permitam a regulação do fluxo admitido, para maior controlo das temperaturas do

espaço interior a aquecer, evitando o aquecimento excessivo no período diurno e o precoce arrefecimento no período nocturno. (2006, p. 177).



**Ilustração 158** – Funcionamento de parede de Trombe ventilada nos período do Inverno e do Verão. (Amado *et al.*, 2015, p. 143).

Na parede de Trombe não ventilada, a energia colectada será absorvida e armazenada na massa térmica durante o dia, e "a incidência de radiação solar gera altas temperaturas que levam ao desenvolvimento de fluxos de calor por condução [...]" (Pinto, 2018, p. 139), onde a sua transferência ocorrerá durante a noite e de forma desfasada para o interior do espaço a aquecer, em que a sua morosidade irá depender da espessura da parede. É um sistema que garante o aquecimento do espaço interior no período noturno, permitindo assim temperaturas de conforto térmico adequadas sem necessidade de recorrer a outros meios de aquecimento. Sendo assim, o princípio básico, de uma parede de Trombe não ventilada, é o de funcionar como "parede de armazenamento" de calor. (Gonçalves, H. e Graça, 2004, p. 36).

A espessura efectiva da parede de Trombe deve ser calculada tendo em conta o clima onde vai ser inserida, a dimensão do espaço interior a aquecer e o nível de condutividade térmica do material constituinte. Se a radiação solar directa for elevada, maior espessura deve ser considerada na execução da parede colectora. Se a capacidade de condutividade térmica do material for elevada, a parede deve ser mais grossa. Um aquecimento repentino ou precoce é um factor a evitar nestas tipologias. (Lewis *apud* Pinto e Dias, 2015, p. 85).

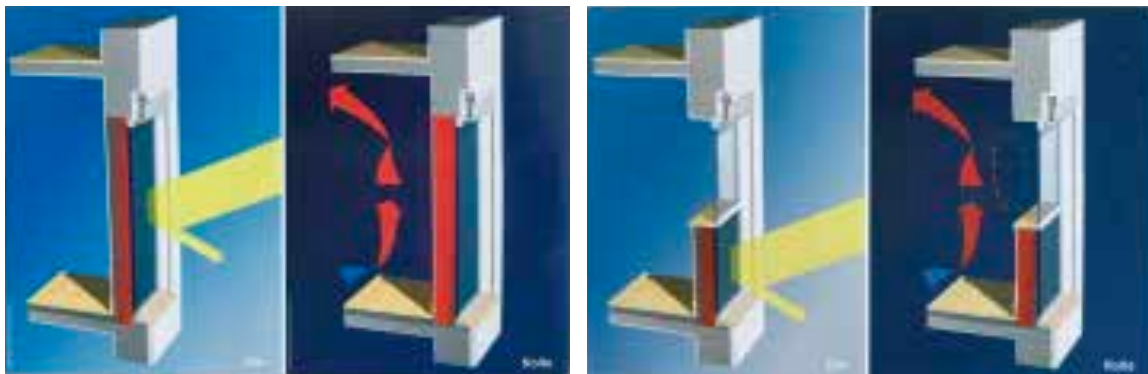
Conforme referem Ricardo Mateus e Luís Bragança, segundo o National Renewable Energy Laboratory, USA, uma parede de armazenamento com 40 cm de espessura, após se iniciar o processo de absorção de energia, leva entre 8 a 10 horas para transferir, por condução, o calor acumulado durante o dia. (2006, p. 177).



Se a parede colectora for bem dimensionada, a irradiação da carga térmica para o espaço interior a aquecer só ocorrerá ao final do dia, precisamente quando as temperaturas exteriores baixam e quando o espaço interior terá um uso mais intenso. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 105).

Os mecanismos de sombreamento devem ser considerados nos dois tipos de paredes de Trombe, as não ventiladas e as ventiladas, evitando o aquecimento excessivo nos períodos de maior incidência solar. (Pinto e Dias, 2015, p. 86).

As paredes de Trombe não ventiladas, segundo Tirone e Nunes, podem ser projectadas de forma isolada ocupando o dimensionamento total de um vão, fazendo parecer que são janelas comuns (Ilustração 159). Mas, também podem ocupar só parte do vão, ficando associadas a janelas comuns (Ilustração 160). É um misto de sistemas de ganhos directos com ganhos indirectos. São colocadas por baixo do vão, preenchendo uma faixa contínua, podendo funcionar pelo interior como assento junto da janela, proporcionando uma zona de lazer confortável com vista para o exterior. Esta tipologia durante o dia absorve o calor dos raios solares incidentes, libertando o calor armazenado, de forma gradual durante a noite, para o interior do espaço a aquecer. Ambas as soluções devem contemplar sistemas reguláveis de sombreamento. (2007, p. 164).



**Ilustração 159** – Paredde de Trombe não ventilada ocupando a totalidade de uma janela. (Tirone e Nunes, 2007, p. 164).

**Ilustração 160** – Paredde de Trombe não ventilada colocada por baixo de uma janela, ficando integrada e ocupando parte do vão. (Tirone e Nunes, 2007, p. 164).

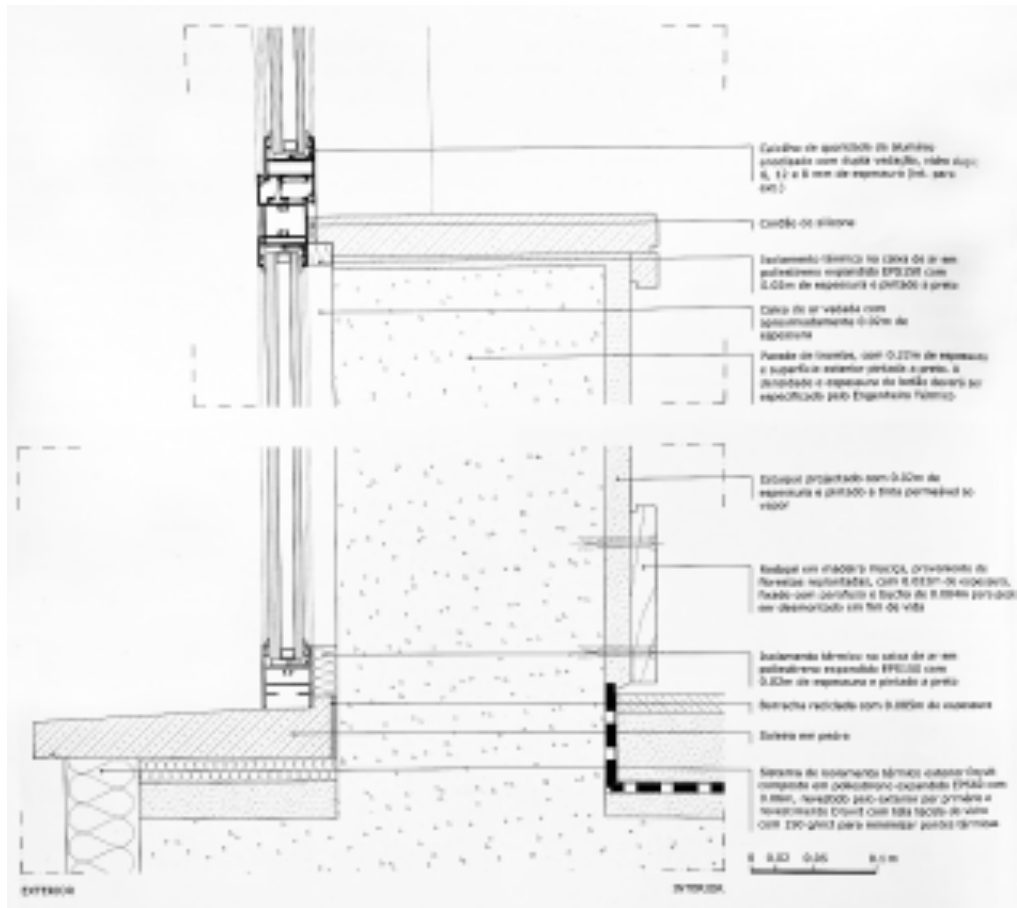
No projecto do edifício Torre Verde (Ilustração 161), Tirone e Nunes usaram paredes de Trombe não ventiladas com sistemas de sombreamento regulável. Integraram as paredes de armazenamento na arquitectura exterior do edifício aparentando serem janelas normais. Pelo interior, têm o aspecto das paredes convencionais. São intencionalmente bem dimensionadas e integradas no corpo construtivo do edifício, nos alçados orientados a Sul, havendo maior incidência dos raios solares nas épocas

frias, dissipando o calor colectado, durante o período nocturno, contribuindo por sua vez para um maior conforto térmico do espaço interior habitado, minimizando os custos e o uso de sistemas artificiais de aquecimento. (2007, p. 164).



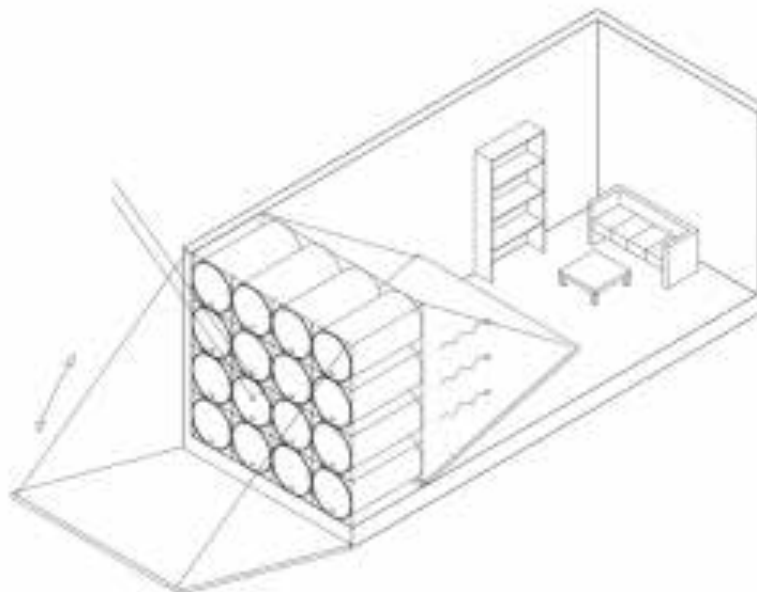
**Ilustração 161** – Parede de Trombe não ventilada colocada por baixo de uma janela, ocupando uma faixa na altura de um assento. (Tirone e Nunes, 2007, p. 164).

O uso desta tipologia na construção actual é ainda pouco comum. A importância de uma pormenorização detalhada, na fase de projecto, é a chave para o sucesso da sua correcta execução. Detalhes como os “[...] bites do caixilho do vão envidraçado que protege a Parede Trombe pelo exterior [...], que devem ser montados (e manterem-se desmontáveis) pelo exterior, no caso de substituição desse vidro.” Este acesso deverá permitir também a sua limpeza, caso haja necessidade. O isolamento em torno da caixa-de-ar contida entre as duas paredes, a massa térmica e o vidro, é um detalhe a ter em conta para que não hajam fugas do calor armazenado, garantindo que o calor absorvido seja só libertado para interior através da massa térmica (suporte rígido interior) (Ilustração 162). (Tirone e Nunes, 2007, p. 165).



**Ilustração 162** – Detalhe construtivo de parede de Trombe não ventilada. (Tirone e Nunes, 2007, p. 166).

A casa de Steve Baer, no Novo México, nos Estados Unidos da América, edificada em 1973 (Ilustração 163), mostra uma parede de Trombe em que a parede de armazenamento é composta por barris cheios de água, capazes de armazenar o calor captado durante o dia. Funciona com um sistema de "tampas" que abrem e fecham, consoante o fim pretendido. A tampa exterior está aberta durante o dia, permitindo a captação da energia solar, e a tampa interior está fechada, contendo a passagem do calor acumulado. À noite, a tampa exterior é fechada e a tampa interior é aberta permitindo a transferência do calor acumulado durante o dia para o espaço interior. (Knaack *et al.*, 2007, p. 90).



**Ilustração 163** –Detalhe de sistema de parede de Trombe da casa de Steve Baer, no Corrales, Novo México, EUA, 1973. (Knaack *et al.*, 2007, p. 90).

### 3.11.2. RESISTÊNCIA MECÂNICA

Sendo esta tipologia de paredes composta essencialmente por paredes robustas e resistentes, a sua resistência mecânica mostra-se satisfatória. Sendo naturalmente variável consoante o material utilizado.

Como referem Pinto e Dias (2015, p. 80), "a escolha ideal dos materiais tem de ir além das suas características térmicas. É necessário avaliar o seu comportamento nomeadamente da resistência, da durabilidade e da toxicidade, quando o material é sujeito a radiação solar directa."

