

COMPÓSITOS DE CORTIÇA APLICADOS AO MERCADO DA REABILITAÇÃO URBANA E DA CONSTRUÇÃO LEVE

RITA DAMIÃO MADEIRA

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

Orientadora: Professora Doutora Ana Sofia Moreira dos Santos
Guimarães Teixeira

JULHO DE 2021

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2020/2021 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021*.

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

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

Aos meus Pais e namorado

AGRADECIMENTOS

A conclusão da presente dissertação resulta numa profunda reflexão de todo o meu percurso académico, ao qual me dediquei com bastante esforço e empenho para superar todas as adversidades que surgiram, e de todas as pessoas que me auxiliaram e contribuíram, de forma direta ou indireta, para o meu sucesso académico de forma a alcançar os meus objetivos.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha orientadora, Professora Ana Sofia Guimarães, por toda a simpatia, disponibilidade, apoio e orientação que me deu ao longo da realização desta dissertação.

O meu sincero obrigado à ACC (Amorim Cork Composites) por me ter dado a oportunidade da enriquecedora experiência em pertencer à equipa de estagiários na área da Inovação e contactar com o mundo do trabalho. Em especial, agradeço à minha responsável pelo acompanhamento do meu trabalho, Engenheira Joana Trindade, e também ao Engenheiro Eduardo Soares que foram incansáveis na ajuda prestada e sempre se disponibilizaram na orientação do meu trabalho.

Quero também agradecer aos meus Pais pelos valores que me passaram, pela disponibilidade em me ajudar, pelo apoio incondicional e que sempre tudo fizeram pela minha educação e para me garantirem um futuro melhor.

Um especial agradecimento ao meu namorado pelo apoio, paciência, companheirismo e por acreditar em mim nos momentos mais difíceis que me fizeram duvidar de mim própria.

Por fim, aos meus amigos e companheiros de faculdade, Salomé Bessa, Diogo Parracho e Ângela Mazau, um enorme obrigada, pois sempre estiveram presentes nos bons e maus momentos, disponibilizaram-se em esclarecer as minhas dúvidas em qualquer hora do dia e sempre me acompanharam, quer na realização de trabalhos quer nos momentos de convívio.

RESUMO

Nos dias que correm verifica-se uma grande preocupação com o ambiente, nomeadamente na utilização de sistemas construtivos e de materiais mais eficientes e sustentáveis na indústria da construção. Os elevados desperdícios resultantes da construção e demolição que a construção gera, o elevado consumo de energia e a elevada contribuição para os gases com efeito de estufa são as grandes barreiras que a indústria da construção enfrenta hoje em dia. Neste contexto, um grande interesse por parte das empresas em sistemas de construção e produtos sustentáveis, mais eficientes e duráveis tem vindo a aumentar.

Assim, nesta dissertação de mestrado, é realizado um estudo sobre os compósitos de cortiça, mais precisamente sobre os materiais da gama *Acousticork* existentes na empresa *Amorim Cork Composites (ACC)*, como as propriedades e aplicações desses produtos e utilização nos vários domínios do setor da construção, bem como um resumo sobre todo o ciclo de vida da cortiça, desde o momento em que é retirada do sobreiro até à fabricação dos produtos de cortiça.

É realizada uma análise do mercado da construção de modo a ser possível potenciar esses produtos no âmbito da Reabilitação Urbana e da Construção Leve. Se por um lado há necessidade de reabilitar o existente, pois construir novo implica mais ocupação do solo, mais resíduos de construção e demolição (RCD) e mais consumo de energia, o que não é sustentável para o meio ambiente, por outro, a Construção Leve é um sistema construtivo que está a gerar bastante interesse e a ser cada vez mais utilizado, até mesmo na Reabilitação Urbana, precisamente por ser mais económico, eficiente e sustentável.

Para isso, foi necessário estudar em pormenor os métodos e materiais tipicamente utilizados, para se perceber de que forma os produtos da gama *Acousticork*, podem integrar estes sistemas construtivos, visto que uma das necessidades identificadas na Construção Leve e na Reabilitação Urbana foi o isolamento a sons de percussão.

Adicionalmente, devido à crescente preocupação de garantir a eficiência energética dos edifícios foi realizado um estudo aprofundado das potencialidades térmicas dos materiais que melhor contribuem para o isolamento térmico visto que a cortiça, além de ter boas propriedades acústicas, é um bom isolante térmico.

PALAVRAS-CHAVE: Cortiça, Reabilitação, Construção, Sustentabilidade, Térmica.

ABSTRACT

Nowadays there is a high concern with the environment, particularly in the use of more efficient and sustainable construction systems and materials in the construction industry. The high level of construction and demolition waste that construction generates, the high energy consumption and the high contribution to greenhouse gases are the major barriers facing the construction industry today. In this context, a big interest from companies in sustainable, more efficient and durable building systems and products has been increasing.

Thus, in this Master's thesis, it is carried out a study about cork composites, more precisely on the materials of the Acousticork range existing in the company *Amorim Cork Composites (ACC)*, such as the properties and applications of these products and their use in the various fields of the construction sector, as well as a summary of the entire life cycle of cork, from the moment it is removed from the cork oak to the manufacture of cork products.

An analysis of the construction market is carried out in order to be able to enhance these products in the scope of Urban Rehabilitation and Lightweight Construction. If, on the one hand, there is a need to rehabilitate the existing building, because building new implies more land occupation, more construction and demolition waste (CDW) and more energy consumption, which is not sustainable for the environment, on the other hand, Lightweight Construction is a construction system that is generating a lot of interest and is being increasingly used, even in Urban Rehabilitation, precisely because it is more economical, efficient and sustainable.

For this, it was necessary to study in detail the methods and materials typically used, to understand how the products of the Acousticork range can integrate these construction systems, since one of the needs identified in Lightweight Construction and Urban Rehabilitation was the insulation of percussion sounds.

In addition, due to the growing concern to ensure the energy efficiency of buildings, an in-depth study was carried out on the thermal potential of the materials that best contribute to thermal insulation since cork, in addition to having good acoustic properties, is also a good thermal insulator.

KEYWORDS: Cork; Rehabilitation; Construction; Sustainable; Thermal.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ENTIDADE DE ACOLHIMENTO	2
1.4. ESTRUTURA	3
2. A CORTIÇA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	5
2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO	5
2.2. O CICLO DE VIDA DA CORTIÇA	6
2.2.1. O SOBREIRO	6
2.2.2. PROCESSO DE CRESCIMENTO E DE REGENERAÇÃO DA CORTIÇA	9
2.2.3. O DESCORTIÇAMENTO	10
2.2.4. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DAS ROLHAS DE CORTIÇA	11
2.2.5. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PRODUTOS PARA A CONSTRUÇÃO	13
2.3. CARACTERÍSTICAS DA CORTIÇA	20
2.3.1. ESTRUTURA MACROSCÓPICA	20
2.3.2. ESTRUTURA MICROSCÓPICA	21
2.3.3. CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DA CORTIÇA	22
2.3.4. QUALIDADE DA CORTIÇA	22
2.3.5. PROPRIEDADES	23
2.4. MATERIAIS EXISTENTES NA ACC	25
2.4.1. UNDERLAY ACOUSTICORK	25
2.4.2. UNDERSCREED ACOUSTICORK	26
2.4.3. WALL BEARING ACOUSTICORK	28
2.4.4. VIBRATION ISOLATION ACOUSTICORK	29
2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO	31

3. A CONSTRUÇÃO LEVE E A REABILITAÇÃO URBANA

.....	33
3.1. ENQUADRAMENTO	33
3.2. CONSTRUÇÃO LEVE EM MADEIRA	34
3.2.1. ESTRUTURA EM MADEIRA LEVE – LIGHT WOOD FRAMING	35
3.2.2. PAINEL ESTRUTURAL ISOLANTE - STRUCTURAL INSULATED PANEL	38
3.2.3. PAINÉIS DE MADEIRA LAMELADA CRUZADA - CROSS LAMINATED TIMBER	39
3.3. CONSTRUÇÃO LEVE EM AÇO	40
3.4. CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO LEVE	42
3.4. REABILITAÇÃO URBANA	44
3.5. INQUÉRITO REALIZADO ÀS EMPRESAS	47
3.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO	49

4. INTEGRAÇÃO DOS COMPÓSITOS DE CORTIÇA NA CONSTRUÇÃO LEVE E NA REABILITAÇÃO URBANA

.....	51
4.1. A ACÚSTICA NA CONSTRUÇÃO	51
4.1.1. FENÓMENOS FÍSICOS DO SOM	52
4.1.2. CONTROLO DE VIBRAÇÕES DOS EDIFÍCIOS	54
4.2. ANÁLISE DE MERCADO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	56
4.2.1. APLICAÇÃO DOS UNDERLAYS	56
4.2.2. APLICAÇÃO DOS UNDERSCREEDS	58
4.2.3. APLICAÇÃO DA GAMA WALL BEARING - ROTHOBLAAS	63
4.2.4. APLICAÇÃO DA GAMA CONTROLO DE VIBRAÇÕES	64
4.3. DESENVOLVER NOVAS FORMAS DE MATERIAIS	67
4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO	68

5. ANÁLISE TÉRMICA DOS COMPÓSITOS DE CORTIÇA

.....	71
5.1. IMPORTÂNCIA DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO	71
5.2. REGULAMENTAÇÃO EM PORTUGAL	73
5.3. DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS	75
5.3.1. INÉRCIA TÉRMICA	75

5.3.2. COEFICIENTE DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA	76
5.3.3. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA	77
5.4. APLICAÇÃO DOS COMPÓSITOS DE CORTIÇA	78
5.4.1. COMPARAÇÃO DOS MATERIAIS	79
5.4.2. PAVIMENTOS	80
5.4.3. PAREDES	86
5.4.4. COBERTURAS	88
5.4.5. PONTES TÉRMICAS	89
5.4.6. OUTRAS APLICAÇÕES	92
5.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO.....	93
 6. CONCLUSÕES	 94
6.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	94
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	95
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 97
 Anexo	 103

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Rolha antiga para vedar ânforas (Esquerda); Primeira máquina industrial de rolhas (Centro); Evolução da forma da rolha de paralelepípedo para cilíndrica (Direita) [7].....	6
Fig. 2 - Sobreiro português "O Assobiador" [10]	7
Fig. 3 - Distribuição mundial de Sobreiro [9]	7
Fig. 4 – Esquema adaptado da constituição de um tronco de sobreiro [13].....	9
Fig. 5 - Esquema das 3 fases de descortiçamento [7]	11
Fig. 6 - Rolhas Técnicas [16].....	12
Fig. 7 - Esquema da produção das rolhas naturais	13
Fig. 8 - Esquema de produção de grânulos	14
Fig. 9 – Esquerda: Grânulos de cortiça para fabricação de aglomerados; Direita: Blocos de aglomerado puro expandido [20]	15
Fig. 10 - Esquema de fabricação dos aglomerados compostos	17
Fig. 11 – Esquerda: Grânulos de cortiça para fabricação de aglomerados compostos; Direita: Moldação de bloco de aglomerado composto [19]	17
Fig. 12 – Esquema simplificado da produção de aglomerados de cortiça com borracha	18
Fig. 13 – Esquema simplificado de produção de linóleo.....	19
Fig. 14 - Esquema de produção de painéis de piso flutuante com aglomerados de cortiça	19
Fig. 15 - Estrutura macroscópica da cortiça [6].....	20
Fig. 16 - Direções e Secções principais da cortiça [13]	21
Fig. 17 - Ilustração das paredes celulares da cortiça [6]	21
Fig. 18 - Aplicação dos underlays sob o revestimento do piso [22]	25
Fig. 19 - Underlays [24]	26
Fig. 20 - Aplicação dos underscreeds numa betonilha flutuante [22]	27
Fig. 21 - Underscreeds [22][25].....	27
Fig. 22 - Local de aplicação da gama Wall Bearing [22].....	29
Fig. 23 – Exemplos de Wall Bearing [22]	29
Fig. 24 - Exemplo de aplicação de Vibration Isolation Acousticork [22]	30
Fig. 25 – Esquerda: Materiais de cortiça e borracha natural; Centro: Aglomerado de cortiça ligada por resina e borracha reciclada; Direita: Materiais de borracha reciclada [22]	30
Fig. 26 - Evolução da repartição das obras licenciadas em construção nova e reabilitação (2014-2019) [30]	34
Fig. 27 - Light Wood Framing [34].....	35

Fig. 28 – Exemplo de solução construtiva de uma parede exterior Light Wood Framing [36] ...	36
Fig. 29 - Exemplo de cobertura inclinada Light Wood Framing [38]	37
Fig. 30 - Diferença entre estruturas "Balloon Frame" e "Plataform Frame" [34]	37
Fig. 31 – Construção em SIP [41]	38
Fig. 32 - Esquerda: Painel estrutural CLT [46]; Direita: Construção de edifício em CLT [47]	40
Fig. 33 - Edifício Mjøstårnet [48]	40
Fig. 34 - Construção em Light Steel Framing [51]	41
Fig. 35 - Mercado Global LSF por tipo de edifício 2014-2025 (USD Milhões) [53].....	42
Fig. 36 - Comparação peso da mão de obra, materiais e equipamentos no custo total da construção tradicional e construção LSF [56]	44
Fig. 37 - Número de edifícios existentes em 2011 segundo a época de construção [62]	45
Fig. 38 - Evolução por época de construção do edifício consoante o tipo de estrutura de construção [62]	46
Fig. 39 - Necessidade de reparação dos edifícios existentes em 2011, segundo a época de construção [58]	47
Fig. 40 - Número de anos que se dedicam à Construção Leve e/ou à Reabilitação Urbana.....	48
Fig. 41 - Tendência dos projetos das empresas (esquerda) e onde são mais utilizadas as construções leves (direita)	48
Fig. 42 - Fragilidades identificadas ou aspetos a melhorar na Construção Leve	49
Fig. 43 - Fragilidades identificadas ou aspetos a melhorar na Reabilitação Urbana.....	49
Fig. 44 - Fenómenos físicos do som [63]	52
Fig. 45 - Diferença entre sons aéreos (esquerda) e de percussão (direita) [58]	53
Fig. 46 - Caminhos de propagação do som de forma direta (Dd) ou indireta (Df, Fd e Ff) [63] .	54
Fig. 47 - Gráfico da transmissibilidade das vibrações de um sistema para vários coeficientes de amortecimento [69].....	55
Fig. 48 - Exemplo de aplicação dos underlays na construção leve: 2 - Silent Step Soft; 3 – lâmina mineral de alta densidade (20mm) [63].....	57
Fig. 49 - Silent Step [63]	58
Fig. 50 - Exemplo de aplicação do produto AFM 26 sob betonilha [75]	59
Fig. 51 - Valores do índice de redução do som de impacto da Getzner [75].....	59
Fig. 52 - Sistema Regupol Comfort 12 + Comfort S1 para construção em CLT e sob placa OSB [76].....	61
Fig. 53 - Silent Floor da empresa Rothoblaas [63].....	62
Fig. 54 - Aplicação do Silent Underfloor em ripas de madeira [63].....	63
Fig. 55 - Esforços presentes numa viga [77].....	63

Fig. 56 - Exemplo de aplicação da gama Sylodyn [78]	64
Fig. 57 - Comparação entre limites de carga estática máxima Getzner vs ACC.....	65
Fig. 58 - Comparação entre limites de carga estática Kraiburg vs ACC.....	65
Fig. 59 - Aplicação de materiais de controlo de vibrações no local de assento da viga (esquerda) e em cantoneiras metálicas (direita) [63]	66
Fig. 60 - Comparação entre limites de rigidez estática Rothoblaas vs ACC	66
Fig. 61 - Aplicação do Silent Beam em ripas de madeira [63]	67
Fig. 62 - Materiais para dessolidarização de parafusos metálicos e de cantoneiras metálicas da Rothoblaas [63]	67
Fig. 63 - Emissões globais de CO ₂ 1900-2020 [81]	71
Fig. 64 - Evolução de tratados jurídicos e iniciativas a nível Mundial e na Europa	72
Fig. 65 - Evolução da Legislação da Térmica dos Edifícios [87]	73
Fig. 66 - Atenuação da variação de temperatura interior consoante a inércia térmica [91]	76
Fig. 67 – Exemplo adaptado da configuração do aparelho fluximétrico [93]	77
Fig. 68 - Exemplo de aplicação da cortiça na fachada de construção leve (Solução ETICS) [97]	87
Fig. 69 - Coeficiente de transmissão térmica de parede exterior com e sem cortiça	87
Fig. 70 - Soluções de pano de alvenaria exterior sem isolamento e com isolamento de 20, 50 e 110 mm de espessura.....	88
Fig. 71 - Aplicação do isolamento na cobertura horizontal (esquerda) e nas coberturas inclinadas com desvão útil (centro) e desvão não-útil (direita) [97], [98]	88
Fig. 72 - Exemplos de aplicação de cortiça (castanho escuro) em coberturas inclinadas [97] ..	89
Fig. 73 - Ponte térmica ligação entre duas paredes verticais	90
Fig. 74 - Exemplo de correção de pontes térmicas [99]	91
Fig. 75 - Exemplo de correção de ponte térmica de ligação da fachada com pavimento intermédio	91
Fig. 76 - Exemplo de aplicação da cortiça numa porta [100]	92
Fig. 77 - Exemplo de aplicação de cortiça nas tubagens [97]	92

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Distribuição da área e de produção de cortiça a nível mundial [12]	8
Quadro 2 - Composição química da cortiça e suas propriedades	22
Quadro 3 - Valores médios das propriedades da cortiça [8]	23
Quadro 4 - Produtos Underlay	26
Quadro 5 – Produtos Underscreed	28
Quadro 6 - Produtos Wall Bearing	29
Quadro 7 - Produtos Vibration Isolation	31
Quadro 8 - Resumo dos materiais compósitos de cortiça ACC	32
Quadro 9 - Número de edifícios segundo o tipo de estrutura do edifício [62]	46
Quadro 10 – Comparação da performance dos Underlays para pavimento LVT	57
Quadro 11 - Comparação Acoustic Floor Mat vs Underscreed	60
Quadro 12 - Índices de isolamento a sons de percussão (L_w) e aéreos (R_w) em dB [76]	61
Quadro 13 - Comparação Comfort 12 vs Underscreed	62
Quadro 14 – Comparação Silent Floor vs Underscreed	62
Quadro 15 - Comparação Silent Underfloor vs Wall Bearing	64
Quadro 16 - Resumo da aplicação dos materiais Acousticork	68
Quadro 17 - Resistências térmicas superficiais exteriores e interiores segundo o sentido do fluxo de calor	77
Quadro 18 - coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência e máximos dos elementos opacos segundo a zona climática	78
Quadro 19 - Comparação condutibilidade térmica ACC e materiais mais utilizados	79
Quadro 20 - Comparação condutibilidade térmica ACC e materiais de isolamento acústico	80
Quadro 21 - Comparação de solução LSF/LWF com lã mineral de baixa densidade (solução 1) ou com T61 (solução 2)	81
Quadro 22 - Soluções base estudo térmico	82
Quadro 23 – Aplicação de 3mm do T61 na Construção Leve e na Reabilitação	83
Quadro 24 - Aplicação do T61 na Construção Leve (16mm) e na Reabilitação (30mm)	83
Quadro 25 – Aplicação de Undercreeds na Construção Leve e na Reabilitação	85
Quadro 26 - Aplicação do T61 na Reabilitação	86

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

U - Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W/m}^2\text{°C}$]

λ – Coeficiente de Condutibilidade Térmica [W/(m.°C)]

E - Módulo de elasticidade [GPa]

ΔL_w (dB) – Redução sonora a ruídos de percussão ponderada (dB)

ACC – Amorim Cork Composites

CLT – Cross Laminated Timber

EPS – Expanded Polystyrene

ETICS – External Thermal Insulation Composite System

EUA – Estados Unidos da América

EVA – Acetato-Vinilo de Etileno

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GEE – Gases com Efeito de Estufa

HDF – High Density Fiberboard

LSF – Light Steel Framing

LVT – Luxury Vinyl Tile

LWF – Light Wood Framing

MDF – Medium Density Fiberboard

MLC – Madeira Laminada Colada

MTPs – Mass Timber Products

nZEB – Nearly Zero Energy Building

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

OSB – Oriented Strand Board

PIR – Poli-isocianurato

PU – Poliuretano

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

REH – Regulamento dos Edifícios de Habitação

SIPs - Structural Insulated Panels

UE – União Europeia

XPS – Poliestireno expandido extrudido

MgO – Óxido de magnésio

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Nas indústrias existentes no passado, havia grande preocupação com a qualidade final do produto, com o tempo que se despendia nas várias operações e com os custos que estavam relacionados. No entanto, estas prioridades foram sendo alteradas e hoje em dia surge cada vez mais interesse e preocupação com os problemas ambientais. O setor da construção não é exceção, uma vez que é uma das indústrias, se não a indústria, que mais responsabilidade tem por provocar grandes impactos ambientais.

Devido ao crescimento populacional exponencial, tem sido experienciado um elevado aumento da procura por habitações o que provoca um crescimento da utilização de matérias primas e de recursos, aumento do consumo de energia e uma má gestão dos resíduos de construção e demolição (RCD). Esse aumento do uso de energia é um dos responsáveis pelo crescimento das emissões para a atmosfera de gases com efeito de estufa (GEE) que, por sua vez, são culpados pelo aumento da temperatura terrestre e das mudanças climáticas que poderão comprometer o futuro do nosso planeta. A nível europeu, o setor da construção é considerado o maior consumidor de energia (cerca de 40% do total), contribui para grande parte das emissões de gases com efeito de estufa (cerca de 36%), é um grande consumidor de materiais e recursos naturais e gera várias toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) (cerca de 278 milhões de toneladas em 2016 apenas em Portugal) [1] [2].

Deste modo, surge uma grande preocupação no setor da construção em adotar uma construção e materiais eco eficientes. Por um lado sistemas e tecnologias construtivas que potencializem a diminuição do consumo de recursos, que gerem quantidade baixa ou até mesmo nula de resíduos, que evitem os desperdícios e que tenham boa qualidade de isolamento acústico e alta eficiência energética, uma vez que muitas vezes a adoção de fracas tecnologias construtivas, que costumam ser mais baratas a nível de investimento inicial, são a razão de haver um elevado consumo de energia ao longo do ciclo de vida do empreendimento nomeadamente em sistemas de aquecimento e de iluminação [3]. Por outro lado, é necessário recorrer a materiais mais eficientes, sustentáveis, duráveis e cuja energia utilizada em todo o seu ciclo de vida seja a mais baixa possível, desde a extração do material até à sua utilização nos edifícios e futura reciclagem e reutilização [3]. Assim, é necessário um correto planeamento e gestão para conciliar todas estas questões ambientais à arquitetura do edifício de modo a garantir uma boa iluminação e ventilação.

É neste contexto que surge o tema desta dissertação proposta pela empresa *Amorim Cork Composites* (ACC): a integração de compósitos de cortiça em sistemas construtivos para a Reabilitação Urbana e a Construção Leve. Por um lado, a cortiça é um material natural com várias vantagens não só para o edifício como também para o ambiente, preenche os requisitos da sustentabilidade uma vez que é um

material reutilizável e reciclável e tem efeitos significativos na atenuação dos gases com efeito de estufa. Por outro lado, a reabilitação urbana e a construção leve estão a ter cada vez mais adesão pois, já existe bastante solo ocupado e é preciso reabilitar o que já existe, e, também, são sistemas mais sustentáveis ao utilizarem materiais mais amigos do ambiente que são possíveis de reciclar, reutilizar e incorporam baixa energia em todo o seu ciclo de vida, necessitam de uma elevada gestão e controlo ao longo de todo o processo resultando numa diminuição dos desperdícios de materiais.

1.2. OBJETIVOS

Pretende-se que seja realizado um estudo sobre os materiais à base de compósitos de cortiça existentes na ACC dedicados à construção, analisando as suas propriedades e utilizações primordiais. Será efetuada uma análise aos sistemas construtivos da construção leve e para a reabilitação urbana, estudando como são realizados estes sistemas e quais os materiais mais utilizados e, será ainda realizado um estudo de mercado para avaliar a utilização e avaliar novas possíveis aplicações. Por fim, visto que a empresa apresenta compósitos de cortiça para a construção em geral, será estudada a viabilidade da utilização dos produtos da ACC diretamente ou com ligeiras alterações nos mercados em estudo da Reabilitação e da Construção Leve e, além disso, para os produtos com elevada capacidade térmica irá ser aprofundado o estudo de quais as características que estes produtos já têm ou deveriam ter para serem bons isolantes térmicos e poderem vir a ser integrados na construção leve e na reabilitação urbana.

1.3. ENTIDADE DE ACOLHIMENTO

O grupo corticeira *Amorim*, multinacional e de origem portuguesa, iniciou-se no mercado da cortiça em 1870. Atualmente, abrange várias empresas distribuídas pelos cinco continentes e está presente em diversas áreas económicas como o têxtil, a vinivinicultura e o enoturismo [4]. As unidades de negócios da empresa são: Matérias-primas (*Amorim Florestal*); Rolhas (*Amorim Cork*); Revestimentos (*Amorim Cork Flooring*); Aglomerados de Compósitos (*Amorim Cork Composites*); e Isolamentos (*Amorim Cork Insulation*). Como foi referido anteriormente, o tema do trabalho tem por base os compósitos de cortiça e, por isso, será realizado na empresa *Amorim Cork Composites (ACC)*. A ACC tem como objetivo aproveitar a cortiça como subproduto da indústria das rolhas criando múltiplas soluções com compósitos naturais e reciclados destinados a servir várias aplicações. As gamas de materiais presentes no portfólio têm aplicabilidade em diversas áreas, não só na indústria da construção, como também, nas indústrias automóvel, aeronáutica, aeroespacial, do calçado, entre outros [5].

A empresa *Amorim Cork Composites* promove a integração de alunos em vias de acabar o curso e de recém-formados no mundo empresarial, através de um programa de estágios para a realização da dissertação e de projetos, com a possibilidade de no final apresentarem o projeto para um Júri que elegerá o melhor estagiário, oferecendo-lhe a oportunidade de pertencer à equipa de trabalho da empresa. Neste contexto, a empresa ACC selecionou um aluno da FEUP para realizar a dissertação durante o semestre, que se situa em Santa Maria da Feira, como estagiário na área da Inovação cujo objetivo é assegurar a inovação e atualização dos produtos da empresa, a par do existente no mercado, nos vários setores industriais em que a empresa atua.

O acompanhamento do trabalho na empresa ficou encarregue à Engenheira Joana Trindade, como orientadora, e ao Engenheiro Eduardo Soares, como coorientador. Devido à atual pandemia pela qual passamos, e a empresa preferindo o teletrabalho sempre que possível, foi decidido que bastava a presença na empresa dois dias por semana. Foi organizado um plano com os objetivos do trabalho com

datas aproximadas de conclusão de cada objetivo, organizou-se reuniões semanais com a orientadora da empresa, reuniões mensais com as duas orientadoras para verificar o estado do trabalho e, também, reuniões mensais com todos os estagiários, de modo a partilhar a evolução nos projetos e dificuldades que tenham surgido.

Pessoalmente, a experiência resultante do semestre na realização desta dissertação foi bastante enriquecedora e permitiu vivenciar o mundo do trabalho, algo que muitas vezes não surge essa oportunidade. Apesar do mundo de trabalho ser uma experiência nova, onde muitas vezes os alunos e recentes empregados não se sentem integrados e acolhidos, a empresa desde início assegurou a integração e acolheu da melhor forma possível os estagiários.

1.4. ESTRUTURA

Esta dissertação apresenta-se dividida em seis capítulos, cada um com um tema respetivo devidamente organizados de forma a existir um encadeamento do tema do estudo em causa.

O primeiro capítulo, “Introdução”, dedica-se à apresentação do trabalho e à explicação da importância do tema escolhido, é realizada uma breve apresentação da empresa que propôs o tema deste trabalho e onde vai ser realizado o estudo, é elaborada uma lista dos objetivos pretendidos e uma explicação da estrutura deste trabalho.

No segundo capítulo, “A Cortiça como Material de Construção”, é realizado um estudo da cortiça, mais propriamente sobre a história da utilização da cortiça, o processo do descortiçamento, o processo de fabricação dos vários materiais e um resumo da sua constituição e das suas propriedades, as aplicações da mesma na área da construção e aos produtos existentes em cortiça na empresa ou a sua combinação com outros materiais.

O terceiro capítulo, “A Construção Leve e a Reabilitação Urbana”, dedica-se a um estudo aprofundado dos sistemas construtivos, dos materiais mais utilizados e as propriedades dos mesmos. É realizado um inquérito a empresas de construção especialmente dedicadas à construção leve e/ou à reabilitação urbana para identificar fragilidades destes sistemas construtivos atualmente e de que forma é que os materiais da ACC se podem integrar.

No quarto capítulo, “Integração dos Compósitos de Cortiça na Construção Leve e na Reabilitação Urbana”, é apresentado uma introdução sobre as características do som, a acústica nos edifícios, e, em especial sobre a vibração dos elementos construtivos devido a sons de percussão. Posto isto, é também feita uma análise dos produtos do mercado de empresas de materiais de construção, sobretudo a materiais com capacidade acústica para a Construção Leve e Reabilitação Urbana, e comparados com os produtos da *Amorim Cork Composites*, para perceber de que maneira podem ser enquadrados na Construção Leve e na Reabilitação Urbana e se as suas propriedades deviam ser melhoradas. Além disso, são propostas novas formas de materiais, a partir dos produtos que já existem na ACC.

O quinto capítulo, “Análise Térmica dos Compósitos de Cortiça”, concentra-se numa escolha dos materiais compósitos de cortiça analisados no quarto capítulo que possuem melhores capacidades térmicas. Com esses produtos é realizada uma comparação com outros materiais isolantes normalmente utilizados na construção, uma comparação com os materiais da análise de mercado do quarto capítulo e, por fim, é realizado um estudo de várias possibilidades de utilização nos vários elementos construtivos de modo a cumprir os requisitos térmicos impostos em Portugal Continental.

Por fim, no sexto capítulo, “Conclusões”, são expostas as conclusões retiradas da realização deste trabalho, com a sugestão de trabalhos futuros para a empresa e de continuação do tema tratado nesta dissertação.

2

A CORTIÇA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

2.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

A cortiça provém da palavra em latim *corticea* que significa casca, sendo o material responsável pelo revestimento dos troncos e ramos do sobreiro (*Quercus suber L.*). Este material tem, atualmente, uma grande utilização e interesse por parte de vários setores devido às suas propriedades, não sendo apenas a famosa rolha de cortiça a única aplicação. No entanto, já desde a Antiguidade (Fenícios, Gregos) que são reconhecidas as excelentes propriedades da cortiça através da sua utilização como artefacto flutuante e como vedante a arte [6].

Para se perceber a origem e a evolução ao longo do tempo da utilização da cortiça é preciso remontar há 60 milhões de anos com a origem dos sobreiros aquando da formação da bacia do Mediterrâneo, local onde atualmente se encontra esta espécie [7].

O Período Glaciar que ocorreu há mais de 25 milhões de anos cobriu o planeta com gelo, baixando drasticamente a temperatura média global. Estas alterações climáticas tiveram repercussões drásticas na fauna e flora, eliminando até mesmo espécies inteiras. Enquanto várias espécies de vegetação não resistiram a essas alterações, o sobreiro conseguiu sobreviver devido às capacidades térmicas da sua casca, a cortiça [7].

Em Portugal, há conhecimento da presença dos sobreiros devido ao fragmento fóssil de cortiça de há mais de 10 milhões de anos, que foi descoberto depositado na bacia do Tejo com estrutura semelhante às dos sobreiros que existem hoje em dia [8].

A integração da cortiça na vida do Homem teve origem nas civilizações do Antigo Egipto com aplicações em utensílios domésticos, artigos de pesca e na vedação de ânforas (vasos antigos que serviam para transporte e armazenamento de líquidos como, por exemplo, o vinho). No século V a.C. os gregos começaram a criar rolhas de cortiça para vedar as ânforas e, no século IV a.C., os romanos começaram a utilizar também como palmilhas no calçado e descobriram as potencialidades da cortiça na construção, como isolamento térmico nos telhados das habitações [7].

Em Portugal, país pioneiro na conservação dos sobreiros, desde o século XIII que esta é uma espécie a proteger. Desde o reinado de D. Dinis que começaram a ser criadas legislações para proteger a espécie, cujas leis recaíam sobre as várias fases da cortiça, desde a exploração até mesmo ao seu comércio. Além disso, foi descoberto em Portugal a utilização da cortiça na área naval, nas caravelas utilizadas na época

dos descobrimentos, e na área da construção, no Convento dos Capuchos que foi construído em 1560 com revestimento de cortiça [7].

A França foi o país impulsionador para a utilização da rolha de cortiça nas garrafas de espumante e de vinho. Apesar de já no século III a.C. utilizarem as rolhas de cortiça nas ânforas para a conservação do vinho, foi no século XVII que o frade beneditino francês Dom Pierre Pérignon encontrou uma solução para substituir os tampões de madeira envoltos em cânhamo embebido em azeite que saltavam nas garrafas de espumante. Assim, deu origem à utilização de rolhas de cortiça na preservação de vinhos, sendo estas inicialmente revestidas com cera e atadas ao gargalo da garrafa com um arame. Este passo permitiu o desenvolvimento da indústria da rolha de cortiça, criação de novos equipamentos para a sua fabricação e de novas formas em vez da tradicional rolha em forma de paralelepípedo [8].

O século XX foi marcado pela utilização da cortiça em equipamentos militares na segunda guerra Mundial, a invenção dos primeiros ladrilhos de cortiça aglomerada e o início da criação de patentes para a integração da cortiça na indústria automóvel, mais propriamente em correias de transmissão e pneus [7].

No presente século XXI, a cortiça tem tido cada vez mais destaque, não só na indústria das rolhas, como também na indústria do calçado, da construção, automóvel, aeronáutica e até mesmo na indústria aeroespacial. Devido às várias propriedades que este material possui, às inúmeras vantagens que oferece e devido à diversidade de aplicações que este material pode ser empregue, tem havido cada vez mais investimento na área da cortiça para se chegar a materiais cada vez mais eficientes e descobrir novas utilizações.



Fig. 1 - Rolha antiga para vedar ânforas (Esquerda); Primeira máquina industrial de rolhas (Centro); Evolução da forma da rolha de paralelepípedo para cilíndrica (Direita) [7]

2.2. O CICLO DE VIDA DA CORTIÇA

2.2.1. O SOBREIRO

Entre as várias espécies de árvores que se podem encontrar na flora mundial existe o sobreiro, árvore da qual é extraída a cortiça, cuja nomenclatura científica é *Quercus suber* L.. É um tipo de árvore de folha persistente (ou perenifólia), ou seja, mantém a sua folhagem durante todo o ano e pertence à família de plantas das Fagáceas, mais concretamente à família dos Carvalhos (*Quercus*) [9].

Os sobreiros conseguem atingir idades até entre os 250 a 350 anos, no entanto, estes só conseguem produzir cortiça até aos 150-200 anos e podem atingir alturas entre os 15 e 20 metros. Uma curiosidade é que o maior e mais velho sobreiro do mundo é português e encontra-se em Águas de Moura, Setúbal. Este sobreiro, que entrou em 2018 para o *Guinness Book*, tem o nome de “Assobiador” devido ao canto gerado pelas aves que habitam nos seus ramos. As características do Assobiador não foram encontradas em mais nenhum outro sobreiro: foi plantado em 1783 (238 anos de idade), tem 16,20 metros de altura,

pesa cerca de 102 toneladas e o seu tronco tem um perímetro superior a 4,15 metros. Desde 1820 que já foi descortçado pelo menos 20 vezes, dando origem à produção cerca de 10 mil rolhas a cada nove anos, sendo que, em 1991 foi o seu pico máximo de produção de cortiça dando origem a 1200 quilos de cortiça o que resultou na produção de mais de cem mil rolhas. Em comparação com outros sobreiros, que produzem em média cortiça para 4 mil rolhas, o assobiador em 1991 conseguiu produzir 25 vezes mais do que a maioria dos sobreiros [10].



Fig. 2 - Sobreiro português "O Assobiador" [10]

O sobreiro é uma espécie típica da zona Ocidental da região Mediterrânea devido a um conjunto de fatores próprios desta zona, como o tipo de solos e as condições climáticas, que permitem o seu desenvolvimento. Esta espécie pode ser encontrada em Portugal, Espanha, Marrocos, Argélia, Tunísia, no Sul de França e na costa ocidental de Itália [7].

Em Portugal, os sobreiros encontram-se distribuídos um pouco por todo o território nacional, mas encontram-se com maior predominância no Sul do país, mais concretamente no Alentejo litoral e nas serras algarvias onde a altitude é mais baixa e o clima no Inverno não atinge temperaturas tão baixas. O sobreiro pode ser encontrado espontaneamente noutras regiões do país, mas normalmente em conjunto com árvores de outras espécies como os Pinheiros, Castanheiro, Carvalho e Azinheira [11].

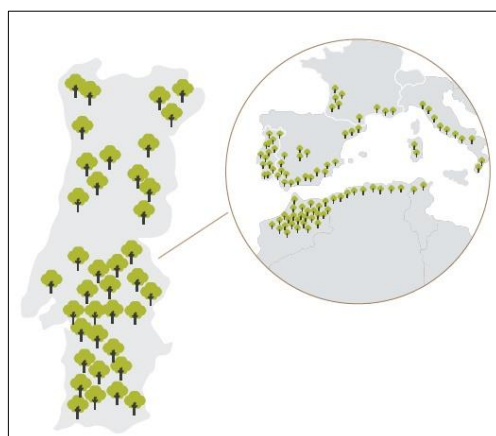


Fig. 3 - Distribuição mundial de Sobreiro [9]

A plantação de sobreiros, que representa grande impacto a nível ambiental, social e económico, normalmente ocorre de forma aglomerada formando povoamentos ou florestas designadas por montados de sobro ou sobreirais. A correta gestão destes montados traz inúmeras vantagens como:

- elevado contributo na regulação do ciclo hidrológico, permitindo a retenção da água e facilitando a infiltração da mesma. Este processo é influenciado pelas copas das árvores, que estão a uma certa altura do solo, que interseitam a água e conduzem-na, através do tronco, até ao solo. Assim, o solo que se encontra coberto pelas árvores torna-se mais permeável e com elevada capacidade de retenção da água, havendo uma prevenção da sua degradação [9];
- podem ser peças essenciais no combate à desertificação devido ao elevado potencial económico, que tem sido sentida um pouco por todo o mundo e tem graves consequências ambientais como a degradação do solo e a desertificação [9];
- combate às alterações climáticas através da absorção e armazenamento do carbono na sua constituição por longos anos devido à sua capacidade de atingir idades bastante longas (montado de sobreiro tem a capacidade de absorver 14,7 toneladas de CO₂ por hectare) [7];
- proteção e conservação da biodiversidade através da existência de florestas de sobreiro que abrigam várias espécies de animais e de plantas (160 espécies de aves, 37 espécies de mamíferos, 24 espécies de répteis e anfíbios e entre 16 a 25 mil espécies de plantas na bacia mediterrânea) [7];
- criação de emprego de forma direta ou indireta no setor da cortiça [7].

Os sobreiros ocupam cerca de 1,44 milhões de hectares na Europa e 0,70 milhões de hectares no Norte de África, o que corresponde a 67% e 33%, respetivamente. Só a Península Ibérica é responsável por 80% da produção e exportação mundial de cortiça. Portugal é o país que se destaca com a maior área de montados de sobreiros, mais de 736 mil hectares (34%), correspondente a um terço da área mundial de sobreiros e, também, possui a maior produção de cortiça que corresponde a metade do total a nível mundial (100 mil toneladas). O território português é constituído por uma presença variada de flora onde a espécie dos sobreiros ocupa apenas 8% do território, o que corresponde a 50% da cortiça mundial. A indústria da cortiça tem crescido cada vez mais, e o ano de 2018 foi marcado como um ano histórico por se conseguir alcançar a meta dos mil milhões de euros em exportações, continuando a indústria das rolhas de cortiça a ser o líder em exportações, seguido dos produtos para a indústria da construção. A França e os Estados Unidos da América são os principais países na compra de cortiça [12].

