

DM

Construção com Painéis Sanduíche de Silicato de Cálcio, Cimento e EPS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Roberto Filipe Jardim Faria

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

setembro | 2014

Construção com Painéis Sanduíche de Silicato de Cálcio, Cimento e EPS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Roberto Filipe Jardim Faria

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

ORIENTADOR

Lino Manuel Serra Maia



Construção com Painéis Sanduíche de Silicato de Cálcio, Cimento e EPS

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na
Universidade da Madeira

por

ROBERTO FILIPE JARDIM FARIA

Orientador

Lino Maia

(Universidade da Madeira)

setembro 2014

Título: Construção com Painéis Sanduíche de Silicato de Cálcio, Cimento e EPS

Palavras-chave: Painéis sanduíche, construção, silicato de cálcio, EPS.

Keywords: Sandwich panels, construction, calcium silicate, EPS.

Autor: ROBERTO FARIA

CCEE – Centro de Ciências Exatas e da Engenharia

Campus Universitário da Penteada

9020 – 105 Funchal – Portugal

Telefone: + 351 291 705 230

Correio eletrónico: secretariadoscentros@uma.pt

Nota: Esta dissertação foi desenvolvida ao abrigo do protocolo UMA/PP Painel Portugal, Lda.

Júri:

Sérgio António Neves Lousada, Professor Convidado da Universidade da Madeira

José Manuel Martins Neto dos Santos, Professor Convidado da Universidade da Madeira

Lino Manuel Serra Maia, Professor Auxiliar da Universidade da Madeira

Funchal, Madeira

Pela inovação e alternativas à construção convencional

RESUMO

A carência de materiais que permitam elementos estruturais leves, de elevada rigidez e resistência na indústria da construção, contribuiu para o desenvolvimento e posterior utilização de materiais compósitos, nos quais incluem-se os painéis sanduíche. Estes são aperfeiçoados e fabricados com o objetivo de obter elevada relação resistência/peso próprio, rigidez/peso próprio e outras vantagens a nível construtivo como a montagem rápida, a redução de custos e boas propriedades de isolamento.

Nesta dissertação são apresentados os painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS, com o intuito de informar os interessados, em métodos construtivos alternativos, sobre uma solução viável, vantajosa a vários níveis e que pode ser adaptada e igualmente adequada às suas necessidades construtivas.

Inicia-se com um resumo do desenvolvimento histórico até à necessidade de evolução e utilização de materiais semelhantes, seguindo-se de uma descrição mais detalhada do painel sanduíche e os seus requisitos. A nível de fabrico, sugere-se uma possível disposição de maquinaria em fábrica e pormenoriza-se o processo de fabrico até atingir o produto final. Segue-se o trajeto do painel até ao seu propósito final em obra, onde se descreve o seu processo construtivo. Explicam-se as vantagens e desvantagens dos Painéis acompanhados de vários exemplos de aplicações com sucesso.

Para divulgar a qualidade e facilitar a comercialização deste produto, descreve-se detalhadamente o processo moroso da obtenção da marca que atesta a conformidade de um produto a nível europeu e mundial, a marcação CE, e a nível nacional, uma proposta de especificação técnica como comprovativo de qualidade. É ainda realizado um estudo teórico do desempenho esperado dos painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS, a nível acústico, térmico, a sua resistência à água e fogo, durabilidade a longo prazo e resistência dos Painéis. Por fim, demonstram-se vários pormenores construtivos que eventualmente serão utilizados em obra.

ABSTRACT

The lack of materials that allow light structural elements, high stiffness and strength in the construction industry have contributed to the development and subsequent use of composite materials, in which the sandwich panels are a part of. These are perfected and manufactured with the goal of obtaining high ratios of strength/weight, stiffness/weight and other advantages at a constructive level such as quick assembly, cost reduction and good insulation properties.

Throughout this dissertation the calcium silicate, cement and EPS sandwich panels are presented, in order to enlighten those interested in alternative building methods on an advantageous method at various levels that can also be adapted and personalized to their constructive needs as a viable solution. It begins with a brief historical development until the need to use and develop materials of this kind, followed by a more detailed description of the sandwich panel and its requirements. In terms of manufacturing, a possible layout of the factory machinery is suggested, and it sets up the whole manufacturing process till the final product is obtained. Following the path of the sandwich panel to its final purpose in a construction site, the construction process is described. The advantages and disadvantages of sandwich panels are explained and accompanied by several successful examples of those who have used them.

To promote the quality and facilitate the marketing of this product, the lengthy process of obtaining a brand that approves the conformity of a product to a European and global standard, the CE marking process is described in detail, and at a national level, a proposal for a technical specification as a proof of quality. This is followed by a theoretical study of the expected performance of calcium silicate, cement and EPS sandwich panels, regarding its acoustic and thermal performance, its resistance to water and fire, long-term durability and overall Panel resistance. Finally, several construction details are demonstrated that will eventually be used in the construction site.

ÍNDICE

Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice.....	ix
Índice de figuras.....	xiii
Índice de tabelas.....	xvii
Notação e simbologia.....	xix
Termos e definições.....	xxi
Agradecimentos.....	xxv
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Motivação.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Contribuições científicas e limitações.....	3
1.5. Apresentação da dissertação.....	3
2. ESTADO DA ARTE.....	5
2.1. Painéis sanduíche.....	5
2.1.1. Configuração das placas.....	6
2.1.2. Configuração dos materiais do núcleo.....	7
2.1.3. Configuração do material adesivo.....	8
2.2. A utilização de painéis sanduíche ao longo da história da construção.....	9
2.3. Requisitos dos painéis sanduíche para a construção de edifícios.....	12
2.3.1. Requisitos do material das placas.....	14
2.3.2. Requisitos dos materiais do núcleo.....	14
2.4. Processo de fabrico dos painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS.....	15
2.4.1. Fabrico das placas.....	15
2.4.2. Fabrico do EPS.....	16
2.4.3. Fabrico do núcleo.....	17
2.4.4. Disposição geral de uma fábrica.....	17
2.4.5. Fabrico dos painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS.....	19
2.5. Processo construtivo em obra.....	20
2.6. Vantagens e desvantagens dos painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS.....	23
2.6.1. Vantagens.....	23
2.6.2. Vantagens: comparação com construção em tijolo cerâmico / bloco de cimento.....	24

2.6.3.	Desvantagens.....	24
2.7.	Campo de aplicação corrente	25
2.8.	Materiais alternativos aos painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS	32
2.8.1.	Materiais alternativos para as placas	32
2.8.2.	Materiais alternativos para o núcleo	36
2.9.	Preço dos painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS	40
3.	ENQUADRAMENTO NORMATIVO PARA OS PAINÉIS SANDUÍCHE DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS.....	41
3.1.	Introdução.....	41
3.2.	Organismos de normalização.....	41
3.2.1.	Organismos internacionais de normalização (OIN)	42
3.2.2.	Organismos europeus de normalização (OEN)	42
3.2.3.	Organismos nacionais de normalização (ONN).....	43
3.3.	Marcação CE.....	43
3.3.1.	Normas europeias harmonizadas (ENh)	45
3.3.2.	Avaliação técnica europeia (ETA) e documento de avaliação europeu (DAE)	46
3.3.3.	Dossier técnico.....	49
3.3.4.	Declaração de desempenho	50
3.3.5.	Apor a marcação CE	52
3.3.6.	Vantagens e desvantagens da marcação CE	53
3.4.	Análise das ENh e DAE existentes para aplicação aos painéis de silicato de cálcio, cimento e EPS.....	56
3.5.	Proposta de especificação técnica para os painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS.....	58
3.5.1.	Hipótese 1: Elaboração de especificação técnica	58
3.5.2.	Hipótese 2: Adaptação de uma ETA para uma especificação técnica.....	59
4.	DESEMPENHO DOS PAINÉIS SANDUÍCHE DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS 61	
4.1.	Introdução.....	61
4.2.	Comportamento acústico	62
4.3.	Comportamento térmico.....	66
4.4.	Resistência à água	68
4.5.	Comportamento ao fogo	69
4.6.	Durabilidade a longo prazo.....	70
4.7.	Resistência dos Painéis	71
4.7.1	Rotura por tração das placas.....	71
4.7.2	Rotura por corte do núcleo ou do material de aderência entre o núcleo e a placa (delaminação)	72
4.7.3	Rotura nas zonas de fixação, por tração, compressão ou corte	73

5. PORMENORIZAÇÃO CONSTRUTIVA DOS PAINÉIS	75
5.1. Ligações entre Painéis.....	75
5.2. Ligações entre Painéis e outros elementos da construção	77
5.2.1. Painéis em paredes exteriores	78
5.2.2. Painéis em paredes interiores	80
5.3. Regras para a aplicação em obra	80
5.4. Esquema de montagem dos Painéis.....	82
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
6.1. Notas finais e conclusões	83
6.2. Desenvolvimentos futuros.....	84
REFERÊNCIAS	87
ANEXOS.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Corte de um Painel.....	6
Figura 2.2 – A – Placa de silicato de cálcio; B – núcleo de cimento e EPS.....	6
Figura 2.3 – Exemplos de configurações das placas: (a) plana; (b) ondulada; (c) em perfil [14].....	6
Figura 2.4 – Placas de silicato de cálcio.....	6
Figura 2.5 – Diferentes tipos de núcleo: (a) heterogéneo; (b) homogéneo; (c) em favos de mel.	7
Figura 2.6 – Embalagens de Icosit K 101 N.....	9
Figura 2.7 – Composição geral de um painel sanduíche.	9
Figura 2.8 – Recriação de um abrigo feito de ramos, folhas e troncos.	10
Figura 2.9 – Recriação de um abrigo feito de ossos e pele de mamute.....	10
Figura 2.10 – Tijolo de lama e cofragem de madeira.....	11
Figura 2.11 – <i>Ziggurat of Ur</i> , Suméria, construído em tijolos de lama, cerca de 2100 a.C. com uma altura atual de 30 metros.	11
Figura 2.12 – Coliseu de Roma.....	11
Figura 2.13 – Panteão romano.....	11
Figura 2.14 – Projeto de edifício com Painéis da empresa P&W Industry Group [21].	12
Figura 2.15 – Projeto de habitação com Painéis da empresa P&W Industry Group [21].	12
Figura 2.16 – Exemplo de uma máquina calandra cilíndrica.	16
Figura 2.17 – Exemplo de uma máquina autoclave.	16
Figura 2.18 – Máquina de pré-expansão e cura de poliestireno.	17
Figura 2.19 – Exemplo da disposição de uma fábrica de Painéis.	18
Figura 2.20 – Exemplo da divisão em seções da fábrica de Painéis.	18
Figura 2.21 – Perfil metálico para assentar os Painéis.	21
Figura 2.22 – Painéis utilizados como cofragem para ensoleiramento geral.	21
Figura 2.23 – Montagem dos Painéis.	21
Figura 2.24 – Colocação de um Painel horizontalmente na parte superior de uma janela.....	22
Figura 2.25 – Estrutura de cobertura.	22

Figura 2.26 – Moradia unifamiliar construída com Painéis situada na África do Sul.	22
Figura 2.27 – Aplicação de Painéis em paredes não estruturais.	27
Figura 2.28 – Pormenor de montagem em zona de porta.	27
Figura 2.29 – Pormenor de Painéis previamente cortados e montados para incorporar uma janela.	28
Figura 2.30 – Parede divisória num piso térreo.	28
Figura 2.31 – Montagem de: (a) paredes de fachada; (b) paredes de fachada e divisórias.	29
Figura 2.32 – Edifício construído com Painéis.	29
Figura 2.33 – Montagem vertical de parede divisória.	30
Figura 2.34 – Armazém construído em 6 semanas com Painéis. <i>Koala Storage</i> , Austrália.	30
Figura 2.35 – Painéis curvos desenhados especificamente para a fachada exterior e cobertura do edifício Albert Facey House em Perth, Austrália.	31
Figura 2.36 – Habitação construída com Painéis em Leerderville, Austrália.	31
Figura 2.37 – Placas de fibrocimento.	33
Figura 2.38 – Fachada exterior de habitação revestida com placas de fibrocimento.	33
Figura 2.39 – Placas de óxido de magnésio com várias espessuras.	34
Figura 2.40 – Fachada exterior de habitação revestida com placas de óxido de magnésio.	34
Figura 2.41 – Painéis Viroc em fachada exterior. Armazém Carglass, Portugal.	35
Figura 2.42 – Painéis Viroc em fachada exterior e cobertura. Apartamento Warborn, Portugal.	35
Figura 2.43 – Painel sanduíche com núcleo de cortiça e placas de alumínio.	37
Figura 2.44 – Painel sanduíche com núcleo de cortiça e placas de madeira.	37
Figura 2.45 – Produto final da mistura de argila expandida com cimento.	38
Figura 2.46 – Embalagem e aplicação de argamassa ISODUR.	39
Figura 3.1 – Símbolo representativo da marcação CE.	44
Figura 3.2 – Sumário da norma europeia harmonizada EN 1520:2011.	46
Figura 4.1 – Isolamento sonoro de uma parede simples [7].	62
Figura 4.2 – Comparativo entre uma parede exterior dupla com isolamento convencional e um Painel de 150 mm (adaptado de [23]).	67
Figura 4.3 – Rotura por tração (a) na zona de apoio e (b) a meio vão (adaptado de [11]).	72
Figura 4.4 – Rotura por corte do núcleo [11].	72

Figura 4.5 – Rotura (a) por tração e (b) por corte da ligação (adaptado de [11]).....	73
Figura 5.1 – Ligação entre Painéis por colagem.	76
Figura 5.2 – Ligação vertical entre Painéis.	76
Figura 5.3 – Ligação entre Painéis por encaixe retangular.	76
Figura 5.4 – Ligação entre Painéis por encaixe trapezoidal.....	76
Figura 5.5 – Ligação entre Painéis por encaixe triangular.....	76
Figura 5.6 – Ligação entre Painéis por encaixe semicircular.....	76
Figura 5.7 – Ligação entre Painéis com chapas metálicas laterais e colagem.	76
Figura 5.8 – Ligação entre Painéis com perfil com seção em H.	76
Figura 5.9 – Ligações entre Painéis em “L” (adaptado de [46]).	77
Figura 5.10 – Ligações entre Painéis em “T” (adaptado de [46]).	77
Figura 5.11 – Ligações entre Painéis especiais (adaptado de [46]).....	77
Figura 5.12 – Diversas ligações entre Painel e elemento estrutural (adaptado de [11]).....	79
Figura 5.13 – Ligação com parafusos que atravessam a junta de ligação (adaptado de [11]).	79
Figura 5.14 – Pormenor de ligação do Painel a um elemento horizontal (adaptado de [11]).	79
Figura 5.15 – Pormenor da ligação do Painel a uma janela (adaptado de [11]).....	79
Figura 5.16 – Pormenor de ligação numa cornija (adaptado de [11]).	79
Figura 5.17 – Sistema de ligação entre pavimento e parede (adaptado de [11]).	80
Figura 5.18 – Sistema de ligação entre dois Painéis e o suporte em “T” (adaptado de [11]).	80
Figura 5.19 – Sistema de ligação entre dois Painéis e o suporte (parede) (adaptado de [11]).	80
Figura 5.20 – Aplicação da argamassa de colagem.....	81
Figura 5.21 – Aplicação da rede de fibra de vidro, na segunda camada de argamassa ainda fresca.....	81
Figura 5.22 – Esquema de montagem em zona de porta (adaptado de [23]).	82
Figura 5.23 – Esquema de montagem em zona de janela (adaptado de [23]).	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos Painéis, valores da empresa PP Painel Portugal, Lda. [23].	14
Tabela 2 – Resultados de testes realizados pela empresa Aexclusiva, Lda., a uma placa de óxido de magnésio com 10 mm de espessura.	34
Tabela 3 – Tabela de ensaios obtidos no laboratório Betão Liz, para várias misturas de betão leve com argila expandida. Valores obtidos da empresa Argex [33].	38
Tabela 4 – Características técnicas da mistura betão leve com argila expandida. Valores obtidos pela empresa Argex [33].	38
Tabela 5 – Comparativo de preços entre parede dupla de bloco com isolamento térmico e Painéis de 150 mm. Valores fornecidos pela empresa PP Painel Portugal, Lda. [23].	40
Tabela 6 – Procedimento para a obtenção da marcação CE.	45
Tabela 7 – Procedimento realizado pela OAT aquando da receção de um pedido de ETA.	48
Tabela 8 – Principais diferenças entre uma ENh e uma ETA.	49
Tabela 9 – Tabela simplificada dos sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto, conforme o Anexo V do RPC [2].	51
Tabela 10 – Procedimento simplificado para a obtenção de uma Especificação Técnica.	59
Tabela 11 – Exemplo da duplicação e aumento da redução sonora de 6 dB entre frequência e massa.	63
Tabela 12 – R_w para Painéis com diversas espessuras.	65
Tabela 13 – Resultados do ensaio sonoro a sons de condução aérea numa moradia [23] (fornecido pela empresa PP Painel Portugal, Lda.).	65
Tabela 14 – Valores correntes de R_{si} e R_{se} segundo o REH.	67
Tabela 15 – Comparativo da resistência térmica total entre uma parede tradicional exterior dupla com isolamento e um Painel com 150 mm (cedido pela PP Painel Portugal, Lda.).	68
Tabela 16 – Ensaio de reação ao fogo realizado segundo a norma EN 13501-1 [23] (informação fornecida pela empresa PP Painel Portugal, Lda.).	69
Tabela 17 – Classes de reação ao fogo para produtos de construção, excluindo pavimentos, segundo o anexo I do SCIE [45].	69
Tabela 18 – Exemplos de aplicações dos Painéis [23].	81

NOTAÇÃO E SIMBOLOGIA

Sigla	Unidade	Texto
[-]	dB	Decibel
[-]	€	Euro
[-]	€/m ²	Euros por metro quadrado
[-]	g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico
[-]	°C	Graus Celsius
[-]	MPa	Megapascal
[-]	N/mm ²	Newton por milímetro quadrado
[-]	%	Porcentagem
[-]	kg	Quilograma
[-]	kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
[-]	kg/m ²	Quilograma por metro quadrado
[-]	kPa	Quilopascal
[-]	s	Segundos
S	m ³	Área do painel multiplicado pelo número de painéis
λ	W/m.°C	Condutibilidade térmica
Hz	ciclos/s	Hertz
D _{2m,nT,w}	dB	Índice de isolamento sonoro de sons aéreos
ΔR_w	dB	Índice de isolamento sonoro de paredes duplas
R	dB	Índice de redução sonora
R _w	dB	Índice sonoro do elemento
m	kg/m ²	massa
PCS	MJ.kg ⁻¹ , MJ.kg ⁻² ou MJ.m ⁻²	Poder calorífico superior
R	m.°C/W	Resistência térmica
R _{si}	m.°C/W	Resistência térmica superficial interior
R _{se}	m.°C/W	Resistência térmica superficial exterior
TM _w	dB	Transmissões marginais
t _f	s	Tempo de presença da chama «duração das chamas persistentes»
V	m ³	Volume
aTS		anteprojeto de Especificação Técnica
CEI ou IEC		Comissão Eletrotécnica Internacional
CEN		<i>Comité Européen de Normalisation</i> - Comité Europeu de Normalização

CENELEC	<i>Comité Européen de Normalisation Electrotechnique</i> - Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica
CNQ	Conselho Nacional de Qualidade
CT	Comissão Técnica
DIBt	<i>Deutsches Institut für Bautechnik</i> - Instituto Alemão de Tecnologia da Construção
DPC	Diretiva dos Produtos de Construção
EEE	Espaço Económico Europeu
ENh	<i>harmonised European Standards</i> - Norma Europeia harmonizada
EOTA	<i>European Organisation for Technical Assessments</i> - Organização Europeia para Avaliações Técnicas
EPS	Poliestireno expandido
ETA	<i>European Technical Assessments</i> - Avaliação Técnica Europeia
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> - Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações
EU	União Europeia
DAE	<i>European Assessment Document</i> - Documento de Avaliação Europeu
IPQ	Instituto Português da Qualidade
ISO	Organização Internacional de Normalização
I.V.A.	Imposto sobre Valor Acrescentado
JOUE	Jornal Oficial da União Europeia
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NP	Norma Portuguesa
OAT	Organismo de Avaliação Técnica
OEN	Organismo Europeu de Normalização
OIN	Organismo Internacional de Normalização
ONN	Organismo Nacional de Normalização
prTS	projeto de Especificação Técnica
REH	Decreto-Lei n.º 118/2013 - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RPC	Regulamento n.º 305/2011 - Regulamento dos Produtos de Construção
RPNP	Regras e Procedimentos para a Normalização Portuguesa
RRAE	Decreto-Lei n.º 96/2008 - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios
SCIE	Decreto-Lei n.º 220/2008 - Segurança Contra Incêndios em Edifícios
SPQ	Sistema Português de Qualidade
UMa	Universidade da Madeira
XPS	Poliestireno extrudido

TERMOS E DEFINIÇÕES

De maneira a facilitar e clarificar a leitura deste trabalho, apresentam-se de seguida alguns termos e definições utilizados na bibliografia relativamente aos painéis sanduíche na dissertação.

Argamassa – Constituída por uma pasta homogénea de cimento, água e pelos agregados com dimensão máxima inferior a 4 milímetros (areia fina e areia britada).

Argamassa de colagem – É uma argamassa que permite obter uma aderência e diminuição do absorvimento da água nas zonas de ligação. É utilizada na colagem de painel com painel ou painel com elementos estruturais e deve ser preparada com o mesmo material que o dos Painéis.

Ataque alcalino – Reação causada pela alcalinidade de um material (capacidade que um material tem para neutralizar ácidos) causando a deterioração de outro material resultando em alterações no produto.

Condutibilidade térmica – É uma propriedade que caracteriza os materiais ou produtos termicamente homogéneos e que representa a quantidade de calor (W) que atravessa uma espessura unitária (m) de um material, quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura (1 °C).

Cloreto de magnésio – É um sal altamente solúvel em água que é extraído da água do mar. É maioritariamente utilizado como inibidor de pó e na estabilização de solos. É um dos componentes das placas de óxido de magnésio.

Diretiva Comunitária - Uma diretiva comunitária é uma lei da União Europeia que toma precedente sobre as leis dos diferentes estados membros. Todas as diretivas comunitárias são votadas pelo Conselho de Ministros apropriado, após consulta junto do Parlamento Europeu. Após a sua adoção está normalmente previsto um período, que se pode estender até três anos, para que a diretiva seja introduzida na Lei dos estados membros. A autoridade máxima para a interpretação das Diretivas Comunitárias é o Tribunal Europeu de Justiça [1].

Documento de Avaliação Europeu (DAE) – Documento aprovado por um dos Organismos de Avaliação Técnica (OAT) para efeitos de emissão de Avaliações Técnicas Europeias (ETA) [2].

Estado Membro – É um país que pertence à União Europeia, que é uma união económica e política de, até à data, 28 Estados Membros independentes situados principalmente no continente Europeu.

Especificação Técnica (TS) – Documento aprovado e editado pelo ONN, que fornece, para utilizações comuns e repetidas, regras, orientações ou características, para atividades ou para os seus resultados e

cujo consenso para a obtenção do estatuto de norma portuguesa não foi possível de alcançar até à data da sua edição [3]. É o equivalente do Instituto Português da Qualidade a uma ETA.

Frequência acústica - Número de vibrações completas por unidade de tempo (Hz - ciclos/s).

Fibras de celulose – São fibras de planta ou material à base de plantas. São usualmente categorizadas em natural ou fabricada. Fibras de celulose naturais são reconhecidas por fazerem parte da planta original, por exemplo, algodão ou linho. As fibras de celulose fabricadas são plantas processadas numa polpa e posteriormente extrudidas da mesma forma que as fibras sintéticas como o poliéster e o *nylon* são feitos. Para uso na construção é comum utilizar fibras de celulose fabricadas a partir de papel ou madeira reciclado.

Fibrocimento – É um composto de cimento e fibras de reforço, que contribuem para tornar o fibrocimento ainda mais resistente. Antes de ser globalmente divulgado que o amianto é prejudicial à saúde, o fibrocimento era composto por cimento e amianto. Tendo em conta os efeitos nocivos do amianto, os fabricantes substituíram-no por fibras que reforçam o cimento mantendo a mesma qualidade.

“Kit” – Um produto de construção colocado no mercado por um único fabricante como um conjunto de pelo menos dois componentes separados que têm de ser associados para serem incorporados nas obras de construção [2].

In situ – No próprio local; no local da obra.

Isocianato – Os isocianatos possuem o grupo químico NCO que reage com compostos que possuam átomos de hidrogênio ativo, como o poliol, a água, os extensores de cadeia, entre outros [4].

Material compósito – Material composto por dois ou mais materiais diferentes que quando unidos num só material conjugam-se para que as propriedades finais desse material sejam superiores às propriedades iniciais de cada um dos seus constituintes [5].

Painel/Painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS (Painel/Painéis) – Painel sanduíche constituído por duas placas de revestimento superficial de silicato de cálcio e um núcleo de betão leve aligeirado com EPS. Material de construção que é objeto de estudo nesta dissertação. Ao longo desta dissertação serão frequentemente utilizados os termos reduzidos ‘Painel’ ou ‘Painéis’ para designar o material que foi objeto de estudo e os termos, ‘painel sanduíche’ ou ‘painéis sanduíche’ para designar os painéis sanduíche em geral.

Poliestireno expandido (EPS) – É um material composto por pequenas esferas de poliestireno (do petróleo bruto) contendo um agente expansivo, como o pentano, que expande por aquecimento com vapor de água. O EPS tem uma estrutura parcialmente porosa. Denominado em geral por esferovite [6].

Poliol – Os poliol poliéster alifáticos são particularmente usados devido à alta polaridade dos seus grupos ésteres que garantem uma alta adesão a diversos materiais, especialmente aos plásticos. Eles têm excelente resistência ao calor e a solventes, porém são mais sensíveis à hidrólise. Eles possuem: excelentes propriedades de adesão, resistência à abrasão, alta reatividade, porém são viscosos e têm custo de médio a alto [4].

Poliuretano (PU) – O poliuretano no âmbito deste trabalho, é utilizado como material adesivo para fixar a rede de fibra de vidro ao Painel, no processo de montagem em obra. Este material é ideal devido às suas propriedades adesivas, pela sua resistência à água e boas propriedades térmicas.

