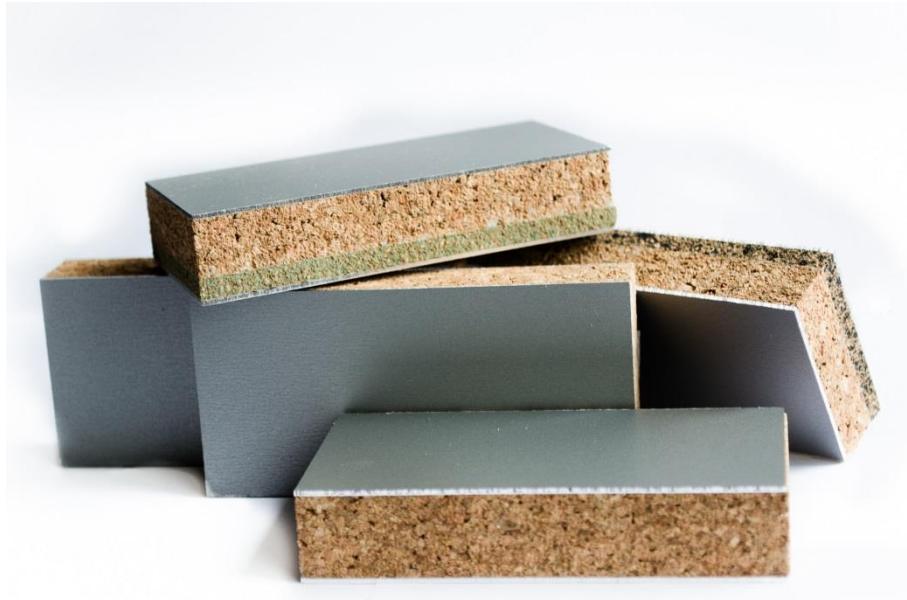




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica



Estudo, Fabrico e Caracterização de Painéis Sanduíche com Núcleos em Materiais Compósitos de Cortiça

MARCO ALEXANDRE NOGUEIRA VERAS
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutora Maria Amélia Ramos Loja
Mestre Afonso Manuel da Costa de Sousa Leite
Licenciado Carlos Nuno Fernandes Simões

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Carlos Quaresma Dias

Vogais:

Prof. Doutor Miguel António Lopes de Matos Neves
Prof. Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues
Prof. Doutora Maria Amélia Ramos Loja
Mestre Afonso Manuel da Costa Leite

Setembro 2013



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Mecânica

Estudo, Fabrico e Caracterização de Painéis Sanduíche com núcleos em materiais compósitos de cortiça

MARCO ALEXANDRE NOGUEIRA VERAS
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutora Maria Amélia Ramos Loja
Mestre Afonso Manuel da Costa de Sousa Leite
Licenciado Carlos Nuno Fernandes Simões

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Carlos Quaresma Dias

Vogais:

Prof. Doutor Miguel António Lopes de Matos Neves
Prof. Doutora Maria Alexandra Sousa Rodrigues
Prof. Doutora Maria Amélia Ramos Loja
Mestre Afonso Manuel da Costa Leite

Setembro 2013

Dedicatória

Este Trabalho Final de Mestrado é especialmente dedicado aos meus familiares e amigos que acompanharam de perto o caminho evolutivo que levou à fase da minha vida onde foi possível a criação deste documento. Obrigado.

Agradecimentos

A realização deste projecto apenas foi possível pelo apoio, acompanhamento e disponibilidade de variadíssimos intervenientes, tendo todos eles contribuído de forma distinta para a criação das condições necessárias à criação deste documento.

Desta forma gostaria de começar os meus agradecimentos pela minha família, em especial avós, pais e irmão os quais sem qualquer dúvida foram intervenientes fulcrais no progresso de vida que me levou a este ponto, não só pelo seu amor, carinho e educação, mas também pelo esforço financeiro que suportaram na minha busca de um futuro melhor.

Segundamente gostaria de agradecer à empresa Amorim Cork Composites, seus colaboradores (meus colegas) e em especial ao Eng.º António Coelho por, meses antes do início deste Trabalho Final de Mestrado, me ter acolhido enquanto membro da sua equipa e desde então ter sido incansável na formação e transmissão de conhecimentos que, não só me levaram à escolha do tema deste documento, mas também à execução do mesmo, francamente possibilitada também pela disponibilidade de informação, bens e equipamentos por parte da ACC.

Finalmente, mas de forma igualmente importante, agradeço aos meus orientadores, Doutora Maria Amélia Ramos Loja, Mestre Afonso Manuel da Costa de Sousa Leite, e Licenciado Carlos Nuno Fernandes Simões, que possibilitaram a estruturação da informação contida neste documento.

Resumo

Os materiais compósitos são cada vez mais, e de uma forma tendencialmente crescente, parte do leque de soluções de engenharia, tomando lugar nas aplicações mais díspares, desde aquelas que ocupam lugar no nosso quotidiano até àquelas que se apresentam como soluções de inovação tecnológica disruptiva para com as soluções tidas como comuns.

Com potencial para se diferenciarem como soluções para aplicações estruturais, aliando o baixo peso global a boas características mecânicas, também as estruturas sanduíche compósitas se encontram em proliferação, tornando-se uma das soluções de eleição quando se pretende responder a requisitos onde são necessárias excelentes relações de rigidez e resistência mecânica específicas. Deste leque de vantagens resulta a adopção deste tipo de soluções por várias indústrias, das quais se podem destacar a indústria ferroviária, rodoviária, e aeronáutica.

Este tipo de estrutura, sanduíche, é tipicamente composta pela disposição em camadas sobrepostas de materiais distintos entre as peles e o núcleo e, neste Trabalho Final de Mestrado procede-se ao uso de materiais compósitos de cortiça para o estudo de soluções em estrutura sanduíche para aplicação como piso na indústria ferroviária, conceito que tem potencial para se estender à mesma aplicação noutras indústrias. Procedeu-se também ao fabrico destas soluções e subsequente caracterização e ensaio do ponto de vista mecânico, térmico, e acústico sendo os resultados obtidos compilados neste mesmo documento.

Palavras-chave

Compósitos de Cortiça

Painel Sanduíche

Ensaio Mecânicos

Ensaio Térmicos

Ensaio Acústicos

Abstract

Composite materials are increasingly, and in a growing trend, part of the range of engineering solutions, taking place in the most divergent applications, since those that occupy a place in our daily lives up to those that are considered as disruptive technological innovations when directly compared with solutions perceived as common.

With the potential to differentiate themselves as solutions for structural applications, combining the low overall weight with good mechanical characteristics, composite sandwich structures are also in proliferation, becoming one of the solutions of choice when there is the need to answer to requirements where there is a need for excellent specific mechanical resistance and stiffness ratios. Due to this range of advantages results the adoption of this type of solutions by various industries, from which can be highlighted the railway, bus, and aeronautical industries.

This type of structure, sandwich, is typically made up of the layering of different materials for the skins and the core and, in this Master's Final Project cork composite materials will be used for the study of sandwich structure solutions with application as floor panels in the rail industry, a concept that has the potential to spread to the same application in other industries. These solutions were also manufactured, characterized and tested from the point of view of mechanical, thermal and acoustic properties, being the results compiled in this document.

Keywords

Cork Composites

Sandwich Panel

Mechanical Testing

Thermal Testing

Acoustical Testing

Lista de Símbolos

Abreviaturas

ACC	Amorim Cork Composites
FTS	Resistência à tracção plana
HDPE	Polietileno de Alta Densidade
HML	Heavy Mass Layer
PMI	Polimetacrilamida
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinil
TFM	Trabalho Final de Mestrado

Lista de Símbolos

A	Área da secção transversal
(a_2-a_1)	Incremento da flecha a meio-comprimento do provete
b	Largura do provete
c	Comprimento do painel
D	Peso final (após imersão)
E_m	Módulo de Elasticidade à Flexão
f_b	Resistência à Flexão
F_{max}	Carga de ruptura
(F_2-F_1)	Incremento de força na secção recta da curva força-deformação
l	Largura do painel
l_1	Distância entre os centros dos apoios

m	Massa do painel
M	Massa por unidade de superfície
P	Tensão máxima
R	Isolamento ao ruído aéreo
t	Espessura do provete
W	Peso inicial (após o condicionamento)
σ	Resistência à tracção plana

Índice

1. Introdução.....	1
2. A Cortiça	5
2.1. Origem e Definição	5
2.2. Composição	7
2.2.1. Aspectos Macroscópicos	7
2.2.2. Aspectos Microscópicos	10
2.3. Extracção da Cortiça.....	12
2.4. Processamento e Transformação	15
2.4.1. Rolhas	16
2.4.2. Aglomerados de Cortiça	20
2.5. Principais características da cortiça e seus aglomerados.....	24
2.6. Aplicações	27
3. Painéis Sanduíche	31
3.1. Constituintes	31
3.2. Materiais	33
3.2.1. Peles.....	34
3.2.2. Núcleo.....	35
3.2.3. Adesivos	37
3.3. Vantagens e desvantagens	38
3.4. Enquadramento à aplicação	41
4. Caracterização Experimental	43
4.1. Peso.....	43
4.2. Absorção de água.....	44
4.3. Envelhecimento acelerado	45
4.4. Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade à Flexão	46

4.5. Adesão entre camadas	47
4.6. Resistência à Extração de Parafuso	49
4.7. Isolamento Acústico	50
4.8. Condutibilidade e Resistividade Térmica.....	50
4.9. Resistência ao Impacto	51
4.10. Flexão sob Carga Distribuída	52
4.11. Plano de Ensaio	53
5. Materiais utilizados	55
5.1. Peles.....	55
5.2. Núcleo.....	56
5.3. Adesivo.....	60
6. Metodologia Experimental	63
6.1. Configurações.....	63
6.2. Preparação de materiais	64
6.3. Fabrico dos Painéis.....	67
6.3.1. Fabrico dos Painéis P01 e P02.....	67
6.3.2. Fabrico do Painel P03.....	69
6.3.3. Fabrico dos Painéis P04 e P05.....	71
6.4. Painéis Concluídos	73
6.5. Preparação de Provetes.....	74
6.6. Ensaio.....	76
6.6.1. Peso.....	76
6.6.2. Absorção de água.....	76
6.6.3. Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade à Flexão	78
6.6.4. Adesão entre camadas	81
6.6.5. Resistência à Extração de Parafuso	83

6.6.6. Isolamento Acústico	85
6.6.7. Condutibilidade e Resistividade Térmica.....	85
6.6.8. Resistência ao Impacto	86
6.6.9. Flexão sob Carga Distribuída	88
7. Análise de Resultados.....	89
7.1. Peso.....	89
7.2. Absorção de Água	91
7.3. Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade à Flexão.....	92
7.4. Adesão entre Camadas.....	95
7.5. Resistência à Extração de Parafuso	99
7.6. Isolamento Acústico	100
7.7. Condutibilidade e Resistividade Térmica.....	101
7.8. Resistência ao Impacto	102
7.9. Flexão sob Carga Distribuída	104
7.10. Tabela de Resultados da Configuração P01	105
7.11. Tabela de Resultados da Configuração P02	106
7.12. Tabela de Resultados da Configuração P03	107
7.13. Tabela de Resultados da Configuração P04	108
7.14. Tabela de Resultados da Configuração P05	109
8. Conclusões.....	111
9. Desenvolvimentos Futuros	113
10. Referências Bibliográficas.....	115

Índice de Figuras

Figura 1 – Concentração da espécie <i>Quercus Suber L.</i> nos países Mediterrâneos [1].....	1
Figura 2 – Representação gráfica dos objectivos do TFM.	3
Figura 3 – Fragmento de casca do sobreiro (cortiça) [6].....	5
Figura 4 – Sobreiro <i>Quercus Suber L.</i> [3].	6
Figura 5 – Evolução temporal da estrutura macroscópica da cortiça [3].	7
Figura 6 – Exemplos de “costa” e “barriga” [8].....	8
Figura 7 – Direcções principais do crescimento celular da cortiça [5].	9
Figura 8 – Estrutura celular da cortiça numa secção radial (a) e numa secção tangencial (b) [5].....	10
Figura 9 – Paredes delimitadoras da estrutura celular da cortiça [3].....	11
Figura 10 – Diversos tipos de cortiça: Virgem (topo), Secundária (centro) e Amadia (fundo) [6].	13
Figura 11 – Operações de descortiçamento [6].	14
Figura 12 – Cortiça durante o Período de Repouso [8].	14
Figura 13 – Fardos de cortiça antes (esquerda) e após (direita) “cozedura” [10].	15
Figura 14 – Operação de brocagem (esquerda), apara após brocagem (direita) [10].....	17
Figura 15 – Separação manual (esquerda) e semiautomática (direita) [10].	18
Figura 16 – Processamento de bandas de cortiça (esquerda) e discos (direita) [11].	19
Figura 17 - Varas de cortiça aglomerada (esquerda) e corpos (direita) [11].....	19
Figura 18 – Granulado de cortiça (esquerda) e aglomerado de cortiça (direita).	21
Figura 19 – Laminados de cortiça em folha (esquerda) e em rolo (direita).	22
Figura 20 – Laminado de aglomerado compósito de cortiça com borracha.....	22
Figura 21 – Representação esquemática do processamento/transformação da cortiça. .	23
Figura 22 – Constituintes de um painel sanduíche na sua configuração básica.	32

Figura 23 – Ilustração de semelhanças entre estruturas sanduíche e vigas em I [18]. ...	32
Figura 24 – Esforços actuantes num painel sanduíche (adaptado de [18]).	33
Figura 25 – Variação das propriedades de materiais de núcleo em função da densidade [16].	35
Figura 26 – Variação das propriedades de materiais de núcleo em função da densidade [16].	36
Figura 27 – Exemplos de espumas para núcleos de painéis sanduíche [20].	36
Figura 28 – Exemplos de ninho de abelha para núcleos de painéis sanduíche [21]......	37
Figura 29 – Modos de falha de painéis sanduíche [23].	39
Figura 30 – Exemplos de ligações mecânicas a outros elementos [22].....	40
Figura 31 – Exemplos de ligações entre painéis [22]......	40
Figura 32 – Ensaio de flexão a três pontos [29].	46
Figura 33 – Dispositivo para ensaio de flexão a três pontos (adaptado de [30])......	47
Figura 34 – Ensaio de resistência à tracção plana (adaptado de [31])......	48
Figura 35 – Dispositivo de teste (esquerda) e parafuso de ensaio (direita) [32].	49
Figura 36 – Ensaio de resistência ao impacto. Montagem experimental (esquerda) e material necessário (direita).....	51
Figura 37 – Estrutura para ensaio de flexão sob carga distribuída.....	52
Figura 38 – Chapa de alumínio EN AW 5754 H48.....	56
Figura 39 – Placas CoreCORK NL20.	58
Figura 40 – Rolo CoreCORK ACM15.	59
Figura 41 – Rolo CoreCORK ACM89.	60
Figura 42 – Cola Sika Sikaforce 7710 L100.	61
Figura 43 – Filmes adesivos Collano 22.110 (esquerda) e Collano 23.110 (direita).	62
Figura 44 – Corte das chapas de alumínio. Antes (esquerda) e depois (direita).	64
Figura 45 – Núcleo CoreCORK NL20. Marcação (esquerda) e após corte (direita).	65