Quadro 1 - Distribuição da área e de produção de cortiça a nível mundial [12]

País	Área de sobreiro (Mil hectares)	Percentagem da área de sobreiro (%)	Produção de Cortiça (toneladas)	Produção de Cortiça (%)
Portugal	720	34	100.000	50
Espanha	574	27	61.504	31
Marrocos	383	18	11.686	6
Argélia	230	11	9.915	5
Tunísia	86	4	6.962	3
França	65	3	5.200	3
Itália	65	3	6.161	3
Total	2.123	100	201.428	100

Posto isto, percebe-se a importância a nível económico, social e ambiental dos montados de sobreiro que não só têm responsabilidade na conservação do solo, na regulação do ciclo hidrológico, na

conservação da biodiversidade e no armazenamento de carbono, como também, é responsável por gerar vários postos de trabalho e riqueza para o país. No entanto, é preciso garantir a correta gestão dos montados para que estes continuem a produzir cortiça e a exercer as suas funções no meio ambiente.

2.2.2. PROCESSO DE CRESCIMENTO E DE REGENERAÇÃO DA CORTIÇA

O sobreiro, árvore de onde se extrai a cortiça, tem características que nenhuma outra árvore possui, que é a elevada capacidade de regeneração, nomeadamente da cortiça. Este facto origina um elevado interesse pela sua exploração por parte das várias indústrias.

A camada do sobreiro que se situa entre o entrecasco e a cortiça é denominado por felogénio. Este, além de aumentar o entrecasco, tem outra função, igualmente importante, a reprodução de cortiça [8].

O sobreiro é constituído por dois tipos de revestimentos, a epiderme e a periderme. O primeiro revestimento, a epiderme, localiza-se na parte mais exterior e é responsável pela proteção e isolamento de toda a estrutura das plantas. Pode permanecer em atividade durante toda a vida da planta ou, principalmente nos caules e nas raízes, pode ser substituída pela periderme quando a primeira morre e cai devido às elevadas tensões radiais que a fazem ceder. Por outro lado, o segundo revestimento, a periderme, é onde se pode encontrar o tecido vegetal denominado de *felema*, mais conhecido como cortiça, juntamente com o felogénio e com a feloderme. A periderme cresce principalmente nas raízes e nos caules, que é onde as tensões radiais são superiores, e tem como objetivo substituir a epiderme nas tarefas de proteção e de isolamento das plantas [13].

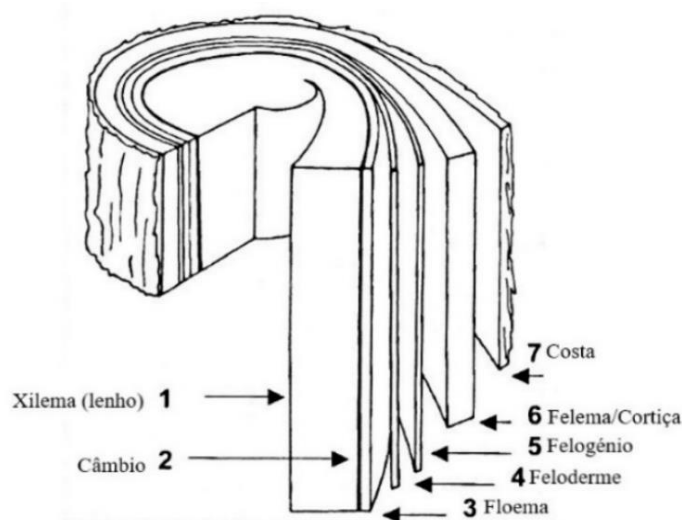


Fig. 4 – Esquema adaptado da constituição de um tronco de sobreiro [13]

No início do ciclo de vida do sobreiro as suas raízes e caules são inicialmente protegidos pela epiderme que, durante o primeiro ano vai sendo substituída pela periderme, pois não tem capacidade de acompanhar a evolução dos caules. Deste modo, o felogénio inicia a sua atividade desenvolvendo-se por baixo da epiderme em todo o diâmetro e perímetro do tronco [13].

O felogénio vai produzindo células de cortiça durante o seu primeiro ciclo vegetativo. No entanto, como nesta fase a epiderme ainda se encontra em atividade, não permite o normal crescimento da cortiça, o

que faz com que esta cresça com células deformadas e só nos anos seguintes é que a cortiça consegue ter um desenvolvimento adequado sem complicações e com as dimensões normais [13].

À medida que o sobreiro cresce, a epiderme não consegue acompanhar o desenvolvimento em diâmetro dos caules e dos ramos, e, quando não tem mais capacidade de resistir, fratura e expõe a cortiça que já cresceu por detrás da mesma. Assim, o felogénio continua a sua atividade gerando células de feloderme para o interior e células suberosas para o exterior. Desta forma, dá-se o crescimento de forma regular e contínua da cortiça, que constitui o revestimento exterior do sobreiro e vai ser posteriormente extraída [13].

Depois da extração da primeira cortiça do sobreiro (cortiça virgem), o felogénio que foi deixado exposto ao ar atmosférico, seca e morre e, passado uns dias (25 a 35 dias), nasce um novo felogénio denominado por felogénio traumático. Este desenvolve-se através de um processo que se inicia no floema inactivo e vai-se desenvolvendo por todo o tronco de sobreiro até formar uma camada contínua e originar novamente uma camada de cortiça.

Este processo de crescimento da cortiça vai-se mantendo sempre que se realiza um novo descortiçamento, no entanto, as espessuras dos anéis vão sendo cada vez menores devido à diminuição da intensidade meristemática do felogénio e da diminuição do número de células que a célula-mãe do felogénio origina [13].

2.2.3. O DESCORTIÇAMENTO

O descortiçamento é onde começa o ciclo de vida da cortiça, ou seja, é a operação responsável pela extração da cortiça. O felogénio do sobreiro – conjunto de células responsáveis pela origem da casca das árvores – tem a particularidade de, após cada extração, continuar em atividade durante todo o período de vida, ou seja, tem a capacidade de se regenerar, ao contrário do que acontece noutras espécies de árvores [9].

Este processo é realizado por uma pessoa experiente para, através de um machado ou equipamentos próprios, proceder à extração da cortiça com bastante cautela, por um lado, para não danificar o felogénio e não comprometer o crescimento da nova casca e, por outro, para não partir as pranchas, pois quanto maior o tamanho das pranchas, maior é o seu valor económico. Os descortiçamentos são normalmente realizados entre meados de maio e finais de agosto, pois é quando a cortiça se encontra menos aderente ao tronco, sendo mais fácil a sua extração [7][9].

Esta ação tem limitações específicas devido à qualidade e às propriedades da cortiça com períodos concretos de tempo que têm de ser respeitados. O sobreiro, quando descortificado, não pode ficar totalmente sem casca pois poderia prejudicar o desenvolvimento da cortiça. Ao longo da vida do sobreiro este pode ser sujeito a extrações da sua casca entre 15 a 18 vezes em períodos de 9 em 9 anos [7].

A primeira extração da casca do sobreiro, denominada por desbóia, só pode ser realizada quando o tronco da árvore possui características adequadas para tal, isto é, quando tem um perímetro mínimo de 70 centímetros medidos a 1,3 metros da superfície do chão, segundo a legislação portuguesa de proteção dos sobreiros (Decreto-Lei nº 169/2001). Esta situação normalmente ocorre quando o sobreiro tem pelo menos 25 anos de idade. Neste primeiro descortiçamento é extraída a chamada cortiça virgem que tem uma superfície bastante irregular e uma estrutura bastante rija, o que impossibilita a sua utilização nas rolhas de cortiça, mas, em contrapartida, pode ser já aproveitada para pavimentos ou como isolamentos [7].

Passado nove anos, aos 34 anos de idade, é realizada a segunda extração da cortiça, a cortiça de reprodução secundária ou apenas secundária. A estrutura desta é mais regular e a textura mais macia, no entanto, como estão presentes várias fraturas verticais provenientes das elevadas tensões no engrossamento do tronco, ainda não são suficientes para a produção de rolhas. Em vez disso, pode ser utilizada, por exemplo, para o fabrico de aglomerados para a indústria da construção [7].

No terceiro descortiçamento do sobreiro, realizado aos 43 anos de idade, e nos restantes, realizados de 9 em 9 anos durante aproximadamente 150 anos, é extraída a cortiça amadia. As tensões geradas no engrossamento do tronco já são bastante mais baixas, em comparação com as anteriores, o que permite extrair a cortiça com características mais uniformes com fraturas em pequena quantidade e de reduzida profundidade. A cortiça já se encontra com propriedades adequadas para a fabricação de rolhas de cortiça [7].

Segundo o Decreto-Lei nº 169/2001 de 25 de maio, a altura do descortiçamento, medido sobre a cortiça a 1,30 metros do solo, tem também algumas restrições:

- Não pode exceder duas vezes o perímetro do tronco de árvores produtoras de cortiça virgem, ou seja, árvores sujeitas ao primeiro descortiçamento;
- Não pode exceder duas vezes e meia do perímetro do tronco de árvores produtoras de cortiça secundária sujeitas ao segundo descortiçamento;
- Não pode exceder três vezes o perímetro do tronco de árvores produtoras de cortiça amadia, ou seja, sujeitas ao terceiro ou mais descortiçamentos [14].

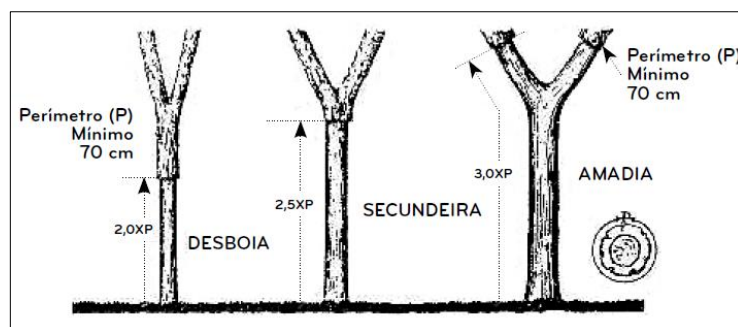


Fig. 5 - Esquema das 3 fases de descortiçamento [7]

Após o processo de descortiçamento, surge o tempo de repouso. Para que a cortiça amadureça e estabilize, adquirindo as propriedades adequadas para a sua posterior transformação no produto final desejado, as pranchas de cortiça são empilhadas e são expostas às condições climáticas durante, no mínimo, seis meses [7].

Depois da extração da cortiça e do período de repouso, esta pode ir para as fábricas para ser transformada. Dependendo do produto final desejado, a cortiça sofre processos distintos de fabricação entre os quais se destacam o processo da cortiça natural para rolhas e a produção de aglomerado composto e/ou de aglomerado expandido para várias indústrias como construção, decoração, etc.

2.2.4. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DAS ROLHAS DE CORTIÇA

No que concerne à produção de rolhas de cortiça, como já foi referido anteriormente, a cortiça utilizada só pode ser resultante do terceiro ou mais descortiçamentos. Os passos do processo estão dependentes

do tipo de rolha que se pretende. Estas podem ser rolhas naturais, que são as mais simples, as rolhas técnicas, constituídas pelo corpo principal e por discos que são montados nos dois lados do corpo principal da rolha, ou outros tipos de rolhas como as de champanhe [15].



Fig. 6 - Rolhas Técnicas [16]

No que diz respeito ao processo das rolhas naturais, que é o processo base e apenas difere em alguns aspetos para os outros tipos de rolhas, este começa com a cozedura das pranchas de cortiça em água limpa e a ferver durante pelo menos uma hora para que esta fique limpa, para aumentar a sua espessura, reduzir a sua densidade, para que se torne mais macia e elástica. Este processo faz com que o gás, que se encontra dentro das células da cortiça, expanda aumentando o seu volume cerca de 20%, além de melhorar a sua estrutura tornando-a mais regular [8].

De seguida, para que as pranchas tenham as propriedades adequadas para continuar o processo de fabricação, é necessário que estejam em repouso durante duas a três semanas para estabilizarem o teor de humidade (14%). No final do período de repouso, é realizada uma seleção das pranchas através da avaliação das suas propriedades (espessura, porosidade e aspeto) e, posteriormente, são traçadas para corte dos bordos e seguem para o processo de rabaneação onde são cortadas em tiras e com espessuras correspondentes ao diâmetro (ou superior) e com larguras um pouco superiores ao comprimento das rolhas que vão ser retiradas [8].

O último passo para se obter as rolhas cilíndricas corresponde à brocagem que consiste em perfurar as tiras de cortiça com uma broca, no sentido perpendicular ao comprimento da rabanada, isto é, no sentido de crescimento da cortiça, através de um processo manual, semiautomático ou totalmente automatizado. [8].

Depois da obtenção da rolha através da brocagem, surge a retificação do diâmetro e correção do comprimento, através de componentes abrasivos, como discos e cilindros de rotação, que tem como objetivo a regularização da superfície e o aperfeiçoamento das dimensões das rolhas de cortiça para que estas encaixem perfeitamente nas aberturas das garrafas de vidro. Como as rolhas têm um formato cilíndrico, nem toda a cortiça presente nas tiras é utilizada na brocagem o que gera algum desperdício. No entanto, toda a cortiça que é desperdiçada nas tiras pode ser aproveitada para os granulados de cortiça utilizados nas rolhas técnicas ou para os aglomerados de cortiça utilizados em materiais da construção, da decoração ou até mesmo para design [15] [8].

Posteriormente, seguem-se as etapas da lavagem, para limpar e desinfetar, e do branqueamento ou coloração, para que a rolha fique com um aspeto mais homogêneo. Após os banhos, as rolhas são lavadas em água limpa, escurridas e/ou centrifugadas, e são colocadas, por exemplo, em estufas para secar [8].

De seguida, realiza-se uma seleção e classificação por classes das rolhas separando-as das rolhas defeituosas que são eliminadas, mas que podem ter outros usos. Por fim, realiza-se a impressão da marca para a qual a rolha se destina através da impressão a tinta, marcação a fogo ou marcação a laser [8].

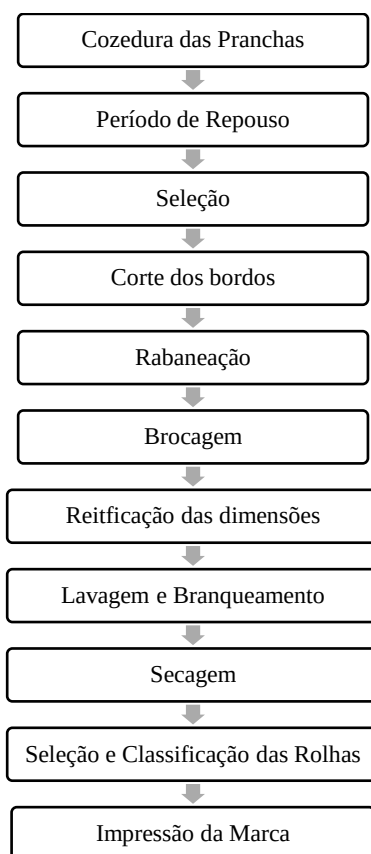


Fig. 7 - Esquema da produção das rolhas naturais

2.2.5. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PRODUTOS PARA A CONSTRUÇÃO

A cortiça, como é sabido, é um produto de referência na indústria da construção e da decoração podendo ser aplicada em pavimentos, paredes e até em tetos. Os produtos resultantes com aplicação na construção são vários como, por exemplo, isolamentos térmicos, acústicos e vibráticos, tetos falsos, revestimentos de paredes e tetos, rodapés, linóleos, etc.

2.2.4.1. Processo de Fabricação dos Grânulos

O primeiro passo para a fabricação dos materiais é a obtenção de granulados e dos triturados de cortiça que tanto podem ter uma utilização direta como podem servir de matéria-prima de aglomerados de cortiça. Os granulados ou triturados são, então, partículas obtidas na trituração da cortiça e que podem ter granulometria mais fina – granulado – ou granulometria mais grossa – triturado. Consoante o fim a que se destinam, são utilizadas cortiças provenientes tanto diretamente de descortiçamentos como de outras indústrias que, por sua vez, podem originar partículas com baixa ou alta qualidade [17].

Os grânulos que têm uma qualidade mais pobre são provenientes da cortiça extraída nas operações de poda dos ramos do sobreiro - a falca - e também da cortiça amadia que é desperdiçada. Como este tipo de cortiça tem uma superfície bastante irregular e são bastante rijas são frequentemente utilizadas na fabricação de aglomerados puros expandidos [6].

Por outro lado, os grânulos de melhor qualidade resultam da cortiça obtida no primeiro descortiçamento do sobreiro (cortiça virgem), dos refugos, aparas e outros desperdícios e, também, da cortiça que não é aproveitada nas outras indústrias como, por exemplo, das sobras na produção de rolhas. Estes grânulos podem ser aproveitados para a produção de aglomerados compostos [6].

Os grânulos são partículas de pequena dimensão obtidas pela trituração da cortiça em moinhos de variados tipos consoante o material a triturar e a granulometria desejada. Podem ser obtidas partículas de granulometria entre 0,25 e 22,4 milímetros e massa volúmica entre 45 e 120 kg/m³. O processo de trituração, além dos grânulos de várias dimensões, origina também resíduos de partículas com dimensões inferiores a 0,25 milímetros que são designadas como pó de cortiça numa quantidade de cerca de 22% da massa total inicial. Esta pode ser reaproveitada como fertilizante natural ou, devido ao seu alto teor energético, pode ser utilizada como combustível de biomassa [18].

Inicialmente, após o término do período de repouso das pranchas, realiza-se o processo de destroçamento que tem como objetivos: reduzir o tamanho dos primeiros pedaços de cortiça, através dos moinhos de dentes ou de estrelas; e retirar as impurezas de terra, pedaços de madeira e de entrecasco que possam vir agarradas à cortiça, com o auxílio de crivos ou mesas densimétricas vibratórias [8].

De seguida, os pedaços de cortiça obtidos (“broken”) continuam o processo para o moinho de martelos e realiza-se a trituração para separar a lenha da cortiça e transforma, assim, os pedaços de cortiça em partículas de pequena dimensão – os granulados – que passam por crivos (peneiros de malha larga) para a limpeza [8].

Os últimos passos dentro dos moinhos correspondem ao acerto da granulometria no moinho de facas e à limpeza dos restos de pedaços das costas e barriga que ainda se encontram presentes nos grânulos através dos moinhos de pedras ou mós [8].

Após a trituração, os grânulos são sujeitos a uma limpeza e a uma secagem por passagem de ar quente através de secadores rotativos que forcem a circulação de ar quente, para se definir o grau de humidade que é pretendido (6% a 10%). Finalmente, os grânulos passam à fase da embalagem [19] [8].

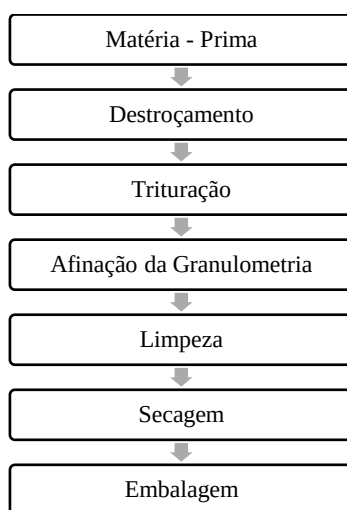


Fig. 8 - Esquema de produção de grânulos

Os granulados podem ser utilizados diretamente como isolamentos térmicos ou acústicos ou podem ser utilizados para a fabricação de aglomerados de cortiça. Os regranulados, procedentes de desperdícios de

aglomerado expandido, podem ter utilidade em enchimento de paredes, tetos e coberturas, ou podem ser misturados com betão [18].

2.2.4.2. Processo de Fabricação dos Aglomerados Expandidos

O aglomerado puro expandido, ou aglomerado negro, é produzido através da aglutinação dos granulados procedentes da cortiça virgem, principalmente da falca (entre 70 a 80%), e também da cortiça amadia que é desperdiçada. Como a cortiça virgem tem um teor de extrativos (moléculas de pequena dimensão, com bastante facilidade de remoção apenas procedendo à dissolução em solventes e designam-se por compostos não estruturais) muito superior em comparação com o teor de extrativos da cortiça que resulta das extrações em idades superiores, a aglutinação é realizada pelos próprios extrativos, que funcionam como ligantes intergranulares naturais, sendo este aglomerado um produto especial, pois não necessita de agentes aglutinantes sintéticos [6] [8].

O processo de fabricação resume-se à trituração da cortiça para obtenção de grânulos, limpeza para eliminação de impurezas, cozedura para o processo de aglomeração dos grânulos, período de arrefecimento e estabilização, acerto das dimensões e esquadria e, por fim, embalagem e armazenamento [8].

Como estes aglomerados não são objeto de estudo desta dissertação, sugere-se ao leitor com interesse no processo de fabricação e características dos aglomerados expandidos as leituras “Cortiça: Produção, Tecnologia e Aplicação” e “A cortiça como material de construção – Manual Técnico” de Luís Gil.



Fig. 9 – Esquerda: Grânulos de cortiça para fabricação de aglomerados; Direita: Blocos de aglomerado puro expandido [20]

2.2.4.3. Processo de Fabricação dos Aglomerados Compostos

Os aglomerados compostos ou, também designados por “aglomerados brancos”, são fabricados a partir da casca do sobreiro que é extraída no primeiro e segundo descortiçamento e dos refugos, aparas, e outros desperdícios de cortiça que não são utilizados noutras indústrias. É através da combinação destes aglomerados compostos com outros materiais como, por exemplo, borracha, plástico, colas, entre outros, que surgem os famosos aglomerados compósitos [19].

Os grânulos, normalmente com granulometria entre 2 e 6 mm, depois de serem triturados, limpos e secos, ainda continuam soltos, logo é necessário proceder à fase de aglomeração de onde resulta os aglomerados, através da ação simultânea da pressão, temperatura e do elemento responsável pela aglutinação [8].

Dependendo do produto e da aplicação que se deseja, o método de agregação dos grânulos vai ser influenciado por vários fatores como a granulometria e a massa volúmica dos granulados, o material que

é utilizado para efetuar a agregação e pela pressão e temperatura que são utilizadas no processo. Por exemplo, para produtos destinados a:

- Revestimentos e outras utilizações: aglomerados com massas volúmicas entre 150 e 550 kg/m³;
- Juntas mecânicas e artefactos: aglomerados com massas volúmicas entre 150 e 300 kg/m³ com granulado fino;
- Decoração: utilização de aglomerados com massa volúmica entre 200 e 350 kg/m³ e grânulos de tamanho fino-médio;
- Juntas de dilatação: utilização de aglomerados com massa volúmica entre 250 e 350 kg/m³ e grânulos de calibre médio [8].

Depois de se proceder ao doseamento de forma automática ou mecânica dos grânulos e do aglutinante, sucede-se a etapa da aglomeração, ou seja, mistura dos granulados com os materiais aglutinantes de forma mecânica com recurso a misturadores de pás ou helicoidais. Para se proceder à aglutinação podem ser utilizadas resinas sintéticas de poliuretano, fenólicas, melamínicas ou resinas de origem vegetal. Durante esta fase de mistura, podem também ser adicionados pigmentos para dar colorações aos aglomerados, plastificantes, estabilizantes, antioxidantes ou ignífugos [8].

De seguida, após a obtenção da mistura, realiza-se a fase da moldação que consiste em colocar os aglomerados em moldes, que são normalmente em metal, em forma de paralelepípedo ou cilíndricos, consoante se deseje que o produto final seja em folhas ou em rolos, respetivamente. Ao colocar-se a tampa dos moldes, é conferida uma ligeira compressão à mistura sendo levemente prensada, o que permite uma melhor associação entre os grânulos e o aglutinante [8].

Posteriormente, realiza-se o processo de cura, isto é, a polimerização do material aglutinante. Os moldes são colocados em estufas, que podem ser fornos de aquecimento, cujas temperaturas variam entre os 110 e os 150°C, e o processo pode ter uma duração entre 4 a 22 horas, ou em sistemas de alta frequência que podem ser túneis contínuos ou descontínuos cuja fase de cura do molde, que deve ser em fibra de vidro, é bastante mais rápida, demorando apenas 3 a 4 minutos [8].

Depois da finalização do processo de cura, os moldes são desmoldados e sujeitos a um período de arrefecimento para estabilizarem, ao ar livre ou num ambiente com clima próprio, resultando um bloco de aglomerado composto que pode ser sujeito ao período de estabilização até 30 dias. De seguida, os blocos são laminados em folhas, podendo, por vezes, realizar-se a laminagem ainda com o bloco quente para facilitar o processo. Após a laminagem, as folhas podem ser submetidas a um período de estabilização até 1 mês [8].

Em seguida, procede-se à lixagem das superfícies para que as suas espessuras e rugosidades sejam aperfeiçoadas, em lixadeiras de rolos ou de bandas abrasivas. As folhas são cortadas, com a forma de quadrado ou de retângulo, e são submetidos a uma correção das dimensões e esquadria [8].

No final do processo de fabricação dos aglomerados é realizada a decoração dos produtos, que podem ser constituídos apenas por uma folha ou pela combinação de folhas de aglomerados ou de laminados de cortiça natural ou ainda pela combinação com outros materiais, uma avaliação visual da qualidade final dos produtos, sendo eliminados aqueles que apresentam defeitos como cantos partidos, mau envernizamento, etc., e, por fim, seguem para a embalagem e armazenamento dos produtos [8].

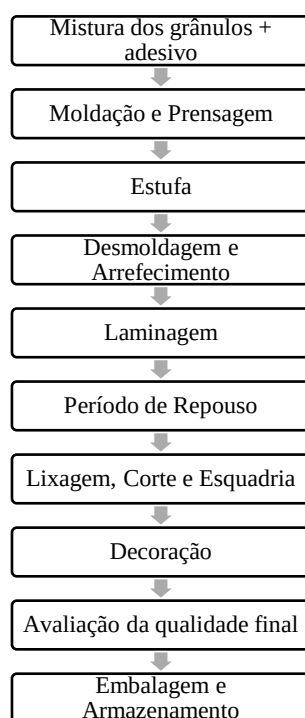


Fig. 10 - Esquema de fabricação dos aglomerados compostos

Existe outro método que permite obter diretamente uma única folha de aglomerados compostos com a espessura pretendida, ou seja, sem necessidade de laminação. Este processo passa pela colocação da mistura dos grânulos e do agente aglutinante distribuída em tapetes rolantes que passam por uma prensa de pratos aquecidos a uma temperatura entre 120-180°C, com uma certa pressão e demora cerca de 3 a 8 minutos. De seguida, a folha é cortada, seca e sujeita às restantes fases do processo anterior [8].

Além dos aglomerados compostos de cortiça com resina, existem muitos outros materiais que podem ser combinados com a cortiça, como, por exemplo, a borracha, plástico, gesso, betão, argamassa, etc.. Estes dão origem a produtos únicos com propriedades singulares e que podem ser utilizados na indústria da construção.



Fig. 11 – Esquerda: Grânulos de cortiça para fabricação de aglomerados compostos; Direita: Moldação de bloco de aglomerado composto [19]

2.2.4.4. Processo de Fabricação dos Aglomerados Compostos de Cortiça com Borracha

Os aglomerados de cortiça com borracha, como o próprio nome indica, tem na sua composição a mistura de grânulos de cortiça com borracha natural ou sintética em pó ou em partículas de pequena dimensão e podem ser designados por “rubber cork” ou “cork rubber”. Também é utilizado um agente de vulcanização responsável pela ligação entre a borracha e a cortiça, antioxidantes, corantes, e outros materiais para ajudar o processo de aglutinação. Os grânulos de cortiça normalmente têm uma granulometria mais fina do que os aglomerados anteriores e a borracha utilizada depende do produto final que é pretendido, sendo muitas vezes utilizada borracha reciclada (por exemplo borracha de pneus) [6].

A primeira etapa da fabricação do aglomerado passa por homogeneizar, comprimir e aquecer em misturadores cilíndricos rotativos a mistura constituída pela cortiça, partículas de borracha e por outros agentes adicionados, até se obter uma pasta. De seguida, a pasta é trabalhada em calandras para se conseguir obter uma massa homogênea. Tal como os aglomerados compostos de cortiça, estes são cortados em placas, colocados em moldes, prensados e sujeitos ao processo de cura de modo a obter blocos de aglomerado de cortiça e borracha que posteriormente são cortados nas dimensões pretendidas [6].

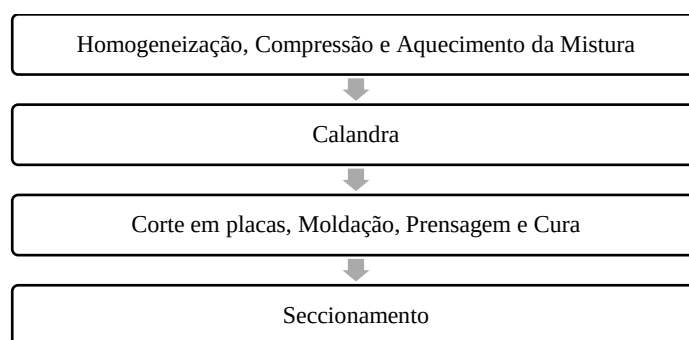


Fig. 12 – Esquema simplificado da produção de aglomerados de cortiça com borracha

Os produtos que resultam dos aglomerados de cortiça com borracha possuem uma massa volúmica que pode estar na gama de valores entre 250 a 1000 kg/m³ e são caracterizados como materiais flexíveis, elásticos, sólidos, com distorção mínima à compressão, bons isolantes de vibrações, com alta capacidade de recuperação e são compatíveis com líquidos [17].

A combinação da resiliência da borracha com a resistência mecânica e estabilidade dimensional da cortiça permite a utilização dos aglomerados de cortiça com borracha no setor da construção, por exemplo, em juntas, para controlo de vibrações e em pavimentos (essencialmente com elevada intensidade de tráfego), na indústria automóvel, indústria naval e eletromecânica [8].

2.2.4.5. Processo de Fabricação de Linóleo

O Linóleo é um produto bastante conhecido na utilização de revestimentos. A mistura inicial que dá origem ao Linóleo tem como base os grânulos de cortiça mais finos e densos, óleo de linhaça oxidado, resina (colofónia), juta, serradura, óxidos metálicos e corantes. As características mais conhecidas são o facto de ser compacto, bastante resistente ao desgaste e de fácil limpeza [6] [8].

O processo de fabricação inicia-se, em primeiro lugar, com a exposição ao calor ou ao ar do óleo de linhaça numa sucessão de camadas finas para que este adquira a consistência parecida com a borracha e para que aumente de tamanho [18].

De seguida, o linóleo, já com as propriedades certas para continuar o processo de fabricação, é triturado e é colocado na calandra para ser misturado com os grânulos de cortiça e outros agentes adicionados. Posteriormente o linóleo é sujeito ao tempo de cura que pode variar entre 14 e 21 dias [18].

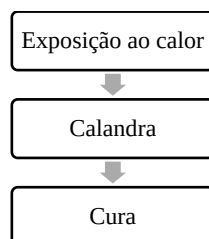


Fig. 13 – Esquema simplificado de produção de linóleo

2.2.4.6. Processo de Fabricação de Painéis de Piso Flutuante

Outro produto que é formado por aglomerados de cortiça são os pisos flutuantes. Estes painéis tipo sandwich são constituídos por uma camada de aglomerados de cortiça na parte inferior, seguida por uma camada de aglomerados de fibras de madeira de média ou de alta densidade, em MDF ou HDF respetivamente e por uma camada de aglomerados de cortiça de alta densidade na parte superior com a característica de elevada resistência ao desgaste. [17].

Depois da aglomeração, laminação e corte dos painéis de aglomerados de cortiça, o primeiro passo no processo de fabricação dos painéis flutuantes é a colagem das camadas. Para que as várias camadas fiquem corretamente coladas umas às outras, a placa é submetida a uma prensagem através de prensas de pratos aquecidos ou a frio [6].

Depois de formadas as placas com as suas camadas corretamente unidas umas às outras, procede-se à lixagem da superfície das placas, ao corte em painéis com as proporções pretendidas e as arestas são tratadas de forma a constituírem um perfil de encaixe permitindo grande facilidade de instalação. Por fim, os produtos são embalados e armazenados [6].

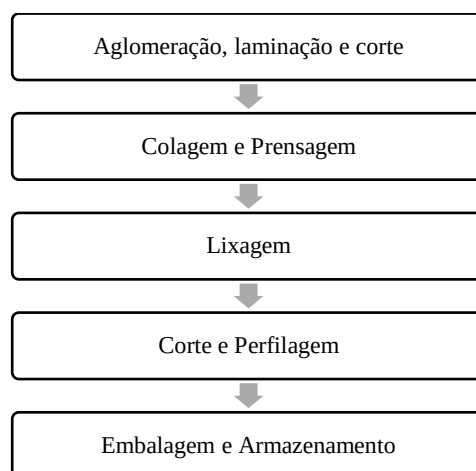


Fig. 14 - Esquema de produção de painéis de piso flutuante com aglomerados de cortiça

2.3. CARACTERÍSTICAS DA CORTIÇA

2.3.1. ESTRUTURA MACROSCÓPICA

Quando se realiza o descortiçamento do sobreiro, a parte exterior do entrecasco fica exposta à atmosfera. Por sua vez, quando se dá o processo de crescimento da cortiça, formam-se camadas de novas células de felogénio no interior e, conseqüentemente, de células suberosas, dando início à fase de crescimento da cortiça. Como resultado do sucessivo aumento de espessura da cortiça, a camada mais exterior do entrecasco vai sendo empurrada para o exterior dando origem à “raspa” que corresponde à parte principal da “costa” da cortiça e, estando mais exposta às condições climáticas e afins, vai começando a secar, contraindo e endurecendo, até não resistir mais e fendilha. É de notar que a cortiça proveniente do primeiro descortiçamento (cortiça virgem) não possui esta camada mais exterior, a “raspa” [6].

Por outro lado, existe outro constituinte importante da cortiça que é denominado por “barriga” ou “ventre” e, sendo este correspondente à última camada do crescimento anual, fica localizado mais no interior do tecido suberoso. A “barriga” tem propriedades de menor elasticidade e é constituída por pequenos orifícios dos canais lenticulares, cuja responsabilidade passa por assegurar as trocas de gases com o interior da árvore, funcionando, assim, como poros do tecido suberoso. Estes canais podem atravessar radialmente a cortiça dentro das descontinuidades e dar origem aos poros na secção transversal. Toda a estrutura porosa (quantidade, dimensão, etc.) é um aspeto que influencia diretamente a qualidade da cortiça [6].

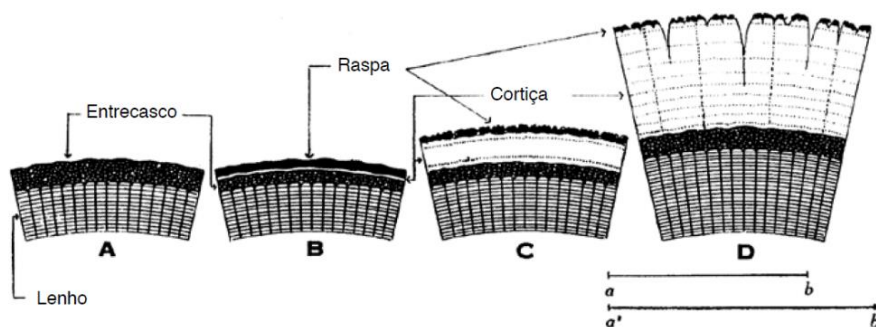


Fig. 15 - Estrutura macroscópica da cortiça [6]

Pode-se verificar que na cortiça, ao longo da sua espessura, existem vários anéis que são resultantes do ciclo do crescimento anual da cortiça. Este crescimento da cortiça compreende duas fases: a fase de atividade vegetativa, quando o felogénio se encontra em atividade entre a Primavera e o final do Outono; e a fase de repouso invernal, quando o felogénio está inativo e que ocorre no Inverno, ou seja, entre novembro e fevereiro. Na primeira fase, quando o felogénio está em atividade, a cortiça não cresce de igual forma. Na Primavera é quando o felogénio está em atividade máxima e pode produzir cerca de dois terços do crescimento anual da cortiça e as suas células são maiores e com paredes mais finas. Enquanto no período entre julho a outubro a produção de cortiça é bastante menor, as células têm um tamanho mais pequeno e as paredes são mais grossas e a cortiça produzida em outubro adquire uma cor mais escura delimitando, assim, os vários anéis que são produzidos anualmente [21].

Por outro lado, o comportamento e as propriedades da cortiça diferem consoante a direção, isto é, a cortiça é um material anisotrópico, cuja solução para se obter materiais com propriedades mais

uniformes pode passar pela utilização de aglomerados de cortiça que, devido à orientação de forma aleatória dos grânulos de cortiça, a estrutura anisotrópica já não é tão acentuada [6].

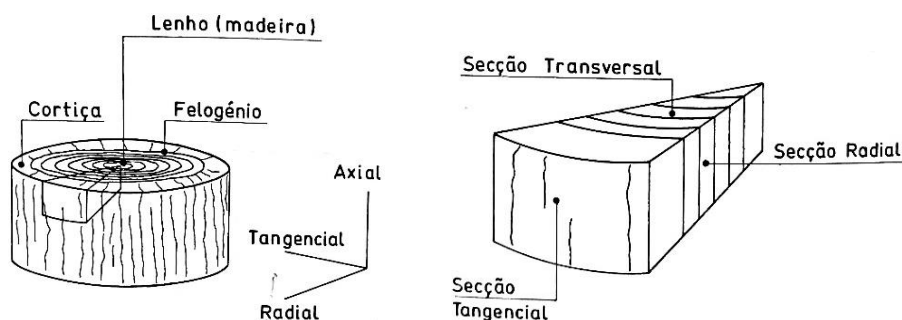


Fig. 16 - Direções e Secções principais da cortiça [13]

2.3.2. ESTRUTURA MICROSCÓPICA

A cortiça é um tecido vegetal celular e foi através dela que foi descoberta a primeira célula de sempre pelo cientista inglês Robert Hooke que, em 1665, através da visualização ao microscópio de pequenos pedaços de cortiça, encontrou pequenos compartimentos aos quais deu nome de células [7].

As células da cortiça são fechadas, com a forma de um prisma pentagonal ou hexagonal que se agrupam em estruturas alveolares de forma compacta e regular sem deixar espaços livres. Durante o crescimento da cortiça, a membrana celular vai aumentando de espessura o que origina a deposição de camadas com diferentes estruturas e composições químicas, constituindo a parede celular da cortiça [13].

As paredes das células da cortiça são constituídas por um material compósito que contém polímeros (suberina, lenhina e celulose) e a percentagem do volume do sólido ocupado pelas paredes pode variar entre 10 a 15%, ao contrário de outros materiais celulares cujas paredes são formadas por um metal, um cerâmico, um polímero ou um material compósito e a percentagem do volume do sólido pode chegar aos 30% [13]. O restante espaço é um espaço vazio que representa cerca de 85% ou 90 %, no caso da cortiça, e resulta nas boas propriedades que a cortiça possui de isolamento e de resiliência [6].

Desde 1877 que a parede celular da cortiça tem sido estudada e que foram propostos vários modelos. No entanto, sabe-se que as paredes celulares são constituídas por lenhina, celulose, suberina, polifenóis e ceras extratáveis. A parede celular da cortiça tem duas camadas de celulose que revestem as cavidades celulares, duas camadas interiores de suberina e cera que têm a função de impermeabilização e, por fim, uma camada intermédia de lenhina que proporciona rigidez e estrutura [6].

As células de cortiça têm uma largura normalmente entre 30 a 40 milésimos de milímetro e um altura de 35 a 45 milésimos de milímetro o que corresponde a cerca de 30 a 42 milhões de células em apenas 1 cm³ [6].