Resistência térmica – Define-se como a razão entre a espessura e a condutibilidade térmica de um material.

Ressonância acústica - É gerada quando uma fonte emite um som de frequência igual à frequência de vibração natural de um recetor.

Silicato de Cálcio – O Silicato de Cálcio é obtido através da sílica diatomácea, óxido de cálcio e fibras, Ca_2SiO_4 . É o material ideal para aplicações em tubulações e equipamentos, em altas temperaturas, por sua leveza, resistência mecânica, mínima perda de calor, insolubilidade e alta resistência estrutural.

Transmissão marginal (acústica) – A transmissão do som por meio de vibração dos elementos não separadores e/ou aberturas, propagando a energia que depois é radiada para o local adjacente [7].

AGRADECIMENTOS

Um desafio equiparável ao de concluir o Mestrado e escrever esta Dissertação, foi o de colocar em palavras o enorme sentimento de gratidão a todos os que ajudaram-me a finalizar esta importante etapa da minha vida. Foi sem dúvida uma viagem repleta de emoções fortes até o fim.

Começo com o agradecimento aos meus pais, Rui e Graça, que proporcionaram-me a melhor educação possível.

Ao Professor Lino Maia, meu orientador e professor, pela sua competência científica, disponibilidade fornecida e partilha de conhecimentos, assim como pelas críticas e sugestões relevantes feitas durante a orientação.

Um grande agradecimento ao Sr. Roberto Vieira da empresa PP Paineis Portugal, Lda. pela colaboração e disponibilidade de materiais e documentação técnica.

Aos meus amigos e colegas de curso, Amaro Cró, Fábio Rodrigues, Patrícia Rodrigues, Rita Rodrigues, entre outros que não menciono mas sabem quem são, amigos que ajudaram-me em inúmeras situações ao longo destes anos, pelo companheirismo e apoio em certos momentos. Não posso deixar de fazer uma especial menção honrosa à minha amiga Sara Araújo que foi incansável comigo.

Aos meus amigos mais próximos, alguns já de infância, que acompanharam-me e incentivaram-me até hoje e que certamente iremos ultrapassar mais obstáculos juntos, ao longo da nossa vida.

Agradeço a todos novamente pelo acompanhamento ao longo deste percurso e dedico-vos este culminar de um capítulo na minha vida.

Funchal, setembro 2014

Roberto Faria

1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1. INTRODUÇÃO

Em toda a história da construção, os avanços tecnológicos aparecem ligados à descoberta e aplicação de novos materiais. A partir do século XVIII, o ferro foi o material impulsionador da revolução industrial e a meados do século XX o betão armado contribuiu para a rápida reconstrução pós-guerra e deu-se um crescimento progressivo, tornando-o no principal material de construção em aplicações estruturais até à data. Foram aplicações que mudaram os métodos construtivos garantindo estruturas de maior porte e maior segurança, colaborando para o desenvolvimento das sociedades e cidades em geral [8, 9]. No entanto, apesar das suas qualidades e diversas aplicações, não são materiais eternos. Por serem pesados, suscetíveis a ataques por agentes agressivos e porque a sua aplicação pode tornar as construções onerosas e morosas, necessitam de manutenção regular. A degradação dos materiais e a durabilidade destes, tornou-se alvo de apreensão no meio, passando estas preocupações a serem consideradas nos regulamentos e dimensionamento das estruturas [9]. Devido à preocupação sobre a degradação e a durabilidade, surgiram novas exigências estruturais, exigindo materiais cada vez mais leves, resistentes e com tempos de execução mais reduzidos [10].

No seguimento destas exigências, surgem os Painéis que têm vindo a ser cada vez mais utilizados em construções de um piso ou vários pisos, porque são leves, eficientes, esteticamente atraentes e podem ser facilmente manuseados e erguidos [11].

Este tipo de material compósito é geralmente caracterizado pela composição de duas placas e um núcleo, inicialmente aplicado nas indústrias aeroespacial e naval, expandindo o seu potencial para a indústria da construção a partir da década de 1960. Por se apresentar como um material leve, com boas capacidades isoladoras, de fácil montagem e que permite economia de custo e tempo, têm vindo a ser estudados e desenvolvidas inúmeras combinações de diferentes materiais para aplicações na construção.

Dentro dos painéis sanduíche destacam-se os painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS (ao longo desta dissertação serão frequentemente utilizados os termos curtos ‘Painel’ / ‘Painéis’ (utilizando ‘P’ maiúsculo) para referir este material de construção) que foram recentemente introduzidos no mercado da construção na Ilha da Madeira.

Este material de construção, embora já esteja a ser utilizado em maior escala em alguns países (como na Venezuela, China, Brasil, etc.), por ser um material relativamente novo, tem-se deparado com dificuldades de aceitação em Portugal. Muito provavelmente tal deve-se ao facto de ainda não existir regulamentação apropriada e divulgação de informação de apoio principalmente a engenheiros, arquitetos e donos de obra. De facto, a nível mundial tem-se vindo a verificar uma crescente utilização, particularmente em coberturas e fachadas de moradias unifamiliares de um piso nos países em desenvolvimento [10].

1.2. MOTIVAÇÃO

Atualmente existe uma recorrente necessidade de melhorar ou inovar os métodos construtivos existentes. Seja por necessidade de maior qualidade para a concretização de edifícios, seja pela relação qualidade/preço ou simplesmente por dispor de uma alternativa mais económica e sustentável aos métodos usuais. Os painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS são materiais inovadores no setor da construção em Portugal. Trata-se de um material constituído por uma estrutura de três camadas: duas placas de silicato de cálcio, separadas por um núcleo de cimento e EPS.

Estes Painéis apresentam-se com elevadas relações resistência / peso próprio e rigidez / peso próprio. O facto de serem pré-fabricados e de fácil montagem e manuseamento permite uma maior economia a nível de tempo e custos. Caracterizam-se pelas suas boas propriedades de isolamento térmico e pela sua durabilidade, reparação fácil e rápida utilizando ferramentas convencionais. Assim, a inovação, o desenvolvimento de alternativas à construção convencional e a crescente procura de materiais cada vez mais resistentes, leves, duráveis e de menor custo relativamente aos materiais habitualmente utilizados na indústria da construção, constituíram a principal motivação para o estudo da utilização destes Painéis.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação é a elaboração do estado da arte sobre a aplicação de painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS na indústria da construção com a identificação das suas vantagens e desvantagens. Para além disso, atendendo que esta tecnologia de construção já se encontra

disponível no mercado de construção da Ilha da Madeira, pretende-se com esta dissertação contribuir para a sua divulgação.

Assim, pretende-se analisar o desempenho em obra dos painéis sanduiche de silicato de cálcio, cimento e EPS avaliando-se os métodos construtivos correntemente utilizados e os fatores e características que podem tornam este material numa alternativa viável aos métodos de construção convencional.

Por último, atendendo que ainda não é possível atribuir aos painéis sanduiche de silicato de cálcio, cimento e EPS a marcação CE, pretende-se nesta dissertação sintetizar a informação e a legislação sobre os procedimentos que permitem a atribuição da marcação CE aos produtos de construção para comercialização no espaço económico europeu.

1.4. CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS E LIMITAÇÕES

A apresentação e divulgação das vantagens e das limitações dos painéis sanduiche de silicato de cálcio, cimento e EPS enquanto material de construção, quer como possível elemento não estrutural quer como semi-estrutural, é um dos pontos a afirmar como contributo para construções sustentáveis e económicas.

A principal limitação desta dissertação prende-se com a informação disponível sobre a aplicação de painéis sanduiche de silicato de cálcio, cimento e EPS. De facto, a não existência de publicações científicas reconhecidas sobre este produto restringe o alcance deste trabalho na medida que a informação utilizada carece de confirmação (parte da informação utilizada foi obtida através de pesquisa na internet e parte foi obtida informalmente junto de empresas), tendo-se encontrado informações contraditórias e de veracidade questionável.

Tal limitação poderia ter sido reduzida pela realização de ensaios de laboratório que quantificassem desempenho em serviço dos Painéis, contudo não foi possível a sua realização devido aos custos associados a realização dos respetivos ensaios.

1.5. APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação apresenta-se organizada em 6 capítulos.

No presente capítulo, pretende-se fazer uma breve introdução ao tema da dissertação, um enquadramento geral dos Painéis na indústria da construção, a motivação que despertou o interesse neste tema, apresentam-se também os objetivos e as contribuições científicas e limitações.

No segundo capítulo expõe-se o estado da arte como uma revisão bibliográfica começando com a descrição dos Painéis, a configuração dos seus constituintes, a sua utilização ao longo da história da construção e a aplicação dos mesmos em obra. Após estas descrições teóricas são abordados os requisitos dos Painéis e dos materiais que os compõem. É feita ainda referência ao desempenho dos Painéis em serviço, nomeadamente, os seus comportamentos acústicos, térmicos, a resistência à água e ao fogo e ainda a sua durabilidade a longo prazo. Segue-se o processo de fabrico dos mesmos, assim como as vantagens e desvantagens da utilização deste tipo de Painéis. O ponto seguinte faz referência ao campo de aplicação dos Painéis, com vários exemplos fotográficos do uso em obras, já terminadas ou em fase de construção, seguido de um ponto sobre materiais alternativos para as placas e núcleo. No último ponto deste capítulo, efetua-se uma análise aos preços praticados e aos dos Painéis.

O terceiro capítulo aborda o enquadramento normativo para uma futura marcação CE para que os Painéis possam ser comercializados na União Europeia. Descreve-se o processo evolutivo e necessário, que consiste na análise das normas europeias harmonizadas (ENh - *harmonised European Standards*) existentes, a possibilidade da realização de uma Avaliação Técnica Europeia (ETA – *European Technical Assessment*), a Declaração de Desempenho e finalmente a junção deste processo para a aposição da marcação CE. Compara-se ainda as ENh e os Documentos de Avaliação Europeus (DAE - *European Assessment Document*) existentes para a possível integração total dos Painéis a nível técnico e legislativo consoante as leis europeias. Investiga-se por último a possibilidade de realizar uma Especificação Técnica (TS) para os Painéis.

No quarto capítulo, estima-se o desempenho teórico em serviço dos Painéis, tais como o seu comportamento acústico, térmico, resistência à água e ao fogo, a sua durabilidade a longo prazo e alguns tipos de rotura mais comuns, comprovando este desempenho através de ensaios cedidos pela PP Paineis Portugal, Lda..

Em relação ao quinto capítulo, é composto pela pormenorização construtiva dos Painéis, nomeadamente as suas ligações entre os mesmos e ligações dos Painéis a outros elementos construtivos, seguido de regras de boa prática para a aplicação deste material em obra.

No sexto e último capítulo, apresentam-se as considerações finais, onde são referidas as principais conclusões do trabalho e sugeridos possíveis desenvolvimentos futuros.

2

ESTADO DA ARTE

2.1. PAINÉIS SANDUÍCHE

Um painel sanduíche é um produto que pode ser tão ou mais resistente que os materiais sólidos isolados, no entanto, pesa significativamente menos. A tendência de utilizar materiais resistentes e leves na indústria aeronáutica e de transportes influenciaram a utilização deste tipo de materiais na indústria da construção levando a que se procurem soluções estruturais mais leves, de rápida execução e mais económicas.

Os painéis sanduíche seguem geralmente o mesmo padrão de três camadas: duas placas de revestimento superficial que normalmente são relativamente finas, rígidas e resistentes de material denso e entre estas, um núcleo constituído por uma camada de material de baixa densidade e que pode ser menos rígido e resistente. As três camadas são ligadas através de um material adesivo que une-as formando o painel sanduíche final.

Visto os painéis sanduíche poderem ser utilizados em várias indústrias, cada indústria requer formas estruturais específicas, que podem ser obtidas através da combinação dos diferentes materiais utilizados no núcleo e nas placas. Apesar da grande diversidade de materiais e configurações já existentes para os painéis sanduíche, novos materiais e novas combinações, estão constantemente a ser propostos e utilizados.

As propriedades positivas dos materiais individuais podem ser combinadas e as propriedades negativas eliminadas. Por exemplo, se o núcleo for constituído por um material que é um bom isolador térmico, como a lã de rocha, o painel sanduíche só é viável se as placas protegerem o núcleo contra a humidade [11]. A Figura 2.1 e Figura 2.2 apresentam um corte e componentes, respetivamente, de um Painel.



Figura 2.1 – Corte de um Painel.

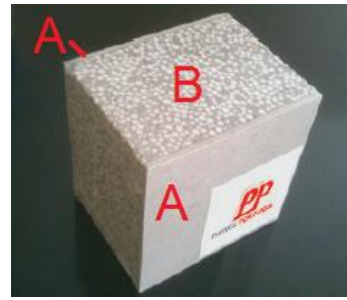


Figura 2.2 – A – Placa de silicato de cálcio;
B – núcleo de cimento e EPS.

2.1.1. CONFIGURAÇÃO DAS PLACAS

As placas mais comuns apresentam-se de forma plana no entanto, podem também apresentar uma superfície não plana, ondulada ou com uma secção transversal recortada (Figura 2.3). Estas transferem as tensões de tração e compressão pelas placas e núcleo central, podendo-se esperar que o painel sanduíche se comporte como um todo quanto à resistência às suas solicitações. Quando a tensão localizada é alta, as placas devem ser dimensionadas para as forças de corte [11, 12].

Praticamente qualquer material estrutural que esteja disponível sob a forma de chapa fina, pode ser utilizado para formar as placas de um painel sanduíche. Na construção, a escolha de materiais varia entre madeira pensada, gesso, plástico, betão, aço, alumínio, plástico reforçado com fibras, entre outros materiais de compósito e neste estudo, o silicato de cálcio como se pode ver na Figura 2.4. Os Painéis a que se referem esta dissertação, contém placas que apresentam uma superfície plana [11, 13].

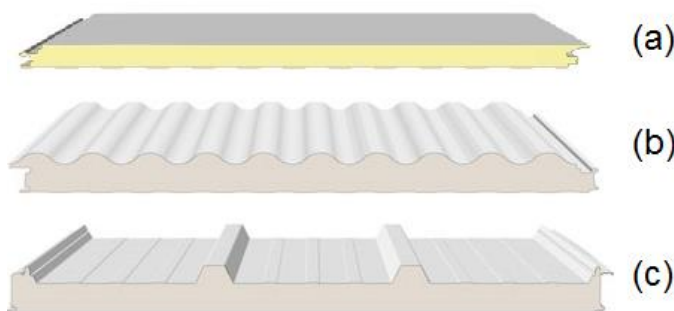


Figura 2.3 – Exemplos de configurações das placas: (a) plana; (b) ondulada; (c) em perfil [14].

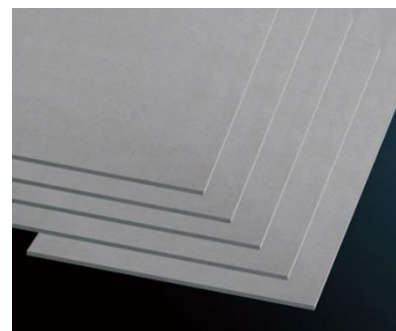


Figura 2.4 – Placas de silicato de cálcio.

2.1.2. CONFIGURAÇÃO DOS MATERIAIS DO NÚCLEO

O núcleo tem muitas funções importantes, em termos estruturais, tem de ser rígido o suficiente para manter a distância constantemente entre as placas. Também deve ser rígido para que não transmita a tensão de corte entre as placas e resistente ao esmagamento provocado pelas tensões de compressão introduzidas pela flexão do painel sanduíche ou por carregamentos localizados. Se o núcleo for fraco ao corte, as placas não cooperam e o painel sanduíche perde a sua rigidez num todo. Apenas um núcleo que seja funcional e cooperante com as suas placas, pode proporcionar os efeitos positivos da junção dos materiais.

No entanto, deve ser mencionado que o núcleo tem que cumprir algumas exigências mais complexas. Forças aplicadas em direções diferentes e ter baixa densidade não são as únicas propriedades que este tem de ter. Devido às variadas aplicações dos painéis sanduíche, com especificidades de núcleos diferentes, existem exigências especiais quanto à deformação, isolamento térmico e/ou acústico, absorção de humidade, envelhecimento, resistência, etc.

O núcleo pode ser composto por cortiça, madeira, borracha, material plástico sólido (polietileno), material de espuma rígida (poliuretano, poliestireno, espuma fenólica), placas de lã mineral, favos de mel de metal ou mesmo papel. Os materiais que formam o núcleo dependem da futura utilização do painel sanduíche.

Quanto à sua composição o núcleo pode ter um alinhamento homogêneo, heterogêneo ou em favos de mel (Figura 2.5). Em relação aos painéis sanduíche utilizados na construção, pretende-se que sejam de baixo peso, possuam uma boa resistência mecânica, tenham uma reduzida condutividade térmica, atuando como isoladores térmicos e, simultaneamente um custo diminuído, quando comparados com as alternativas convencionais. Nos Painéis de silicato de cálcio, cimento e EPS, o peso próprio e resistência são os fatores decisivos [11, 12].

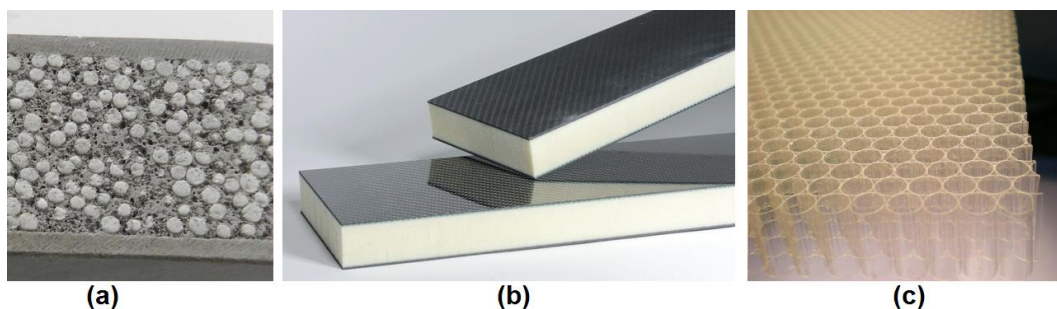


Figura 2.5 – Diferentes tipos de núcleo: (a) heterogêneo; (b) homogêneo; (c) em favos de mel.

2.1.3. CONFIGURAÇÃO DO MATERIAL ADESIVO

Os materiais adesivos têm um papel fundamental no comportamento do painel sanduíche. A ligação entre as placas e o núcleo, não deve ser o elemento mais fraco do painel sanduíche, por isso os materiais adesivos devem ter propriedades mecânicas tão boas ou melhores que o material do núcleo.

Existem vários materiais que cumprem as exigências de temperatura em serviço e de resistência ao fogo, que podem ser aplicados como ligante entre as placas e o núcleo. No entanto, alguns destes materiais, durante o processo de cura, libertam gases ou vapores solventes que podem interferir com o material do núcleo. A ligação deve ser testada antes da produção em massa, assegurando-se assim que esta não afeta as propriedades mecânicas dos restantes materiais [15].

Os materiais adesivos mais utilizados para estabelecer a ligação entre placas e núcleo são os materiais de poliuretano de um ou dois componentes. Estes encontram-se disponíveis como líquidos, pastas ou películas secas. São aplicados geralmente na sua forma líquida porque facilitam a sua introdução no processo automático de fabrico, em quantidades de 200 a 350 g/m² em cada lado do núcleo. Como regra geral, um adesivo relativamente frágil nunca deve ser usado em painéis sanduíche muito leves que possam ser submetidos a danos durante a armazenagem, manuseamento ou serviço [11, 16].

Os adesivos de um componente são adesivos de dois componentes que continuam o processo de cura quando expostos à humidade. Necessitam de ser pulverizados com água para iniciar o processo de cura. Podem ser adicionados agregados finos para acelerar o processo, melhorar a resistência ao fogo e fortalecer as propriedades adesivas. O tempo de cura é geralmente menos de uma hora e pode ser reduzido até vinte minutos se as placas forem pré-aquecidas. Estes adesivos são mais apropriados para núcleos de baixa rigidez [11].

Os adesivos de dois componentes são à base de resina misturada com um agente de cura que geralmente é o isocianato. A resina base pode incluir retardantes de fogo, agregados finos, entre outros e alguns adesivos podem ser classificados como não combustíveis. Este tipo de adesivo é mais apropriado a núcleos relativamente rígidos. O material adesivo é aplicado e o tempo de cura (o tempo necessário para manter as placas pressionadas ao núcleo durante a secagem do adesivo) pode variar entre alguns minutos até meia hora, dependendo do método do fabricante. O aquecimento das placas pode acelerar este processo [11]. Sendo assim, este é o tipo de material adesivo mais apropriado para os Painéis.

Para manter as placas e o núcleo juntos, o material adesivo deve ser capaz de transferir as tensões de corte, de compressão e tração entre as placas e núcleo. Para que o painel sanduíche funcione de forma adequada, como um todo, o adesivo deve ser capaz de suportar a mesma tensão de corte a que o núcleo está sujeito [16].

Um exemplo de um material adesivo que pode ser utilizado para unir as placas ao núcleo é o Icosit K 101 N da Sika Group (Figura 2.6). Este é um ligante à base de resinas de epóxi especiais, sem solventes, com boa resistência química e mecânica, de fácil aplicação e fisiologicamente inofensivo após endurecimento, fornecido em dois componentes. Este produto com marcação CE possibilita uma colagem mais resistente que a resistência à tração do próprio betão. Este é geralmente utilizado para colagem de betão fresco e betão endurecido, como agente de ligação de betão, argamassa, pedras naturais, aço, entre outros [17]. A Figura 2.7 demonstra a configuração geral de um painel sanduíche.

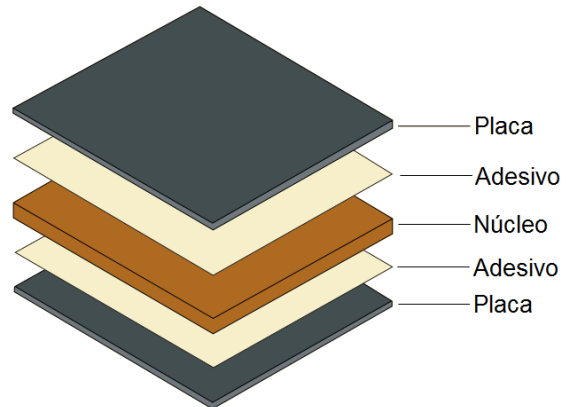


Figura 2.6 – Embalagens de Icosit K 101 N. Figura 2.7 – Composição geral de um painel sanduíche.

2.2. A UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS SANDUÍCHE AO LONGO DA HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO

O Homem primitivo era nómada, consumindo os recursos num sítio e movendo-se para outro quando estes acabavam, daí nunca ter a necessidade de se fixar num lugar. Enquanto permanecia temporariamente num local, dava uso a grutas e árvores altas como abrigo contra o clima e perigos circundantes. Com a descoberta da agricultura e a domesticação de gado, houve a necessidade de estabelecer-se num local.

Os primeiros abrigos, como os exemplificados nas Figura 2.8 e Figura 2.9, tinham o objetivo de manter os ocupantes, quentes, secos e protegidos de ataques de animais selvagens e insetos. Acredita-se que os primeiros foram construídos com lama, pedra, ossos de animais, ramos e plantas, criando assim um dos primeiros materiais compósitos utilizados na construção. No entanto, a manutenção destes era rígida e constante visto que estes materiais deterioravam-se facilmente [18, 19].



Figura 2.8 – Recriação de um abrigo feito de ramos, folhas e troncos.



Figura 2.9 – Recriação de um abrigo feito de ossos e pele de mamute.

Cerca de 3200-3000 a.C. na Mesopotâmia, hoje Iraque, e no Egito, foram dados os primeiros passos em direção à construção durável e sustentável, com o uso de tijolos de lama (Figura 2.10) na construção de casas e edifícios, como o *Ziggurat of Ur* (Figura 2.11). Estes tijolos de lama ainda hoje são feitos e usados pelos habitantes e agricultores de vilas remotas ao longo do Rio Nilo.

Apesar destes tijolos não terem uma grande durabilidade, as casas eram construídas com este material por ser muito económico, fácil de fazer e com boas qualidades térmicas, i.e., bom isolador de calor. Como eram regiões com muito pouca precipitação estes tijolos não se desfaziam facilmente e em caso de dano ou quebra, eram facilmente substituídos por novos.

Este material compósito é feito através de uma mistura de solo (argila, lama, água) com areia fina adicionando palha ou cascas de arroz para servir como material de ligação, até que forme uma mistura consistente, do género de uma argamassa húmida. Depois coloca-se num molde, vibra-se para nivelar e retirar bolhas de ar e é colocado ao sol durante 2 ou 3 dias até secar. Vários anos depois, começaram a cozinhar os tijolos em fornos, aumentando a sua resistência ao clima hostil e tornando-os mais duráveis [18-20].

Durante a expansão do Império Romano, a cerca de 300 a.C., os Romanos deram um importante passo na construção com o desenvolvimento do cimento Pozzolana, feito com cinzas vulcânicas denominadas por *Pozzuoli*, encontradas na área do Monte Vesúvio e Nápoles. Com este novo material compósito os Romanos conseguiram construir edifícios de betão maiores e mais magníficos, como foi o caso do Coliseu (séc. I) na Figura 2.12 e o Panteão (séc. II) na Figura 2.13, cuja cúpula continua 2000 anos depois, a ser a maior cúpula de betão não reforçado do mundo com um diâmetro de 43,3 metros [19].



Figura 2.10 – Tijolo de lama e cofragem de madeira.



Figura 2.11 – *Ziggurat of Ur*, Suméria, construído em tijolos de lama, cerca de 2100 a.C. com uma altura atual de 30 metros.



Figura 2.12 – Coliseu de Roma.



Figura 2.13 – Panteão romano.

Historicamente, o método de utilizar duas placas com uma distância entre elas foi introduzido por Delau por volta de 1820. No entanto o uso extensivo de painéis sanduíche só teve o seu início durante a 2ª Guerra Mundial, nomeadamente nos aviões “Mosquito”. Esta foi uma alternativa à escassez de outros materiais no Reino Unido durante a guerra. As placas eram feitas de madeira folheada e o núcleo de madeira de balsa [12].