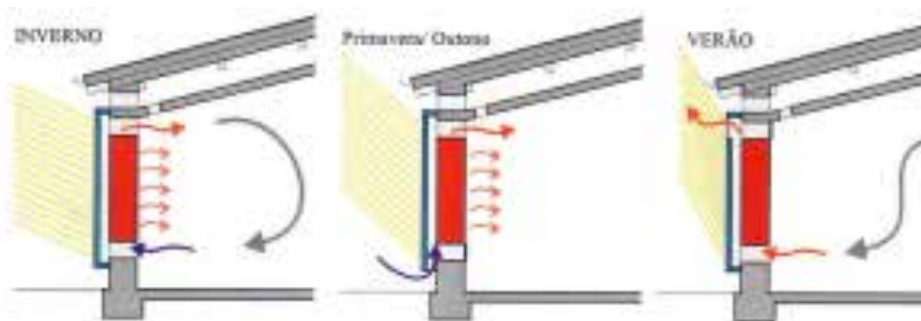
### 3.11.3. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO

Nas paredes de Trombe, segundo Mourão e Pedro (2012, p. 102), "[...] a elevada massa térmica e o elevado isolamento constituem soluções passivas que potenciam a captação e a retenção de ganhos solares directos, garantindo bons desempenhos térmicos e energéticos [...]."

A escolha criteriosa dos materiais a utilizar nas paredes de armazenamento, é primordial influenciando consideravelmente o seu funcionamento. Pois como referem Pinto e Dias (2015, p. 80) as paredes de Trombe construídas "[...] com materiais pesados (betão, pedra e terra) favorecem a acumulação de calor. O calor armazenado será libertado apenas quando a temperatura do ar, no interior da habitação, for inferior à temperatura dos elementos pesados da construção."

"A inércia térmica é especialmente relevante em climas sujeitos a grandes amplitudes térmicas em curtos espaços de tempo, uma das características do clima mediterrânico." (Bardou *apud* Pinto e Dias, 2015, p. 80).

As paredes de Trombe deverão ser sempre aplicadas nas fachadas orientadas a Sul, pois só assim se consegue a captação de maior incidência dos raios solares. Esta orientação do edifício a Sul é favorável quanto à baixa altitude solar que ocorre no Inverno, não influenciando o conforto com ganhos indirectos excessivos que incidem durante o período do Verão (Ilustração 164). (Tirone e Nunes, 2007, p. 164).



**Ilustração 164** – Funcionamento da parede de Trombe na Casa Shäffer no Porto Santo, projecto do Arq. Günther Ludwig. (Moita *apud* Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 106).

A cor da parede colectora de energia solar, influência muito o desempenho de uma parede de Trombe, assim como a materialidade da própria parede. O seu desempenho térmico é variável consoante o material utilizado, "[...] sendo a água, o betão, a pedra e o tijolo maciço, os materiais preferenciais por decrescente." (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 106).

As paredes de Trombe têm um bom desempenho térmico quando equilibradas com sistemas de ventilação e mecanismos de sombreamento. Esta simbiose sistémica, evita o aquecimento excessivo da massa térmica, quando existe radiação descontrolada, permitindo um controlo da radiação solar incidente, garantindo assim um conforto térmico adequado.

As temperaturas alcançadas pelas paredes de Trombe diferem consoante é ou não ventilada. Os níveis térmicos alcançados nas paredes de Trombe não ventiladas são normalmente mais altos, diferindo mais nos períodos com maior incidência solar, devido ao seu sistema de funcionamento. Grande parte da energia captada durante o dia por uma parede de Trombe ventilada, é transferida por termoventilação, não atingindo as temperaturas de superfície alcançadas pelas paredes de Trombe não ventiladas, em que o calor é transferido lentamente por condução. (Gonçalves, H., 1986, p. 140-141).

Na sua constituição, a parede de Trombe deve ser concebida e executada tendo especial atenção quanto ao isolamento térmico. O mesmo deverá ser devidamente aplicado em torno da caixa-de-ar que existe entre o vidro e a parede de massa térmica, permitindo assim que o calor colectado e armazenado não se dissipe por outros pontos, a não ser só através da massa térmica. (Tirone e Nunes, 2007, p. 165).

Nas paredes de Trombe ventiladas, o desempenho higrotérmico, mais especificamente o comportamento às humidades, está salvaguardado pela existência de mecanismos de aberturas, como é o caso das aberturas de termoventilação natural, que potenciam o arejamento evitando humedificação do revestimento de vidro e condensações interiores. (Gonçalves, H. e Graça, 2004, p. 36-37).

Como enumerado no RCCTE, o sistema especial de captação de energia solar para aquecimento, de ganho indirecto, como a parede de Trombe sem ventilação, e segundo este Regulamento, dispensa o cálculo das perdas térmicas e dos ganhos solares.

[...] [O] efeito dos sistemas passivos (parede de armazenamento térmico) pode ser simplesmente ignorado, considerando este sistema como um elemento “neutro”, não se considerando perdas térmicas através das áreas exteriores das paredes de armazenamento térmico nem estes componentes ficam sujeitos a requisitos mínimos no valor dos coeficientes de transmissão térmica, pois, no balanço global anual, contribuem de forma positiva para o aquecimento do ambiente na estação fria. Continuam, no entanto, obrigados aos requisitos mínimos em termos de sombreamento

para não penalizarem o desempenho do edifício no Verão.” (Decreto-Lei nº 80/2006, p. 2491).

#### **3.11.4. ISOLAMENTO ACÚSTICO**

As paredes de Trombe, são tipologias compostas por paredes interiores espessas, de elevada inércia térmica, com caixa-de-ar interposta entre a parede espessa interior e a parede exterior em vidro, apresentando um bom desempenho no isolamento acústico. Contudo, não só por questões térmicas, como já foram referidas, mas também por questões acústicas, o vidro deverá ser duplo garantindo uma maior eficácia no isolamento acústico.

#### **3.11.5. RESISTÊNCIA AO FOGO E AOS MICRO-ORGANISMOS**

Sendo constituídas, maioritariamente, por materiais incombustíveis como alvenarias cerâmicas, betão, terra e vidro, as paredes de Trombe oferecem uma resistência favorável quando expostas ao fogo. Se na sua constituição, os acabamentos interiores do paramento permitirem a permeabilidade do interior para o exterior, evitando assim condensações de vapores geradas no interior, associada a uma ventilação adequada, quando possível, as paredes de Trombe conseguem alcançar um bom desempenho não contribuindo para o aparecimento de micro-organismos. Sendo que as paredes de Trombe ventiladas, conseguem garantir esta eficácia. As paredes de Trombe não ventiladas são propícias ao surgimento de condensações alojadas na superfície interior do revestimento de vidro, contribuindo assim, esta humedificação, para uma degradação precoce dos materiais constituintes. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 180).

#### **3.11.6. DURABILIDADE**

Apesar das paredes de Trombe (não ventiladas) dispensarem manutenção como referem Tirone e Nunes (2007, p. 164), os autores Pinto e Dias referem que, como defende Goulding, estas devem permitir o acesso ao interior da caixa-de-ar criada entre o vidro e a parede de massa térmica, justificando o mesmo com a probabilidade de ocorrerem condensações que podem levar à deterioração precoce dos materiais. (Goulding *apud* Pinto e Dias, 2015, p. 85).

No caso das paredes de Trombe ventiladas, a manutenção é um factor primordial, assim como o seu uso requer mais atenção e cuidados. Na fase de construção esta tipologia exige mais detalhe e rigor, para que o sistema funcione devidamente. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010 b, p. 105).

### **3.11.7. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

O conceito de arquitectura solar passiva, retrata uma arquitectura que adapta e orienta o edifício a construir ao lugar e ao clima onde será inserido, por vias naturais. No caso de Portugal, onde o clima é ameno, este sistema solar passivo faz todo o sentido, permitindo tornar o espaço interior confortável, dispensando assim o uso de sistemas artificiais consumidores de energias não renováveis e poluentes. Contudo, uma correcta concepção, um desenho adequado ao lugar e clima, uma triagem indicada dos materiais a usar e a aplicação do sistema solar passivo mais adequado, são factores primordiais para o bom funcionamento de todos os elementos em uníssono. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 175).

Este sistema passivo de ganho indirecto, associado devidamente ao edificado, representa uma mais valia no âmbito de uma construção sustentável. Contribui para aumento do conforto do ambiente interior nos edifícios, reduzindo substancialmente a necessidade de aquecimento nas estações frias. As paredes de Trombe têm a capacidade de conter na caixa-de-ar, entre o vidro e a parede interior, os raios solares (processo por alteração da frequência da onda), não permitindo o seu retorno através do vidro, criando assim um "efeito de estufa". O calor acumulado na caixa-de-ar, vai sendo gradualmente absorvido pela massa térmica (parede interior), atravessando horas depois o paramento acumulador até ao interior da habitação. O aquecimento do espaço habitado, que se processa por vias naturais, dispensa o recurso a outros meios de aquecimento artificiais no Inverno. (Tirone e Nunes, 2007, p. 164).

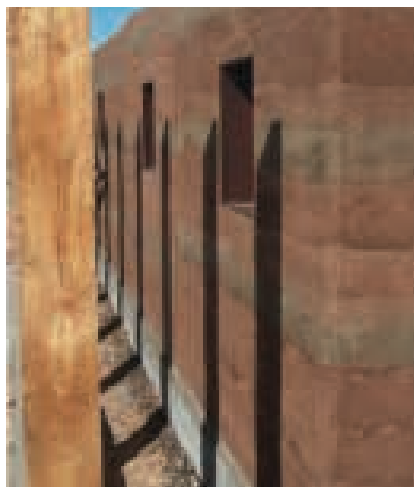
Estas tipologias de paredes de Trombe devem recorrer a mecanismos de sombreamento para evitar o sobreaquecimento especialmente no período do Verão, quando a radiação solar é mais elevada. O sombreamento adequado evita o uso desnecessário de sistemas artificiais de arrefecimento, com consumos energéticos elevados e dispendiosos associados, resultando em emissões de gases nocivos para o ambiente. (Amado *et al.*, 2015, p. 147).



Na construção do edificado, segundo Tirone, optar por tecnologias com sistemas solares passivos e uma arquitectura bioclimática, é garantir conforto interior em qualquer altura do ano, reduzindo o consumo energético não renovável e poluente em cerca de 80%. (Tirone, 1998, p. 6).

Segundo Pinto e Dias (2015, p. 84), a parede de Trombe "é um sistema de aquecimento passivo de baixa manutenção que também permite reduzir o consumo de energia."

A Ilustração 165 mostra um exemplo de parede de Trombe, com os princípios de uma construção mais sustentável, em que a massa térmica é construída em taipa, e que permite apresentar a versatilidade do material mostrando a sua eficácia também neste campo. Este projecto e construção, executado gratuitamente por alunos do Departamento de Arquitectura e Planeamento da Universidade do Utah, nos Estados Unidos, está inserido no "[...] programa Design Build Bluff, habitações de cariz marcadamente sustentável para os membros Tribo Navajo." (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 20).



**Ilustração 165** – Parede de Trombe em taipa construída no âmbito do programa Design Build Bluff. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 20).

Esta tipologia de paredes para além de ser uma das soluções mais usadas dentro do âmbito da arquitectura solar passiva, atribui ao espaço onde está inserida um conforto térmico elevado, evitando grandes variações de temperaturas interiores, contribuindo significativamente para uma construção mais sustentável minimizando o impacte ambiental associado quando comparado com outras tipologias convencionais. (Mateus, R. e Bragança, 2006, p. 176).

### 3.11.8. VIABILIDADE CONSTRUTIVA E CUSTO

Como defende Tirone, o uso de tecnologias e sistemas construtivos solares passivos

[...] deveria ser uma exigência de quem projecta, de quem constrói, de quem decide e de quem adquire espaços para morar ou trabalhar até porque os cidadãos do século XXI, mais sensíveis às questões ambientais, vão certamente exigir que os edifícios integrem qualidade, conforto e ambiente. (1998, p. 7).

No estudo feito pelo autor Helder Gonçalves (1986, p. 158) aconselha e viabiliza o uso das paredes de Trombe, pois garantem um elevado ganho solar sem recorrer a grandes vãos de vidro de ganho directo, e reduzem as perdas térmicas nas paredes exteriores.

Quando bem projectada e bem concebida, uma parede de Trombe deve significar uma mais valia e não um custo acrescido à construção onde está inserida, pois garante uma grande poupança no consumo energético. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 106).