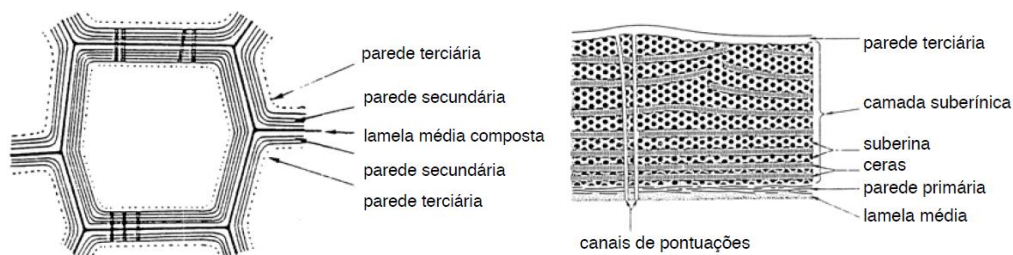


Fig. 17 - Ilustração das paredes celulares da cortiça [6]

2.3.3. CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DA CORTIÇA

A cortiça é um material natural e com um grau de complexidade que até nos dias de hoje ainda não há certezas absolutas quanto à sua estrutura química dos elementos químicos que estão presentes na cortiça, nem de como interagem entre si e de como estão distribuídos na parede celular [13].

Por um lado, as paredes celulares da cortiça são constituídas por elementos químicos que se inserem no grupo de componentes estruturais, tais como a suberina, a lenhina e os polissacáridos. Estes componentes são caracterizados como moléculas orgânicas cuja massa molecular relativa é alta e por isso, são denominados por macromoléculas. São responsáveis pela forma atribuída às células e pelas suas propriedades físicas e químicas. Neste caso, para se retirar um destes componentes da parede celular, é necessário um ataque químico ou mecânico que seja bastante intenso, o que provoca uma profunda modificação das células [13].

Por outro lado, as paredes celulares da cortiça são constituídas por componentes não-estruturais que, por sua vez, se dividem em componentes extrativos e inorgânicos. As ceras e os taninos pertencem ao grupo dos componentes extrativos, são considerados como micromoléculas pois possuem baixa massa molecular e, além disso, são bastante mais fáceis de serem extraídos das células, apenas com solventes, sem prejudicar as propriedades mecânicas das mesmas. Já as cinzas, resíduo da combustão do material, são consideradas componentes inorgânicos [13].

Os elementos químicos presentes na cortiça e as suas funções e/ou propriedades podem ser assim resumidas no Quadro 2.

Quadro 2 - Composição química da cortiça e suas propriedades

Elemento Químico	Peso médio	Características
Suberina	45 %	Composto principal da cortiça, confere baixa permeabilidade, alta compressibilidade e elasticidade
Lenhina	27 %	Segundo componente principal, responsável pela estrutura das paredes celulares
Polissacáridos	12%	Responsável pela estrutura das paredes celulares
Ceras	6 %	Contribuem para a impermeabilização da cortiça com a expulsão da água
Taninos	6 %	Responsáveis por dar cor e proteção
Cinzas	4%	-

2.3.4. QUALIDADE DA CORTIÇA

Nem todas as pranchas de cortiça possuem a mesma qualidade, refletindo-se, também, nos custos e nas aplicações que podem ter. Dependendo do produto que se quer produzir, há critérios para se verificar se a prancha está com qualidade suficiente para prosseguir o processo de fabricação desse produto ou, no caso de possuir uma qualidade inferior, se deve prosseguir para o fabrico de outro produto [8].

Um dos aspetos que define a qualidade de uma prancha de cortiça é a porosidade, através da fração em volume que é ocupada pelos canais lenticulares que atravessam a prancha na direção radial. Apesar da importância dos canais lenticulares, quanto menor for a fração melhor é a qualidade da cortiça. A porosidade pode ser avaliada na secção tangencial das pranchas de cortiça, através da observação dos poros (secção transversal dos canais lenticulares) e expressa em percentagem através do coeficiente de

porosidade que define qual a área preenchida pelos poros da área total analisada. A porosidade adequada para o fabrico de rolhas deve ser inferior a 10% [8].

Outro aspeto a ter em conta é se a cortiça possui como defeito o verde, isto é, manchas na barriga da cortiça cujo teor de humidade é bastante elevado, que varia entre 400% e 500%, e são normalmente rodeadas por cortiça com um teor de humidade usual entre 6 a 8 %. Esta característica tem ainda origem desconhecida e não é dependente da localização do sobreiro nem condiciona as extrações de cortiça dos anos seguintes. O principal problema é que durante o período de secagem estas zonas contraem bastante mais do que o normal, não sendo, por isso, pranchas adequadas para o fabrico de rolhas [8].

A existência de fendas nas costas das pranchas de cortiça, orientadas segundo a direção axial, constituem um problema nas pranchas e é designado por “enguiado”. Este defeito é causado pelas elevadas tensões tangenciais provocadas pela grande diferença entre o crescimento do tronco e o crescimento da cortiça, que não consegue acompanhar o primeiro, acabando por fendilhar na parte mais exterior. Em casos onde esta diferença é grande, as fendas podem ser bastante profundas [8].

2.3.5. PROPRIEDADES

A cortiça é um material natural com variadíssimas propriedades que a tornam num elemento único com inúmeras valências para a sua utilização em vários setores, sobretudo, na construção civil. Muitas dessas características proveem, por um lado, das suas paredes celulares serem constituídas, maioritariamente, pelo elemento químico suberina, que confere à cortiça a impermeabilidade das suas células e a elevada capacidade de compressão e resiliência, devido à sua característica de flexibilidade e possibilidade de deslizamento molecular, conseguindo adaptar-se facilmente a novas dimensões e formatos [8]. Por outro lado, a presença de gases semelhantes ao ar no interior das células e a forma como estas interagem entre si são responsáveis pela leveza e pela compressibilidade e elasticidade da cortiça, respetivamente [7].

É de relembrar neste ponto que a cortiça, sendo um material anisotrópico, os valores obtidos nos ensaios variam consoante a direção que se está a avaliar.

Quadro 3 - Valores médios das propriedades da cortiça [8]

Propriedade	Valor Médio
Massa volúmica	120 – 300 kg/m ³
Módulo de Young (compressão)	13 MN/m ²
Módulo de Young (tração)	18 MN/m ²
Coefficiente de Poisson	0,18
Coefficiente de dissipação de energia de deformação	0,2
Coefficiente de fricção	0,3
Calor específico	350 J/(kg.K)
Coefficiente difusão de água (20°C)	4 x 10 ⁻¹⁰ m ² /s ³
Difusidade térmica	10 ⁻⁶ m ² /s
Condutibilidade térmica	0,045 W/(m.K)
Tensão de rotura (tração)	1,9 MN/m ²

A massa volúmica da cortiça pode variar entre 120 e 300 kg/m³ consoante a dimensão das células, a ondulação das paredes celulares, a porosidade (canais lenticulares) e os defeitos que possam estar associados. A cortiça virgem no estado cru apresenta uma densidade superior à da cortiça amadia e a densidade da cortiça crua é 1,3 vezes superior à densidade da cortiça cozida [8].

A condutibilidade térmica da cortiça é de 0,045 W/(m.K), o que faz deste material um bom isolante térmico devido à presença de ar no interior das células e, também, devido à dimensão destes compartimentos que são bastante menores em comparação com as células de outros materiais celulares [8].

Um aspeto bastante importante a ter em atenção é o valor do coeficiente de Poisson bastante baixo ($\approx 0,18$) que caracteriza a cortiça como um material capaz de ser comprimido ou tracionado sem que haja uma expansão ou retração lateral. A cortiça tem a capacidade de retomar rapidamente 85% do seu volume inicial e 94% passado 24 horas, quando é sujeita a uma força de compressão aplicada instantaneamente até ao limite da sua elasticidade [8].

Quando a cortiça é submetida a uma força de compressão o gás contido nas células é um elemento essencial para a sua resistência. Na aplicação dessa força, as paredes das células sofrem flexão e encurvadura, pressionando o gás contido no interior das células que armazena a energia, e, após o término dessa aplicação, segue-se a recuperação através do endireitamento das paredes e da descompressão do gás. A energia que é gasta no rearranjo das cadeias poliméricas não é readquirida e, por isso, é que a cortiça é um material com capacidade de amortecimento [8].

No que concerne à dissipação de energia de deformação, a cortiça é um material que para deformações elásticas tem um coeficiente de aproximadamente 0,1 e para elevadas amplitudes de deformação chega, aproximadamente, a 0,3. Este aspeto tem bastante relevância nas questões anti-vibráticas, acústicas e do coeficiente de fricção elevado da cortiça [8].

A boas propriedades da cortiça no isolamento do som deve-se, por um lado, à baixa velocidade de propagação do som (cerca de 480 a 500 m/s) devido à baixa rigidez da cortiça e, por outro, à baixa resistividade acústica (12×10^3) – produto entre a velocidade do som e a densidade da cortiça [8].

Além disso, este é um material eficaz no amortecimento aos choques, principalmente de solicitações cíclicas, isto é, de vibrações, através da dissipação da energia. O coeficiente de amortecimento é independente da direção e, para frequências entre 10^{-3} e 10^{-2} Hz, pode variar entre 0,1 e 0,4 dependendo se são pequenas ou grandes deformações, respetivamente [8].

A cortiça é, assim, considerada um material com várias vantagens, tais como:

- Boas capacidades de isolamento térmico, acústico e vibrático;
- Elevada resistência ao fogo;
- Impermeável a líquidos e gases;
- Resistência à água e a produtos químicos;
- Resiliente, elástico e compressível;
- Resistência ao atrito e escorregamento;
- Leve e flutuante;
- Elevada durabilidade;
- Flexível e sem odor [8].

2.4. MATERIAIS EXISTENTES NA ACC

A empresa ACC disponibiliza no seu portfólio uma vasta gama de produtos que estão divididos por áreas de aplicação, como por exemplo, indústria aeroespacial, indústria automóvel, construção, calçado, etc. No que diz respeito aos produtos da área da construção, a empresa desenvolveu a linha *Acousticork* de compósitos de cortiça e/ou de materiais reciclados para o isolamento acústico e para o isolamento de vibrações, sempre atendendo às questões técnicas e mecânicas que o mercado precisava, como também aos problemas ambientais que estão associados a todo o ciclo de vida dos materiais desde a sua extração e produção, até à sua substituição/desmontagem e possível reciclagem [22].

Por um lado, esta linha de produtos subdivide-se em *Acoustic insulation*, ou seja, materiais dedicados ao isolamento acústico dos pavimentos e de paredes de alvenaria: *Underlay Acousticork*, *Underscreed Acousticork* e *Wall Bearing Acousticork*. Por outro, temos os *Vibration Isolation Acousticork*, que além do isolamento acústico são responsáveis pelo controlo das vibrações [22].

Além das construções vistas anteriormente, pode-se ver alguns destes materiais aplicados um pouco por todo o mundo:

- Utilização de *Underlay Acousticork* no condomínio “Las Olas Grand”, Estados Unidos da América;
- Utilização de *Underlay Acousticork* no hotel “Novotel”, Turquia;
- Utilização de *Underlay Acousticork* no estádio “Greenpoint Stadium”, África do Sul;
- Utilização de *Underlay Acousticork* no Bairro das Barrocas, Portugal;
- Utilização de *Undersreed Acousticork* no arranha-céus “IB Tower”, Malásia [23].

2.4.1. UNDERLAY ACOUSTICORK

No que se refere aos *Underlays Acousticork*, são produtos aplicados sob os pavimentos para o seu desacoplamento e existem diferentes soluções para cada tipo de revestimento do piso, seja este de perfil laminado não-colado ou colado em madeira, cerâmico, pedra natural ou de piso vinílico LVT (Luxury Vinyl Tile). Estes materiais podem ser constituídos por aglomerado de cortiça e/ou incorporar materiais reciclados como a espuma de poliuretano e a borracha reciclada [24].

O objetivo principal desta gama, como o próprio nome indica, é o bom isolamento acústico. No entanto estes materiais têm outras características: permitem a adoção de espessuras reduzidas garantindo durabilidade, são de fácil aplicação e manuseamento, são bastante resistentes à pressão tanto de cargas repetidas de curta duração como também de cargas muito pesadas e em repouso, são aptos para utilizar em pavimentos com sistema de aquecimento, aumentam o conforto do pavimento ao caminhar, são bons isolantes térmicos e são produzidos através de materiais naturais e sustentáveis devido não só à utilização da cortiça como também à utilização de materiais desperdiçados de outras indústrias e que podem ter novas utilizações [24].



Fig. 18 - Aplicação dos *underlays* sob o revestimento do piso [22]

Como se pode verificar pelo Quadro 4, existem 3 materiais inseridos nesta gama: T22, T61 e T66. Em relação ao primeiro produto, T22, é o que possui um valor de condutibilidade térmica superior, 0,14 W/mK, e só é aplicado em pavimentos revestidos a perfis colados de madeira. O material T61 tem a vantagem de poder ser utilizado em pavimentos com revestimento laminado não colado, parquet e cerâmico ou pedra natural. No entanto, este produto tem melhores resultados acústicos em pavimentos colados em madeira e pode ter um perfil perfurado. Por fim, o T66 pode ser utilizado em todos os tipos de revestimento, tendo maior isolamento acústico quando aplicado a laminados não colado ou a revestimento vinílico. Apenas o T61 e o T66 correspondem à análise do tema desta dissertação de compósitos de cortiça.



Fig. 19 - Underlays [24]

Quadro 4 - Produtos Underlay

Produto	Materiais	Massa Volúmica (kg/m³)	Condutibilidade Térmica (W/mK)	Laminado		Parquet		Cerâmico ou Pedra Natural		LVT	
				e (mm)	ΔL_w (dB)	e (mm)	ΔL_w (dB)	e (mm)	ΔL_w (dB)	e (mm)	ΔL_w (dB)
T22	Aglomerado de borracha reciclada	700	0,14	-	-	4	20	-	-	-	-
T61	Aglomerado de cortiça com PU	175	0,04	2	20	3 (perfurado)	18	5	16	-	-
						3	26				
T66	Aglomerado de cortiça e de borracha reciclada	650	0,08	3	19	3	16	3	16	3	19
								4,5	18		

2.4.2. UNDERSCREED ACOUSTICORK

Quanto à gama de produtos *Undersreed Acousticork*, são mantas acústicas aplicadas no elemento construtivo pavimento, mais propriamente sob a betonilha (Fig. 20). Têm como finalidade a atenuação do ruído de elevado impacto e aéreo, ou seja, são bons isolantes acústicos para necessidades altas e, portanto, são bastante vantajosos quando aplicados em edifícios com várias utilizações como, por exemplo, edifícios de habitação e escritórios, centros comerciais, etc.. Existem diferentes materiais consoante a eficácia pretendida, independentes do tipo de revestimento do piso, e são constituídos por aglomerados de cortiça juntamente com materiais reciclados como o PU, a borracha reciclada e Acetato-

Vinilo de Etileno (EVA) ou ainda materiais com apenas a combinação dos materiais reciclados. Além da alta performance acústica, estes materiais possuem relevantes características térmicas, podem ser lisos ou perfilados, têm elevada durabilidade mantendo a resiliência, são de fácil manuseamento, bastante resistentes e são naturais e sustentáveis [25].



Fig. 20 - Aplicação dos *underscreeds* numa betonilha flutuante [22]

Estes materiais designam-se pela letra “U” e o produto considerado de alta gama em termos acústicos é o U38, produto recente que combina a cortiça e espumas recicladas de PU, consegue uma redução sonora a ruídos de percussão ponderada de 29 dB, considerando um perfil de espessura 12/6 mm. Além disso, o U38 mistura várias propriedades da gama de produtos *Underscreed*: redução do ruído de impacto, bom isolamento térmico, alta capacidade de carga com baixa deflexão, resiliência de longo prazo, material flexível e de fácil manuseamento.

Apenas os produtos U22 e U34 não se enquadram para análise desta dissertação, pois não possuem cortiça na sua composição.



Fig. 21 - *Underscreeds* [22][25]

Quadro 5 – Produtos Underscreed

Produto	Materiais utilizados	Massa Volúmica (kg/m ³)	Condutibilidade Térmica (W/mK)	e (mm)						
				4	5	6/3	8/4	10/ 5	12/ 6	17/ 8
				ΔL_w (dB)						
U22	Aglomerado de borracha reciclada e PU	650-750	0,14	22	23					
U30	Aglomerado de borracha reciclada, cortiça e aglutinante PU	550	0,09641		26					
U32	Aglomerado de cortiça com aglutinante PU	185	0,04	19		20	21	22		
U34	Aglomerado de borracha reciclada	550	0,140				24			29
U34C	Aglomerado de borracha reciclada, combinado com cortiça e espuma de EVA e aglutinante PU	600	0,0963			24	26			
U36	Granulado de cortiça combinado com PU reciclado e espuma EVA	435	0,0751			25	27			
U38	Aglomerado de cortiça e espuma de PU reciclado	274	0,0546						29	31
U85	Aglomerado de cortiça com PU reciclado	265	0,055			23	25	27		

2.4.3. WALL BEARING ACOUSTICORK

Por outro lado, existem também materiais adequados a outros elementos construtivos como é o caso da linha de produtos *Wall Bearing Acousticork*, que é própria para paredes de alvenaria. Sendo este sistema construtivo bastante promissor à existência de fissuras, o objetivo primordial destes materiais com base em cortiça, é, não só isolar acusticamente, como também, controlar a vibração associada à alvenaria de modo a diminuir a ocorrência de fissuras e, por sua vez, assegurar a segurança e o aumento da vida útil do edifício [26].

Assim, estes materiais podem ser utilizados para o desacoplamento das paredes tanto em paredes sem suporte de carga como em paredes com suporte de carga e servem de apoio à parede de alvenaria, ou seja, são colocadas na base da parede de forma a separar as ligações entre a parede de alvenaria e a estrutura do edifício para não haver a transmissão de ruído dos passos através da alvenaria. Estes produtos, devido à sua posição na base da parede de alvenaria, têm a particularidade de serem bastante resistentes às cargas a que estão sujeitos, são bastante duráveis ao longo do tempo com baixas deformações de espessura, baixa condutibilidade térmica e são fáceis de cortar para as dimensões desejadas. Estes produtos agregam cortiça e materiais reciclados como a borracha reciclada e o PU reciclado [26].

Fig. 22 - Local de aplicação da gama *Wall Bearing* [22]

Estes compósitos de cortiça e materiais reciclados são designados por “MS-R”. Existem 3 tipos de soluções consoante a carga a que têm de resistir (Fig. 23). O material com elevadas capacidades de suporte de carga é o MS-R0, constituído por cortiça e borracha reciclada, e o seu intervalo ótimo é entre 0,3 e 1,4 MPa e pode suportar uma carga máxima até 8 MPa. Apenas o MS-R0 e o MS-R2 são adequados para a análise desta dissertação por serem compósitos de cortiça.

Fig. 23 – Exemplos de *Wall Bearing* [22]Quadro 6 - Produtos *Wall Bearing*

Produto	Materiais utilizados	Massa volúmica (kg/m ³)	Intervalo de carga (MPa)		Resistência à Tração (kN/m ²)
			Ótimo	Máximo	
MS-R0	Granulado de cortiça e borracha reciclada	600	0,3 - 1,4	8	600
MS-R1	Granulado de borracha reciclada	750	0,2 - 0,8	8	500
MS-R2	Granulado de cortiça e PU reciclado	250	0,1 – 0,43	1,25	100

2.4.4. VIBRATION ISOLATION ACOUSTICORK

Por fim, outra gama de materiais existentes na ACC são os *Vibration Isolation Acousticork* que, como o próprio nome indica têm como objetivo o controlo de vibrações existentes, por exemplo, na utilização de certos equipamentos, nas estruturas dos edifícios, etc. Estes produtos são constituídos por compósitos de cortiça e/ou com borracha natural ou reciclada, têm grande facilidade de instalação, são naturais e sustentáveis. A cortiça, como já foi referido anteriormente, tem várias características que confere grandes vantagens na sua utilização na área da construção. Uma dessas características é a sua estrutura celular que proporciona altos fatores de perda importantes para a sua capacidade de amortecer e dissipar a energia “a cada ciclo de vibração, o que resulta em baixa amplificação da ressonância e em materiais com uma grande eficácia operacional numa vasta gama de frequências”. Estes materiais apresentam

várias propriedades: durabilidade, baixa frequência natural, elevado isolamento da vibração, baixa absorção de água e pouco deslizamento [27].

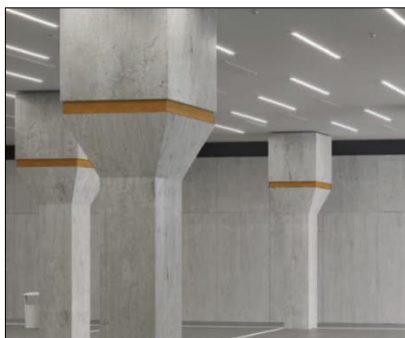


Fig. 24 - Exemplo de aplicação de *Vibration Isolation Acousticork* [22]

Esta gama de materiais é designada por “VC” e está dividida por tipos de produtos utilizados, ou seja, existem compósito de cortiça e borracha natural (VC1001, VC1002, VC1003, VC1004, VC1005 e VC1006), aglomerado de cortiça ligada por resina e borracha reciclada (VC-PAD-5015) e ainda borracha reciclada ligada por resina (VC7700, VC7900, VC7500, VC7100 e VC7200).

Os primeiros, material que combina cortiça com borracha natural, são os que têm intervalos de cargas de trabalho superiores (desde os 0,5 aos 12 MPa), têm baixo amortecimento, baixa deformação ao longo do tempo, baixa absorção de água e elevado coeficiente de Poisson, o que significa que há uma dependência do fator forma. Os materiais VC1005 e VC1006 são os mais adequados para controlo de vibrações com elevadas exigência de cargas e para baixa frequência de ressonância [27].



Fig. 25 – Esquerda: Materiais de cortiça e borracha natural; Centro: Aglomerado de cortiça ligada por resina e borracha reciclada; Direita: Materiais de borracha reciclada [22]

No que refere ao aglomerado de cortiça ligada por resina e borracha reciclada, VC-PAD-5015, é adequado para controlo de vibrações na construção, mais precisamente no desacoplamento de pisos flutuantes, tem uma faixa de resistência de carga entre os 0,30 e 0,85 MPa. Este produto tem alto amortecimento e baixo coeficiente de Poisson [27].

Por fim, a ACC tem mencionado no seu portfolio os materiais de borracha reciclada, são produtos perfilados, com rácio de rigidez dinâmica para estática entre 2 a 3 MPa, são produtos com baixo amortecimento e especialmente adequados para a construção. O VC7700 e o VC7900 são próprios para aplicações na construção com cargas bastante baixas, servem para absorver o choque e o ruído das estruturas e reduz a vibração. O VC7500 tem a mesma função, mas é utilizado na construção, em infraestruturas ferroviárias e aplicações industriais. O VC7100 e o VC7200 são aplicados para cargas

médias e altas, respetivamente, na construção. No entanto estes materiais, como não têm cortiça incluída na sua composição, não são integrados na análise desta dissertação [27].

Quadro 7 - Produtos Vibration Isolation

Produto	Materiais utilizados	Intervalo de carga (MPa)		E (MPa)	
		Estático	Ocasional	Estático	Dinâmico
VC1001	Cortiça e borracha natural	0,05 – 0,20	0,60	0,8 – 1,5	1,2 – 3,6
VC1002		0,10 – 0,40	1,50	1,6 – 4,0	3,5 – 8,0
VC1003		0,40 – 1,50	8,0	5,0 – 13,0	10,0 – 33,0
VC1004		1,5 – 3,0	10,0	8,0 – 20,0	16,0 – 50,0
VC1005		3,0 – 7,0	8,0	40,0 – 50,0	80,0 – 155,0
VC1006		4,0 – 12,0	20,0	60,0 – 100,0	130,0 – 440,0
VC-PAD-5015	Aglomerado de cortiça com resina e borracha reciclada	0,30 – 0,85	-	2,9 – 4,4	13 - 27
V7700	Granulado de borracha reciclada	0,01 – 0,05	-	0,17 – 0,60	0,35 – 1,6
V7900		0,025 – 0,070	-	0,04 – 0,25	0,27 – 1,60
V7500		0,05 – 0,15	-	1,20 – 1,50	2,30 – 4,30
V7100		0,10 – 0,25	-	1,50 – 2,10	2,0 – 6,0
V7200		0,20 – 0,80	-	3,00 – 8,00	5,50 – 18,0

2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO

A cortiça apresenta propriedades únicas que a tornam num material eclético com utilização em várias indústrias, desde à mais conhecida aplicação em garrafas de vinho, devido à sua elevada capacidade de conservação, até à aplicação, por exemplo, no setor da moda em calçado, vestuário e acessórios.

Já no setor da construção a sua utilização é muito conhecida devido às suas propriedades acústicas, térmicas, de resistência ao fogo e impermeabilidade a líquidos e gases. Além disso, é um material natural, reciclável e reutilizável que origina várias vantagens para uma construção mais sustentável e mais eficiente.

Assim, os produtos apresentados no portfolio da empresa *Amorim Cork Composites* da gama *Acousticork* para o isolamento acústico, de vibrações e isolamento térmico, essencialmente utilizados em pavimentos, surgem, neste contexto, como um potencial para a aplicação no setor da construção. Estes produtos integram a cortiça e outros materiais que podem ser uma mais-valia para reforçar as propriedades da cortiça, ou até mesmo, aproveitar os materiais que são considerados desperdícios de outras indústrias e dar-lhes uma nova utilização.

Resumidamente, os materiais compósitos de cortiça que serão analisados nesta dissertação encontram-se no Quadro 8.

Quadro 8 - Resumo dos materiais compósitos de cortiça ACC

Gama	Produto	Materiais utilizados	Aplicações
Underlays	T61	Aglomerado de cortiça com PU	Sob revestimento do pavimento
	T66	Aglomerado de cortiça e de borracha reciclada	
Underscreeds	U30	Aglomerado de borracha reciclada, cortiça e aglutinante PU	Sob betonilhas flutuantes
	U32	Aglomerado de cortiça com aglutinante PU	
	U34C	Aglomerado de borracha reciclada, cortiça e espuma de EVA e aglutinante PU	
	U36	Granulado de cortiça combinado com PU reciclado e espuma EVA	
	U38	Aglomerado de cortiça e espuma de PU reciclado	
	U85	Aglomerado de cortiça com PU reciclado	
Wall Bearing	MS-R0	Granulado de cortiça e borracha reciclada	Desacoplamento paredes de alvenaria
	MS-R2	Granulado de cortiça e PU reciclado	
Controlo de Vibrações	VC1001 a VC1006	Cortiça e borracha natural	Variadas
	VC-PAD-5015	Aglomerado de cortiça com resina e borracha reciclada	

3

A CONSTRUÇÃO LEVE E A REABILITAÇÃO URBANA

3.1. ENQUADRAMENTO

A necessidade do Homem de ter um lugar para se resguardar remonta a tempos mais primitivos com a construção de cabanas através de varas de madeira e peles de animais e a utilização de grutas e cavernas com grandes pedras que protegiam a entrada de possíveis invasores ou animais perigosos ou até mesmo das condições climáticas. Assim sendo, a madeira, as peles de animais e a pedra foram os primeiros materiais utilizados pelo Homem na construção. Há medida que a mente do Homem foi evoluindo, este necessitou cada vez mais de um sítio seguro, confortável e durável, procurando novos materiais e novas tecnologias que pudessem ser utilizados na construção e que conseguissem satisfazer as suas necessidades. Os materiais já não eram utilizados na construção tal como se encontravam na natureza, passaram a sofrer algumas alterações de modo a terem as características adequadas às exigências construtivas. Essa evolução construtiva passou pela adoção de telhados de colmo, alvenaria de blocos de terra amassados, alvenaria seca de pedra, o betão, betão armado, etc. [28]

Atualmente, principalmente em Portugal, quase todos os edifícios são de solução construtiva pesada com materiais de elevado peso como os tijolos cerâmicos, blocos de betão, pedra, revestimentos cerâmicos, etc. Esta solução tem normalmente uma grande quantidade de energia integrada, produz uma grande quantidade de resíduos e é necessário equipamentos pesados e meios de transporte capazes, sendo por isso insustentável para o meio ambiente [28].

O parque urbano de Portugal encontra-se sobrelotado, existindo uma discrepância entre a quantidade de famílias e o número de alojamentos existente, sendo o segundo bastante superior ao primeiro, resultando em vários edifícios desocupados, alguns deles acabando em ruínas. É, por isso, necessário reabilitar o que já existe, sendo esta uma alternativa mais sustentável, mas que ainda não é maioritária, em especial no parque urbano português (Fig. 26) [29].

Por outro lado, a opção pela construção leve é uma solução sustentável e pode ser utilizada tanto em construção nova como em reabilitação, tanto em habitações residenciais como em edifícios industriais. Utiliza materiais construtivos mais sustentáveis e aumenta o processo de industrialização, diminuindo o tempo total da obra. Esta solução abrange todos os elementos construtivos: paredes exteriores e interiores, lajes e coberturas exceto fundações que são em betão armado [28].

Logo, é necessário implementar uma mudança que passa tanto pela opção de reabilitar em vez de construir novas edificações e pela adoção de soluções construtivas leves e sustentáveis.

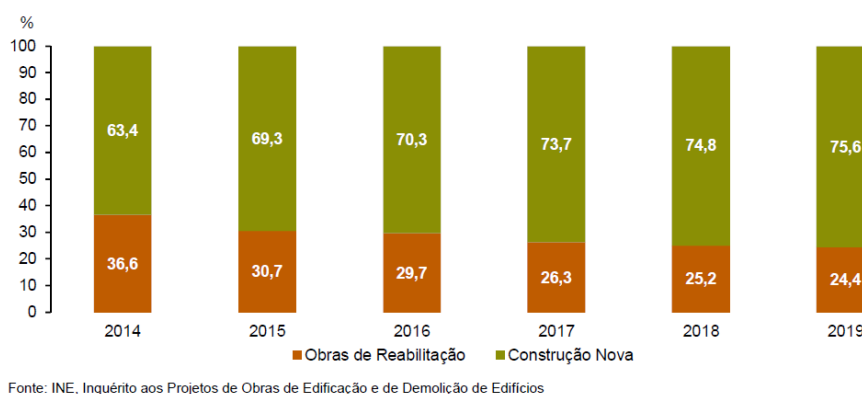


Fig. 26 - Evolução da repartição das obras licenciadas em construção nova e reabilitação (2014-2019) [30]

3.2. CONSTRUÇÃO LEVE EM MADEIRA

Se o início do século 20 foi marcado pela grande utilização do betão armado, os últimos anos têm sido definidos por uma crescente mudança na forma de construir e nos materiais a utilizar. O aumento da poluição e das alterações climáticas fez crescer a consciência do consumo de energia de modo sustentável e, na construção, optar por processos e materiais com baixo consumo de energia e baixas emissões. Por isso, a madeira, como um material sustentável, natural, reciclável, reutilizável e biodegradável, tem vindo a recuperar o seu estatuto no mercado dos materiais de construção.

Além do mais, a madeira é um material com outras vantagens igualmente importantes para a sua utilização na construção:

- Material higroscópico, ou seja, tem a capacidade de absorver e de libertar a humidade presente na atmosfera envolvente;
- Material leve, consegue ser aproximadamente 5 vezes menos denso que o betão armado e cerca de 15 vezes menos que o aço estrutural;
- Necessidade de poucos processos de transformação, incorporando pouca energia na sua produção;
- Bom isolamento térmico devido à baixa condutibilidade térmica (λ_{Madeira} entre 0,057 e 0,29 W/(m.°C); $\lambda_{\text{Betão}}=2,0$ W/(m.°C));
- Elevada facilidade de manuseamento com ferramentas bastante simples;
- Boa relação resistência estrutural/peso;
- Durável, quando convenientemente tratada;
- Resistente ao fogo por um certo período de tempo que é facilmente calculado;
- Resiste tanto a esforços de tração como de compressão;
- Baixo preço;
- As reservas renovam-se por si mesmas permitindo a permanente disponibilidade do material [31][32].

Apesar das várias características positivas que este material possui, também apresenta algumas desvantagens como o facto de ser heterogéneo e anisotrópico, isto é, as suas propriedades variam consoante a direção a que é imposto o estímulo, é vulnerável aos agentes externos que comprometem a sua longevidade, é um material combustível, sensível às variações de humidade aumentando ou diminuindo de dimensões e as suas dimensões são bastante limitadas com a usual forma alongada de secção transversal reduzida. Estas propriedades negativas que a madeira possui podem ser suprimidas

com a secagem artificial controlada, tratamentos de preservação e com a transformação em laminados, contraplacados e aglomerados de madeira [32].

É de salientar que a sustentabilidade do uso da madeira só é possível com a gestão das florestas de maneira eficiente e que algumas das propriedades deste material só são garantidas se houver uma manutenção adequada.

Os sistemas construtivos leves em madeira que se destacam são o Light Wood Framing (LWF), Structural Insulated Panels (SIPs) e o Cross Laminated Timber (CLT) que, em português, corresponde a estrutura em madeira leve, painel estrutural isolante e madeira laminada cruzada, respetivamente.

3.2.1. ESTRUTURA EM MADEIRA LEVE – LIGHT WOOD FRAMING

A técnica construtiva Light Wood Framing (LWF) tem por base uma estrutura em madeira leve. Este sistema surgiu através da evolução das tradicionais estruturas em madeira maciça.

Em Portugal, hoje em dia, as casas em madeira ainda são vistas como habitações mais modestas e de fraca qualidade devido à sua grande utilização na construção de habitações sociais aquando da migração das povoações do interior para as grandes áreas metropolitanas que provocou uma forte necessidade de se utilizar um método construtivo que fosse simultaneamente rápido e barato [31].

Todavia, em países mais desenvolvidos como os Estados Unidos da América, o Japão e países do Norte da Europa continuam a utilizar a madeira na construção de edifícios, sendo estes, por isso mercados de interesse [31].

No que concerne ao sistema construtivo Light Wood Framing ou Light Timber Framing, traduzindo para português Light significa Leve, Wood ou Timber significa madeira e Framing significa estrutura, logo temos estrutura de madeira leve. É um dos sistemas construtivos em madeira mais recentes e surgiu no século XIX no Norte da América devido não só a existência de produtos industriais normalizados (madeira serrada e pregos) como também devido à colonização do Oeste dos Estados Unidos da América que aumentou a necessidade de um sistema construtivo de rápida execução que satisfizesse o elevado crescimento da população [33].



Fig. 27 - Light Wood Framing [34]

A primeira tarefa em obra são as fundações que vão suportar todo o peso da estrutura. Estas são realizadas como na construção tradicional, geralmente em betão armado, no entanto, em vez de serem sapatas capazes de suportar cargas localizadas, são realizadas sapatas de forma contínua e ao longo de todo o perímetro da estrutura, visto que as cargas são distribuídas pelas paredes.

Relativamente às paredes exteriores, estas são constituídas por um revestimento exterior e outro interior. O revestimento exterior baseia-se nos sistemas de isolamento térmico pelo exterior (ETICS). Do exterior para o interior o sistema é constituído primeiramente por uma camada de revestimento armado com rede metálica ou de fibra de vidro. O revestimento protege o isolamento térmico que costuma ser constituído por placas de poliestireno expandido (EPS). A base do revestimento, que está mais no interior, são painéis estruturais, muito conhecidos por revestimento estrutural que, como o próprio nome indica, confere rigidez à estrutura, resiste às cargas que lhe são impostas e serve de contraventamento da estrutura de madeira. Existem vários tipos de painéis, mas os mais utilizados são os painéis de aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas OSB (Oriented Strand Board) devido às suas propriedades de elevada resistência estrutural, durabilidade e dimensionalmente estável [35]. Relativamente ao revestimento interior, a solução construtiva necessita de um material de reforço das características térmicas e acústicas do edifício, e, por isso, é habitual utilizar-se mantas ou painéis de lã mineral colocados nas cavidades entre os perfis estruturais. O revestimento interior das paredes é constituído por painéis de gesso cartonado [36].

Relativamente às paredes interiores, são revestidas por painéis de gesso cartonado e preenchidas com lã mineral para o isolamento acústico e térmico [36].

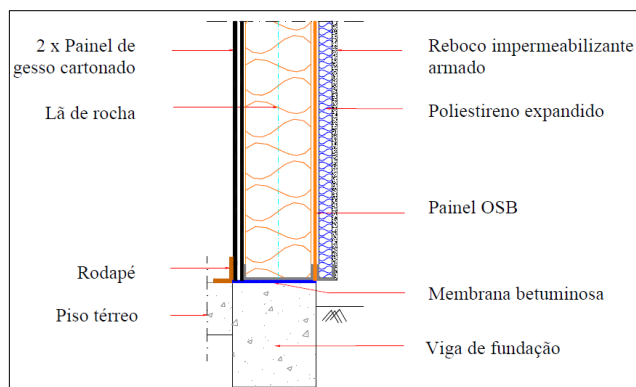


Fig. 28 – Exemplo de solução construtiva de uma parede exterior Light Wood Framing [36]

Em relação às lajes de pavimento, o revestimento da estrutura de madeira pode ser realizado com painéis de OSB, painéis de aglomerado de madeira e cimento ou, apesar de menos utilizada, lajes mistas de chapas metálicas que atuam como cofragem e suporte ao betão armado de espessura reduzida. O isolamento térmico e acústico recorre à lã mineral colocado, mais uma vez, nas cavidades entre os perfis estruturais e o revestimento dos tetos é realizado por painéis de gesso cartonado [36][37].

Por fim, neste tipo de sistema construtivo, podem ser aplicáveis dois tipos de cobertura: a inclinada e a plana. A primeira é constituída por asnas, sobre a qual são aplicados o painel estrutural, barreiras de reforço para impermeabilização contra a água em locais onde tem tendencialmente a acumulação de água (beirais), uma camada de proteção contra a humidade e, por fim, a impermeabilização da cobertura com, por exemplo, telhas cerâmicas. O local de isolamento depende se a cobertura é ou não local aquecido, se não for coloca-se o isolamento imediatamente sobre o espaço aquecido (Fig. 29), caso contrário o isolamento é colocado entre o painel estrutural as telhas cerâmicas. Já as coberturas planas são idênticas às lajes de piso intermédio, apenas diferindo na colocação de uma barreira pára-vapor, isolamento térmico e sistema de impermeabilização (normalmente telas de PVC) sobre o revestimento estrutural [36].

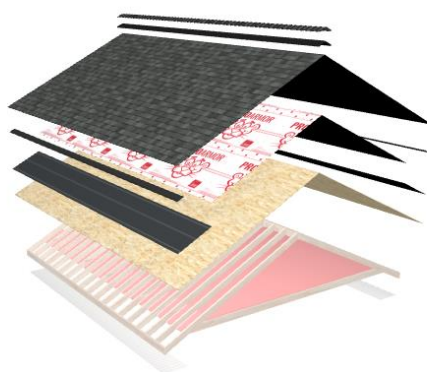


Fig. 29 - Exemplo de cobertura inclinada Light Wood Framing [38]

3.2.1.1. Estrutura em Balão

As estruturas leves iniciaram-se com a designada estrutura em balão “Balloon Frame” (Fig. 30). Este sistema é constituído normalmente por dois pisos com perfis ou montantes de madeira contínuos na fachada, desde a base até à cobertura, cujas vigas onde assenta a estrutura dos pavimentos intermédios são pregadas diretamente aos perfis da fachada. Os perfis de grande dimensão tornam a construção deste sistema mais complexa dificultando, por isso, o processo de prefabricação. Tendo em conta os perfis de madeira contínuos, facilita a propagação do fogo entre pisos sendo, por isso, um sistema com uma segurança ao fogo bastante baixa [31].

3.2.1.2. Estrutura em Plataforma

Para melhorar os problemas que existiam na estrutura em balão, surgiu a estrutura em plataforma “Platform Frame” (Fig. 30). Além da facilidade de construção, que permite diminuir a duração de construção e favorece o processo de pré-fabricação, traz mais segurança em caso de incêndio. Neste caso, constrói-se piso a piso, primeiro as paredes e de seguida as lajes de pavimento que vão servir de apoio para se construir o piso a seguir. Ao contrário da estrutura anterior, as paredes não são de estrutura contínua [31].