Com o avanço tecnológico, a necessidade de construir com melhor qualidade, menor custo e baixo peso, levou a que os requisitos exigidos aos materiais sofressem alterações no sentido de atingirem melhores desempenhos. Os principais avanços na Engenharia Estrutural apareceram ligados à aplicação de novos materiais, tais como o ferro a partir dos séculos XVIII e XIX e do betão armado a partir da primeira metade do século XX. Estes foram fatores decisivos para o desenvolvimento das sociedades em geral,

tendo contribuído decisivamente para a revolução industrial e a rápida reconstrução no pós-guerra. No entanto estas construções têm vindo a degradar-se e necessitam de uma onerosa manutenção.

A durabilidade dos materiais convencionais tem provocado alterações nas práticas de dimensionamento recentes. Para acompanhar os requisitos impostos como a exigências de velocidades de construção crescentes, o desenvolvimento de novos materiais estruturais, mais leves, menos sujeitos a degradação causada por agentes agressivos, com maior resistência mecânica e menores exigências de manutenção, tem sido um dos maiores focos na área da construção [8].

Apesar da tecnologia dos painéis sanduíche ser utilizada fortemente na indústria da construção, o seu desenvolvimento e melhoramento deu-se nas indústrias naval e aeroespacial. Na década de 1940, a sua utilização estendeu-se a aplicações estruturais tais como cascos de embarcações e coberturas de radares [11]. No final da década de 1980, início da década de 1990 a necessidade de reparação e renovação de infraestruturas de betão armado e de aço, tornou os painéis sanduíche numa forte competição aos métodos tradicionais, por serem de rápida montagem, elevada qualidade e baixo custo. Este foi um importante passo para os painéis sanduíche, porque após a sua excelente prestação na reparação de estruturas, os construtores começaram a utilizá-los no dimensionamento de infraestruturas novas, abrindo assim um precedente para investir-se fortemente no desenvolvimento de novas combinações de painéis sanduíche que acompanhem as necessidades da indústria da construção. Na Figura 2.14 e Figura 2.15 demonstram-se exemplos de projetos com Painéis.



Figura 2.14 – Projeto de edifício com Painéis da empresa P&W Industry Group [21].



Figura 2.15 – Projeto de habitação com Painéis da empresa P&W Industry Group [21].

2.3. REQUISITOS DOS PAINÉIS SANDUÍCHE PARA A CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

Ao contrário das aplicações na indústria aérea e automóvel, onde algumas considerações podem prevalecer, na indústria da construção a relação custo/performance está acima de outras considerações devido aos inúmeros tipos de construção no mercado.

A lista seguinte apresenta os requisitos essenciais para a construção com Painéis.

Requisitos de segurança relativamente à segurança do trabalho e os seus elementos constituintes:

- Estabilidade quando submetido a tensão durante a fabricação, transporte, montagem e utilização;
- Capacidade para acomodar as tensões resultantes da influência da temperatura, particularmente a partir da exposição de uma superfície à luz solar;
- Resistência adequada ao fogo.

Requisitos de utilização relativamente ao comportamento dos Painéis em uso:

- Impermeabilidade adequada à água, neve, ar e pó tanto à superfície dos Painéis como nas junções entre Painéis;
- Bom isolamento térmico;
- Bom isolamento acústico.

Requisitos de durabilidade para assegurar que os Painéis mantenham o seu desempenho durante a sua vida útil:

- Resistência a longo prazo às condições meteorológicas;
- Resistência à corrosão em ambientes agressivos;
- Resistência à degradação do material do núcleo e a sua ligação às placas.

Exigências estéticas quanto à qualidade visual dos Painéis:

- Reduzidas deformações geométricas como achatamento das placas;
- Variação de cor das placas devido a ataques externos.

Para além destes requisitos relativos à construção, deve-se ter em conta também, as seguintes medidas:

- As articulações entre os elementos devem ser projetados para facilitar e acelerar o manuseamento;
- As fixações para a estrutura de suporte devem ser seguras e visualmente aceitáveis;
- O transporte destes deve ser realizado de maneira eficaz e ser munido de equipamentos de elevação;
- Os acabamentos e/ou eventuais ajustes nos Painéis devem ser fáceis de realizar com ferramentas de corte utilizadas frequentemente em obra.

Eventualmente pode não ser possível cumprir todos estes requisitos simultaneamente, nesse caso, devem ser alcançados o maior número de requisitos mais desejáveis a um custo aceitável [11].

2.3.1. REQUISITOS DO MATERIAL DAS PLACAS

As placas que constituem o revestimento superficial de um painel sanduíche devem satisfazer vários requisitos, quer a nível funcional e estrutural, para que o comportamento do painel sanduíche seja o melhor possível. A nível funcional, as principais preocupações são a estanqueidade à água e vapor de água e resistência ao vento. A nível estrutural, é essencial que as placas resistam não só aos carregamentos a que o painel sanduíche está sujeito como também ao fogo e à corrosão [11]. Devem também ser capazes de resistir às tensões de compressão, de tração e de corte introduzidas pelo carregamento [22].

2.3.2. REQUISITOS DOS MATERIAIS DO NÚCLEO

Tal como as placas, os materiais do núcleo, por exemplo composto por cimento e EPS, devem cumprir requisitos a nível funcional e estrutural.

Em termos funcionais, devem apresentar um bom desempenho perante situação de fogo, uma boa resistência à absorção de água e vapor de água e ter um bom comportamento térmico e acústico [11].

Em termos estruturais, o núcleo deve ser capaz de resistir satisfatoriamente às tensões de corte e ao esmagamento provocado pelas tensões de compressão introduzidas por carregamentos localizados ou pela flexão do painel sanduíche [22].

Em geral, a resistência do núcleo de um painel sanduíche, é reduzida, mas um aumento na espessura deste permite conferir, ao painel sanduíche como um todo, uma rigidez à flexão mais elevada. No entanto, se a densidade do núcleo for reduzida, essa contribuição é pequena logo desprezável. Sendo assim, e de maneira a evitar deformações excessivas, o Painel deve apresentar uma rigidez de flexão e de corte suficientemente elevadas [13]. De seguida, na Tabela 1 apresentam-se as principais características dos Painéis que são estudados nesta dissertação.

Tabela 1 – Características dos Painéis, valores da empresa PP Painel Portugal, Lda. [23].

Dimensões dos Painéis [mm]	Espessura	60	90	120	150
	Altura	2270	2270	2270	2270
	Largura	610	610	610	610
Massa por unidade [kg/m ²]		45	68	91	114
Massa volúmica [kg/m ³]		750	756	758	760

2.4. PROCESSO DE FABRICO DOS PAINÉIS SANDUÍCHE DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS

Antes da fabricação, na fase de projeto, os Painéis são desenhados tendo em conta a posição que irão encaixar no desenho geral do edifício. A contagem dos Painéis necessários, as suas dimensões e cortes especiais são realizados especificamente para a aplicação final de cada um.

Os Painéis são pré-fabricados num ambiente controlado em fábrica. Apesar do processo poder sofrer ligeiras variações de fabricante para fabricante, este é relativamente igual por toda a indústria. Este processo é realizado em duas fases: A primeira é relativa às placas, a segunda ao fabrico do núcleo.

2.4.1. FABRICO DAS PLACAS

As atuais fábricas produtoras de Painéis optam por comprar as placas de silicato de cálcio prontas a serem utilizadas, porque é um mercado desenvolvido e competitivo e também porque a nível financeiro é menos dispendioso comprar a terceiros do que fabricá-las. No próximo parágrafo, explica-se um dos métodos de fabricação destas mesmas placas através de uma patente europeia [24].

As placas de silicato de cálcio são compostas por cristais hidratados de silicato de cálcio, sulfato de cálcio anidro (completamente desidratado), fibras de reforço como polpa de madeira, dolomita, e wollastonite. Para formar os cristais hidratados de silicato de cálcio, é necessário matérias-primas como a cal e ácido silícico, como a pedra de sílica, que através de um processo de cura por autoclave (processo de ligação de múltiplos materiais num único material, com a ajuda de uma autoclave) formam os cristais.

As proporções dos materiais para uma placa de qualidade com bom desempenho são as seguintes:

- Sulfato de cálcio anidro – 10 a 35%, preferível 20 a 30 % do peso total;
- Dolomita – 5 a 30%, preferível 10 a 20% do peso total;
- Wollastonite – 5 a 30%, preferível 10 a 25% do peso total.

Depois de adicionar água e fibras de reforço, a mistura passa por uma máquina de calandra cilíndrica (Figura 2.16) e forma uma placa “crua”. Essa placa passa por um processo de cura autoclavada (Figura 2.17), em que é aplicado uma pressão entre 0,6 MPa e 1,5 MPa, preferivelmente entre 0,9 MPa e 1 MPa, e uma temperatura entre 160 a 200 °C durante 3 a 20 horas, preferivelmente 8 a 12 horas. Após este processo, a placa curada é apropriadamente seca e obtém-se a placa de silicato de cálcio [24].



Figura 2.16 – Exemplo de uma máquina calandra cilíndrica.



Figura 2.17 – Exemplo de uma máquina autoclave.

2.4.2. FABRICO DO EPS

O primeiro passo na fabricação do núcleo é a expansão do poliestireno. Este é vendido em blocos compactos, de maneira a reduzir o volume e facilitar o transporte, que posteriormente necessitam de ser expandidos até a densidade desejada. Um dos maiores fabricantes mundiais de poliestireno em bloco é a empresa BASF. O processo de expansão de poliestireno divide-se em duas partes: pré-expansão e repouso.

A pré-expansão envolve aquecer o poliestireno, num recipiente adequado com vapor de água entre 80 °C e 100 °C (método mais comum) ou ar quente (para atingir grandes densidades). Dependendo da temperatura e tempo de exposição, a densidade aparente diminui a partir de cerca de 630 kg/m³ até à densidade ideal, que para a produção dos Painéis é, segundo a empresa PP Painel Portugal, Lda. cerca de 14 kg/m³. Durante todo o processo, é necessário vibrar ou agitar as partículas para que estas não se fundam entre si sendo que no decorrer deste processo nota-se a separação dos grânulos de poliestireno. A título de curiosidade, para as embalagens de comida e peças fundidas como as de transporte de peixe, o poliestireno é tipicamente expandido entre 18 e 45 kg/m³.

No repouso intermédio, os grânulos pré-expandidos são geralmente "envelhecidos" por pelo menos 24 horas em silos de armazenamento. Isto permite que o ar se difunda para os grânulos, arrefecendo-os e tornando-os mais consistentes. Este segundo processo permite alcançar uma maior estabilidade mecânica. Após este processo de cura, obtém-se o denominado EPS, pronto a ser aplicado no núcleo dos Painéis. Na Figura 2.18 apresenta-se uma imagem do equipamento de produção do EPS.



Figura 2.18 – Máquina de pré-expansão e cura de poliestireno.

2.4.3. FABRICO DO NÚCLEO

O processo de fabrico do núcleo inicia-se com a mistura do cimento, agregados finos e a quantidade pré-definida de água de forma a criar uma pasta à qual posteriormente será adicionado o EPS num processo lento, devido à absorção de água do mesmo. Se o EPS for adicionado em grandes quantidades este não terá tempo suficiente para absorver a água e no momento da cura do núcleo, o EPS irá concentrar-se maioritariamente à superfície.

Um contentor com cofragens metálicas de espessura preestabelecida, desliza num tapete rolante por baixo do doseador e quando o doseador tiver as quantidades desejáveis, a mistura é pesada e esvaziada automaticamente no contentor. Quando este estiver cheio, um operário nivela uniformemente a mistura pelas cofragens. Posteriormente são colocadas as partes superiores de cada cofragem no contentor vedando o núcleo dentro.

O contentor aplica pressão através de uma prensa nos núcleos que ficam a aguardar ao natural, até solidificarem. Posteriormente os núcleos são todos retirados da sua cofragem e alinhados para seguirem para uma máquina de autoclave que inicia o processo de cura que demora entre duas a quatro horas. Depois de finalizado este processo, os núcleos são empilhados, empacotados e enviados para a zona de fabrico de Painéis.

2.4.4. DISPOSIÇÃO GERAL DE UMA FÁBRICA

Na Figura 2.19 encontra-se a disposição de uma fábrica de Painéis com cerca de 900 m², capaz de produzir cerca de 93000 m² de Painéis por ano (produção para cerca de 250 casas unifamiliares por ano) e na Figura 2.20 uma possível distribuição por seções.

O custo capital estimado do equipamento está nas quatro prensas (cerca de 19300 € cada), na máquina de cola (cerca de 3800 €), no equipamento da seção de corte específico de Painéis (cerca de 11600 €), na serra de corte vertical (cerca de 3800 €). Perfazendo um investimento só em máquinas e material de suporte, estimado em cerca de 410500 €, segundo a empresa *Siberian Construction Technologies*. A este valor acrescem-se os custos da aquisição do espaço físico, a montagem da fábrica, licenciamento da empresa, custos com o pessoal, entre outras despesas.

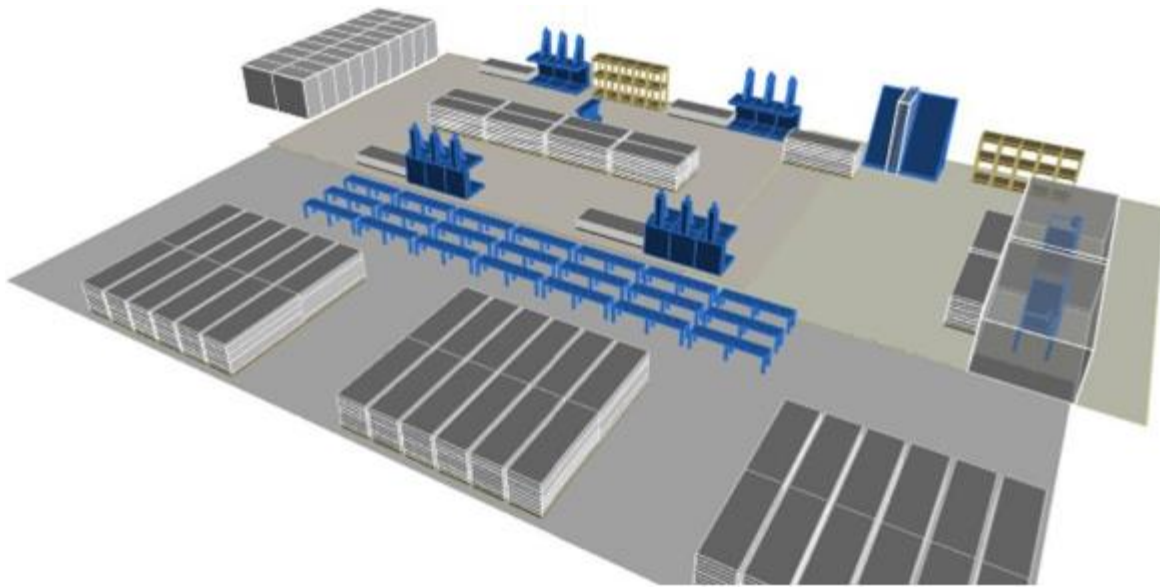


Figura 2.19 – Exemplo da disposição de uma fábrica de Painéis.

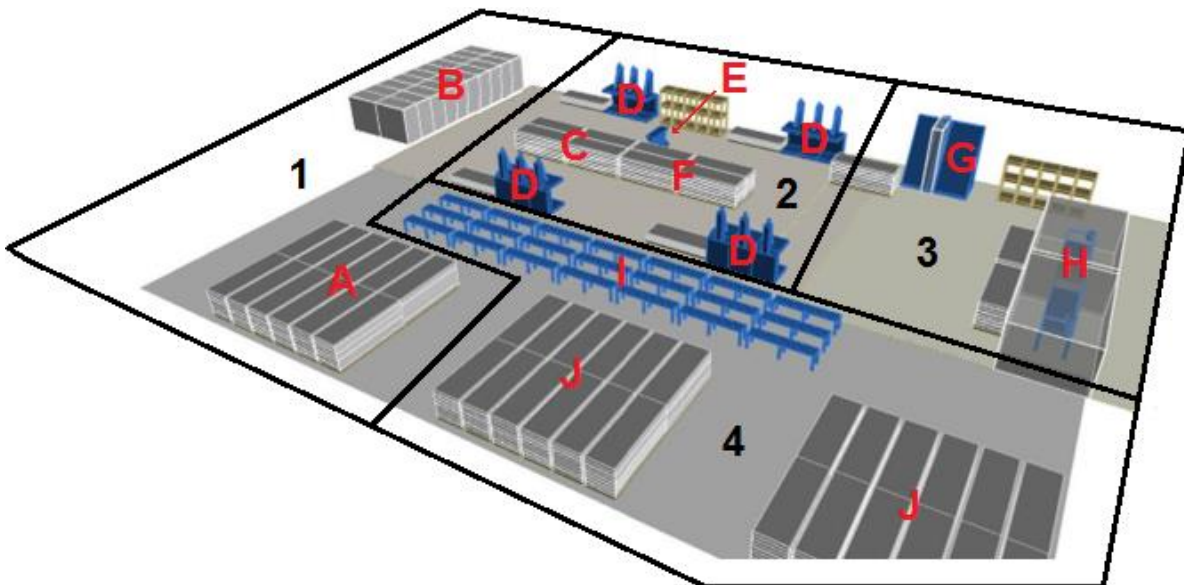


Figura 2.20 – Exemplo da divisão em seções da fábrica de Painéis.

Legenda:

Seções:

- 1 – Seção de *stock*;
- 2 – Seção de fabrico;
- 3 – Seção de corte;
- 4 – Seção de envio.

Áreas:

- A – Armazenamento de placas;
- B – Armazenamento de núcleos;
- C – Armazenamento temporário;
- D – Prensas;
- E – Máquina de cola;
- F – Zona de cura;
- G – Serra de corte vertical;
- H – Zona de corte
- I – Zona de organização e rotulagem;
- J – Zona de saída de produto.

2.4.5. FABRICO DOS PAINÉIS SANDUÍCHE DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS

Habitualmente o núcleo com a espessura desejada e as placas, são colocados na seção de *stock*. Coloca-se uma placa na linha de montagem da prensa, enquanto a máquina de cola, aplica adesivo em ambas as faces do núcleo, depois o núcleo é colocado por cima da placa inferior e a placa superior é colocada em cima do núcleo, formando o Painel. Este conjunto segue para a prensa, que aplicará a mesma pressão para os revestimentos superior e inferior. A duração deste processo varia consoante o fabricante, visto que alguns podem usar aceleradores de presa ou outros componentes para o mesmo efeito. De seguida o Painel é colocado na zona de cura até secar. Após a secagem, passa para a serra de corte vertical para limar as imperfeições e os Painéis que necessitarem de corte específico seguem para a zona de corte, onde as janelas, as portas, os negativos para cablagem e outras aberturas específicas para o projeto, serão cortados por operários ou maquinaria. Os outros são transportados para a zona de organização e rotulagem. Quando os Painéis saírem da zona de corte, seguem para a zona de organização e rotulagem, para depois serem todos organizados de maneira a que o processo de construção em obra, seja o mais breve possível, i.e., são organizados numericamente consoante as suas posições no projeto e finalmente são armazenados na zona de saída de produto.

2.5. PROCESSO CONSTRUTIVO EM OBRA

Após a fase do projeto e da fabricação dos Painéis e antes da saída da fábrica, estes são enumerados para facilitar e reduzir o tempo do processo construtivo em obra.

Os Painéis que sofreram corte, por exemplo os da zona de cobertura se esta não for plana ou uma zona que leve uma porta ou janela, já vêm prontos para serem montados. No entanto, se for necessário alguma alteração já em obra, os Painéis são facilmente cortados usando ferramentas de corte comuns.

Os Painéis são entregues no local da obra e empilhados cuidadosamente para serem de fácil acesso à área de construção.

O processo construtivo pode variar dependendo do construtor. Qualquer uma das seguintes hipóteses são válidas, sendo usada a hipótese que o projetista achar mais prática.

Primeiro é necessário uma fundação de sapatas contínuas ou ensoleiramento geral, que serve de base para a montagem dos Painéis. Aqui colocam-se as primeiras hipóteses:

- Ou o projetista opta por criar negativos na fundação, onde serão colocados os Painéis diretamente;
- Ou pode escolher utilizar perfis metálicos com parafusos auto perfurantes, de cabeça plana e resistentes à corrosão, diretamente na fundação, onde os Painéis irão assentar.

A Figura 2.21 exemplifica os tipos de perfis metálicos que servem para assentar os Painéis e a Figura 2.22 mostra-nos que foram utilizados Painéis como cofragem para um ensoleiramento geral. Procede-se para montagem dos Painéis como exemplificado na Figura 2.23. Estes são montados verticalmente e posteriormente é deitada a primeira camada de argamassa de colagem entre cada Painel, e quando esta estiver endurecida, coloca-se uma fita anti fissuras, seguida da segunda camada de argamassa de colagem e da rede de fibra de vidro na argamassa de colagem ainda fresca.

Só após os Painéis montados verticalmente é que se procede à montagem dos Painéis que necessitam ser colocados horizontalmente. Como por exemplo, parte superior das janelas ou portas (Figura 2.24).

Com os Painéis finalmente colocados, executa-se a montagem da estrutura da cobertura (Figura 2.25). Com a superestrutura montada, impermeabilização da cobertura, a cablagem, pintura, interior e afins, são realizados da mesma maneira que uma estrutura convencional de alvenaria. Na Figura 2.26 pode-se observar um exemplo de uma moradia construída com Painéis.

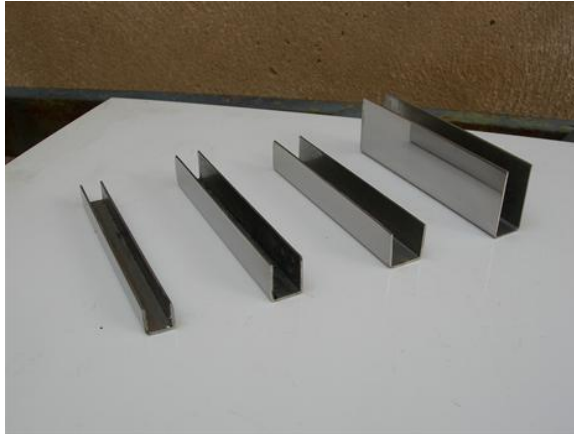


Figura 2.21 – Perfil metálico para assentar os Painéis.



Figura 2.22 – Painéis utilizados como cofragem para ensoleiramento geral.



Figura 2.23 – Montagem dos Painéis.



Figura 2.24 – Colocação de um Painel horizontalmente na parte superior de uma janela.



Figura 2.25 – Estrutura de cobertura.



Figura 2.26 – Moradia unifamiliar construída com Painéis situada na África do Sul.

2.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PAINÉIS SANDUÍCHE DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS

2.6.1. VANTAGENS

Os Painéis apresentam várias vantagens que podem ser ajustadas consoante a utilização pretendida, fazendo com que estes sejam uma alternativa aos métodos convencionais. Enquanto material de construção, são de referir as seguintes vantagens:

- Elevada rigidez: A possibilidade de instabilização lateral das placas é evitada pelo núcleo, funcionando como reforço e conferindo assim ao Pannel, uma maior rigidez [25];
- Elevada resistência: devido a serem pré-fabricados, as dimensões do Pannel podem ser ajustáveis, nomeadamente a espessura das placas e do núcleo, conforme as necessidades estruturais de resistência aos carregamentos a que estes serão expostos [25];
- Peso próprio reduzido: devido à baixa densidade dos materiais utilizados no núcleo, os Painéis são mais leves que o betão, por outro lado, por apresentarem menores espessuras, tornam-se uma alternativa ao método convencional de construção apresentando boas capacidades resistentes;
- Excelentes propriedades de isolamento térmico: na eventualidade de incêndio, o Pannel evita a propagação do fogo a outros compartimentos devido à sua reduzida transmissão de calor [25];
- Boas propriedades de isolamento acústico: quando comparado com outras soluções de peso reduzido, por exemplo uma parede de alvenaria, o Pannel tem um bom isolamento acústico. O Pannel age acusticamente como algo intermediário entre uma parede simples e uma parede dupla [11];
- Boa capacidade de dissipação das tensões: o núcleo permite a dissipação de tensões provocadas por cargas concentradas ao longo de uma determinada área, possibilitando a redução da formação e da propagação de fendas. Conferindo ao Pannel um melhor comportamento relativamente a carregamentos de serviço. Esta característica possibilita o prolongamento do período de vida útil do Pannel [26];
- Facilidade de adaptar o Pannel em obra com apenas uma ferramenta de corte;
- Possibilidade de economia de produção em massa de Painéis com dimensões pré-definidas e ao mesmo tempo, assegurando a boa qualidade do produto final [11];
- Facilidade de montagem: devido ao seu peso reduzido, à dispensa de equipamentos de elevação, à pouca mão-de-obra necessária, ainda que especializada, o tempo de elevação dos Painéis em obra e os custos de construção são menores, relativamente aos métodos de construção convencionais. Acrescenta-se ainda, a facilidade de instalação em ambientes com condições menos ideais [11];

- Acabamento final: Os Painéis utilizam placas que servem de acabamento final, no entanto se for preferido um acabamento superficial diferente, é possível aplicar facilmente na superfície da placa;
- Durabilidade: a boa resistência à água, ao vapor de água e ao vento, confere-lhes uma boa resistência em diferentes condições ambientais. Juntado à facilidade de reparação e substituição dos Painéis em caso de dano, permite-lhes obter uma economia de custos de manutenção e um aumento do período de vida útil da estrutura [10].

2.6.2. VANTAGENS: COMPARAÇÃO COM CONSTRUÇÃO EM TIJOLO CERÂMICO / BLOCO DE CIMENTO

Quando comparados com os métodos convencionais de construção, os Painéis demonstram ser superiores relativamente ao seu peso próprio, reduzindo o peso total da construção. Em obra, revelam-se mais adequados por reduzirem o tempo de construção, por exemplo de paredes, o pouco desperdício e limpeza em obra, tornando o método de construção, mais simplificado e eficiente.

Relativamente às suas propriedades mecânicas, apresentam-se com boas propriedades de isolamento, tanto a nível acústico como térmico e uma boa prestação em situação de fogo, retardando a propagação deste.

Em ambientes mais agressivos, demonstram também boa resistência à água e ao vapor de água.