Figura 46 – Núcleos CoreCORK ACM15 (esquerda) e ACM89 (direita) após corte....	65
Figura 47 – Filmes adesivos após operações de corte.	66
Figura 48 – Cola Sikaforce 7710L100 antes (esquerda) e após (direita) mistura.	66
Figura 49 – Peles de alumínio antes da limpeza (esquerda) e após limpeza (direita). ...	67
Figura 50 – Adição da 1ª camada de adesivo (esquerda) e do núcleo (direita).	68
Figura 51 – Adição da 2ª camada de adesivo (esquerda) e da última pele (direita).	68
Figura 52 – Colocação em prensa aquecida (esquerda) e prensagem (direita).	69
Figura 53 – Operação de limpeza (esquerda) e sobreposição de camadas (direita).	69
Figura 54 – Aplicação manual de cola (esquerda) e aplicação concluída (direita).	70
Figura 55 – Adição do material de núcleo (esquerda) e da última pele (direita).	70
Figura 56 – Colocação em prensa (esquerda) e prensagem (direita).	71
Figura 57 – Disposição das camadas do painel P04 (esquerda) e P05 (direita).	71
Figura 58 – Aplicação de cola na pele (esquerda) e na HML (direita).	72
Figura 59 – Aplicação da HML sobre pele (esquerda) e NL20 sobre HML (direita). ...	72
Figura 60 – Aplicação da última pele (esquerda) e prensagem (direita).	73
Figura 61 – Conjunto de painéis concluídos. Vista global (topo) e detalhes (esquerda e direita).	73
Figura 62 – Painel antes da marcação (esquerda) e após a marcação (direita).	74
Figura 63 – Painel após operações de corte (esquerda) e identificação (direita).	75
Figura 64 – Câmara climática Thermotron.	75
Figura 65 – Provetes de painéis (esquerda) e de materiais de núcleo (direita).	77
Figura 66 – Provetes à saída da estufa (esquerda) e após imersão em água (direita).	77
Figura 67 – Provetes para ensaio de flexão a três pontos.	78
Figura 68 – Posicionamento do provete no equipamento de ensaio.	79
Figura 69 – Proвете durante o ensaio de flexão a três pontos.	79
Figura 70 – Provetes (esquerda) e dispositivo para ensaio FTS (direita).	81

Figura 71 – Equipamento para ensaio FTS (esquerda) e ensaio FTS (direita).....	81
Figura 72 – Provetes de ensaio de resistência à extracção de parafusos antes (esquerda) e apos furação (direita).	83
Figura 73 – Provetes de ensaio de resistência à extracção de parafusos após colocação dos parafusos.	83
Figura 74 – Equipamento de ensaio de extracção de parafuso.....	84
Figura 75 – Resultado dos ensaios de determinação do Isolamento Acústico.....	85
Figura 76 – Proвете após ensaio de resistência ao impacto (esquerda) e medição da indentação causada pelo ensaio (direita).	86
Figura 77 – Ensaio de flexão sob carga distribuída antes (esquerda) e após (direita) aplicação de carga.....	88
Figura 78 – Resultados dos ensaios de flexão sob carga distribuída.....	88
Figura 79 – Comparação do peso por unidade de área das várias configurações.	90
Figura 80 – Comparação do aumento médio de peso por absorção de água.....	91
Figura 81 – Comparação da resistência à flexão e módulo de elasticidade à flexão.....	92
Figura 82 – Ensaio de flexão em provete P04 (esquerda) e P05 (direita).	93
Figura 83 – Falha em provete P02 (esquerda) e detalhe de descolagem (direita).	94
Figura 84 – Impacto do envelhecimento acelerado nas propriedades mecânicas.	94
Figura 85 – Modo de falha nos ensaios de FTS das configurações P01, P03 e P04.	96
Figura 86 – Modo de falha nos ensaios de FTS da configuração P02.	96
Figura 87 – Modo de falha nos ensaios de FTS da configuração P02.	97
Figura 88 – Comparação da adesão entre camadas e impacto do envelhecimento.	97
Figura 89 – Descolagem completa de provetes P02 após envelhecimento.	98
Figura 90 – Modo de falha após envelhecimento nos ensaios de FTS das configurações P04 e P05.....	98
Figura 91 – Resultados dos ensaios de Resistência à Extracção de Parafuso.	99
Figura 92 – Provetes de Resistência à Extracção de Parafuso após ensaio.	100

Figura 93 – Comparação da condutibilidade térmica e da Resistividade Térmica.	102
Figura 94 – Comparação dos resultados de Resistência ao Impacto.	103

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Decomposição química da cortiça em percentagem de compostos [5].	11
Tabela 2 – Propriedades da cortiça virgem [13].	25
Tabela 3 – Características do aglomerado expandido de cortiça (térmico) [3].	25
Tabela 4 – Características do aglomerado expandido de cortiça (acústico) [3].	26
Tabela 5 – Campos de aplicação da cortiça (adaptado de [13]).	27
Tabela 6 – Plano de Ensaios.	53
Tabela 7 – Composição química e propriedades mecânicas das peles [35] [36] [37].	55
Tabela 8 – Propriedades CoreCORK NL20 [38].	57
Tabela 9 – Propriedades CoreCORK ACM15 [39].	58
Tabela 10 – Propriedades CoreCORK ACM89 [40].	59
Tabela 11 – Propriedades Sikaforce 7710 L100 [41].	61
Tabela 12 – Propriedades Collano 22.110 [42].	62
Tabela 13 – Propriedades Collano 23.110 [43].	62
Tabela 14 – Configurações dos protótipos dos painéis sanduíche.	63
Tabela 15 – Resultados dos ensaios de determinação do peso por unidade de área.	76
Tabela 16 – Resultados dos ensaios de determinação da Absorção de Água.	78
Tabela 17 – Resultados dos ensaios de determinação da Resistência à Flexão e do Módulo de Elasticidade à Flexão dos provetes no Estado Inicial.	80
Tabela 18 – Resultados dos ensaios de determinação da Resistência à Flexão e do Módulo de Elasticidade à Flexão dos provetes no Estado Envelhecido.	80
Tabela 19 – Resultados dos ensaios de determinação da Adesão Entre Camadas dos provetes no Estado Inicial.	82
Tabela 20 – Resultados dos ensaios de determinação da Adesão Entre Camadas dos provetes no Estado Envelhecido.	82

Tabela 21 – Resultados dos ensaios de determinação da Resistência à Extracção de Parafuso.	84
Tabela 22 – Resultados dos ensaios de determinação da Condutibilidade e Resistividade Térmica.	86
Tabela 23 – Resultados dos ensaios de determinação da Resistência ao Impacto.	87
Tabela 24 – Datasheet for specimen P01.	105
Tabela 25 – Datasheet for specimen P02.	106
Tabela 26 – Datasheet for specimen P03.	107
Tabela 27 – Datasheet for specimen P04.	108
Tabela 28 – Datasheet for specimen P05.	109

1. Introdução

O sobreiro (*Quercus Suber L.*) faz parte integrante da paisagística Portuguesa uma vez que, sendo uma árvore prolífera nos países Mediterrânicos (como a Espanha, França, Itália, Marrocos e Argélia), cobre cerca de 716 mil hectares do território Português existindo em maior abundância no sul do nosso território [1]. Com a figura 1 representa-se essa concentração, não só em Portugal, mas também no restante Mediterrâneo.

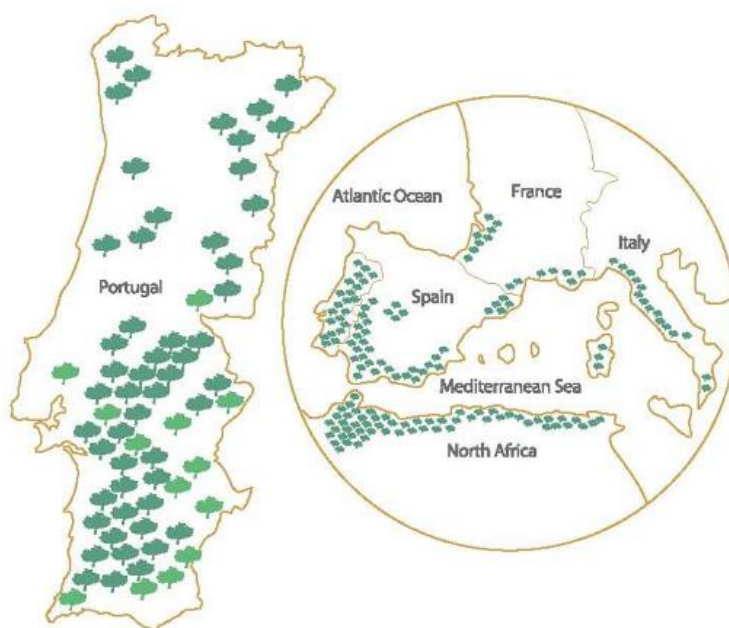


Figura 1 – Concentração da espécie *Quercus Suber L.* nos países Mediterrâneos [1].

A vasta disponibilidade destas árvores, a sua grande longevidade (150 a 200 anos), e o facto de durante a sua vida útil se poder proceder, em média, a 16 descortiçamentos intercalados por períodos de 9 anos, naturalmente levou à exploração das mesmas enquanto recursos naturais, em especial para a utilização da sua casca (a cortiça), como material com propriedades ímpares como sejam a sua leveza, impermeabilidade a gases e a líquidos, elasticidade e compressibilidade, excelente isolamento térmico e acústico, combustão lenta e resistência ao desgaste [1].

Dado o elevado número de características interessantes acima descritas não é de admirar que este material tenha despertado curiosidade, e como tal, que o mesmo tenha desempenhado, e ainda desempenhe, variadíssimas funções e aplicações na vida quotidiana do ser Humano.

Na verdade, historicamente, uma das primeiras funções da cortiça foi a sua utilização enquanto elemento flutuante em utensílios de pesca (aplicações datadas do ano 3000a.c., na China, Egipto, Babilónia e Pérsia) [1], tendo-se, mais recentemente, no século XVIII passado a utilizar este material enquanto rolha de garrafa, aplicação onde possibilita uma vedação de qualidade excepcional. Esta é porventura a sua aplicação globalmente mais reconhecida, por ser aquela que primeiramente desperta a associação deste material a uma aplicação quotidiana [1]. Esta aplicação foi certamente o veículo impulsor da exploração continuada deste material e, de certa forma, foi a aplicação responsável pelos avanços tecnológicos que se deram com a utilização do mesmo enquanto material de engenharia fazendo-se uso total da sua combinação distinta de propriedades.

A aplicação enquanto vedante natural de recipientes de vinho esteve na origem do Grupo Amorim no ano de 1870 com a formação de uma unidade produtora de rolhas de cortiça [2]. No entanto, com o passar dos tempos, e tendo em conta que se trata de uma empresa com uma história de mais de 140 anos, como seria de esperar devido ao extremo potencial da cortiça, esta empresa diversificou-se, internacionalizou-se e profissionalizou-se detendo uma posição de liderança mundial no que toca à indústria corticeira através de uma forte diversificação dos produtos produzidos e negócios afectos [2].

Numa contínua óptica de desenvolvimento a Amorim Cork Composites (ACC), empresa do Grupo Amorim, tornou-se num dos principais produtores de materiais compósitos de cortiça com negócios diversificados abrangendo não só a produção de materiais mas também o seu posicionamento como provedor de soluções de engenharia onde a cortiça possa ser um material de relevo dadas as suas características. Este facto culminou na criação de uma linha de desenvolvimento de soluções utilizando compósitos de cortiça como materiais de cariz estrutural, nomeadamente em estruturas vulgarmente conhecidas como painéis sanduíche, sendo a constituição típica destas soluções um núcleo em material cortiça, ou compósito de cortiça, e peles de um outro material (normalmente alumínio) unidos geralmente por colagem.

Tendo este material natural vindo a ser utilizado, desde há muito, como material de isolamento térmico e acústico, com este Trabalho Final de Mestrado (TFM) pretende-se realizar o estudo, fabrico e ensaio de painéis sanduíche compósitos com o intuito de

determinar o melhor compromisso entre as propriedades mecânicas, térmicas e acústicas das soluções finais geradas, encontrando-se esse objectivo de desenvolvimento representado graficamente pela figura 2. Visa-se assim a obtenção de soluções do ponto de vista dos materiais, métodos e processos de fabrico, bem como a caracterização mecânica, térmica e acústica dessas soluções.

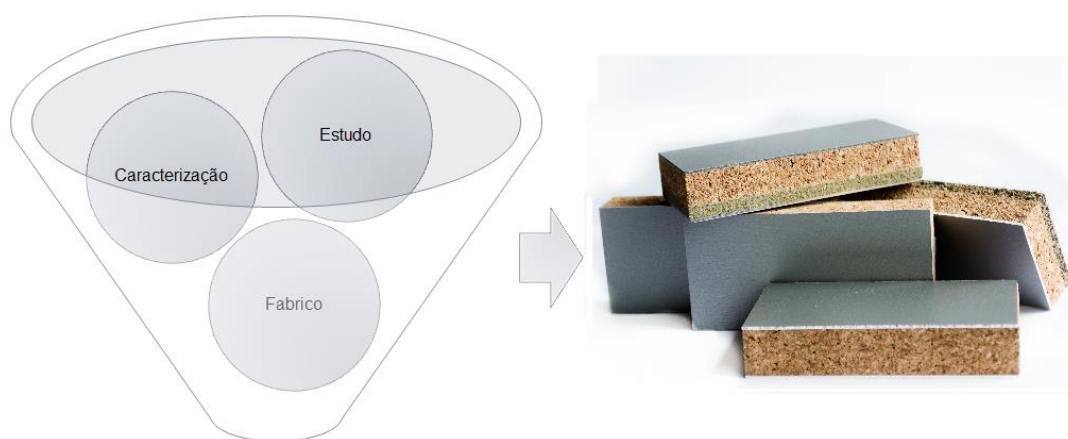


Figura 2 – Representação gráfica dos objectivos do TFM.

No que se refere à estrutura deste documento, e após esta introdução (correspondente ao Capítulo 1), este encontra-se organizado da forma que se segue:

- **Capítulo 2** – É apresentada uma abordagem ao material central deste TFM, a cortiça e seus compósitos, identificando o que a caracteriza, a sua composição, a sua exploração, processamento e transformação, e finalmente as suas principais características e aplicações.
- **Capítulo 3** – É apresentada a temática das estruturas sanduíche identificando a sua composição típica e os materiais normalmente aplicados na sua construção. São também identificadas as principais vantagens e desvantagens que advêm do uso desta tecnologia, bem como o enquadramento que justifica o uso da mesma neste TFM.
- **Capítulo 4** – São identificadas as propriedades pelas quais os painéis sanduíche a fabricar serão analisados, bem como nomeadas as respectivas normas de ensaio e metodologias experimentais. Neste capítulo é ainda definido o plano de ensaios para os referidos painéis.

- **Capítulo 5** – São identificados e caracterizados os materiais a utilizar para o fabrico dos painéis sanduíche que este TFM pretende caracterizar. São também evidenciados os motivos que levaram à escolha desses materiais.
- **Capítulo 6** – Neste capítulo é descrita a metodologia experimental seguida para o fabrico dos painéis, para a preparação e condicionamento dos provetes necessários, bem como para o seu ensaio efectivo. São também apresentados os resultados desses ensaios.
- **Capítulo 7** – Este capítulo sucede o anterior na medida em que é neste que se faz a análise crítica aos resultados obtidos nos ensaios experimentais, bem como a compilação dos valores obtidos para os diferentes painéis em tabelas individuais de especificações.