Helder Gonçalves (1986, p.159) conclui que o papel do utilizador no correcto e adequado funcionamento dos sistemas solares passivos é fulcral, para garantir uma adequada gestão dos recursos energéticos do edifício. Apresentando, como exemplo, as diferenças de eficiência energética resultantes do uso devido dos mecanismos reguláveis de sombreamento.

A Tabela 16 apresenta os factores diferenciadores das paredes de Trombe.

**Tabela 16** – Principais pontos a enumerar nas tipologias de paredes de Trombe.

<b>PONTOS FORTES</b>	<b>PONTOS FRACOS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sistema solar passivo com ganhos indirectos</li> <li>▪ Garante um elevado conforto térmico</li> <li>▪ Reduzida oscilação da temperatura do espaço interior</li> <li>▪ Elevada inércia térmica</li> <li>▪ Bom isolante acústico</li> <li>▪ Incombustível</li> <li>▪ Manutenção reduzida</li> <li>▪ Reduz os consumos energéticos fósseis para aquecimento e arrefecimento, com reduzidas emissões poluentes e maior poupança</li> <li>▪ Reduz as perdas térmicas nas paredes onde se inserem</li> <li>▪ A sua opacidade, permite privacidade total</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Parede opaca impedindo a iluminação natural</li> <li>▪ Possibilita a degradação precoce por formação de condensações no revestimento de vidro (não ventilada)</li> <li>▪ Paredes espessuradas reduzindo o espaço útil</li> <li>▪ A ausência de radiação por períodos longos leva a um mau desempenho térmico, uma vez que não possui isolamento térmico e tem uma elevada massa, leva ao aumento das perdas de energia e ao atraso do aquecimento</li> <li>▪ Obriga a soluções de sombreamento</li> <li>▪ Localização condicionada à orientação Sul</li> <li>▪ Custo mais elevado na sua construção</li> </ul>

Fonte: Adaptado a partir de: Mateus, R. e Bragança (2006, p. 180).

#### 4. CARACTERÍSTICAS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

Para uma economia nacional, a indústria da construção tem um papel de grande importância pelos investimentos que produz, pela sua contribuição para o PIB e para a formação bruta de capital fixo e para a criação de emprego, quer directa quer indirectamente, com uma empregabilidade de cerca de 8% a 10% da população activa. Tem ainda um efeito de arrastamento relativamente às indústrias paralelas, a montante e a jusante. (Pinto, 2018, p. 146).

Contudo, a indústria da construção é muito agressiva para o ambiente e, por isso, deve integrar-se no âmbito da construção sustentável. (Pinto, 2018, p. 146).

Segundo Reaes Pinto, a indústria da construção é responsável por uma grande parte dos impactes ambientais negativos que estão a acontecer globalmente.

A Indústria da Construção de edifícios, embora desempenhe um papel relevante relativamente à economia nacional e internacional, é uma actividade que produz grandes impactes ambientais negativos, com grande consumo energético e produção de gases de efeito de estufa, que contribuem para o aquecimento global e mudanças climáticas que estamos dramaticamente a assistir. Daí a necessidade urgente de inserir-la no âmbito e princípios da Construção Sustentável. (2018, p. 15).

Conforme referem Torgal e Jalali (2010a, p. 3),

o sector da construção pauta a sua actividade por elevados impactos ambientais ao nível da extracção de elevadas quantidades de matérias-primas não renováveis, de elevados consumos energéticos e das consequentes e elevadas emissões de gases responsáveis por efeito de estufa.

Também esta indústria apresenta um significativo atraso em relação a outras indústrias mais ricas, tecnicamente mais desenvolvidas e mais organizadas, com níveis de produção mais elevados, capazes de atrair e de melhor remunerar os seus recursos humanos. (Pinto, 2018, p. 146).

A falta qualidade da construção é um factor fundamental e mais difícil de reverter, segundo Reaes Pinto, esta situação da mão-de-obra poderá ser melhorada se for considerada a formação técnico-profissional (qualificação da mão-de-obra) com estímulo e condições que atraiam os jovens para o sector, num âmbito mais industrializado da construção de edifícios. (2018, p. 149-150).

Apesar disto, a indústria da construção procura acompanhar as indústrias mais desenvolvidas, com base numa organização e gestão mais eficazes, com maior e melhor informatização das suas actividades. (Pinto, 2018, p. 143)

Também, segundo Conforme referido por Coelho, Torgal e Jalali (2009, p. 5), "o bom conhecimento dos materiais de construção é um requisito fundamental para promover quer a qualidade quer mesmo a sustentabilidade da indústria da construção".

## 5. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A procura pelo Homem de uma protecção à acção do clima esteve na origem das primeiras construções. A evolução demográfica e a produção de riqueza, suportada pela exploração dos recursos naturais, grande parte dos não renováveis, conduziu o modelo de desenvolvimento das sociedades para uma situação de elevada complexidade e produtora de impactos negativos com reflexos na qualidade de vida da população. (Amado *apud* Pinto, 2018, p. 11).

Como referem Torgal e Jalali (2009, p. 2), apesar de todos os alertas que têm vindo a ser transmitidos nas últimas décadas pela comunidade científica, face aos problemas urgentes ambientais do planeta e que podem levar à extinção da civilização humana como a conhecemos hoje, é de relembrar que:

Contrariamente às restantes espécies animais que procuram um equilíbrio com o sistema que lhe assegura a sua subsistência, por outro lado e em absoluto contraste a espécie humana tem no decurso da sua breve existência somente se preocupando com a satisfação imediata das suas “necessidades” independentemente das mesmas poderem provocar a exaustão e o colapso do ecossistema do qual são parte integrante. (Torgal, Eires e Jalali, 2009, p. 152).

No que respeita ao impacte ambiental negativo, a indústria da construção contribui significativamente. Negativamente, evidencia-se o excessivo consumo de recursos naturais, a produção de resíduos, as emissões de dióxido de carbono e o consumo descontrolado de energia. A redução destes impactes no sector da construção, é primordial.

O aumento do aquecimento global e as mudanças climáticas que estamos a assistir, como consequência da utilização de energias fósseis e poluentes, a exploração e o consumo, sem critério, dos nossos recursos naturais, a produção excessiva de resíduos, o aumento da população mundial e a tendência da sua concentração nas grandes cidades saturadas e poluentes, estão na base de Mudanças fundamentais na nossa sociedade. (Pinto, 2018, p. 17).

Quando se aborda o tema da construção sustentável, somos transportados para três momentos: ambiente, economia e sociedade (Ilustração 166). Cada momento, deve ser tido em conta quando se fala da problemática do desenvolvimento sustentável da indústria da construção. O adequado desempenho de um edifício, em cada um dos momentos referidos, é imperativo na construção sustentável. Reduzir, é a palavra chave, que se aplica ao consumo descontrolado de recursos, tais como energias não renováveis, materiais e água, assim como a pegada ecológica, como as emissões de dióxido de carbono, resíduos e poluentes. Um edifício para cumprir os princípios da

sustentabilidade deverá, durante o seu ciclo de vida, respeitar alguns pontos principais, tais como: manter a identidade do local, dar a devida importância às potencialidades do local, realizar consumos energéticos e hídricos responsáveis, recorrer a materiais de construção eco-eficientes, manter o espaço interior utilizado saudável e confortável.



Ilustração 166 – Efeitos ambientais durante o ciclo de vida da construção. (Pinheiro, 2006, p. 74).

A sustentabilidade é um tema actual, de grande importância, e está associado a todas as actividades humanas, ao crescimento populacional e ao desenvolvimento técnico. A indústria da construção, uma das mais importantes actividades humanas, é responsável por impactos ambientais crescentes em parceria com o crescimento populacional e tecnológico.

Como referem Tirone e Nunes, o edificado construído tem um consumo de cerca de metade da energia produzida a nível global, sendo responsável pela maior parte das emissões de gases que favorecem o efeito de estufa. Uma mudança de mentalidade, uma maior consciencialização dos actos quotidianos humanos e a introdução de boas práticas na indústria da construção, são importantes impulsionadores para que ocorra uma redução substancial dos impactos ambientais, contribuindo favoravelmente para a resolução das Alterações Climáticas que estamos a assistir. (2007, p. 14).

O sector da construção e todas as actividades que lhe são inerentes produzem CO<sub>2</sub> (GEE), consomem energia de forma descontrolada, provocando um grande impacto ambiental. Esse excessivo consumo energético, não acontece só no edificado construído, acontece também na indústria da construção, englobando a construção, a renovação e a demolição. (informação verbal)<sup>32</sup>.

Esses gases com efeito de estufa (GEE) com origem na utilização de combustíveis fósseis concentram-se na atmosfera formando uma camada que permite que os raios solares penetrem, mas impede que o calor gerado por eles seja dissipado, provocando assim o chamado Efeito de Estufa." (REN, 2020). A Ilustração 167, mostra de forma mais pormenorizada como ocorrem as emissões dos GEE.

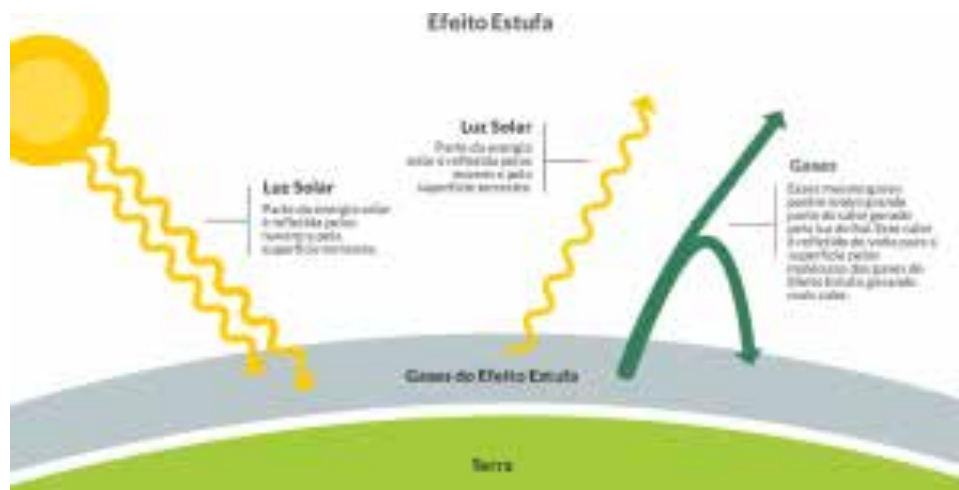


Ilustração 167 – Emissões de Gases com Efeito de Estufa. (REN, 2020).

Na Europa, a indústria da construção, é um dos maiores e dos mais activos sectores industriais a funcionar, que representa 28,1% do total das indústrias de actividade humana. Também detém 7,5% do emprego gerado, na indústria da construção e no sector económico europeu. Não bastando, o sector da construção é o maior consumidor a nível mundial de matérias-primas, consumindo cerca de 3000 milhões de toneladas anuais, e mais ou menos 50% em massa, quando comparado com outros sectores de actividade económicos. De alertar que, o aumento populacional a nível mundial previsto para os próximos anos, e as inevitáveis necessidades de mais parque habitacional e de outras infraestruturas, implica um considerável crescimento no consumo de recursos não renováveis, assim como o aumento da produção de resíduos resultantes desta mesma indústria. Por isso, é urgente e fundamental, o recurso a materiais e técnicas construtivas sustentáveis que contribuam para um

<sup>32</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.

desenvolvimento mais sustentável e que cumpram os princípios de sustentabilidade na indústria da construção. (Torgal e Jalali, 2009, p. 2).

As primeiras publicações sobre o tema da sustentabilidade surgiram nos anos 60, do século passado, onde foram evidenciados os efeitos nocivos do uso abusivo de pesticidas e das alterações climáticas resultantes das emissões de gases responsáveis pelo aquecimento global. (Torgal e Jalali, 2010a, p. 20).

Já nos anos 70, as preocupações com o desenvolvimento sustentável começam a fazer parte da agenda política internacional, embora de uma forma muito subtil, como meras sugestões.

Só nos anos 80, é que se começou a dar a devida importância ao problema ambiental global. Começou a haver consciência das consequências nefastas das emissões de gases, responsáveis pela destruição gradual da camada de ozono e o surgimento de chuvas ácidas, resultado do processo produtivo da maioria das actividades humanas. Medidas foram adoptadas, por forma a apertar o cerco e responsabilizar aqueles que não cumprissem.

O termo construção sustentável é divulgado publicamente pela primeira vez em 1994, por Charles Kibert, professor e director do Centro de Investigação para a Construção e Ambiente da Universidade da Flórida. Para Kibert, a Construção Sustentável é “[...] a criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, baseado na eficiência de recursos e princípios ecológicos.” (Guerreiro, 2019, p. 19).