Por último, no que diz respeito à sua resistência a pressões e cargas, por serem pré-fabricados podem ser adaptados a variadas condições de carregamento. Por exemplo, nas zonas de carregamento reduzido, utilizam-se Painéis com menor espessura e vice-versa, não comprometendo a redução do espaço útil de interior e possibilitando um aumento ligeiro do mesmo. [23].

2.6.3. DESVANTAGENS

Os Painéis apresentam também algumas desvantagens que podem condicionar a sua adoção como solução construtiva:

- Fraco isolamento acústico: os Painéis apresentam um bom isolamento acústico, quando comparado com outras soluções de peso reduzido, no entanto, perante soluções estruturais mais pesadas como o betão e alvenaria, os Painéis apresentam menores propriedades de isolamento acústico [10];
- No fim do ciclo de vida, as possibilidades de reciclagem são diminutas [22];

- Falta de informação no círculo de engenheiros e arquitetos relativamente ao produto e às suas propriedades assim como a nível de cálculo estrutural, a pouca informação existente é ambígua dificultando o cálculo do dimensionamento estrutural [22];
- Falta de enquadramento normativo que regule a sua aplicação em obra.

2.7. CAMPO DE APLICAÇÃO CORRENTE

Na indústria da construção o Painel pode assumir um carácter semi-estrutural ou não estrutural, suportando cargas relativamente reduzidas em vãos razoavelmente elevados. No entanto, o interesse crescente na utilização de Painéis leves na reabilitação de estruturas e em novas construções têm proporcionado uma excelente oportunidade para o desenvolvimento e implementação de estruturas primariamente em sanduíche.

Os Painéis sanduíche já são utilizados nas mais diversas aplicações onde as relações resistência/peso próprio e rigidez/peso próprio são as características principais na escolha deste tipo de material.

Tendo em conta, os pontos fortes destes Painéis, tais como: isolamento térmico e acústico, resistência estrutural, acabamento superficial, pré-fabricação e facilidade de transporte e peso próprio baixo, pode-se identificar várias aplicações em que os Painéis devem apresentar vantagens relativamente aos métodos convencionais.

Como elemento semi-estrutural, é de referir a aplicação de Painéis em estruturas de pontes rodoviárias, de passadiços, na reabilitação ou substituição de pontes de betão, com a maior vantagem sendo o reduzido tempo de execução [11];

Como elemento não estrutural, os Painéis têm vindo a ser utilizados em estruturas petrolíferas *offshore* e em plataformas de gás, devido ao seu peso, rigidez e resistência ao fogo, substituindo o aço [27]. Este material tem ainda o potencial para ser competitivo, quando comparado com gesso cartonado, tijolos e blocos, em paredes divisórias e fachadas não estruturais de moradias, habitações multifamiliares, armazéns, escritórios, etc...

Colocando o enquadramento normativo para a utilização dos materiais de construção à parte e analisando apenas as características estimadas, procede-se à análise das seguintes aplicações mais comuns onde os Painéis podem ser uma forte competição e alternativa aos métodos convencionais de construção, tais como placas de gesso cartonado, alvenaria de tijolos, alvenaria de blocos de betão, os Painéis apresentam várias vantagens sobre os mesmos.

Paredes divisórias e de fachada não estruturais:

- **Peso próprio:** os Painéis encontram-se numa situação intermédia entre as placas de gesso cartonado e a alvenaria de tijolo, sendo muito mais leves que os blocos de betão;
- **Resistência mecânica:** apresentam um bom comportamento como material autoportante e boa resistência ao impacto, tal como a alvenaria de tijolo e blocos de betão;
- **Isolamento térmico:** quando considera-se paredes com a mesma espessura para todos os materiais os Painéis apresentam propriedades de isolamento superiores;
- **Isolamento acústico:** os Painéis apresentam propriedades de isolamento ligeiramente superiores quando comparados com a alvenaria de tijolo, com a vantagem de não apresentar a sensação de parede oca típico de soluções com placas de gesso cartonado ou tijolo;
- **Comportamento ignífugo:** todas as soluções são não combustíveis, sendo que o comportamento de retardamento de propagação de fogo dos Painéis deve encontrar-se entre a alvenaria de tijolo e alvenaria de blocos;
- **Aplicação em obra:** são de aplicação rápida quando comparados com a alvenaria de tijolos e de blocos, por isto reduzem o custo de mão-de-obra e ainda mantêm a obra limpa;
- **Durabilidade:** por terem uma boa resistência à humidade e impacto, os Painéis devem apresentar uma durabilidade superior às placas de gesso cartonado e semelhante à da alvenaria de tijolo;
- **Acabamento superficial:** tal como as placas de gesso cartonado, os Painéis apresentam superfícies lisas, que não necessitam de acabamento final mas suportam qualquer tipo.

Em suma, os Painéis exibem variados aspetos positivos partilhados pelo gesso cartonado, alvenaria de tijolo e de blocos. Ou seja, além de apresentarem comportamento semelhante às outras soluções e por vezes melhor, estes dispensam da aplicação de reboco, redução de custos de mão-de-obra e são autoportantes como a alvenaria de tijolos e de blocos.

Em lajes térreas:

Considerando as características térmicas dos Painéis, estes devem apresentar vantagens quando aplicados no chão em substituição de uma laje térrea. Com uma adequada compactação do solo e aplicando betão de limpeza para regularizar, os Painéis devem poder substituir a tradicional laje térrea. Assim sendo, apresentam vantagens a nível de isolamento térmico.

Como cofragem:

Visto os Painéis terem reduzido peso próprio, boas propriedades de isolamento térmico e acústico, resistência expectável à flexão e um acabamento superficial liso, pode-se considerar a possibilidade destes virem a ser aplicados como cofragem perdida, por exemplo na construção de lajes entre pisos ou muros de suporte de moradias. No entanto, será necessário efetuar um estudo, para as diferentes aplicações, sobre as pressões geradas pela betonagem e o escoramento necessário.

Os Painéis podem também ser utilizados em campos menos convencionais tais como infraestruturas de rápida montagem para serem utilizadas como alojamento temporário, por exemplo em casos de desastres naturais. Outras aplicações incluem abrigos de animais, silos, cercas, telas de contenção de poluição sonora, construção paisagística, podem também ser utilizadas como uma partição retardadora de fogo, entre espaços de armazenamento e/ou compartimentos.

Assim, embora sejam necessários estudos mais alargados e específicos sobre estes Painéis, aparentemente pode-se afirmar que estes deverão representar soluções de construção tecnologicamente melhoradas relativamente às soluções tipicamente utilizadas.

Por serem facilmente manuseados, montados e adaptados, os campos de aplicação dos Painéis só são limitados pela imaginação de quem o irá aplicar [28]. Seguem-se vários exemplos da aplicação de Painéis (Figura 2.27 a 2.36).



Figura 2.27 – Aplicação de Painéis em paredes não estruturais.



Figura 2.28 – Pormenor de montagem em zona de porta.



Figura 2.29 – Pormenor de Painéis previamente cortados e montados para incorporar uma janela.



Figura 2.30 – Parede divisória num piso térreo.



Figura 2.31 – Montagem de: (a) paredes de fachada; (b) paredes de fachada e divisórias.



Figura 2.32 – Edifício construído com Painéis.



Figura 2.33 – Montagem vertical de parede divisória.



Figura 2.34 – Armazém construído em 6 semanas com Painéis. *Koala Storage*, Austrália.



Figura 2.35 – Painéis curvos desenhados especificamente para a fachada exterior e cobertura do edifício Albert Facey House em Perth, Austrália.



Figura 2.36 – Habitação construída com Painéis em Leerderville, Austrália.

2.8. MATERIAIS ALTERNATIVOS AOS PAINÉIS SANDUÍCHE DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS

Devido à imensa diversidade de materiais disponíveis no mercado e ao crescente desenvolvimento de novos materiais, as combinações possíveis para um Painel são infindáveis. A escolha só é reduzida pelo propósito a que o Painel se destina.

Os materiais para as placas podem ser metálicos como, o aço, as ligas de alumínio, o cobre ou não metálicos como materiais compósitos reforçados com fibras, madeiras e as suas combinações, entre outros. Para o núcleo, as combinações também são numerosas, desde espumas rígidas como o EPS ou poliestireno extrudido (XPS), materiais inorgânicos como compósitos com fibras, ou uma combinação entre dois ou mais materiais [13].

De seguida, apresentam-se algumas alternativas para os materiais que compõem os painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS, e que devem ter comportamentos similares ao do Painel aqui estudado.

2.8.1. MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA AS PLACAS

2.8.1.1. Placas de fibrocimento sem amianto

As placas de fibrocimento (Figura 2.37) são geralmente utilizadas para cobrir o exterior de um edifício comercial ou doméstico. É um material compósito constituído por areia de sílica, cimento e fibras de celulose.

A sua espessura e densidade variam consoante o fabricante e finalidade. Quando cortadas, as placas com menor densidade, resultam numa textura fibrosa e rugosa enquanto as de maior densidade, resultam num corte limpo e liso.

Quanto ao seu desempenho em serviço, as placas de menor espessura tendem a ter uma resistência acústica e térmica de baixo performance, no entanto, esta melhora com o aumento da espessura. Necessitam de pouca manutenção após terem sido instaladas e apresentam um bom acabamento superficial que pode ser de diferentes cores com a adição de corante no fabrico. Novamente, quanto maior a espessura, melhor a sua resistência ao impacto. Este material é ignífugo, muito utilizado em zonas propícias a incêndios, apresenta um bom comportamento relativamente ao vapor de água e à humidade, não é vulnerável a térmitas e pode resistir a temperaturas de extremo frio, sem demonstrar quaisquer efeitos, tornando-se uma opção duradoura [29].

No entanto poderá haver um potencial risco grave para a saúde, nomeadamente se as placas forem cortadas e o pó de sílica for inalado. Devido à crescente consciencialização sobre o risco do amianto para a saúde, os fabricantes mais consagrados produzem placas sem o mesmo. Na Figura 2.38 encontra-se uma moradia com a fachada exterior revestida com placas de fibrocimento.



Figura 2.37 – Placas de fibrocimento. Figura 2.38 – Fachada exterior de habitação revestida com placas de fibrocimento.

2.8.1.2. Placas de óxido de magnésio e cloreto de magnésio

As placas de óxido de magnésio (Figura 2.39) são compostas por uma combinação de óxido de magnésio e de cloreto de magnésio, reforçadas com uma malha de fibra de vidro resistente aos ataques alcalinos. Estas têm uma das faces lisa e a outra rugosa com uma coloração branco/bege, ideal para uma aplicação adesiva ao núcleo e podem ser cortadas e adaptadas tão facilmente como as placas aqui estudadas. Suportam também qualquer tipo de revestimento como tinta, papel de parede, azulejos, entre outros.

Estas placas tornam-se uma boa alternativa às placas de silicato de cálcio devido às suas semelhanças. O excelente comportamento em serviço torna-as numa alternativa viável, por serem ignífugas e hidrófugas, resistentes à corrosão, desgaste, insetos e inodoras assim como apresentarem-se com um peso próprio reduzido. As suas aplicações vão de encontro com as dos Painéis estudados, muros, paredes, tetos, pavimentos e revestimentos (Figura 2.40).

Segundo a informação técnica da empresa Aexclusiva, Lda. [30], uma placa de óxido de magnésio com uma espessura de 10 mm foi submetida a testes e os resultados foram os apresentados na Tabela 2. É de referir que é possível encontrar no mercado placas semelhantes mas com menores espessuras (cerca de 4 mm).

Tabela 2 – Resultados de testes realizados pela empresa Aexclusiva, Lda., a uma placa de óxido de magnésio com 10 mm de espessura.

	Resultado	Classificação
Resistência ao Fogo	À prova de fogo para combustão a 1472 °C	NORMA GB 8624
	Permaneceu sem chama a 2192 °C	Não tem inflamabilidade
		Grau A Classe 1
Durabilidade	Resistente à deformação em condições quentes, secas e húmidas	Pode ser utilizada a - 40 °C
	Taxa de deformação de 0,26%	
Resistência à água e humidade	Intacta após imersão durante 1 mês, sem inchaço ou deformação	
	Não se desintegra quando imersa em água ou exposta a congelamento/descongelamento	
	Resistente a organismos, fungos, bactérias, insetos e parasitas	
Isolamento Acústico	Isolamento superior a parede convencional	Entre 44 e 47 dB
Isolamento Térmico	Baixa condutividade térmica	0,216 W/m.°C
Resistência à Flexão	20,670 kPa em compressão	
Peso Próprio	0,85-1,27 g/cm ³	



Figura 2.39 – Placas de óxido de magnésio com várias espessuras.



Figura 2.40 – Fachada exterior de habitação revestida com placas de óxido de magnésio.

2.8.1.3. Painéis Viroc

Os painéis compostos Viroc são constituídos por uma mistura de partículas de aparas de madeira e cimento.

Estes combinam a flexibilidade da madeira com a resistência e durabilidade do cimento, permitindo uma vasta gama de aplicações como revestimento de fachadas exteriores ou interiores, paredes divisórias, pavimentos, tetos ou como cofragem perdida. Apresentam-se com múltiplas vantagens interessantes comprovadas com marcação CE tais como: bom isolamento térmico, bom isolamento acústico (redução entre 31 e 37 decibéis (dB)), boa resistência mecânica à flexão, fácil instalação, ignífugo, hidrófugo, resistente a insetos e pode ser produzido em diferentes cores. As placas são unidas através de juntas de ligação como os Painéis aqui estudados e estas podem ser aparafusadas ou coladas à estrutura.

A marcação CE e as suas inúmeras aplicações (Figura 2.41 e Figura 2.42) e vantagens tornam as placas Viroc numa alternativa competitiva às placas de silicato de cálcio. Importa no entanto referir que ainda não se produzem placas Viroc com espessura suficientemente finas capazes de competir com as placas de silicato de cálcio.



Figura 2.41 – Painéis Viroc em fachada exterior. Armazém Carglass, Portugal.



Figura 2.42 – Painéis Viroc em fachada exterior e cobertura. Apartamento Warborn, Portugal.

2.8.2. MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA O NÚCLEO

2.8.2.1. EPS reciclado e cimento

O EPS usado encontra-se praticamente em qualquer lado, muitas das vezes é de utilização única e posteriormente descartado para o lixo normal. Encontra-se em embalagens de comida, copos, pratos, capacetes, recipiente de transporte de peixe, como proteção de produtos embalados, entre outros.

Nos Estados Unidos da América, a *EPS Industry Alliance*, reportou que em 2013 foram reciclados mais de 57860 toneladas de EPS, sendo que 33090 toneladas derivaram de utilização pós comercial e consumo privado, e 24772 toneladas de recuperação industrial. Reciclagem pós comercial e consumo privado são definidos como qualquer material que seja reciclado após a sua utilização final, enquanto a recuperação industrial inclui EPS que nunca serviu a sua finalidade como material de embalagem ou outro uso final [31].

Após ensaios/testes de desempenho e comparação de resultados e custo, este material pode ser uma alternativa viável e mais ecológica.

2.8.2.2. Cortiça e cimento

Sendo a cortiça um material de eleição para o isolamento acústico, a baixa condutividade térmica da cortiça combinada com uma força de compressão razoável faz com que seja um excelente material para fins de isolamento térmico e para quando estão presentes cargas de compressão.

São utilizados hoje produtos de cortiça para o isolamento térmico em frigoríficos, indústria aeroespacial, isolamento acústico em submarinos e estúdios de gravação, vedantes e juntas em instrumentos de sopro e motores de combustão, e como absorvedor de energia em pavimentos, sapatos e embalagens.

Nos painéis sanduíche, os aglomerados à base de cortiça são um material ideal para ser aplicado no núcleo de um painel sanduíche leve. Testes de flexão e cargas dinâmicas foram realizados com amostras de painéis sanduíche de cortiça, que revelaram que o desempenho da cortiça depende essencialmente do tamanho do granulado utilizados, a sua densidade e processo de ligação usado para a coesão dos granulados. Parâmetros que podem ser ensaiados/testados e aperfeiçoados até que seja aceitável para os campos de aplicação dos painéis sanduíche na construção [32].

As propriedades de maior interesse para um material de núcleo podem ser resumidas como: baixa densidade, rigidez elevada, resistência elevada e bom isolamento térmico e acústico. Os aglomerados de cortiça sugerem que estes materiais podem evidenciar algumas propriedades notáveis como núcleo de um Painel, ou seja, apresentam uma alta tolerância a cargas de impacto, boas capacidades de isolamento térmico e acústico e excelentes características de amortecimento e supressão de vibrações.

Portugal detém cerca de 60% da área total do sobreiro (árvore que se extrai a cortiça) e fornece cerca de 80% da cortiça produzida no mundo. Por ser o maior produtor de cortiça, os preços tornam-se competitivos, assim sendo, com a elaboração detalhada de um estudo ao desempenho e desenvolvimento das propriedades da cortiça, este material poderá se tornar numa hipótese ecologicamente viável na substituição do EPS [32]. Seguem-se dois exemplos de painéis sanduíche com núcleo de cortiça nas Figura 2.43 e Figura 2.44.



Figura 2.43 – Painel sanduíche com núcleo de cortiça e placas de alumínio.



Figura 2.44 – Painel sanduíche com núcleo de cortiça e placas de madeira.

2.8.2.3. Argila expandida e cimento

A argila expandida é um material cerâmico leve criado a partir da queima de argila natural a temperaturas elevadas (1100-1200 °C) num forno rotativo. Este agregado possui diversas granulometrias que vão desde 0 a 32 mm.

Este material tem como vantagens ser leve, durável, ecológico, não suscetível a ataques químicos e excelente isolamento acústico e bom isolador térmico, o que torna a argila expandida um possível substituto do EPS. É utilizado geralmente como isolador térmico em lajes e coberturas, é também utilizada no fabrico de blocos leves. Devido à sua permeabilidade é um material comum em aplicações de filtração de água.

Embora a argila expandida seja permeável não deve afetar o seu desempenho, porque estará isolada de água e/ou humidade no núcleo do painel sanduíche. Este material apresenta-se como uma alternativa viável e ecológica ao EPS. As seguintes tabelas (Tabela 3 e Tabela 4) mostram os resultados obtidos em laboratório pela empresa Argex, para uma mistura de betão leve com agregados de argila expandida (Figura 2.45).

Tabela 3 – Tabela de ensaios obtidos no laboratório Betão Liz, para várias misturas de betão leve com argila expandida. Valores obtidos da empresa Argex [33].

Massa Volúmica	Massa relativa ao betão corrente	Composição									Resistência ao cubo 28 dias
		Argex (Kg)			Areia do rio	Brita nº 1	Cimento	Escória moída	Plastificante	Água / Cimento	
[Kg/m ³]	%	2-4	3-8F	3-8	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	%	[MPa]
1774	74	-	200	-	440	270	500	-	5,0	34	36,0
1875	78	-	200	-	620	370	450	100	6,6	27	39,3
1668	70	290	290	-	670	-	450	100	6,6	27	39,6
1797	75	200	200	-	620	370	450	100	6,6	27	48,1
1913	80	-	200	-	620	370	450	100	6,6	27	51,0

Tabela 4 – Características técnicas da mistura betão leve com argila expandida. Valores obtidos pela empresa Argex [33].

Caraterísticas Técnicas		0-2	2-4	3-8F	3-8	8-16
Resistência ao esmagamento	[N/mm ²]	7,0	4,8	2,2	1,9	1,4
Densidade aparente seca	(+/- 15%) Kg/m ³	490	358	331	303	297
Classes granulométricas reais	[mm]	1,0-2,0	4,0-8,0	6,3-12,5	8,0-12,5	8,0-16,0
Condutibilidade térmica	[W/m. °C]	0,13	0,13	0,11	0,11	0,10
Absorção de água	[% massa seca)	27,0	27,0	24,5	22,7	22,8
Resistência ao fogo		Incombustível classe M0				



Figura 2.45 – Produto final da mistura de argila expandida com cimento.

2.8.2.4. Argamassa ISODUR

O ISODUR é uma mistura seca de areia e cimento que contém ligantes mistos, EPS e outras adições, que posteriormente requer a adição de água, que hidratará o cimento e manterá a mistura unificada, para a execução de rebocos e isolamento térmico (Figura 2.46). Aplicado de forma contínua nas superfícies promove o tratamento eficaz das pontes térmicas prevenindo manifestações patológicas na construção.

A sua aplicação em Painéis como substituto do cimento Portland poderá ser proveitoso nos Painéis de espessura diminuta para aplicações não estruturais, visto que é um material leve ($250 \pm 50 \text{ kg/m}^3$), já inclui alguns polímeros de EPS, de fácil manuseamento e comprovado com marcação CE como sendo um bom isolador térmico e acústico, em espessuras superiores a 40 mm, a rondar uma redução de 44 dB [34].

No entanto, é um produto vocacionado para ser projetado em paredes de alvenaria de tijolo ou bloco, as garantias de qualidade poderão se alterar e a sua utilização em painéis sanduíche ainda não foi testada. Mostra potencial para aplicações que requerem espessuras reduzidas e sem adição de cargas adicionais mas só poderá ser verificado como uma hipótese viável após ter sido encontrado o rácio entre os vários componentes e testado o seu desempenho.



Figura 2.46 – Embalagem e aplicação de argamassa ISODUR.

2.9. PREÇO DOS PAINÉIS SANDUÍCHE DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS

Após uma pesquisa alargada, notou-se que os fabricantes de Painéis são sediados maioritariamente na China e vendem os seus produtos através de *sites* online. Os preços praticados pelos fabricantes rondam entre os 11,80 €/m² e 26,05 €/m², dependendo da espessura desejada. No entanto, estes preços carecem de valores de transporte, Imposto sobre Valor Acrescentado (I.V.A.) e são para compras em quantidades avultadas, geralmente para cima de 400 Painéis de venda mínima.

A empresa PP Paineel Portugal, Lda. sediada na Madeira, vende os Painéis a 37,20 €/m² + I.V.A., não contabilizando com a mão-de-obra e restante material necessário para a montagem. Ao apresentar este preço poderá parecer elevado, no entanto, para efetuar uma parede com estes Painéis, não é obrigatório efetuar uma compra em quantidade superior à necessária nem esperar pelo transporte do material. Na Tabela 5, encontra-se um comparativo de preços entre Painéis de 150 mm e uma parede dupla de blocos com isolamento térmico convencional e verificou-se que os Painéis são economicamente mais baratos por metro quadrado.

Tabela 5 – Comparativo de preços entre parede dupla de bloco com isolamento térmico e Painéis de 150 mm. Valores fornecidos pela empresa PP Paineel Portugal, Lda. [23].

Parede dupla de bloco com isolamento térmico			Paineel de 150 mm	
	Material	Preço por m ²	Material	Preço por m ²
Bloco 0,15 m	Bloco - 10 unidades	6,50 €	Paineel de 150 mm	37,20 €
	Ligante de fixação	2,68 €	Ligante - 3 kg/m ² + Poliuretano	2,16 €
	Revestimento Ext.	11,50 €	Barramento + rede fibra de vidro	5,50 €
	Pintura	6,50 €	Pintura exterior	6,50 €
	Mão-de-obra	7,50 €	Pintura interior	5,50 €
Bloco 0,10 m	Bloco - 10 unidades	5,50 €	Mão-de-obra	4,00 €
	Ligante de fixação	1,79 €	Total	60,86 €
	Revestimento Int.	9,50 €		
	Pintura	5,50 €		
	Mão-de-obra	7,50 €		
Isolamento Térmico	XPS - 0,04 m	3,25 €		
	Montagem	1,00 €		
Total		68,72 €		

3

ENQUADRAMENTO NORMATIVO PARA OS PAINÉIS SANDUÍCHE DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS

3.1. INTRODUÇÃO

As normas, embora não sejam por vezes perceptíveis aos cidadãos, são de grande valor em muitos aspetos das nossas vidas. Por exemplo, as normas estabelecem os tamanhos padrões globais para objetos comuns tais como as folhas A4 e até dos contentores de carga. Neste último, parece um simples caso de dimensões para uma caixa metálica, no entanto a aplicação da norma faz com que seja uma norma padrão mundial, tornando o comércio internacional muito mais fluido, prático e que conseqüentemente reduz os preços de mão-de-obra, relativamente ao fabrico, manuseamento e transporte dos contentores, tornando também o valor final do conteúdo, mais barato.

Qualquer norma é considerada uma referência idónea, daí serem usadas em processos de legislação, de acreditação, de certificação, de metrologia e de informação técnica.

Este capítulo será sustentado por normas existentes, analisando-as tendo em vista a obtenção da marcação CE para a comercialização dos Painéis.

3.2. ORGANISMOS DE NORMALIZAÇÃO

Os Organismos de Normalização ramificam-se em três grupos. Os Organismos Internacionais de Normalização (OIN) responsáveis pelas normas internacionais, os Organismos Europeus de Normalização (OEN) responsáveis pelas normas europeias e os Organismos Nacionais de Normalização (ONN) responsáveis pelas normas nacionais [35].

3.2.1. ORGANISMOS INTERNACIONAIS DE NORMALIZAÇÃO (OIN)

Os principais OIN são a Organização Internacional de Normalização (ISO) criada em 1947 e que representa 150 países, que redige as normas ISO abrangendo vários domínios de normalização exceto eletrotécnica e eletrónica e a Comissão Eletrotécnica Internacional (CEI ou ICE) fundada em 1906 responsável por redigir as normas CEI ou IEC relativamente aos setores eletrotécnico e eletrónico, contando com a participação de 80 países. São organizações não-governamentais, que adotaram regras comuns para a normalização internacional, devido aos seus objetivos e organização semelhantes [35].

3.2.2. ORGANISMOS EUROPEUS DE NORMALIZAÇÃO (OEN)

Atualmente estão em funcionamento três OEN, responsáveis pelos desenvolvimentos das ENh, das quais o principal objetivo é a eliminação das barreiras comerciais para os consumidores e indústria na União Europeia.



O *Comité Européen de Normalisation* (CEN – Comité Europeu de Normalização) criado em 1961, composto por 31 ONN e que desenvolve ENh em vários setores, incluindo: Construção, Química, Alimentação, Saúde e Segurança, Materiais, Medição, Engenharia Mecânica, Segurança e Defesa, Transportes, entre outros. Esta é a OEN que pode normalizar os Painéis.