Após isto são feitas algumas considerações globais a este TFM que se pretendem dispor como conclusões ao desfecho do mesmo e ao conhecimento gerado. Por fim, ficam também algumas notas relativas a possíveis desenvolvimentos futuros.

2. A Cortiça

Para iniciar o desenvolvimento deste TFM torna-se obviamente de extrema importância realizar uma abordagem inicial ao material central deste projecto, a cortiça, expondo de uma forma simplificada o que a caracteriza, a sua origem, os seus processos de exploração e transformação, as suas aplicações e mercados. Abordar-se-ão também as suas principais características, nomeadamente as do foro mecânico, térmico e acústico uma vez que serão alvo de análise neste trabalho, estudando-se este material enquanto núcleo de painéis sanduíche. Desta forma, e mediante os subcapítulos que se seguirão, torna-se possível contextualizar a utilização deste material enquanto núcleo dos painéis sanduíche a desenvolver.

2.1. Origem e Definição

A cortiça é descrita como sendo o “parênquima suberoso originado pelo meristema súbero-felodérmico do sobreiro (*Quercus suber L.*), constituindo o revestimento do seu tronco e ramos” [3] e como sendo um “tecido vegetal que na botânica se chama de falema e que faz parte do sistema da periderme (pele) que reveste o caule/tronco da árvore” [4].

Na prática, a cortiça é formada por uma camada de células mortas impregnadas com suberina [5] que aumenta de espessura com o passar do tempo seguindo o próprio desenvolvimento anual da árvore. Este material é comumente conhecido, e de forma mais simplista e de fácil interpretação, como sendo a casca do sobreiro, visível na figura 3, e que é recolhida de forma periódica e continuada.



Figura 3 – Fragmento de casca do sobreiro (cortiça) [6].

No entanto, e apesar de a cortiça ser tipicamente associada à *Quercus Suber L.* (a espécie mais comum nos países Mediterrâneos e representada na figura 4), esta não é um material exclusivo desta espécie uma vez que pode, com variações nas suas propriedades, quantidade, qualidade e como tal utilidade, ser encontrada em espécies como a *Betula Pendula*, a *Pinus Pinaster*, a *Pseudotsuga Menziesii*, a *Quercus Cerris*, entre várias outras [7].



Figura 4 – Sobreiro Quercus Suber L [3].

Resta referir que a cortiça para além de, dada a sua origem, ser um material 100% natural, é também, uma vez que esta camada se volta a desenvolver no tronco da árvore, um recurso renovável, que dadas as suas propriedades e o estado da arte (referindo-me às suas mais vastas aplicações) é também em grande parte reciclável.

2.2. Composição

No que se refere à definição da composição da cortiça consideram-se duas abordagens distintas: a primeira, proveniente da análise macroscópica deste material, evidenciando as camadas visíveis em que esta pode ser decomposta, as suas formas e características; e uma segunda abordagem, microscópica, focada na necessidade de caracterizar este material do ponto de vista da sua microestrutura e da sua composição química.

Da análise macroscópica tiram-se indicadores relativos à qualidade e aptidão deste material para utilização primária (fabrico de rolhas). A análise microscópica figura como um meio fulcral de estudo/conhecimento da estrutura que caracteriza este material, possibilitando o estabelecimento de parâmetros/propriedades que caracterizam a cortiça. Torna-se, assim, bastante importante fazer uma aproximação a estas duas abordagens complementares.

2.2.1. Aspectos Macroscópicos

Com efeito, e mencionada a importância de conhecer a cortiça do ponto de vista macroscópico para a sua exploração, podem ser vistas na figura 5 as várias camadas que a compõem, em função do seu crescimento continuado na direcção radial.

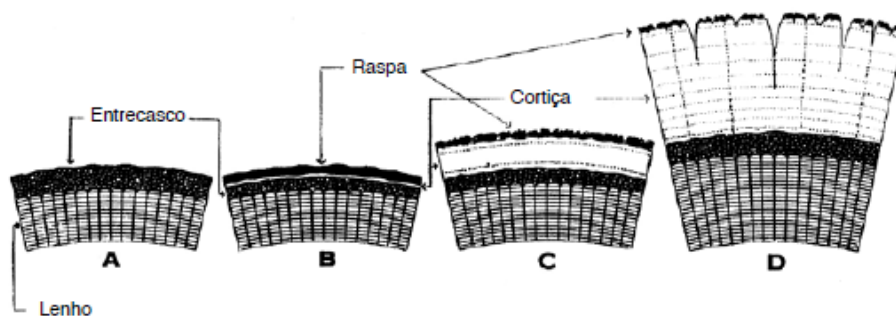


Figura 5 – Evolução temporal da estrutura macroscópica da cortiça [3].

O processo evolutivo exibido na figura 5 representa a criação de uma nova camada de cortiça após a extracção da camada inicial designada por cortiça virgem (primeira camada de cortiça a cobrir a árvore). Após esta primeira extracção a parte exterior do

entrecasco fica exposta ao meio ambiente despoletando assim um novo ciclo de crescimento da camada celular que compõe a cortiça. Dá-se então o crescimento sucessivo de novas células que irão forçar o deslocamento da parte exterior do entrecasco originando-se assim a camada protectora designada de “raspa” (a cortiça virgem não apresenta esta camada) sendo esta “raspa” a principal constituinte da “costa” (camada exterior da cortiça, e visível na figura 6), ocorrendo durante o período de crescimento, a sua secagem, contracção, endurecimento e aparecimento de fendas [3].



Figura 6 – Exemplos de “costa” e “barriga” [8].

Por sua vez, na face interna desta nova camada celular, pode ser encontrada a última camada de crescimento anual desenvolvida à qual se dá o nome de “barriga” ou “ventre” [3] (representada também na figura 6), tendo esta uma elasticidade inferior às restantes e apresentando canais lenticulares (poros) responsáveis pela circulação de líquidos e gases entre o tronco e a atmosfera [5].

Entre estas duas faces encontra-se o tecido suberoso que constitui a cortiça propriamente dita, onde são facilmente identificáveis os anéis de crescimento anual, ditados pelo abrandamento, ou mesmo pela paragem, do crescimento celular durante o Inverno e pelo recomeço no início da Primavera [3] [5]. Os períodos de paragem do crescimento celular manifestam-se pelo aparecimento de zonas escuras intercaladas de zonas de tonalidade mais clara na cortiça [5], porém esta variação sazonal também

introduz diferenças no que toca à dimensão das células e à espessura das paredes das mesmas [3].

Aspectos como a cor, rugosidade, espessura da costa, e homogeneidade são tipicamente alguns dos aspectos considerados como indicadores de qualidade [3], sendo neste sentido que a análise macroscópica é valiosa para a atribuição qualitativa de graus de qualidade a este material. A título de exemplo, pode-se afirmar que a quantidade, distribuição e dimensão dos canais lenticulares que atravessam radialmente a cortiça dando origem a poros, podem invalidar o seu uso para o fabrico de rolhas pelo facto de estas não virem a garantir a impermeabilidade a gases e líquidos [5].

Atendendo à já referida variação cíclica e sazonal da velocidade de crescimento das novas células e os efeitos que essa variação induz na estrutura da cortiça, torna-se evidente que a estrutura da mesma não é de todo isotrópica tratando-se na verdade de uma estrutura anisotrópica [5] com diferenças de propriedades nas três direcções que a definem: radial (na direcção radial do tronco), axial (na direcção do eixo longitudinal do tronco) e tangencial ou circunferencial (na direcção tangente ao tronco da árvore), conforme representa a figura 7.

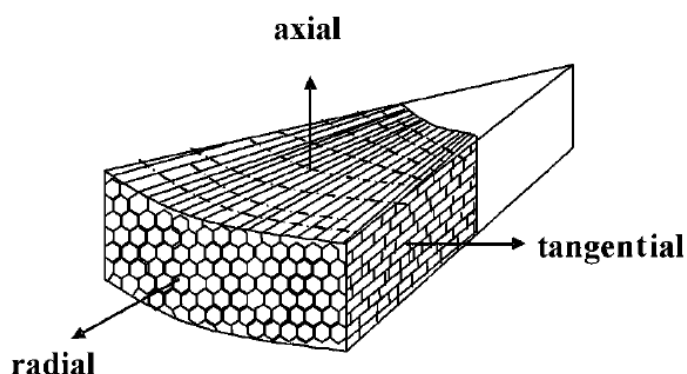


Figura 7 – Direcções principais do crescimento celular da cortiça [5].

Este efeito pode ser problemático quando se faz o uso da cortiça tal como ela é recolhida da árvore (como é o caso das rolhas naturais), mas deixa de se verificar, e como tal deixa de ser um problema, quando se está perante o uso para o fabrico de aglomerados de cortiça (abordados mais à frente neste documento), uma vez que nesse caso a orientação dos grânulos é aleatória [3].

2.2.2. Aspectos Microscópicos

Robert Hooke foi o primeiro investigador a examinar sobre o microscópio óptico, em 1660, secções de cortiça revelando assim, e pela primeira vez, a estrutura alveolar (visível na figura 8), semelhante às estruturas ninho de abelha, que caracteriza este material [5]. Assim, microscopicamente, a cortiça pode ser descrita como sendo composta por um tecido homogêneo de células de paredes finas dispostas de forma regular e de modo compacto sem espaços livres entre si. Estas células têm a forma de prismas rectangulares hexagonais (podendo o número de lados variar entre 4 e 9) empilhadas base-a-base em colunas paralelas à direcção radial [4] [5].

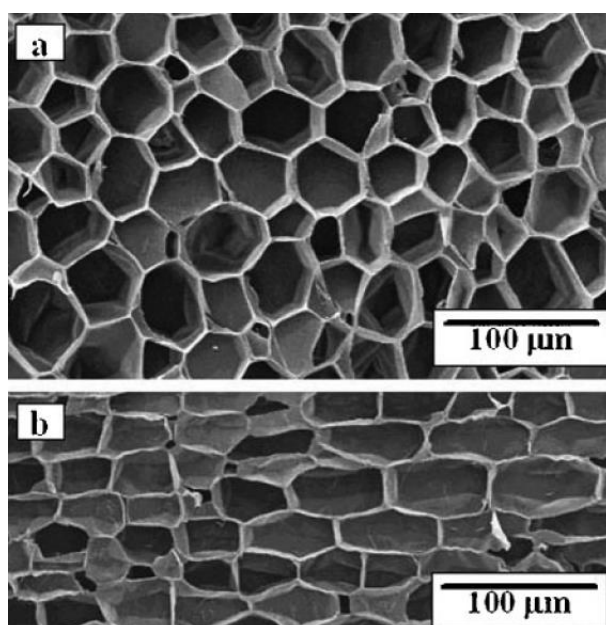


Figura 8 – Estrutura celular da cortiça numa secção radial (a) e numa secção tangencial (b) [5].

É importante atender que não é apenas a forma estrutural em que as células da cortiça se dispõem que influencia as suas propriedades, mas também a própria natureza das membranas celulares. Com efeito estas paredes, que definem e limitam as células, são constituídas pelas cinco camadas distintas indicadas na figura 9 [3]:

- **Paredes Terciárias:** as mais exteriores, de natureza celulósica, que foram as cavidades celulares;

- **Paredes Secundárias:** as intermédias, suberificadas, com suberina e ceras, que garantem a impermeabilidade;
- **Lamela Média Composta:** camada central lenhificada que confere rigidez e estrutura.

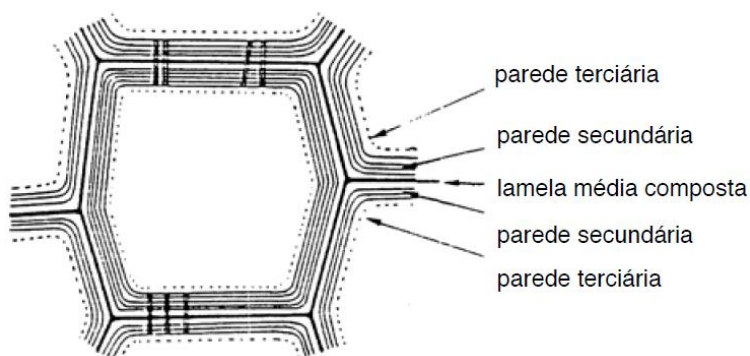


Figura 9 – Paredes delimitadoras da estrutura celular da cortiça [3].

Da totalidade do espaço físico ocupado por uma amostra de cortiça pode dizer-se que o volume efectivo das paredes das células é de aproximadamente 10-15%, sendo os restantes 85-90% ocupados por uma gás (similar ao ar) contido no interior das células. Este é o principal factor que influi em algumas das características chave da cortiça como a sua baixa densidade, as suas boas propriedades de isolamento térmico e acústico, e a sua excelente resiliência [3].

Também do ponto de vista químico já este material, bastante versátil, foi exaustivamente estudado e avaliado por vários investigadores, tendo esses resultados sido compilados. A tabela 1 agrega os dados obtidos por alguns dos autores que se debruçaram sobre esta temática [5].

Tabela 1 – Decomposição química da cortiça em percentagem de compostos [5].

Componente	Cortiça Virgem		Cortiça de Reprodução (amadia)					
	Caldas (1986)	Pereira (1981)	Gil (1998)	Caldas (1986)	Pereira (1981)	Parameswaran (1981)	Holloway (1972)	Carvalho (1968)
Suberina	45	45	42	48	33.5	33	37	50
Lignina	27	21	21.5	29	26	13	14.8	19
Polisacarídicos (celulose e hemicelulose)	12	13	16	12	25	6	-	13
Extraíveis	10	19	13	8.5	13	24	15.8	15
Cinza	5	1.2	-	2.1	2.5	...	-	3
Outros	...	0.8	7	6

2.3. Extracção da Cortiça

Ao processo de recolha da cortiça da árvore chama-se “descortiçamento”. Este realiza-se durante a fase mais activa de crescimento celular, que se inicia entre os meses de Maio e Junho e termina pelo final de Agosto, podendo este período variar consoante as condições ambientais de temperatura, humidade e precipitação [4].

Na verdade o sobreiro apenas se encontra apto à remoção da primeira camada de cortiça após atingir uma idade de 20 a 25 anos (e após crescer até determinadas dimensões) sendo esta a idade a partir da qual o sobreiro começa a ser rentável em termos de remoção de cortiça [4]. As operações de descortiçamento prosseguem, após a primeira, em períodos intercalados de, tipicamente, nove anos, sendo esta a periodicidade mínima legal em Portugal [3]. Durante o seu período de vida, o sobreiro produz camadas de cortiça com diferentes propriedades e com evidentes diferenças de qualidade, sendo estas denominadas [4]:

- **Cortiça Virgem** - Primeira camada de cortiça a cobrir o tronco e ramos do sobreiro que se destinge pela estrutura, espessura e densidade irregulares, sendo apenas apta para o uso como matéria-prima de aglomerados de cortiça [5]. Ao processo de remoção desta primeira camada de cortiça dá-se o nome de “desbóia” [4];
- **Cortiça Secundária** - Segunda camada de cortiça a cobrir o tronco e ramos do sobreiro que se apresenta como sendo um material com uma estrutura mais regular e menos duro que a cortiça virgem. Esta cortiça, ainda que de qualidade superior à que a precede, não é ainda apta para a extracção de rolhas [5];
- **Cortiça de Reprodução** - Cortiça obtida no terceiro descortiçamento e seguintes, sendo chamada de cortiça “amadia”. Esta é a única cortiça utilizada para a produção de rolhas uma vez que goza de melhores características para este efeito [4].