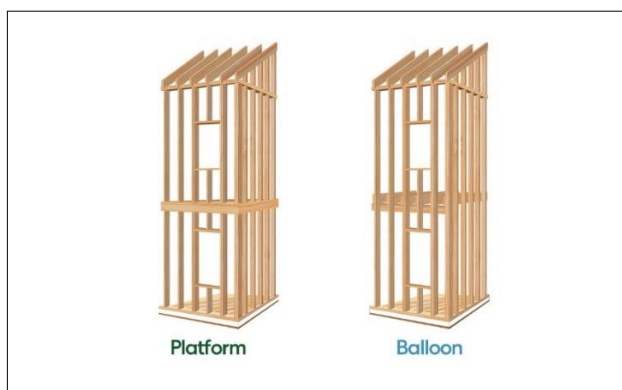


Fig. 30 - Diferença entre estruturas “Balloon Frame” e “Platform Frame” [34]

3.2.2. PAINEL ESTRUTURAL ISOLANTE - STRUCTURAL INSULATED PANEL

O método construtivo SIP, Structural Insulated Panel ou em português Painel Estrutural Isolante, surgiu em 1934 nos EUA e atualmente é bastante utilizado nos EUA, Canadá, Norte da Europa e Reino Unido. É um sistema em painéis bastante utilizado na construção de edifícios residenciais e comerciais leves e integra-se na construção pré-fabricada visto que os painéis que formam as paredes, lajes, etc são realizados em fábrica e são, posteriormente, ligados uns aos outros no próprio local da obra ou pode-se até mesmo pré-fabricar paredes inteiras [39].

Estes painéis são considerados os materiais do século XXI, têm elevada resistência estrutural, com uma produção mínima de resíduos e os materiais utilizados na construção são maioritariamente recicláveis. Como os painéis são realizados em fábrica, apenas sendo necessário realizar a montagem na obra, isto confere uma diminuição do tempo de execução da obra e da mão de obra necessária. Assim, este sistema construtivo consegue competir com outros sistemas, não sendo muito mais caro do que uma construção com estrutura de madeira [40].

Tal como os sistemas Light Framing, quanto maior é o nível de pré-fabricação, mais rápido será a execução da obra e mais eficiente é o sistema devido ao elevado controlo que é realizado em fábrica. Têm também um elevado isolamento térmico, elevados níveis de estanquidade à água e ao ar, são resistentes à humidade, são sustentáveis, e, o facto de terem baixo peso e facilitarem as instalações elétricas e hidráulicas, diminui o custo e o tempo de montagem [40].

Este sistema é composto por um núcleo de espuma isolante prensado colocado entre duas placas estruturais formando, assim, um painel estrutural com isolamento incorporado. Os painéis SIP são unidos uns aos outros através de barrotes e vigas de madeira. As placas são usualmente em OSB ou em MGO (Placa de Óxido de Magnésio) e o isolamento é normalmente em EPS, Lã de Rocha, espuma rígida de poliuretano (PU) ou de poli-isocianurato (PIR), poliestireno expandido extrudido (XPS), fibra de madeira ou aglomerado de cortiça expandida [39].

As dimensões que são normalmente utilizadas nos painéis correspondem:

- EPS: espessura variável entre 5 e 250 mm, com usualmente 80mm nas paredes e 100mm nos pavimentos;
- OSB: normalmente espessuras de 15 mm, mas também existem painéis com espessuras de 12, 18, 22, 25 e 30mm, dependendo da necessidade de cada edifício ou da localização da obra;
- Montantes de madeira: 80 mm*80/100 mm de espessura [39].



Fig. 31 – Construção em SIP [41]

Segundo um estudo realizado em várias regiões na América do Norte, América Central e do Sul, Europa, Ásia-Pacífico e do Médio oriente e África, os painéis SIP foram avaliados em aproximadamente 9 mil milhões de euros em 2020, com previsão de aumento de 5,5% por ano entre 2021 e 2028. Em 2019 o mercado do Norte da América foi quem dominou o mercado mundial com cerca de 38% e prevê-se que a região Ásia-Pacífico vai ter um rápido crescimento neste mercado devido ao rápido aumento do setor da construção e da adoção de normas e iniciativas para uma construção sustentável [42].

3.2.3. PAINÉIS DE MADEIRA LAMELADA CRUZADA - CROSS LAMINATED TIMBER

O Cross Laminated Timber (CLT) não é apenas um material, é um sistema de construção em painéis de madeira e que está a ser cada vez mais procurado devido às várias vantagens que pode trazer, tanto em comparação com a construção tradicional como, também, com o sistema em estrutura leve referido anteriormente - Light Wood Framing. O CLT surgiu na Suíça, mas foi posteriormente estudado nos anos 70/80 na Áustria e, em 1993, foi construído o primeiro edifício na Suíça. Países como a Áustria, Alemanha, Itália, Canadá, Estados Unidos, Japão e Nova Zelândia têm sido essenciais tanto na pesquisa como na utilização e promoção de aplicações do CLT [43].

Os painéis CLT, constituídos por madeira lamelada colada cruzada, são produtos de madeira maciça (Mass Timber Products - MTPs) pré-fabricados, ou seja, são realizados em fábrica através da colocação de várias camadas de tábuas (lamelas) estruturais de madeira e são coladas umas às outras formando, desta forma, um painel maciço de madeira. As camadas são coladas de forma alternada dispostas ortogonalmente e o painel pode ser constituído por três, cinco ou sete camadas, cujas espessuras dos elementos e a quantidade de camadas vão depender dos requisitos estruturais. Podem ser aplicados tanto em paredes, pavimentos e coberturas de edifícios, como também na estrutura principal de pontes [43].

A construção em CLT surge, deste modo, como um processo de construção inovador cuja disposição ortogonal das camadas e a composição da madeira maciça, permitem a distribuição bidirecional das cargas (ao contrário da distribuição unidirecional das estruturas porticadas) conferindo ao painel elevada resistência mecânica, permitindo, também, a criação de vãos com elevadas dimensões [44].

O facto de as lamelas estarem coladas de forma ortogonal, confere ao painel maior estabilidade dimensional, visto que limita as variações higroscópicas da madeira quando esta é submetida a alterações do teor de humidade [44].

A construção em painéis CLT insere-se no grupo da construção leve devido ao seu peso de 500 kg/m³, ainda bastante inferior ao peso do betão (2500 kg/m³) ou do aço (7000 kg/m³). A leveza do material permite que seja mais fácil de construir, principalmente em locais de difícil acesso. O correto planeamento do projeto aliado à característica de facilidade de montagem dos painéis, permite que a construção seja bastante mais rápida, garantindo que não haja desperdícios, o que faz reduzir o impacto ambiental [45].

Em comparação com a construção tradicional, como o CLT é uma construção seca, isto é, não é necessário tempo de secagem, isto contribui para que a construção seja mais rápida, pois apenas é preciso montar os painéis na obra e, também, traduz-se na poupança do consumo da água, ao contrário de, por exemplo, o betão que necessita de bastante água na sua composição [45].

Neste tipo de construção, a madeira que é utilizada para formar os painéis é apenas colhida, serrada e colada, ou seja, não necessita de muitos processos de transformação e, por isso, também não necessita de muita energia na sua fabricação [45].

Além disso, este sistema construtivo detém elevadas capacidades de isolamento acústico, térmico, resistência aos sismos e ao fogo, como também, ainda possui algumas características das apontadas anteriormente sobre a madeira: capacidade higroscópica, sustentável, baixa condutibilidade térmica e durabilidade [45].



Fig. 32 - Esquerda: Painel estrutural CLT [46]; Direita: Construção de edifício em CLT [47]

O edifício Mjøstårnet é considerado, atualmente, o maior edifício em madeira, combinando madeira laminada cruzada (CLT) e madeira laminada colada (MLC). O edifício tem uso misto, está localizado na Noruega e ficou concluído em 2019. Tem 18 andares e uma altura aproximada de 85,4 metros. Desde esta conquista, que vários edifícios em madeira de maiores dimensões têm sido propostos e estudados [48].



Fig. 33 - Edifício Mjøstårnet [48]

Segundo um estudo realizado em várias regiões na América do Norte, América Latina, Europa, Ásia-Pacífico e do Médio Oriente e África, o mercado CLT foi avaliado em aproximadamente 748 milhões de euros em 2020, com previsão de aumento de 14,2% por ano entre 2021 e 2027. O mercado da Europa e da América do Norte são os principais responsáveis que dominam o mercado global do CLT com aproximadamente 40% [45].

3.3. CONSTRUÇÃO LEVE EM AÇO

O sistema construtivo Light Steel Framing (LSF) é um dos sistemas em que o peso próprio da estrutura é leve em comparação com a estrutura tradicional. Neste caso, a estrutura principal é constituída por chapas de aço galvanizado, enformado a frio e, por isso, em Portugal é conhecido como Estrutura em Aço Leve [49].

O LSF é originário dos Estados Unidos e veio substituir a forma, até então muito utilizada e tradicional, da estrutura em madeira dos edifícios. Os EUA utilizaram o sistema LSF na construção das bases militares da segunda guerra mundial fora do seu território pois, por um lado, era um material leve de transportar e bastante resistente e, por outro, o sistema construtivo era muito rápido e fácil de executar. Assim, no final da segunda guerra, a indústria metalúrgica já se apresentava bastante desenvolvida [49].

Por outro lado, a segunda guerra provocou vários destroços um pouco por todo o mundo. No Japão, no final dos anos 40 e início dos anos 50, o aço começou a ser bastante utilizado na construção para reparar as habitações danificadas pela guerra e para substituir a madeira que na altura estava a um preço exorbitante [49].

Outros marcos importantes na história do LSF foi o início da legislação norte americana dos sistemas LSF nos anos 40 e o acesso interdito de algumas florestas à indústria da madeira nos anos 80 o que proporcionou a limitação da extração e utilização da mesma na construção. Isto originou problemas diretos no setor da construção como a diminuição da qualidade desta matéria-prima e um aumento significativo do custo da mesma, o que levou os construtores a optarem por soluções construtivas mais baratas e eficazes como o aço [35].

Ao longo do tempo a adoção do aço na construção foi aumentando. Nos anos 90 com a diminuição da madeira na construção e o crescimento da economia da Ásia e do Médio Oriente o custo do aço era cada vez mais baixo o que proporcionou um aumento da sua utilização nos Estados Unidos e na Austrália. Criaram-se legislações com normas e procedimentos de execução do sistema construtivo em aço que ajudaram na evolução e na adoção deste sistema um pouco por todo o mundo até aos dias de hoje [49].

Atualmente, verifica-se que o LSF é bastante aplicado nos Estados Unidos, no Japão, Austrália, Nova Zelândia, Reino Unido, Dinamarca, Suécia, África do Sul e até mesmo no Brasil. Em Portugal o sistema LSF começou a ser utilizado na década de 90 e hoje em dia é um sistema muito utilizado, principalmente na reabilitação urbana.

A estrutura principal deste tipo de sistema, ou por outras palavras o “esqueleto”, é aço galvanizado enformado a frio com espessura reduzida. Desta maneira, o aço torna-se bastante durável e resistente à corrosão devido ao processo de galvanização por imersão a quente e com elevada resistência às cargas devido à moldagem à temperatura ambiente, contrariamente ao aço laminado a quente [50].



Fig. 34 - Construção em Light Steel Framing [51]

Segundo um estudo realizado em várias regiões na América do Norte, América Latina, Europa, Ásia-Pacífico e do Médio Oriente e África, o mercado Light Steel Frame foi avaliado em aproximadamente 28 mil milhões de euros em 2020, com previsão de aumento de 4,6% por ano entre 2021 e 2028. Os

mercados das regiões Ásia-Pacífico e da Europa e América do Norte são os principais líderes, possuindo cerca de 44% e 43% do mercado global, respetivamente [52].

Outro estudo realizado em 2017, verificou um aumento deste tipo de construção desde 2014 e prevê que assim continue até, pelo menos, 2025 em todos os tipos de edifícios: comerciais, residenciais e industriais (Fig. 35) [53].

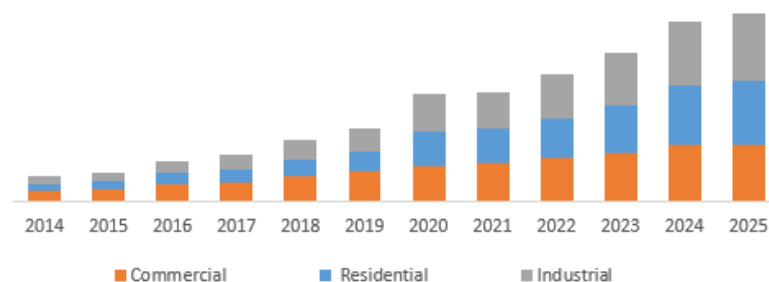


Fig. 35 - Mercado Global LSF por tipo de edifício 2014-2025 (USD Milhões) [53]

3.4. CARACTERÍSTICAS DA CONSTRUÇÃO LEVE

As técnicas construtivas com elementos leves conferem várias vantagens para o setor da construção, tratando-se de uma alternativa viável à construção tradicional em betão e alvenaria.

Este sistema construtivo utiliza materiais que são normalmente prefabricados, o que origina uma diminuição do trabalho realizado no estaleiro e um aumento das tarefas a realizar em fábrica. Por consequência, o tempo de construção vai ser menor do que na construção tradicional, encontrando-se dependente do grau de industrialização e, portanto, quanto maior o grau de industrialização, mais rápido será a execução da obra, sendo possível a pré-fabricação de paredes, pisos, asnas de coberturas e até mesmo de módulos completos com acabamentos e infraestruturas incluídas. Essa elevada velocidade deve-se a características próprias deste tipo de construção que é o planeamento mais exigente de todas as tarefas a realizar, sendo que muitas delas podem ser realizadas em simultâneo e, como este trabalho é realizado a seco, não está dependente das condições climáticas nem de cofragens, tempos de cura, etc. [33].

A análise da sustentabilidade de um sistema construtivo envolve um estudo do impacto que este gera tanto nas questões ambientais como também económicas e sociais. As construções leves têm elevada facilidade de desmontagem o que permite que os materiais possam ser reutilizados e reciclados como por exemplo o aço que é um material 100% reciclável. Esta solução é bastante vantajosa na preservação dos recursos naturais devido à massa total da construção que é mais baixa do que a construção tradicional (cerca de 40% da massa total de um edifício com a mesma geometria de construção tradicional) e à consequente baixa quantidade de materiais. Devido ao elevado nível de planeamento da obra e de industrialização e à possibilidade de reciclagem e de reutilização dos materiais estes tipos de obra geram uma quantidade de resíduos bastante mais baixa do que as obras de construção convencional. A quantidade de energia primária dos sistemas de construção leve que é utilizada na extração das matérias-primas, no seu transporte e no seu processamento é praticamente igual à quantidade de energia utilizada na construção tradicional, porém, por vezes pode ser um sistema mais eficiente a nível térmico, e, assim sendo, a quantidade de energia utilizada ao longo do ciclo de vida do empreendimento é menor. Além

disso, como já foi referido, estes sistemas têm elevado isolamento acústico e térmico o que contribui para o conforto e satisfação dos utentes [36].

A estrutura dos sistemas LWF e LSF possuem várias cavidades que facilitam tanto a passagem de instalações, evitando a abertura de roços, como também a integração de isolamento térmico e acústico que é indispensável na construção leve para garantir o conforto térmico e acústico dos edifícios [33].

A construção leve como inclui a utilização de várias peças implica: uma grande quantidade de desenhos de pormenor; um controlo dos materiais na receção ao estaleiro, na sua proteção e armazenamento, havendo especial atenção com o teor em água da madeira pois esta sofre variações dimensionais [33].

Em comparação com a construção tradicional, admitindo edifícios idênticos e apenas variando a solução construtiva, mesmo com paredes e pavimentos de menor massa, a construção leve pode apresentar elevados desempenhos térmicos, conferindo um ambiente interior confortável e sem grandes amplitudes térmicas favorecendo uma poupança energética [54]. Em Portugal, este é um aspeto relevante pois além das construções continuarem a ter um isolamento fraco, o custo da energia é uma das mais caras da Europa. Segundo um inquérito realizado pelo Portal da Construção Sustentável, apenas 1% dos inquiridos considera que a sua habitação é confortável no Inverno e 74% considera que é fria. A par disto, são os resultados da mortalidade na estação fria em Portugal que são também uns dos maiores da Europa. Por isso, é urgente adotar soluções e materiais que sejam termicamente eficientes [29].

Em relação ao comportamento ao fogo, as estruturas em madeira são claramente mais frágeis, pois é um material combustível, ao contrário do aço. No entanto, o aço quando sujeito a temperaturas bastante elevadas tem risco de encurvadura, e com espessuras mais reduzidas maior é esse risco, pondo em causa a segurança estrutural do edifício. Porém, os isolamentos e revestimentos, como por exemplo o gesso cartonado, a fibra de vidro e a lã de rocha, protegem as estruturas do fogo por algum tempo [55].

Os sismos são um dos fenómenos naturais com consequências desastrosas tanto materiais como perdas de vidas humanas, por isso, os edifícios, atualmente, têm de ser projetados de modo que sejam capazes de resistir a essas ações. Os sismos são caracterizados por movimentações da terra de intensidade variável que podem causar danos aos edifícios devido ao efeito de inércia, ou seja, o edifício está em repouso e quando é sujeito a ações sísmicas este tende a opor-se, contrariando a movimentação da terra o que origina fissuras que podem comprometer a segurança do mesmo. Os sistemas construtivos leves em geral são todos aptos para esta situação, no entanto destaca-se em especial o sistema LSF é bastante vantajoso e muito utilizado em regiões que têm risco elevado de ocorrência de sismos, uma vez que: todo o processo de fabricação do aço é rigoroso e controlado tendo sempre a qualidade desejada; o aço como material construtivo tem características bastante vantajosas na ocorrência de sismos em comparação com outros materiais; e, além disso, todo o método construtivo tem elevada capacidade de resistência às forças sísmicas [35].

Os custos de uma habitação são influenciados por vários aspetos como os materiais aplicados, a mão-de-obra, os equipamentos utilizados, etc. As construções leves têm custo idêntico às construções tradicionais em alvenaria e betão, mas, por todas as razões referidas anteriormente, a construção leve em relação qualidade/preço por vezes pode ser mais vantajosa visto que, pelo mesmo preço, a rapidez de construção, segurança, e outros aspetos referidos anteriormente são superiores. Se por um lado o material que é utilizado é bastante mais caro do que os materiais da construção tradicional, por outro, devido à elevada taxa de prefabricação dos materiais e facilidade de aplicação na obra, é preciso pouca mão de obra diminuindo, assim, o custo total e conseguindo que este seja um método possível de competir com outros tipos de construções (Fig. 36) [56].

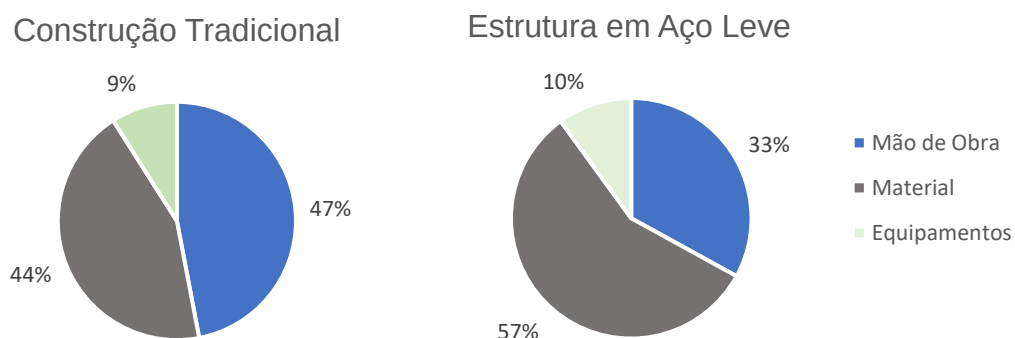


Fig. 36 - Comparação peso da mão de obra, materiais e equipamentos no custo total da construção tradicional e construção LSF [56]

No que concerne à durabilidade destes tipos de construções pode ser bastante longa. Como, por um lado, o tipo de aço utilizado já tem características para ser resistente à corrosão e, por outro lado, nos vários sistemas construtivos leves, se houver uma correta manutenção podem resistir vários anos [35].

Por fim, a construção leve é utilizada na reabilitação urbana visto trazer várias vantagens como por exemplo: o melhor isolamento térmico e acústico que normalmente é ineficiente nos edifícios antigos; menos cargas sobre as estruturas devido ao baixo peso dos materiais sendo bastante importante para não colocar peso a mais do que aquela que a estrutura aguenta; e maior facilidade de transporte e de elevação dos materiais o que é bastante vantajoso especialmente para locais de difícil acesso como os centros históricos [57].

3.4. REABILITAÇÃO URBANA

A Reabilitação de edifícios designa-se por um conjunto de tarefas no sentido de recuperar, conservar e restaurar o sistema construtivo, através da resolução dos defeitos e melhoria do seu desempenho, permitindo, assim, que sejam novamente utilizados garantindo a segurança e conforto dos ocupantes. Neste âmbito, surge a Reabilitação Urbana que visa a restauração e renovação da cidade através de estratégias urbanísticas que potencializem as áreas urbanas a nível económico, social, ambiental e funcional, aumentando a qualidade de vida dos residentes e renovando as cidades com a recuperação do parque edificado [58].

A questão da Reabilitação não é algo apenas dos dias de hoje, já está presente na nossa civilização há algum tempo, sendo que, inicialmente, a preocupação passava por apenas reabilitar edifícios com valor patrimonial e, mais tarde, é que se começou a valorizar, também, a reabilitação de edifícios civis [58].

Com a necessidade de preservar e restaurar os edifícios já construídos, foram também surgindo e evoluindo documentos e normas. Um dos primeiros documentos que surgiu na defesa da reabilitação dos edifícios foi a Carta de Atenas, que foi um documento traduzido, aplicado a nível internacional e publicado em 1931 [59]. Atualmente em Portugal a legislação que define os requisitos de reabilitação é o Decreto-Lei n.º 95/2019.

Um dos principais motivos da Reabilitação é para garantir a durabilidade do Património e preservação da cultura e da história presente em cada edifício e em cada cidade. É por isso necessário conhecer a realidade pré-existente e conservar a mesma [60].

É possível reabilitar vários campos num edifício, tais como, a estrutura, segurança contra incêndios, reestruturação do espaço, qualidade do ar, conforto térmico, acústica, etc.

Até 2006 os pavimentos não eram elementos construtivos de intervenção térmica, ou seja, não era necessário que fossem isolados. No entanto, com a entrada em vigor em Portugal da nova versão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e da diretiva europeia 2002/91/CE, os pavimentos quer sejam pavimentos em contacto com o terreno, sobre espaços de ar ventilados ou em contacto com espaços não uteis ou com o exterior, podem ser responsáveis por até 20 % das perdas totais térmicas, passam, assim, a ser um elemento com necessidade de isolamento térmico com o objetivo não só de aumentar o conforto, como também contribuir para a diminuição do consumo de energia. Logo, edifícios construídos até esta altura e que sejam sujeitos a uma reabilitação dos pavimentos, é necessário garantir o isolamento térmico [61].

Outro aspeto a ter em conta na reabilitação de edifícios é o seu isolamento acústico. Tanto em Portugal como nos outros países da Europa este tópico tem vindo a ser estudado e, como consequência, os requisitos acústicos têm vindo a alterar de maneira a haver cada vez mais conforto para o utente. Como tal, os valores que eram admissíveis há uns anos atrás, hoje em dia são insuficientes. Logo é necessário substituir por materiais que sejam mais eficientes do ponto de vista acústico.

A Reabilitação dos elementos construtivos é bastante complexo e é preciso ter em atenção as cargas a que a estrutura vai ser sujeita sendo preferível escolher materiais leves de modo a serem compatíveis com a estrutura e não comprometerem a longevidade da mesma.

A reabilitação tem também uma grande importância a nível ambiental, uma vez que em comparação com uma construção nova há menos consumo de energia na produção, menos produtos e matérias-primas, redução da quantidade de emissão de CO₂ e há uma limitação dos resíduos de demolição [60].

Para se compreender que tipo de edifícios são necessários reabilitar, é preciso ter em conta que tipo de construção é frequente em cada País, qual a sua evolução ao longo do tempo, etc. Para isso foram consultados alguns censos que são realizados de 10 em 10 anos. O ano presente de 2021 é quando está a ser realizado os censos, mas na altura da realização desta dissertação ainda não foram apresentados os resultados, logo foram consultados os censos de 2011 (anos dos últimos censos) e dos anos anteriores para se prever a evolução dos dados da construção.

Os dados obtidos em 2011 (Fig. 37) demonstraram que mais de metade dos edifícios existentes foram construídos depois de 1971, ou seja, tinham menos de 40 anos, cerca de 22,5% tinham menos de 65 anos e 14,4% tinham mais de 65 anos de construção. Isto traduz-se num parque edificado com mais de metade dos edifícios com, atualmente, menos de 50 anos que é o tempo de vida útil dos edifícios e, por isso, são esses edifícios que terão de ser reabilitados [62].

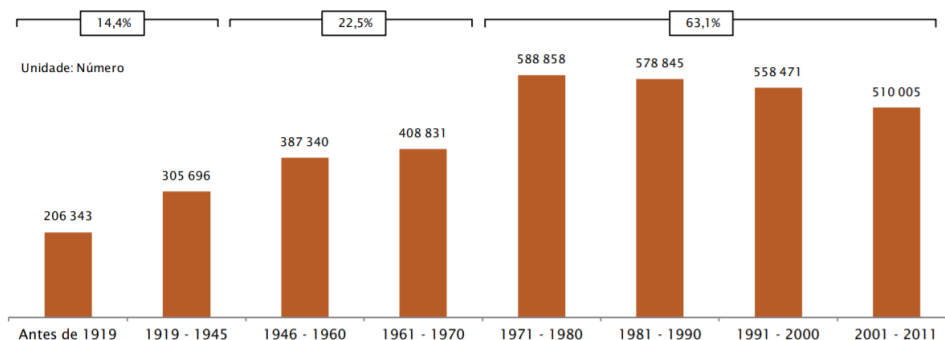


Fig. 37 - Número de edifícios existentes em 2011 segundo a época de construção [62]

Em 2001, através da análise realizada aos materiais que eram mais utilizados como componentes resistentes para servirem de estrutura e suporte à construção e aos pavimentos foram identificados que 58% dos edifícios que existiam em Portugal eram de Paredes de alvenaria argamassadas, 1/3 dos edifícios eram de betão armado e 11% de Paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe (Quadro 9) [62].

Em 2011 houve uma mudança significativa no tipo de construção existente em Portugal havendo um aumento significativo no uso de betão armado (aumento de 77,8%), representando quase metade do total de edifícios existentes (48%), e em edifícios com outros tipos de estruturas que aumentou quase para o dobro, mas que ainda assim representava apenas cerca de 1% do total de edifícios. Em geral o tipo de construção de Paredes de alvenaria sofreu uma grande redução no seu número de edifícios existentes (Quadro 9) [62].

Quadro 9 - Número de edifícios segundo o tipo de estrutura do edifício [62]

Tipo de estrutura de construção	Nº de edifícios 2001		Nº de edifícios 2011	
Betão armado	967 977	30,6%	1 721 109	48,6%
Paredes de alvenaria argamassadas	1 824 382	57,8%	1604889	45,3%
Paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe	352 466	11,2%	189 072	5,3%
Outros	15 218	0,5%	29 319	0,8%
Total	3 160 043	100%	3 544 389	100%

Até aos anos 60 do século XX, o sistema construtivo bastante utilizado em Portugal era a alvenaria de pedra, que tinha por base a utilização da alvenaria de pedra nas paredes e fundações e a madeira nos pavimentos e coberturas. No resto da Europa, a madeira era também bastante utilizada nos pavimentos. No entanto, estes materiais foram sendo substituídos dando lugar a novos materiais, como por exemplo, a partir dos anos 40 a utilização de forma massiva do betão armado que, em Portugal, corresponde aproximadamente a 47% do total dos edifícios existentes em 2018 [58].

Verifica-se que depois de 1980 a evolução da construção de edifícios segundo o seu tipo de estrutura mantém-se constante com uma tendência para aumentar os edifícios em betão armado, ocupando um valor significativo superior a 60% do número total, e com uma tendência para diminuir os edifícios em paredes de alvenaria argamassada.

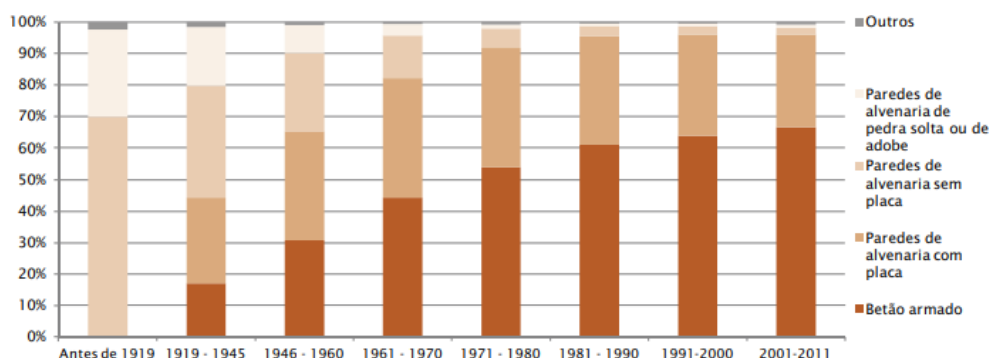


Fig. 38 - Evolução por época de construção do edifício consoante o tipo de estrutura de construção [62]

No que se refere aos revestimentos exteriores das paredes e o tipo de cobertura, o reboco tradicional ou marmorite e a cobertura inclinada revestida a telhas cerâmicas ou de betão respetivamente, são os mais utilizados e representam um aumento das suas utilizações de 2001 para 2011 [62].

O gráfico da figura 39 demonstra que em Portugal, os edifícios construídos entre 1946 e 1990, são os que necessitam de mais reparação tanto em pequena como em grande escala, sendo bastante mais elevado a necessidade de pequenas intervenções. Como foi apresentado anteriormente, nesta época a construção em betão armado foi o tipo de construção maioritário.

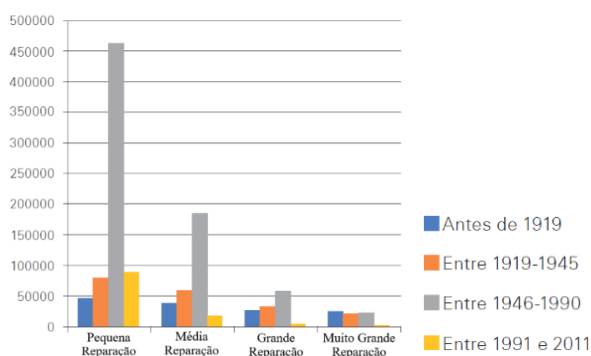


Fig. 39 - Necessidade de reparação dos edifícios existentes em 2011, segundo a época de construção [58]

Assim, visto que normalmente os edifícios são projetados para 50 anos, são essencialmente edifícios de estrutura em betão armado e em paredes de alvenaria argamassada que irão necessitar de ser reabilitados nas próximas épocas.

3.5. INQUÉRITO REALIZADO ÀS EMPRESAS

Foram contactadas várias empresas dedicadas à Construção Leve e/ou Reabilitação Urbana, tanto de Portugal como de outros países europeus (Espanha, Alemanha, Reino Unido, Itália, Noruega, Suécia, República Checa, Holanda, Bélgica e França), para responderem ao inquérito realizado para um estudo do mercado das empresas, da tendência que estes tipos de sistema de construção apresentam e quais os aspetos com maior fragilidade e preocupação por partes das empresas nos elementos construtivos de cada um dos sistemas.

No entanto, é de notar que apesar das várias tentativas, não foi possível obter um elevado número de respostas, o inquérito foi desempenhado via *Google Forms* para facilitar todo o processo que, contrariamente à marcação de reuniões, poderia não ser tão simples para as próprias empresas. Foi também decidido que o nome das empresas ficaria em anónimo.

As empresas que responderam dedicam-se todas tanto à Reabilitação Urbana como à Construção Leve e verifica-se valores muito díspares relativamente ao número de anos que se dedicam a cada um dos sistemas construtivos, mas a Construção Leve é bastante mais recente (no máximo 20 anos).

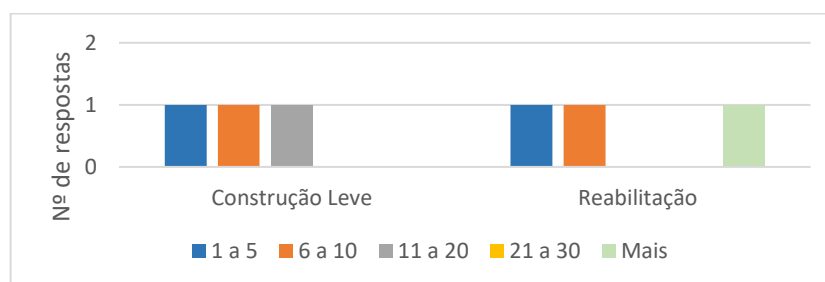


Fig. 40 - Número de anos que se dedicam à Construção Leve e/ou à Reabilitação Urbana

Verifica-se que dois terços das empresas confirmam que os seus projetos de construção são mais dedicados à Reabilitação de edifícios face à construção nova, e que a construção leve é atualmente mais utilizada em construções novas do que na Reabilitação. Todas as empresas que responderam utilizam como sistema construtivo leve apenas o Light Steel Framing (LSF) e para trabalhos de Construção Leve e/ou Reabilitação Urbana são solicitadas principalmente em Portugal e Moçambique, mas também em França, Costa Rica, Belize, México, Estados Unidos, Angola e Cabo Verde.

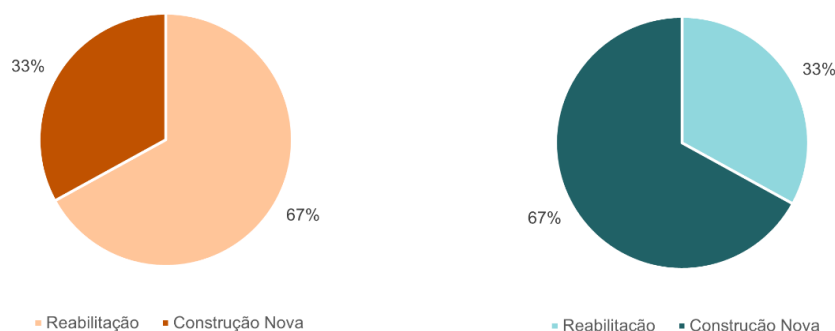


Fig. 41 - Tendência dos projetos das empresas (esquerda) e onde são mais utilizadas as construções leves (direita)

As empresas são portuguesas e afirmam que, apesar da quantidade de projetos de construção leve ser ainda bastante inferior em comparação com os da construção tradicional, é um sistema construtivo que tem vindo a evoluir e a ser cada vez mais pretendido pelos clientes, e preveem que com a cuidadosa divulgação destes sistemas e com a respetiva utilização “em vários segmentos de mercado”, este tipo de construção poderá continuar a tendência de aumentar no mercado da construção.

Relativamente às fragilidades ou aspetos que poderiam ser melhorados nos elementos construtivos da Construção Leve estão identificadas na Fig. 42. Note-se que o termo “Não aplicável” significa que a empresa não respondeu e não relacionou a característica a melhorar com o elemento construtivo. Deste modo, verifica-se que as empresas identificam que as características da reação ao fogo, da sustentabilidade, proteção contra a humidade e de controlo de vibrações são os aspetos mais importantes a ter em conta e na maior parte dos elementos construtivos.

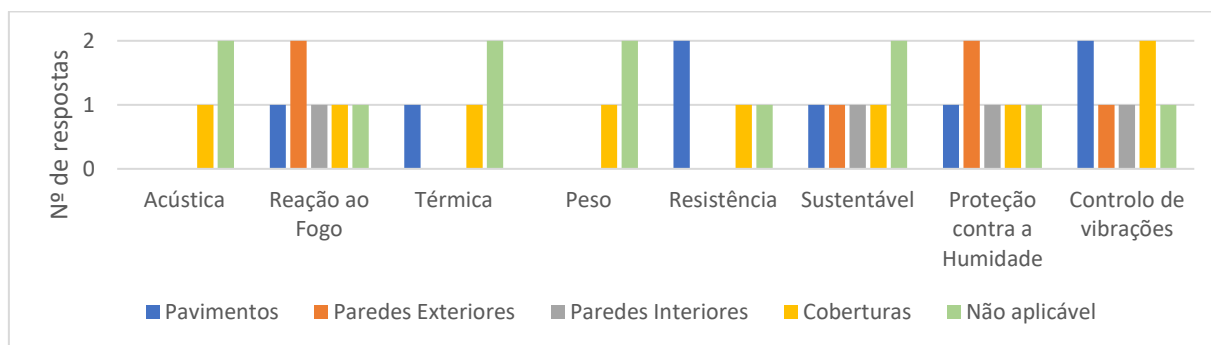


Fig. 42 - Fragilidades identificadas ou aspetos a melhorar na Construção Leve

Da mesma forma, também foram avaliadas as fragilidades nos vários elementos construtivos na Reabilitação Urbana, tendo-se concluído que o isolamento acústico, a reação ao fogo, a sustentabilidade, a proteção contra a humidade e o controlo de vibrações dos materiais, são aspetos mais vulneráveis na maior parte dos elementos construtivos. Todas as empresas concordam especialmente que a reação ao fogo nas coberturas e o isolamento térmico nas paredes exteriores devem ser melhorados.

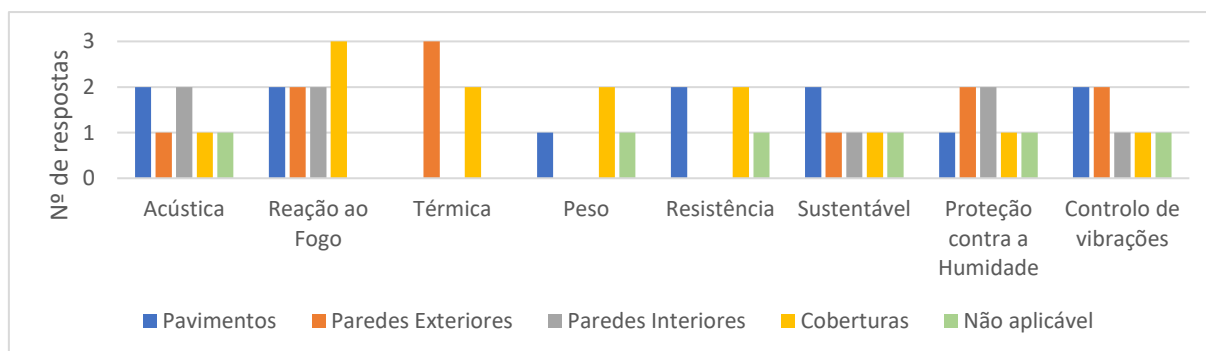


Fig. 43 - Fragilidades identificadas ou aspetos a melhorar na Reabilitação Urbana

3.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO

O setor da construção tem atualmente uma grande preocupação que passa pela construção verde, sustentável e eficiente. Nesse contexto, surge a reabilitação dos edifícios antigos e a adoção de novos sistemas construtivos que sejam mais sustentáveis como a Construção Leve. Começam também a surgir por todo o mundo cada vez mais iniciativas e legislações para incentivar a reabilitar e utilizar materiais eco-eficientes.

A construção leve além da sustentabilidade tem outras vantagens como o facto de ter um tempo de construção menor, tem elevada resistência aos sismos, sistemas mais eficientes a nível térmico, etc. Já a reabilitação poderá significar uma solução mais económica e pode também ser integrada com sistemas construtivos leves que se traduz numa forma mais rápida de construção e como são de baixo peso não comprometem a estrutura pré-existente.

A tendência que se verifica no mercado é que estes sistemas construtivos venham a aumentar e a ser cada vez mais utilizados, mas é preciso identificar quais são os problemas que existem nos edifícios antigos e na construção leve para se perceber de que forma os compósitos de cortiça podem ser uma mais-valia nestas situações.