O *Comité Européen de Normalisation Electrotechnique* (CENELEC – Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica) fundado em 1973, composto por 28 países europeus e que desenvolve ENh nos setores da Eletrotécnica e tecnologias associadas.



Por último temos o *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI – Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações) criado em 1988 e apesar de ser um grupo europeu, conta com a participação de 63 países em cinco continentes e redige ENh na extensão das Telecomunicações, Tecnologias da Informação, Radio e Televisão [36].

3.2.3. ORGANISMOS NACIONAIS DE NORMALIZAÇÃO (ONN)



Os ONN são os organismos em cada país que estão responsáveis pela participação nacional na normalização europeia e internacional. O ONN em Portugal é o Instituto Português da Qualidade (IPQ) que assegura a comunicação e participação nacional com os OEN e OIN anteriormente referidos, e ainda é responsável pela gestão e desenvolvimento do Sistema Português de Qualidade (SPQ) nomeadamente o desenvolvimento dos processos normativos e divulgação de documentos normativos, emissão de pareceres e votações em Portugal.

3.3. MARCAÇÃO CE

O Regulamento (UE) 305/2011, de 09 de Março de 2011 (conhecido como RPC – Regulamento dos Produtos de Construção), retificado a 04 de Abril de 2011, que entrou em vigor a 01 de Julho de 2013, estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção e revoga e substitui a Diretiva dos Produtos de Construção (DPC) – Diretiva 89/106/CEE do Conselho de 21 de Dezembro de 1988.

O RPC impõe como condição para a introdução de novos produtos de construção no mercado europeu, que estes devem estar aptos ao uso a que se destinam, apresentando as suas características de maneira a satisfazer os seguintes requisitos básicos das obras [2]:

- Resistência mecânica e estabilidade;
- Segurança contra incêndio;
- Higiene, saúde e ambiente;
- Segurança e acessibilidade na utilização;
- Proteção contra o ruído;
- Economia de energia e isolamento térmico;
- Utilização sustentável dos recursos naturais.

A marcação CE é a marca que atesta a conformidade de um produto com os requisitos aplicáveis definidos na legislação comunitária de harmonização aplicável, isto é, permite que o produto possa circular e ser comercializado livremente no Espaço Económico Europeu (EEE). Isto, após ter sido submetido aos testes e requisitos legais, atestado em Declaração de Desempenho e verificado que satisfaz todos os requisitos necessários. A marcação CE é representada pelo símbolo CE (Figura 3.1) e estas iniciais são a abreviação da designação francesa *Conformité Européenne*, que significa Conformidade Europeia.



Figura 3.1 – Símbolo representativo da marcação CE.

A sigla deve ser colocada no produto pelo fabricante ou seu mandatário, de forma visível, legível e indelével em produtos novos, usados e importados antes de serem comercializados no Mercado Europeu.

Em regra, um produto pode ser colocado no mercado Europeu, após ter sido avaliado nas fases de conceção e fabrico e ter resultados positivos em ambas [36].

Todavia, nem todos os produtos necessitam de ter a marcação CE. Esta só é obrigatória para os produtos das categorias mencionadas nas diretivas específicas da União Europeia.

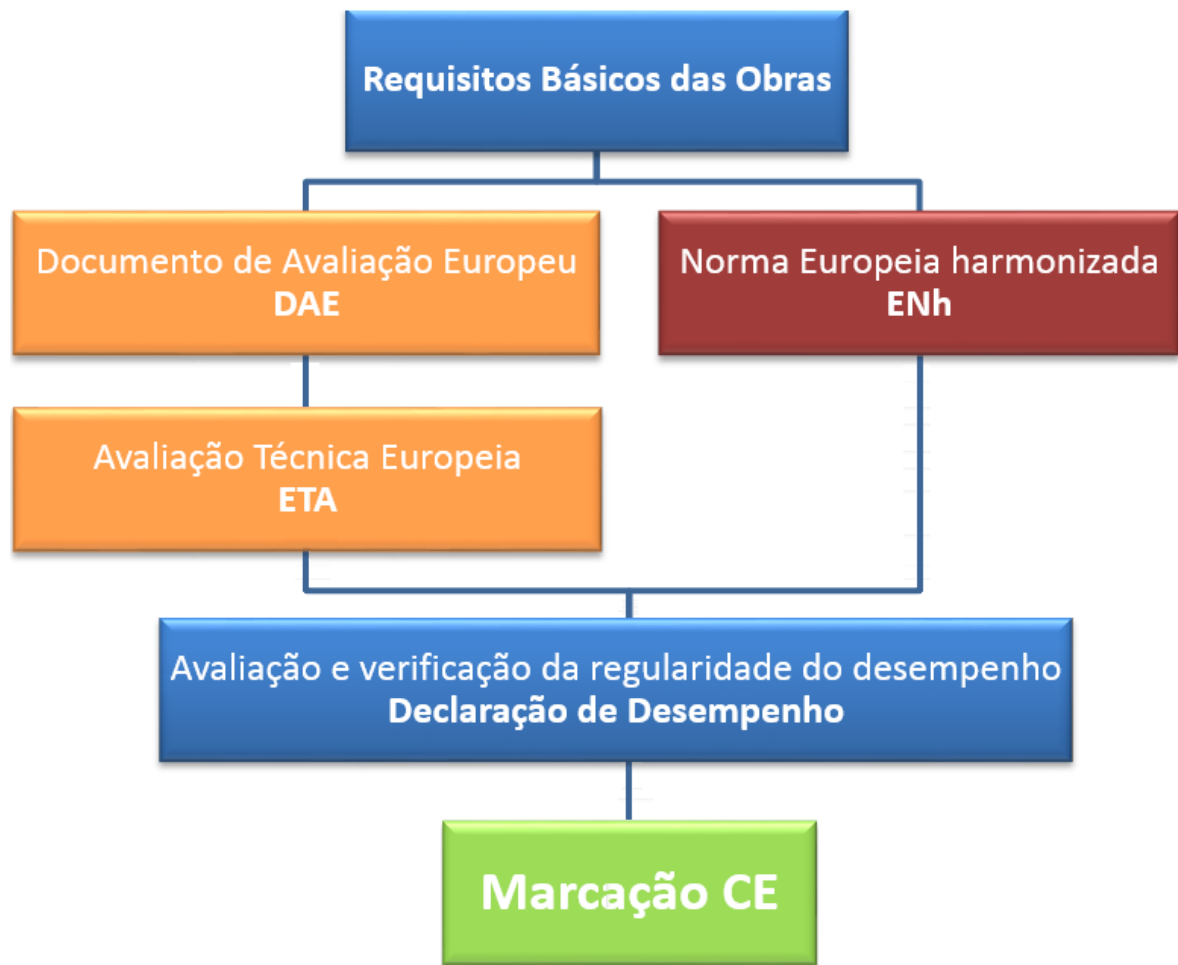
Nas diretivas específicas encontram-se as seguintes categorias:

- Produtos de construção (onde podem-se enquadrar os Painéis);
- Explosivos para uso civil;
- Aparelhos a gás;
- Ascensores;
- Dispositivos médicos;
- Entre outros...

Um produto com a marcação CE não significa que tenha sido fabricado no EEE. Esta só indica que o produto foi avaliado antes de ser colocado à venda no mercado e que satisfaz os requisitos legislativos aplicáveis.

Para colocar um produto no mercado com a marcação CE, o fabricante tem de certificar-se que o produto está coberto por uma ENh ou tem de ter emitida uma ETA com o respetivo DAE. Quando o produto for coberto por uma ENh ou uma ETA, o fabricante pode proceder para a elaboração de uma Declaração de Desempenho juntamente com a documentação técnica do produto e então solicitar uma marcação CE. Na Tabela 6 pode-se observar o procedimento simplificado para a obtenção da marcação CE.

Tabela 6 – Procedimento para a obtenção da marcação CE.



3.3.1. NORMAS EUROPEIAS HARMONIZADAS (ENH)

“As ENh fornecem os métodos e critérios de avaliação do desempenho dos produtos de construção relativamente às suas características essenciais” [2].

Estas traduzem os requisitos essenciais em regras técnicas e limites para os produtos, sendo que o fabricante é livre de as utilizar ou não. Se optar por não utilizá-las, o produto não poderá ostentar a marca CE nem irá beneficiar da conformidade prevista nas ENh aplicáveis [36].

Um exemplo de uma ENh é a EN 1520:2011, que cobre o desempenho de elementos estruturais, tais como o suporte de cargas em componentes de parede, componentes de telhado, chão e vigas. E para elementos não estruturais testa paredes não resistentes, como as paredes divisórias; componentes de revestimento para utilização em fachadas externas de edifícios; componentes de barreiras acústicas.

Para as ENh já citadas no Jornal Oficial da União Europeia (JOUE), a informação sobre as mesmas é apresentada sob a forma de um quadro com as informações gerais sobre as normas, como se pode ver na Figura 3.2. As informações apresentadas no quadro são:

- Norma Europeia – designação alfabética e código numérico da Norma;
- Título – Título da Norma e no caso de não existir ainda, a correspondente Norma Portuguesa (NP EN ou NP), regista-se o título da norma publicada na versão portuguesa do JOUE;
- Dipc e Dtpc – datas definidas no JOUE para início e termo do período de coexistência. A partir da data Dipc o produto já pode ser objeto de marcação CE, mas podem ainda circular produtos sem a marcação; a partir da data Dtpc, só podem circular no EEE os produtos com marcação CE;
- Avaliação de conformidade – Sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto para a marcação CE, segundo os cinco sistemas distintos: 1+, 1, 2+, 3 e 4 (Tabela 9);
- Norma Portuguesa – No caso de existir, indica a designação alfabética e numérica da Norma, seguida do título desta.

NORMA EUROPEIA	EN 1520:2011 (<i>substitui a EN 1520:2002</i>)
TÍTULO	<i>Prefabricated reinforced components of light aggregate concrete with open structure with structural or non-structural reinforcement</i> Produtos prefabricados com armadura estrutural ou não estrutural, de betão de inertes leves com estrutura aberta Dipc: 2012-01-01 Dtpc: 2013-01-01
Avaliação da conformidade	Sistema 2+ / 4
NORMA PORTUGUESA	Não disponível

Figura 3.2 – Sumário da norma europeia harmonizada EN 1520:2011.

3.3.2. AVALIAÇÃO TÉCNICA EUROPEIA (ETA) E DOCUMENTO DE AVALIAÇÃO EUROPEU (DAE)

A ETA é válida em todos os 28 Estados Membros e os países pertencentes ao EEE e ainda na Suíça. Pode ser reconhecida noutros países desde que estes tenham um acordo de reconhecimento com a Comunidade Europeia. A ETA é a base para a Declaração de Desempenho pelo fabricante.

Esta avaliação cria confiança no desempenho das características essenciais do produto para o seu uso pretendido. A ETA contribui também para a facilidade de movimento dos produtos e comercialização, dentro do espaço EEE [37].

Aplica-se a produtos inovadores, complexos ou produtos que se afastem significativamente das normas correntes (para os quais não existe nem está prevista, a médio prazo, a existência de uma ENh).

Aplica-se também a produtos e sistemas que são colocados em obra sob a forma de um “*kit*” e para os quais será necessário ter em conta as regras de montagem dos mesmos. Para que estes produtos possam ter uma ETA emitida, no caso de não estarem totalmente abrangidos por uma ENh ou um DAE existente, necessitam de elaborar um DAE que será aprovado por um Organismo de Avaliação Técnica (OAT, por exemplo, o IteCons).

A ETA é concedida e emitida por uma OAT, organismo que faz parte da Organização Europeia de Avaliação Técnica (EOTA – *European Organisation for Technical Assessment*), cujo membro nacional, para os produtos de construção, é o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Quando o fabricante apresenta um pedido de ETA ao OAT, de acordo com o procedimento fixado no anexo II do RPC – Procedimento de Aprovação do documento de avaliação Europeu, e após o fabricante e o OAT terem assinado um acordo de sigilo e confidencialidade comercial, o fabricante apresenta ao OAT um Dossier Técnico com a descrição do produto, a sua utilização e informações pormenorizadas sobre o controlo de produção em fábrica [2].

A OAT ao receber um pedido de ETA da parte de um fabricante deve proceder do seguinte modo:

- Se o produto estiver totalmente abrangido por uma ENh, a OAT terá de informar o fabricante de que não pode ser emitida uma ETA;
- Se o produto estiver totalmente abrangido por um DAE, a OAT informa o fabricante que terá de usar esse DAE como base para emissão da ETA;
- Se o produto não estiver abrangido ou parcialmente abrangido por um DAE ou ENh, o OAT deve aplicar os procedimentos previstos no anexo II do RPC para elaborar e fazer aprovar um DAE para aquele produto e que irá servir de base à emissão da ETA.

É importante referir que uma ETA é voluntária. Se um produto não estiver coberto por uma ENh, o fabricante não é obrigado a seguir a via da ETA, consequentemente não obtendo a marcação CE para o seu produto. Se for esse o caso, os Estados Membros devem permitir a colocação e circulação do produto nos seus territórios, caso este satisfaça as disposições nacionais em vigor no Estado Membro (exceto quando exista evidência de insuficiente equivalência com as disposições em vigor no Estado Membro).

Se o produto não estiver abrangido ou parcialmente abrangido por um DAE ou ENh a OAT define um programa de trabalhos para a criação de um DAE específico para o produto, tendo em conta que este deve conter:

- Uma descrição geral do produto de construção;
- Uma lista das suas características essenciais relevantes para a utilização do produto prevista pelo fabricante;
- Os métodos e critérios para avaliar o desempenho do produto;

- Os princípios para o controlo de produção em fábrica.

O esboço do DAE é criado e apresentado pela OAT à EOTA que irá analisar o documento. A EOTA informa a Comissão Europeia sobre o esboço e a partir desse momento o desenvolvimento do DAE não deve demorar mais que 6 meses. Quando a DAE estiver pronto e a OAT estiver satisfeita com o documento, passa para análise na EOTA que submete à Comissão Europeia para finalizar o processo.

O fabricante está envolvido em todos os passos no desenvolvimento de um DAE e os custos deste desenvolvimento são totalmente suportados pela OAT e pela EOTA [37]. Na Tabela 7 pode-se observar o procedimento realizado por uma OAT quando recebe um pedido de uma ETA e na Tabela 8 as diferenças entre uma ENh e uma ETA.

Tabela 7 – Procedimento realizado pela OAT quando da receção de um pedido de ETA.

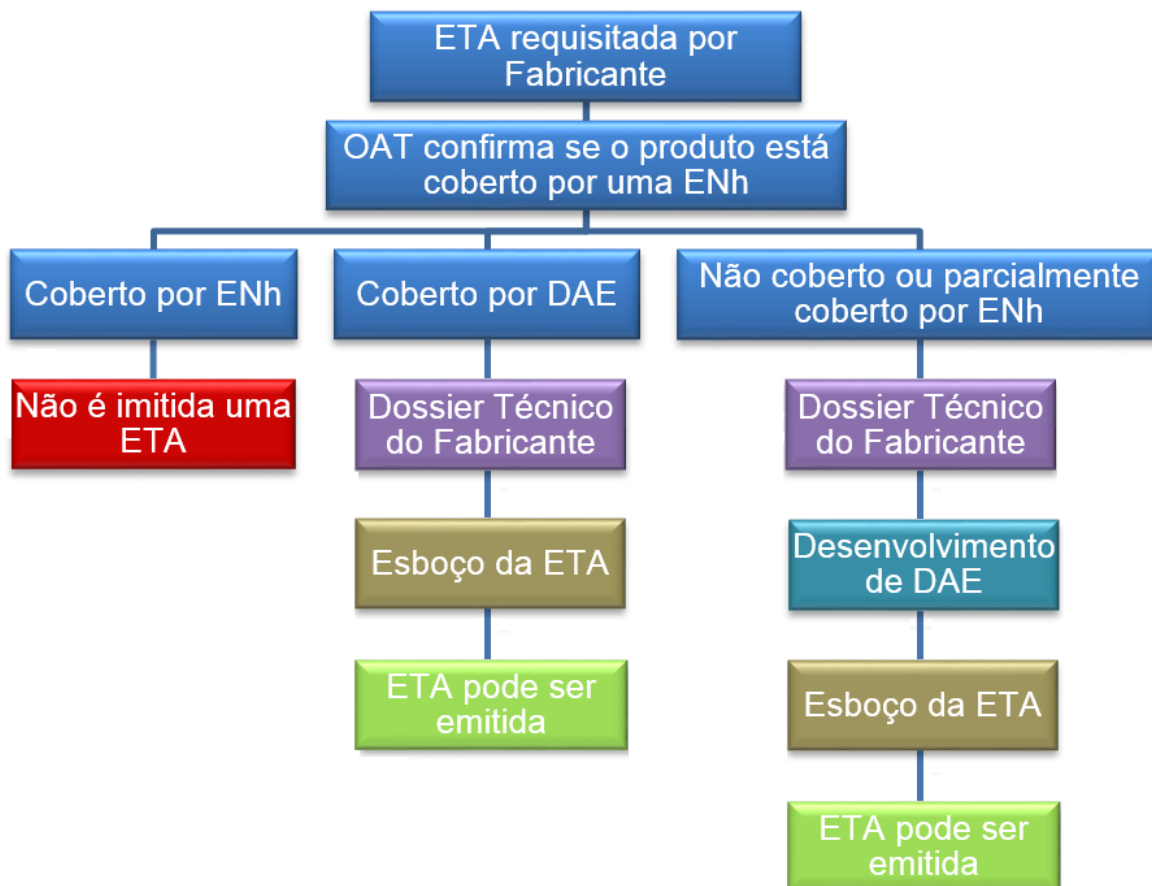


Tabela 8 – Principais diferenças entre uma ENh e uma ETA.

ENh	ETA
Especificação geral	Especificação individual
Aplicável a uma família de produtos	Aplicável a um produto determinado
Aplicação de conhecimento	Apoia a inovação tecnológica
Aplica-se ao mercado numa escala maior	Aplica-se solicitações específicas do mercado
Cobre predominantemente materiais de construção “simples”	Cobre predominantemente produtos complexos e sistemas “kits”.

Na ETA, deve constar o desempenho a declarar, por níveis ou classes ou por meio de uma descrição, das características essenciais acordadas entre o fabricante e a OAT que recebeu o pedido de ETA para a utilização prevista declarada, bem como os pormenores técnicos necessários para a aplicação do sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho [2].

3.3.3. DOSSIER TÉCNICO

Se o produto estiver coberto por uma DAE ou necessitar de desenvolver um DAE, o fabricante ou seu mandatário, deve enviar um dossier técnico previamente à emissão da ETA, o fabricante ou seu mandatário, deve preparar a documentação técnica para permitir a avaliação da conformidade do produto com as exigências das Diretivas que lhe são aplicáveis.

Esta documentação deve cobrir, a conceção, fabrico e funcionamento do produto.

O dossier técnico deve estar disponível por um período de pelo menos dez anos, a contar da data em que o produto foi fabricado pela última vez e é uma demonstração da conformidade do produto com os seguintes elementos:

- Descrição geral e desenhos técnicos do produto;
- Normas, diretivas e especificações técnicas utilizadas;
- Medidas de proteção implementadas para eliminar/reduzir os perigos identificados;
- Manual de instruções/utilizador;
- Resultados de ensaios [36].

3.3.4. DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

“Se um produto de construção for abrangido por uma norma harmonizada ou estiver conforme com uma Avaliação Técnica Europeia emitida para esse produto, o fabricante deve elaborar uma declaração de desempenho para esse produto aquando da sua colocação no mercado” [2].

A Declaração de Desempenho é a base indispensável para apor a marcação CE. É escrita, numa das línguas oficiais, pelo fabricante ou seu mandatário, que assume a responsabilidade pela conformidade do desempenho declarado do produto.

Esta deve ser redigida segundo o modelo que consta no Regulamento Delegado (EU) n.º 574/2014 da Comissão de 21 de fevereiro de 2014 [38], que vem alterar o modelo do anexo III do RPC e no seu conteúdo o fabricante deve descrever o desempenho do produto relativamente às suas características essenciais, de acordo com as especificações técnicas aplicáveis (ETA ou a ENh):

- A referência do produto tipo para o qual foi feita a declaração;
- O sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto, conforme os termos no anexo V do RPC;
- O número de referência e a data de emissão da ENh ou ETA utilizada para a avaliação de cada característica essencial;
- Se for caso, o número de referência da documentação técnica específica utilizada e os requisitos que o produto satisfaz;
- A utilização prevista do produto;
- A lista de características essenciais determinadas;
- O desempenho de pelo menos uma das características essenciais relevante do produto;
- O desempenho do produto por níveis ou classes ou por meio de uma descrição;
- Caso tenha sido emitida uma ETA, o desempenho, por níveis ou classes ou por meio de uma descrição relativamente a todas as características essenciais constantes na ETA correspondente;
- O acrónimo «NPD» (desempenho não determinado) para as características essenciais relativamente às quais não seja declarado nenhum desempenho.

O fabricante, ou seu representante autorizado, deve manter a Declaração de Desempenho por um período de pelo menos dez anos, a contar da data em que o produto foi fabricado pela última vez [36]. A Tabela 9 descreve as tarefas para cada sistema de comprovação.

Tabela 9 – Tabela simplificada dos sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto, conforme o Anexo V do RPC [2].

TAREFA	SISTEMA DE COMPROVAÇÃO				
	1+	1	2+	3	4
Controlo da produção em fábrica	F	F	F	F	F
Determinação do produto-tipo com base nos ensaios de tipo (incluindo a amostragem), nos cálculos de tipo, nos valores tabelados ou em documentação descritiva do produto	OCP	OCP	F	LAB	F
Ensaio de amostras colhidas em fábrica de acordo com um programa de ensaios previamente estabelecido			F		
Ensaio adicional de amostras colhidas em fábrica de acordo com um programa de ensaios previamente estabelecido	F	F	F		
Inspeção inicial da unidade fabril e no controlo da produção em fábrica	OCP	OCP	OCC		
Acompanhamento, apreciação e avaliação contínuos do controlo da produção em fábrica	OCP	OCP	OCC		
Ensaio aleatório de amostras colhidas antes da colocação do produto no mercado	OCP				

em que:

F – Fabricante do produto;

OCP – Organismo de Certificação do Produto – um organismo notificado, governamental ou não, com a competência e a responsabilidade necessárias para proceder à certificação da conformidade de um produto de acordo com as regras processuais e de gestão estabelecidas;

OCC – Organismo de Certificação do Controlo da produção em fábrica – um organismo notificado, governamental ou não, com a competência e a responsabilidade necessárias para proceder à certificação do controlo da produção em fábrica de acordo com as regras processuais e de gestão estabelecidas;

LAB – Laboratório de ensaios notificado – um laboratório notificado, que mede, examina, ensaia, calibra, ou determina de qualquer outro modo as características ou o desempenho dos materiais ou dos produtos de construção [2].

Tipicamente, nos casos em que a aplicação dos materiais de construção sejam não estruturais, então estamos perante um sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho tipo 4. Se a aplicação for estrutural ou semi-estrutural, o sistema tipo 2+ é aplicado. De acordo com a Tabela 9, verifica-se que para a aplicação não estrutural as tarefas de controlo e avaliação são da exclusiva responsabilidade do fabricante, sem a necessidade de intervenção de um organismo externo. Já para

aplicação estrutural ou semi-estrutural, que necessita de tipo 2+, além de ser necessário o controlo da produção em fábrica por uma entidade externa, a exigência na produção e ensaios/testes a efetuar são muito mais rigorosos.

3.3.5. APOR A MARCAÇÃO CE

O fabricante pode apor a marcação CE se o produto:

- Estiver totalmente abrangido por uma ENh ou for emitida uma ETA;
- Foi testado e assegurou-se que satisfaz os requisitos essenciais (nomeadamente a nível de segurança, saúde e do ambiente);
- Foi examinado por um organismo independente de avaliação da conformidade;
- Tem um dossier técnico com as especificações do produto;
- Tem uma declaração de desempenho.

Se cumprir estes requisitos, o produto está pronto para ter a marcação CE.

Ao apor a marcação CE no produto de construção, os fabricantes indicam que assumem a responsabilidade pela conformidade do produto com o seu desempenho declarado, bem como pelo cumprimento de todos os requisitos aplicáveis estabelecidos no RPC [2].

A aposição da marcação CE pode ser dividida em fases.

➤ FASE 1

A empresa define as linhas básicas para o cumprimento dos requisitos da marcação CE para o produto em questão. Procede então para a identificação das Diretivas e ENh aplicáveis.

➤ FASE 2

Já com o conhecimento específico de várias normas e se o produto se enquadrar em alguma ENh, para ensaiar/testar o produto a empresa contacta o(s) Laboratório(s) Acreditado(s) para a realização dos ensaios/testes que conduzam à avaliação positiva dos requisitos.

Se o produto não se enquadrar em nenhuma ENh, a empresa necessita realizar um DAE, seguido de uma ETA, com a participação de um OAT que possa realizar a avaliação do produto.

➤ FASE 3

Na sequência dos ensaios/testes e da avaliação técnica para comprovar os requisitos das ENh ou ETA aplicáveis, a empresa fabricante emite o Dossier Técnico.

Para que a avaliação do produto seja confirmada, a empresa necessita de enviar os relatórios de ensaios/testes realizados tanto os por si testados como os por uma entidade terciária, para um OAT para que este dê o seu aval ao processo realizado.

➤ FASE 4

Após a análise dos documentos, o fabricante procede para a realização da respetiva Declaração de Desempenho.

➤ FASE 5

Envio dos todos os documentos necessários para o Organismo Europeu de Normalização, por exemplo para este produto o CEN, que é o responsável pelo desenvolvimento de ENh no setor da Construção [36].

Visto que os painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS são um produto recente e não estando totalmente abrangidos por uma ENh (como se poderá constatar no subcapítulo 3.3. desta dissertação), é necessário proceder com um pedido de DAE, por exemplo ao IteCons que é um OAT designado pelo Instituto Português de Qualidade (IPQ) reconhecido pela Comissão Europeia, seguido de um pedido de uma ETA, por exemplo ao LNEC, que também é um OAT, que pode realizar essa avaliação.

Após a emissão da ETA para os Painéis, o fabricante procede à elaboração de uma Declaração de Desempenho, assumindo a responsabilidade pela conformidade com o desempenho declarado dos Painéis.