Estes diferentes tipos de camadas de cortiça encontram-se visíveis na figura 10 sendo possível identificar a cortiça virgem no topo, a cortiça secundária no centro e a cortiça amadia no fundo da imagem.



Figura 10 – Diversos tipos de cortiça: Virgem (topo), Secundária (centro) e Amadia (fundo) [6].

Processualmente a operação de remoção da cortiça do sobreiro (figura 11) é um acto complexo e executado por especialistas, aos quais se dá o nome de descortiçadores, que através do emprego de técnicas ancestrais procedem à remoção deste material com recurso a ferramentas manuais como o machado [3] [4]. Desta forma, a longevidade da árvore em causa depende da habilidade que estes profissionais tenham em efectuar, sem provocar danos significativos na mesma, as várias operações que se seguem [4]:

- Etapa 1: **Abertura** – Consiste no golpeamento da cortiça na direcção vertical iniciando-se esta operação pela fenda mais profunda encontrada na zona a descortiar. Com a torção do machado consegue-se iniciar a separação;
- Etapa 2: **Separação** – Consiste na inserção do gume do machado entre a cortiça e o entrecasco como forma de “alavanca” para proceder com a separação;
- Etapa 3: **Traçagem** – Consiste na execução de um golpe horizontal que delimita o comprimento da “prancha” de cortiça a ser retirada do sobreiro;
- Etapa 4: **Extracção** – Consiste em retirar da árvore a camada de cortiça, geralmente de formato semicircular, separada do entrecasco durante as operações anteriores;
- Etapa 5: **Descalçar** – Consiste na remoção de qualquer fragmento que, proveniente do descortiçamento, tenha ficado fixo ao tronco da árvore;

- Etapa 6: **Marcação** – Última etapa do processo de descortiçamento que consiste na marcação da árvore com o último algarismo do ano em que se realiza a extracção marcando assim o início de um novo ciclo de regeneração.

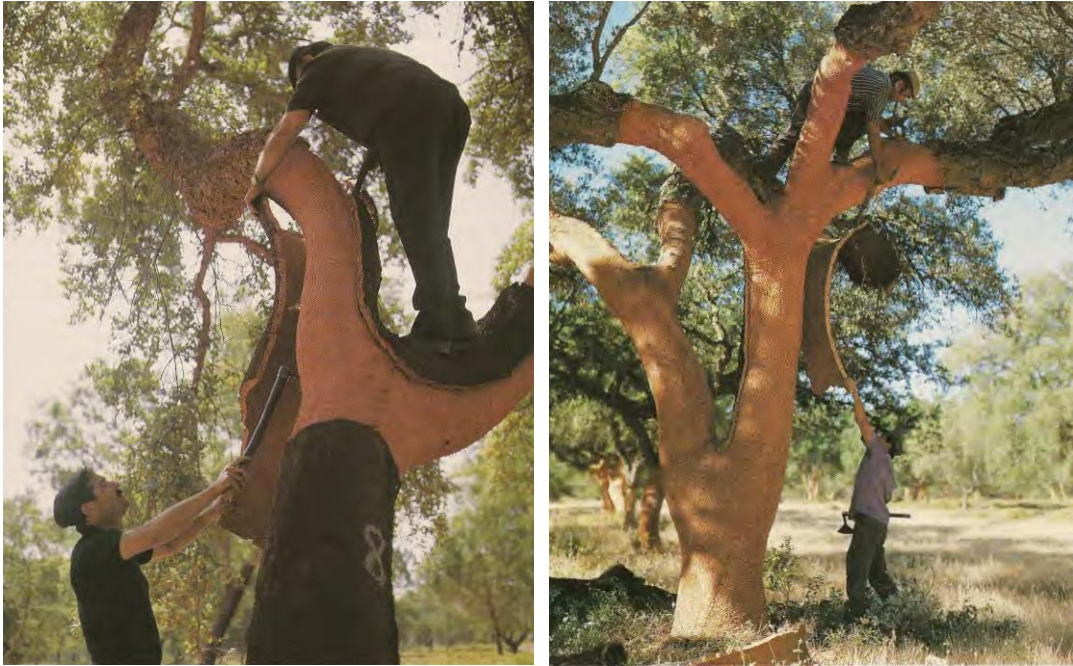


Figura 11 – Operações de descortiçamento [6].

Após a sexta e última etapa inicia-se o designado Período de Repouso, representado na figura 12, durante o qual as denominadas pranchas de cortiça são empilhadas e armazenadas sobre materiais não contaminantes. Durante este período, tipicamente não inferior a seis meses, dá-se a maturação e estabilização da cortiça, após o qual a cortiça inicia efectivamente o seu percurso industrial [4].



Figura 12 – Cortiça durante o Período de Repouso [8].

2.4. Processamento e Transformação

O processamento da matéria-prima cortiça inicia-se, tipicamente, e considerando que se trata de cortiça amadia, com o intuito da transformação da mesma em rolhas de cortiça natural não sendo no entanto este um processo directo e imediato. Com efeito, e após concluído o período de repouso atrás referido, as pranchas de cortiça passam por um processo de “cozedura” o qual é tradicionalmente feito com recurso à imersão das mesmas em água fervente durante um período aproximado de uma hora [9].

Esta técnica permite a limpeza da cortiça, a extracção de substâncias hidrossolúveis, o aumento da sua espessura (reduzindo a densidade), o aumento da elasticidade e maleabilidade, a obtenção de uma estrutura interna mais uniforme, e evita o crescimento da microflora e o desenvolvimento bacteriano [9]. O aspecto das pranchas de cortiça antes e após esta operação de cozedura pode ser visto na figura 13.



Figura 13 – Fardos de cortiça antes (esquerda) e após (direita) “cozedura” [10].

A expansão que ocorre durante este processo corresponde a um aumento de volume de aproximadamente 20% e é causado pela expansão do gás contido no interior das células da cortiça que estavam, até então, comprimidas e fixas em forma irregular devido à movimentação causada pelo crescimento celular continuado [5] [9]. De igual forma, o amaciamento desta matéria-prima, que ocorre com o aumento da percentagem de humidade, permite a manipulação das pranchas, tornando possível conformar as mesmas com facilidade num formato plano que irá, nas fases seguintes, simplificar bastante o seu processamento [9].

Na sequência da cozedura é necessário ocorrer um processo de estabilização, com duração típica de duas a três semanas, durante o qual as pranchas repousam consolidando a sua forma plana e baixando o seu teor de humidade para um valor óptimo de 14% [9]. De toda a matéria-prima processada até este ponto, cerca de 50% será destinada ao processo de fabrico de rolhas sendo a restante utilizada para outro tipo de produtos como os aglomerados de cortiça granulada [4].

2.4.1. Rolhas

Até esta fase os procedimentos são comuns a toda a matéria-prima, sendo a partir daqui que se inicia um processo de separação e de diferenciação. Na prática, para a obtenção de rolhas de cortiça, a matéria-prima pode seguir vários caminhos produtivos distintos que se adequam e relacionam directamente com o tipo de rolha que se pretende obter, ocorrendo logo à partida uma importante distinção entre rolhas de cortiça natural (obtidas a partir da brocagem de uma porção de cortiça natural), e entre rolhas técnicas (obtidas a partir de aglomerados de cortiça aos quais se pode aplicar, mediante necessidade, discos de cortiça natural) [9]. Na verdade esta selecção é um pouco mais complexa devido ao extenso portefólio de rolhas disponíveis por forma a adaptarem-se à vasta diversidade de garrafas, vinhos e aplicações existentes no mercado, sendo os principais tipos de rolhas de cortiça [9]:

- **Natural** – Peça única extraída por brocagem;
- **Natural Multipeça** – Obtidas a partir da colagem de duas ou mais partes de cortiça natural;
- **Natural Colmatada** – Rolhas naturais cujos poros estão preenchidos com pó de cortiça;
- **Técnica** – Constituídas por um corpo de cortiça aglomerada, muito densa, e com discos de cortiça natural colados em um ou nos dois extremos;
- **Champanhe** – Fazem parte das rolhas técnicas, com um corpo aglomerado e com um, dois ou três discos num dos topos, mas com um diâmetro maior que as normais;
- **Aglomerada** – Rolhas com um corpo de cortiça aglomerada;

- **Micro Granulada** – Rolhas com um corpo de cortiça aglomerada de grânulos finos;
- **Capsulada** – Rolha de cortiça natural em cujo topo é colada uma cápsula de madeira, PVC, metal, vidro, etc.

Para a obtenção de rolhas naturais procede-se, após o período de estabilização, a um processo de selecção da matéria-prima mais adequada à produção deste tipo de rolhas sendo a mesma separada de acordo com o grau de qualidade que lhes é atribuído de acordo com a sua espessura, quantidade, dimensão dos poros, e aspecto geral, sendo seguidamente cortadas em tiras de largura apropriada ao comprimento da rolha a obter, sofrendo ainda outras pequenas operações de correcção de geometria [9].

Inicia-se então um processo manual ou semiautomático de perfuração das tiras de cortiça resultando na obtenção de uma rolha cilíndrica, dando-se a este processo o nome de brocagem. Deste processo, por cada tonelada de material são extraídas cerca de 65 mil rolhas [4].



Figura 14 – Operação de brocagem (esquerda), apara após brocagem (direita) [10].

Os desperdícios gerados nesta fase, nomeadamente as aparas visíveis na figura 14 e as rolhas que apresentem defeitos ou que sejam rejeitadas mais à frente na cadeia de controlo de qualidade, terão como destino o seu aproveitamento para a produção de aglomerados de granulado de cortiça.

Após a obtenção das rolhas cilíndricas, pelo processo de brocagem, inicia-se um processo de rectificação das dimensões dessas rolhas por forma a obter as dimensões especificadas regularizando-se a superfície da rolha. Concluída esta operação tem lugar um processo de selecção visual, manual ou semiautomático conforme exemplificado

pela figura 15, que consiste na separação das rolhas obtidas em diferentes classes de qualidade, descartando-se também as rolhas que contenham defeitos, encaminhando as mesmas, conforme referido anteriormente, para a utilização com matéria-prima de aglomerados de cortiça [9].



Figura 15 – Separação manual (esquerda) e semiautomática (direita) [10].

Por seu lado, a produção de rolhas técnicas inclui uma componente técnica, o corpo principal da rolha, fabricado a partir de aglomerados de cortiça granulada (ponto que virá a ser tratado no subcapítulo seguinte), e uma componente natural, os discos de cortiça natural, que compõem os topos das mesmas [9].

Sendo estas rolhas resultantes da conjugação de vários elementos a sua produção está subdividida em três fases diferenciadas compondo-se da produção de discos de cortiça natural, do fabrico do corpo de cortiça aglomerada e da assemblagem destes componentes [9].

A produção dos discos começa com o tratamento da matéria-prima, já anteriormente seleccionada em termos de qualidade, removendo-lhe as suas duas faces, a face exterior (a “costa”) e a face interior (“barriga”), dando-se assim origem a placas de cortiça mais macias e uniformes com uma espessura aproximada de 6.5mm, que será a espessura destes discos. Estas placas serão também cortadas à dimensão apropriada ao processamento mecânico de perfuração em círculos de diâmetro adequado à rolha que se pretende obter, passando estes discos por um processo de selecção visual, com separação diferenciadora de qualidade, em tudo semelhante ao que ocorre para as rolhas naturais [9]. Tanto as bandas de cortiça como os discos delas extraídos podem ser visto na figura 16.



Figura 16 – Processamento de bandas de cortiça (esquerda) e discos (direita) [11].

Em paralelo com a preparação destes discos ocorre a produção dos respectivos corpos em cortiça aglomerada, produzidos com recurso a matéria-prima recuperada das aparas geradas no exercício de brocagem de rolhas naturais. Neste processo, estes subprodutos são granulados em máquinas de trituração que decompõem o material em grânulos de dimensões apropriadas, tipicamente 3-7mm, e posteriormente aglomerados, tendo por base um aglutinante à base de poliuretano de classe alimentar dando-se origem, através de um processo de extrusão, às varas circulares visíveis na figura 17 que serão posteriormente cortadas à medida da altura da rolha que se pretende produzir [9].



Figura 17 - Varas de cortiça aglomerada (esquerda) e corpos (direita) [11].

Uma vez disponíveis os elementos que compõem uma rolha técnica resta proceder-se à montagem dos mesmos, assim, tanto os discos como os corpos são colocados em equipamentos cuja função é finalizar esta união. Durante este processo é seleccionado o melhor lado dos discos de cortiça e é feita a sua orientação para que este seja o lado exposto ao vinho. E simultâneo o equipamento faz a marcação do lado oposto como

forma de identificação do lado a colar ao corpo da rolha. A colagem entre estes elementos é, após esta fase, feita com recurso a uma cola aprovada para uso alimentar e pela FDA (Food and Drug Administration) [9].

2.4.2. Aglomerados de Cortiça

A restante matéria-prima, designadamente aquela à qual é atribuído um grau de qualidade insuficiente para a extracção de rolhas de cortiça e a que, pela execução dessa operação, se torna desperdício, fica então destinada ao uso para fabrico de aglomerados compósitos de cortiça granulada (figura 18). Para estes aglomerados são também usadas as matérias-primas provenientes do primeiro descortiçamento (cortiça virgem) e do segundo descortiçamento (cortiça secundária) uma vez que, para estes materiais, se apresentam com propriedades e em quantidades adequadas. A estas juntam-se os refugos, aparas, bocados e desperdícios provenientes de outros sectores de produção [3].

Estas matérias-primas são então trituradas com recurso a moinhos obtendo-se como resultado grânulos de cortiça com diferentes granulometrias (figura 18), com dimensões típicas entre os 0.25mm a 22.4mm, e densidades que variam entre os 70kg/m^3 e os 90kg/m^3 . Os granulados resultantes deste processo passam por uma operação de limpeza, para extrair partículas estranhas, e em seguida pelo interior de secadores rotativos através dos quais é forçada a passagem de ar quente que impõe a estes granulados o grau de humidade adequado ao seu processamento [12].

O fabrico de aglomerados de cortiça tem então lugar através de um processo de aglomeração dos grânulos de cortiça sobre pressão e temperatura pré-determinadas pelas condições de processamento, estando presente neste sistema um agente aglutinante, sendo que tipicamente utilizam-se resinas sintéticas de poliuretano, resinas fenólicas e melamínicas, ou resinas de origem vegetal [3]. Para o fabrico de diferentes aglomerados, e como tal de aglomerados com diferentes propriedades, são seleccionadas granulometrias e densidades de granulados distintas, sendo corrente fazer-se combinações destas, bem como são feitos ajustes na quantidade e tipo de agente aglutinante e nas condições do processo, neste caso, na pressão (que será determinante na densidade final do aglomerado), na temperatura e no tempo de processo [12].



Figura 18 – Granulado de cortiça (esquerda) e aglomerado de cortiça (direita).

O doseamento das quantidades dos vários granulados de cortiça e a sua mistura com o agente aglutinante é normalmente feita com recurso a meios mecânicos de dosagem e de mistura sendo esta, após se garantir um grau de homogeneidade adequado, vazada para moldes metálicos com a forma dos aglomerados a obter, usualmente de forma paralelepípedica ou cilíndrica, seguindo-se o fecho dos mesmos sobre pressão. Estes moldes entram de seguida numa estufa onde são expostos a temperaturas entre os 110 e os 150°C por períodos de tempo que variam entre as 4 e as 22h, sendo nesta fase que se dá a cura do agente aglutinante [3].