Nas últimas décadas o termo sustentabilidade foi sendo abordado e interpretado, apesar do seu efectivo destaque e importância, a nível global, tenha surgido na década de 90. Uma das definições mais comuns é a presente no chamado relatório Brundtland coordenada pela então Primeiro-ministro da Noruega (WCED, 1987) em que o desenvolvimento sustentável foi definido como o "desenvolvimento que dê resposta às necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras". (Lidera, 2020).

Uma construção mais sustentável começa pela escolha dos materiais e seus componentes ainda na fase de projecto de um edifício. Pois há que considerar, que o edifício é constituído, também, pela produção dos materiais, o seu transporte e o seu uso. Contribuindo, assim, no seu conjunto para as emissões de gases nocivos no



ambiente. Sendo, o sector da construção, um dos principais sectores de actividade humana, que mais contribui para o impacto ambiental a nível mundial. Não só pelas emissões de carbono, como também pelo consumo irracional de recursos naturais, não renováveis, e pela produção descontrolada e nociva de resíduos.

"Qualquer um dos materiais renováveis tem, *a priori*, potencial para aumentar a sua quota, pois as suas vantagens ambientais relativamente a outros tipos de produtos serão reconhecidas e validadas pelos projectistas, construtores e utentes." (Oliveira e Pinto, 2011, p. 73).

Quando se refere que existe um consumo irracional de recursos naturais não renováveis, no sector da construção, falamos de um problema ambiental. Contudo, é preocupante o seu excessivo consumo, pela possibilidade de esgotamento das matérias-primas, mas mais preocupante é o impacto ambiental causado pela sua extracção. A destruição da biodiversidade envolvente, os resíduos daí resultantes e os problemas ambientais que destes advém, são factores primordiais que obrigam cada vez mais a uma redução de extracção de matéria-prima não renovável.

A construção sustentável resulta da necessidade de mudança de mentalidade no sector (Ilustração 168), em que o projecto não é só tempo e custos gastos, como se começa a avaliar os consumos de recursos, a saúde, os impactes ambientais, a biodiversidade, a qualidade de vida e das construções e as restrições sociais, económicas, culturais e ambientais. (Pinheiro, 2006, p. 104).

Segundo Pinheiro (2006, p. 105), foram estabelecidos por Kibert em 1994 alguns princípios para a construção sustentável:

1. **Reduzir** - evitar o consumo de recursos, reduzindo o seu consumo ao máximo;
2. **Reutilizar** - evitar o desperdício, reutilizando sempre que possível os recursos;
3. **Reciclar** - após o fim de ciclo de vida dos materiais, reciclá-los;
4. **Recorrer** - utilizar recursos recicláveis;
5. **Proteger** - em todas as actividades humanas proteger os sistemas naturais e a sua função
6. **Eliminar** - não usar materiais tóxicos e subprodutos.



Ilustração 168 – Evolução das preocupações na construção. (Pinheiro, 2006, p. 104).

Ricardo Mateus e Luís Bragança (2006, p. 31-35) definem como principais metas a alcançar no âmbito de uma construção sustentável os seguintes pontos:

1. **Economia de energia e água** - conceber edifícios eficientes, contribuindo para uma gestão eficaz do consumo de energias não renováveis e de água. Pelos impactes ambientais negativos que apresenta, como emissões de gases poluentes e depender de um recurso natural não renovável, é primordial reduzir o consumo de energias não renováveis, optando por soluções renováveis desde a fase de construção à de utilização dos edifícios. Deve ser assegurada uma gestão adequada no consumo de água nos edifícios, implementando sistemas de poupança de consumo reduzindo a produção excessiva de águas residuais.
2. **Melhorar a salubridade e conforto do interior dos edifícios** - garantir conforto no espaço interior utilizado, assegurando boa iluminação e ventilação natural,
3. **Aumentar a durabilidade dos edifícios** - conceber edifícios resistentes mas também duráveis, aumentando o seu ciclo de vida. Na sua concepção e construção, recorrer a materiais duráveis e a construções flexíveis ajustáveis a novas utilizações.
4. **Programar a conservação e manutenção dos edifícios** - depois de construídos, os edifícios sofrem um processo de envelhecimento normal, que

deverá ser periodicamente controlado salvaguardando o seu bom estado de conservação. As construções de edifícios recorrem a uma grande quantidade de recursos naturais, que com uma adequada conservação, manutenção e reabilitação, são preservados garantindo uma maior longevidade aos edifícios.

5. **Recorrer a materiais eco-eficientes** - escolha criteriosa e uso de materiais eco-eficientes ou ecológicos, com baixo impacte ambiental, que possuam as seguintes características: ausência de químicos nocivos à camada de ozono, duráveis, que exijam pouca manutenção, baixa energia incorporada, disponíveis nas proximidades da construção, compostos por matérias recicladas reaproveitadas de outras indústrias e/ou que possam ser reciclados ou reutilizados e cuja escolha considere uma análise do seu ciclo de vida.
6. **Menor massa de construção** - reduzir a massa total do edifício contribuindo para menor quantidade de recursos incorporados.
7. **Reduzir a produção de resíduos** - a fase de construção é aquela que produz mais resíduos, o uso de sistemas pré-fabricados pode contribuir para a sua redução significativa. Os resíduos estão relacionados sequencialmente com a produção dos materiais, perdas, transporte, construção, manutenção e demolição.
8. **Economizar custos** - a sustentabilidade numa construção só faz sentido se depois de contemplar todos os pontos anteriormente referidos, seja possível a compatibilização de custos que convinhem ao dono de obra e potenciais utilizadores.
9. **Assegurar condições de higiene e segurança em obra** - escolha criteriosa dos materiais aos processos de construção, assegurando condições de trabalho e minimizando riscos de acidente.

Como reforçam Mateus, R. e Bragança, "com a construção sustentável, pretende-se a satisfação das necessidades da geração presente sem pôr em perigo a possibilidade das gerações futuras satisfazerem também as suas necessidades." (2006, p. 35).

A construção sustentável é uma construção que utiliza princípios, como o uso de materiais renováveis, excluindo aqueles que possuem muita energia fóssil embebida. Daí, a importância dos critérios de escolha dos materiais, que devem prevalecer no

âmbito do projecto, por forma a evitar as consequências globais resultantes da sua errada escolha. (informação verbal)<sup>33</sup>.

Uma alternativa sustentável, é a arquitectura bioclimática com base em sistemas passivos (Ilustração 169, 170), passando por conceber edifícios que façam uso da energia renovável solar, inesgotável, gratuita e não poluente, mas que continuamos a desperdiçar. (Tirone, 1998, p. 6).

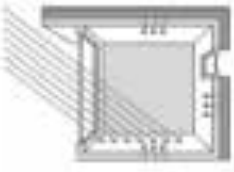



Estação	Estratégias Bioclimáticas	Sistemas Passivos		Tipo de Edifício
Inverno – Evolução de Aquecimento	Promover Ganhos Solares		<p><b>Ganho Directo.</b> Promove o aquecimento rápido do espaço. Os vãos envidraçados, devem localizar-se preferencialmente no quadrante Sul</p>	<p>Todos os Edifícios com ocupação nocturna ou diurna</p>
			<p><b>Ganho Indirecto.</b> A Parede de Trombe absorve energia solar durante o dia fazendo-se sentir o seu efeito com mais intensidade durante a noite</p>	<p>Sistemas a utilizar em zonas dos edifícios com ocupação nocturna</p>
			<p><b>Ganho desfasado - Estufas.</b> Comportamento semelhante ao da Parede de Trombe, embora exija maior preocupação na sua desactivação durante o Verão</p>	<p>As estufas, são utilizadas no período diurno no inverno, devendo ser desactivadas no Verão</p>
			<p><b>Ganho separado -</b> colectar a ar permite a introdução de ar quente em espaços com grandes necessidades de renovação de ar no período de Inverno</p>	<p>Edifícios com ocupação diurna e com grande nº. de ocupantes. Salas de aula, auditórios, etc</p>
<p>Restringir Perdas por Condução</p>		<p>Isolar Envolvente é condição fundamental em Portugal</p>		<p>Principalmente nos edifícios de Habitação</p>

Ilustração 169 – Aplicação dos sistemas passivos. (Gonçalves, H. e Graça, 2004, p. 46).

<sup>33</sup> Informação fornecida pelo orientador Professor Doutor Alberto Reaes Pinto nas aulas de orientação.




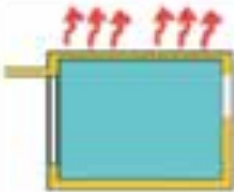
Estação	Estratégias Bioclimáticas	Sistemas Passivos	Tipo de Edifício	
Verão – Estação de Aquecimento	Restringir Ganhos Solares	Sombrear Envidraçados	Todos os edifícios	
	Restringir Ganhos por Condução	Isolar Envolvente	Principalmente nos edifícios de Habitação	
	Ventilação		Ventilação natural	Mais importante nos Edifícios de Habitação
	Aquecimento pelo Solo		O edifício é aquecido por contacto com o solo e o ar exterior é aquecido no solo e introduzido no edifício	Todos os edifícios
	Aquecimento Evaporativo		Promover ventilação com pequenas velocidades de ar através de fontes, espelhos de água, etc.	Todos os edifícios
	Aquecimento Radiativo (pouco utilizado)		A emissão de radiação por parte dos elementos da envolvente exterior de um edifício	
	Promover Inércia Forte	Paredes pesadas com isolamento pelo exterior		

Ilustração 170 – Aplicação dos sistemas passivos. (Gonçalves, H. e Graça, 2004, p. 47).

Como afirmam Tirone e Nunes (2007, p.13), "as disfunções ambientais que ameaçam o bem-estar do planeta resultam, em grande parte, da forma como construímos e como vivemos nas nossas cidades, porque é lá que se concentram as pressões ambientais."

É imperativo, e cabe a todos os intervenientes, contribuir na procura da sustentabilidade do espaço que habitamos. (Mello *apud* Tirone e Nunes, 2007, p. 7). A solução para grande parte desta problemática, passa pela mudança de atitude adoptando como regra os princípios de uma construção sustentável. Princípios que garantem pontos elementares como: o conforto e salubridade do espaço habitado, o uso racional dos recursos, desde a sua concepção até à sua desconstrução, e, fundamentalmente, a protecção e contribuição para o adequado comportamento dos ecossistemas. (Tirone e Nunes, 2007, p. 13).

Segundo Reaes Pinto (2018, p. 15) "a crise mundial e sistémica que estamos a assistir, de origem financeira, económica, ambiental, social e cultural, está na base de Mudanças fundamentais na nossa sociedade [...]."

Estas mudanças são imperativas e de obrigação social, "[...] que exigem nova mentalidade e ação urgente no sentido do Desenvolvimento Sustentável e da Construção Sustentável." (Pinto, 2018, p. 15).

Uma adequada gestão na escolha dos materiais e das tecnologias de aplicação, são princípios fundamentais para se conseguir uma construção sustentável, contribuindo assim para uma importante redução dos impactes negativos ambientais causados pela actividade da indústria da construção. (Pinto, 2018, p. 215).

É, por isso, urgente que a indústria da construção de edifícios se integre no âmbito e nos princípios da construção sustentável.

## 6. CASO DE ESTUDO

Dada a importância que as paredes exteriores assumem no corpo do edifício, o caso de estudo analisado visa mostrar uma tipologia com alguns pontos fortes no âmbito do conforto e salubridade do espaço interior habitado e no âmbito da sustentabilidade, enumerando e apresentando soluções para os pontos fracos num contexto mais sustentável.

O caso de estudo em análise corresponde ao edifício público da Câmara Municipal de Oliveira do Bairro (Ilustração 171), que evidencia a sua fachada ventilada beneficiada pelo seu revestimento de pedra natural, que lhe acrescenta valor estético.



**Ilustração 171** –Edifício da Câmara de Oliveira do Bairro,1999. (Pinto, 2020).

Nesta investigação, o caso de estudo procede à aplicação de uma tipologia de parede exterior ventilada constituída por um revestimento de pedra natural e com sistema de isolamento térmico pelo exterior. Esta dicotomia de tipologias acrescenta conforto térmico e acústico, reduz consumos energéticos, contribuindo favoravelmente para a qualidade do ar interior do edificado.