Tendo realizado estes passos, o fabricante pode apor a marcação CE e após a verificação dos documentos e posterior aprovação para a utilização da marca CE, o produto está apto a circular no EEE.

3.3.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA MARCAÇÃO CE

O principal objetivo da marcação CE é ser uma garantia para os consumidores, certificando que os produtos são fabricados por processos controlados, que cumprem os requisitos de qualidade e que são comprovados através de ensaios e testes.

Visto que as Diretivas Comunitárias são obrigatoriamente transpostas para a legislação de cada Estado Membro, a marcação CE passa a ser uma condição necessária para que os produtos possam ser comercializados e utilizados dentro do EEE. Sendo assim, a marcação CE, possibilita, à empresa fabricante, o alargamento do mercado alvo, garantindo uma maior visualização no mercado globalizado, bem como a conformidade dos produtos, elevando assim a confiança dos seus consumidores.

Deste modo, a marcação CE aumenta a competitividade quer a nível nacional quer a nível internacional das empresas que adotem este mecanismo regulamentar.

Há um número significativo de vantagens para o fabricante e para o consumidor de um produto com marca CE. Algumas vantagens são enumeradas em seguida.

Principais vantagens da marcação CE:

Para os fabricantes:

- A marcação CE oferece aos fabricantes acesso ao mercado para todo o EEE, uma vez que os países nesta área não podem restringir a colocação no mercado de produtos com a marca CE;
- Permite reforçar a confiança dos consumidores e a imagem de qualidade da empresa;
- Aumento da qualidade da produção;
- Aumenta a competitividade no mercado através do estabelecimento de procedimentos de controlo (redução dos custos) por ser um produto já testado e qualificado;
- Garante que o produto está em conformidade com as normas da diretiva específica;
- Conduz a maior número de vendas e a uma maior satisfação do cliente;
- Garantia da manutenção da qualidade para o consumidor;
- Pode reduzir significativamente reivindicações de danos e consequentes multas por responsabilidade, se o fabricante produzir o produto conforme as normas da União Europeia.

Para o consumidor:

- Informações mais claras acerca do produto;
- Garantia da qualidade mínima do produto;
- O produto está normalizado, ou seja, é fabricado com as mesmas características de um protótipo devidamente testado e com um elevado grau de desempenho;
- Maior valorização e credibilidade do produto;
- É uma garantia do fabricante que o produto está em conformidade com as normas da União Europeia em matéria de segurança e saúde para os consumidores [36, 39].

O procedimento da marcação CE traz também os seus custos. Os fabricantes, principalmente de empresas pequenas, são confrontados com alguns problemas quando o produto necessita de respeitar as exigências impostas por uma norma. Por exemplo, um fabricante que queira aprovar o seu produto pode necessitar de realizar testes/ensaio de elevado custo, devido a existirem poucos laboratórios capazes de os realizar. Outro entrave são as inúmeras etapas de desenvolvimento de um produto que vão desde o projeto inicial, passando pelos testes/ensaio, até a colocação no mercado. Se o fabricante quiser a marca CE no seu produto, terá de construir um protótipo (ou no caso dos Painéis, vários protótipos) e testá-los num laboratório acreditado, se não tiver a capacidade de os testar na empresa. E se o produto não verificar os limites estipulados pela norma, o fabricante necessita de rever o projeto, corrigi-lo e depois voltar a testar.

Pode-se verificar que é necessário tempo para estudar o produto, enquadrá-lo nas normas e passar para o fabrico, testar/ensaiar e executar o projeto final. Acresce-se ainda o aspeto financeiro para a empresa, relativamente ao projeto e principalmente na realização dos testes/ensaio. Se estes tiverem de ser realizados fora da empresa, o custo ainda se torna mais elevado. Isto suporta que as condições e requisitos impostos pelas normas para a aposição da marca CE, apesar de fundamentais, podem tornar-se barreiras financeiras para diversas empresas que não têm capacidade de suportar estes encargos e custos.

Principais desvantagens da marcação CE para os fabricantes:

- Um significativo esforço financeiro para as empresas, nomeadamente as de pequenas dimensões;
- Custo financeiro com a aquisição de material para a realização de testes/ensaio;
- Custo financeiro para testes/ensaio iniciais;
- Custo financeiro com testes/ensaio frequentes;
- Procedimentos onerosos e morosos, especialmente se o produto não atingir os limites impostos pela norma e for necessário refazer desde o projeto inicial.

3.4. ANÁLISE DAS ENH E DAE EXISTENTES PARA APLICAÇÃO AOS PAINÉIS DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS

Foi realizada uma pesquisa tendo em vista o possível enquadramento dos Painéis nas ENh existentes, concluindo-se que apesar de existirem várias ENh que acomodam parcialmente os Painéis, nenhuma consegue o enquadramento total para a gama de aplicações apresentadas anteriormente.

Foram analisadas, entre outras, as seguintes normas:

1. NP EN 14992 – Produtos prefabricados de betão. Elementos de parede.
 - Esta norma era a que apresentava-se como mais provável para enquadrar estes Painéis. No entanto, numa pesquisa mais aprofundada, nota-se que impede a sua aplicação aos Painéis porque a norma é aplicável a paredes prefabricadas, em betão de peso normal ou betão leve, com estrutura densa. Devido à imposição relativa à estrutura densa, a norma não pode ser aplicada porque o núcleo de cimento com EPS não pode ser considerada estrutura densa.
2. NP EN 771-3 – Especificações para unidades de alvenaria. Parte 3: Unidades de betão de agregados (blocos de betão de agregados correntes e leves).
 - Apesar de a norma não apresentar limitações quanto às dimensões dos blocos, não deixa de ser impreciso considerar que os Painéis possam ser equiparados a blocos de alvenaria com uma altura de um piso. Outro pormenor que desconsidera a inclusão nesta norma é que o EPS não poder ser considerado inerte leve do cimento. A norma também não prevê material de recobrimento, como as duas placas de silicato de cálcio envolvendo o núcleo do Painel.
3. BS EN 1520:2011 – *Prefabricated reinforced components of lightweight aggregate concrete with open structure with structural or non-structural reinforcement* – Produtos prefabricados de betão de inertes leves com estrutura aberta, com armadura estrutural ou não estrutural.
 - Os Painéis, não podem-se enquadrar nesta norma porque esta exige que seja aplicada armadura e o EPS novamente não pode ser considerado um inerte leve do cimento.
4. BS EN 13950:2014 – *Gypsum board thermal/acoustic insulation composite panels. Definitions, requirements and test methods.* – Painéis compósitos de gesso cartonado para isolamento térmico/acústico. Definições, requisitos e métodos de ensaio.
 - Esta era outra hipótese que parecia ser viável para o enquadramento. No entanto e apesar de existirem painéis sanduíche compostos por outros materiais que estão a ser

comercializados com a marcação CE referente a esta norma, esta só pode ser aplicada a painéis sanduíche com placas de gesso cartonado.

5. ETAG 016 Edition November 2003 – *Self-supporting Composite Lightweight Panels – Part 1: General.* – Painéis compósitos leves autoportantes – Parte 1: Geral.

- O termo ETAG foi atualizado segundo o novo RPC e denomina-se atualmente por DAE [2].

No parágrafo, *GENERAL NOTES: (a) Applicability of the ETAG*, encontra-se a frase: “*It is the manufacturer or producer who defines the self-supporting composite lightweight panels for which he is seeking ETA (...)*”. Sendo assim, pode-se concluir que este DAE foi uma solicitação para uma possível ETA, para posterior aquisição da marcação CE para várias combinações de núcleo/placas para painéis sanduíche.

Este DAE parecia enquadrar os Painéis, no entanto, no ponto 2. *SCOPE*, este exclui materiais pesados como o betão. “*(...) heavy products (e.g. concrete, stone block, masonry), are excluded from the scope of this Guideline*”. Pode-se disputar que o cimento ou argamassa juntamente com o EPS, não perfazem um núcleo com materiais pesados, logo não se incluem nos materiais pesados. É ambíguo porque não especifica como classificar um material pesado ou leve.

6. DAE para “*Thermal Insulation Board Made of Expanded Polystyrene (EPS) and Cement*” [40].

- Na pesquisa efetuada por uma ETA ou DAE que pudesse incorporar totalmente os Painéis, verificou-se que existe um pedido para uma ETA de um produto com características semelhantes, num OAT alemão, o *Deutsches Institut für Bautechnik* (DIBt – Instituto Alemão de Tecnologia da Construção), que faz parte da EOTA. Visto estar à espera de aprovação, pode-se concluir que este produto já tem um DAE emitido onde estes Painéis se devem enquadrar. Infelizmente, até a data, não foi possível aceder ao documento e analisar efetivamente se o enquadramento é possível na sua totalidade, no entanto, se o for, e o documento proceder para a emissão de uma ETA, o fabricante apenas tem de adaptar o seu produto consoante essa ETA e emitir uma declaração de desempenho para posterior marcação CE.

3.5. PROPOSTA DE ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA OS PAINÉIS SANDUÍCHE DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS

Tendo analisado as normas existentes e verificado que nenhuma das normas enquadra na sua totalidade os Painéis, e para que estes possam ser comercializados no EEE o mais breve possível, surgem duas hipóteses: A primeira passa pelo processo de elaboração de uma Especificação Técnica (TS), como já se analisou anteriormente, este tipo de Painéis específicos enquadram-se melhor numa ETA a nível europeu ou TS a nível nacional. A segunda hipótese é passar pelo processo de marcação CE e posterior adaptação para uma TS.

3.5.1. HIPÓTESE 1: ELABORAÇÃO DE ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

O IPQ, enquanto ONN definiu as Regras e Procedimentos para a Normalização Portuguesa (RPNP) [3], que anula e substitui a Diretiva do Conselho Nacional de Qualidade (CNQ) a Diretiva CNQ 3/2001, e que foi aprovado pelo Despacho IPQ nº 26/2010 de 28 de setembro [41].

O RPNP estabelece as regras para o desenvolvimento de documentos normativos aprovados e editados pelo ONN. Determina ainda a sua tipologia, bem como os procedimentos que conduzem à sua adoção, homologação, aprovação, revisão, anulação e divulgação [3]. Segue-se um resumo do processo de criação de uma TS.

Para iniciar o processo de realização de uma TS é necessário criar uma Comissão Técnica (CT) que irá gerir todo o processo. Esta CT deve elaborar um anteprojecto de Especificação Técnica (aTS) de acordo com as regulamentações do RPNP e envia o aTS, juntamente com um relatório de aprovação de documentos normativos, para o organismo que coordena a CT. Este organismo por sua vez deverá:

- Analisar as objeções ocorridas na CT;
- Verificar que o aTS não interfere com o programa de normalizações de outras CT;
- Verificar a coerência do aTS com o RPNP e com as NP já existentes.

Se não houver objeções, o organismo deve validar o relatório de aprovação e este é enviado ao ONN. Se houver objeções, os documentos são remetidos de volta à CT autora, com as indicações dos motivos que justificam a sua alteração.

Após a análise dos documentos, o ONN toma uma das seguintes decisões:

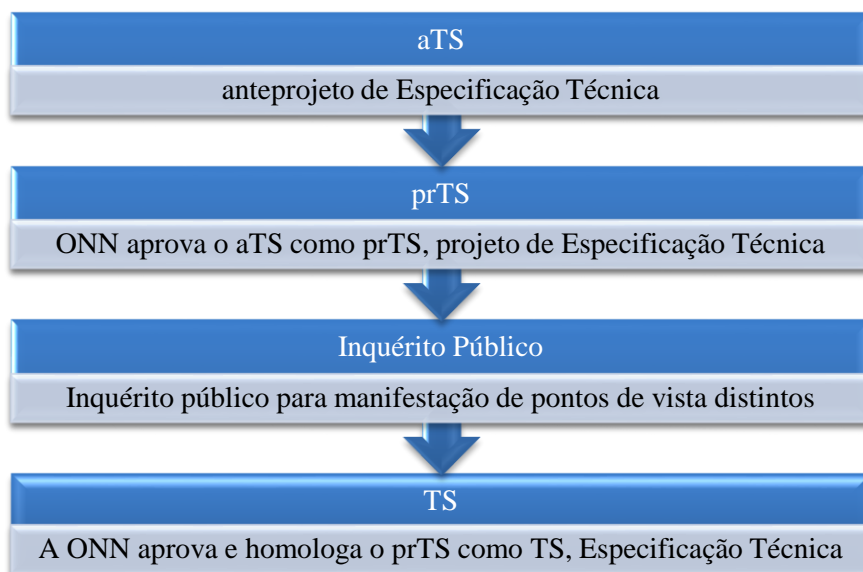
- Aprova o aTS como projeto de Especificação Técnica (prTS) para sujeição a inquérito público;

- Aprova o aTS como TS, quando a TS resulta da elaboração da versão portuguesa de uma ETA (Hipótese 2);
- Devolve os documentos ao organismo que coordena a CT, com as indicações dos motivos que justificam a necessidade de alteração do aTS.

Assumindo que o aTS passou para prTS, este é sujeito a um inquérito público, durante no mínimo 30 dias, que destina-se a permitir a manifestação de eventuais pontos de vista distintos dos que foram tidos em conta na elaboração do prTS. Terminado o prazo de inquérito público, os comentários recebidos serão remetidos ao organismo que coordena a CT autora, para apreciação. A CT deve preparar um novo relatório, justificando os comentários não contemplados no prTS e poderá passar à elaboração da proposta de passagem de prTS a TS.

Depois de ter assegurado que foram cumpridos todos os procedimentos aplicáveis, o ONN aprova e homologa o aTS (Hipótese 2) ou o prTS como TS que passam a integrar o acervo normativo português. Na Tabela 10, pode-se ver o procedimento simplificado para obter uma TS.

Tabela 10 – Procedimento simplificado para a obtenção de uma Especificação Técnica.



3.5.2. HIPÓTESE 2: ADAPTAÇÃO DE UMA ETA PARA UMA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

O processo de adaptação de uma ETA para TS, pode ser um método mais simplificado e menos moroso tendo em conta que uma ETA para estes Painéis aparentar já estar em desenvolvimento, como descrito no ponto 3.4. desta dissertação.

Para iniciar este projeto, a CT autora deverá traduzir o documento europeu para a língua portuguesa, após a tradução este documento passará a ser um aTS. Este juntamente com o relatório de aprovação de documentos normativos são submetidos a apreciação do organismo que coordena a CT, que deve validar o documento e enviar para apreciação do ONN.

Assumindo que o documento está conforme o RPNP e não seja necessário realizar alterações, o aTS pode ser homologado como TS e é adicionado ao acervo normativo português.

4

DESEMPENHO DOS PAINÉIS SANDUÍCHE DE SILICATO DE CÁLCIO, CIMENTO E EPS

4.1. INTRODUÇÃO

A construção com painéis sanduíche tem vindo a ser aplicada cada vez mais em situações que requerem níveis adequados de isolamento acústico e térmico para além de elevada resistência, rigidez e reduzido peso próprio. Com a obrigatoriedade de entrega de um certificado acústico em conjunto com as telas finais, à entidade licenciadora para o efeito de licenciamento acústico de edifícios, fez com que o mercado se dinamizasse para a qualidade e conforto acústico dos ocupantes.

Com a crescente consciencialização relativamente aos custos energéticos e um aumento ativo na redução de custos de energia da parte dos consumidores através da utilização de equipamentos energeticamente mais eficazes e redução do consumo de eletricidade caseiro, o papel do isolamento térmico dos edifícios tem ganho maior relevância como mais uma opção de redução de custos a médio/longo prazo. As perdas de energia podem ser reduzidas com um aumento de isolamento térmico e com a adequada adoção de sistemas de ventilação de forma a criar sistemas fechados de circulação de calor no edifício.

As boas propriedades de reação ao fogo, de modo a prevenir a ignição de incêndio, propagação de chamas e produção de fumos, são qualidades quase obrigatórias nos materiais utilizados. Estes devem possuir não só resistência suficiente para evitar o colapso das estruturas como também ser um bom isolador térmico e com boa estanqueidade, de modo a não contribuir para a propagação e desenvolvimento de um eventual incêndio.

4.2. COMPORTAMENTO ACÚSTICO

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) emitido no Decreto-Lei nº 129/2002 de 11 de Maio de 2002, atualizado pelo Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de Junho de 2008 [42], veio estabelecer os requisitos acústicos dos edifícios, com vista a melhorar as condições de qualidade acústica dos mesmos. Este tornou obrigatória a apresentação do relatório acústico nas seguintes situações:

- Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras;
- Edifícios comerciais e de serviços, e partes similares em edifícios industriais;
- Edifícios escolares e similares e de investigação;
- Edifícios hospitalares e similares;
- Recintos desportivos;
- Estações de transporte de passageiros;
- Auditórios e salas.

No que respeita aos painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS, quando comparados com outras soluções construtivas de peso reduzido, estes apresentam-se como bons isoladores acústicos, no entanto, comparado com soluções mais pesadas, como o betão e alvenarias, os Painéis exibem, em geral, reduzidas propriedades acústicas. Para obter o máximo isolamento acústico, deve-se ter em conta no dimensionamento dos Painéis, o local onde este irá ser montado para determinar fontes sonoras, o meio de propagação do som (via aérea ou percussão), a sua frequência e posteriormente fabricar ou escolher o Painel com as dimensões adequadas para esse ambiente.

Geralmente, é difícil designar a espessura ideal do Painel para maximizar as suas propriedades acústicas. Cada espessura tem uma frequência de ressonância diferente, daí ser importante conhecer antecipadamente as fontes sonoras e suas frequências nas proximidades do local onde o Painel irá ser instalado [43]. A variação da dissipação do isolamento sonoro de uma parede simples pode ser observada na Figura 4.1.

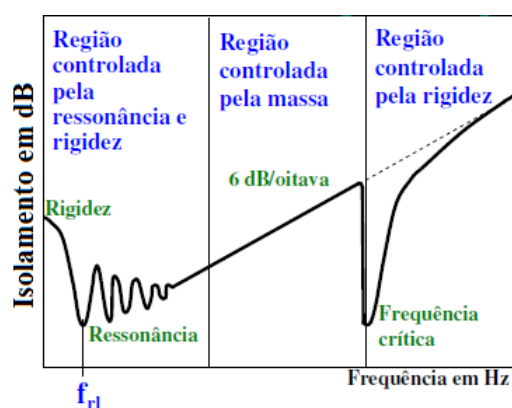


Figura 4.1 – Isolamento sonoro de uma parede simples [7].

A importância dos diferentes mecanismos de transmissão do som através de um sólido varia consoante a frequência desse som. Para frequências duas vezes superiores à mais baixa frequência de ressonância f_{r1} , a transmissão do som é controlada pela massa. Quando os Painéis são aplicados como elementos divisórios podem ser considerados equivalentes a uma parede simples, a sua redução sonora pode ser quantificada pelo índice de redução sonora através da fórmula da lei da massa [7], indicada pela fórmula 4.1:

$$R = 20 \cdot \log_{10}(f \cdot m) - 43 \text{ [dB]} \quad (4.1)$$

em que:

- R – índice de redução sonora [dB];
- m – massa por unidade de área [kg/m^2];
- f – frequência [Hz].

Esta expressão mostra que a redução sonora aumenta 6 dB por banda de oitava sempre que a frequência ou a massa duplicam e só é válida para frequências inferiores à frequência crítica (Tabela 11). Pode-se confirmar esta duplicação no seguinte exemplo nas células a verde. Um material com 200 kg/m^2 a uma frequência de 500 Hz, tem a mesma redução sonora que um material com 400 kg/m^2 a metade da frequência e vice-versa. A redução sonora também aumenta 6 dB a cada duplicação da frequência.

Tabela 11 – Exemplo da duplicação e aumento da redução sonora de 6 dB entre frequência e massa.

m (kg/m^2)	f (Hz)		
	250	500	1000
200	50,98	57,00	63,02
400	57,00	63,02	69,04

Este comportamento pode ser alterado pelo efeito de coincidência, o qual ocorre quando a velocidade do som no ar iguala a velocidade de transporte das ondas de flexão na placa. Neste momento, o núcleo age como uma mola e ocorre uma quebra na redução sonora dando-se uma perda considerável na capacidade de absorção sonora, sendo a frequência crítica o valor mais baixo de redução neste fenómeno.

A frequência crítica dos painéis sanduíche [11] pode ser calculada pela expressão 4.2:

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4E_n}{e_n \cdot (2 \cdot \rho_p \cdot e_p + \frac{\rho_n \cdot e_n}{3})}} \text{ [Hz]} \quad (4.2)$$

em que:

- f_c – frequência crítica [Hz];
- E_n – módulo de elasticidade do núcleo [MPa];
- e_n – espessura do núcleo [m];
- e_p – espessura das placas [m];
- ρ_n – densidade do núcleo [kg/m^3];
- ρ_p – densidade das placas [kg/m^3].

Esta equação é útil na previsão das frequências que causam o efeito de coincidência e assim, o Painel é dimensionado de modo a funcionar numa gama de frequências adequada.

Quanto ao índice de isolamento sonoro de sons aéreos ($D_{2m,nT,w}$), específico para cada caso referido no início deste subcapítulo, indica o valor mínimo para o conforto e qualidade acústica legalmente aceite segundo o RRAE, por exemplo, $D_{2m,nT,w} \geq 28$ dB, em zonas sensíveis [42]. O valor de $D_{2m,nT,w}$ pode ser estimado pela expressão 4.3:

$$D_{2m,nT,w} = R_w + \Delta R_w - TM_w + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,32 \cdot V}{S} \right) \text{ [dB]} \quad (4.3)$$

em que:

- $D_{2m,nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro de sons aéreos em elementos de fachada [dB];
- R_w – Redução sonora do elemento [dB];
- ΔR_w – Índice de isolamento sonoro das paredes duplas (parede simples $\Delta R_w = 0$) [dB];
- TM_w – Transmissões marginais [dB];
- V – Volume da sala [m^3];
- S – Área de parede na sala (Área do Painel multiplicado pelo número de painéis) [m^2].

Para determinar $D_{2m,nT,w}$ torna-se necessário conhecer a redução sonora ‘ponderada’ (R_w - que é o ‘valor de referência’ da redução sonora do material a uma frequência de 500 Hz) e que pode ser estimado pela expressão 4.4 (sendo $f=500$ Hz). Na Tabela 12 apresentam-se os valores para o R_w referentes aos painéis estudados. Importa referir que os valores das transmissões marginais (TM_w) são dependentes da soma de $R_w + \Delta R_w$ como pode-se observar na expressão 4.5:

$$\begin{aligned} \text{Se } 50 \leq m < 150 \text{ kg/m}^2 &\rightarrow R_w = 12,6 \cdot \log_{10}(m) + 12,6 \text{ [dB]} \\ m \geq 150 \text{ kg/m}^2 &\rightarrow R_w = 37,5 \cdot \log_{10}(m) - 42,0 \text{ [dB]} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Tabela 12 – R_w para Painéis com diversas espessuras.

Espessura Painel (mm)	m (kg/m ²)	R_w (dB)
60	45,0	33,43
90	68,0	35,69
120	91,0	37,28
150	114,0	38,52

$$\begin{aligned}
 & \text{Se } R_w + \Delta R_w < 35 \text{ dB} & TM_w = 0 \text{ dB} \\
 & \text{Se } 35 \leq R_w + \Delta R_w < 45 \text{ dB} & TM_w = 3 \text{ dB} \\
 & \text{Se } 45 \leq R_w + \Delta R_w < 55 \text{ dB} & TM_w = 4 \text{ dB} \\
 & \text{Se } R_w + \Delta R_w \geq 55 \text{ dB} & TM_w = 5 \text{ dB}
 \end{aligned}
 \tag{4.5}$$

Ao saber o local onde os Painéis serão empregues, sabe-se as dimensões do local e pode-se assim proceder para a verificação do $D_{2m,nT,w}$. Se o valor calculado for superior ao $D_{2m,nT,w}$ mínimo na legislação, os Painéis, para esse edifício, verificaram os valores de absorção sonora mínimos requeridos pelo RRAE. Se o valor for inferior, deve-se proceder ao aumento da espessura dos Painéis utilizados e/ou duplicar as placas do Painel aumentando a espessura das placas para o dobro e melhorando a redução sonora do Painel como um todo. A empresa PP Painel Portugal, Lda. realizou um ensaio acústico a um edifício (Tabela 13) e confirma que os Painéis verificam os valores de absorção sonora mínimos requeridos pelo RRAE.

Tabela 13 – Resultados do ensaio sonoro a sons de condução aérea numa moradia [23] (fornecido pela empresa PP Painel Portugal, Lda.).

ÍNDICE DE ISOLAMENTO SONORO A SONS DE CONDUÇÃO AÉREA PADRONIZADO ,D _{2m,nT,w}				
TIPO DE ENSAIO REALIZADO EM CASA CONSTRUÍDA COM PAINEL PORTUGAL ESPESSURA 90 mm		CRITÉRIO LEGAL CE	MEDIÇÃO "In situ" Moradia com painel PP	VERIFICAÇÃO
Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea ,padronizado ,D _{2m,nT,w} ,entre o exterior do edifício ,como local emissor e quartos ou zonas de estar dos fogos como locais receptores *Alínea a) do nº1 do artigo 5º do Decreto de Lei nº 96/2008				
FACHADA PRINCIPAL REFERENTE À SALA COMUM	AS = 11,55 A Env.=0,96 %Env=8,33% Ctr Calc.= -3	-ZONAS MISTAS D _{2m,nT,w} , > 33 dB	D _{2m,nT,w} , > 34dB	VERIFICA
		-ZONAS SENSÍVEIS D _{2m,nT,w} , > 28 dB	D _{2m,nT,w} , > 34dB	VERIFICA
FACHADA LATERAL DIREITA REFERENTE À SALA COMUM	AS = 9,25 A Env.=0,71 %Env=7,65% Ctr Calc.= -3	-ZONAS MISTAS D _{2m,nT,w} , > 33 dB	D _{2m,nT,w} , > 39dB	VERIFICA
		-ZONAS SENSÍVEIS D _{2m,nT,w} , > 28 dB	D _{2m,nT,w} , > 39dB	VERIFICA

4.3. COMPORTAMENTO TÉRMICO

A capacidade de isolamento térmico de um material é dada pela condutibilidade térmica, λ expressa em [W/m.°C]. Quanto menor o seu valor, maior é a capacidade de isolamento. Dependendo do material em questão, este parâmetro pode ser dependente da temperatura, espessura e humidade, os quais devem ser tidos em conta no cálculo do seu valor. Por exemplo, a lã de vidro na presença de humidade passa a ter uma condutibilidade térmica superior. Relativamente aos Painéis, por conterem um núcleo rígido e restringido por placas hidrófugas o efeito da humidade é reduzido.