Após o arrefecimento do molde, e como tal do cilindro/bloco no seu interior, procede-se à operação de desmoldagem, finda a qual se está perante um bloco de aglomerado de cortiça granulada pronto a ser processado na forma final. Esta forma final normalmente está bastante longe do formato do bloco aglomerado, seja ele paralelepípedo ou cilíndrico, pelo que, quase sempre, se procede a processos de laminagem nos quais os blocos paralelepípedicos são laminados em folhas ou placas de forma rectangular e os blocos cilíndricos em rolos (figura 19), podendo ambos ser laminados nas mais variadas espessuras. Após este processo poderá, ou não, ser necessário proceder a correcções de espessura e/ou acabamento superficial, pelo que estas folhas e rolos poderão ter de passar por uma etapa de lixagem da sua superfície [3].

Como alternativa a este método de aglutinação em moldes fechados é possível despejar a mistura de granulados e aglutinante sobre um tapete rolante de uma prensa de pratos aquecidos resultando assim numa folha única com as dimensões e espessura desejadas [12].



Figura 19 – Laminados de cortiça em folha (esquerda) e em rolo (direita).

Para além de diferentes combinações de grânulos de cortiça natural de várias dimensões e densidades, é também possível proceder-se à mistura destes com outros materiais, nomeadamente, e sendo o caso mais comum, a borracha natural ou sintética, sendo estes introduzidos em pó, em granulado semelhante à cortiça, ou em forma de fibras longas. Estes materiais, por conterem borrachas, após a fase de mistura, são passados por “calandras” que garantem a homogeneização da mistura e de seguida colocados em moldes fechados e curados através do emprego de calor [3], sendo as fases finais do processo em tudo semelhantes às que se realizam para os aglomerados de cortiça natural, originando-se da mesma forma blocos paralelepípedicos e cilíndricos posteriormente laminados de forma idêntica, sendo disso exemplo a figura 20.



Figura 20 – Laminado de aglomerado composto de cortiça com borracha.

Todas estas fases de processamento e transformação da cortiça, desde a sua colheita enquanto matéria-prima, até ao material final, enquanto rolhas ou aglomerados, podem ser representadas esquematicamente pela figura 21.

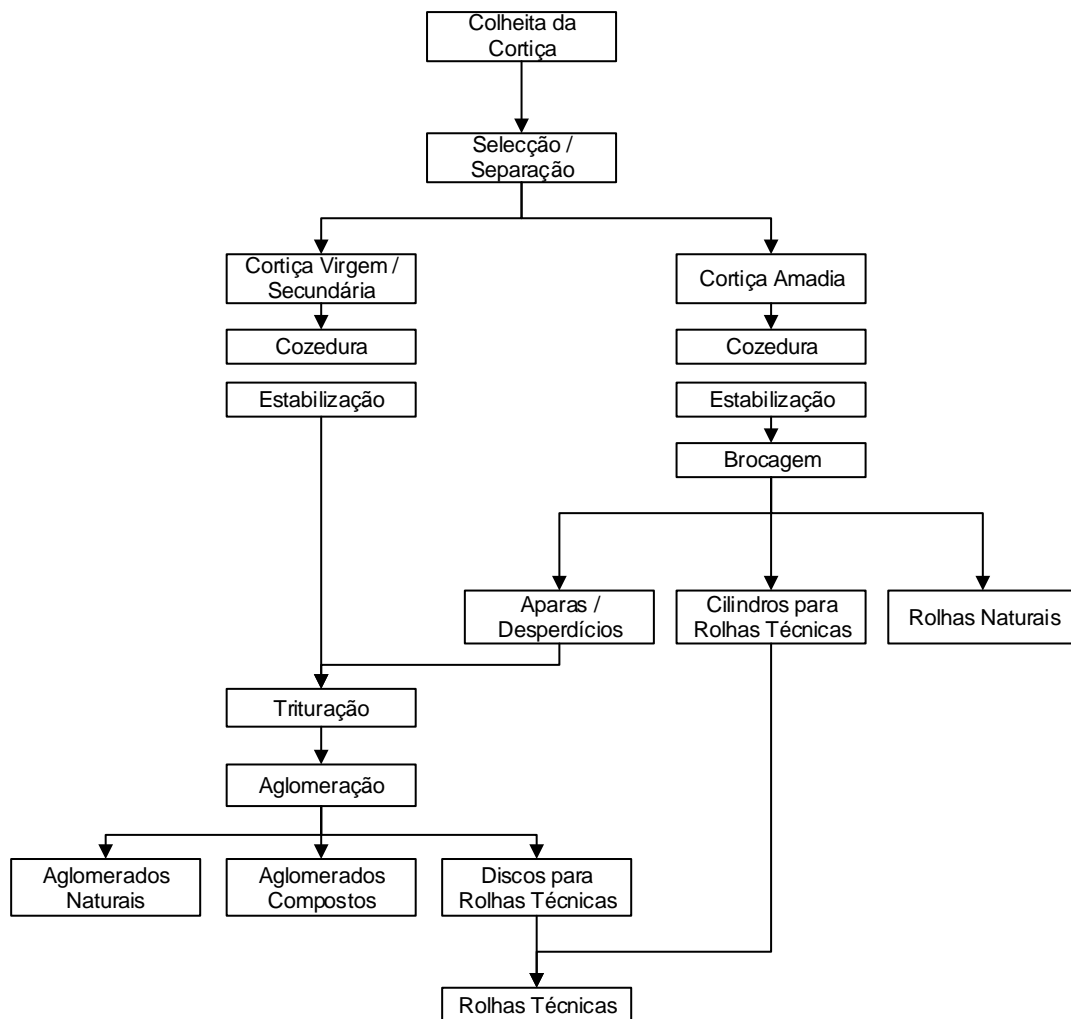


Figura 21 – Representação esquemática do processamento/transformação da cortiça.

Convém no entanto referir que o percurso dos aglomerados naturais e compostos prossegue para outras fases como a laminagem em placas e em rolos mediante os produtos que se pretendem obter e o mercado a que se destinam, pelo que estas traduzem-se em fases não representadas na referida figura 21.

2.5. Principais características da cortiça e seus aglomerados

A cortiça, enquanto matéria-prima virgem, possui um conjunto de características bastante aliciantes ao seu uso, sendo possível indicar as seguintes como algumas das mais distintivas [4]:

- **Leveza:** Ditada pela sua baixa densidade, pesando apenas 120 a 240 kg/m³;
- **Impermeabilidade a líquidos e a gases:** Propriedade garantida pela existência de suberina nas paredes que delimitam as células do material. Esta propriedade é também responsável pela inexistência de fenômenos de apodrecimento ou criação de fungos, e de uma forma geral, de degradação substancial com o tempo;
- **Elasticidade e compressibilidade:** A cortiça aceita repetidos ciclos de compressão/descompressão recuperando na totalidade a sua forma logo que em repouso, sendo o único sólido com a capacidade de ser comprimido sem que praticamente ocorra expansão lateral nas direções não carregadas, ou seja, tem um Coeficiente de Poisson bastante baixo;
- **Isolamento térmico e acústico:** Dado este material ser em grande parte constituído por um gás (85-90%) semelhante ao ar, encerrado dentro de células estanques, tem uma baixa condutividade de calor, sendo também um bom isolante acústico e de vibração mecânica/estrutural;
- **Combustão lenta:** A cortiça é um natural retardador de fogo, não fazendo chama nem expelindo gases tóxicos durante a sua combustão;
- **Resistência ao desgaste:** Graças à sua estrutura em ninho de abelha tem uma excelente resistência ao desgaste apresentando um elevado coeficiente de atrito, gozando também de uma boa resistência ao impacto.

Este conjunto de características torna-se de extrema importância, não só quando a cortiça é utilizada na sua forma virgem, como no caso das rolhas naturais, mas também quando tem aplicação após transformação industrial em aglomerados compósitos de cortiça granulada. De uma forma resumida as características acima podem ser resumidas quantitativamente nos dados presentes na tabela 2 [13].

Tabela 2 – Propriedades da cortiça virgem [13].

Características	Valor médio
Massa volúmica	180 Kg.m ⁻³
Módulo de Young (compressão)	13 MN.m ⁻²
Módulo de Young (tracção)	18 MN.m ⁻²
Coefficiente de Poisson	0,18
Coefficiente de precipitação de energia	0,2
Coefficiente de fricção	0,3
Calor específico (P cte)	35 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Coefficiente de difusão de água (20°C)	4x10 ⁻¹⁰ m ² .s ⁻³
Difusividade térmica	10 ⁻⁶ m ² .s ⁻¹
Condutividade térmica	0,045 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Tensão de ruptura (tracção)	19 MN.m ⁻²

Este conjunto de características pode, em função do objectivo a que o produto final se destina, ser alterado mediante o processamento industrial desta matéria-prima, mais precisamente quando se trata do fabrico de aglomerados compósitos de cortiça granulada. Por fim a ilustrar essas modificações, para servir a aplicação, apresentam-se as características médias genéricas para dois tipos de aglomerados, o aglomerado expandido para isolamento térmico e o aglomerado expandido para isolamento acústico.

Tabela 3 – Características do aglomerado expandido de cortiça (térmico) [3].

Características	Valor médio
Massa volúmica	100-140 kg/m ³
Coefficiente de condutividade térmica (23°C)	0,039-0,045 W/m.°C
Calor específico (a 20°C)	1,7-1,8 kJ/kg.°C
Coefficiente de expansão térmica (20°C)	25-50x10 ⁻⁶
Pressão máxima em condições elásticas	50 kPa
Módulo de elasticidade (compressão)	19-28 daN/cm ²
Difusividade térmica	0,18-0,20x10 ⁻⁶ m ² /s
Coefficiente de Poisson	0-0,02
Permeabilidade ao vapor de água	0,002-0,006 g/m.h.mmHg
Tensão de rotura à flexão	1,4-2,0 daN/cm ²
Tensão de rotura à tracção transversal	0,6-0,9 daN/cm ²
Tensão de rotura à tracção longitudinal	0,5-0,8 daN/cm ²
Varição dimensional 23-32°C, 50-90% HR	0,3 %
Oxigénio índice	26 %
Tensão deformação a 10% (compressão)	1,5-1,8 daN/cm ²
Deformação sob temperatura (80°C)	1,4-2,4 % (espessura)

Tabela 4 – Características do aglomerado expandido de cortiça (acústico) [3].

Características	Valor médio
Massa volúmica	$\leq 100 \text{ kg/m}^3$
Coefficiente de absorção acústica (500-1500 c/s)	0,33-0,8
Coefficiente de condutividade térmica (23°C)	0,037-0,042 W/m.°C
Tensão de rotura à flexão	1,4-1,6 daN/cm ²
Permeabilidade ao vapor de água	0,004-0,010 g/m.h.mmHg
Tensão de rotura à tracção longitudinal	0,3 daN/cm ²
Absorção de água (imersão)	9,2 %
(capilaridade)	0,4 %
Variação dimensional 32-66°C, 90-0% HR	0,4%

Mesmo sendo os valores presentes nas tabelas 3 e 4 bons exemplos da modificação das propriedades da cortiça natural (tabela 2) tendo em vista a adequação deste material ao serviço que se pretende que desempenhe (neste caso isolamento térmico ou acústico), torna-se impossível fazer a listagem de propriedades de todas as formulações de materiais correntemente industrializados pela sua vastidão. Dessa forma, mais à frente neste documento, serão elencadas as propriedades dos aglomerados de granulado de cortiça que serão utilizado no fabrico dos painéis sanduíche que este projecto pretende caracterizar.

Convém também referir que os valores presentes nas tabelas são baseados em variados ensaios de caracterização para os aglomerados expandidos de cortiça com utilização em aplicações térmicas e acústicas. Estes traduzem-se em valores médios para estes produtos e devem ser tidos como indicativos, e não absolutos, para as aplicações em causa uma vez que existe um grande número de outros produtos, nomeadamente para outras áreas de aplicação como as ligadas às aplicações industriais, que se baseiam em aglomerados compósitos de cortiça granulada com características específicas para as aplicações em causa. Algumas dessas outras aplicações serão abordadas de seguida.

2.6. Aplicações

Conforme já foi referido anteriormente a cortiça é um material cujas aplicações são conhecidas desde a antiguidade, sendo as aplicações mais emblemáticas relacionadas com utensílios de pesca, onde era utilizada como elemento flutuante, e mais recentemente com os vinhos, onde começou a ser utilizada como vedante [1]. Actualmente são encontradas aplicações para esta matéria-prima que abrangem desde as soluções massificadas para a vedação de vinhos até à indústria aeronáutica, demonstrando assim a verdadeira amplitude e disparidade a que este material se presta [3]. Certamente que a grande versatilidade deste material ficará bem ilustrada com a sucinta lista de aplicações presente na tabela 5 [13].

Tabela 5 – Campos de aplicação da cortiça (adaptado de [13]).

Vedação	Artefactos	Construção Civil
Rolhas para bebidas e líquidos diversos; Discos para tampas de bebidas e medicamentos; Batoques e tapadeiras.	Bases para utensílios de cozinha; Papel de cortiça para malas, sacos, carteiras, vestuário; Utensílios domésticos como os memoboards; Flutuadores, punhos para canas de pesca; Brinquedos; Palmilhas, rastros de calçado; Artigos de adorno e ornamentação.	Isolantes térmicos, acústicos e vibráticos (paredes, tectos e pavimentos); Tectos falsos e revestimentos de paredes, pisos e tectos; Rodapés; Linóleos; Granulados para enchimento de espaços e mistura com argamassas; Juntas isolantes e de dilatação ou compressão.
Indústria	Desporto	Ambiente / Outros
Apoios anti-vibráticos para maquinaria; Isolamentos para frio industrial; Juntas para motores de combustão interna; Pisos industriais e de transportes públicos; Queima para a produção de energia (pó).	Bases para volantes de Badminton; Bolas de Hóquei, Golfe, Críquete e Basebol; Revestimentos de raquetes de ténis de mesa; Apitos; Alvos para setas.	Recolha de petróleo derramado; Aeronáutica espacial e militar (essencialmente usada como escudo de protecção térmica, tanto para altas temperaturas como para baixíssimas temperaturas); Explosivos.

Fica assim evidente a capacidade desta matéria-prima em se adaptar a diferentes processos tecnológicos de transformação e em dar origem a diferentes aplicações, sendo possível encontrar no mercado uma infinidade de produtos com base neste material [12].

Como bom exemplo da presença no mercado com gamas de produtos extremamente diversificadas pode referenciar-se a empresa Amorim Cork Composites. Essa diversidade fica clara através do extenso portefólio de materiais, componentes, e sistemas que esta empresa disponibiliza no mercado e para os quais disponibiliza informação no seu *site* [14]. É possível também, recorrendo ao citado *site*, identificar os principais segmentos de mercado desta empresa como sendo os da indústria, da construção, dos transportes e, por fim, dos bens de consumo.

No segmento de mercado da indústria insere-se uma vasta gama de produtos de selagem que se apresentam sobre a forma de juntas vedantes com aplicação nas indústrias de produção e distribuição de energia bem como em motores de combustão interna, transmissões, motores eléctricos e, de forma mais geral, em electrodomésticos.