No presente caso de estudo, as paredes exteriores possuem duas soluções, um sistema de isolamento térmico pelo exterior revestido por um sistema de fachada

ventilada desligada do suporte rígido (Ilustração 172). O sistema de isolamento térmico, é aplicado de forma contínua reduzindo perdas energéticas e minimizando pontes térmicas. A parede ventilada com revestimento de placas de pedra, fixadas mecanicamente, e com uma câmara-de-ar que contribui para uma maior eficiência energética, reduzindo a necessidade de aquecimento ou arrefecimento do espaço interior habitado, o sistema de ventilação evita a acumulação de humidade pelo exterior conferindo conforto térmico e melhorando a qualidade do ar interior, protegendo e aumentando o ciclo de vida do edifício.



**Ilustração 172** –Pormenor de fachada ventilada em fase de construção do edifício da Câmara de Oliveira do Bairro, 1999. (Pinto, 2020).

A envolvente vertical opaca do edifício é toda revestida com um isolamento térmico contínuo de poliestireno extrudido (XPS), fixado mecanicamente pelo exterior (Ilustração 172). Este sistema de isolamento pelo exterior mostra ser a solução mais adequada, sendo substancialmente mais eficaz que quando aplicado pelo interior. Como refere Helder Gonçalves (1986, p. 10), existem duas razões principais que reforçam a eficácia deste sistema. No Inverno, o isolamento pelo exterior nas paredes



exteriores ajuda a gerir de forma mais eficaz a energia absorvida e armazenada, dissipando de forma gradual o calor captado para o espaço interior habitado. Já no Verão, o sistema de isolamento pelo exterior é mais efectivo, uma vez que protege e evita o sobreaquecimento do suporte rígido da exposição directa aos raios solares. E segundo Amado *et al.* (2015, p. 260) a aplicação do sistema de isolamento térmico pelo exterior reduz a ocorrências de pontes térmicas, aumenta a inércia térmica das paredes contribuindo para maiores ganhos térmicos, permite paredes menos espessas, reduzindo o consumo de recursos, garantindo maior eficiência térmica face a outras tipologias convencionais e paredes mais estreitas aumentam o espaço útil.



**Ilustração 173** –Fase de construção do edifício da Câmara de Oliveira do Bairro, 1999. (Pinto, 2001, p. 291).

A fachada ventilada e o sistema de isolamento pelo exterior (Ilustração 173), criam em conjunto uma barreira que ajuda a aumentar as propriedades acústicas, absorvendo o som e contribuindo para a redução da transmissão do som. Este controle acústico, a par do conforto térmico, contribuem para o conforto do utilizador no espaço interior habitado. (Amado *et al.*, 2015, p. 270-271).

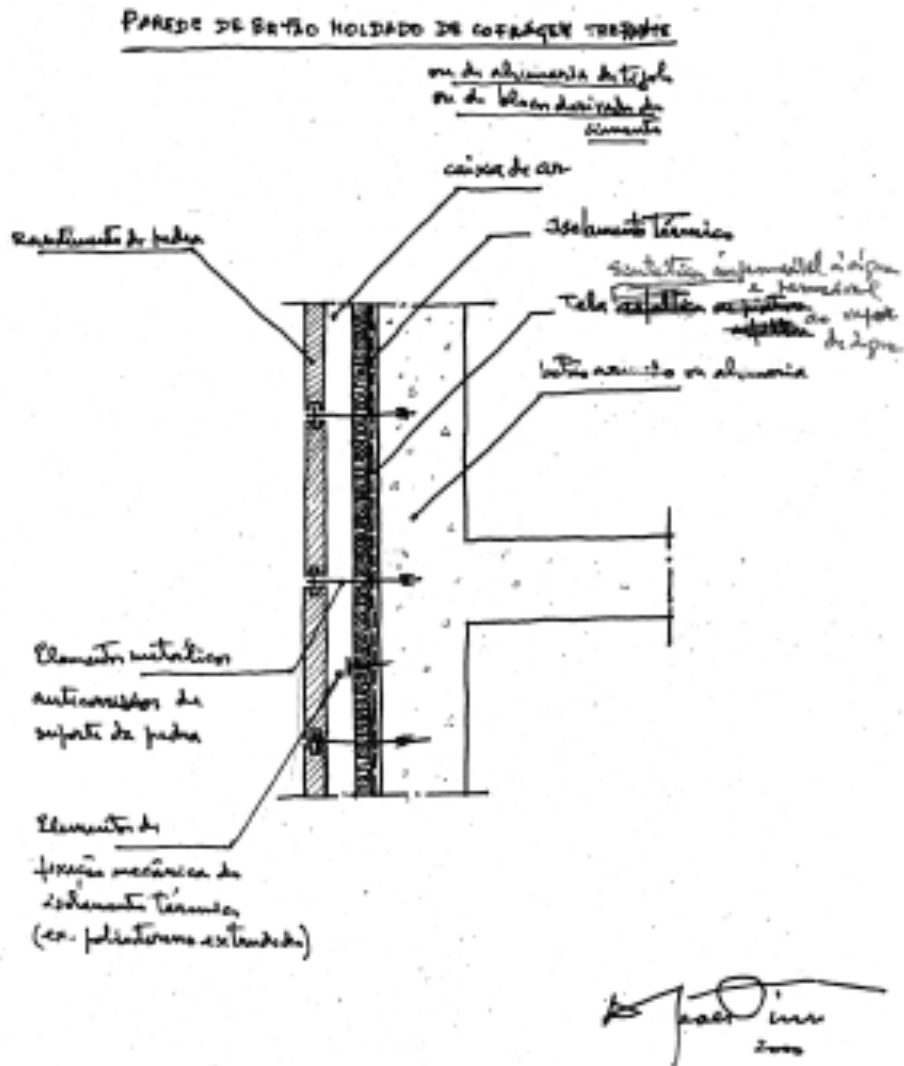


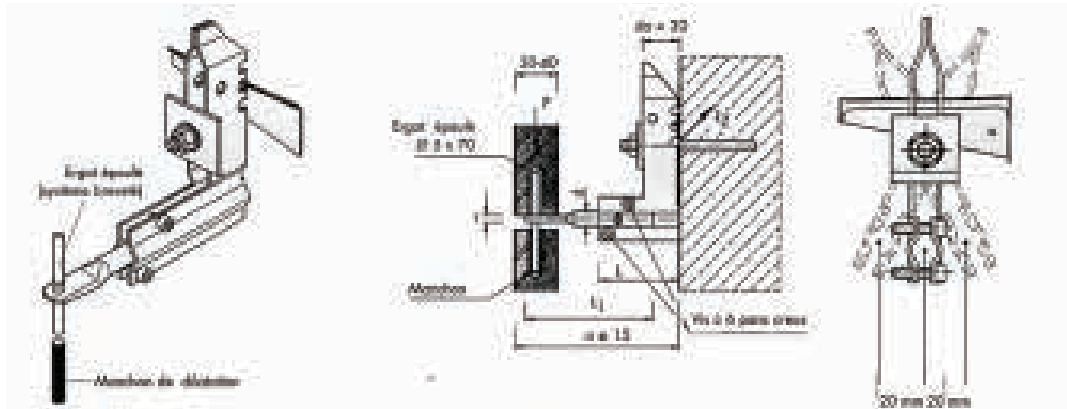
Ilustração 174 –Detalhe construtivo da fachada ventilada do edifício da Câmara de Oliveira do Bairro, 2000. (Pinto, 2020).

Nas paredes exteriores ventiladas, o sistema de suporte/fixação das placas de revestimento de pedra é composta por pernos metálicos de espessura mínima de 5mm de diâmetro, anticorrosivos e capsulados (Ilustração 175), evitando anomalias face às acções mecânicas que possam ocorrer, e ancorados às paredes exteriores de betão armado do edifício. Este revestimento é aplicado com junta aberta entre as placas de pedra e desligado do suporte rígido, formando uma câmara-de-ar entre os dois elementos verticais (Ilustração 174). O isolamento térmico XPS, é fixado mecanicamente, pelo exterior, de forma contínua. Nos pontos de ancoragem dos elementos de fixação do sistema ventilado, é injectada espuma de poliuretano, evitando assim pontes térmicas. (Pinto, 2018, p. 185).



**Ilustração 175** –Pormenor do sistema de suporte das placas de pedra no edifício da Câmara de Oliveira do Bairro, 1999. (Pinto, 2001, p. 292).

Nesta solução, deste caso de estudo, a parede exterior é revestida exteriormente por uma tela asfáltica, impermeável à água e ao vapor, e por um isolamento térmico XPS a ela fixado mecanicamente formando câmara-de-ar com o revestimento exterior de pedra (Ilustração 175).



L'attache porteuse RAP est particulièrement adaptée à des pans-à-fous de plus de 90 mm et à des poids de pierre supérieurs à 100 kg. Elle est réglable dans 3 directions et se fixe par l'intermédiaire de chevilles chimiques, spéciales de par leur longueur. Le réglage fin avant, arrière et vertical peut être réalisé après la pose de la pierre grâce aux 2 vis à pans creux et de la colle époxie.

RM. kit complet en inox A4		Poids max. sur l'attache P (kg)	a ± 15 (mm)	Via à 6 pans creux		Effort dans la cheville (kg)	L (mm)	Cheville chimique Type M (Filetage)	Tête		
Type M	Type B			Filetage	Couple de serrage (Nm)				d (mm)	l <sub>1</sub> (mm)	r (mm)
RAP115N	RAP115B	50	100	M5	4,0	330	56	M8	14	100	6
RAP135N	RAP135B	50	130			260	76	M8			
RAP155N	RAP155B	50	150			330	96	M8			
RAP175N	RAP175B	50	170			360	116	M8			
RAP118N	RAP118B	80	115	M6	7,5	560	60	M8	16	100	7
RAP138N	RAP138B	80	130			490	74	M10			
RAP158N	RAP158B	80	155			400	94	M10			
RAP178N	RAP178B	80	170			370	114	M10			
RAP112N	RAP112B	120	115	M6	7,5	410	60	M10	18	100	7
RAP132N	RAP132B	120	130			430	74	M12			
RAP152N	RAP152B	120	150			480	94	M12			
RAP172N	RAP172B	120	170			530	114	M12			

Les chevilles chimiques de longueurs spéciales sont commercialisées séparément.



Ilustração 176 – Sistema de suporte da Halfen utilizado nas placas de pedra no edifício da Câmara de Oliveira do Bairro, 1999. (Pinto, 2020).

Como menciona Reaes Pinto, esta tipologia de paredes ventiladas, deve considerar suportes de fixação adequados (Ilustração 176 e 177), devidamente calculados pelas entidades competentes, sendo capazes de aguentar o peso induzido pelas placas de pedra, assim como outros esforços que possam resultar de ações climáticas adversas, como ventos, sismos, entre outros, com características anticorrosivas, prevenindo a sua precoce oxidação, e evitando o possível desprendimento de placas colocando em risco os transeuntes. (2018, p. 185).

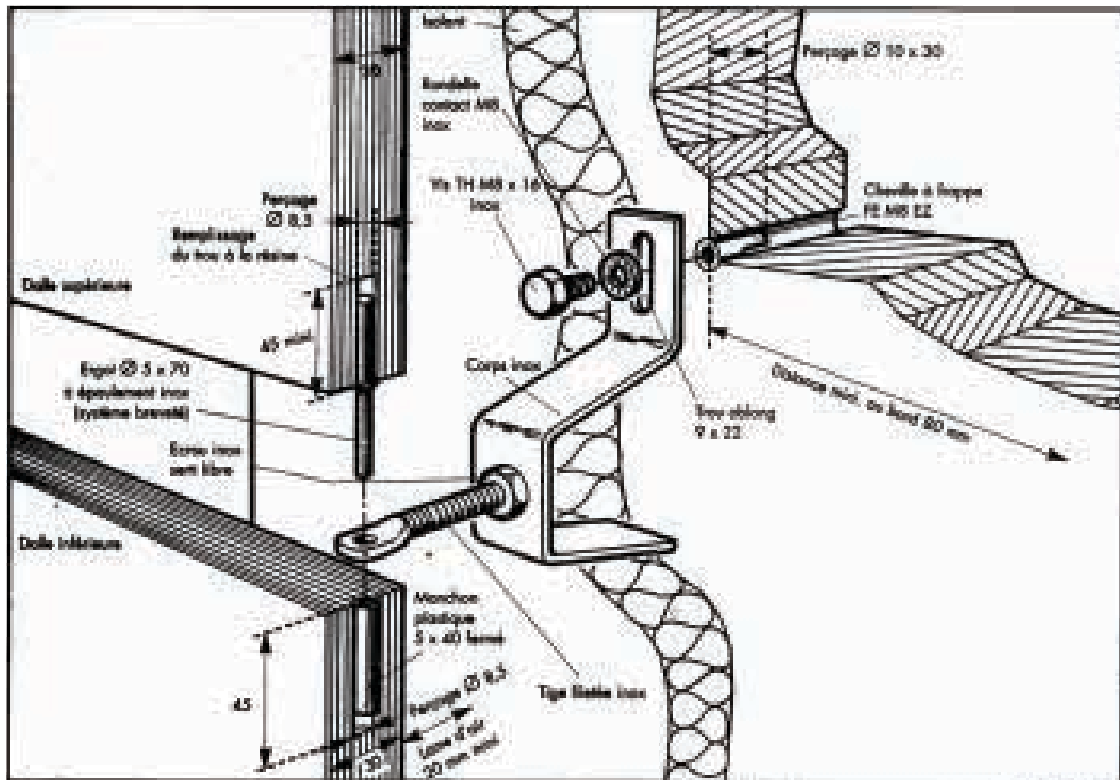


Ilustração 177 –Detalhe construtivo de parede ventilada com placas de pedra e isolamento térmico pelo exterior, 2000. (Pinto, 2020).