4

INTEGRAÇÃO DOS COMPÓSITOS DE CORTIÇA NA CONSTRUÇÃO LEVE E NA REABILITAÇÃO URBANA

4.1. A ACÚSTICA NA CONSTRUÇÃO

A ciência que se dedica à análise do som, à propagação do mesmo e como este intervém no dia a dia do ser humano, designa-se por acústica. Nesta ciência do ramo da física há uma especialidade dedicada em particular aos edifícios, a acústica dos edifícios, mais concretamente com a propagação do ruído entre os vários compartimentos com o objetivo assegurar o adequado cumprimento do isolamento acústico aéreo, do isolamento acústico de impacto e das instalações prediais [63].

O som é uma onda mecânica que é originada por um corpo que começa a vibrar e provoca em todas as direções uma oscilação das partículas que estão em contato com ele e estas, por sua vez, a oscilação das partículas vizinhas e assim sucessivamente. A onda sonora propaga-se em meios materiais, isto é, em gases, líquidos ou até mesmo em sólidos, cuja velocidade de propagação depende das propriedades físicas do meio [63].

A oscilação das partículas, na transferência de energia, resulta em zonas de compressão e de rarefação de volumes de ar, e, por isso, a medição do som é equivalente a medir a variação da pressão sonora em pascal (Pa).

Se por um lado o som é uma experiência agradável para o ouvido do sujeito, quando este é atingido pela onda de pressão, por outro, o ruído está relacionado a uma sensação negativa e incómoda, mas que tal distinção entre o som que é agradável ou não também é dependente do sujeito que está a receber os estímulos auditivos. Apesar de tal distinção ser subjetiva e variável, cada um de nós já experienciou ruídos que causam uma sensação desagradável e, em casos extremos, podem provocar doenças e lesões para o ouvido humano que é bastante sensível e é capaz de reagir a uma gama de frequências entre 20 Hz e 20.000 Hz, e amplitude entre 20 μ Pa e 20 Pa, que é o limite tolerável de dor [64].

Consequentemente, tendo o ruído bastante impacto no bem-estar e na própria saúde da população, é importante garantir o máximo conforto dos habitantes diminuindo a sua transmissão, com especial relevância nas cidades populosas que têm elevado ruído associado [63].

O nível de ruído sonoro utiliza o decibel (dB) como unidade de medida. O decibel (dB) corresponde a um décimo de um Bel e é uma unidade logarítmica que é expressa em relação a um valor de referência traduzindo-se numa relação de 10 vezes o logaritmo de base 10 da razão entre a parcela a determinar e a parcela de referência [63].

Uma das necessidades identificadas tanto na Construção Leve como na Reabilitação Urbana é o isolamento acústico dos pavimentos. Por um lado, na construção leve devido à baixa massa do sistema, o isolamento acústico a sons de impacto é bastante mais exigente do que numa construção tradicional. Por outro lado, nos edifícios antigos o isolamento que era admissível na altura da construção, hoje em dia é bastante mais exigente e por isso é necessário reforçar o isolamento acústico.

4.1.1. FENÓMENOS FÍSICOS DO SOM

No que concerne aos fenómenos físicos do som na construção, quando a onda sonora, ao longo do seu percurso, encontra um elemento construtivo, que se identifica como um obstáculo à continuidade da trajetória da onda, este pode sofrer entre os seguintes fenómenos ondulatórios: reflexão, absorção ou transmissão.

Quando a onda sonora atinge o obstáculo de superfície lisa e rígida, parte do som é refletido, ou seja, volta para o meio de onde iniciou o seu percurso. A reflexão por vezes pode dar origem ao eco que é o fenómeno mais conhecido da reflexão do som. Normalmente os materiais que têm elevada percentagem de reflexão têm baixa absorção. Na construção os materiais como a alvenaria, vidro e madeira maciça fazem parte da lista de materiais de bons refletos [65].

Por outro lado, alguns meios ou materiais têm a capacidade, quando são atingidos por uma onda sonora, de absorver e dissipar parte da energia do som, cuja quantidade de energia dissipada é proporcional à frequência, ou seja, quanto mais alta é a frequência mais elevada é a dissipação, quanto mais baixa a frequência menor é a dissipação. Este processo depende do tipo de material, das suas propriedades e da sua espessura que quanto maior, mais elevada é a absorção do som [65].

A terceira componente, quando a onda atinge um objeto, é transmissão do som, isto é, a onda sonora provoca a vibração do elemento de construção quanto incide sobre ele e este, por sua vez, transmite o som para o espaço adjacente. Normalmente quanto mais flexíveis e menos densos, mais eficazes na transmissão do som [65].

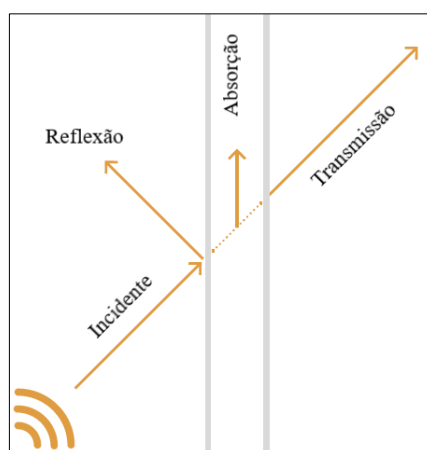


Fig. 44 - Fenómenos físicos do som [63]

Quando se fala do som/ruído nos edifícios e em como é transmitido, este pode ser por sons aéreos – a energia do som é transmitida pelo ar - ou sons estruturais de percussão – a energia do som resultante de choques ou de solicitações mecânicas é transmitida por vibrações através da estrutura do edifício. O

isolamento da acústica dos edifícios deve cumprir os requisitos estipulados em documentos técnicos, dependendo do tipo de uso do edifício, mas que se entende que, em edifícios habitacionais, principalmente de utilização mista, a necessidade de isolamento deve ser superior [63].

Os problemas acústicos têm particular importância quando se trata de construções de baixo peso – construções leves - principalmente nas construções que utilizam a madeira como material estrutural. Estes tipos de construções apresentam um desempenho insuficiente no isolamento acústico em frequências baixas, nomeadamente no som de impacto e na transmissão de vibrações através da estrutura do edifício [63].

Pela visualização da Fig. 45 percebe-se que, como os sons de percussão podem ser ouvidos ao longo de toda a estrutura dos edifícios, necessita de bastante mais atenção. Neste contexto, é necessário controlar a propagação da vibração através do processo de desacoplamento que visa interromper a ligação entre certos elementos que compõem a estrutura do edifício tratando o problema na fonte do ruído. Este processo é possível com a utilização de materiais próprios com características resilientes, capazes de reduzir a transmissão dos sons de percussão na estrutura do edifício e são colocados entre elementos rígidos do mesmo [63].

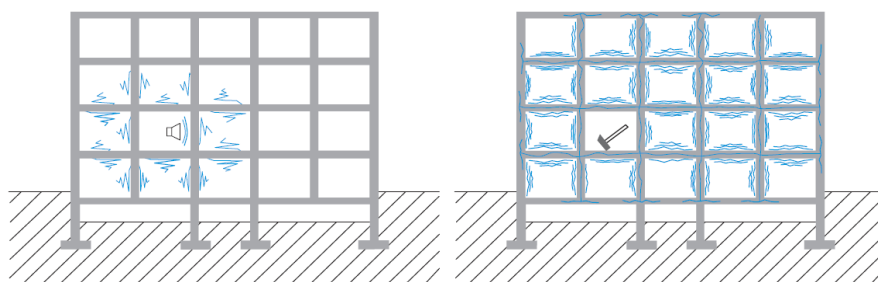


Fig. 45 - Diferença entre sons aéreos (esquerda) e de percussão (direita) [58]

A propagação dos sons aéreos e de percussão entre os vários espaços pertencentes a um edifício podem suceder de diversos caminhos de forma direta ou indireta (marginal). Sendo o elemento de separação entre dois compartimentos o elemento principal (destacado a cinzento escuro na Fig. 46) e os elementos que envolvem os espaços e/ou elemento de separação os elementos secundários (a cinzento claro), designa-se por caminho direto quando o som, que é produzido no espaço emissor, incita uma condição de vibração no elemento de separação que, por sua vez, vai ser transmitido para o compartimento adjacente, espaço recetor (caminho Dd). Por outro lado, quando o som produzido no espaço emissor, é propagado através de elementos envolventes do elemento de separação, denomina-se por caminho indireto ou marginal (caminhos Df, Fd e Ff). Entre os caminhos indiretos, o som pode ser transmitido de três formas distintas:

- Caminho Df – a vibração é transmitida pelo elemento de separação para os elementos que envolvem o espaço recetor;
- Caminho Fd – as paredes envolventes do espaço emissor transmitem a energia do som para o elemento de separação que vai irradiar o som para o espaço recetor;
- Caminho Ff – os elementos que envolvem o espaço recetor recebem as vibrações que são transmitidas pelos elementos que envolvem o espaço emissor [63].

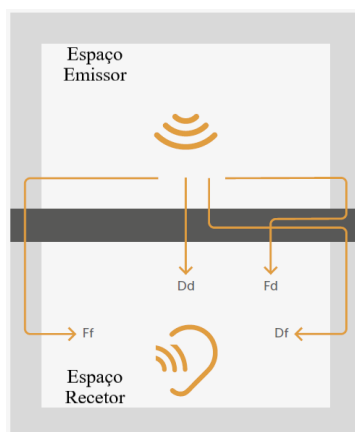


Fig. 46 - Caminhos de propagação do som de forma direta (Dd) ou indireta (Df, Fd e Ff) [63]

O índice de isolamento a sons de percussão (L_w ou $L_{n,w}$ valor normalizado) traduz-se na redução da quantidade de ondas de choque transmitidas pelos elementos construtivos sólidos da estrutura. E é expresso em decibéis e calculado através da ordenada da curva de referência, na banda de frequências de 500 Hz, cujo procedimento para determinação do índice está exposto na norma EN ISO 717-2.

A propriedade acústica que vai ser analisada nos materiais é o ΔL_w que determina o nível de eficiência de um revestimento do piso e denomina-se por índice de redução sonora a ruídos de percussão. Este valor é resultado da diferença entre o nível de pressão sonora normalizado do pavimento de ensaio sem revestimento e o nível de pressão sonora normalizado do pavimento de ensaio com o revestimento [66]:

$$\Delta L_w = L_{n,w}(\text{sem revestimento}) - L_{n,w}(\text{com revestimento}) \quad (1)$$

4.1.2. CONTROLO DE VIBRAÇÕES DOS EDIFÍCIOS

Um fenómeno que também pode estar relacionado com a acústica e é importante nos edifícios, em especial na construção leve e na reabilitação de edifícios com elementos de baixa massa, é o controlo de vibrações. As vibrações mais conhecidas são resultantes de por exemplo sismos, mas na madeira pequenas quantidades de energia, como os sons de percussão, podem originar vibrações da estrutura.

Quando um sistema é sujeito a um movimento que se repete em torno de uma posição de equilíbrio após um intervalo de tempo, é um fenómeno denominado por oscilação ou vibração. O sistema é normalmente constituído por uma mola (elemento de ligação mecânico com massa e amortecimento desprezíveis), uma massa (corpo rígido que pode ganhar ou perder energia cinética quando é alterada a velocidade do corpo) e um amortecedor [67].

O fenómeno da vibração compreende a transferência alternada entre energia potencial a energia cinética reproduzindo-se em calor ou em som e, se o sistema possuir um elemento com capacidade de amortecimento, a energia envolvida é dissipada em cada ciclo de vibração [67].

A frequência natural é um estado de vibração possuído por todos os objetos e que, após a aplicação de uma perturbação que é rapidamente removida, o sistema permanece a oscilar por si só com uma frequência designada por natural, sem forças externas envolvidas [67]. No entanto, quando o sistema é oscilado na mesma frequência que a frequência natural ocorre a ressonância do sistema. É um fenómeno

de extrema importância pois amplifica as vibrações e é uma força bastante destrutiva, responsável por grande parte da fissuração e colapso da estrutura dos edifícios [68].

Este fenómeno pode ser explicado pela transmissibilidade que relaciona a força transmitida (f ou ω) com a força excitante ou frequência natural (f_n ou ω_0). Quando a força transmitida é bastante inferior à força excitante ($\omega \ll \omega_0$), a transmissibilidade é igual a 1 fazendo movimentar a massa no mesmo movimento que a mola. No momento em que as frequências ou forças começam a tornar-se bastante próximas ($\omega \approx \omega_0$), com rácio aproximadamente igual a 1, a transmissibilidade torna-se superior a 100%, havendo uma amplificação do movimento da massa. Quando o rácio entre as forças ou frequências é igual a $\sqrt{2}$ ($f/f_n = 1,414...$) a transmissibilidade é igual a 1, isto significa que não existe amortecimento e as vibrações são transmitidas a 100%. Assim que a força transmitida é superior à frequência natural ($\omega \gg \omega_0$), a transmissibilidade diminui e a mola atenua as vibrações [69].

Seja ζ o coeficiente de amortecimento, cada curva do gráfico corresponde a um valor de coeficiente diferente. Quando o coeficiente ζ tem um valor muito próximo de zero, há uma amplificação infinita na frequência de ressonância e quanto maior o coeficiente de amortecimento, menor é a amplitude de ressonância. Além disso, quando as frequências são superiores, a transmissibilidade diminui mais lentamente à medida que o amortecimento aumenta [69].

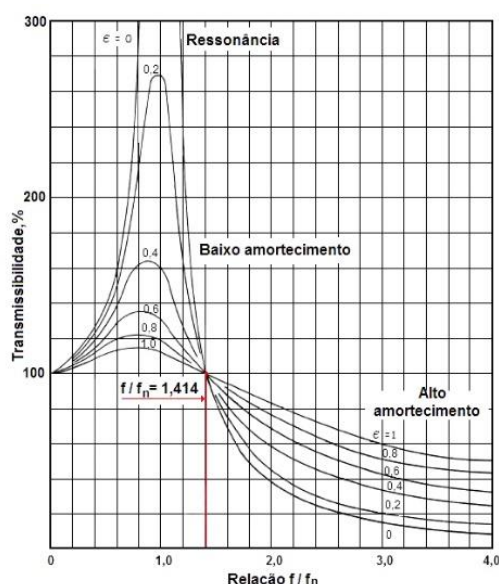


Fig. 47 - Gráfico da transmissibilidade das vibrações de um sistema para vários coeficientes de amortecimento [69]

O controlo do fenómeno da ressonância passa pela modificação da frequência natural afastando-a da frequência de excitação. A frequência natural de um sistema depende da massa e da rigidez, isto é, quanto menor a massa e/ou maior a rigidez, mais elevada é a frequência natural. Percebe-se, assim, a necessidade de controlar as vibrações na construção leve e na reabilitação quando se utiliza materiais com baixa massa e rígidos. Logo, para se alterar a frequência natural nestes casos normalmente utiliza-se materiais resilientes como amortecedores para se reduzir a rigidez da estrutura ou adiciona-se elementos mais pesados para adicionar massa ao sistema e, conseqüentemente, diminuir a frequência natural [68].

4.2. ANÁLISE DE MERCADO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Com o objetivo de enquadrar os produtos da empresa *Amorim Cork Composites* na Construção Leve e na Reabilitação Urbana, foi realizado um estudo do mercado, desta vez de empresas dedicadas a materiais de construção. As empresas que foram analisadas foram a *Rothoblaas*, *Getzner*, *Regupol* e a *Kraiburg*. Com este propósito, foi efetuada uma análise das propriedades dos materiais, cujas especificações referem a sua aplicabilidade em especial na Construção Leve e/ou na Reabilitação, fazendo uma comparação com os produtos da ACC de compósitos de cortiça, de modo a perceber: se podem ou não ser empregues; onde é que podem ser utilizados; se podem ser aplicados diretamente em substituição ou em conjunto com outros materiais; e se as propriedades para cada tipo de aplicação já são suficientes ou se podiam ser melhoradas.

Sempre que possível, as propriedades que foram analisadas foram a espessura, performance acústica e o peso de modo a obter-se o melhor desempenho acústico para a menor espessura e menor peso disponíveis. Foram também analisados a classificação ao fogo e a existência de certificados como: a marcação CE, que indica que o produto foi produzido conforme os requisitos de segurança, saúde e proteção ambiental da União Europeia; ou a certificação da Aprovação Técnica Europeia (ETA – European Technical Approval) cujo objetivo é permitir a marcação CE de produtos não abrangidos ou apenas parcialmente abrangidos por norma europeia harmonizada.

A empresa multinacional de materiais de construção *Rothoblaas* foi criada em 1991 e é originária de Itália, completando atualmente um leque de 30 países nas suas vendas de produtos. Dedicar-se em especial à conceção de produtos e serviços para construções de madeira e disponibiliza uma gama para vários fins como, por exemplo, para isolamento acústico e para impermeabilização do ar [70].

A *Getzner* foi criada em 1969 na Áustria e é uma das empresas com grande importância na história de criação de produtos para o isolamento de vibrações e ruídos transmitidos pela estrutura. A empresa criou produtos à base de poliuretano (PU) para serem utilizados não só no setor da construção, como também no setor ferroviário e na indústria [71].

A empresa *Regupol* foi fundada em 1954 em Bad Berleburg, na Alemanha e conta com uma variada gama de produtos para isolamento acústico aéreo e de sons de impacto tanto para o mercado da construção residencial como para a indústria. Entre as soluções disponíveis para a construção, a empresa apresenta aplicações específicas para a Reabilitação e para as Construções Sustentáveis [72].

Por fim, a empresa alemã *Kraiburg PuraSys* é uma das empresas do grupo *Kraiburg*, e dedica-se à conceção de produtos formados por espuma de poliuretano para os isolamentos acústico e de vibrações na construção, na indústria e no setor ferroviário [73].

4.2.1. APLICAÇÃO DOS UNDERLAYS

A empresa italiana *Rothoblaas* possui, na sua gama de produtos de camadas isolantes para o controlo acústico, o *Silent Step Soft* que é uma membrana em polietileno de células fechadas, colocada sob o pavimento flutuante, de forma isolada sobre betonilhas ou, como se verifica pela Fig. 48, em conjunto com a lã mineral de 20mm em construção leve (entre placas de OSB ou CLT e o pavimento). Tem uma espessura de 2mm, pesa 0,15 kg/m², tem um índice de redução de som de impacto de 18 dB e é adequado a pavimentos LVT e parquet. A empresa refere o valor de isolamento a sons de impacto, mas não especifica a que tipo de pavimento corresponde o valor do ensaio (parquet ou LVT), por isso, foi admitido esse valor para ambos os pavimentos [63].



Fig. 48 - Exemplo de aplicação dos underlays na construção leve: 2 - Silent Step Soft; 3 – lã mineral de alta densidade (20mm) [63]

Assim, o produto compósito de cortiça T66 da ACC com 3mm de espessura tem uma redução de som de impacto de 19dB em pavimentos LVT, ou seja, como os valores divergem de 1dB para 1mm de espessura, parece ser adequado para este tipo de aplicação, no entanto é cerca de 13 vezes mais pesado (Quadro 10). O T66 tem a vantagem de ser apropriado para mais tipos de pavimento como laminado colado e não colado de madeira, cerâmico, etc..

Para pavimento parquet, o T61 com apenas 3mm de espessura apresenta melhor performance acústica de isolamento a sons de impacto a mais 8 dB. Este material é bastante mais leve do que o T66, mas ainda é mais denso do que o *Silent Step Soft*.

Quadro 10 – Comparação da performance dos Underlays para pavimento LVT

Produto	Materiais	Peso (kg/m ²)	Tipo de Pavimento							
			Laminado		Parquet		Cerâmico ou Pedra Natural		Vinílico (LVT)	
			e (mm)	ΔL_w (dB)	e (mm)	ΔL_w (dB)	e (mm)	ΔL_w (dB)	e (mm)	ΔL_w (dB)
Silent Step Soft	Polietileno	0,15 (2mm)	-	-	2	18	-	-	2	18
T61	Aglomerado de cortiça com PU	0,35 (2mm)	2	20	3	18	5	16	-	-
					3 (perfurado)	26				
T66	Aglomerado de cortiça e de borracha reciclada	1,95 (2mm)	3	19	3	16	3	16	3	19
							4,5	18		

Como os produtos da ACC têm a vantagem de ser adequados para outros tipos de pavimentos, o T61 para pavimentos laminados com menos espessura (2mm) consegue um nível de isolamento superior ao do T66, por isso, é mais adequado para este uso. Enquanto no revestimento do pavimento a cerâmico ou pedra natural, o T66 tem um melhor desempenho.

É de notar, como é um fato conhecido, a vulnerabilidade dos polímeros de se deformarem ao longo do tempo, e o polietileno de alta densidade não é exceção. E, nesse aspeto, principalmente o T66 apresenta grande vantagem, pois a deformação é bastante baixa sendo essa realizada inicialmente e mantêm-se constante ao longo do tempo. No entanto, a empresa *Rothoblaas*, apesar de não apresentar nenhuns resultados experimentais, refere que a deformação do produto, ao ser submetido a uma carga, é reversível.

A empresa tem também uma solução adequada para o isolamento acústico e com barreira para-vapor (Fig. 49) que protege o pavimento da transferência de humidade constituído por uma placa de alta densidade de polietileno NPE com película de polietileno (PE) como barreira para-vapor. Apesar da empresa não referir os campos de aplicação, o material é leve (100 g/m^2), tem 2 mm de espessura e tem uma proteção contra a humidade superior a 75 metros, isto é, a espessura da camada de ar de difusão equivalente (S_d) é de 75 metros [63]. Logo torna-se adequado tanto à reabilitação como à construção leve.

Assim, o T66 ou o T61, dependendo do tipo de revestimento do pavimento, poderiam ser empregues com a película PE para serem aplicados tanto para o isolamento acústico como para proteger o pavimento contra a humidade.



Fig. 49 - Silent Step [63]

4.2.2. APLICAÇÃO DOS UNDERSCREEDS

4.2.2.1. Getzner

A gama *Acoustic Floor Mat* (Fig. 50) apresenta vários materiais que, devido à baixa espessura de instalação, são próprios para renovação/reabilitação de pavimentos para melhorar o isolamento a sons de impacto e para o desacoplamento de ruídos na estrutura do edifício. São colocados por baixo da betonilha e são próprios para vários tipos de edifícios, até mesmo quando são mistos e, por tanto, precisam de um maior reforço no isolamento acústico.

Pode não ser usual pensar-se na aplicação de uma betonilha na reabilitação de edifícios antigos, no entanto, existem novas soluções que têm vindo substituir as betonilhas tradicionais que costumam ter uma espessura bastante elevada, de elevado peso, frequentemente insustentáveis para sistemas de aquecimento/arrefecimento de pavimentos, utilizam bastante energia ao longo do seu processo, por vezes não são resistentes ao fogo nem à água, são difíceis de reciclar, regularmente contraem bastante rápido e secam lentamente causando fissuração, etc. [74].

Uma das soluções é o *RenoScreed* que é um sistema para reabilitação. É uma betonilha à base de cimento com alta resistência, aproximadamente com 35% menos espessura (35mm para uso residencial e 40mm para pavimentos de uso comercial), mais leve, facilmente compactado, pode ser aplicado em sistemas de aquecimento/arrefecimento do pavimento, não necessita de tanta energia, resistente ao fogo, contém menos 59% de água na sua consistência, aparenta menos 26 % de contração e seca 85% mais depressa do que as betonilhas tradicionais. Além disso, é adequado para todos os revestimentos de pavimento mais comuns, é 100% resistente à água devido à utilização na sua composição de um agente de ligação hidráulica, consegue suportar a mesma carga que as betonilhas tradicionais [74].

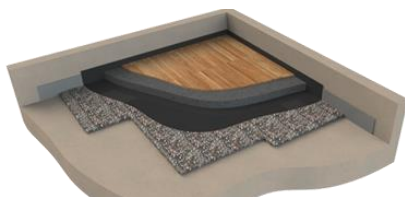


Fig. 50 - Exemplo de aplicação do produto AFM 26 sob betonilha [75]

Os produtos *AFM21*, *AFM23* e *AFM26* (Fig. 51) têm um isolamento a sons de impacto de 21, 23 e 26 dB respetivamente. Enquanto os materiais *AFM23* e *AFM26* são compostos por poliuretano e cortiça, o *AFM 21* é constituído apenas com poliuretano, cujas espessuras variam entre 6mm a 10mm com painéis cujas dimensões são de 1500mm*1200mm. O isolamento a sons de impacto para reabilitação de edifícios urbanos pode variar entre 21 dB e 26 dB, dependendo das necessidades acústicas de cada edifício e a classe ao fogo é a E. Além disso, são materiais com baixo peso que varia entre 2,2 kg/m² para o *AFM21* e *AFM26* e 1,5 kg/m² para o *AFM23* tornando-se, mais uma vez, adequados para a reabilitação. No que se refere às certificações, a empresa refere que todos os materiais têm aprovações ou marca CE e que os materiais *AFM21*, *AFM23* e *AFM26* têm a certificação ETA-20/0712, ETA-20/0711, ETA-20/0710 e ETA-21/0143, respetivamente. Os ensaios de isolamento a sons de percussão são realizados com a utilização de uma betonilha de 60mm de espessura [75].

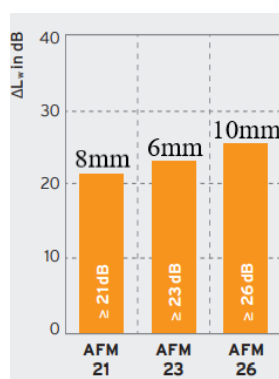


Fig. 51 - Valores do índice de redução do som de impacto da Getzner [75]

Os materiais da empresa ACC que podem ser aplicados são os Underscreeds. Na comparação dos produtos das duas empresas (Quadro 11), o *U32* com 8mm de espessura tem um índice de 21 dB, tal como o *AFM21* e o seu peso é 1,4 vezes menor (1,5 kg/m²), no entanto o *U85* enquadra-se melhor pois o ensaio de isolamento a sons de percussão é realizado com 70 mm de espessura (superior ao da *Getzner*)

e com menor espessura de material (6mm) tem uma redução de 23 dB e com um peso por metro quadrado de aproximadamente 1,6 (kg/m²), que ainda é inferior a 2,2 kg/m².

Para o *AFM23*, o produto que poderia corresponder à mesma gama de isolamento acústico é o *U85* que igualmente com 6mm de espessura consegue uma diminuição do ruído de impacto de 23 dB e com um peso por área semelhante de 1,6 kg/m². No entanto, como o ensaio é realizado com uma betonilha de espessura inferior, pode não ser adequado e, por isso, o *U36* para a mesma espessura tem um desempenho superior de 25dB, no entanto tem um peso superior de 2,61 kg/m². Além disso, o *U36* vai ter em breve a certificação CE.

No que concerne à comparação com *AFM 26*, a *Amorim Cork Composites* consegue ter uma redução de impacto de 26 dB com apenas 5 mm de espessura com o material *U30*, logo como mais uma vez o ensaio utiliza uma betonilha de espessura superior, este ensaio precisa de menos material de compósito de cortiça para ter o mesmo desempenho e, por isso, há um equilíbrio e este material poderá ser adequado.

Quadro 11 - Comparação *Acoustic Floor Mat* vs *Underscreed*

Produto	Espessura (mm)	Peso por área (kg/m ²)	ΔL_w (dB)	Classe ao Fogo	Certificados
<i>AFM21</i>	8	2,2	21	E	CE, ETA-20/0712
<i>U32</i>	8	1,5	21	E	-
<i>U85</i>	6	1,6	23	E	-
<i>AFM23</i>	6	1,5	23	E	CE, ETA-20/0711
<i>U85</i>	6	1,6	23	E	-
<i>U36</i>	6	2,61	25	E	CE, ETA em breve
<i>AFM26</i>	10	2,2	26	E	CE, ETA-20/0710
<i>U30</i>	5	2,75	26	E	-

4.2.2.2. Regupol

A empresa tem uma gama de materiais denominada por *Regupol Comfort* especialmente dedicada a isolamento do som de impacto de percussão e nivelamento em massa tanto para reabilitação de pavimentos como também projetos de estruturas de madeira. Referencia em especial a utilização para renovações, reabilitação e construções leves em madeira (LWF e CLT) para melhorar acusticamente as estruturas, a utilização em conjunto do material *Regupol Comfort 12* para o isolamento do som de impacto juntamente com o material elástico e de enchimento de nivelamento *Regupol Comfort S1* para aumentar a massa da construção e são colocados sob betonilhas ou sob placas de OSB no caso da construção leve (Fig. 52) [76].

O produto *Regupol Comfort 12* é feito à base de elastómeros ligados com poliuretano, tem um peso de 3 kg/m², espessura de 12 mm perfilado e com dimensões de 1,15 m de largura e 9,3 m de comprimento, com um índice de redução de impacto de pelo menos 29 dB ($\Delta L_w \geq 29$ dB). Já o *Regupol Comfort S1* é um material de enchimento e nivelamento, realizado à base de lascas de pedra e aglutinante de poliuretano, para uma espessura de 10 mm pesa cerca de 15,5 kg/m² e a altura de instalação pode variar entre 15 a 200mm [76].



Fig. 52 - Sistema *Regupol Comfort 12 + Comfort S1* para construção em CLT e sob placa OSB [76]

A empresa apresenta vários testes realizados para determinar os valores da redução do som de impacto e de sons aéreos (Quadro 12), em função do material utilizado (betonilha de cimento CS, betonilha *Renoscreed* RS ou painel de OSB), do tipo de construção e com ou sem teto suspenso. A betonilha *Renoscreed*, como foi explicado anteriormente, é um tipo de material adequado em especial à Reabilitação, pois é mais leve do que outros tipos de betonilhas. Tendo sido utilizado para os testes as espessuras de 12mm de *Comfort 12* (12), 40 mm de *Comfort S1* (S1) (100mm para CLT), 12,5mm para cada placa de OSB, e 50mm de betonilha [76].

Quadro 12 - Índices de isolamento a sons de percussão (L_w) e aéreos (R_w) em dB [76]

Produto	Construção	Teto suspenso	L_w (dB)	R_w (dB)
12	Sob CS	Não	29	-
12	Sob RS	Não	28	-
12 + S1	Sob 2 painéis OSB e teto de estrutura de madeira	Não	49	67
12 + S1	Sob CS em teto de estrutura de madeira	Não	47	69
12 + S1	Sob CS em teto de estrutura de madeira	Sim	30	81
12 + S1	Sob painel OSB e teto CLT	Não	46	70

Em comparação com os materiais da ACC (Quadro 13), a gama que se adequa são os *Underscreed*, mais concretamente o material *U38*. O material com 12mm de espessura tem uma redução de impacto de 29 dB, tal como o *Comfort 12* da empresa *Regupol*. No entanto, esta espessura pode não ser suficiente visto o ensaio ser realizado com mais espessura de betonilha comparativamente com a *Regupol*.

Por isso, o *U38* de 17mm de espessura poderá ser mais adequado visto que tem um desempenho de isolamento a sons de impacto superior. Como se verifica pelo Quadro 12, a combinação dos dois materiais em tetos de estrutura de madeira, aumenta bastante o índice de isolamento de sons de percussão e torna-se também num sistema bastante eficaz no isolamento a sons aéreos. No entanto, o *U38* tem um peso de 3,3 kg/m², o que é superior a 3 kg/m², mas apenas difere cerca de 10%.

Assim, o produto *U38* pode ser aplicado na Reabilitação isoladamente sobre tetos, por exemplo, de betão e sob betonilhas de cimento, ou em conjunto com materiais de nivelamento e com alguma massa (*Comfort S1*) sobre tetos de estrutura de madeira e sob betonilha de cimento. Além disso, pode também ser aplicado na construção leve juntamente com materiais de nivelamento e com alguma massa (*Comfort S1*) entre painéis OSB.

Quadro 13 - Comparação Comfort 12 vs Underscreed

Produto	Espessura (mm)	Peso por área (kg/m ²)	ΔL_w (dB)	Classe ao Fogo	Certificados
<i>Comfort 12</i>	12	3	29	E	CE, ETA17/1030
U38	12	3,3	29	E	CE, ETA em breve
	17	4,7	31	E	

4.2.2.3. Rothoblaas

A empresa italiana *Rothoblaas* apresenta uma gama de produtos de camadas isolantes resilientes para o controlo acústico, nomeadamente o *Silent Floor* (Fig. 53) próprio para casos de reabilitação estrutural colocado sob a betonilha e permite a aplicação de conectores entre a madeira e o betão. O principal motivo da aplicação deste produto é quando existe uma necessidade de controlo dos sons de impacto sendo capaz de tal redução até 28 dB com 5mm de espessura com um peso de 1,5 kg/m² e constituído por betume elastoplastomérico unido com feltro de poliéster [63].

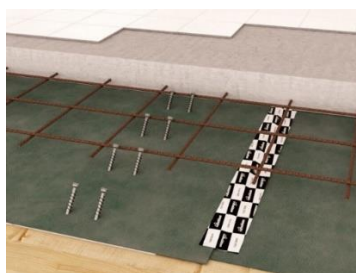


Fig. 53 - Silent Floor da empresa Rothoblaas [63]

Neste contexto, o produto *U38* é o único que consegue um índice superior a 28 dB e cujo peso é um dos mais baixos dos compósitos de cortiça da gama de Underscreeds. No entanto o peso de 3,3 kg/m² é bastante superior ao de 1,5 kg/m² e tem uma espessura bastante superior de 12mm. Assim, a solução passa por utilizar por exemplo o *U30* que com a mesma espessura de 5mm tem um índice de redução dos sons de impacto de 26 dB, valor muito próximo do *Silent Floor*, e um peso de 2,75 kg/m² (Quadro 14).

Verifica-se que para esta situação é necessário melhorar os materiais para que para o mesmo índice de isolamento a sons de impacto tenham menor espessura e, portanto, menor quantidade de material (*U38*), ou então para a mesma espessura tenha um isolamento superior (*U30*).

Quadro 14 – Comparação Silent Floor vs Undersced

Produto	Espessura (mm)	Peso por área (kg/m ²)	ΔL_w (dB)	Classe ao Fogo	Certificados
<i>Silent Floor</i>	5	1,5	28	-	-
U38	12	3,3	29	E	CE, ETA
U30	5	2,75	26	E	-

4.2.3. APLICAÇÃO DA GAMA WALL BEARING - ROTHOBLAAS

Na gama de perfis resilientes da empresa *Rothoblaas* encontra-se disponível o produto *Silent Underfloor* que pode ser aplicado sob as ripas de madeira do pavimento (Fig. 54) ou nas ripas que constituem as paredes como elemento de separação dos painéis. São tiras adesivas de 4,0 mm de espessura, responsáveis pelo controlo de vibrações, feitas à base de borracha EPDM expandida e tem uma absorção à água bastante baixa. Tem um valor de resistência à tração de 400 kN/m^2 e o peso do material é de $0,56 \text{ kg/m}^2$, logo, como é bastante baixo pode ser aplicado tanto na Reabilitação como na Construção Leve [63].



Fig. 54 - Aplicação do Silent Underfloor em ripas de madeira [63]

Deste forma, a gama de materiais da ACC que pode ser adequada para esta utilização pode ser os Wall Bearing, visto que são materiais tanto para o controlo acústico como para o controlo de vibrações e, em comparação com a gama de materiais de controlo de vibrações, têm uma espessura menor (de 5 ou de 10mm). O MS-R2 é o que poderá enquadrar-se na aplicação de separação das paredes, visto neste caso não ser necessário suportar cargas. O MS-R2 com um peso de $1,25 \text{ kg/m}^2$ (mais do dobro do peso do *Silent Underfloor*), entre os materiais da gama *Wall Bearing*, é aquele que apresenta um limite de carga estática mais baixo que, como será apresentado na próxima gama de materiais, é um fator bastante importante nas construções leves (Quadro 15).

No entanto, este material como tem um valor de resistência à tração de apenas 100 kN/m^2 , poderá não ser totalmente adequado para colocar sob as vigas de madeira que, neste caso, já é uma componente importante para suporte de cargas. Logo, o MS-R0 poderá ser mais adequado para este fim, visto que tem uma resistência à tração superior a 600 kN/m^2 e tem espessuras de 5 ou 10mm. Porém, o seu peso é de 3 kg/m^2 , ou seja, é 5,3 vezes superior (Quadro 15).

O valor da resistência à tração é bastante significativo principalmente quando se trata de um elemento como a viga, pois quando é aplicada uma força a um material e ele está apoiado nas suas pontas (Fig. 55), a parte de cima do material sofre compressão, mas a inferior sofre tração. E, estando o material compósito sob a viga, pode sofrer o esforço de tração.

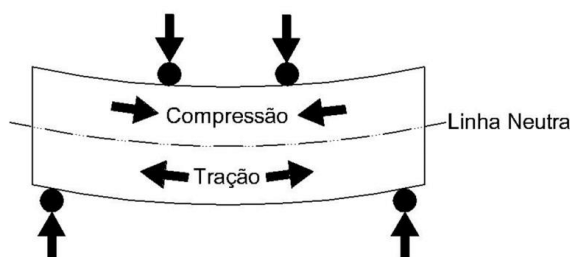


Fig. 55 - Esforços presentes numa viga [77]

Quadro 15 - Comparação Silent Underfloor vs Wall Bearing

Produto	Espessura (mm)	Peso por área (kg/m ²)	Resistência à tração (kN/m ²)
<i>Silent Underfloor</i>	4	0,56	400
MS-R0	5 ou 10	3	600
MS-R2	5 ou 10	1,25	100

4.2.4. APLICAÇÃO DA GAMA CONTROLO DE VIBRAÇÕES

4.2.4.1. Getzner

A empresa *Getzner* apresenta um conjunto de materiais cuja gama é designada por *Sylodyn* e são próprios para construções em madeira como o CLT, LWF, construção modular e sistemas constituídos juntamente por madeira e betão devido à carga estática máxima dos materiais conseguirem atingir valores muito baixos. Estes materiais são tiras elásticas de poliuretano celular fechado, cujas propriedades são adequadas tanto para amortecimento de vibrações como para controlo do som, colocados entre as paredes e os pavimentos (Fig. 56). A empresa disponibiliza várias tiras com cores diferentes consoante a rigidez, de modo a serem mais facilmente distinguidos no local da obra. Utiliza espessuras de 6mm e 12,5mm e as tiras podem ter um máximo de 1,5 metros de largura e 5,0 metros de comprimento, limite da carga estática máxima varia entre os 0,075 e 12 N/mm², a classe ao fogo E e a condutibilidade térmica varia entre 0,06 e 0,11 W/(m*k) [78].

Fig. 56 - Exemplo de aplicação da gama *Sylodyn* [78]

Em comparação com os produtos da empresa *ACC* a gama que se adequa a este propósito é a de Controlo de Vibrações (VC) pois é a gama de materiais que tem valores limite de carga estática mais baixos, e como se verifica pelo gráfico (Fig. 57), o valor limite mais baixo de rigidez estática em comum nas duas empresas é 1,5 (N/mm²). Abaixo deste valor a empresa *Getzner* consegue ter mais quatro materiais e a empresa *ACC* apenas dois, sendo que dois dos materiais da *Getzner* conseguem estar abaixo do valor mínimo de 0,2 (VC1001) da gama VC. Utilizando os materiais que têm o valor limite de rigidez estática igual a 1,5 como comparação (*Sylodyn NF* e VC1003), a empresa *ACC* apenas tem disponíveis espessuras iguais e superiores a 20mm, com largura de 550mm e comprimento 1100 ou 550mm, o limite de rigidez estática varia entre 0,20 e 12,0 MPa, a classe ao fogo é E e o intervalo de temperatura varia entre -10 e +100°C.

Posto isto, conclui-se que os materiais da empresa *ACC* podem ser empregues, no entanto poderiam ser melhoradas as suas características de rigidez estática para se obterem valores limites mais baixos, diminuir as espessuras e aumentar tanto a largura como o comprimento das tiras.