Podem também ser encontradas soluções para protecção térmica em aplicações aeroespaciais, sobre a forma de materiais ablativos que, mediante a sua formulação impar e a sua comprovada eficácia, têm uso em veículos espaciais tripulados e não tripulados. Em paralelo com estes existe também um conjunto de produtos para núcleos em materiais compósitos que se focam em possibilitar a criação de estruturas leves com boas características térmicas e acústicas.

No segmento de mercado da indústria incluem-se também os materiais para o controlo de vibrações, bem como os elementos de isolamento acústico utilizados nos pavimentos flutuantes. Por fim, e além dos já referidos, também os materiais para o calçado (para solas, palmilhas, ou outros derivados) se encontram aqui inseridos.

No segmento de mercado da Construção inserem-se os produtos projectados para atender aos requisitos da construção civil, oferecendo produtos de revestimento de paredes interiores, tectos, pisos, fachadas e telhados, com excelentes desempenhos na redução do ruído de impacto e aéreo, na melhoria do isolamento térmico e vibrático, bem como na resistência à humidade. Neste mesmo segmento incluem-se também os pisos desportivos com aplicação como revestimento final em academias e em centros de

desportivos, e as juntas de dilatação com utilização em obras como pontes, aquedutos e aeroportos, onde asseguram a acomodação aos ciclos de expansão-contracção devidos às variações de temperatura.

Por sua vez a área de negócio dos transportes compreende uma extensa gama de soluções que abrange produtos com aplicação ao nível das infra-estruturas dos transportes ferroviários (como palmilhas para carris ferroviários) bem como produtos móveis como painéis compósitos interiores e soluções de painéis de piso com aplicação nas indústrias ferroviária e rodoviária. Esta área de negócio destaca-se pela criação de soluções de engenharia com vista ao controlo de vibrações, à melhoria do isolamento acústico e térmico ao mesmo tempo que se debruçando na redução de peso como um dos principais objectivos, nomeadamente nos componentes móveis.

Por fim, no segmento de mercado dos bens de consumo inserem-se várias gamas de produtos criados a pensar na utilização da cortiça no quotidiano de uma casa ou escritório sob forma de produtos funcionais e/ou estéticos. Estes produtos têm uma forte componente de *design*, rústico, contemporâneo, ou moderno, que contou com a participação de diversos *designers* e estúdios de *design*, havendo ainda a ligação com outra matéria-prima bastante conhecida do povo português, o barro.

3. Painéis Sanduíche

Painéis sanduíche são estruturas que consistem na disposição de dois ou mais materiais, com propriedades distintas, num arranjo sobreposto em camadas, sendo em geral a ligação entre estes feita através de um elemento adesivo [15] [16]. Esta disposição potencia a combinação dessas diferentes propriedades dando resultado a um elemento final com características superiores às apresentadas pelas partes que o constituem quando analisadas individualmente, sendo esta a premissa básica que justifica a existência dos materiais compósitos. Na prática pode verificar-se que um painel sanduíche apresenta maior resistência à flexão e maior rigidez específica que uma placa do mesmo material das peles com o peso total das mesmas [15].

Este conceito não é de todo novo uma vez que historicamente pode ser identificado que as estruturas sanduíche foram primeiramente conceptualizadas por Leonardo da Vinci [15], tendo este conceito persistido até à actualidade e tendo o mesmo passado por fortes fases de desenvolvimento que culminaram no estado da arte que, à data de hoje, se pode verificar.

3.1. Constituintes

Este tipo de estruturas é, na sua forma mais simples, constituído por três camadas, sendo duas delas relativamente finas e de elevada rigidez mecânica, que ocupam a posição exterior e que constituem as peles da sanduíche, e uma outra de maior espessura, menor densidade, e menor rigidez e resistência mecânica, que constitui o núcleo e que ocupa a posição central [17]. Uma representação gráfica dessas camadas, incluindo os adesivos que as agregam, é apresentada na figura 22.

Apesar de a combinação mais comum se basear na utilização de três camadas, e dois materiais, há casos mais complexos nos quais são usados dois ou mais materiais de núcleo, ou dois ou mais materiais para as peles. Em casos específicos podem encontrar-se painéis sanduíche que combinam estas duas possibilidades os quais, por um lado, podem pecar pela sua complexidade, mas que por outro podem igualmente ser compensatórios face às propriedades a que os mesmos pretendem dar resposta.

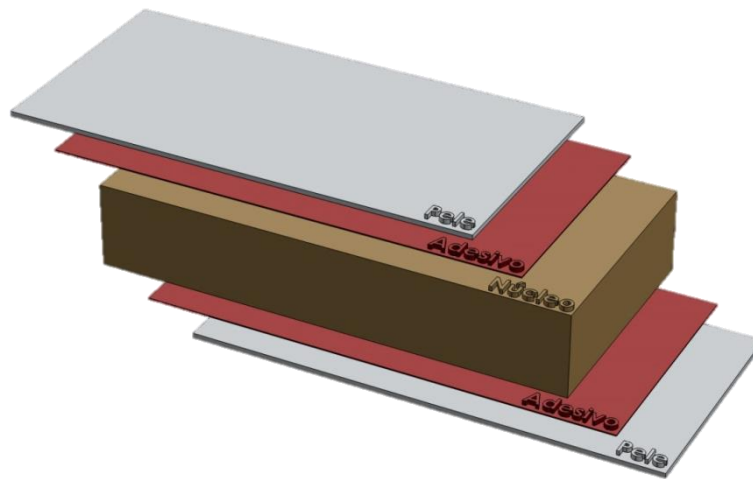


Figura 22 – Constituintes de um painel sanduíche na sua configuração básica.

Na prática as estruturas sanduíche assemelham-se fortemente às vigas em “I” no seu modo de funcionamento e de actuação de esforços, semelhança essa exibida pela figura 23. Nestas os banzos ocupam o lugar das peles, e a alma ocupa o lugar correspondente ao núcleo das estruturas sanduíche [17] [18], tendo como diferença que no caso das vigas em “I” o núcleo, neste caso a alma, não preenche toda a largura das peles [17].

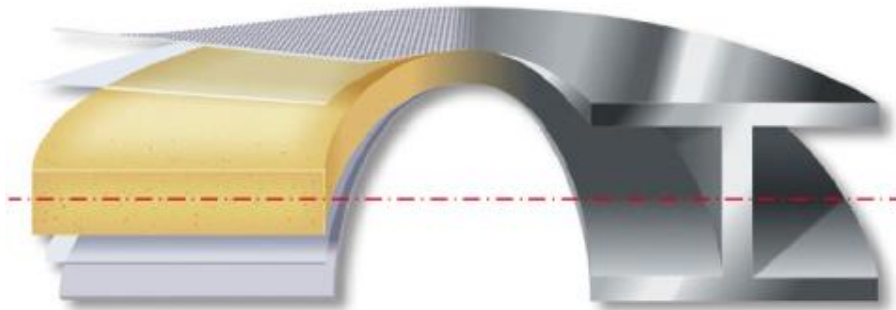


Figura 23 – Ilustração de semelhanças entre estruturas sanduíche e vigas em I [18].

As faces destas estruturas devem ser escolhidas por forma a serem adequadas ao suporte das cargas de flexão que actuarão sobre estas, bem como possuir adequada resistência à tracção/compressão. Por seu lado o núcleo deve ser seleccionado tendo em conta que deve ser capaz de manter o afastamento entre as duas peles, geralmente coladas a este através de adesivos, com resistência suficiente para suportar os esforços de corte a que fica sujeito [15] [18].

O elemento de união, o adesivo, é também de escolha crítica uma vez que é o responsável pela interacção entre os vários componentes, nomeadamente servindo de elemento de transição/dispersão de esforços entre estes, devendo ser capaz não só de resistir a esses esforços mas também ter adequada compatibilidade de ligação com os materiais das peles e núcleo [18] [19].

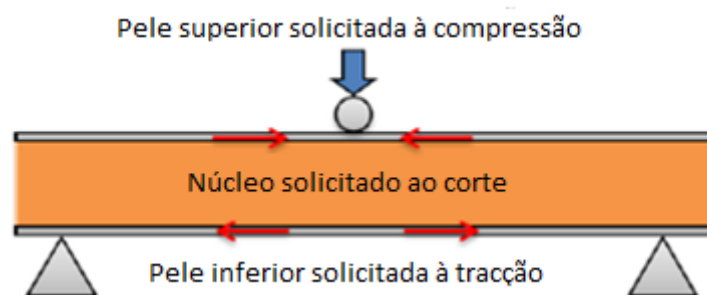


Figura 24 – Esforços actuantes num painel sanduíche (adaptado de [18]).

Generalizando, e como pode ser visto na representação esquemática da figura 24, pode verificar-se que, num painel sanduíche solicitado à flexão, as peles estão actuadas à tração (pele inferior) e à compressão (pele superior) enquanto o núcleo suporta os esforços de corte gerados pela tendência de deslizamento relativo entre as duas peles, tendência esta que é contrariada pela solidariedade entre as várias camadas garantida pela presença do adesivo [18].

3.2. Materiais

Pelo acima exposto fica evidente a extrema importância do processo de selecção dos materiais a usar para o fabrico de um painel sanduíche que vise dar resposta a determinadas condicionantes de projecto. Tendo isso em conta e percebendo também que os materiais utilizados serão seleccionados com base nos requisitos estabelecidos para o painel sanduíche, verifica-se na prática uma grande abundância de diferentes materiais, por vezes com características bastantes díspares, que podem tomar o lugar das peles, núcleo e adesivo. Assim, e por forma a tornar mais óbvia essa diversidade, pretende-se, neste subcapítulo, fazer um elenco resumido dos materiais mais comumente utilizados nesta tecnologia.

3.2.1. Peles

Uma vez que, como evidenciado anteriormente, as peles de um painel sanduíche são essencialmente solicitadas à tração e à compressão, a selecção acaba por recair em materiais de elevada densidade (comparativamente aos materiais de núcleo) e elevada resistência mecânica. No entanto há também que prever as agressões externas a que estes materiais podem estar sujeitos pelo que propriedades como a boa resistência ao impacto, à humidade, ao fogo, à corrosão e à erosão são também factores a considerar [16].

Para estes requisitos os materiais metálicos, como os aços inoxidáveis e as ligas de alumínio, são geralmente boas opções, o que justifica o seu vasto uso nestas aplicações, o qual é também auxiliado pelos baixos custos que decorrem de uma produção em massa [17] [16]. Estes têm em geral bom comportamento ao fogo e, mediante a aplicação de revestimentos, boa resistência à humidade e à corrosão [16].

No que toca aos materiais não-metálicos, os derivados de madeira, sobre a forma de contraplacados e laminados, igualmente com baixos custos, apresentam-se como boas alternativas aos metais, gozando também de uma densidade inferior e de um processamento em formas complexa mais facilitado que os metais, mas apresentam maior susceptibilidade à degradação por absorção de humidade [16] pelo que o seu uso deve ficar reservado para ambientes em que este factor não se coloque.

Ainda, no que diz respeito a materiais não-metálicos, verifica-se também a utilização de peles compósitas, resultantes da combinação entre uma matriz resinosa (sendo as mais comuns as de poliéster, de epóxi, de viniléster, e fenólicas) e fibras (sendo as mais comuns as fibras são o vidro, o carbono e a aramida). De entre estas, as fibras de vidro são as mais utilizadas uma vez que aliam bons resultados mecânicos a um baixo custo e peso, sendo no entanto pouco adequadas para ambientes húmidos. Por seu lado as fibras de carbono, apresentando uma superior resistência mecânica, pecam pelo seu preço elevado quando comparado com as primeiras. Por fim, as fibras de aramida, mais baratas que as fibras de carbono e com propriedades mecânicas superiores às fibras de vidro, apresentam como desvantagem a degradação quando expostas a ambientes com forte radiação UV [17] [16].

3.2.2. Núcleo

O material de núcleo, para além de ser responsável pelo suporte dos esforços de corte e de compressão na sua função de manter a distância entre as peles, é também responsável por garantir outras propriedades que o conjunto final irá ter, nomeadamente no que toca às suas propriedades térmicas e acústicas, pelo que estas, para além da consideração óbvia da sua densidade (impactante no peso total do conjunto), são também um factor preponderante no processo de selecção de materiais [17] [20]. Tendo em vista a ponderação de todas estas propriedades, e outras que possam decorrer de requisitos específicos de uma aplicação, os materiais mais usados como núcleos em painéis sanduíche são espumas, ninho de abelha, madeira de balsa, cortiça, e mesmo outros núcleos com geometrias complexas denominados de núcleos corrugados [17] [16].

Na prática, o processo de selecção acaba por ser um compromisso ponderado, de acordo com as prioridades estabelecidas para o componente, uma vez que a maximização de uma propriedade pode dar origem à insuficiência numa outra. Este tipo de correlação fica patente nos gráficos das figuras 25 e 26 que traduzem a evolução de propriedades de módulo e resistência ao corte, à compressão e à tracção, em função da densidade de vários materiais [16].

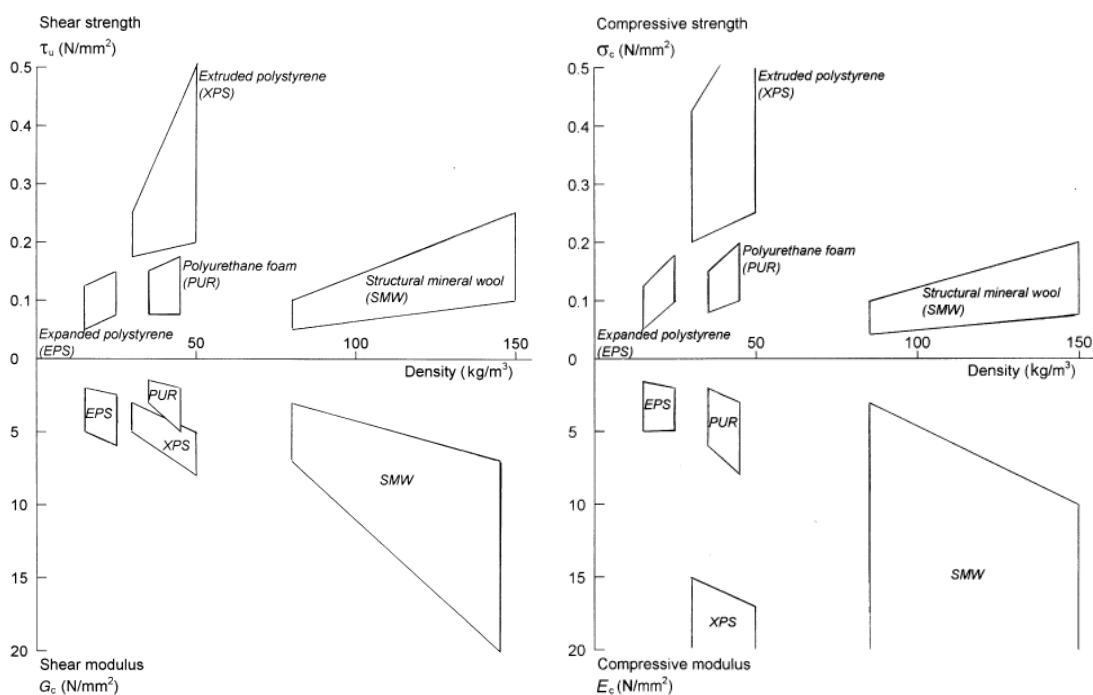


Figura 25 – Variação das propriedades de materiais de núcleo em função da densidade [16].