Para efeitos de dimensionamento, utiliza-se geralmente a resistência térmica, que é o inverso da condutância térmica, tendo em conta a espessura do material, definindo assim as propriedades de isolamento térmico do material [7] e este é dado pela fórmula 4.6:

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \text{ [m.°C/W]} \quad (4.6)$$

em que:

- R_i – resistência térmica do material i [m.°C/W];
- e_i – espessura do material i [m];
- λ_i – condutibilidade térmica do material i [W/m².°C].

A resistência térmica total de um painel sanduíche assemelha-se a um problema de resistências em série, R_T [7], é dada pela expressão 4.7:

$$R_T = R_{si} + R_{se} + 2.R_P + R_N \text{ [m.°C/W]} \quad (4.7)$$

em que:

- R_T – resistência térmica total do painel sanduíche [m.°C/W];
- R_{si} – resistência térmica superficial interior [m.°C/W];
- R_{se} – resistência térmica superficial exterior [m.°C/W];
- R_P – resistência térmica da placa [m.°C/W];
- R_N – resistência térmica do núcleo [m.°C/W].

Quanto ao R_{si} e R_{se} , estes valores (Tabela 14) são facultados pela regulamentação de cada país. Em Portugal são fornecidos pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) que no Despacho n.º 15793-K/2013 indica que estes valores devem ser definidos de acordo com a EN ISO 6946 ou com as publicações do LNEC [44].

Tabela 14 – Valores correntes de R_{si} e R_{se} segundo o REH.

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica superficial (m. ² C/W)	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

Na Figura 4.2 pode-se observar os componentes de uma parede tradicional e de um Painel para uso em parede exterior e na Tabela 15, efetua-se um comparativo teórico entre um Painel para uso exterior e uma parede exterior dupla, com blocos de betão de 0,10 m e 0,15 m, reboco, isolamento térmico e estuque.

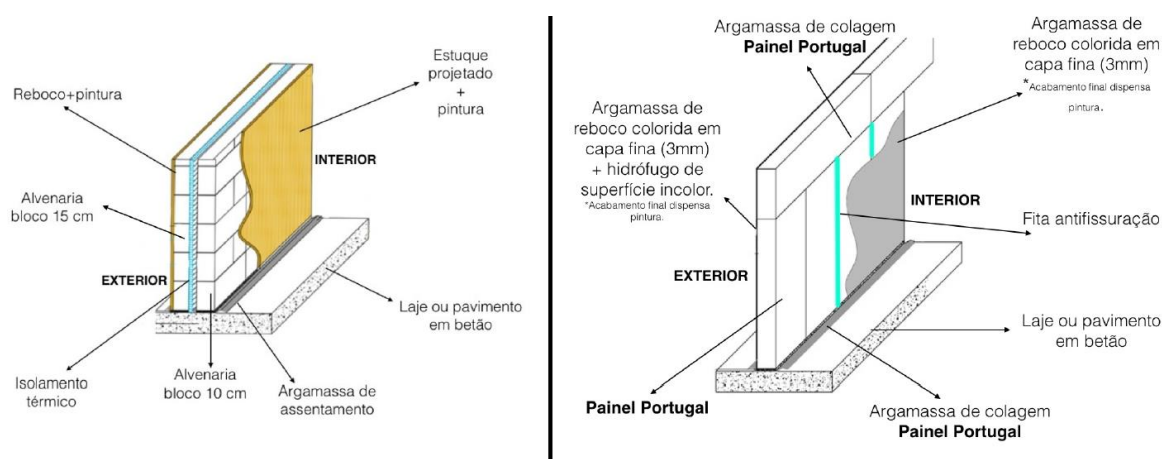


Figura 4.2 – Comparativo entre uma parede exterior dupla com isolamento convencional e um Painel de 150 mm (adaptado de [23]).

Verifica-se assim que os Painéis de silicato de cálcio, cimento e EPS, apresentam-se como bons isoladores térmicos, superando as propriedades térmicas de uma parede dupla convencional. Para além disso, reduzem a área de parede, aumentando o espaço interior útil. Outra característica intrínseca do Painel é o facto de este ser pré-fabricado em condições ambientais controladas, não havendo introdução de qualquer humidade na sua fabricação mantendo o núcleo protegido e isolado pelas placas. Aquando da sua instalação em obra, mesmo com condições adversas mantém as suas propriedades isolantes. As pontes térmicas nos Painéis geralmente são reduzidas, com a exceção de quando as fixações *in situ* são realizadas através de elementos metálicos que atravessem o Painel na sua totalidade, nesta situação as pontes térmicas por eles introduzidas podem tornar-se relevantes, devendo ser tidas em conta no dimensionamento.

Tabela 15 – Comparativo da resistência térmica total entre uma parede tradicional exterior dupla com isolamento e um Painel com 150 mm (cedido pela PP Painel Portugal, Lda.).

Parede exterior dupla solução tradicional				Parede exterior com Painel de 150 mm			
Material	e [m]	λ [W/m.°C]	R [m.°C/W]	Material	e [m]	λ [W/m.°C]	R [m.°C/W]
Reboco	0,020	1,300	0,0154	Barramento reboco fino	0,005	1,300	0,0038
Alvenaria de bloco de betão	0,100	1,050	0,0952	Placa silicato de cálcio	0,004	0,065	0,0615
Isol. térmico XPS	0,030	0,037	0,8108	Núcleo cimento e EPS	0,142	0,110	1,2909
Alvenaria de bloco de betão	0,150	1,050	0,1429	Placa silicato de cálcio	0,004	0,065	0,0615
Reboco	0,010	1,300	0,0077	Barramento reboco fino	0,005	1,300	0,0038
Estuque	0,020	0,300	0,0154	R_{se}			0,0400
R_{se}			0,0400	R_{si}			0,1300
R_{si}			0,1300	TOTAL R_T			1,5878
TOTAL R_T			1,1467				

em que:

- e – espessura do material [m];
- λ – condutibilidade térmica do material [W/m.°C];
- R – Resistência térmica do material [m.°C/W].

4.4. RESISTÊNCIA À ÁGUA

Segundo o teste realizado pela empresa PP Painel Portugal, Lda. os Painéis são impermeáveis à água e não se degradarão ao ficarem mais de um mês submersos ou expostos por muito tempo.

A quantidade de água absorvida pelo Painel é de 18% (da massa do provete seco), não apresentando dilatação ou deformação visível. A deformação, quando comparada com um Painel seco, é de 0,26% corroborando que o Painel é estável à humidade.

Após 25 ciclos de gelo/degelo comprova-se que o Painel é resistente ao gelo podendo ser utilizado em paredes e/ou tetos de câmaras frigoríficas com uma temperatura até -40 °C [23].

4.5. COMPORTAMENTO AO FOGO

Devido a um número excessivo de diplomas dificilmente harmonizáveis entre si, referentes ao comportamento ao fogo e segurança em edifícios, foi publicado o Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro, denominado de Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE). Este engloba as disposições regulamentares de segurança contra incêndio aplicável a todos os edifícios e recintos, baseando-se nos princípios gerais da preservação da vida humana, do ambiente e do património cultural, tendo como principais objetivos a redução de probabilidade de ocorrência de incêndios, limitar e minimizar o desenvolvimento de eventuais incêndios, facilitar a evacuação e o salvamento dos ocupantes em risco e permitir a intervenção eficaz e segura dos meios de socorro [45].

Segundo a informação da empresa PP Painel Portugal, Lda. (Tabela 16) no que se refere à norma EN 13501-1, *Fire classification of construction products and building elements* – Classificação ao fogo de produtos e elementos de construção, que o SCIE inclui nos seus parâmetros de classificação, os Painéis estudados classificaram-se na classe A1, a primeira classe na Tabela 17 transcrita do anexo I do SCIE [45].

Tabela 16 – Ensaio de reação ao fogo realizado segundo a norma EN 13501-1 [23] (informação fornecida pela empresa PP Painel Portugal, Lda.).

Reação ao fogo						
Itens	Critério Legal CE Espessura 100 mm	Critério Legal CE Espessura 150 mm	PP Painel Portugal Espessura 60 mm	PP Painel Portugal Espessura 90 mm	PP Painel Portugal Espessura 120 mm	PP Painel Portugal Espessura 150 mm
Prova de fogo /h	>1	>1	>3	>4	>4	>4

Tabela 17 – Classes de reação ao fogo para produtos de construção, excluindo pavimentos, segundo o anexo I do SCIE [45].

Classe	Fatores de classificação	Classificação complementar
A1	ΔT , Δm , t_f e PCS	
A2	ΔT , Δm , t_f , PCS, FIGRA, LFS e THR_{600s}	Produção de fumo «s1, s2 ou s3» e gotículas ou partículas incandescentes «d0, d1 ou d2».
B	FIGRA, LFS, THR_{600s} e F_t	Produção de fumo «s1, s2 ou s3» e gotículas ou partículas incandescentes «d0, d1 ou d2».
C	FIGRA, LFS, THR_{600s} e F_t	Produção de fumo «s1, s2 ou s3» e gotículas ou partículas incandescentes «d0, d1 ou d2».
D	FIGRA e F_t	Produção de fumo «s1, s2 ou s3» e gotículas ou partículas incandescentes «d0, d1 ou d2».
E	F_t	Gotículas ou partículas incandescentes «aprovação ou reprovação».
F	Desempenho não determinado.	

em que:

- ΔT – aumento de temperatura [$^{\circ}\text{C}$];
- Δm – perda de massa [%];
- t_f – tempo de presença da chama «duração das chamas persistentes» [s];
- PCS – poder calorífico superior [MJ.kg^{-1} , MJ.kg^{-2} ou MJ.m^{-2} , consoante os casos].

A classificação A1 refere-se aos produtos de fraca ou muito fraca fração orgânica, que são de facto pouco ou muito pouco combustíveis. Os critérios da norma requeriam mais que 1 hora de reação ao fogo e segundo a empresa os Painéis suportaram mais de 3 horas no Pannel com menor espessura e mais de 4 horas para os restantes.

4.6. DURABILIDADE A LONGO PRAZO

Para que se tornem numa alternativa viável a longo prazo os Painéis devem manter, ao longo da sua vida útil, uma série de propriedades, nomeadamente propriedades isolantes, resistentes e acabamento de superfícies. Os requisitos da durabilidade são complexos e variam com o tipo de aplicação dos Painéis.

Diversas ações, a longo prazo, podem provocar degradação nos Painéis tais como:

- Carregamentos prolongados, como o peso próprio e a neve;
- Carregamento cíclico, como por exemplo o vento;
- Humidade;
- Deformações e forças provocadas pela variação de temperatura;
- Degradação química dos componentes;
- Radiação solar na superfície do Pannel;
- Degradação do material adesivo;
- Danos por impacto no Pannel.

Estas ações podem causar perda de capacidade resistente, degradação das propriedades do Pannel e aumentar a deformação do mesmo. As variações de temperatura e de humidade podem originar condensações nas faces interiores das placas, podendo causar perda de aderência entre as placas e o núcleo, perda de propriedades isolantes e/ou degradação do material do núcleo. A radiação solar poderá alterar a cor das placas, principalmente em Painéis de fachada se estes não forem pintados, podendo não ser aceitável a nível estético [11].

Sendo assim, a qualidade dos materiais utilizados é de elevada importância. O material das placas e do núcleo deve ser submetido a ensaios/testes que comprovem o seu bom comportamento quando sujeitos a diferentes tipos de ações. A qualidade e durabilidade do material adesivo é também importante para garantir uma boa aderência entre as placas e o núcleo ao longo da vida útil do Painel. Para um estudo mais aprofundado, Davies [11] relata alguns métodos para examinar o efeito de algumas ações na durabilidade a longo prazo dos Painéis.

4.7. RESISTÊNCIA DOS PAINÉIS

O Painel pode sofrer de múltiplos modos de rotura, podendo limitar e condicionar a sua capacidade resistente. A capacidade de carga depende das dimensões do Painel, tais como a sua espessura e largura, e da geometria da estrutura em si, particularmente da largura dos suportes ou fixações. Apesar da resistência e de outras propriedades de um Painel poderem ser determinadas experimentalmente, é uma mais valia dispor de modelos analíticos que permitam estimar e descrever o comportamento do Painel.

São de referir que os esforços e a rigidez do Painel podem ser influenciados por diversos factores, tais como:

- O historial do carregamento;
- Idade do Painel, temperatura e humidade;
- Rotura por tração das placas;
- Rotura por corte do núcleo ou do material de aderência entre o núcleo e a placa (delaminação);
- Rotura nas zonas de fixação, por tração, compressão ou corte;
- Entre outros [11]...

4.7.1 ROTURA POR TRAÇÃO DAS PLACAS

A tensão de cedência e a resistência à tração das placas compósitas ou metálicas são, em geral, elevadas, pelo que a rotura à tração não condiciona, geralmente, a sua capacidade de carga. Noutros materiais como por exemplo a madeira, a rotura à tração pode ter uma maior relevância. A resistência das placas pode depender da duração da carga e da humidade do ambiente circundante [11].

Num Painel submetido a flexão, a rotura ocorre devido ao momento negativo que cria tensões de tração na placa superior na zona do apoio ou ao momento fletor positivo que cria tensões de tração na placa inferior a meio vão (Figura 4.3) [10].

O valor da tensão de rotura pode ser determinado através de ensaios à tração. A força de tração pura nas placas é alcançada pela fórmula 4.8.

$$P_u = e_p \cdot b \cdot \sigma_{ptu} \quad (4.8)$$

em que:

- P_u – força de tração última [kN];
- e_p – espessura conjunta das placas [m];
- b – largura do Paineel [m];
- σ_{ptu} – tensão última de tração nas placas [MPa].

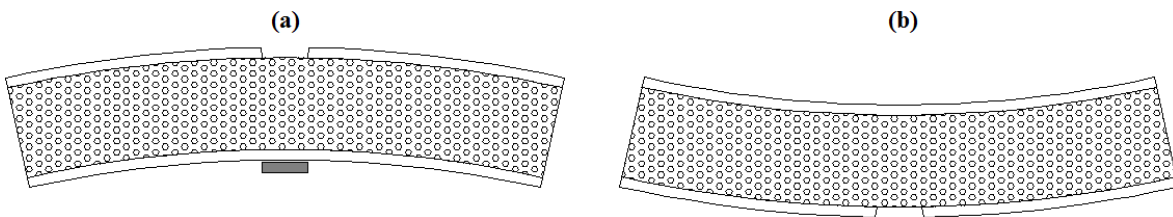


Figura 4.3 – Rotura por tração (a) na zona de apoio e (b) a meio vão (adaptado de [11]).

4.7.2 ROTURA POR CORTE DO NÚCLEO OU DO MATERIAL DE ADERÊNCIA ENTRE O NÚCLEO E A PLACA (DELAMINAÇÃO)

As zonas críticas respetivamente à rotura por corte são a meia altura do núcleo, onde as tensões de corte são máximas, e a zona de ligação entre o núcleo e as placas. Caso a rotura se dê pelo núcleo (Figura 4.4), podem ocorrer duas situações: (a) rotura frágil do núcleo ou (b) plastificação do núcleo [11].



Figura 4.4 – Rotura por corte do núcleo [11].

Visto que as placas utilizadas nos Painéis estudados são planas mas de baixa espessura, estas devem absorver parte da força de corte, tendo em conta que é o núcleo a absorver a maior parte do esforço de corte, sendo que o seu modo de rotura é o fator que condiciona a resistência ao corte do Paineel [10].

Se as tensões de corte do Painel provocarem, na ligação do núcleo com as placas, tensões tangenciais superiores à resistência do material aderente, então a rotura do Painel é condicionada por essa zona de ligação entre os materiais [11].

4.7.3 ROTURA NAS ZONAS DE FIXAÇÃO, POR TRAÇÃO, COMPRESSÃO OU CORTE

A rotura por tração junto a um apoio deve-se maioritariamente à sucção do vento ou a diferenças de temperatura entre as placas do Painel e está dependente do sistema de fixação do Painel ao elemento estrutural.

Se a fixação se der ao longo do Painel continuamente, isto é, se não for um elemento de apoio pontual, a determinação da resistência do Painel na zona de apoio pode ser efetuada conforme referido para as reações de compressão. No entanto, se a fixação for concebida diretamente com parafusos, a resistência e flexibilidade do Painel nessa zona é diferente. O parafuso, quando tracionado, causa imperfeições significativas na zona de contacto, causando a redução da resistência à compressão da placa no suporte. Essa redução é função da localização do parafuso na placa e da geometria do próprio parafuso [11].

Uma das formas mais comuns de fixar Painéis é através de parafusos alongados que atravessam o Painel até a estrutura de suporte, fazendo com que estes fiquem sujeitos a forças de tração podendo causar instabilidade na placa e/ou arrancamento do parafuso, sendo uma matéria ainda a ser estudada segundo Davies [11]. A Figura 4.5 representa as roturas por tração e por corte da ligação.

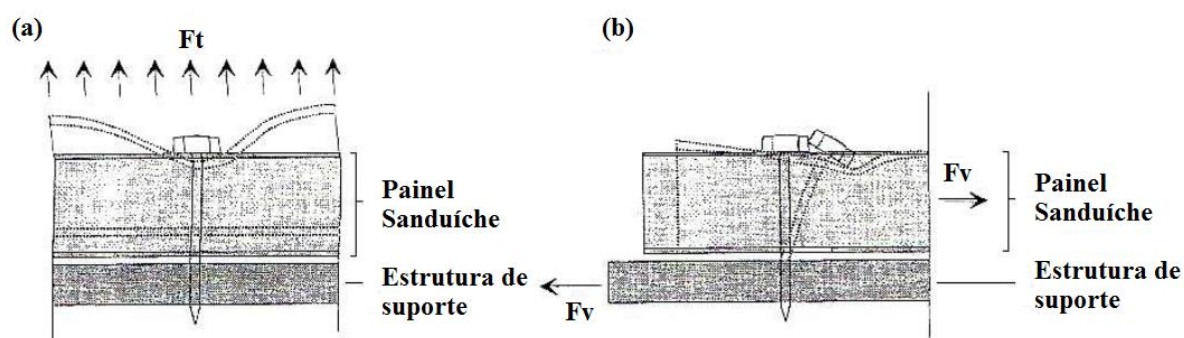


Figura 4.5 – Rotura (a) por tração e (b) por corte da ligação (adaptado de [11]).

5

PORMENORIZAÇÃO CONSTRUTIVA DOS PAINÉIS

5.1. LIGAÇÕES ENTRE PAINÉIS

Devido a serem pré-fabricados, as dimensões dos Painéis são limitadas, por isso é necessário dispor de métodos de ligação entre vários Painéis. Existem diversas soluções para o efeito, devendo ser adotada aquela que melhor se enquadra ao local e função que os Painéis desempenham. A ligação de Painéis montados de forma adjacente pode ser realizada através de colagem (Figura 5.1) ou por encaixes macho-fêmea, sendo o ideal uma mistura das duas ligações. Podem também ser ligados através de chapas metálicas ou perfis metálicos. Por serem pré-fabricados, podem ser desenhados e fabricados Painéis com formatos especiais para zonas específicas.

Quanto aos encaixes, cada Painel tem um bordo macho e outro fêmea perfilados em cada extremidade, que podem ser de várias formas, consoante o fabricante, no entanto têm de ser correspondentes. Estes bordos fornecem as conexões entre Painéis em obra. Se for necessário criar um bordo em obra, podem ser fabricados através de corte, criando sulcos correspondentes no bordo adjacente do Painel a inserir no perfil. A Figura 5.2 mostra a ligação vertical entre Painéis, as Figura 5.3 a 5.6 exemplificam diferentes encaixes macho-fêmea. Na Figura 5.7 os Painéis são ligados com colagem e chapas metálicas laterais e na Figura 5.8 os Painéis são ligados através de um perfil com seção em H.

Para a ligação entre Painéis dispostos perpendicularmente entre si, as figuras seguintes mostram algumas soluções possíveis mais comuns, para ligações em “L” e em “T”. No primeiro caso, ligação em “L” (Figura 5.9), a ligação pode ser realizada por: (i) remates simples (não assegurado, porém completamente estanque), (ii) com elementos extrudido em “L”, (iii), com elemento especial para a produção de cantos redondos ou (iv) com formas mais específicas.

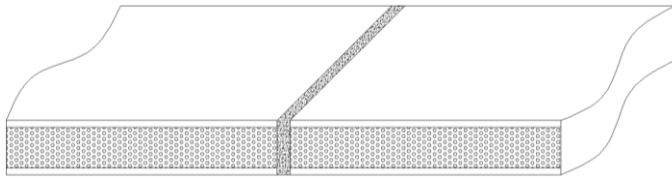


Figura 5.1 – Ligação entre Painéis por colagem.

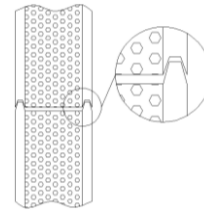


Figura 5.2 – Ligação vertical entre Painéis.

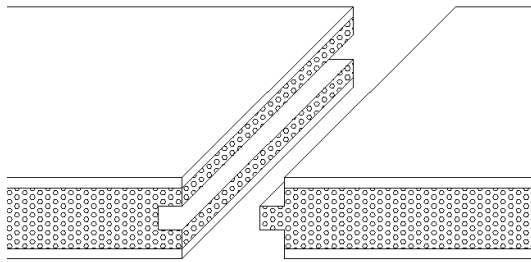


Figura 5.3 – Ligação entre Painéis por encaixe retangular.

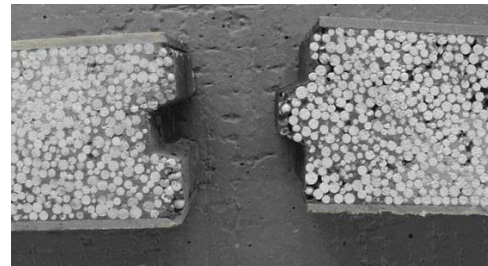


Figura 5.4 – Ligação entre Painéis por encaixe trapezoidal.

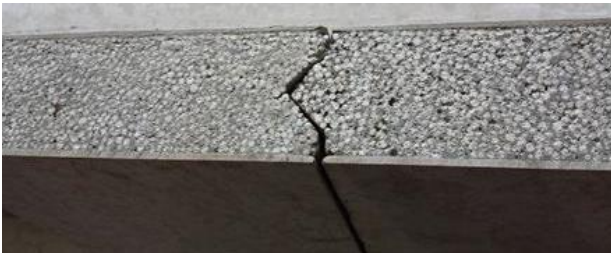


Figura 5.5 – Ligação entre Painéis por encaixe triangular.



Figura 5.6 – Ligação entre Painéis por encaixe semicircular.

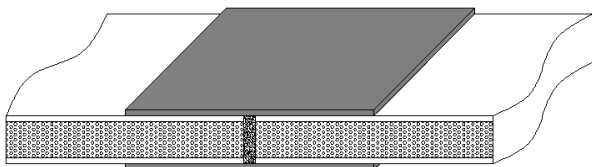


Figura 5.7 – Ligação entre Painéis com chapas metálicas laterais e colagem.

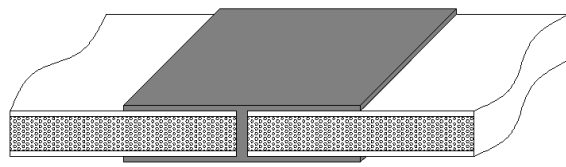


Figura 5.8 – Ligação entre Painéis com perfil com seção em H.

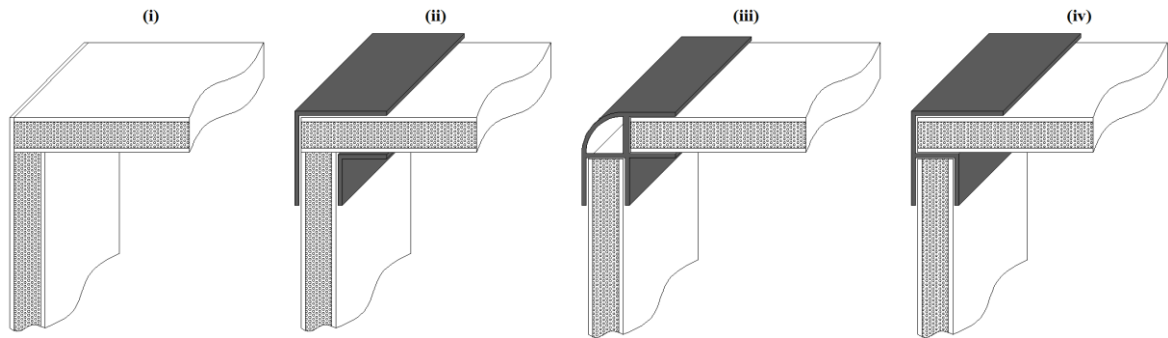


Figura 5.9 – Ligações entre Painéis em “L” (adaptado de [46]).

Os bordos dos Painéis podem constituir zonas de fraqueza, suscetíveis a impactos localizados e a degradação sendo a sua selagem um aspeto importante a considerar. Essas zonas devem ser reforçadas para evitar a entrada de humidade e melhor aspeto estético.

No segundo caso, ligação em “T” (Figura 5.10), a ligação pode ser realizada (i) por elementos em “L” ou (ii) por elementos em “L” unificados para que os Painéis não se toquem. A Figura 5.11 exemplifica dois exemplos de junção especiais de Painéis, em “L” em que o canto redondo é ele também fabricado especialmente com o mesmo material dos Painéis, e no outro exemplo, o Painel vertical é incorporado diretamente no Painel horizontal, através de um corte no mesmo.

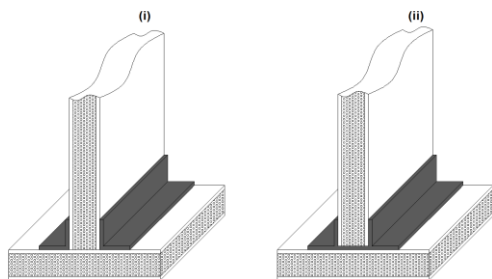


Figura 5.10 – Ligações entre Painéis em “T” (adaptado de [46]).