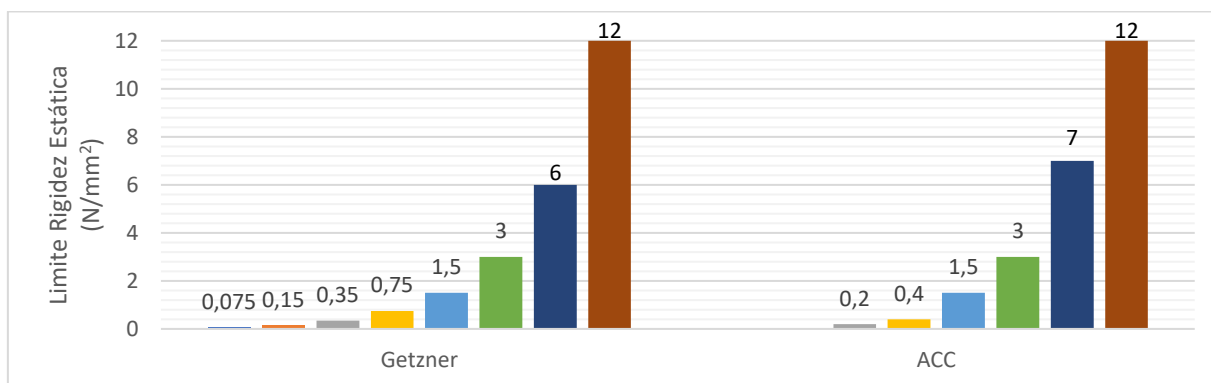


Fig. 57 - Comparação entre limites de carga estática máxima Getzner vs ACC

4.2.4.2. Kraiburg

A empresa *Kraiburg* criou uma gama de materiais denominada por *Purasys Vibrofoam* especificamente para proteger os edifícios das vibrações, mais concretamente edifícios de madeira. Estes produtos podem ser colocados como isolamento entre os elementos estruturais como um tapete ou podem ser tiras cujas dimensões correspondem à geometria do elemento estrutural. A gama utiliza a mistura de poliuretano celular e é constituída num total de 13 materiais com várias cores para facilitar a sua identificação na obra e cada um tem um valor limite de carga estática. Disponibiliza espessuras de 12,5mm e de 25mm com tiras de no máximo 2,0 metros de comprimento e tapetes de 1,0 ou 0,5 metros de largura e 2,0 de comprimento. O intervalo do limite de carga estática máxima dos vários materiais varia entre 0,010 e 1,90 N/mm² [79].

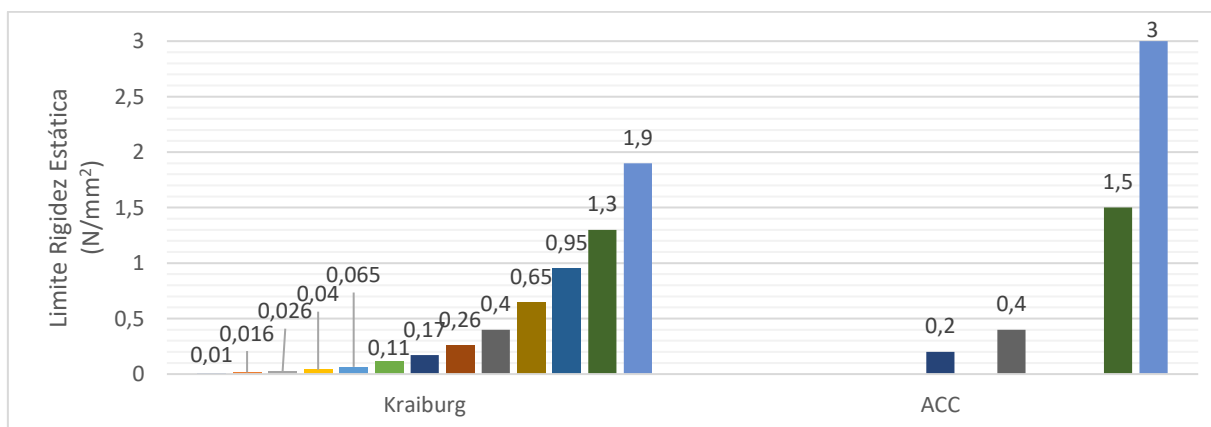


Fig. 58 - Comparação entre limites de carga estática Kraiburg vs ACC

Comparando os produtos da gama VC da empresa ACC com os da gama *Purasys Vibrofoam* da empresa *Kraiburg* (Fig. 58), a última consegue ter vários produtos com limites de rigidez estática bastante mais baixos. Os materiais das duas empresas que têm o mesmo valor de limite de rigidez estático é o 0,4 (SD40 e VC1002). A empresa ACC tem apenas um material com limite de valor estático inferior a esse limite, enquanto a *Kraiburg* tem oito. Percebe-se, deste modo, a elevada necessidade de materiais com limites de carga estática bastante inferiores. Utilizando os materiais que têm o valor limite de carga estática igual a 0,4 como comparação, a empresa ACC apenas tem disponíveis espessuras iguais e

superiores a 20mm, com largura de 550mm e comprimento 1100 ou 550mm, a classe ao fogo é E e o intervalo de temperatura varia entre -10 e +100°C.

Tal como para os materiais anteriores, conclui-se que os materiais da empresa ACC podem ser empregues, no entanto poderiam ser melhoradas as suas características de carga estática máxima para se obterem valores limites mais baixos, diminuir as espessuras e aumentar tanto a largura como o comprimento.

4.2.4.4. Rothoblaas

A empresa *Rothoblaas* na sua gama de perfis resilientes, apresenta os materiais *Xylofon* (Fig. 59) cujas características tornam estes materiais adequados para o controlo acústico em estruturas de madeira, mais propriamente no processo de desacoplamento e interrupção dos elementos estruturais. São disponibilizadas 5 versões, uma de cada cor e com diferentes valores limites de rigidez estática. A sua composição é à base de poliuretano e além da aplicação entre paredes e pavimentos/tetos também podem ser utilizados no local onde a viga se encontra pousada. Os materiais são todos com 6mm de espessura e 3,66m de comprimento, e cada versão tem tiras com 80, 100, 120 e 140mm [63].

A empresa utiliza o material que tem um limite de rigidez mais baixo (0,275 N/mm²) em conjunto com as cantoneiras metálicas para contribuir para a redução das vibrações e da transmissão do ruído com uma espessura de 6mm e dimensões variáveis entre 70mmx200mm e 120mmx240mm. O material da empresa ACC que se insere nesta aplicação é o VC1001 cujo valor limite de carga estática máxima é de 0,2 N/mm².



Fig. 59 - Aplicação de materiais de controlo de vibrações no local de assento da viga (esquerda) e em cantoneiras metálicas (direita) [63]

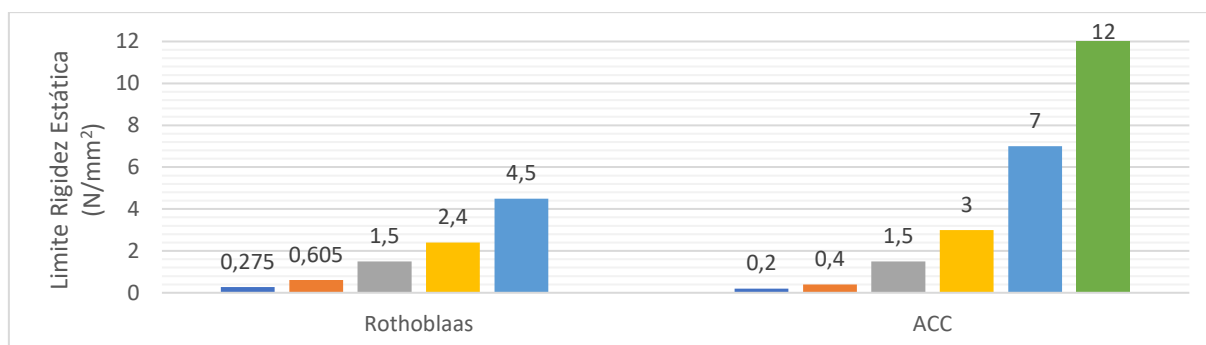


Fig. 60 - Comparação entre limites de rigidez estática *Rothoblaas* vs *ACC*

Comparando estes produtos com os materiais da empresa ACC (Fig. 60), os produtos com valores limites mais baixos, são idênticos, sendo que a ACC consegue atingir um valor limite mais baixo de $0,2 \text{ N/mm}^2$ enquanto a *Rothoblaas* apenas $0,275 \text{ N/mm}^2$. No entanto, a *Rothoblaas* tem um desempenho com materiais de espessuras menores quando comparado com a ACC que tem um mínimo de 12,5m de espessura.

A empresa disponibiliza também o material *Silent Beam* (Fig. 61) específico para ripas de madeira a colocar entre as ripas e as placas de, por exemplo, OSB do pavimento. Este produto é especialmente indicado para isolamento de vibrações de baixas frequências e utiliza uma mistura de poliuretano de células abertas. Tem um valor limite de rigidez estática de $0,02 \text{ N/mm}^2$, que é bastante abaixo do valor limite da empresa ACC e utiliza tiras com espessura de 12,5mm, 2m de comprimento e 45mm de largura.



Fig. 61 - Aplicação do Silent Beam em ripas de madeira [63]

4.3. DESENVOLVER NOVAS FORMAS DE MATERIAIS

Com a análise efetuada ao vasto mercado de empresas de materiais de construção, em especial para a Construção Leve e/ou Reabilitação Urbana, foram encontrados produtos cujas propriedades ou geometrias não permitem a utilização direta dos materiais da ACC e, por isso, neste subcapítulo sugere-se novas formas de produtos a partir daqueles que já existem na empresa.

Especialmente na construção leve, que como já se verificou tem uma capacidade acústica bastante mais frágil do que na construção tradicional, o desacoplamento dos elementos pode não ser apenas das grandes extensões de pavimentos e paredes. O desacoplamento acústico pode também passar por superfícies mais pequenas e entre materiais diferentes para evitar as pontes acústicas.

Para um nível acústico superior, a empresa *Rothoblaas* apresenta alguns materiais para o desacoplamento e controlo das pontes acústicas de parafusos metálicos e de cantoneiras metálicas (Fig. 62) e utiliza como material a mistura de poliuretano cujo valor limite de rigidez estática é de $2,4 \text{ N/mm}^2$, ou seja, não é necessário um valor limite tão baixo como aquilo que foi concluído anteriormente para a dessolidarização dos elementos construtivos [63].



Fig. 62 - Materiais para dessolidarização de parafusos metálicos e de cantoneiras metálicas da Rothoblaas [63]

Para este caso, os materiais da ACC que se enquadram neste tipo de aplicação é o VC1003 e o VC1004 da gama de controlo de vibrações com limite de carga de $1,5 \text{ N/mm}^2$ e 3 N/mm^2 , respetivamente. No caso da dessolidarização de parafusos metálicos, o material tem uma espessura de 6mm, com diâmetro exterior de 38mm e diâmetro interior de 11mm. Já o material para dessolidarização de cantoneiras metálicas tem espessura de 6mm e as dimensões variam entre 60mmx60mm, 80mmx80mm e 80mmx140mm.

4.4. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Na construção Leve e na Reabilitação de Edifícios antigos existe a necessidade de isolamento acústico a sons de percussão que é facilmente propagável pela estrutura do edificio causando a vibração da estrutura. Este problema é principalmente preocupante em casos onde há uma baixa massa e elevada rigidez, que faz aumentar as vibrações.

Assim, a solução passa por utilizar materiais com capacidade de isolamento acústico e resilientes situados de forma a desacoplar os elementos construtivos, juntamente com materiais que aumentem a massa do sistema (mas não excessivamente), quando tal seja possível. Desta forma, os materiais compósitos da cortiça da ACC podem ser utilizados tanto na reabilitação como na construção leve essencialmente em: pavimentos sob os revestimentos; pavimentos sob betonilhas leves ou sob painéis OSB; separação entre pavimentos e a base das paredes; desacoplamentos dos painéis das paredes; e em vigas.

Os materiais que melhor se enquadram nestas aplicações encontram-se resumidos no Quadro 16.

Quadro 16 - Resumo da aplicação dos materiais Acousticork

Material	Tipo de Construção	Onde	Como	Melhorias
T66 ou T61	Reabilitação e Construção Leve	Sob o revestimento do pavimento	Sobre lã mineral para componente térmica	-
U85, U36 e U30	Reabilitação	Sob betonilha	Sozinho	-
U38	Reabilitação	Sob betonilha ou OSB	Sozinho ou em conjunto com material de enchimento	-
	Construção Leve	Entre placas OSB	Com material de enchimento	
U38 e U30	Reabilitação	Sob betonilha	Sozinho	Menos quantidade de material para o mesmo índice de isolamento ou vice-versa.

MS-R0	Reabilitação ou Construção leve	sob as ripas de madeira do pavimento ou nas ripas das paredes para separação dos painéis	Sozinho	-
MS-R2	Reabilitação ou Construção leve	ripas das paredes para separação dos painéis	Sozinho	-
VC1001	Construção Leve	Entre paredes e tetos, base para colocação da viga/ripa, base das cantoneiras, sobre as ripas de madeira	Sozinho	Atingir cargas mais baixas com espessuras mais baixas

5

ANÁLISE TÉRMICA DOS COMPÓSITOS DE CORTIÇA

5.1. IMPORTÂNCIA DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

Um grande desafio ambiental, social e económico que surgiu no século XXI, foram as alterações climáticas que se têm registado e que se prevê que vão continuar a agravar no futuro. A principal causa deste problema é a grande quantidade de gases com efeito de estufa (GEE) que são emitidos para atmosfera que, como o próprio nome indica, funcionam como uma estufa que facilita a passagem da luz solar e impede o calor de se libertar para o espaço.

A atividade humana está diretamente relacionada com este fenómeno, sendo a componente principal a grande emissão de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) para a produção de energia e transportes. Outras causas que contribuem para este fenómeno são: a desflorestação que gera uma quantidade menor de árvores com capacidade de absorverem o CO₂ e, quando são abatidas, libertam o CO₂ que absorveram; a atividade pecuária que emite grandes quantidades de metano; a utilização de fertilizantes constituídos por azoto que emitem óxido de nitroso; e, por fim, certos equipamentos e produtos industriais que emitem gases fluorados [80].

O aumento de gases com efeito de estufa provoca o aquecimento global, ou seja, o aumento da temperatura média do planeta que tem vindo a crescer 0,2°C por década sendo que a década de 2011-2020 ficou registada com uma temperatura média das mais altas de sempre. O aquecimento global traz impactos devastadores para o ambiente como a fusão do gelo e o consequente aumento do nível da água dos oceanos, fenómenos meteorológicos extremos com o aumento da pluviosidade ou longos períodos de seca, perda de biodiversidade, aumento do número de mortes com o calor, etc [80].

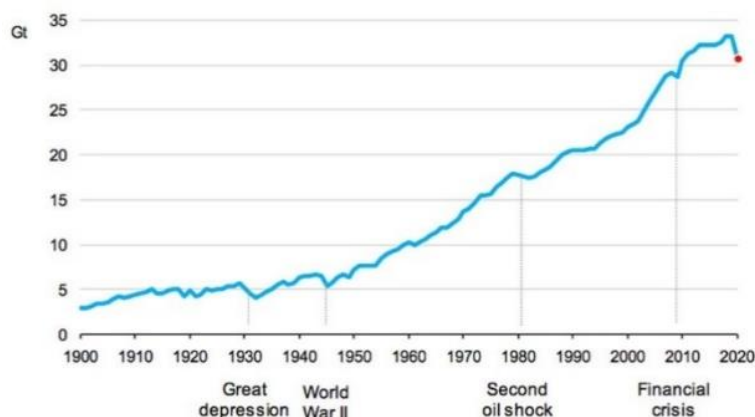


Fig. 63 - Emissões globais de CO₂ 1900-2020 [81]

Nas últimas décadas os níveis de CO₂ mundiais têm vindo a aumentar atingindo valores históricos (Fig. 63) e em 2015 os principais responsáveis pela elevada quantidade de emissão de GEE no mundo eram, em primeiro lugar, a China seguida dos Estados Unidos e da União Europeia [82]. O ano de 2020 foi o ano com um registo de elevado decréscimo da emissão GEE devido à pandemia Covid-19 que provocou uma crise nos vários setores, mas ainda não é suficiente para termos um planeta novamente saudável.

Para que seja possível essa redução é necessário que haja um contributo a nível internacional e, por isso, têm sido desempenhados vários acordos entre regiões e a nível internacional (Fig. 64) como, por exemplo, o Protocolo de Quioto, assinado em 1997, que foi o primeiro tratado jurídico a juntar vários países a nível internacional para se comprometerem na redução da emissão dos GEE dos países desenvolvidos entre 2008 e 2012 num valor global de 5% inferior aos valores de 1990 [83].

Em 2007 os Estados membros da União Europeia (UE) adotaram uma política climática onde foram decididos alguns objetivos para se alcançar até 2020 como a redução de 20% da emissão dos GEE, aumentar em 20% a quantidade de energia proveniente de energias renováveis e melhoria de 20% na eficiência energética [83].

Já em 2011 foi definido na União Europeia um roteiro para a neutralidade carbónica em 2050 através da redução de 80 a 95 % dos níveis de emissão de GEE nos países desenvolvidos face aos níveis de 1990, para que a temperatura média global não alcance mais de 2°C [84].

O ano de 2015 ficou marcado na história com a criação da Agenda 2030 constituída por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) pela Organização das Nações Unidas (ONU) com base nos 8 Objetivos de Desenvolvimento do Milénio estabelecidos no ano 2000 com meta para 2015. Os objetivos propostos para 2030 integram os três pilares económico, social e ambiental, entre os quais se destacam o objetivo 7 com a transição energética para uso das energias renováveis e duplicação da taxa de eficiência energética, e o objetivo 11 pretende um desenvolvimento urbano com a criação de incentivos para preservar o património cultural e para cidades e construções mais ecológicas e energeticamente mais eficientes [85].

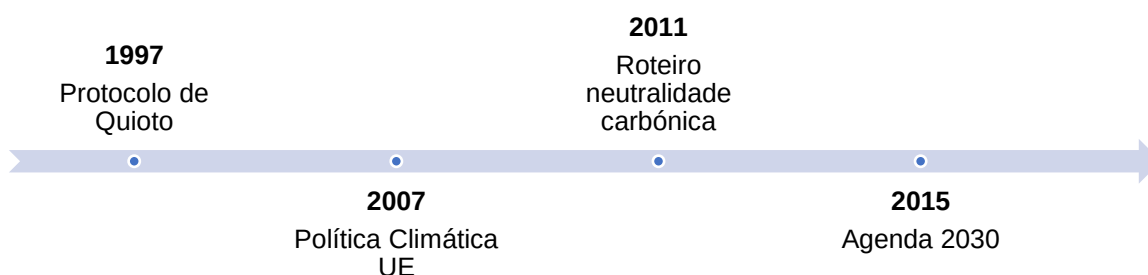


Fig. 64 - Evolução de tratados jurídicos e iniciativas a nível Mundial e na Europa

Sendo o aumento do consumo de energia proporcional ao aumento exponencial da população, isso é principalmente notório nos centros urbanos que atualmente são habitados por cerca de 50% da população mundial e que, segundo as Nações Unidas, se prevê que em 2050 abrigue cerca de 70% [86]. Este aumento significativo da população nas grandes cidades provoca igualmente um aumento do consumo de energia que, como foi referido, a sua produção é um grande contributo para as alterações climáticas.

Como o setor da construção da Europa é responsável por emitir 36% das emissões dos GEE e por consumir 40% da energia total, é necessário tornar os edifícios com elevado desempenho energético, com necessidades de energia quase nulas e que o consumo seja maioritariamente proveniente de energia

renovável (por exemplo, sistema solar térmico, fotovoltaico, biomassa, etc.) produzida no local ou em zona próxima. Estes tipos de edifícios denominam-se por nZEB (Nearly Zero Energy Building) e o seu desempenho energético traduz-se num balanço anual de aproximadamente zero entre o consumo e a produção de energia.

Torna-se necessário implementar medidas no setor da construção para alterar os fortes impactos ambientais que lhe estão associados: o elevado consumo de recursos naturais; elevado consumo de energia; elevada geração de volume de resíduos; e poluição ambiental [3]. Essas medidas podem passar por utilizar materiais de recursos renováveis, recicláveis, reutilizáveis, biodegradáveis e com elevado desempenho térmico como a cortiça e a madeira, sistemas construtivos como a construção leve que tem um impacto ambiental baixo devido à utilização de materiais sustentáveis, à produção baixa de quantidade de resíduos e utilização de equipamentos leves ou como a reabilitação de edifícios que necessita de menos quantidade de energia, menos quantidade de materiais e menos quantidade de transportes face à construção nova.

5.2. REGULAMENTAÇÃO EM PORTUGAL

A legislação em Portugal sobre a térmica dos edifícios tem vindo a evoluir ao longo do tempo (Fig. 65) tendo requisitos cada vez mais exigentes de modo a garantir maiores condições de higiene e de conforto para os utilizadores, como também aumentar a qualidade da construção e diminuir os consumos de energia face às preocupações ambientais que se têm verificado.

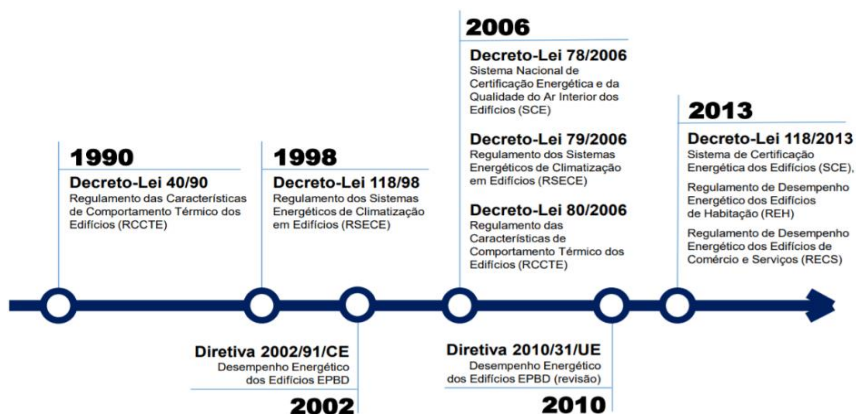


Fig. 65 - Evolução da Legislação da Térmica dos Edifícios [87]

A preocupação em Portugal pela área da térmica dos edifícios surgiu em 1990 com a criação da primeira legislação com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) - Decreto-Lei n.º 40/90. Os princípios do regulamento passavam por garantir o conforto térmico sem a utilização excessiva de energia e limitar os efeitos patológicos das condensações tanto em projetos de novos edifícios ou como também nos edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções [83].

Em 1998 surgiu o Decreto-Lei 118/98 onde foi aprovado as regras para o dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos de climatização em edifícios através do Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios (RSECE) [83]s.

Em 2002 foi aprovada a Diretiva 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, sobre o desempenho energético dos edifícios EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) onde

referenciava o desempenho energético dos edifícios, as necessidades energéticas, emissões de CO₂ e classificação energética dos edifícios. Em 2006 essa diretiva foi transposta para três legislações nacionais e foram publicados os decretos-lei 78, 79 e 80:

- Foi aprovado o Decreto-Lei n.º 78/2006 sobre o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) cujo propósito é garantir: o cumprimento das condições de eficiência energética, utilização de energias renováveis e qualidade do ar interior de acordo com o RCCTE e RSECE; certificação energética e da qualidade do ar interior; e indicar medidas para melhoria do desempenho dos edifícios e correspondentes sistemas energéticos.
- Já os decretos-lei n.º 79/2006 e n.º 80/2006 que aprovam as alterações ao Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), respetivamente [83].

Foi aprovado em 2010 a Diretiva 2010/31/UE que é a primeira alteração à Diretiva Europeia de 2002 onde é estabelecido a metodologia de cálculo do desempenho energético, aplicação dos requisitos mínimos do desempenho energético e, pela primeira vez, surgiu o tema dos edifícios nZEB para aumentar a quantidade de edifícios com elevado desempenho energético e necessidade quase nula de energia. Em 2012 teve uma nova revisão com a aprovação da Diretiva 2012/27/UE para que até 2020 a eficiência energética dos edifícios aumente em 20% [88].

Em 2013 foi publicado o Decreto-Lei n.º 118/2013 com a aprovação em apenas um único documento, que anteriormente eram três, do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e de Serviços (RECS). Neste contexto surge também a mudança de separação entre requisitos de edifícios de habitação dos requisitos de edifícios de comércio e serviços, atualização dos requisitos de qualidade térmica, introdução de requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas (sistemas de climatização, de AQS, iluminação, e de aproveitamento de energias renováveis), reconhecimento do pré-certificado e do certificado SCE, entre outras mudanças que visam a otimização e esclarecimento dos requisitos para eficiência energética dos edifícios [83]. Entretanto este Decreto-Lei sofreu algumas alterações e encontra-se atualmente revogado.

Em Portugal a portaria n.º 98/2019 é a terceira alteração da Portaria n.º 349-B/2013 onde se encontra estabelecido a estratégia para a determinação da classe energética de pré-certificados e de certificados do SCE e os requisitos dos sistemas técnicos dos edifícios novos e sujeitos a grande intervenção. Os nZEB construídos a partir de 1 de janeiro de 2021 terão de respeitar os seguintes requisitos:

- O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) seja inferior ou igual a 75% do valor máximo (N_i);
- O valor das necessidades energéticas nominais de energia primária (N_{ic}) seja inferior ou igual a 50% do seu máximo (N_i), ou seja, o edifício tem de ter uma classe energética de A ou A+;
- Quando a relação N_{ic}/N_i é inferior ou igual a 0,60 e quando o fator solar máximo dos vãos envidraçados ($g_{T,max}$) é inferior ou igual a 0,15 admite-se que o edifício tem necessidades de aquecimento pontuais e toma-se o valor de N_{ic} igual a zero para a zona climática I1;
- As energias renováveis dos edifícios devem ter um mínimo de 50% [89].

Em 2020 surge o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 cujo objetivo se enquadra em determinar quais os requisitos que os edifícios devem respeitar no que concerne à melhoria do seu desempenho energético

tanto em obras de novos edifícios como em obras de renovações. Além disso, determina o Sistema de Certificação Energética de Edifícios [90].

5.3. DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

O edifício é um sistema bastante complexo cuja função não cabe apenas acomodar os humanos e as suas atividades, é preciso também garantir o melhor desempenho a nível de segurança, conforto e qualidade. No que concerne ao conforto térmico, existem vários fatores que podem interferir como as condições atmosféricas onde o edifício está localizado e as condições do edifício como as soluções construtivas adotadas, a localização do isolamento térmico e a presença de sistemas de aquecimento e/ou de arrefecimento.

Um edifício encontra-se em constante atividade e em permanente comunicação com o exterior através de fenómenos de transferência de calor sendo preciso garantir um equilíbrio entre a quantidade de energia que entra e a quantidade de energia que sai para que no inverno não se perca facilmente a energia que gastámos a aquecer o espaço e que no verão não haja um sobreaquecimento do espaço. Isto é, é preciso que haja um equilíbrio da temperatura no interior dos edifícios e uma atenuação das amplitudes térmicas diurnas.

5.3.1. INÉRCIA TÉRMICA

A inércia térmica interior de uma fração é a capacidade térmica dos elementos construtivos de absorver o calor na sua estrutura nos períodos mais quentes, de armazenar o calor durante um período de tempo e, nos períodos mais frios, restituir esse calor ao espaço, permitindo que haja um equilíbrio da temperatura interior.

A inércia térmica (I_t) depende da massa superficial útil por unidade de área útil de pavimento de cada um dos elementos construtivos da fração, é influenciado pelo clima e pela localização do isolamento térmico. Pode ser calculado através da seguinte fórmula:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \cdot r_i \cdot S_i}{A_p} \quad [kg/m^2] \quad (5)$$

Onde:

M_{si} – massa superficial útil do elemento i (kg/m^2);

r_i – fator de correção do revestimento superficial;

S_i – área da superfície interior do elemento i (m^2);

A_p – área útil de pavimento (m^2).

Quanto maior a massa dos elementos maior é inércia térmica, mas apenas os primeiros 150 kg/m^2 de material é que interferem na inércia térmica diária. Já se colocarmos o isolamento pelo interior, isto faz alterar bastante a capacidade de armazenamento de calor nos elementos construtivos minimizando a inércia térmica.

Se os elementos construtivos de um edifício tiverem uma elevada capacidade térmica de armazenar o calor e, portanto, com uma inércia térmica forte, permite um amortecimento das variações da temperatura no clima interior e faz com que o fluxo de calor que atravessa esses elementos seja um processo bastante lento havendo um maior desfasamento entre os picos de variação de temperatura.

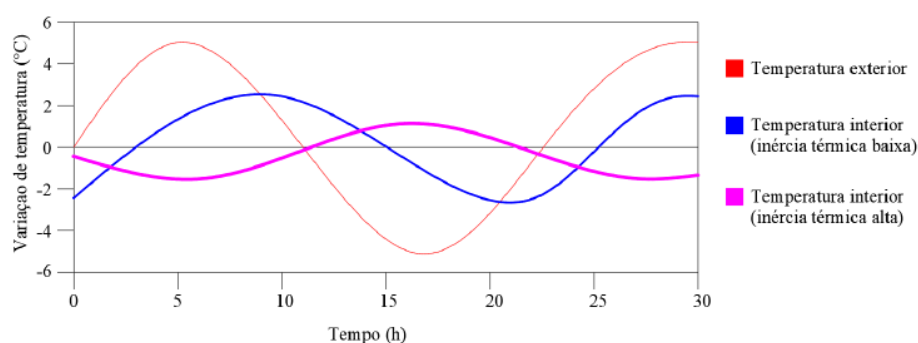


Fig. 66 - Atenuação da variação de temperatura interior consoante a inércia térmica [91]

Através de um estudo que foi realizado de comparação entre duas construções com soluções construtivas diferentes, uma tradicional e outra em construção leve, mas assumindo que a geometria, localização do edifício e todos os fatores importantes para o estudo como os envidraçados, a ventilação, etc. são idênticos, foi determinado o desempenho de cada solução tanto no inverno como no verão e qual a poupança económica de energia térmica [54].

Foi determinado que a construção leve no inverno não tem pior desempenho térmico. Se for considerado, por exemplo, o isolamento térmico pelo exterior, como a construção leve tem uma massa bastante inferior, estes tipos de edifícios são classificados com inércia térmica fraca ao contrário da construção tradicional que tem uma inércia térmica média ou forte. No entanto, para se compensar a falta de inércia é acrescido um maior isolamento térmico que impede que o fluxo de calor seja mais facilmente libertado e proporciona que o ambiente interior seja aquecido mais rapidamente ao invés da construção tradicional que ao se aquecer o espaço, grande parte da energia é gasta pela absorção dos elementos construtivos [54].

5.3.2. COEFICIENTE DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

A condutibilidade térmica pode ser expressa em $[W/(m.K)]$ ou $[W/(m.^{\circ}C)]$ e a letra que a caracteriza é o “ λ ”. Este valor é uma característica dos materiais e corresponde à quantidade de calor (expressa em $[W]$ por unidade de área $[m^2]$) que atravessa o produto com espessura unitária (m), quando entre duas faces planas e paralelas se estabelece uma diferença unitária de temperatura ($1^{\circ}C$ ou $1K$). São considerados bons isolantes térmicos quando o valor da condutibilidade térmica é inferior a $0,065 W/(m.^{\circ}C)$ e a resistência térmica (quociente entre a espessura e a condutibilidade térmica do material) é superior a $0,030 (m^2.^{\circ}C)/W$ [92].

O valor da condutibilidade térmica pode ser obtido através de valores apresentados pelos fabricantes, por valores medidos através de ensaios em laboratório ou então através de tabelas técnicas como o ITE50 que apresenta valores convencionais para a condutibilidade térmica de vários materiais.

No que concerne aos valores determinados em laboratório, um dos ensaios que é bastante utilizado na determinação da condutibilidade térmica dos materiais e também foi o escolhido pela empresa ACC para os seus materiais, é o “Heat Flow Meter” ou, em português, método fluximétrico. O método de ensaio está determinado na norma portuguesa EN 12667 e tem como objetivo determinar a densidade de fluxo de calor (q) por medição do fluxo de calor (Φ) que atravessa uma área de medição da amostra (A), quando se atinge um regime estacionário na zona de medição. O aparelho fluximétrico é composto

por uma unidade de aquecimento, um ou dois fluxómetros de calor aplicados face à(s) amostra(s) que medem o fluxo de calor, uma ou duas amostras e uma unidade de arrefecimento (Fig. 67).

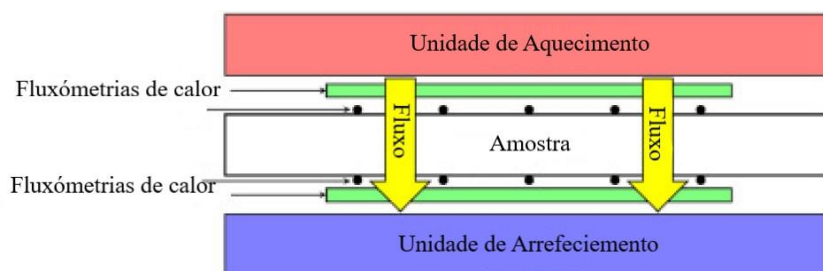


Fig. 67 – Exemplo adaptado da configuração do aparelho fluximétrico [93]

5.3.3. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

O coeficiente de transmissão térmica é caracterizado pela sigla U , e representa o fluxo de calor que atravessa um elemento construtivo com uma área unitária quando se estabelece uma diferença de temperatura entre o interior e o exterior de 1°C , e, portanto, quantifica o valor da energia que é perdida. Quanto menor é o valor do coeficiente, menor são as perdas de energia e, consequentemente, maior é o isolamento desse elemento construtivo. Este coeficiente pode ser calculado, segundo o Despacho n.º 15793-K/2013, através das resistências térmicas das várias camadas que constituem esse elemento:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_k R_k + R_{se}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})] \quad (6)$$

com:

R_{si} – Resistência térmica interior [$\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$];

R_k – Resistência térmica da camada k [$\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$];

R_{se} – Resistência térmica exterior [$\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$] [94].

A resistência térmica de cada camada classifica a capacidade térmica, ou seja, quanto maior a resistência mais isolante é a camada e o seu valor é dependente da espessura do material e (m) e da condutibilidade térmica da cada material λ [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$]:

$$R_k = \frac{e}{\lambda} \quad [(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) / \text{W}] \quad (7)$$

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) define os valores das resistências térmicas superficiais exteriores e interiores segundo o elemento construtivo e o sentido do fluxo de calor [92]:

Quadro 17 - Resistências térmicas superficiais exteriores e interiores segundo o sentido do fluxo de calor

Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica	
	Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal	0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04
	Descendente	0,17

O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) determina os valores dos coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência e máximos dos elementos opacos e de vãos envidraçados segundo a zona climática. Para um elemento opaco em contacto com o exterior ou

com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_u > 0,7$, que é o cenário com requisitos mais rigorosos, os valores tabelados são [95]:

Quadro 18 - coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência e máximos dos elementos opacos segundo a zona climática

		Zona Climática					
		I1		I2		I3	
		U_{ref}	U_{max}	U_{ref}	U_{max}	U_{ref}	U_{max}
Em contacto com o exterior	Elementos verticais	0,50	0,50	0,40	0,40	0,35	0,35
	Elementos horizontais	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30	0,30

5.4. APLICAÇÃO DOS COMPÓSITOS DE CORTIÇA

Pelas razões apresentadas anteriormente, a eficiência energética em casos de habitações de construção leve ou de reabilitação urbana toma grande importância nos dias de hoje, sendo necessário garantir o máximo conforto térmico aos utilizadores, adquirindo soluções sustentáveis e leves.

Como a cortiça é um material com boas capacidades térmicas, muitas vezes aplicado para isolamento térmico na construção, além da análise acústica realizada no capítulo anterior, é também feita uma análise da utilização dos compósitos de cortiça da ACC na construção leve e na Reabilitação. Por um lado, porque na construção leve é essencial a utilização de elementos isolantes em todos os elementos construtivos e, por outro lado, porque nos edifícios antigos a quantidade de isolamento que era utilizada não satisfaz os requisitos exigidos atualmente.

Com este propósito, é realizada uma análise comparativa entre os materiais apresentados no capítulo anterior e de outros produtos de isolamento térmico, que vão ser apresentados a seguir, e os produtos de compósitos de cortiça da ACC através do valor do índice de condutibilidade térmica. É também realizada uma comparação entre os coeficientes de transmissão térmica U dos sistemas tradicionais e da nova construção com estes materiais nos vários elementos construtivos como pavimentos, paredes e coberturas, analisando que tipo de soluções e a partir de que espessuras os materiais da ACC conseguem ter um melhor desempenho energético.

Como as gamas de produtos Underlays e Underscreeds já têm quantificado o valor da condutibilidade térmica, não foi necessário realizar-se ensaios para esse fim. A gama de controlo de vibrações são os únicos que não têm definido esse valor, no entanto, como as áreas de aplicações são bastante inferiores em comparação com os Underlays ou Underscreeds, não serão relevantes nem considerados para a análise. Os materiais analisados no capítulo anterior também já têm os valores de condutibilidade térmica definidos, apenas foi preciso recorrer a valores tabelados do ITE50 para a análise de sistemas completos.

Os produtos que serão analisados da gama de Underlays são o T61, adequado para a maior parte dos revestimentos de pavimento, e o T66 no caso de revestimento vinílico. Já na gama de Underscreeds serão analisados o U32, para elevadas necessidades térmicas e baixas necessidades acústicas, o U85 para necessidades térmicas mais baixas e necessidades acústicas médias e, por fim, o U38 para necessidades térmicas médias e elevada necessidade acústica. Estes materiais são os que além de terem bom desempenho acústico para uma menor espessura, são os que são mais leves e com melhores capacidades térmicas.

Realizou-se a comparação entre as soluções habituais da construção leve e da construção tradicional com vários tipos de soluções integrando as gamas de produtos da ACC em conjunto e/ou em separado, de modo a obter-se a melhor solução possível para cada elemento construtivo conforme as exigências térmicas dos edifícios.

Para tal foram calculados os coeficientes de transmissão térmica superficiais e comparados com os limites máximos definidos na Portaria nº379-A/2015 para Portugal Continental (Quadro 18). Considerou-se como elementos construtivos as paredes exteriores, pavimentos em contacto com o exterior ou com espaços não uteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0,7$ com sentido do fluxo ascendente, e as coberturas. A zona climática escolhida foi a I3, pois é um clima mais rigoroso que se traduz em coeficientes de transmissão térmica mais baixos.

5.4.1. COMPARAÇÃO DOS MATERIAIS

Fazendo uma análise geral entre os valores da condutibilidade térmica dos produtos da ACC e os valores convencionais consultados no ITE50 dos materiais mais utilizados para isolamento térmico, conclui-se que os produtos da gama de Underlays e Underscreeds que vão ser analisados, encontram-se dentro da gama de valores e, por isso, são adequados para o isolamento térmico, sendo que o T61 e o U32 são os que podem competir melhor com os restantes isolantes térmicos. Apenas o T66 é que tem uma condutibilidade térmica superior a $0,065 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$, isto é, não é um bom isolante térmico e, por isso, necessita de ter uma espessura superior para ter a mesma performance que os outros materiais.

Quadro 19 - Comparação condutibilidade térmica ACC e materiais mais utilizados

Material	$\lambda \text{ [W/(m.K)]}$
Lã mineral	0,040-0,045
Poliestireno Expandido Moldado (EPS)	0,037-0,055
Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)	0,037
Poliuretano (PUR) ou poli-isocianurato (PIR)	0,040
T66	0,08
T61 e U32	0,040
U85	0,0546
U38	0,055

No que concerne à comparação com os materiais apresentados no capítulo anterior (Quadro 20), na gama de Underlays o T61, apesar de ter um valor de condutibilidade térmica superior ao Silent Step Soft, é bastante próximo, tendo desta maneira um desempenho idêntico. Já a gama de Underscreeds consegue superar com bastante satisfação os outros materiais analisados.

Quadro 20 - Comparação condutibilidade térmica ACC e materiais de isolamento acústico

Produtos de isolamento acústico	λ [W/(m.K)]	Produtos ACC	λ [W/(m.K)]
Silent Step Soft	0,039	T61	0,040
		T66	0,080
AFM	0,06	U32	0,040
		U85	0,0550
		U38	0,0546
Regupol Comfort 12	0,06	U38	0,0546
Silent Floor	0,17	U38	0,0546
		U85	0,055

5.4.2. PAVIMENTOS

Considerando um sistema simples para a laje de pavimento dos sistemas Light Wood Framing e Light Steel Framing, constituído por:

- Revestimento do piso com 10 mm de espessura e uma condutibilidade térmica de 0,18;
- Uma placa OSB com 18 mm de espessura e uma condutibilidade térmica de 0,13;
- Lã mineral de baixa densidade com 200 mm de espessura e condutibilidade térmica de 0,045;
- Painel de gesso cartonado de 15 mm de espessura e 0,25 de condutibilidade térmica.