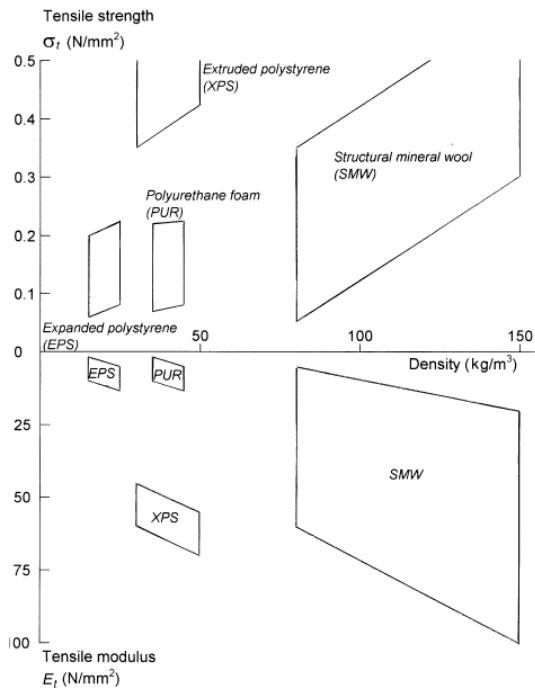


Figura 26 – Variação das propriedades de materiais de núcleo em função da densidade [16].

Tendo em comum uma baixa densidade as espumas (figura 27) encontram-se divididas entre espumas poliméricas, sendo as mais comuns as de policloreto de vinil (PVC), polimetacrilamida (PMI), poliestireno, poliuretano, e as espumas de resina fenólica, caracterizando-se estas por terem um bom desempenho estrutural e térmico a baixo custo [16].

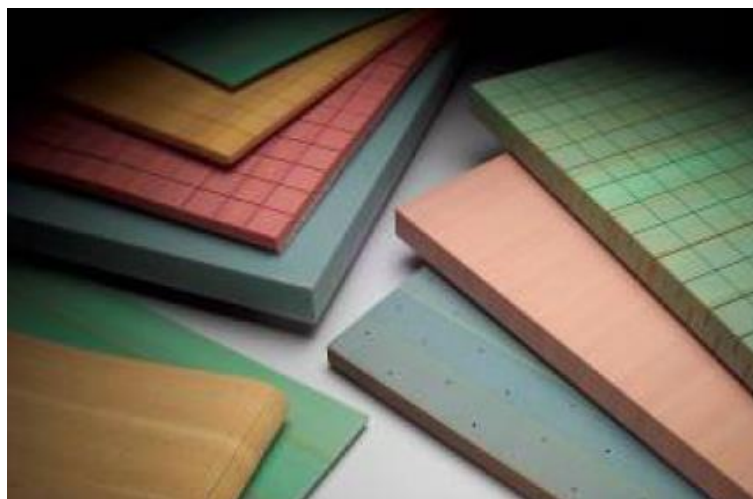


Figura 27 – Exemplos de espumas para núcleos de painéis sanduíche [20].

Os ninhos de abelha (figura 28) são estruturas celulares tipicamente de geometria hexagonal (podendo apresentar-se em outras como a triangular) que podem ser constituídos de diferentes materiais, como o alumínio, a aramida, os polímeros, a cerâmica e o cartão impregnado com resinas. Este tipo de núcleos é aquele que apresenta uma melhor rigidez específica e resistência específica à compressão sendo que por outro lado, dada a sua geometria, tipicamente não resultam em painéis com boas propriedades de isolamento térmico e acústico [16] reforçando-se assim a ideia da necessidade de compromisso.

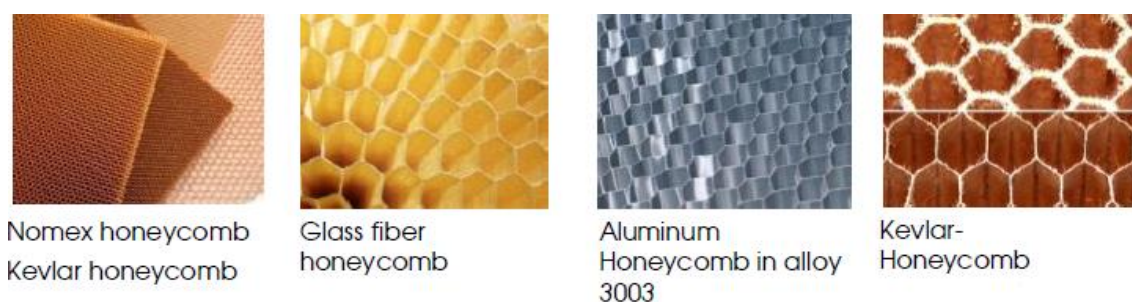


Figura 28 – Exemplos de ninho de abelha para núcleos de painéis sanduíche [21].

Perante a variedade de espumas e ninho de abelha existente, a aplicação de outros materiais como a madeira de balsa, a cortiça e os núcleos corrugados, corresponde a uma fatia diminuta da totalidade, não deixando estas no entanto de ter o seu lugar em aplicações específicas. A título de exemplo a utilização de núcleos de aglomerados de cortiça pode ter justificação na necessidade de dar resposta a requisitos térmicos e acústicos, como é o caso das motivações que levaram à criação deste Trabalho Final de Mestrado.

3.2.3. Adesivos

Sendo o elemento adesivo o responsável por assegurar a ligação entre o núcleo e peles, a escolha deste deve garantir que a falha do painel sanduíche não ocorre devido a este, quer por fenómenos de ruptura coesiva quer por fenómenos de ruptura adesiva, devendo na prática o adesivo ter, nas referidas áreas, propriedades mecânicas equivalentes ou superiores ao material de núcleo. De entre a vastíssima gama de materiais adesivos e

suas diferentes combinações verifica-se que os mais comumente utilizados na construção de painéis sanduíche são as colas de poliuretanos nas suas configurações de um ou dois componentes, administrando-se em forma líquida, facilitando a sua aplicação, em quantidades que rondam os 200 a 350 g/m² [16].

Adesivos de um componente são na prática adesivos de dois componentes previamente misturados e activados cujo processo de cura se dá pela sua exposição à humidade. Esta cura, que se dá sobre pressão tem tipicamente uma duração inferior a uma hora quando à temperatura ambiente, podendo ser substancialmente reduzida se for considerada a aplicação de calor. Podem ser ainda adicionadas cargas a estes adesivos por forma a acelerar o processo de cura, melhorar o comportamento ao fogo, ou melhorar a sua resistência mecânica [16].

Por seu lado, no caso dos adesivos de dois componentes, a mistura é feita no momento da aplicação, normalmente entre uma resina base (poliól) e um agente de cura (isocianato), podendo também a estes, à semelhança do caso dos adesivos de um componente, ser adicionadas cargas com os mesmos intuitos. O tempo de cura sobre pressão destes adesivos pode ser controlado não só através do rácio entre as quantidades dos dois componentes mas também com recuso à aplicação de calor [16].

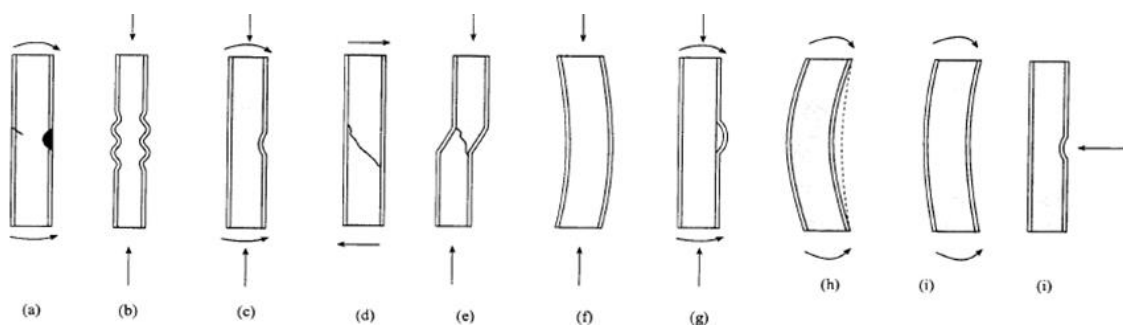
3.3. Vantagens e desvantagens

O uso de estruturas em configuração sanduíche possibilita, como anteriormente referido, importantes vantagens nomeadamente no que toca à substancial diminuição do peso do componente para os mesmos requisitos mecânicos, o que fica evidente pelas elevadas resistência específica e rigidez específica que podem ser alcançadas com estes elementos. Sendo a redução do peso uma das maiores vantagens directas e um forte impulsionador do uso desta tecnologia, as vantagens da mesma não se esgotam com este argumento. Quando se trata de componentes ou estruturas móveis que requerem a utilização de algum tipo de energia, seja fóssil, eléctrica, solar, ou outra, para promover esse deslocamento, encontram-se também importantes poupanças energéticas relacionadas com o aumento da eficiência global do sistema que se traduz em benefícios ambientais [18].

Da mesma forma a redução dos consumos energéticos, durante o ciclo de vida ou de exploração da estrutura, resulta em importantes poupanças monetárias. Por outro lado, mas não com menor importância, há necessidade de destacar os benefícios que podem ser encontrados ainda na fase de projecto uma vez que a utilização deste tipo de estruturas, em detrimento de outros materiais como a madeira ou os metais que, logo à partida, têm limitações na sua forma e dimensões, possibilita a definição de formas e geometrias complexas [18].

Entre os factores de escolha por esta tecnologia, acima descritos, está também a possibilidade da inclusão nestes painéis de outras funções que, pelas tecnologias normais, estariam reservados para outros elementos adicionais, promovendo-se assim a simplificação global do sistema através de um menor número de componentes. De entre os quais podem ser referidas as vantagens térmicas e acústicas, não se resumindo a estes [18].

No entanto esta tecnologia, como qualquer outra, também apresenta desvantagens, podendo na prática verificar-se que o seu uso incorre numa maior complexidade dos elementos que por ela têm origem, o que por sua vez origina também um maior custo de fabrico, aliado a uma maior complexidade de produção [17]. Estas desvantagens são as principais responsáveis pelo retardamento do uso desta tecnologia em aplicações mais triviais. A juntar a estas há também que referir os variados, complexos, e por vezes difíceis de prever, modos de falha em que estas estruturas incorrem e que se representam na figura 29 [22].



Failure Modes			
(a)	Failure of the face: yielding or fracture	(f)	Overall buckling
(b)	Wrinkling of the face	(g)	Delamination between core and face
(c)	Dimpling of the face	(h)	Long-term creep
(d)	Shear failure of the core material	(i)	Overall deflection
(e)	Shear crimping of the core material	(j)	Local deflection

Figura 29 – Modos de falha de painéis sanduíche [23].

Para além dos modos de falha da estrutura sanduíche propriamente dita há também que considerar os modos de falha originários das ligações mecânicas entre painéis ou entre painéis e outros elementos.

Ensaio práticos verificam que a falha de painéis sanduíche com núcleos ninho de abelha, quando solicitados pelos elementos de ligação mecânica (exemplos na figura 30), ocorre inicialmente por falha do núcleo ao corte, ocorrendo de seguida a falha das peles. Verifica-se também que a resistência desses painéis à falha é fortemente dependente da posição destes elementos de ligação e da sua dimensão. Por outro lado a falha de juntas entre painéis (exemplos na figura 31) sujeitos a cargas de flexão ou de corte dá-se maioritariamente por um fenómeno de delaminação entre as camadas dessas estruturas [22]. Na prática verifica-se que os mesmos problemas são também susceptíveis de ocorrer em painéis sanduíche com núcleos em espumas e aglomerados compósitos de cortiça.

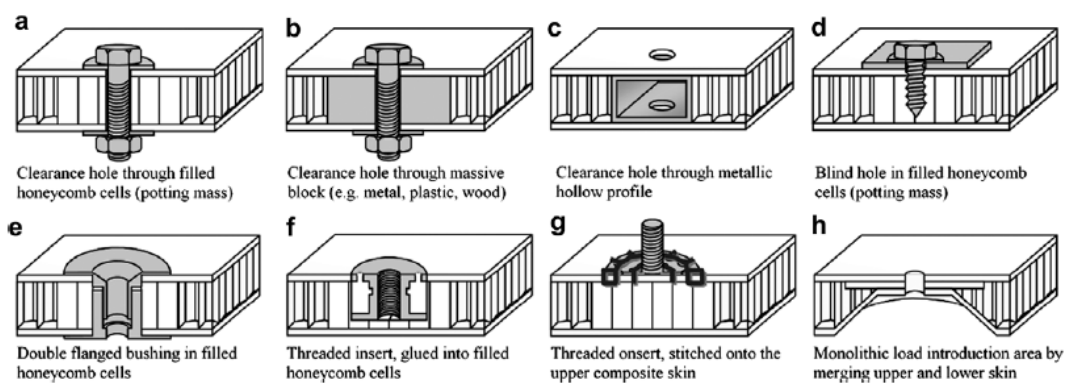


Figura 30 – Exemplos de ligações mecânicas a outros elementos [22].

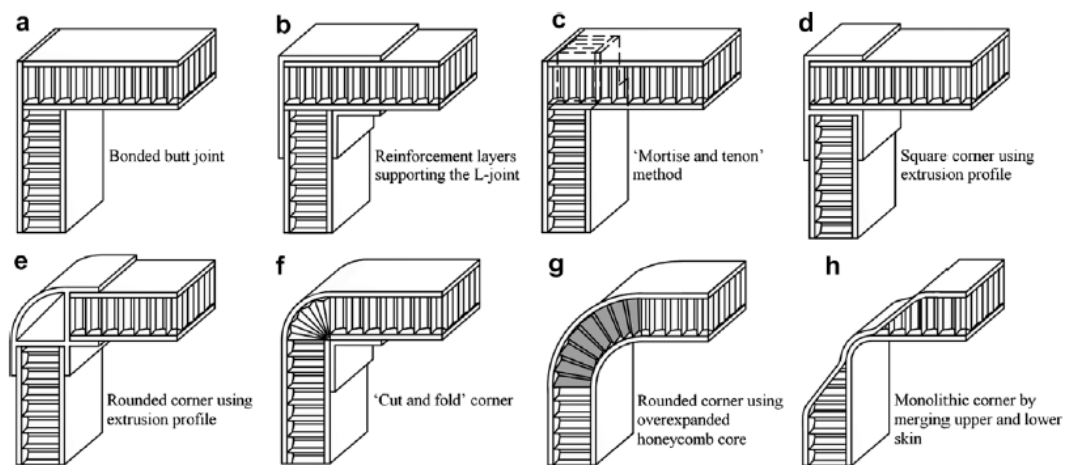


Figura 31 – Exemplos de ligações entre painéis [22].

3.4. Enquadramento à aplicação

A utilização de aglomerados compósitos de cortiça como materiais de núcleo de painéis sanduíche não é um conceito novo, como provam os trabalhos desenvolvidos por Sargianis et al. [24] e Castro et al. [25].