Esta tipologia de fachada ventilada, constituída por revestimento de pedra e sistema de isolamento térmico pelo exterior, apresenta aspectos positivos e negativos no seu desempenho e constituição.

Aspectos positivos:

- Sistema de parede ventilada, contribui para o aumento do ciclo de vida do edifício;
- Aplicação de placas de pedra com espessura reduzida, com maior aproveitamento do recurso natural, uma exploração mais sustentável e menos custos associados;
- Revestimento em pedra natural com um ciclo de vida longo;
- Sistema de fixação das placas de revestimento de pedra com perno anticorrosivo capsulado (Ilustração 175 e 176), dando resposta positiva às ações mecânicas que possam ocorrer (Pinto, 2018, p. 185);

- Sistema de fixação do revestimento de pedra mecânico e desligado do suporte, permitindo a reutilização da pedra de revestimento no fim do ciclo de vida do edifício, reduzindo os efeitos ambientais negativos, no âmbito da sustentabilidade, associados à exploração da matéria-prima (Pinto, 2018, p. 186);
- A aplicação do isolamento térmico contínuo pelo exterior, anula pontes higrótérmicas ;
- A fachada ventilada contribui para regular os níveis de humidade no ambiente interior habitado, porque o revestimento de pedra se encontra desligado do suporte de betão armado e possui juntas abertas, não argamassadas, entre as placas. Estes factores contribuem também para que, ao contrário das soluções convencionais, em que o revestimento de pedra é colado ao suporte rígido e as juntas são preenchidas por argamassa, não ocorram fenómenos de lixiviação, devido a humidades retidas no tardo das placas de pedra, em ciclos de molhagem - secagem, dando origem ao desprendimento das placas de pedra e ao surgimento de alterações no seu aspecto exterior, como o surgimento de manchas de humidade, designadas por eflorescências. (Pinto, 2018, p. 186).

Aspectos negativos:

- Parede ventilada com isolamento XPS, material não renovável, com grande incorporação de combustíveis fósseis no seu fabrico;
- Parede de suporte em betão armado com tela asfáltica, que não é permeável ao vapor.
- Exigência de qualidade e espessura das placas de pedra, como também do rigor dos pernos de fixação das pedras.

Actualmente, o isolamento térmico é um elemento muito importante na constituição de uma parede exterior. Contribuindo para dar resposta ao conforto térmico e eficiência energética dos edifícios, cada vez mais condicionados pela qualidade do ar do espaço interior e pelos impactes ambientais.

No sentido de dar resposta aos princípios da sustentabilidade deve optar-se por usar materiais mais amigos do ambiente. O isolamento térmico XPS aplicado na tipologia

analisada, é um ponto negativo, uma vez que se trata de um material derivado do petróleo, de origem não renovável. Optar-se por uma solução mais ecológica seria escolher isolamentos derivados de materiais renováveis, tais como o aglomerado de cortiça expandida ou lã mineral de rocha ou até mesmo a fibra de cânhamo ou de coco. Soluções com boas prestações térmicas e acústicas, não tóxicas, que serão favoráveis para a qualidade do espaço interior e mais adequadas aos princípios de uma construção mais sustentável.

A cortiça, como isolante apresenta-se como aglomerado expandido, e é produzido através da aglomeração térmica em autoclave de grânulos de cortiça. Tem excelentes capacidades isolantes térmicas, acústicas e antivibráticas, dependendo da sua densidade assim funciona o seu desempenho. Por apresentar uma estrutura interna multicelular, é bastante resistente à propagação do fogo e do som. É um material natural que pode ser reutilizado diversas vezes. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 152).

Optando pela lã de rocha mineral como isolamento térmico, é possível garantir uma eficiência térmica elevada, conseguida com poucas quantidades de material e reduzida energia incorporada. Mostrando ser um dos isolantes térmicos com melhores prestações ambientais durante o seu ciclo de vida. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 155-156).

Aplicando fibras vegetais isolantes, como as de cânhamo ou de coco, têm um impacto ambiental muito reduzido, estando o mesmo associado ao seu transporte, por se tratarem de isolantes com uma grande massa volúmica, mas com uma baixa densidade. Comparando com o isolamento usado no caso de estudo, o XPS, material derivado do petróleo e não renovável, estas soluções são mais ecológicas, mais sustentáveis, porque são isolantes derivados de materiais naturais, com pouca energia incorporada, não-tóxicos e não libertam quaisquer tipo de poluentes nocivos para a saúde ou meio ambiente. Apesar de todas as vantagens, apresentam um desempenho térmico um pouco inferior em relação ao XPS. (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2010b, p. 152).

Na constituição da envolvente vertical de um edifício, a permeabilidade ao vapor é muito importante. A permeabilidade é a capacidade que um elemento sólido tem de permitir ser atravessado por gases ou líquidos (Petrucci, 1995, p. 279). O edifício deve

conseguir respirar através da sua camada protectora, conseguindo regular a humidade do ambiente interior e evitando a criação de condensações intersticiais.

Em relação à permeabilidade da parede exterior do edifício em análise, esta funciona indevidamente, uma vez que foi utilizada tela asfáltica sobre a parte exterior do suporte rígido. Ao invés da tela asfáltica, que é impermeável à água e ao vapor, a solução passa por optar por telas que sejam estanques à água, mas que sejam permeáveis ao vapor de água. Existem diversos tipos de telas sintéticas disponíveis no mercado com estas características.



## 7. CONCLUSÕES

No presente trabalho foram apresentados elementos sobre diversas tipologias de paredes exteriores dando ênfase à sua importância na constituição do edifício, enumerando o seu potencial contributo quando bem concebidas e executadas.

A análise desta investigação constituiu uma avaliação dos problemas e uma pesquisa por soluções de tipologias de paredes exteriores, que possam ser uma base para o seu melhor conhecimento e possível aperfeiçoamento e evolução.

Verifica-se que as paredes exteriores de alvenaria para a construção de edifícios são ainda a solução mais utilizada a nível nacional. Na constituição das paredes exteriores tem havido alguma evolução, embora com recurso a materiais tradicionais como o tijolo cerâmico e blocos de betão com algumas variantes. Essa evolução manifesta-se essencialmente na melhoria da solução de parede dupla com a aplicação de um isolante térmico entre os dois paramentos, execução de soluções de correção térmica (pontes térmicas em pilares e vigas) e a reabilitação das paredes exteriores, como soluções de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) bem como à utilização mais frequente da parede ventilada.

Também referir alguns aspectos que se têm verificado: um conjunto de acessórios e de elementos complementares indispensáveis à concepção e execução de paredes exteriores, uma melhoria dos conhecimentos por parte dos projectistas, bem como uma maior qualificação dos técnicos envolvidos nesta temática.

Na fase de concepção dos edifícios, tanto nas paredes exteriores como nos seus diversos constituintes, devem ser tidos em conta os custos globais associados. Neste âmbito têm-se registado esforços que visam racionalizar o assentamento das alvenarias com significativos ganhos de produtividade. Com base num conhecimento mais detalhado e aprofundado do funcionamento das alvenarias, regista-se:

- um desenvolvimento de paredes mais eficientes em pano simples, em alternativa às paredes duplas, relativamente ao isolamento térmico, defesa às humidades, produtividade, durabilidade, com utilização de materiais com menos impactes ambientais, recicláveis e reutilizáveis no fim do ciclo de vida dos edifícios.

- criação de sistemas de encaixe que facilitam o manuseamento, assentamento e produtividade;
- maior interesse na qualidade construtiva.

Verifica-se uma preocupação no âmbito da construção sustentável, com a concepção e construção das paredes exteriores, no sentido de contribuírem para o maior conforto higrotérmico e acústico, que se reflete na saúde dos utilizadores, qualidade do ar interior, redução da produção de dióxido de carbono, maior durabilidade, redução dos custos de manutenção, menor toxicidade dos materiais que constituem as paredes exteriores e visa-se ainda a possibilidades destes materiais poderem ser reciclados ou reutilizados no fim do ciclo de vida útil dos edifícios entrando assim numa economia circular, reduzindo os impactes negativos ambientais associados na exploração, fabrico e até transporte de novos materiais.

Este trabalho pretende também ser uma pequena contribuição, não só para o estudo das paredes exteriores dos edifícios, que cada vez mais assumem maior importância, mas também foi útil para a minha formação e desempenho futuro como arquitecta.

## REFERÊNCIAS

AMADO, Miguel P. [et al.] (2015) – Construção sustentável : conceito e prática. Casal de Cambra : Caleidoscópio. ISBN 978-989-658-324-8.

AMORIM CORK INSULATION (2020) – A cortiça [Em linha]. Mozelos : Amorim Cork Insulation. [Consult. 7 Abr. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.amorimcorkinsulation.com/>>.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DA CORTIÇA (2018) - Pavilhão de Portugal na Expo 2000 Hannover [Em linha]. Santa Maria de Lamas : Associação Portuguesa da Cortiça. [Consult. 7 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.apcor.pt/portfolio-posts/pavilhao-de-portugal-na-expo-2000-hannover-siza-vieira-e-eduardo-souto-moura/>>.

AUROVILLE EARTH INSTITUTE (2020) – Building whit earth [Em linha]. Tamil Nadu : UNESCO Chair Earthen Architecture. [Consult. 5 Mai. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.earth-auroville.com/>>.

BARAYA, Santiago (2020) - Adobe : o material reciclável mais sustentável. Trad. Camilla Sbeghen. Archdaily [Em linha]. (18 Ago. 2020). [Consult. 5 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.archdaily.com.br/br/945393/adobe-o-material-reciclavel-mais-sustentavel>>.

BARROS, M. J. Monteiro [et al.] (1967) - Colóquio sobre pré-fabricação : comunicação nº 1 : O primeiro empreendimento no domínio da pré-fabricação pesada em Portugal. Lisboa : Ordem dos Engenheiros.

BETÃO E TAIPA (2020) - Betão e taipa [Em linha]. Serpa : BT Betão e Taipa. [Consult. 4 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL: <http://betaotaipa.pt/>>.

BRANCO, J. Paz (1993) – Infraestruturas, estruturas, alvenarias e cantarias em edifícios. Queluz : E.P. Gustave Eiffel.

BRANCO, J. Paz (1981) – Manual do pedreiro. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

BUTECH PORCELANOSA GRUPO (2016) – Technical book : sistemas de fachada ventilada [Em linha]. [S.l.] : Butech Porcelanosa Grupo. [Consult. 6 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.butech.net/download/FACHADAS%202016%20PT.pdf>>.

COELHO, Ana Zulmira Gomes ; TORGAL, F. Pacheco ; JALALI, Said (2009) - A cal na construção. Guimarães : TecMinho. ISBN 978-972-99179-8-1.

COLIN, Sílvio (2010) - Técnicas construtivas do período colonial – I [Em linha]. [S.l.] : Silvio Colin. [Consult. 10 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://coisasdaarquitectura.wordpress.com/2010/09/06/tecnicas-construtivas-do-periodo-colonial-i/>>.

CONTRULINK (2006) - Fachada ventilada. Dossier técnico-económico. 2 (Outubro 2006).

CORREIA, Mariana ; DIPASQUALE, Letizia ; MECCA, Saveiro (2011) - Terra europae : earthen architecture in the European Union. Pisa : Edizioni ETS. ISBN 978-884672957-6.

CRUZ, Helena ; NUNES, Lina (2012) - Madeira In GONÇALVES, Maria Clara ; MARGARIDO, Fernanda - Ciência e engenharia de materiais de construção. Lisboa : IST Press. p. 629-661. [Consult. 28 Abri. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[https://www.researchgate.net/publication/233833601\\_Madeira](https://www.researchgate.net/publication/233833601_Madeira)>.