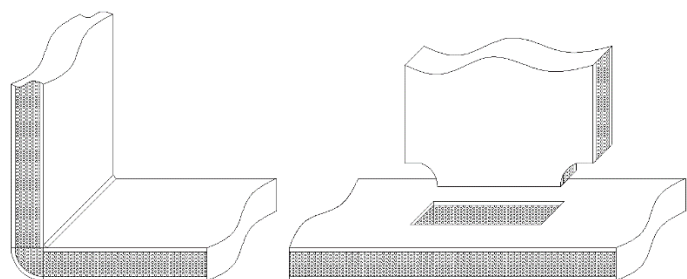


Figura 5.11 – Ligações entre Painéis especiais (adaptado de [46]).

5.2. LIGAÇÕES ENTRE PAINÉIS E OUTROS ELEMENTOS DA CONSTRUÇÃO

Devido às zonas de ligação entre Painéis e estruturas de suporte serem zonas de maior fraqueza, o dimensionamento destas são de grande importância para o bom funcionamento e desempenho dos Painéis. Deste modo, Davies [11] indica três requisitos que devem ser cumpridos pelas ligações:

- Função: assegurar a estanqueidade à água e ao ar, o isolamento térmico e acústico e a resistência mecânica adequada;
- Estética: deve ser considerada no método de fixação do Painel e na conceção das ligações;

- Execução: a aplicação das ligações deve ser exequível, principalmente no caso de condições de trabalho adversas, como fachadas de prédios altos e/ou mau tempo, deve-se adotar a solução mais simples possível.

Existem vários detalhes que podem ser utilizados na construção com Painéis e adiciona-se ainda que cada construtor acrescenta as suas próprias soluções em cada situação particular, daí haver muitas soluções diferentes para problemas similares. Estes requisitos devem ser adaptados consoante o local e a orientação que os Painéis serão colocados. No entanto, qualquer solução tem requisitos de desempenho semelhantes que geralmente são uma questão de construção física em vez de resistência estrutural. Estes serão mais desenvolvidos nas duas utilizações mais comuns destes Painéis.

De seguida, são referidos os principais requisitos e algumas soluções para diferentes disposições de Painéis.

5.2.1. PAINÉIS EM PAREDES EXTERIORES

Ao instalar os Painéis em paredes de fachada, especialmente em edifícios altos, deve-se ter em atenção as fixações nos suportes intermédios onde o risco de haver recuo da superfície do Painel devido a ventos fortes ou cargas térmicas é grande.

Em geral, as paredes exteriores devem cumprir os requisitos seguintes:

- Evitar a penetração de água e humidade e a retenção de lixo;
- Garantir a segurança contra fogo;
- Resistir às ações da chuva e do vento;
- Adaptar-se às variações dimensionais causadas por gradientes térmicos;
- Satisfazer o efeito estético desejado.

Para fixar um Painel a um elemento estrutural pode-se fazer pela extremidade ou numa zona intermédia do Painel, através de parafusos.

As figuras seguintes demonstram diferentes sistemas de ligação entre Painel e elemento de suporte através de parafusos. Na Figura 5.12 a ligação é feita através dos Painéis e aparafusada (i) num perfil metálico, (ii) num perfil metálico incorporado no elemento estrutural e (iii) num perfil metálico conectado ao elemento estrutural.

Na Figura 5.13 a ligação é feita através da junta de ligação entre Painéis e aparafusada num perfil metálico, no entanto para reforçar a ligação, são utilizadas placas de proteção. Caso as fixações estejam a descoberto, devem ser constituídas de materiais resistentes à corrosão e desgaste para evitar ferrugem

na fachada e possível redução de desempenho. Diferentes pormenores de ligação a outros elementos da construção são apresentados nas Figura 5.14 a 5.16.

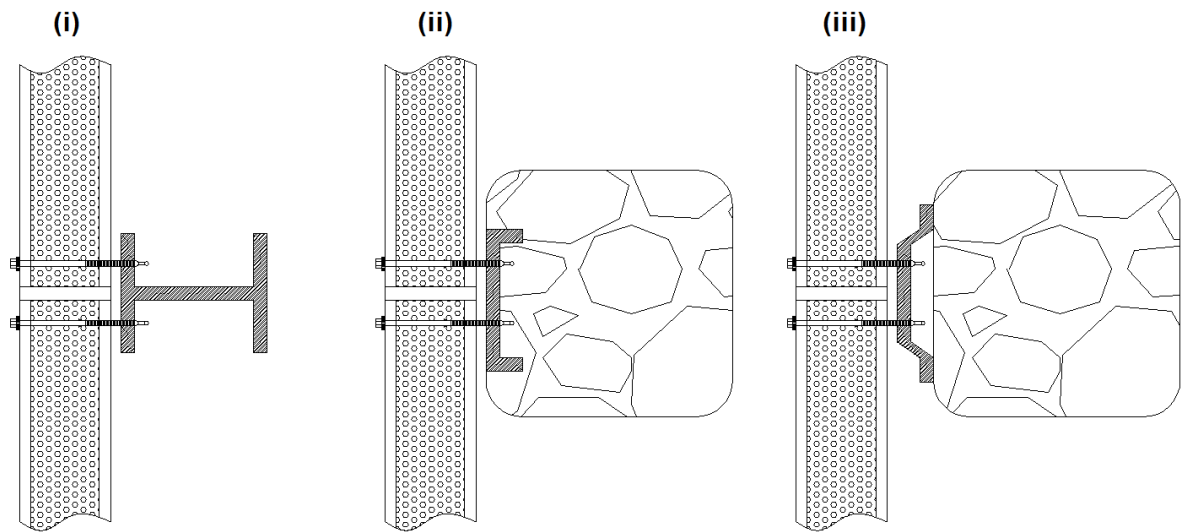


Figura 5.12 – Diversas ligações entre Painel e elemento estrutural (adaptado de [11]).

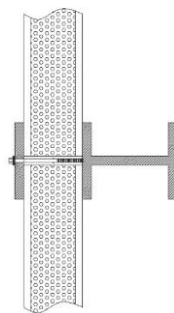


Figura 5.13 – Ligação com parafusos que atravessam a junta de ligação (adaptado de [11]).

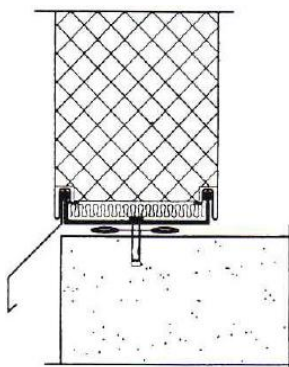


Figura 5.14 – Pormenor de ligação do Painel a um elemento horizontal (adaptado de [11]).

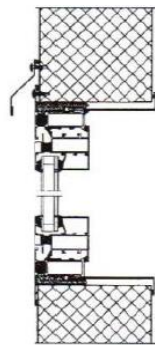


Figura 5.15 – Pormenor da ligação do Painel a uma janela (adaptado de [11]).

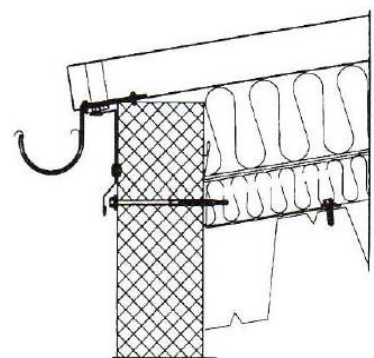


Figura 5.16 – Pormenor de ligação numa cornija (adaptado de [11]).

5.2.2. PAINÉIS EM PAREDES INTERIORES

Os principais requisitos de desempenho para ligações em paredes interiores são o isolamento acústico e a segurança contra incêndio. Para um melhor isolamento acústico as ligações necessitam de ser cuidadosamente seladas, especialmente nas zonas com portas e nas esquinas.

As paredes interiores de um edifício funcionam como um todo porque dividem-no em compartimentos capazes de retardar o incêndio. Um dos processos comuns para prevenir a propagação de incêndios é a colocação de lã de rocha nas zonas de ligação entre os diversos elementos, como exemplificado nas Figura 5.17 a 5.19.

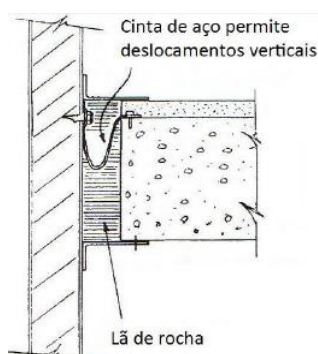


Figura 5.17 – Sistema de ligação entre pavimento e parede (adaptado de [11]).

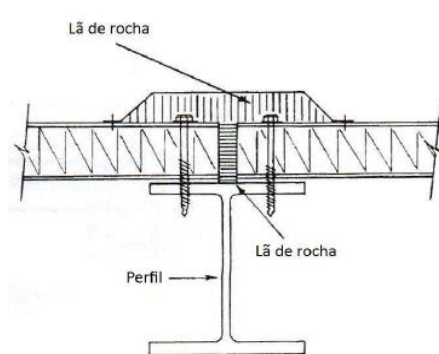


Figura 5.18 – Sistema de ligação entre dois Painéis e o suporte em “I” (adaptado de [11]).

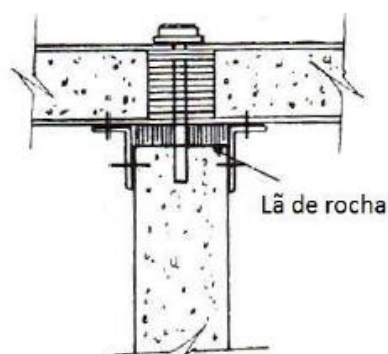


Figura 5.19 – Sistema de ligação entre dois Painéis e o suporte (parede) (adaptado de [11]).

5.3. REGRAS PARA A APLICAÇÃO EM OBRA

A aplicação dos Painéis (Tabela 18) varia consoante a espessura do núcleo, isto porque os núcleos com maior espessura suportam carregamentos maiores e vice-versa. São maioritariamente utilizados na execução de panos de parede, como divisórias e fachadas.

Os Painéis devem ser manuseados com cuidado em obra, de modo a não causar qualquer dano que possa alterar as suas características, tanto estética como de resistência.

Ao colocar os Painéis lado a lado, o espaçamento entre os mesmos não deverá exceder os 20 mm. Na execução dos panos de parede, primeiro são colocados no seu comprimento e só depois em altura.

Tabela 18 – Exemplos de aplicações dos Painéis [23].

Espessura do núcleo (mm)	Aplicação
60	Revestimento de pavimentos em substituição da betonilha, Wallmate, Roofmate e malha metálica;
	Paredes de encosto interior/exterior;
	Portões de correr/abrir integrado num aro metálico;
	Bancadas ou tampos;
	Modulação/decoração de espaços comerciais.
90	Paredes e divisórias interiores (habitação escritórios, comércio, hotelaria, edifícios públicos, indústria, entre outros...)
120 e 150	Paredes exteriores (habitação, escritórios, comércio, hotelaria, edifícios públicos, indústria, entre outros...)

Para realizar a colagem de Painel com Painel ou Painel com elementos estruturais existentes, deverá ser efetuada com recurso a uma argamassa de colagem e barramento, reforçada com fibras, com ótimo comportamento mecânico e excelente repelência à humidade. Esta argamassa deve ser elaborada e preparada com o mesmo material de fabricação dos Painéis, evitando assim, qualquer reação química indesejável. A aplicação desta argamassa pode ser observada na Figura 5.20.

As juntas entre Painéis devem também ser preenchidas com esta argamassa, e após a secagem do produto de colagem, aplica-se uma fita anti fissuras e outra camada de argamassa. Com esta segunda camada ainda fresca, reforça-se a ligação aplicando uma rede de fibra de vidro (Figura 5.21), com tratamento antialcalino. Para estes barramentos, utiliza-se uma talocha metálica com uma espessura de 2 a 3 mm [23].



Figura 5.20 – Aplicação da argamassa de colagem.



Figura 5.21 – Aplicação da rede de fibra de vidro, na segunda camada de argamassa ainda fresca.

5.4. ESQUEMA DE MONTAGEM DOS PAINÉIS

Nas Figura 5.22 e Figura 5.23 demonstram-se a correta montagem dos Painéis para uma zona que inclui uma porta e outra zona com janela, respetivamente. Na Figura 5.23 o aproveitamento dos Painéis pré-fabricados pode ser observado na zona inferior da janela onde um Painel (4) de tamanho padrão é dividido em duas partes iguais para suportar a janela e não ceder ao desperdício. Outro exemplo é o Painel que foi dividido nos Painéis 2 e 13.

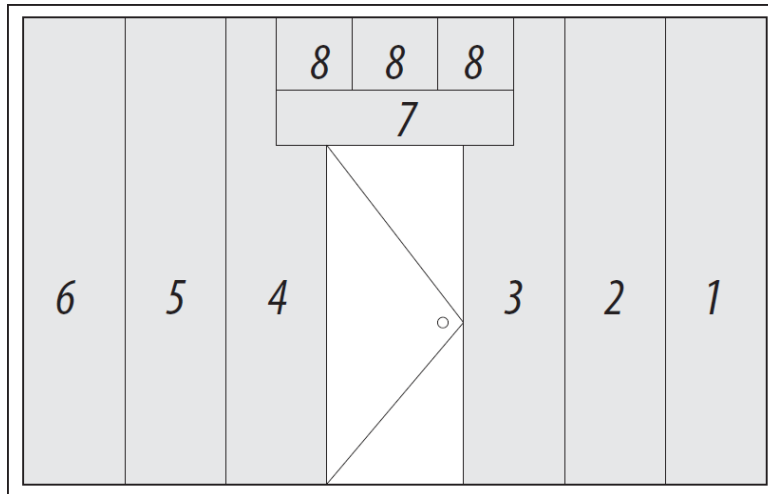


Figura 5.22 – Esquema de montagem em zona de porta (adaptado de [23]).

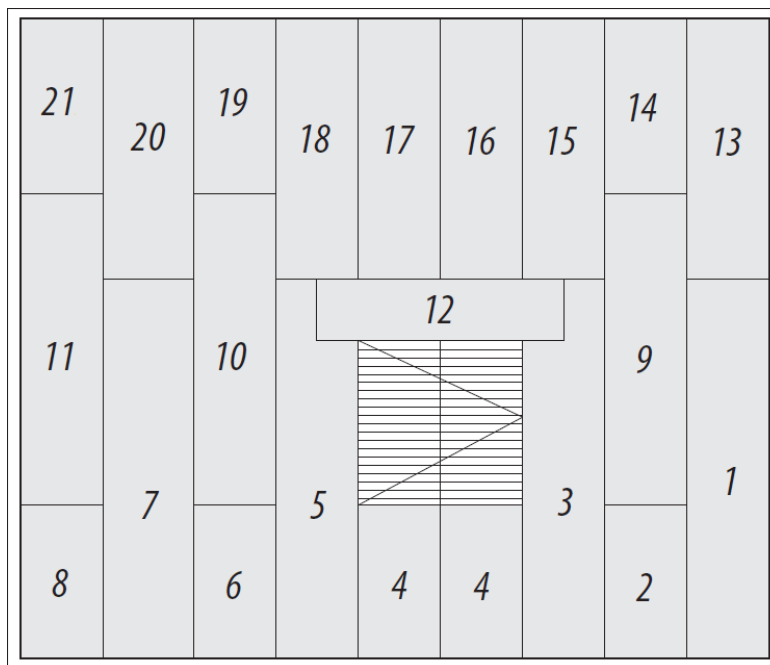


Figura 5.23 – Esquema de montagem em zona de janela (adaptado de [23]).

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. NOTAS FINAIS E CONCLUSÕES

Ao longo desta dissertação foi apresentado de forma detalhada informação disponível aplicável aos painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS, tendo em vista os objetivos previamente estabelecidos. Neste trabalho deu-se a conhecer este tipo de material apresentando as suas qualidades e possíveis aplicabilidades como material alternativo aos métodos convencionais de construção. Foram referidas as principais características dos Painéis que conduzem às suas principais vantagens e desvantagens.

Por ser um material recente, a pesquisa teórica mostrou-se limitada, porque a literatura disponível é ainda escassa. Para além de escassa, a literatura existente refere-se essencialmente a painéis sanduíche de modo generalizado, isto é, não se aplica a nenhum painel sanduíche específico (devido às inúmeras combinações possíveis). Assim, foi necessário, sempre que possível, adaptar informação constante na literatura aos painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS.

No que respeita à informação diretamente sobre painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS, não só foram encontradas informações contraditórias como também verificou-se que informação existente carece de veracidade científica reconhecida – facto que fez com que a pesquisa de informação tenha sido um processo moroso e muito seletivo.

Verifica-se que há uma significativa falta de conhecimento sobre o produto e de conhecimento técnico pelos donos de obra, construtores, arquitetos, engenheiros e público em geral. Se estes intervenientes no processo construtivo estiverem cientes do potencial deste tipo de Painéis, estes serão equacionados em projetos futuros. Este problema é agravado pela falta de investigação científica, falta de padronização e especificações dentro da indústria. Tal como qualquer outro novo sistema de construção, a primeira vez que um construtor tiver a oportunidade de incorporar os Painéis numa obra, é provável que se depare

com alguns problemas. No entanto, este tipo de construção necessita da utilização de equipamentos de construção correntes e tem uma curva de aprendizagem rápida.

O crescimento da indústria dos Painéis depende dos fabricantes. Estes necessitam de investir no mercado nacional e internacional, investir na otimização da qualidade de fabrico do produto e propor a criação de uma norma europeia harmonizada para permitir a marcação CE, podendo garantir e transmitir aos consumidores, as qualidades e vantagens na construção com Painéis. Julga-se que após a realização de testes normalizados, a aposta na marcação CE irá permitir um novo mercado internacional onde os Painéis poderão expandir-se e tornar-se competidores sérios aos materiais convencionais da construção, nomeadamente na substituição de alvenaria não estrutural de blocos e tijolo.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os painéis sanduíche de silicato de cálcio, cimento e EPS são considerados um material relativamente recente na indústria da construção, demonstrando um enorme potencial como uma alternativa construtiva em diversas aplicações. No entanto, ainda merecem ser objeto de estudo, de investigação mais aprofundada de maneira a aperfeiçoá-los e adaptá-los às aplicações previstas e às futuras. Mesmo não sendo necessário obter a marcação CE e apesar de ser um processo moroso, recomenda-se a aposta na mesma devido ao potencial a nível de divulgação e demonstração de qualidade do produto que esta representa.

Nesse sentido, são assinaladas diversas matérias e aspetos suscetíveis a serem desenvolvidos e investigados em trabalhos futuros:

- Investigar a ETA já em desenvolvimento “*Thermal Insulation Board Made of Expanded Polystyrene (EPS) and Cement*” e se esta incluir na sua totalidade os Painéis aqui estudados, desenvolver em conjunto com as entidades competentes a marcação CE para este produto;
- Realizar uma caracterização mais aprofundada e completa das suas características e efetuar uma ficha técnica com as mesmas, tendo em vista a comercialização dos Painéis;
- Fazer um levantamento do comportamento e propriedades mecânicas dos Painéis;
- Caracterizar as suas propriedades físicas e mecânicas nas diferentes espessuras sugeridas, nomeadamente realizar ensaios/testes aos coeficientes de transmissão térmica; permeabilidade ao vapor de água; permeabilidade à água por capilaridade; reação ao fogo; resistência ao fogo; isolamento sonoro a sons aéreos e de percussão; estanquidade à água; permeabilidade ao ar;

resistência a cargas com direção transversal e longitudinal; resistência ao choque; resistência a cargas suspensas, entre outros relevantes;

- Avaliar as condições de aplicabilidade em pisos de edifícios e tabuleiros de pontes pedonais, tendo em conta os requisitos regulamentares para as mesmas;
- Estudo do efeito da fluência e da resistência à fadiga dos Painéis;
- Estudo sobre viabilidade das aplicações estruturais, especialmente à possibilidade de aplicação dos Painéis como alternativa à alvenaria simples e, eventualmente à alvenaria confinada de tijolos e blocos, dando ênfase às espessuras desejáveis, resistências necessárias e a necessidade de incorporar armaduras ou fibras de reforço no núcleo.

REFERÊNCIAS

1. Europe Direct, A. *O que é uma Directiva Comunitária?* Consultado a 08 de setembro de 2014. http://www.europe-direct-aveiro.aeva.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=91:faq22&catid=31:general&Itemid=46.
2. Parlamento Europeu e do Conselho, *Regulamento (UE) n.º 305/2011 de 09 de março de 2011*, em Jornal Oficial da União Europeia.
3. I.P.Q., *Regras e Procedimentos para a Normalização Portuguesa*. 2010.
4. *Química e Tecnologia dos Poliuretanos*. Consultado a 03 de setembro de 2014. <http://www.poliuretanos.com.br/>.
5. Pinheiro, D., *Análise Estática e Dinâmica de Painéis Corrugados Construídos em Materiais Compósitos - Tese de Mestrado*. 2010, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
6. Jelle, B.P., *Energy and Buildings*. Elsevier, 2011.
7. Maia, L., *Apontamento teóricos de Acústica e Térmica - Física das Construções, Universidade da Madeira*. 2013.
8. Correia, J.R., *Utilização de Perfis Pultrudidos de Fibra de Vidro (GFRP) na Construção - Apontamentos Instituto Superior Técnico*. 2006.
9. J. Brito, I.F., *Diagnóstico, patologia e reabilitação de construções em betão armado - Apresentação Instituto Superior Técnico*. 2005.
10. Almeida, M.I.a.d., *Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicações na indústria da construção - Tese de Mestrado*. 2009, Instituto Superior Técnico.
11. Davies, J.M., *Lightweight Sandwich Construction*, ed. J.M. Davies. 2001: Cib Working Commission.
12. Divinycell, *DIAB Sandwich Handbook*. 2001.
13. Allen, H.G., *Analysis and Design of Structural Sandwich Panels*. 1969: Elsevier Ltd.
14. Perfitec. 2013. Consultado a 05 de março de 2014. <http://www.perfitec.pt/index.php?page=46>.
15. Hexcel, *Honeycomb Sandwich Design Technology*. 2000.
16. Corp, M.C.G. *A composite Sandwich Panel Review*. 1997.
17. Sika, *Ficha de Produto Icosit K 101 N - Ligante epoxi estrutural em dois componentes*. 2011.
18. Verne Tan, T., Lim J., Chanel L., *Shelter - History and Evolution*. Consultado a 12 de março de 2014. <http://shelwertwc.weebly.com/history-and-evolution.html>.
19. Freitas, J., Rodrigues, P., Rodrigues, R., Faria, R., Araújo, S., *Cofragens*. 2013, Universidade da Madeira.
20. Capaldi, X., *Ancient Egyptian Mud Brick Construction: Materials, Technology, and Implications for Modern Man*. 2011.
21. P & W Industry. *Villas e Prédios*. 2012. Consultado a 19 de junho de 2014. <http://www.pwindustrygroup.com/index.asp>.
22. Leite, M., Freitas, M., Silva, A. *Sandwich Construction - Apresentação Instituto Superior Técnico*. 2004.
23. Portugal, P.P. 2012. Consultado a 27 de agosto de 2014. www.painelportugal.com.
24. Nichias Co., L., *Calcium silicate board and method of manufacturing - Patente EP 1 142 848 B1*, E.P. Office, Editor. 2004.
25. Hause, T.J., *Thermomechanical Postbuckling of Geometrically Imperfect Anisotropic Flat and Doubly Curved Sandwich Panels - Tese de Doutoramento*. 1998, Faculty of Virginia Polytechnic Institute.
26. Zhou, F., *Ultimate Strength of Clamped Steel-Elastomer Sandwich Panels under Combined In-plane Compression and Lateral Pressure - Tese de Doutoramento*. 2008, Virginia Polytechnic Institute and State University.

27. S. Moussaddy, M.A.-W., N. Moubayed, P. Davies, *Etude du comportement dynamique de panneaux sandwichs a l'impact*, in *7th International Conference on Eletromechanical and Power Systems*. 2009: Roménia.
28. V-Panel. Consultado a 10 de julho de 2014. <http://www.v-panelaustralia.com/index.html>.
29. Young, N., *Natural Fibre Cement Composites - Tese de Doutoramento*. 1995, Victoria University of Technology, Australia.
30. Aexclusiva. *Magnésiopan - MgO painel anti humidade e ignífugo*. Consultado a 21 de setembro de 2014. <http://www.aexclusiva.com/paineis-mgo/>.
31. EPS Industry Alliance, *EPS Recycling Rate Report*. 2013.
32. Gil, L., *Cork Composite: A Review*. Materials, 2009.
33. Argex, *Betão Leve - Relatório*. 2007.
34. Secil Argamassas, *ISODUR reboco térmico projetado - Relatório*. 2011.
35. A.P.Q., *Organismos de Normalização*. Consultado a 09 de setembro de 2014. <http://www.apq.pt/conteudo.aspx?id=145>.
36. Pinto, H.M.M.A.G., *Análise de Requisitos para obtenção de Marcação CE em Fontes de Alimentação Ininterruptas - Tese de Mestrado*. 2010, FEUP.
37. EOTA. *European Organisation for Technical Assessments*. Consultado a 02 de setembro de 2014. www.eota.eu.
38. Europeia, C., *Regulamento Delegado (UE) N.º 574/2014 da Comissão de 21 de fevereiro de 2014*. Jornal Oficial da União Europeia, 2014.
39. Network, E.E., *CE Marking*, em *Enterprise Europe Network London*. 2010.
40. Bautechnik, D.D.I.f. *European Technical Approvals (ETA) - Areas of approvals*. Consultado a 29 de Agosto de 2014. www.dibt.de/en/Approvals/ETA-Zulassungsbereiche.html.
41. I.P.Q., *Despacho IPQ nº 26/2010 de 28 de setembro*. 2010.
42. Diário da República, *Decreto-Lei nº 96/2008 - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE)*. 2008.
43. DIAB, *Acoustic Behavior of Sandwich Panels - Artigo*. 2000.
44. Diário da República, *Decreto Lei n.º 118/2013 - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)*. 2013.
45. Diário da República, *Decreto-Lei nº 220/2008 - Segurança Contra Incêndios em Edifícios (SCIE)*. 2008.
46. Composites, H. *Sandwich panel fabrication technology*. 1997.