Como foi referido anteriormente, nos pavimentos do LWF e LSF os painéis de lã mineral de baixa densidade são os mais utilizados para colocar entre as cavidades da madeira ou do aço. No caso de preencher totalmente a caixa de ar, devido há altura mínima das vigas de pavimento terá de ter uma espessura mínima de 200mm possuindo um valor de condutibilidade térmica de 0,045. Este produto tem várias vantagens como ser incombustível, tem elevada capacidade de isolamento térmico e ter uma massa volúmica baixa entre 20-35, tendo, assim, um peso de 7kg/m².

Deste modo, o material T61 poderia ser utilizado pois como tem uma condutibilidade térmica mais baixa consegue ter um melhor desempenho com menos 20mm de espessura, no entanto a massa volúmica do material é bastante superior (175 kg/m²) pesando cerca de 31,5 kg/m² para uma espessura menor de 180 mm, ou seja, é muito mais pesado e, por isso, poderá não ser sustentável para o edifício, visto que, está aplicado sobre a placa de gesso cartonado. É de referir que, com uma espessura do isolamento inferior a 200mm, começa a haver uma caixa de ar que com 20mm de espessura tem uma resistência térmica de 0,16, devido à altura mínima das vigas de madeira de 200mm em pavimentos de construção leve havendo a vantagem de incorporação de instalações na caixa de ar.

Além disso, a lã mineral tem uma classe ao fogo superior (normalmente A1) que em especial para a construção leve torna-se mais adequado do que os compósitos da ACC.

Quadro 21 - Comparação de solução LSF/LWF com lã mineral de baixa densidade (solução 1) ou com T61 (solução 2)

Solução 1				Solução 2			
Constituição	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² /W.°C)	Constituição	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² /W.°C)
Revestimento	0,010	0,18	0,06	Revestimento	0,010	0,18	0,06
OSB	0,018	0,13	0,14	OSB	0,018	0,13	0,14
Lã mineral baixa densidade	0,200	0,045	4,44	Caixa de ar	0,020	-	0,16
				T61	0,180	0,040	4,50
Placa gesso cartonado	0,015	0,25	0,06	Placa gesso cartonado	0,015	0,25	0,06
Espessura total (m)	0,243			Espessura total (m)	0,243		
Rse			0,04	Rse			0,04
Rsi			0,10	Rsi			0,10
Somatório R			4,84	Somatório R			5,05
U (W/m ² °C)			0,21	U (W/m ² °C)			0,20

Ambas as soluções têm um valor de coeficiente de transmissão térmica inferiores ao limite máximo de 0,30, mas devido ao peso que é imposto às placas de gesso cartonado, a opção 1 consegue ser a melhor para esta situação.

Considerando a solução 1 anterior com isolamento de lã mineral, como os requisitos máximos do valor de Coeficiente de Transmissão Térmica em Portugal Continental são bastante superiores em todas as zonas climáticas, será adotada uma espessura para a lã mineral de 105 mm (com caixa de ar de 95mm), por corresponder a um valor do coeficiente da solução de 0,35 que é um valor intermédio admissível em Portugal Continental, ou seja, corresponde ao requisito máximo da zona climática I2 (0,35).

As soluções base que irão ser comparadas estão representadas no Quadro 22.

Quadro 22 - Soluções base estudo térmico

Sistema Construtivo	Constituição	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² /W.°C)	R total	U (W/m ² °C)
LWF/LSF	Revestimento	0,01	0,18	0,06	2,89	0,35
	OSB	0,018	0,13	0,14		
	Caixa de ar	0,095	-	0,16		
	Lã mineral baixa densidade	0,105	0,045	2,33		
	Painel gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		
	Espessura total (m)	0,243				
CLT	Revestimento	0,01	0,18	0,06	2,88	0,35
	CLT (5 camadas)	0,15	0,12	1,25		
	Lã mineral média densidade	0,055	0,04	1,38		
	Painel gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		
	Espessura total (m)	0,230				
SIP	Revestimento	0,01	0,18	0,06	2,83	0,35
	Painel SIP (2 painéis OSB e isolamento EPS)	0,136	-	2,57		
	Painel gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		
	Espessura total (m)	0,161				
Laje maciça	Revestimento	0,01	0,18	0,06	0,28	3,54
	Betonilha de assentamento	0,05	1,35	0,04		
	Laje maciça	0,100	2,00	0,05		
	Espessura total (m)	0,160				

5.4.2.1. Aplicação Underlays

No que concerne à aplicação da gama de underlays, verifica-se que para as soluções construtivas leves, apesar de baixar o coeficiente de condutibilidade térmica, não é um valor significativo. Já para a Reabilitação de pavimentos em laje maciça, apenas 3 mm de espessura traduzem a redução de 20% das perdas térmicas, mas ainda não é suficiente para cumprir os requisitos térmicos.

Quadro 23 – Aplicação de 3mm do T61 na Construção Leve e na Reabilitação

Solução 3						
Sistema Construtivo	Constituição	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² /W.°C)	R total	U (W/m ² °C)
LWF/LSF	T61	0,003	0,04	0,08	2,96	0,34
	Espessura total (m)	0,246				
CLT	T61	0,003	0,04	0,08	2,96	0,34
	Espessura total (m)	0,233				
SIP	T61	0,003	0,04	0,08	2,90	0,34
	Espessura total (m)	0,164				
Laje maciça	T61	0,003	0,04	0,08	0,36	2,80
	Espessura total (m)	0,163				

Como a aplicação deste tipo de materiais é com uma espessura bastante reduzida, isto não irá afetar significativamente o isolamento térmico da estrutura. Logo, como os Underlays também dependem do tipo de pavimento a colocar por cima, uma solução poderá ser a utilização de uma camada com alguma espessura de painel de cortiça com bom isolamento térmico e leve, como é o caso do material T61, sob a camada de underlay. A solução 4, para cada tipo de solução construtiva, adiciona à solução 1, um painel de cortiça de pelo menos 16mm de espessura sob o underlay.

Quadro 24 - Aplicação do T61 na Construção Leve (16mm) e na Reabilitação (30mm)

Solução 4						
Sistema Construtivo	Constituição	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² /W.°C)	R total	U (W/m ² °C)
LWF/LSF	T61	0,016	0,04	0,40	3,36	0,30
	Espessura total (m)	0,262				
CLT	T61	0,016	0,04	0,45	3,23	0,30
	Espessura total (m)	0,246				
SIP	T61	0,016	0,04	0,40	3,30	0,30
	Espessura total (m)	0,180				
Laje maciça	T61	0,030	0,04	0,71	1,07	0,93
	Espessura total (m)	0,193				

Comparando a solução 1 com a solução 4, é de notar que, nas soluções construtivas leves, por mais 19mm de espessura (painel de cortiça T61 16mm mais underlay de 3mm) há uma redução da transmissão dos fluxos de calor de aproximadamente 14%, tendo agora um valor de coeficiente de transmissão igual ao requisito máximo da zona climática I3 e menor do que os requisitos máximos das zonas I1 e I2.

No que concerne à solução de isolamento na laje maciça, em comparação com a solução 1, por mais 33mm de espessura (painel de cortiça T61 30mm mais underlay de 3mm), os fluxos de calor são diminuídos cerca de 74%, mas que ainda não satisfaz os coeficientes máximos para as zonas climáticas em Portugal Continental.

5.4.2.2. Aplicação Underscreeds

Outra solução vista no capítulo anterior para a correção do isolamento acústico na construção leve e na reabilitação urbana de pavimentos de estrutura de madeira era a conjugação de um underscreed com um material com alguma massa e de enchimento para aumentar o isolamento a sons de percussão e, a título de exemplo, é utilizado neste estudo o Comfort S1 da empresa Regupol. Para a reabilitação de outros tipos de pavimentos como as lajes maciças, basta a utilização de underscreed sob uma betonilha preferencialmente leve. Visto que os underscreeds têm também boas características térmicas, especialmente o U32, são também um conjunto a analisar (Quadro 25).

No entanto, ao contrário da gama anterior, estes já materiais já são utilizados com uma espessura maior que irá influenciar a resistência térmica do sistema construtivo segundo a condutibilidade e a espessura do underscreed. Por isso, serão analisadas soluções incorporadas com o underscreed U32 que tem isolamento térmico mais elevado, mas isolamento acústico mais baixo, e o U38 para necessidades térmicas médias e elevada necessidade acústica. Como foi referido anteriormente, estes materiais são os que além de terem bom desempenho acústico para uma menor espessura, são os que são mais leves e com melhores capacidades térmicas.

Além dos produtos underscreed e do Comfort S1, será adicionado na construção leve um painel OSB. A análise é realizada em conjunto com a solução anterior, ou seja, a solução base com underlay e com painéis de cortiça T61 sob o underlay.

Quadro 25 – Aplicação de Undercreeds na Construção Leve e na Reabilitação

Solução 5						
Sistema Construtivo	Constituição	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m2/W.°C)	R total	U (W/m2°C)
LWF/LSF	OSB	0,018	0,13	0,14		
	Comfort S1	0,040	0,214	0,19		
	U32	0,004	0,04	0,10	3,79	0,26
		0,006		0,15	3,84	0,26
		0,008		0,20	3,89	0,26
		0,010		0,025	3,94	0,25
	U38	0,012	0,055	0,22	3,91	0,26
		0,017		0,31	4,00	0,25
	Espessura total (m)		0,324-0,337			
	CLT	OSB	0,018	0,13	0,14	
Comfort S1		0,040	0,214	0,19		
U32		0,004	0,04	0,10	3,78	0,26
		0,010		0,025	3,93	0,25
U38		0,012	0,055	0,22	3,90	0,26
		0,017		0,31	3,99	0,25
Espessura total (m)		0,311-0,324				
SIP	OSB	0,018	0,13	0,14		
	Comfort S1	0,040	0,214	0,19		
	U32	0,004	0,04	0,10	3,73	0,27
		0,006		0,15	3,78	0,26
	U38	0,012	0,055	0,22	3,84	0,26
		0,017		0,31	3,94	0,25
	Espessura total (m)		0,242-0,255			
Laje maciça	U32/U38	0,010	0,04/0,08	0,25/0,18	1,32/1,25	0,76/0,80
	Espessura total (m)		0,203			

Note-se que com esta solução há uma redução dos coeficientes de transmissão térmica de pelo menos 26% da construção leve sendo adequados para todas as zonas climáticas de Portugal continental.

Na reabilitação de lajes maciças, a aplicação de 10 mm do undercreed diminui significativamente o coeficiente de transmissão térmica, comparativamente com a solução inicial, mas ainda não é suficiente. Aumentar ainda mais a espessura do underscreed poderá não ser a solução ideal, pois é mais denso do que os painéis de cortiça T61 e, como na reabilitação é preciso ter este aspeto em atenção, a solução passará por aumentar a espessura da solução 4, mantendo a solução 5 com underscreeds (Quadro 26).

Quadro 26 - Aplicação do T61 na Reabilitação

Solução 6						
Sistema Construtivo	Constituição	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² /W.°C)	R total	U (W/m ² °C)
Laje maciça	T61	0,080	0,04	1,90	2,51	0,40
	Espessura total (m)	0,253				
	T61	0,095	0,04	2,26	2,87	0,35
	Espessura total (m)	0,268				
	T61	0,115	0,042	2,74	3,35	0,30
	Espessura total (m)	0,288				

5.4.3. PAREDES

O isolamento das paredes também constitui um fenómeno essencial para garantir a eficiência energética das frações tanto no Inverno como no Verão. Este aspeto tem sido bastante estudado ao longo do tempo havendo uma evolução das soluções para o isolamento das fachadas.

A solução que era bastante utilizada era o isolamento pelo interior, no entanto este apresenta algumas desvantagens que foram resolvidas com a utilização do isolamento pelo exterior, também conhecido como sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite System). As vantagens da utilização do sistema ETICS ao invés da solução do isolamento pelo interior são: a correção das pontes térmicas, aumento da inércia térmica interior e proteção do pano exterior às de mais ações climáticas, principalmente às variações de temperatura e de eventual choque térmico [96].

Deste modo, a cortiça, sendo um material com boas propriedades térmicas, acústicas, resistência ao fogo e durável, poderia ser aplicada como sistema ETICS tanto na Construção Leve, fixa aos painéis de madeira, como na Reabilitação Urbana, fixa ao pano de suporte. Na Reabilitação, quando o sistema ETICS não for possível poderá ser utilizado o isolamento pelo interior em conjunto com uma barreira para-vapor na face mais interior do isolante térmico para evitar a ocorrência de condensações internas [96].

Especialmente nas soluções de fachadas ventiladas, que têm falta de segurança contra incêndios devido à caixa de ar que pode facilitar a propagação do fogo, a cortiça, mais uma vez, pode ser uma solução na reabilitação deste tipo de fachadas como material resistente ao fogo.



Fig. 68 - Exemplo de aplicação da cortiça na fachada de construção leve (Solução ETICS) [97]

Na construção leve, como a lã mineral de baixa densidade, colocada entre as cavidades, já constitui um bom isolamento térmico, não será necessária tanta quantidade de cortiça para garantir o cumprimento dos requisitos térmicos.

A título de exemplo, comparando uma solução base de parede exterior constituída 1 painel de gesso cartonado, 2 painéis OSB, lã mineral e reboco exterior, a solução sem cortiça tem um coeficiente de transmissão térmica de 0,37, cumprindo os requisitos máximos das zonas climáticas I1 e I2, mas é superior ao limite máximo admissível na zona climática I3. Ao acrescentarmos 12mm de cortiça (T61) o valor é bastante inferior ao máximo ($U=0,33 \text{ W/m}^2\text{°C}$) e, com 30mm, pode-se atingir o coeficiente de 0,29 ($\text{W/m}^2\text{°C}$), adequado para a zona climática I3.

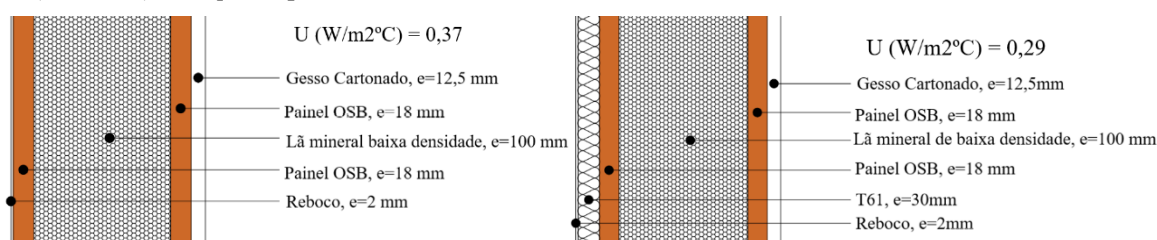


Fig. 69 - Coeficiente de transmissão térmica de parede exterior com e sem cortiça

Na Reabilitação será necessária maior quantidade de cortiça para garantir o conforto e requisitos térmicos. Considerando as seguintes soluções:

- Pano de alvenaria sem isolamento térmico - $U=1,36 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$;
- Pano de alvenaria com isolamento térmico de 20mm de espessura - $U=0,81 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$;
- Pano de alvenaria com isolamento térmico de 50mm de espessura - $U=0,50 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$;
- Pano de alvenaria com isolamento térmico de 110mm de espessura - $U=0,29 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$.

Realizando uma comparação da primeira solução sem isolamento térmico com as restantes, é de notar que a segunda solução tem uma redução do coeficiente de transmissão térmica de 40%, mas ainda não é suficiente para cumprir os requisitos térmicos de Portugal continental. Assim, a terceira solução que tem uma redução de 63% do coeficiente de transmissão térmica, já cumpre os requisitos para a zona climática I1, e a quarta solução, com uma taxa de redução de 79%, cumpre os requisitos para as zonas climáticas I2 e I3 (Fig. 70).

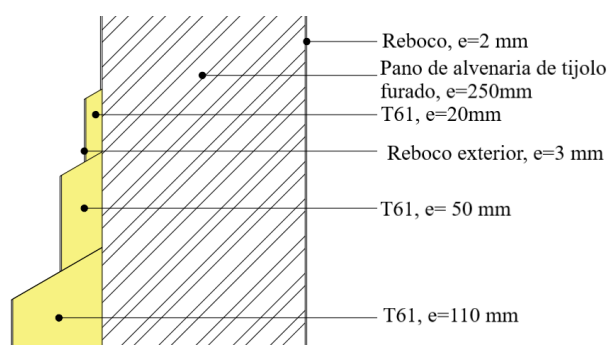


Fig. 70 - Soluções de pano de alvenaria exterior sem isolamento e com isolamento de 20, 50 e 110 mm de espessura

5.4.4. COBERTURAS

Além dos elementos construtivos pavimentos e paredes, não pode ser esquecido o contributo térmico das coberturas. Estes elementos construtivos, se não forem bem isolados, podem corresponder a elevadas perdas térmicas sendo o componente principal responsável por maior parte das perdas de calor que existem no Inverno (em média cerca de 30%) [98].

O tipo de coberturas em Portugal foi evoluindo ao longo do tempo, até 1960 utilizava-se bastante as coberturas inclinadas com estrutura em madeira, mas quando se começou a utilizar o betão na construção também a cobertura começou a ser em estrutura de betão, sendo bastante utilizada até mesmo aos dias de hoje. Em Portugal, o tipo de cobertura mais usual é a cobertura inclinada revestida a telhas cerâmicas ou de betão [98].

Podem existir dois tipos de coberturas: horizontais; ou inclinadas. Nas coberturas horizontais o isolamento deve ser colocado entre a camada de forma e o sistema de impermeabilização. Já nas coberturas inclinadas, a posição do isolamento depende se é desvão útil ou não-útil, sendo priorizado a colocação do isolamento no elemento separador entre local aquecido e não aquecido. Logo, no desvão útil o isolamento é colocado nas vertentes sobre a estrutura resistente, enquanto no desvão não-útil o isolamento é colocado na laje sobre a esteira horizontal [98].

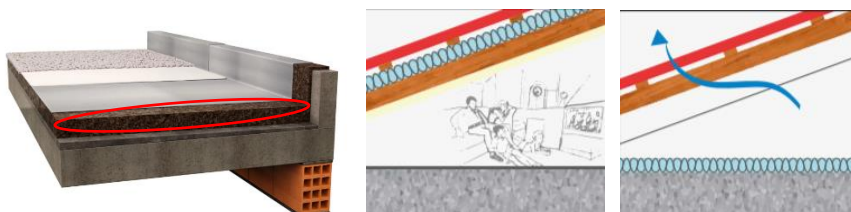


Fig. 71 - Aplicação do isolamento na cobertura horizontal (esquerda) e nas coberturas inclinadas com desvão útil (centro) e desvão não-útil (direita) [97], [98]

Na Reabilitação de coberturas horizontais em terraço de, por exemplo laje maciça com aplicação do isolamento pelo exterior, as espessuras mínimas necessárias para cumprir os valores máximos admissíveis de coeficiente de transmissão térmica são:

- 77,6 mm de espessura para a zona climática I1 para $U_{\max}=0,40$ (W/m²°C);
- 90 mm de espessura para a zona climática I2 para $U_{\max}=0,35$ (W/m²°C);
- 106,7 mm de espessura para a zona climática I3 para $U_{\max}=0,30$ (W/m²°C).

Na construção leve ou na reabilitação de coberturas inclinadas de estrutura de madeira com desvão útil e isolamento em cortiça (T61) descontínuo poderia ser colocada nas vertentes entre os painéis OSB ou entre as cavidades. A espessura mínima dos painéis de cortiça T61 necessária para respeitar os coeficientes de transmissão térmica máximos em cada zona climática correspondem:

- 115 mm de espessura para a zona climática I1 para $U_{\max}=0,40$ (W/m²°C);
- 127,5 mm de espessura para a zona climática I2 para $U_{\max}=0,35$ (W/m²°C);
- 140 mm de espessura para a zona climática I3 para $U_{\max}=0,30$ (W/m²°C).

No caso de coberturas inclinadas com desvão não-útil e isolamento térmico contínuo aplicado sobre a esteira horizontal de laje maciça na Reabilitação de coberturas, as espessuras mínimas dos painéis de cortiça T61 para respeitar os coeficientes de transmissão térmica máximos em cada zona climática correspondem:

- 90 mm de espessura para a zona climática I1 para $U_{\max}=0,40$ (W/m²°C);
- 102,5 mm de espessura para a zona climática I2 para $U_{\max}=0,35$ (W/m²°C);
- 115 mm de espessura para a zona climática I3 para $U_{\max}=0,30$ (W/m²°C).

Por fim, relativamente à solução estrutural de cobertura inclinada na construção leve, com aplicação de isolamento térmico contínuo e fixações pontuais aplicado sobre a esteira horizontal, as espessuras mínimas dos painéis de cortiça que satisfazem os requisitos térmicos são:

- 97,5 mm de espessura para a zona climática I1 para $U_{\max}=0,40$ (W/m²°C);
- 110 mm de espessura para a zona climática I2 para $U_{\max}=0,35$ (W/m²°C);
- 122,5 mm de espessura para a zona climática I3 para $U_{\max}=0,30$ (W/m²°C).



Fig. 72 - Exemplos de aplicação de cortiça (castanho escuro) em coberturas inclinadas [97]

5.4.5. PONTES TÉRMICAS

No passado e, provavelmente, também nos dias de hoje, dá-se muita importância ao isolamento de elementos construtivos com grandes áreas como paredes, pavimentos e coberturas. No entanto, são esquecidos pormenores importantes como as pontes térmicas, sendo muitas vezes desprezado o seu contributo térmico verificando-se que atualmente existem muitas construções que não têm as pontes térmicas bem tratadas.

Sendo o Regulamento dos Edifícios de Habitação (REH), as pontes térmicas são heterogeneidades que ocorrem na zona corrente da envolvente de um edifício, isto é, são zonas da envolvente onde ocorrem perdas de calor consideráveis, em comparação com a zona corrente, pela existência de descontinuidade do isolamento térmico com a sua interrupção por um material (normalmente betão) cujo coeficiente de condutibilidade térmica é bastante superior, havendo, assim, um elevado contraste entre as resistências térmicas da zona corrente e nos locais das pontes térmicas. Deste modo, a direção do fluxo de calor deixa de ser unidirecional e passa a adquirir direções diferentes consoante os locais onde a resistência à sua passagem é a mais baixa possível [61].

Segundo o REH as pontes térmicas existentes num edifício podem ser as seguintes:

- Ligação da fachada com pavimentos térreos, com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido, com pavimentos intermédios, com varanda e com a cobertura;
- Ligação entre duas paredes verticais;
- Ligação da fachada com caixa de estore;
- Ligação da fachada com caixilharia.

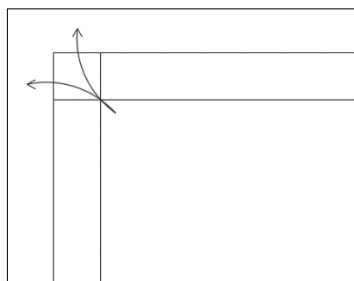


Fig. 73 - Ponte térmica ligação entre duas paredes verticais

A ausência de tratamento nas pontes térmicas pode originar entre 20% a 30% de perdas térmicas em comparação com uma solução de vigas e lajes em betão armado com correção das mesmas. As pontes térmicas aumentam a possibilidade de ocorrência de fenómenos de condensações superficiais que, por sua vez, pode originar patologias. As condensações superficiais podem ser calculadas segundo a seguinte fórmula:

$$\theta_i = t_i - \frac{U}{h_i} \cdot (t_i - t_e) \quad (8)$$

onde:

θ_i – Temperatura da superfície interior do elemento (°C);

t_i – Temperatura da ambiência interior (°C);

t_e – Temperatura da ambiência exterior (°C);

U – Coeficiente de transmissão térmica do elemento [W/(m².°C)];

h_i – Condutância térmica superficial interior [W/(m².°C)].

Quanto maior é o coeficiente de transmissão térmica menor é a temperatura da superfície interior do elemento, aproximando-se da temperatura de ponto de orvalho e, por isso, maior é o risco de condensações superficiais. Assim, quanto maior for a resistência térmica e a resistência ao vapor de água das zonas correntes, se não houver um tratamento das pontes térmicas, maior são os fluxos de calor e de vapor de água nessas zonas específicas da envolvente, facilitando o aumento de pressão de saturação no interior da habitação e, consequentemente, aumenta o risco de condensações internas [61].

Deste modo, torna-se perceptível a necessidade de corrigir as pontes térmicas que pode passar pela solução ETICS de isolamento pelo exterior na construção leve (no caso da construção em CLT não existem pontes térmicas) ou, no caso de haver impossibilidade arquitetónica, e no caso de Reabilitação de edifícios, se já existir isolamento na caixa de ar, pode-se apenas revestir pelo exterior ou pelo interior os pilares, lajes e caixa de estores.

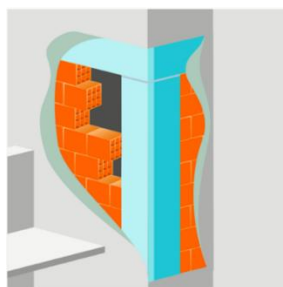


Fig. 74 - Exemplo de correção de pontes térmicas [99]

Segundo a Portaria n.º 379-A/2015, o valor do coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas planas (U_{PTP}) deve ser igual ou inferior ao dobro do valor do coeficiente de transmissão térmica das zonas correntes adjacentes (U_{cor}) e deve ser igual ou inferior ao valor do coeficiente de transmissão térmica máximo dos valores indicados para os elementos opacos [95]:

$$U_{PTP} \leq 2 \times U_{cor} \quad (9)$$

$$U_{PTP} \leq U_{máx} \quad (10)$$

A partir de 1 de janeiro de 2016 os valores de coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas ficaram limitados também a um valor inferior a $0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$, calculado de forma unidimensional na direção normal à envolvente [95].

Como a cortiça é um material com boas propriedades térmicas, boas propriedades mecânicas e é impermeável a líquidos e gases, pode ser uma solução para a correção de pontes térmicas, juntamente com uma barreira para-vapor para melhorar a resistência à difusão de vapor.

Considerando um exemplo de uma ponte térmica da ligação da fachada com pavimento intermédio, e aplicação do underlay T61 de 5 cm de espessura, cujo valor da condutibilidade térmica é de $0,040$, verifica-se que:

- $U_{PTP}=0,63 \leq 2 \times 0,33 = 0,66 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$
- $U_{PTP}=0,63 \leq U_{máx} = 1,45 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$
- $U_{PTP}=0,63 \leq 0,9 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$

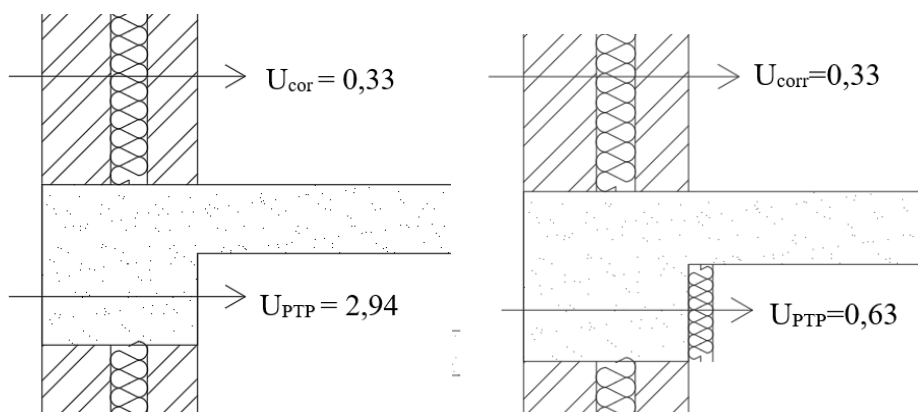


Fig. 75 - Exemplo de correção de ponte térmica de ligação da fachada com pavimento intermédio

5.4.6. OUTRAS APLICAÇÕES

No desenvolvimento de um projeto de uma fração, há que considerar aspetos importantes na fase de dimensionamento na ventilação do edifício, como a reduzida permeabilidade de portas exteriores ou de portas que limitam setores separados de ventilação. Estas portas, como normalmente realizam a separação entre locais aquecidos e não aquecidos poderiam ser incorporadas com isolamento térmico de cortiça para também limitar o fluxo de calor que é perdido por este elemento e, devido à elevada resistência ao fogo da cortiça, para limitar a propagação do mesmo em caso de incêndio.

Assim, considerando uma porta exterior metálica com dois painéis de aço galvanizado de 5mm cada incorporado com painéis de cortiça T61 de 60mm, o valor de coeficiente de transmissão térmica é de apenas 0,6 W/m².°C.



Fig. 76 - Exemplo de aplicação da cortiça numa porta [100]

Os edifícios, principalmente de habitação e, também industriais, necessitam de tubagens de elevadas dimensões tanto, por exemplo, no abastecimento de água quente. Muitas dessas tubagens encontram-se no interior do edifício e, sendo estas realizadas em materiais como PVC, entre outros, que têm um coeficiente de condutibilidade térmica bastante elevado, ou seja, são muito pouco isolantes a nível térmico.

Apesar dessas tubagens estarem normalmente embutidas nos elementos construtivos que são compostos por isolantes térmicos, se não forem isoladas perdem na mesma calor, havendo uma diminuição da temperatura da água quente, por exemplo.

Para este caso, os produtos compósitos de cortiça da ACC não podem ser aplicados diretamente devido às formas geométricas das tubagens e, por isso, sugere-se a criação de novas formas de compósitos para o isolamento térmico e acústico das mesmas.



Fig. 77 - Exemplo de aplicação de cortiça nas tubagens [97]

5.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO

Devido às exigências atuais de edifícios termicamente mais eficientes, tanto na construção leve como na reabilitação de edifícios antigos, é necessário garantir o cumprimento de certos requisitos através de materiais e soluções que sejam bons isolantes térmicos e que garantam a salubridade dos edifícios, respetivamente.

Assim, alguns dos compósitos de cortiça da ACC que foram analisados nesta dissertação apresentam coeficientes de condutibilidade baixos, podendo serem boas soluções para a aplicação em várias partes dos edifícios. Isto é, não necessita de serem aplicados apenas para a função que lhes é atribuída – isolamento acústico de pavimentos – podendo contribuir de forma versátil para garantir a eficiência energética do edifício tanto de pavimentos, paredes, coberturas, pontes térmicas e outras aplicações mais específicas como, por exemplo, portas e isolamento de tubagens. No último caso, isolamento térmico de tubagens, é sugerida a criação de novas formas para os compósitos de cortiça.

Dentro dos materiais termicamente mais eficientes, que foram analisados neste capítulo, destaca-se o Underlay T61 que não só tem um coeficiente de condutibilidade térmico baixo como também uma massa volúmica baixa, sendo adequado para os sistemas construtivos analisados e não comprometendo a estrutura dos edifícios.

Desta forma, torna-se perceptível a grande capacidade dos compósitos de cortiça não só no isolamento acústico, como também no isolamento térmico.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Devido à crescente preocupação com a sustentabilidade na construção, surgem cada vez mais, um pouco por todo o mundo, normas e iniciativas a promoverem a escolha por construções mais verdes, mais eficientes e duráveis. Neste âmbito, a construção leve e a reabilitação urbana de edifícios antigos são mercados que têm vindo a crescer nos últimos anos e prevê-se um aumento de empresas de construção a começar a apostar nesses mercados, e consequentemente, um aumento da preferência dos clientes por estas soluções. Foi necessário estudar os vários sistemas construtivos que existem e, além dos objetivos principais, realizou-se um inquérito a várias empresas de construção dedicadas em especial a estes sistemas tanto de Portugal como de outros países da Europa, para analisar o mercado atual, quais as perspetivas no futuro destes mercados e quais as fragilidades encontradas nestes sistemas construtivos.

Uma das preocupações que foi encontrada nestes sistemas construtivos, devido à principal utilização de elementos de baixa massa e rígidos, é o isolamento a sons de percussão que, ao invés dos sons aéreos, podem ser mais facilmente propagáveis e serem sentidos em toda a estrutura do edifício. A solução pode passar pelo desacoplamento dos elementos construtivos com utilização de materiais resilientes e/ou, quando tal seja possível, aumentar um pouco a massa do sistema.

Depois de um estudo sobre as propriedades e todo o ciclo de vida da cortiça conclui-se que este material é de interesse para aplicação nestas soluções construtivas, pois é um material sustentável (natural, reutilizável e reciclável) que combina várias propriedades adequadas para o edifício como o isolamento acústico e térmico, resistência ao fogo, durável, impermeável e líquidos e gases, etc. A cortiça pode ser combinada com outros materiais como poliuretano, borracha reciclada, entre outros, que podem realçar as vantagens da cortiça. Assim, juntamente com a *Amorim Cork Composites – ACC*, procurou-se nesta dissertação estudar como e quais os produtos compósitos de cortiça da gama *Acousticork* podem ser utilizados na Construção Leve e/ou na Reabilitação Urbana.

No desenvolvimento do trabalho foi realizado um estudo do mercado de materiais e aplicações de outras empresas nestes sistemas construtivos, tendo sido encontradas várias soluções de isolamento acústico a sons de percussão para a construção leve e para a reabilitação urbana. Foram concluídas as seguintes utilizações dos materiais da ACC:

- Underlay T66 ou T61 dependendo do tipo de piso na Reabilitação Urbana ou na Construção Leve, sob o revestimento do piso. Na construção leve utilização em conjunto com isolante térmico de alta densidade;

- Underscreed U85, U36, U30 e U38 na Reabilitação sob betonilhas flutuantes leves ou painéis OSB com possível utilização com material de enchimento. O U38 necessita de melhorar o seu índice de isolamento a sons de impacto para menor espessura e vice-versa para o U30;
- Underscreed U38 na Construção Leve entre painéis estruturais OSB juntamente com material de enchimento;
- Wall-Bearing MS-R0 na Reabilitação ou na Construção Leve sob as ripas de madeira do pavimento e na separação dos painéis estruturais das paredes;
- Wall-Bearing MS-R2 na Reabilitação ou na construção Leve na separação dos painéis estruturais das paredes;
- Vibration Control VC1001 a VC1006 na Construção Leve para desacoplamento entre os pavimentos e a base das paredes, sobre as vigas e ripas de pavimento, sob as cantoneiras metálicas e local de aplicação das vigas. Necessita de conceber novos materiais ou novas formas de modo a atingir cargas estáticas mais baixas para que a frequência natural seja mínima.

É também sugerido novas formas de materiais para desacoplamento de áreas mais pequenas, para facilitar todo o processo de construção.

Devido às elevadas propriedades térmicas destes compósitos de cortiça e por serem aplicados em grandes áreas dos pavimentos (Underlay e Undercreeds), estes podem contribuir significativamente para o isolamento térmico do elemento construtivo que é essencial para garantir a eficiência energética do edifício e limitar as perdas de calor que normalmente existem nestes elementos. Assim, é também realizada uma análise térmica dos compósitos de cortiça aplicados nos pavimentos em diversas camadas tanto da construção leve como na reabilitação de edifícios antigos verificando-se que, apesar de não conseguirem competir com a lã mineral de baixa densidade que é bastante utilizada na construção leve, podem assegurar noutras camadas o isolamento térmico e acústico dos pavimentos, sendo necessário um cuidado superior na reabilitação de edifícios antigos, por exemplo, em betão, cujo coeficiente de condutibilidade térmica é bastante superior el por isso, é necessário mais quantidade de isolamento térmico para garantir o cumprimento dos requisitos térmicos.

A análise térmica foi um pouco mais além do objetivo de aplicação usual dos compósitos de cortiça *Acousticork* nos pavimentos, e foram estudadas também aplicações noutros elementos construtivos como paredes, coberturas, pontes térmicas, portas e isolamento de tubagens.

Assim, esta dissertação cumpriu todos os objetivos principais que foram propostos e teve um desafio adicional que foi a realização de uma apresentação para um júri da empresa com tempo máximo de 30 minutos para explicar todo o trabalho que foi desenvolvido. Esta apresentação (anexada no final desta dissertação) foi realizada no final de maio, sujeita a uma avaliação do júri para elegerem o melhor candidato para continuar na empresa como novo membro da equipa.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Como trabalhos futuros de continuação desta dissertação é sugerido, no caso da empresa, a realização de um catálogo específico para a construção leve e reabilitação urbana com a aplicação dos produtos para facilitar a escolha do cliente e informar as aplicações dos produtos nestes sistemas.