DECRETO-LEI nº 80/2006. D.R. I-A Série. 67 (2006-04-04) 2468-2513.

EÇA, J.M.T. Almeida d' [*et al.*] (2008) – Paredes de edifícios. 7.<sup>a</sup> ed. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (Formação Especialização e Aperfeiçoamento; CPP 510). ISBN 978-972-49-1183-0.

EGERAAT, Erick van (2007) - MIMA, Middlesbrough Institute or Modern Art In Archilovers [Em linha]. Bari : Edilportale.com. [Consult. 4 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.archilovers.com/projects/3310/mima-middlesbrough-institute-of-modern-art.html>>.

EIRES, R. ; JALALI, S. ; CAMÕES, A. (2007) – Novos compósitos eco-eficientes para aplicações não estruturais na construção. Guimarães : Universidade do Minho. Comunicação apresentada no Congresso Construção 2007 - 3º Congresso Nacional,

Coimbra. [Consult. 10 Jun. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[https://sws.uc.pt/uploads/case\\_study\\_document/file/3/R.\\_Eires\\_Novos\\_compositos\\_eco-eficientes.pdf](https://sws.uc.pt/uploads/case_study_document/file/3/R._Eires_Novos_compositos_eco-eficientes.pdf)>.

EPS (2012) – Produtos [Em linha]. Sendim : EPS. [Consult. 7 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.eps-lda.com/>>.

FARIA, Paulina ; CHASTRE, Carlos (2015) – Visão integrada da reabilitação. In LOURENÇO, Paulo B., ed. [et al.] (2015) - Paredes de alvenaria reabilitação e inovação [Em linha]. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa ; Guimarães : Universidade do Minho. P. 1-20. [Consult. 27 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.civil.uminho.pt/paredes2015/files/Paredes\\_2015\\_Reabilitacao\\_e\\_Inovacao\\_Seminario.pdf](http://www.civil.uminho.pt/paredes2015/files/Paredes_2015_Reabilitacao_e_Inovacao_Seminario.pdf)>.

FÁTIMA ; ELENICE (2015) – Porta de Ishtar : uma visão geral. In História das artes visuais 1 [Em linha]. [S.l.] : Aline Couri. Blog da disciplina da prof.<sup>a</sup> Aline Couri / HA EBA UFRJ. [Consult. 9 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://hav120151.wordpress.com/2015/12/05/porta-de-ishtar-uma-visao-geral/>>.

FEBE (2020) - Blocs de maçonnerie en béton [Em linha]. Bruxelles : FEBE. [Consult. 6 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.febe.be/fr/domaines-d-application/produit/blocs-de-maçonnerie-en-beton>>.

FIGUEIRA, Luís Mota ; SANCHEZ SALVADOR, Fernando (2015) – Arquitecturas de terra na bacia hidrográfica do rio Tejo, em Portugal : valor museológico, refuncionalização e criação arquitectónica sustentável. In Arquitectura en tierra. Patrimonio Cultural. XII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca de Campos 2015 [Em linha]. Valladolid : Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. p. 35-40. [Consult. 17 Fev. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2016/03xiiciatti2015\\_mota.pdf](http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2016/03xiiciatti2015_mota.pdf)>.

FREITAS, Vasco Peixoto de (2002) - Isolamento térmico pelo exterior, reboco delgado armado sobre poliestireno expandido – ETICS. Porto : Maxit Group. Relatório HT 191 A/02.

FREITAS, Vasco Peixoto de ; GONÇALVES, Pedro Filipe (2005) – Isolamento térmico de fachadas pelo exterior: reboco delgado armado sobre poliestireno expandido, ETICS. [Em linha]. Porto : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. FEUP, Formação contínua. [Consult. 10 Mai. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/ETICS.pdf>>.

FREITAS, Vasco Peixoto de ; MIRANDA, Andreia Mota (2014) - Patologias de sistemas de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS : APFAC - Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS [Em linha]. Porto : Laboratório de Física das Construções. (Relatório LFC-IC-282A-2014). [Consult. 4 Out. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.apfac.pt/patologias/LFC-IC-282A-2014.pdf>>.

GONÇALVES, Helder José Perdigão (1986) – Comportamento de sistemas solares passivos em edifícios [Em Linha]. Porto : Universidade do Porto Faculdade de Engenharia. Dissertação. [Consult. 28 Jul. 2020]. Disponível em WWW: <URL: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/11883/2/Texto%20integral.pdf>>.

GONÇALVES, Helder ; GRAÇA, João Mariz (2004) – Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal [Em linha]. Lisboa : DGGE / IP - 3E. ISBN 972-8268-34-3. [Consult. 19 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL: <http://repositorio.Ineg.pt/handle/10400.9/1323>>.

GONZÁLEZ, Filipe Duarte (2006) - Geometrias da arquitectura de terra : a sustentabilidade geométrica da construção em terra crua. Lisboa : Universidade Lusíada Editora. (Teses). ISBN 972-8883-69-2.

GUERREIRO, Aline (2019) – ECO produtos, serviços : para uma construção mais sustentável. Edição Especial Archisummit. Braga : Portal da Construção Sustentável.

HALFEN (2020) – HALFEN a CRH Company [Em linha]. Langenfeld/Rheinld : HALFEN. [Consult. 21 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.halfen.com/en/>>.

IMPERALUM (2020) – Produtos: Isolamento térmico [Em linha]. Montijo : Imperialum. [Consult. 7 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL: <https://www.imperialum.com/>>.

KNAACK, Ulrich [et al.] (2007) - Façades, principles of construction. Basel : Birkhäuser Verlag AG. ISBN 978-3-7962-9.

KNAUF INSULATION (2020) – Lã mineral [Em linha]. [S.l.] : Knauf Insulation. [Consult. 7 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:https://www.knaufinsulation.pt/>.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (2010a) - Regras para a concessão de uma aprovação técnica europeia (ETA) ou de um documento de homologação (DH) a sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) [Em linha]. Lisboa : LNEC. [Consult. 14 Mar. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://www.lnec.pt/fotos/editor2/QPE/relatorio\_etics\_dez\_2010.pdf>.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (2010b) - Sustentabilidade ambiental da habitação [Em linha]. Lisboa : LNEC. (Projecto de investigação "Habitação para o Futuro" ; Relatório 239/2010 - NAU). [Consult. 2 Mai. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/handle/123456789/1000460>.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (2011) - Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal : inquérito às empresas de projecto, fabrico, construção e comercialização [Em linha]. Lisboa : LNEC. (Plano de Investigação Programada 2009-2012 ; Relatório 118/2011 - NAU). [Consult. 28 Abr. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/bitstream/123456789/1003073/2/Rel%20118\_11%20dspace.pdf>.

LAURIA, Alejandro (2007) - Sustentabilidade na construção. Lisboa : Verlag Dashöfer. ISBN 978-972-8906-95-5.

LECA (2018) – Manual técnico de alvenarias Leca [Em linha]. Avelar : Leca. [Consult. 6 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:https://www.leca.pt/sites/default/files/manual%202018\_SMALLEST%20SI ZE.pdf>.

LIDERA (2020) - Da construção ao desenvolvimento [Em linha]. Lisboa : Lidera. [Consult. 20 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:http://www.lidera.info/index.aspx?p=MenuContPage&MenuId=14&ContId=8>.

MACHADO, José Saporiti ; CRUZ, Helena ; NUNES, Lina (2003) – Mitos e factos relacionados com o desempenho de elementos de madeira em edifícios. In Materiais e técnicas de conservação e de reabilitação : 3.º enfore [Em linha]. [S.l.] : LNEC. p. 1281-1290. [Consult. 6 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[https://www.researchgate.net/profile/Lina\\_Nunes/publication/283072437\\_Mitos\\_e\\_factos\\_relacionados\\_com\\_o\\_desempenho\\_de\\_elementos\\_de\\_madeira\\_em\\_edificios/links/5628b2a408ae22b1702ecf1b/Mitos-e-factos-relacionados-com-o-desempenho-de-elementos-de-madeira-em-edificios.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Lina_Nunes/publication/283072437_Mitos_e_factos_relacionados_com_o_desempenho_de_elementos_de_madeira_em_edificios/links/5628b2a408ae22b1702ecf1b/Mitos-e-factos-relacionados-com-o-desempenho-de-elementos-de-madeira-em-edificios.pdf)>.

MAJOR, Stephen P. (1995) - Architectural woodwork : details for construction. New York : Van Nostrand Reinhold. ISBN 0-442-01402-3.

MASCARENHAS, Jorge (2008) – Sistemas de construção : descrição ilustrada e detalhada de processos construtivos utilizados correntemente em Portugal : contributos para o cumprimento do RCCTE, detalhes construtivos sem pontes térmicas, materiais básicos (6.ª parte), o betão. 2.ª ed. Lisboa : Livros Horizonte. Vol. 9. (Técnicas de construção). ISBN 978-972-24-1577-4.

MASCARENHAS, Jorge (2004) – Sistemas de construção : descrição ilustrada e detalhada de processos construtivos utilizados correntemente em Portugal : paredes (2.ª parte), materiais básicos (1.ª parte). 3.ª ed. Lisboa : Livros Horizonte. Vol. 3. (Técnicas de construção). ISBN 972-24-1350-3.

MATEUS, João Mascarenhas (2002) – Técnicas tradicionais de construção de alvenarias : a literatura técnica de 1750 a 1900 e o seu contributo para a conservação de edifícios históricos. Lisboa : Livros Horizonte. ISBN 972-24-1234-5.

MATEUS, Ricardo ; BRAGANÇA, Luís (2006) – Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção. Porto : Edições Ecopy. ISBN 978-989-95194-1-1.

MELO, A. C. Fontes de Melo (2002) - Desenvolvimentos recentes em blocos de betão leve. In LOURENÇO, Paulo B. ; SOUSA, H., ed. - Paredes de alvenaria : situação actual e novas tecnologias [Em linha]. Porto : Fundação Dr. A. Cupertino de Miranda. p. 149-168. [Consult. 30 Mai. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.hms.civil.uminho.pt/events/alvenaria2002/>>.



MOURÃO, Joana ; PEDRO, João Branco (2012) – Princípios de edificação sustentável. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (Informações Científicas e Técnicas ; ITA 11). ISBN 978-972-49-2243-0.

NCOUTO (2017) - Restauração do castelo de Paderne avança sete anos depois. Jornal do Algarve [Em linha]. (05 ago. 2017). [Consult. 20 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://jornaldoalgarve.pt/restauracao-do-castelo-de-paderne-avanca-sete-anos-depois/>>.

OLIVEIRA, C. ; PINTO, A. Reaes (2011) - Características de sustentabilidade de materiais de construção renováveis. Revista Arquitectura Lusíada. ISSN 1647-9009. 3 (2.º semestre 2011) 63-75. [Consult. 14 Mar. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[http://repositorio.ulusiada.pt/bitstream/11067/451/1/ral\\_3\\_07a.pdf](http://repositorio.ulusiada.pt/bitstream/11067/451/1/ral_3_07a.pdf)>.

PENTAGONAL (2019) – Silicon glazing : curtain wall systems [Em linha]. Lisboa : Pentagonal. [Consult. 7 Dez. 2019]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.siliconglazing.com/>>.

PETRUCCI, Eládio G. R. (1995) - Materiais de construção. 10.ª ed. São Paulo : Globo. ISBN 85-250-0231-3.

PINHEIRO, Manuel Duarte (2006) - Ambiente e construção sustentável. Amadora : Instituto do Ambiente. ISBN 972-8577-32-X.

PINHO, Fernando F. S. (2000) - Paredes de edifícios antigos em Portugal. Lisboa : LNEC. ISBN 972-4918-64-5.

PINTO, Alberto Reaes ; DIAS, Bruno (2015) - Aquecimento solar passivo : ganhos diretos, indiretos e isolados. Revista Arquitectura Lusíada. ISSN 1647-9009. 7 (1.º semestre 2015) 77-92.

PINTO, Alberto Reaes (2018) – Contribuições para a construção sustentável. Lisboa : Universidade Lusíada Editora. ISBN 978-989-640-204-4.

PINTO, Alberto Cruz Reaes (2001) – Hygrothermic rehabilitation in the exterior panels of prefabricated buildings by external thermal insulation composite systems (ETICS) with rendering. Salford : School of Construction & Property Management of University of Salford. Tese de Doutoramento.

PINTO, Alberto Cruz Reaes [et al.] (2006) – Manual da pedra natural para a arquitectura. Lisboa : Direcção Geral de Geologia e Energia. ISBN 989-95163-0-9.