No caso de estudos futuros sugere-se:

- Novas soluções de compósitos de cortiça com aplicação de subcamada sob o revestimento final cerâmico, pedra natural ou LVT com massa volúmica menor, pois em situações de reabilitação de edifícios o peso é uma componente que se deve ter em consideração para não sobrecarregar a estrutura;
- Novas soluções de materiais compósitos de cortiça para subcamadas de pavimentos sob a laje flutuante ou sob painéis estruturais OSB em caso de construção leve, que para o mesmo isolamento acústico a sons de percussão atinjam espessuras menores e/ou sejam menos densos;
- Novos materiais compósitos de cortiça ou novas formas dos materiais existentes de controlo de vibrações no desacoplamento de elementos construtivos, que consigam atingir cargas estáticas mais baixas, uma vez que a frequência do material é mínima quando a carga aplicada é igual ou muito próxima da sua carga estática máxima;
- Desenvolver soluções de materiais mais leves, mas com elevada capacidade térmica para serem utilizados nos elementos construtivos de paredes e tetos tanto na construção leve como na reabilitação e novas formas cilíndricas para os materiais compósitos de cortiça da ACC para o isolamento térmico de tubagens existentes nos edifícios;
- Análise comparativa do custo de ciclo de vida (LCC) entre os sistemas da construção leve e a construção tradicional, com a soma de todos os custos que ocorrerão durante a vida útil do empreendimento, com a inclusão dos materiais a ACC referidos nesta dissertação para isolamento acústico e térmico;
- Análise comparativa da avaliação de ciclo de vida (LCC) entre os sistemas da construção leve e a construção tradicional, com a avaliação e quantificação dos impactos ambientais associados aos materiais utilizados desde a extração, durante a vida útil do empreendimento, e o fim de ciclo de vida dos materiais com a inclusão dos materiais a ACC referidos nesta dissertação para isolamento acústico e térmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OERCO2, *Estudo Dos Materiais Utilizados No Setor Da Construção Em Portugal*, 2013. https://oerco2.eu/wp-content/uploads/2013/02/1.2.1.-Report-Construction-materials-in-Portugal_PT.pdf (acedido Fev. 16, 2021).
- [2] ECSO - European Construction Sector Observatory, *European Construction Sector Observatory 2020: Portugal*, 2020. https://ec.europa.eu/growth/sites/default/files/ecso_cfs_portugal_2021.pdf (acedido Fev. 16, 2021).
- [3] Valério, A. *Materiais para uma construção sustentável: o caso da cortiça*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2014.
- [4] <https://amorimcorkcomposites.com/pt/sobre-nós/grupo-amorim/> (acedido Fev. 17, 2021).
- [5] <https://amorimcorkcomposites.com/pt/sobre-nós/amorim-cork-composites/> (acedido Fev. 17, 2021).
- [6] Gil, L. *A cortiça como material de construção - Manual Técnico*, APCOR. Santa Maria de Lamas, 2007.
- [7] Corticeira Amorim, *A Arte da Cortiça*, Corticeira Amorim. Porto, 2014.
- [8] Gil, L. *Cortiça: Produção, Tecnologia e Aplicação*, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial. Lisboa, 1998.
- [9] Pereira, J., Bugalho M., Caldeira M. *Cortiça - Cultura, natureza, futuro*, 2015. https://www.apcor.pt/wp-content/uploads/2015/07/Brochura_Ambiente_PT.pdf (acedido Fev. 23, 2021).
- [10] <https://www.wilder.pt/historias/sobreiro-portugues-lidera-corrida-a-arvore-europeia-do-ano/> (acedido Mar. 25, 2021).
- [11] <https://quercus.pt/2021/03/08/a-importancia-dos-montados-de-sobro-em-portugal/> (acedido Mar. 25, 2021).
- [12] Sataloff, R., Johns, M., Kost, K. *Boletim Estatístico 19/20*, 2019. https://www.apcor.pt/wp-content/uploads/2019/12/boletim_estatistico_apcor_2019.pdf (acedido Mar. 26, 2021).
- [13] Fortes, M., Rosa, M., Pereira, H. *A Cortiça*, IST Press. 2004.
- [14] Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. *Decreto-Lei n.º 169/2001 de 25 de Maio*, Diário da República n.º 121/2001, Série I-A., 2001.
- [15] <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/rolhas-naturais/> (acedido Mar. 29, 2021).
- [16] <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/rolhas-tecnicas/> (acedido Mar. 29, 2021).
- [17] Nascimento, C. *Cortiça na Construção*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013.
- [18] Batista, F. *O uso da cortiça na construção sustentável*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2017.
- [19] <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/aglomerados-compostos/> (acedido Mar. 29, 2021).
- [20] <https://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/aglomerado-puro->

- expandido/ (acedido Abr. 04, 2021).
- [21] <http://nатурlink.pt/article.aspx?menuid=3&cid=705&bl=1&viewall=true> (acedido Abr. 12, 2021).
- [22] Amorim Cork Composites. *Acousticork - Reinventing construction 2018*, 2018. https://amorimcorkcomposites.com/media/4969/acousticork_slimbook-2018.pdf (acedido Fev. 19, 2021).
- [23] Amorim Cork Composites. *Acousticork - Subpavimentos naturais e sustentáveis*, 2010. <http://www.1-1.pt/documentos/1334835224R9oXB9jt6Ci04FP2.pdf> (acedido Fev. 19, 2021).
- [24] <https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplicações/construção/materiais-aplicações/isolamento-acústico-controlo-de-vibrações/underlay/> (acedido Fev. 19, 2021).
- [25] <https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplicações/construção/materiais-aplicações/isolamento-acústico-controlo-de-vibrações/underscreed/> (acedido Fev. 20, 2021).
- [26] <https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplicações/construção/materiais-aplicações/isolamento-acústico-controlo-de-vibrações/apoios-de-parede/> (acedido Fev. 20, 2021).
- [27] <https://amorimcorkcomposites.com/pt/materiais-aplicações/construção/materiais-aplicações/isolamento-acústico-controlo-de-vibrações/controlo-de-vibrações/> (acedido Fev. 20, 2021).
- [28] Mateus R., *Novas Tecnologias Construtivas com Vista à Sustentabilidade da Construção Parte I*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2004.
- [29] <https://www.csustentavel.com/wp-content/uploads/2019/05/2anliseresultadosinquirito.pdf> (acedido Mar. 01, 2021).
- [30] Instituto Nacional de Estatística, *Estatísticas da Construção e Habitação - 2019*, Instituto Nacional de Estatística. Lisboa, 2020.
- [31] Torres, J., *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [32] Coutinho, J., *Apontamentos aulas teóricas “Materiais de Construção 1”*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2015.
- [33] Sánchez, J., Martitegui, F., Martitegui, C., Alvarez, M., Sánchez, F., Nevado M. *Casas de Madera*, Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. 1995.
- [34] <https://www.thinkwood.com/light-frame-and-prefab> (acedido Mar. 05, 2021).
- [35] <http://www.futureeng.pt/lfsf> (acedido Mar. 07, 2021).
- [36] Mateus, R. *Novas Tecnologias Construtivas com Vista à Sustentabilidade da Construção Parte II*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2004.
- [37] <https://www.ofeliz.pt/sites/default/files/business-area-files/oflz-laje-mista-h60-pt.pdf> (acedido Mar. 10, 2021).
- [38] <https://www.owenscorning.com/en-us/roofing/total-protection-roofing-system> (acedido Mar. 12, 2021).
- [39] <http://www.tugabusiness.pt/casasdemadeirasip.html> (acedido Mar. 16, 2021).
- [40] <https://www.sips.org/what-are-sips> (acedido Mar. 27, 2021).
- [41] <https://chblockwood.com/outros-materiais/> (acedido Mar. 16, 2021).

- [42] Grand View Research, *Structural Insulated Panels Market Size Report, 2021-2028*, 2021. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/structural-insulated-panels-market> (acedido Abr. 15, 2021).
- [43] Li, H., Wang, B. J., Wei, P. *Cross-laminated Timber (CLT) in China: A State-of-the-Art*, Journal of Bioresources and Bioproducts, 2019.
- [44] Costa, A. *Construção de edifícios com Cross Laminated Timber (CLT)*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [45] <https://www.new-edge.pt/pt/cross-laminated-timber/cross-laminated-timber> (acedido Abr. 18, 2021).
- [46] <https://www.archiexpo.com/pt/prod/stora-enso/product-97776-1411543.html> (acedido Mar. 26, 2021).
- [47] <https://www.getzner.com/en/applications/construction/building-acoustics/innovative-sound-control-in-timber-construction> (acedido Mar. 27, 2021).
- [48] Voulpiotis, K., Köhler, J., Jockwer, R., Frangi, A. *A holistic framework for designing for structural robustness in tall timber buildings*, Engineering Structures, vol. 227, 2021.
- [49] Santos, A., Pires, J., Silvestre, N., Gomes, A. *Manual de conceção de Estruturas e Edifícios em LSF - Light Steel Framing*, CMM-Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, 2013.
- [50] Gaspar, A. *Construção de Edifícios de Habitação Em Light Steel Framing*, Dissertação de Mestrado em Arquitetura, Universidade Lusófona do Porto, 2013.
- [51] <https://www.perfisa.pt/construcao-em-light-steel-framing/> (acedido Mar. 09, 2021).
- [52] Grand View Research, *Light Gauge Steel Framing Market Size Report, 2021-2028*, 2021. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/light-gauge-steel-framing-market> (acedido Abr. 15, 2021).
- [53] Ameri Research Inc, *Light Gauge Steel Framing Market Size-Industry Report 2025*, 2018. <https://www.ameriresearch.com/product/light-gauge-steel-framing-market/> (acedido Abr. 16, 2021).
- [54] <http://www.futureeng.pt/estudo2> (acedido Mar. 04, 2021).
- [55] LSK Aisb, *European Lightweight Steel-framed Construction*. Bruxelas, 2005.
- [56] <http://www.futureeng.pt/valor> (acedido Mar. 28, 2021).
- [57] <https://www.acoleve.pt/vantagens-da-reabilitacao-em-aco-leve/> (acedido Mar. 16, 2021).
- [58] Patrício, J. *A Acústica na Reabilitação de Edifícios - 4.^a Edição, Revista e Aumentada*, Quântica Editora-Conteúdos Especializados, Lda.. Porto, 2018.
- [59] Reis, M. *Inspecção e Proposta de Reabilitação de um Edifício de alvenaria de Pedra*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [60] Appleton, J. *Reabilitação de Edifícios: princípios e práticas*. Jornadas da Especialização em Direção e Gestão da Construção, 2014.
- [61] DOW, *Dow - Soluções para a Construção*, 2011. <https://server.projectista.pt/app/uploads/2011/01/Soluções Styrofoam.pdf> (acedido Abr. 20, 2021).
- [62] Instituto Nacional de Estatística, *O Parque Habitacional e a sua Reabilitação - Análise e Evolução 2001-2011*, Instituto Nacional de Estatística, Laboratório Nacional de Engenharia

- Civil. 2013.
- [63] Rothoblaas, *Soundproofing Solutions*, 2018. <https://issuu.com/rothoblaas/docs/soundproofing-solutions-en?mode=embed> (acedido Abr. 15, 2021).
- [64] Ferreira, A. *Acústica de edifícios: estudo de impacto económico associado ao método de classificação acústica*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Ciências e Tecnologia Universidade de Évora, 2016.
- [65] <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-vulcanizadas/propriedades-fisicas/propriedades-opticas/interacao-da-luz-com-os-materiais/> (acedido Mai. 06, 2021).
- [66] Garcia, M. *Avaliação da transmissão indireta de ruídos de percussão - Estudo de casos*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, 2013.
- [67] Meirovitch, L. *Fundamentals of vibration*, Waveland Press. 2010.
- [68] <https://www.cbmconnect.com/resonance-natural-frequency/> (acedido Mai. 08, 2021).
- [69] <https://www.ctborracha.com/artefactos/a-borracha-no-amortecimento-de-vibracoes/> (acedido Mai. 08, 2021).
- [70] <https://www.rothoblaas.com/company-rothoblaas> (acedido Mai. 12, 2021).
- [71] <https://www.getzner.com/en/about-us/who-we-are> (acedido Mai. 12, 2021).
- [72] <https://www.regupol.com/uk/history> (acedido Mai. 12, 2021).
- [73] <https://www.kraiburg-purasys.com/en/about-us/> (acedido Mai. 12, 2021).
- [74] <https://renoscreed.com/> (acedido Mai. 15, 2021).
- [75] <https://www.getzner.com/en/products/construction-products/acoustic-floor-mat-26> (acedido Abr. 02, 2021).
- [76] <https://www.regupol.com/uk/acoustics/products/product/detail/regupol-comfort-12> (acedido Abr. 05, 2021).
- [77] https://www.researchgate.net/figure/Figura-212-Esforcos-presentes-nos-ensaios-de-flexao-de-corpos-de-prova-prismaticos_fig4_312098957 (acedido Mai. 17, 2021).
- [78] <https://www.getzner.com/en/products/construction-products/sylodyn-bearing-strips> (acedido Abr. 15, 2021).
- [79] <https://www.kraiburg-purasys.com/en/vibration-isolation-for-construction-industry/> (acedido Abr. 17, 2021).
- [80] https://ec.europa.eu/clima/change/causes_pt (acedido Jun. 02, 2021).
- [81] International Energy Agency, *Global Energy Review 2020*, 2020. https://iea.blob.core.windows.net/assets/7e802f6a-0b30-4714-abb1-46f21a7a9530/Global_Energy_Review_2020.pdf (acedido Jun. 03, 2021).
- [82] <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20180301STO98928/emissoes-de-gases-com-efeito-de-estufa-por-pais-e-setor-infografia> (acedido Jun. 03, 2021).
- [83] Oliveira, C. *Soluções Técnicas para a Reabilitação Térmica de Edifícios Incorporando Cortiça*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, 2017.
- [84] <https://apambiente.pt/clima/politica-climatica-da-uniao-europeia> (acedido Jun. 03, 2021).
- [85] <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/> (acedido Jun. 03, 2021).

- [86] <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701> (acedido Jun. 03, 2021).
- [87] Fragoso, R. *Novos desafios no desempenho energético de edifícios*, em Seminário Fachadas energeticamente eficientes: contribuição dos ETICS e Argamassas Térmicas, 2014.
- [88] Parlamento Europeu e do Conselho, «Diretiva 2012/27/UE», *Jornal Oficial da União Europeia*, 2012.
- [89] Ministério do Ambiente e Transição Energética, «Portaria n.º 98/2019 de 2 de abril», *Diário da República Portuguesa*, 2019.
- [90] Presidência do Conselho de Ministros, «Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro», *Diário da República n.º 237/2020*, 2020.
- [91] Cardoso, D. *Avaliação do desempenho funcional de uma habitação com estrutura em LSF*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2018.
- [92] Santos, C., Matias, L. *Coefficiente de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*, LNEC. Lisboa, 2006.
- [93] Yang, I., Kim, D., Lee, S. Jang, H. *Construction and calibration of a large-area heat flow meter apparatus*, Energy and Buildings, 2019.
- [94] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia - Direção-Geral de Energia e Geologia «Despacho n.º 15793-K/2013», *Diário da República. n.º 234/2013*, 2013.
- [95] Parlamento Europeu, «Portaria n.º 379-A/2015», *Diário da República, 1.ª série — N.º 207*, 2014.
- [96] Ferreira, T. *Sobre a utilização do sistema de isolamento térmico pelo interior em edifícios residenciais em Portugal: Análise do desempenho higrotérmico*, Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.
- [97] <https://www.barnacork.com/aplicaciones-de-aislamiento-termico/> (acedido Jun. 07, 2021).
- [98] ADENE - Agência para a Energia, *Isolamento de Coberturas*, 2016. <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-02-isol-coberturas-1.pdf> (acedido Jun. 14, 2021).
- [99] <https://www.imperialum.com/?solucoes=ifoam-poliestireno-extrudido-paredes/> (acedido Jun. 07, 2021).
- [100] <https://www.barnacork.com/aplicaciones/puertas-acusticas-y-anti-incendios/> (acedido Jun. 07, 2021).

Anexo

Apresentação Power-Point “Pitch”

Compósitos de Cortiça Aplicados ao Mercado da Reabilitação Urbana e da Construção Leve



1

ÍNDICE

1. APRESENTAÇÃO

2. SOBRE O PROJETO

3. CONSTRUÇÃO LEVE E REABILITAÇÃO URBANA

4. INTEGRAÇÃO DA CORTIÇA NA CONSTRUÇÃO LEVE E REABILITAÇÃO URBANA

5. ANÁLISE TÉRMICA DOS COMPÓSITOS DE CORTIÇA

6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

1. APRESENTAÇÃO

2.

3.

4.

5.

6.

AC2018.8 | JUN 2020

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

3

3

APRESENTAÇÃO

**PERFIL**

Rita Madeira
22 anos
Maia

**EDUCAÇÃO**

2016 - FEUP
Mestrado Integrado de Engenharia Civil

**EXPERIÊNCIAS PROFISSIONAIS**

2021 – Amorim Cork Composites
Orientadores: Eng.ª Joana Trindade
Eng.º Eduardo Soares

**TECHNICAL SKILLS**

Exel Avançado Dynamo
Autocad Revit

**HOBBIES E CURIOSIDADES**

Ler Viajar
Fotografar Desporto
Cinema Ações de Voluntariado

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

**AMORIM
CORK
COMPOSITES**



1.

2.

3.

4.

5.

6.

AC2018.8 | JUN 2020

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

4

4

1.

2. SOBRE O PROJETO

3.

4.

5.

6.

AC2018 | JUN 2020

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

5

5

OBJETIVOS

ETAPA

1

Análise dos Sistemas Construtivos

O que é Construção Leve?
O que é Reabilitação Urbana?
Quais os materiais + utilizados?
Quais as fragilidades?



ETAPA

2

Aplicação dos Compósitos de Cortiça

Quais?
Onde?
Como?
Para que fim?



ETAPA

3

Análise Térmica dos Compósitos de Cortiça

São adequados?
Que sistemas são melhores?



1.

2.

3.

4.

5.

6.

AC2018 | JUN 2020

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

6

6

CONTEXTO



TENDÊNCIAS NO MERCADO

Aumento da **densidade populacional**
Aumento de níveis de **vibração e som**
Consciência **ambiental**
Eficiência construtiva



NECESSIDADES DE MERCADO

Eficiência **Energética**
Aumento de **performance** acústica e térmica
Construção **Sustentável**
Custo e Rapidez de Construção
Certificação



- + Construção Leve
- + Reabilitação

- Construção Tradicional
- Construção Nova

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

CONSTRUÇÃO LEVE

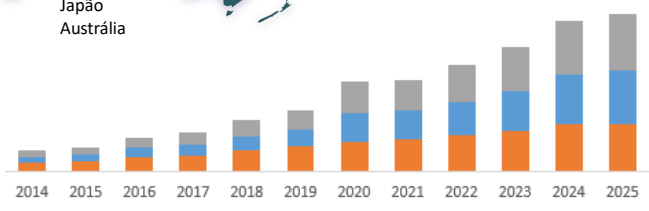


- € 28 mil M LSF - 2020
- € 748 M CLT - 2020
- € 9 mil M SIP - 2020

+4,6%/ano 2021-2028
44% → Ásia-Pacífico
43% → Europa+América do Norte

+14,2%/ano 2021-2027
43% → Europa e América do Norte

+5,5%/ano 2021-2028
38 % → América do Norte (2019)
→ Elevado crescimento Ásia-Pacífico



Mercado Global LSF por tipo de edifício 2014-2025 (USD Milhões)

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.

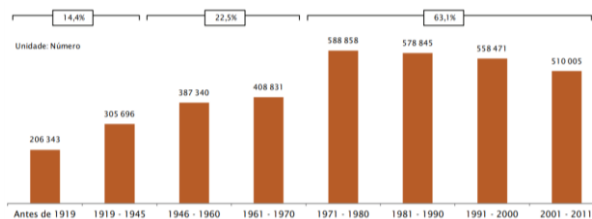
©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

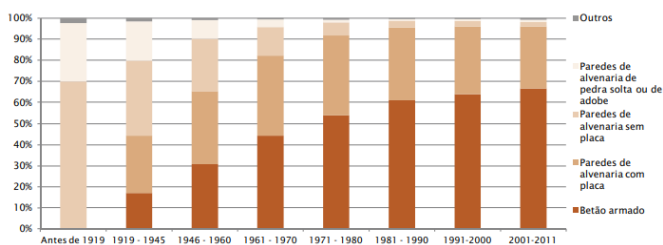
REABILITAÇÃO URBANA

Parque Habitacional de Portugal

- Edifícios normalmente projetados para 50 anos
- Edifícios > 50 anos → Reabilitação
- Edifícios a Reabilitar nas próximas épocas: betão armado
- Edifícios construídos 1946-1990 (início da utilização do betão armado) tinham maior necessidade de reparação



Número de edifícios existentes em 2011 segundo a época de construção



Evolução, por época de construção do edifício, consoante o tipo de estrutura de construção

AMORIM CORK COMPOSITES

1.

2.

3.

4.

5.

6.

9

9

3. CONSTRUÇÃO LEVE E REABILITAÇÃO URBANA

1.

2.

4.

5.

6.

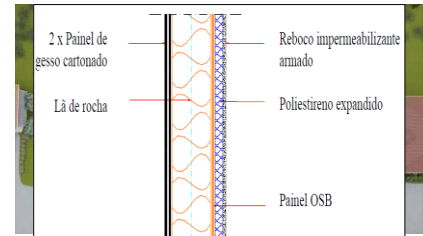
10

10

5

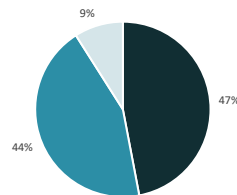
O QUE É A CONSTRUÇÃO LEVE?

-  → Construção com materiais de baixo peso
-  → Materiais Pré-Fabricados
-  → Construção Modular
-  → Diminuição Tempo de Obra
-  → Construção Nova e Reabilitação
-  → Bom comportamento aos sismos
-  → Sustentável
-  → Maior desempenho, com preço idêntico às construções tradicionais

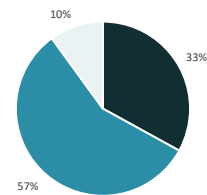


<https://www.youtube.com/watch?v=81JwJeijsI>

Construção Tradicional



Estrutura em Aço Leve



■ Mão de Obra ■ Material ■ Equipamentos

AMORIM CORK COMPOSITES

11

11

CONSTRUÇÃO LEVE EM MADEIRA

Porquê construir em madeira?

Vantagens

- Natural e Leve
- Reciclável e Reutilizável
- Biodegradável
- Higroscópico
- Necessita de poucos processos de transformação
- Bom isolante térmico → $\lambda_{\text{Madeira}}=0,13 \text{ [W/(m.K)]}$; $\lambda_{\text{Betão}}=2,0 \text{ [W/(m.K)]}$
- Boa relação entre resistência estrutural/peso
- Resiste tanto a esforços de tração como de compressão

Desvantagens

- Combustível
- Variações nas dimensões com alteração do teor de humidade
- Vulnerável aos agentes externos (pragas)
- Material heterogéneo e anisotrópico
- Dimensões limitadas → forma alongada com secção transversal reduzida



AMORIM CORK COMPOSITES

12

12

CONSTRUÇÃO LEVE

Construção Leve em Madeira

Light Wood Framing



Estrutura de madeira com painéis estruturais OSB;

Structural Insulated Panel



Painel Estrutural OSB incorporado com isolamento EPS

Cross Laminated Timber



Painel Madeira Lamelada Cruzada

- Maior resistência estrutural
- Vãos de maiores dimensões



Edifício Mjøstårnet
Local: Noruega
Data de conclusão: 2019
Andares: 18
Altura: 85,4 metros

Construção Leve em Aço

Light Steel Framing



Aço galvanizado enformado a frio

- Maior resistência à corrosão
- Elevada resistência às cargas com espessuras reduzidas
- Resistência e durabilidade
- Custo-benefício a longo prazo
- Garantia de qualidade

1.

2.

3.

4.

5.

6.

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

13

13

REABILITAÇÃO URBANA

Reabilitação



Urbana



Reabilitação Urbana

Recuperar

Conservar

Cidades

Restaurar

Renovação através de estratégias urbanísticas para potencializar as áreas urbanas e garantir qualidade de vida aos habitantes



1.

2.

3.

4.

5.

6.

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

14

14

REABILITAÇÃO URBANA



15

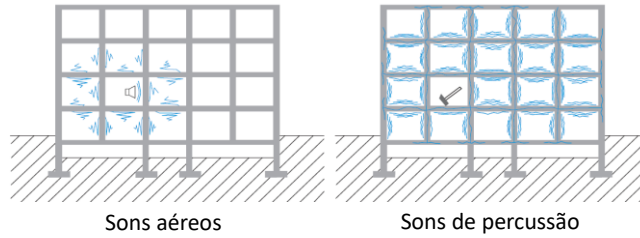
4. INTEGRAÇÃO DA CORTIÇA NA CONSTRUÇÃO LEVE E REABILITAÇÃO URBANA



16

FRAGILIDADES DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Isolamento Acústico a Sons de Percussão



$$\downarrow \text{Massa} + \uparrow \text{Rigidez} = + \text{Vibração}$$



1.

2.

3.

4.

5.

6.

AC2018 | JUN 2020

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

17

17

AS SOLUÇÕES



Materials com capacidade de isolamento acústico



Desacoplamento dos elementos construtivos com materiais resilientes



Aumentar a massa

1.

2.

3.

4.

5.

6.

AC2018 | JUN 2020

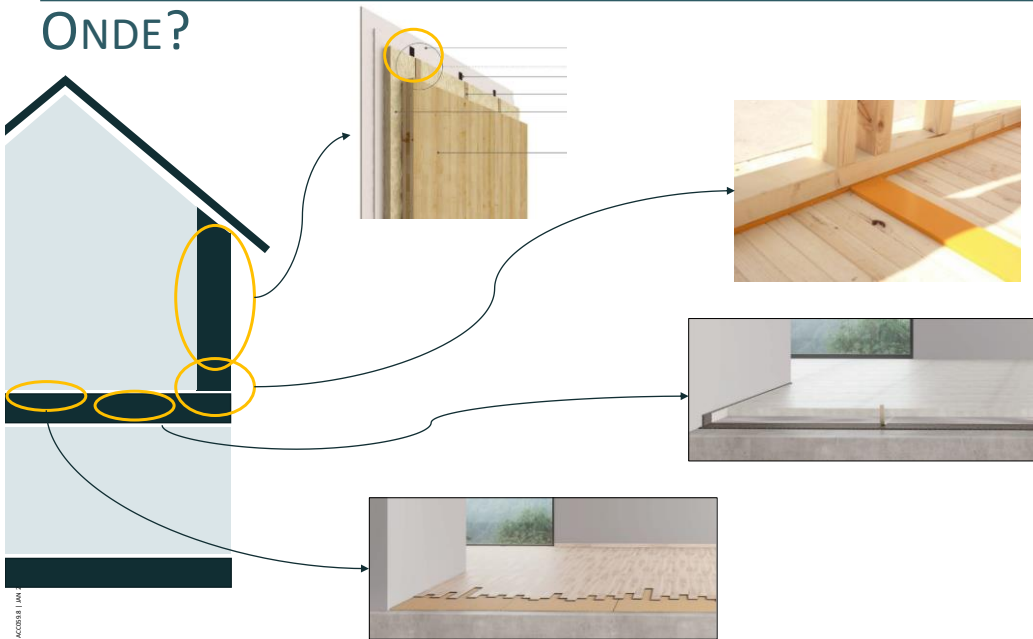
©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

18

18

ONDE?



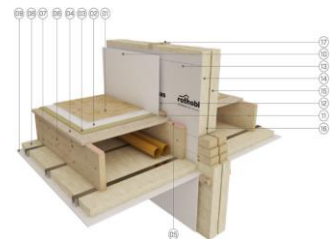
©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

19

19

APLICAÇÃO DOS PRODUTOS - UNDERLAYS

Empresa: Rothoblaas**Produto:** Silent Step Soft**Material:** Polietileno de células fechadas**Tipo de construção:** Reabilitação ou Construção Leve**Local de Aplicação:** Desacoplamento do pavimento**Performance:** 18 dB**Espessura:** 2mm**Peso:** 0,15 kg/m²

	Produto	Materiais	Peso (kg/m²)	Tipo de Pavimento								€/m²/mm
				Laminado		Parquet		Cerâmico ou Pedra Natural		Vinílico (LVT)		
				e (mm)	ΔL _w (dB)	e (mm)	ΔL _w (dB)	e (mm)	ΔL _w (dB)	e (mm)	ΔL _w (dB)	
→	Silent Step Soft	Polietileno	0,15 (2mm)	-	-	2	18	-	-	-	-	0,97
→	T61	Agglomerado de cortiça com PU	0,35 (2mm)	2	20	3 (perfurado)	18	5	16	-	-	0,5
→	T66	Agglomerado de cortiça e de borracha reciclada	1,95 (2mm)	3	19	3	16	3 4,5	16 18	3	19	0,80

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

20

20

APLICAÇÃO DOS PRODUTOS - UNDERSCREEDS

Empresa: Getzner

Produto: Acoustic Floor Mat (AFM)

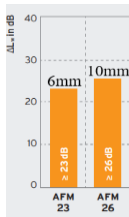
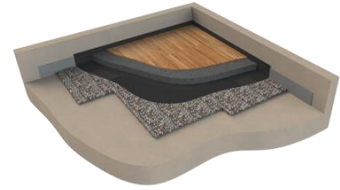
Material: Poliuretano ou Poliuretano com cortiça

Tipo de construção: Reabilitação

Local de Aplicação: Desacoplamento sob a betonilha

Performance: 21 a 26 dB

Espessura: 6 a 11 mm



Valores do índice de redução do som de impacto da Getzner

	Produto	Materiais	Espessura (mm)	Peso por área (kg/m²)	ΔL _w (dB)	Classe ao Fogo	Certificados
→	AFM23	Poliuretano + cortiça	6	1,5	23	E	CE, ETA-20/0711
→	U85		6	1,6	23	E	-
→	U36		6	2,61	25	E	CE, ETA*
→	AFM26	Poliuretano + cortiça	10	2,2	26	E	CE, ETA-20/0710
→	U30		5	2,75	26	E	-
→	U85		10	2,65	27	E	-

AC20818 | JUN 2020

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

21

21

APLICAÇÃO DOS PRODUTOS - UNDERSCREEDS

Empresa: Regupol

Produto: Regupol Comfort 12

Material: Poliuretano com elastômeros

Tipo de construção: Reabilitação e Construção Leve

Local de Aplicação: Desacoplamento sob a betonilha ou em conjunto com Comfort S1 sob painéis estruturais

Performance acústica: 29 dB

Espessura: 12mm



	Produto	Espessura (mm)	Peso por área (kg/m²)	ΔL _w (dB)	Classe ao Fogo	Certificados
→	Comfort 12	12	3	29	E	CE, ETA17/1030
→	U38	12	3,3	29	E	CE
→		17	4,7	31		

AC20818 | JUN 2020

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

22

22

APLICAÇÃO DOS PRODUTOS – WALL BEARING

Empresa: Rothoblaas

Produto: Silent Underfloor

Material: borracha EPDM expandida

Tipo de construção: Reabilitação e construção Leve

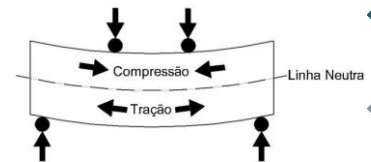
Local de Aplicação: Desacoplamento das ripas de madeira do pavimento e das paredes

Performance resistência à tração: 400 kN/m²

Espessura: 4 mm



Produto	Materiais utilizados	Espessura (mm)	Peso por área (kg/m ²)	Resistência à tração (kN/m ²)
Silent Underfloor	Borracha EPDM expandida	4	0,56	400
MS-R2	Granulado de cortiça e PU reciclado	5 ou 10	1,25	100
MS-R0	Granulado de cortiça e borracha reciclada	5 ou 10	3	600



©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

23

23

APLICAÇÃO DOS PRODUTOS—VIBRATION ISOLATION

Empresa: Getzner

Produto: Sylodyn

Material: Poliuretano

Tipo de construção: Construção Leve

Local de Aplicação: Desacoplamento da base das paredes

Limites rigidez estática: 0,075-12 N/mm²

Espessura: 12,5 mm, 6mm e 25mm também disponíveis através de pedido



Empresa: Kraiburg

Produto: Purasys Vibrofoam

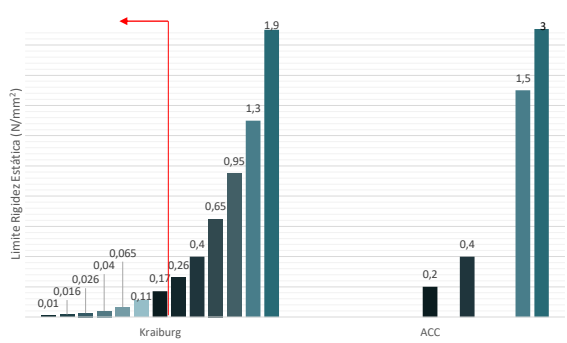
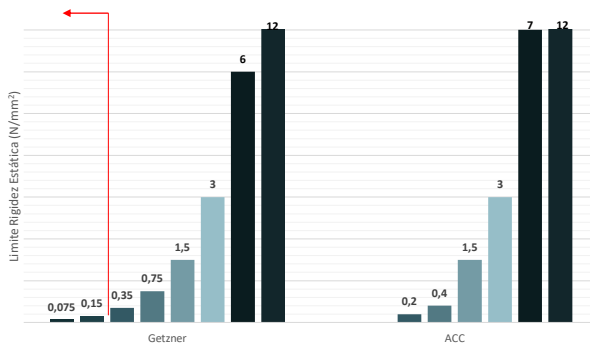
Material: Poliuretano

Tipo de construção: Construção Leve

Local de Aplicação: Desacoplamento da base das paredes

Limites rigidez estática: 0,010-1,90 N/mm²

Espessura: 12,5 e 25 mm



©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

24

24

APLICAÇÃO DOS PRODUTOS—VIBRATION ISOLATION

Empresa: Rothoblaas

Produto: Xylofon

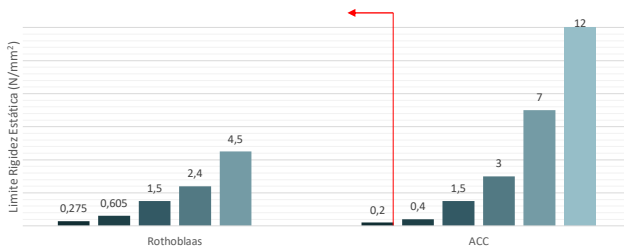
Material: Poliuretano

Tipo de construção: Construção Leve

Local de Aplicação: Desacoplamento das da base das paredes, local onde a viga pousa, cantoneiras metálicas

Limites rigidez estática: 0,275-4,5 N/mm²

Espessura: 6mm



Empresa: Rothoblaas

Produto: Silent Beam

Material: Poliuretano

Tipo de construção: Construção Leve

Local de Aplicação: Desacoplamento dos painéis estruturais a colocar sobre as vigas

Limites rigidez estática: 0,02 N/mm²

Espessura: 12,5mm



1.

2.

3.

4.

5.

6.

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

25

25

APLICAÇÃO DOS PRODUTOS—VIBRATION ISOLATION

Empresa: Rothoblaas

Produto: Xylofon

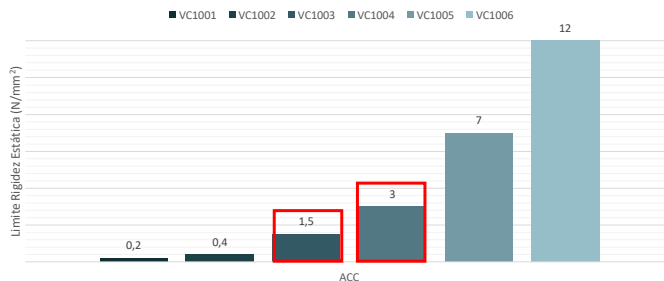
Material: Poliuretano

Tipo de construção: Construção Leve

Local de Aplicação: Desacoplamento de parafusos e cantoneiras metálicas

Limite rigidez estática: 2,4 N/mm²

Espessura: 6mm



1.

2.

3.

4.

5.

6.

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

26

26

1.

2.

3.

4.

5. ANÁLISE TÉRMICA DOS COMPÓSITOS DE CORTIÇA

6.

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

27

27

COMPARAÇÃO DE MATERIAIS TÉRMICOS

1.

2.

3.

4.

5.

6.

Material	λ [W/(m.K)]	R (m ² .K/W)	Espessura (mm)
Lã mineral	0,040-0,045	2,00	0,020 – 0,023
Poliestireno Expandido Moldado (EPS)	0,037-0,055		0,019 – 0,028
Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)	0,037		0,019
Poliuretano (PUR) ou poli-isocianurato (PIR)	0,040		0,020
T66	0,08		0,040
T61 e U32	0,040		0,020
U85	0,0546		0,027
U38	0,055		0,028

Produtos da Concorrência	λ [W/(m.K)]	Produto ACC	λ [W/(m.K)]
Silent Step Soft	0,039	T61	0,040
		T66	0,080
AFM	0,06	U85	0,0550
		U38	0,0546
Regupol Comfort 12	0,06	U38	0,0546

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

28

28

COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES

Parâmetro avaliado: coeficiente de transmissão térmica U [W/(m².°C)]

Pavimentos em contacto com locais não aquecido

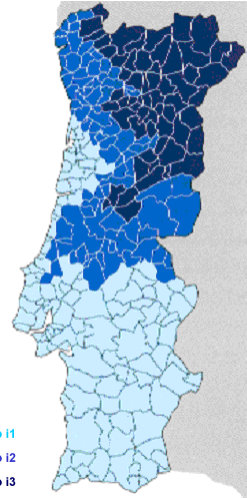
Zona Climática I3 → clima mais rigoroso

Sentido do Fluxo		Resistência Térmica Superficial (m².°C/W)	
		Rse	Rsi
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	ascendente	0,04	0,10
	descendente	0,04	0,17

	Zona Climática					
	I1		I2		I3	
	Uref	Umax	Uref	Umax	Uref	Umax
Elementos Opacos Verticais	0,50	0,50	0,40	0,40	0,35	0,35
Elementos Opacos Horizontais	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30	0,30

Regiões
Autónomas
dos Açores
e da
Madeira

■ Zona climática de Inverno I1
■ Zona climática de Inverno I2
■ Zona climática de Inverno I3



1.

2.

3.

4.

5.

6.

© Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

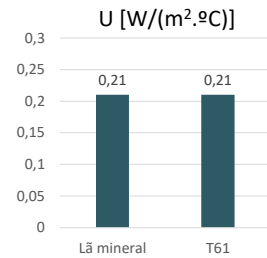
29

29

COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES



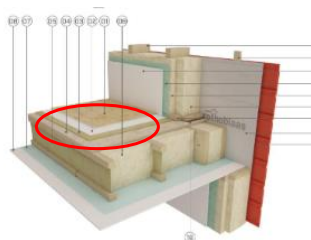
Local	Isolamento entre as cavidade
Lã mineral	Densidade 20-35 kg/m³ Espessura material 200 mm Espessura total 243 mm
T61	Densidade 175 kg/m³ Espessura material 165 mm (€€€) Espessura total 243 mm



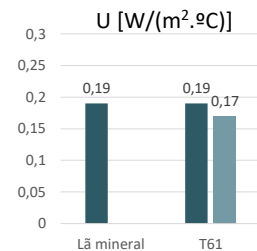
1.

2.

3.



Local	Sob o pavimento
Lã mineral + Silent Step Soft	Densidade 110 kg/m³ Espessura material 20 mm Espessura total 265 mm
T61 + Underlay	Densidade 175 kg/m³ Espessura material 20 mm e 35 Espessura total 265 mm e 280mm



4.

5.

6.

© Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

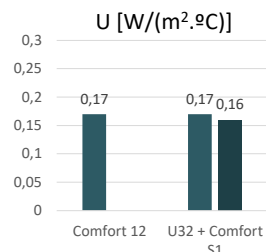
30

30

COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES



Local	Entre painéis OSB
Underscreed Comfort 12	Espessura material 12 mm + 40mm Espessura total 335 mm
U32	Espessura material 12 mm + 40 mm Espessura total 335 mm e 337mm (com mais 2mm T61)



1.

2.

3.

4.

5.

6.

31

©Amorim Cork Composites All rights reserved

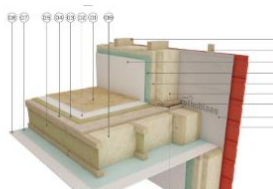
AMORIM CORK COMPOSITES

31

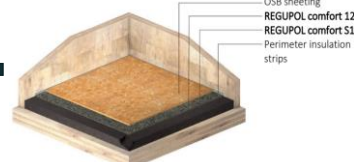
COMPARAÇÃO DE SOLUÇÕES



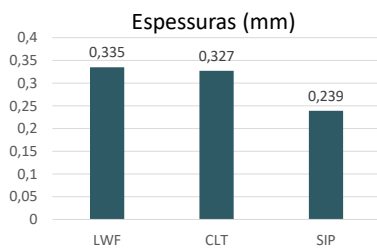
Lã mineral baixa densidade



T61 + Underlay



U32 + Comfort S1



- Considerando $U_{ref}=0,25$ [W/(m².°C)]
- Sistema SIP precisa de menos espessura de material
- Tem melhor desempenho

1.

2.

3.

4.

5.

6.

32

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

32

1.

2.

3.

4.

5.

6. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

33

33

CONCLUSÕES

1. Mercado da Construção leve e da Reabilitação Urbana a crescer

2. Necessidade de materiais de isolamento acústico, isolamento térmico, sustentáveis, duráveis e com bom comportamento ao fogo

3. Aplicação da gama de Underlays e Underscreeds na Construção Leve e na Reabilitação Urbana

4. Aplicação da gama Vibration Isolation na Construção Leve com melhorias para obter valores menores de rigidez

5. Underlays e Underscreeds com boa capacidade térmica e aplicação na Cosntrução Leve e na Reabilitação , mas com necessidade de materiais menos densos

1.

2.

3.

4.

5.

6.

4/2018 | JMA 2020

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

34

34

TRABALHOS FUTUROS

- Materiais de Controlo de Vibrações com cargas de rigidez mais baixas
- Desenvolver materiais mais leves com melhor capacidade térmica para serem inseridos na construção leve e na reabilitação
- Estudo Life Cycle Cost (LCC) dos sistemas construtivos integrando os produtos da ACC
- Estudo Life Cycle Assessment (LCA) entre os vários sistemas construtivos leves integrando os produtos da ACC



1.

2.

3.

4.

5.

6.

ACC2018 | JUN 2020

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

35

35

AMORIM CORK COMPOSITES

www.amorimcorkcomposites.com

Agradecimentos:

Eng.^a Joana Trindade (ACC)
 Eng.^o Eduardo Soares (ACC)
 Vanessa Teixeira (ACC)
 Ana Rodrigues (ACC)
 Professora Doutora Ana Guimarães (FEUP)

Amorim Cork Composites, S.A.
 R. Comendador Américo Ferreira Amorim, 260
 4535-186, Mozelos VFR, Portugal

+351 227 475 300 T
 info.acc@amorim.com

Amorim Cork Composites USA
 26112 110th Street, Trevor
 Wisconsin 53179, USA

+1 262 862 2311 T
 +1 262 862 2500 F

OBRIGADO!

ACC2018 | JUN 2020

©Amorim Cork Composites All rights reserved

AMORIM CORK COMPOSITES

36