PINTO, Alberto Reaes; DIAS, Bruno Duarte (2018) – Módulo de parede exterior pré-fabricado: a contribuição dos materiais e das tecnologias para a construção sustentável. Lisboa : Universidade Lusíada Editora. ISBN 978-989-640-204-4.

PINTO, Alberto Reaes (2020) - Paredes exteriores. [S.l. : s.n.]. Conjunto de imagens cedidas pelo docente Alberto Cruz Reaes Pinto.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (2019) – Autoclaved aerated concrete. [Em linha]. Illinois : Portland Cement Association. [Consult. 6 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.cement.org/cement-concrete-applications/paving/buildings-structures/concrete-homes/building-systems-for-every-need/autoclaved-aerated-concrete>>.

REN (2020) – Sustentabilidade [Em linha]. [S.l.] : REN. [Consult. 20 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.ren.pt/pt-PT/sustentabilidade>>.

SAINT-GOBAIN (2020) – Products [Em linha]. [S.l.] : Saint-Gobain. [Consult. 6 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.saint-gobain-facade-glass.com/products/applications>>.

SANTOS, Carlos Pina dos (2007) – Evolução das soluções de paredes face a novas exigências regulamentares. In LOURENÇO, Paulo B., ed. [et al.] - Paredes de alvenaria : inovação e possibilidades actuais [Em linha]. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil. P. 41-64. [Consult. 30 Jan. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.hms.civil.uminho.pt/events/alvenaria\\_2007/041\\_064.pdf](http://www.hms.civil.uminho.pt/events/alvenaria_2007/041_064.pdf)>.

SANTOS, Carlos Pina (2015) – Isolamento térmico de paredes de alvenaria. Inovação, reabilitação e desempenho ao fogo. In LOURENÇO, Paulo B., ed. [et al.] (2015) - Paredes de alvenaria reabilitação e inovação [Em linha]. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa ; Guimarães : Universidade do Minho. P. 137-150. [Consult. 27 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.civil.uminho.pt/paredes2015/files/Paredes\\_2015\\_Reabilitacao\\_e\\_Inovacao\\_Seminario.pdf](http://www.civil.uminho.pt/paredes2015/files/Paredes_2015_Reabilitacao_e_Inovacao_Seminario.pdf)>.

SANTOS, Carlos A. Pina dos. ; VASCONCELOS DE PAIVA, José A. (2002) – Caracterização térmica de paredes de alvenaria. 4.<sup>a</sup> ed. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil. ISBN 972-49-0043-6.

SOUSA, Hipólito (2002) - Alvenarias em Portugal situação actual e perspectivas futuras. In LOURENÇO, Paulo B. ; SOUSA, H., ed. - Paredes de alvenaria : situação actual e novas tecnologias [Em linha]. Porto : Fundação Dr. A. Cupertino de Miranda. p. 17-40. [Consult. 20 Jan. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.hms.civil.uminho.pt/events/alvenaria2002/>>.

TAINHA, Manuel (1994) – Arquitectura em questão. Lisboa : AEFA - UTL .

TIRONE, Livia (1998) - Arquitectura bioclimática, uma alternativa sustentável. Lisboa Urbanismo. 1:2 (Novembro-Dezembro 1998) 6-7.

TIRONE, Livia (2013) - Charme e maturidade. Revista Construção Sustentável. 5 (Fevereiro 2013) 24 - 27.

TIRONE, Livia ; NUNES, Ken (2007) – Construção sustentável : soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã. Lisboa : Dinalivro. ISBN 978-989-20-0883-7.

TORGAL, F. Pacheco ; EIRES, Rute M.G. ; JALALI, Said (2009) – A construção em terra. Guimarães : TecMinho. ISBN 978-972-8692-40-7.

TORGAL, F. Pacheco ; JALALI, Said (2010a) – A sustentabilidade dos materiais de construção. 2.<sup>a</sup> ed. [S. l.] : TecMinho. [Consult. 4 Jun. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<http://repositorium.sdum.uminho.pt/>>. ISBN 978-972-8600-22-8.

TORGAL, Fernando Pacheco ; JALALI, Said (2009) – Considerações sobre a sustentabilidade da construção em terra. In FORUM INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 1, Porto, Portugal, 2009 – “TECCON 2009 : tecnologias associadas ao processo do empreendimento de construção : actas” [Em linha]. Porto : GeQualTec. [Consult. 4 Jun. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10456>>.

TORGAL, F. Pacheco ; JALALI, Said (2010b) - Eco-eficiência dos materiais de construção. Revista Associação Portuguesa dos Comerciantes de Materiais de Construção. ISSN 8443-4194. 147 (Janeiro 2010) 46-53. [Consult. 4 Jun. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10724>>.

TWIST, Huel ; LANCASHIRE, Robin (2008) – Timber frame construction. 4.<sup>a</sup> ed. Chiltern House : TRADA Technology Ltd. ISBN 978-1-900510-56-1.

ULMA (2020) - Fachadas ventiladas. Architectural Solutions. (2020). [Consult. 29 Maio. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.ulmaarchitectural.com/pt-pt/fachadas-ventiladas/noticias/novo-catalogo-de-fachadas-ventiladas-em-alemao>>.

VEIGA, Maria do Rosário (2009) - Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos [Em linha]. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (Teses e Programas de Investigação LNEC ; TPI 58). ISBN 978-972-49-2176-1. [Consult. 22 Out. 2019]. Disponível em WWW:<URL:<http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/bitstream/123456789/16735/1/Tpi58.pdf>>.

VEIGA, M. Rosário ; SANTOS, C. Pina dos (2009) - Revestimentos de isolamento térmico de fachada: Eficiência, durabilidade e comprovação de qualidade. Construção Magazine . (Julho 2009) [Consult. 28 Abr. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/handle/123456789/16962>>.

VITRÚVIO POLIÃO, Marcos (2006) - Tratado de Arquitectura. Tradução do latim, introdução e notas por M. Justino Maciel. Lisboa : Instituto Superior Técnico. ISBN 972-8469-43-8.

WEBER (2015) – Manual técnico fachadas eficientes : weber.therm [Em linha]. Aveiro : Weber Saint-Gobain. [Consult. 1 Out. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[https://www.leca.pt/sites/default/files/2017-02/manual\\_weber\\_therm\\_2015\\_SD\\_4.pdf](https://www.leca.pt/sites/default/files/2017-02/manual_weber_therm_2015_SD_4.pdf)>.

XELLA - YTONG (2020) – Produtos. In Archi Expo [Em linha]. [S.l.] : Virtual Expo Group. [Consult. 6 Ago. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.archiexpo.com/pt/prod/xella-ytong-55245.html>>.

## BIBLIOGRAFIA

ADENE (2019) – Eficiência energética nos edifícios [Em linha]. [S.l.] : Agência para a Energia. [Consult. 7 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.adene.pt/edificios/>>.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (2020) - Acordo de Paris [Em linha]. [S.l.] : Agência Portuguesa do Ambiente. [Consult. 31 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=1367>>.

BRAZINHA, Joaquim José, coord. (1993) - Bâtir em terre en Méditerranée = Construir em terra no Mediterrâneo. Silves : Câmara Municipal de Silves.

CHIEBAO, Fernanda (2011) – Cortiça e arquitectura. Lisboa : Euronatura. ISBN 978-972-98932-7-8.

HUGUES, Theodor ; STEIGER, Ludwig ; WEBER, Johann (2004) – Detail praxis : timber construction. Munich : Institut fur international. ISBN 3-7643-7032-7.

LOURENÇO, Paulo B., ed. [et al.] (2015) - Paredes de alvenaria reabilitação e inovação [Em linha]. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa ; Guimarães : Universidade do Minho. [Consult. 27 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.civil.uminho.pt/paredes2015/files/Paredes\\_2015\\_Reabilitacao\\_e\\_Inovacao\\_Seminario.pdf](http://www.civil.uminho.pt/paredes2015/files/Paredes_2015_Reabilitacao_e_Inovacao_Seminario.pdf)>.

LOURENÇO, Paulo B. (2008) – Projeto cBloco : aspectos estruturais [Em linha]. [S.l.] : Universidade do Minho ; Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering. [Consult. 30 Jan. 2020]. Disponível em WWW:<URL:<https://silo.tips/download/projecto-cbloco-aspectos-estruturais>>.

MASCARENHAS, Jorge (2007) – Sistemas de construção : descrição ilustrada e detalhada de processos construtivos utilizados correntemente em Portugal : paredes, paredes exteriores (1.ª parte). 5.ª ed. Lisboa : Livros Horizonte. Vol. 2. (Técnicas de construção). ISBN 978-972-24-1221-3.

MELO, A. C. Fontes de ; MARQUES, Alfredo (2007) – Aplicações em betão leve de argila expandida. In LOURENÇO, Paulo B., ed. [et al.] - Paredes de alvenaria : inovação e possibilidades actuais [Em linha]. Lisboa : Laboratório Nacional de

Engenharia Civil. p. 169-180. [Consult. 15 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.hms.civil.uminho.pt/events/alvenaria\\_2007/169\\_180.pdf](http://www.hms.civil.uminho.pt/events/alvenaria_2007/169_180.pdf)>.

PINHO, Fernando ; LÚCIO, Válder (2015) – Comportamento de paredes de alvenaria de pedra. In LOURENÇO, Paulo B., ed. [et al.] (2015) - Paredes de alvenaria reabilitação e inovação [Em linha]. Lisboa : Universidade Nova de Lisboa ; Guimarães : Universidade do Minho. P. 41-61. [Consult. 27 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.civil.uminho.pt/paredes2015/files/Paredes\\_2015\\_Reabilitacao\\_e\\_Inovacao\\_Seminario.pdf](http://www.civil.uminho.pt/paredes2015/files/Paredes_2015_Reabilitacao_e_Inovacao_Seminario.pdf)>.

PINTO, Alberto Reaes (2011) - A escolha dos materiais para a construção sustentável. Revista Arquitectura Lusíada. ISSN 1647-9009. 3 (2.º semestre 2011) 77-82.

PINTO, Alberto Reaes (1973) - A pré-fabricação na industrialização da construção. [S.l. : s.n.]. Comunicação apresentada no: II Colóquio Nacional da Indústria da Construção: o desafio da produtividade no IV plano de fomento.

PINTO, Alberto Reaes (2012) - Reflexões sobre arquitectura e mudança. Revista Arquitectura Lusíada. ISSN 1647-900. 4 (1.º semestre 2012) 5 - 8.

PINTO, Alberto Reaes ; OLIVEIRA, Carlos (2011) - Contributo das soluções de controlo solar para a sustentabilidade do edificado. Revista Arquitectura Lusíada. ISSN 1647-9009. 2 (1.º semestre 2011) 95-105.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente e Transição Energética ; AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (2019) – Roteiro para a neutralidade carbónica 2050 : estratégia de longo prazo para a neutralização carbónica da economia portuguesa em 2050 [Em linha]. [S.l.] : Ministério do Ambiente e Transição Energética. Roteiro 262/2019. [Consult. 27 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050\\_PT-22-09-2019.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/RNC2050_PT-22-09-2019.pdf)>.

QUITÉRIO, Paulo (2005) – Algarve : memórias de um lugar. Sevilla : Universidade Pablo Olavide. P. 312-319. Comunicação apresentada no CISA V'05 - Congresso sobre Arquitectura Vernácula. [Consult. 17 Fev. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[https://www.upo.es/depa/webdhuma/areas/arte/actas/cisav05/co\\_35.pdf](https://www.upo.es/depa/webdhuma/areas/arte/actas/cisav05/co_35.pdf)>

SILVA, J. Mendes da ; ABRANTES, Vitor (2007) – Patologias em paredes de alvenaria. In LOURENÇO, Paulo B., ed. [*et al.*] - Paredes de alvenaria : inovação e possibilidades actuais [Em linha]. Lisboa : Laboratório Nacional de Engenharia Civil. p. 65-84. [Consult. 18 Set. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[http://www.hms.civil.uminho.pt/events/alvenaria\\_2007/065\\_084.pdf](http://www.hms.civil.uminho.pt/events/alvenaria_2007/065_084.pdf)>.

THE PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (D.L. 1990) - Como construir com betão, tijolos e pedra. Trad. Carla Pinhal. Mem Martins : Edições CETOP. ISBN 972-641-072-X.

TORGAL, F. ; JALALI, S. (2008) - Tendências para a Sustentabilidade dos Materiais de Construção. Engenharia e vida. 42 (Janeiro 2008) 2-5. [Consult. 4 Jun. 2020]. Disponível em WWW:<URL:[http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8830/1/Torgal\\_RN\\_1\\_2008.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8830/1/Torgal_RN_1_2008.pdf)>.

WIGGINTON, Michael (1996) - Glass in architecture. London : Phaidon.