O trabalho desenvolvido por Sargianis et al. trata da comparação, do ponto de vista das propriedades mecânicas, acústicas e de amortecimento, entre painéis sanduíche com peles em fibras de carbono e núcleos em Rohacell e em cortiça [24]. Os autores deste trabalho concluíram que o uso da configuração com núcleo em cortiça pode ser uma solução para problemas de ruído estrutural em estruturas sanduíche e que este tipo de configuração, quando otimizado, potencia uma performance acústica e vibrática incomparáveis sem a necessidade do uso de materiais adicionais ou penalizações em performance mecânica ou em peso, ao mesmo tempo que mostrando propriedades térmicas aliciantes [24].

Por seu lado, o trabalho desenvolvido por Castro et al. trata, da realização de ensaios mecânicos de flexão para a caracterização do comportamento de diferentes tipos de aglomerados de cortiça granulada, comparando-os com as propriedades de painéis sanduíche com núcleos em ninho de abelha de alumínio, e tendo em vista a otimização de um núcleo de aglomerado de cortiça para esta aplicação. Estes autores concluíram que o comportamento dos aglomerados de cortiça, enquanto materiais de núcleo, depende essencialmente da dimensão dos grânulos, da sua densidade e do processo de aglomeração, podendo estes parâmetros ser ajustados consoante a aplicação a que esses produtos se destinem [25].

Como tal, e verificando-se pelos vários trabalhos desenvolvidos até à data nesta área, ficam evidentes as potencialidades do uso deste tipo de construção, painéis sanduíche, fazendo uso da cortiça enquanto material de núcleo. É nesse sentido que a empresa Amorim Cork Composites iniciou, nos últimos anos, uma linha de desenvolvimento dedicada a este conceito, tendo como intuito a potencialização do uso da cortiça também enquanto material estrutural.

A referida linha de desenvolvimento centra-se sobretudo na engenharia de soluções de painéis compósitos para a indústria ferroviária, nomeadamente com aplicação enquanto

painéis de piso. Esta orientação para a indústria ferroviária prende-se com necessidades técnicas a que esta necessita dar resposta, nomeadamente na redução de peso destes elementos, um dos maiores impactantes no custo de operação do equipamento, e à melhoria da performance térmica e acústica, intimamente ligada não só ao conforto dos passageiros mas também à redução indirecta de custos de exploração (diminuição da energia consumida nos equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado).

Há no entanto também a considerar a necessidade, cada vez mais presente, de incorporar produtos com uma forte orientação para a consciência ambiental. Também nesse sentido se pode realçar a aplicação da cortiça e do alumínio, sendo a primeira, como já visto, um material natural, reciclável e renovável, e o alumínio sendo, por seu lado, um material facilmente reciclável.

4. Caracterização Experimental

As propriedades segundo as quais os painéis a desenvolver serão caracterizados, definidas como objectivo de desenvolvimento deste documento, estão intimamente ligadas à aplicação a que este conceito se destina, ou seja, à sua utilização como painéis de piso na indústria ferroviária.

Desta forma o plano de ensaios a definir irá abranger não só as características mais óbvias como a medição do peso por unidade de superfície e as elementares propriedades da mecânica estática, como a resistência à flexão e o módulo elástico à flexão, mas também outros menos evidentes que estão relacionados com a durabilidade em serviço, mais concretamente no que concerne à absorção de água, à degradação por envelhecimento acelerado e à resistência a esforços de impacto. Juntam-se aos anteriores a já referida caracterização acústica e térmica sobre a forma da determinação do isolamento acústico ao ruído aéreo e da condutividade e resistividade térmica.

Contudo esta caracterização experimental não pretende ser exaustiva mas antes facultar, de um ponto de vista geral, a atribuição de valores mensuráveis às diversas propriedades que mais facilmente possibilitam a comparação entre diversos produtos. Pretende-se assim promover a possibilidade de avaliação objectiva das vantagens e desvantagens destes novos produtos em comparação directa com às soluções típicas e implementadas no mercado ferroviário para a aplicação em causa.

4.1. Peso

Tratando-se de um produto composto por vários materiais, cujas densidades são conhecidas, a medição da massa por unidade de superfície do conjunto será calculada através do conhecimento da massa de cada painel e das suas dimensões (comprimento e largura). Uma vez que todos os painéis, neste Trabalho Final de Mestrado, terão a mesma espessura total, 20mm, este simples cálculo, indicado em (1), permite a comparação directa entre os mesmos.

$$M = \frac{m}{c \times l} \quad (1)$$

Onde:

M é a massa por unidade de superfície (Kg/m²)

m é a massa do painel (Kg);

c é o comprimento do painel (m);

l é a largura do painel (m).

O condicionamento dos painéis fabricados, para a medição da sua massa, será feito de acordo com o especificado na norma **EN 323:1993 - Wood-based panels. Determination of density** [26]. Esta norma prevê o alcance do estado de massa constante a uma temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e uma humidade relativa de $65\pm 5\%$, tendo estas condições sido alcançadas através da colocação dos painéis em causa numa câmara climática.

4.2. Absorção de água

A absorção de água, tanto dos materiais de núcleo como do painel sanduíche propriamente dito, é um dos mais importantes aspectos a determinar uma vez que está fortemente relacionado com a durabilidade dos mesmos quando expostos a este tipo de agressões externas. Assim sendo, a determinação da absorção de água dos materiais do núcleo seguirá a metodologia descrita na norma **ASTM C272:2012 – Standard Test Method for Water Absorption of Core Materials for Sandwich Constructions** [27].

Porém, e dado que na aplicação real o material de núcleo terá uma área de exposição à humidade/água muito reduzida, tratando-se na prática apenas da periferia do painel, já que tanto a superfície superior como a inferior estarão cobertas por peles de alumínio, este ensaio poderá não fornecer os resultados mais realistas, pelo que far-se-á um exercício semelhante para provetes sobre a forma de sanduíche e seguir-se-á a mesma metodologia que para os materiais de núcleo.

Esta norma, para materiais cuja absorção de água possa ser afectada por temperaturas de aproximadamente 110°C , especifica o condicionamento de provetes quadrados com 76,2mm de lado a uma temperatura de $49\pm 3^{\circ}\text{C}$ durante um período de 24h seguindo-se o arrefecimento até à temperatura ambiente num dessecador, e subsequente pesagem imediata para a obtenção do peso inicial do provete. Por seu lado o procedimento

promotor da absorção de água caracteriza-se pela imersão dos provetes em água destilada, à temperatura de $23\pm 3^{\circ}\text{C}$, durante um período de 24h, seguindo-se a secagem dos mesmos com papel absorvente e a sua pesagem para obtenção do peso final [27].

Recorrendo aos valores obtidos pode ser calculado o aumento de peso, em percentagem, através da fórmula (2) [27]:

$$\text{Aumento de peso} = \frac{W - D}{D} \times 100 (\%) \quad (2)$$

Onde:

W é o peso inicial (após o condicionamento);

D é o peso final (após imersão).

4.3. Envelhecimento acelerado

Relativamente à durabilidade destes painéis, provetes dos mesmos serão submetidos a ciclos de envelhecimento acelerado e posteriormente submetidos aos mesmos ensaios mecânicos que os provetes no seu estado original. Com este procedimento pretende-se aferir se daí resulta um decréscimo significativo na adesão entre camadas, na resistência à flexão e no módulo elástico.

O envelhecimento acelerado será garantido pela sujeição desses provetes a ciclos de temperatura e humidade devidamente especificados na norma **NF F31-446:1989 – Rolling stock. Composite panels with decorated or protected faces**, sendo o ciclo em causa o seguinte [28]:

1. Imersão em água a $70\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 6h;
2. Secagem ao ar durante 1h e à temperatura ambiente;
3. Secagem em estufa durante 16h e à temperatura de $70\pm 2^{\circ}\text{C}$;
4. Arrefecimento ao ar durante 1h e à temperatura ambiente.

De referir o facto de a NF F31-446 ser uma norma específica para a indústria ferroviária que identifica vários ensaios de validação quanto à aptidão de dado painel para vir a integrar parte de um sistema móvel abrangendo campos diversos que se estendem desde requisitos geométricos até ao comportamento ao fogo [28].

4.4. Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade à Flexão

A determinação da Resistência à Flexão e do Módulo de Elasticidade à Flexão seguirá o ensaio de flexão a três pontos representado na figura 32 e definido na norma **ASTM C393:2011 – Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure** [29]. No entanto, pelo facto de os painéis desenvolvidos neste TFM se relacionarem directamente com os de contraplacado de madeira que comumente ocupam lugar na indústria ferroviária, a definição da dimensão dos provetes seguirá o estipulado na norma **EN 310:2002 – Wood-based panels – Determination of módulos of elasticity in bending and of bending strength** [30] sem que daí resulte qualquer imprecisão ou contradição ao método descrito pela primeira.

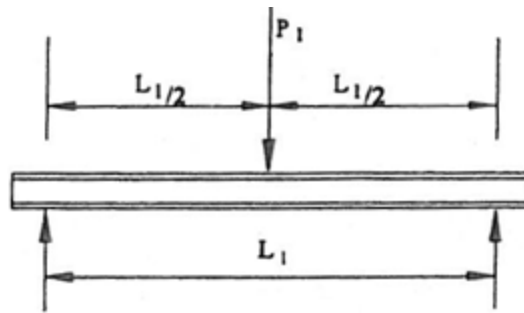


Figura 32 – Ensaio de flexão a três pontos [29].

Em termos práticos a última estipula que o span de ensaio deva ser 20 vezes a espessura da viga a ensaiar, que o comprimento total da mesma deva exceder em 50mm o valor de span, e, de igual forma, que os provetes deverão ser rectangulares e ter uma largura de 50mm [30]. A mesma norma define também as dimensões relevantes (figura 33) que o dispositivo a ser utilizado para o ensaio de flexão a três pontos deverá ter e ainda a formulação (3) (4) utilizada para os cálculos [30].

$$E_m = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^3 (a_2 - a_1)} \text{ (GPa)} \quad (3)$$

Onde:

E_m é o Módulo de Elasticidade à Flexão (GPa);

l_1 é a distância entre os centros dos apoios (mm);

$(F_2 - F_1)$ é o incremento de força na secção recta da curva força-deformação (N);

b é a largura do provete (mm);

t é a espessura do provete (mm);

($a_2 - a_1$) é o incremento da flecha a meio-comprimento do provete (mm).

$$f_b = \frac{3F_{max}l_1}{2bt^2} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

Onde:

f_b é a Resistência à Flexão (MPa);

F_{max} é a carga de ruptura (N);

l, b, t conforme descritos anteriormente.

Os provetes aqui ensaiados serão condicionados para obtenção do estado de massa constante através da sujeição dos mesmos a uma temperatura de $23 \pm 3^\circ\text{C}$ e uma humidade relativa de $50 \pm 5\%$, conforme estipulado pela norma ASTM C393:2011.

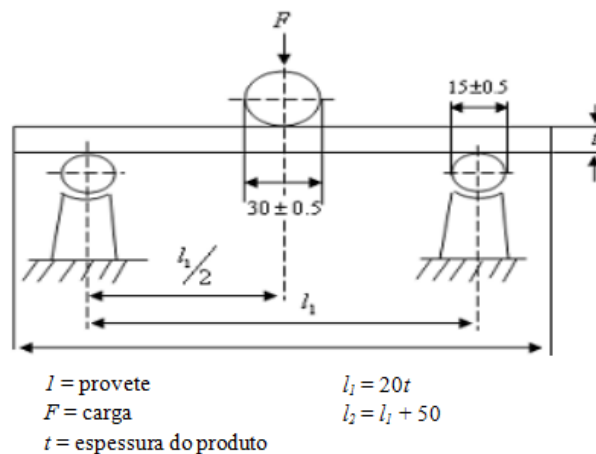


Figura 33 – Dispositivo para ensaio de flexão a três pontos (adaptado de [30]).

4.5. Adesão entre camadas

De igual importância ao ponto anterior, quando se determinam as propriedades mecânicas de um painel sanduíche, é a verificação da devida adesão entre camadas e da resistência dessa mesma ligação, pelo que essas características serão determinadas através do ensaio de provetes de acordo com a norma **ASTM C297:2010 – Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions** [31]. Este

método de ensaio encontra-se representado na figura 34, sendo visíveis não só o dispositivo de ensaio mas também o provete de ensaio propriamente dito e a forma como este é solicitado.

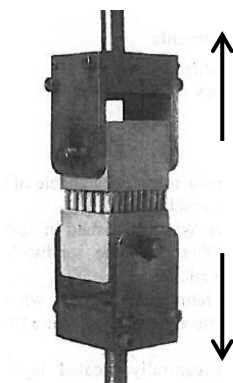


Figura 34 – Ensaio de resistência à tracção plana (adaptado de [31]).

Esta norma define que, para painéis com núcleos contínuos, os provetes de ensaio deverão ter uma área mínima de 625mm^2 e ter forma circular ou quadrada [31], sendo que, para a execução deste procedimento, serão utilizados provetes quadrados com 50mm de lado. Por fim esta norma especifica também que a determinação da resistência à separação seja feita através do cálculo da fórmula (5) [31]:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Onde:

σ é a resistência à tracção plana (MPa);

P é a tensão máxima (N);

A é a área da secção transversal (mm^2).

À semelhança dos ensaios anteriormente descritos também os provetes para ensaios de resistência à tracção plana, e conforme recomendado pela norma ASTM C297:2000, serão condicionados numa atmosfera de $23\pm 3^\circ\text{C}$ de temperatura e $50\pm 5\%$ de humidade relativa até que seja alcançado o estado de massa constante [31].

4.6. Resistência à Extração de Parafuso

A resistência à extração de ligações aparafusadas, e como tal a aplicabilidade da utilização deste tipo de ligações, será verificada através da metodologia indicada na norma **EN 320:2011 – Particleboards and fibreboards. Determination of resistance to axial withdrawal of screws** [32]. Neste ponto é, mais uma vez, feita a relação com os comuns painéis à base de madeira aos quais a norma em causa se dirige.

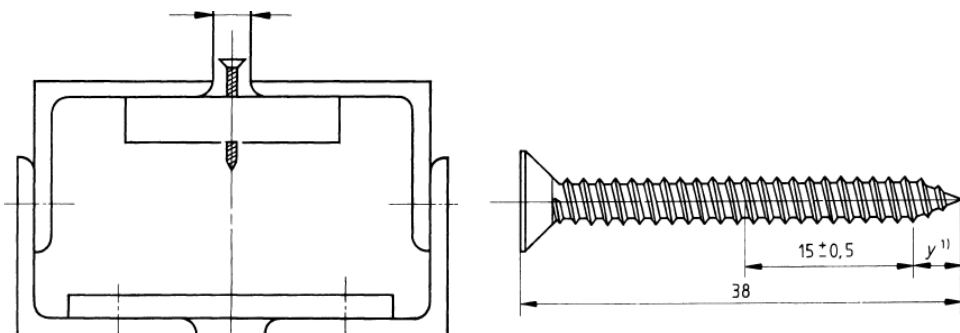


Figura 35 – Dispositivo de teste (esquerda) e parafuso de ensaio (direita) [32].

Esta norma estipula que os provetes deverão ser quadrados, com a dimensão de 75x75mm e ter a espessura do painel sanduíche a caracterizar [32], no entanto, e por limitações do dispositivo mecânico serão utilizados provetes com 50x50mm sem que daí se prevejam problemas ou imprecisões no método seguido.

De igual forma é também estipulada pela mesma norma a penetração que o parafuso de ensaio deverá ter na amostra, correspondendo esta a 15mm da sua rosca mais o comprimento da ponta cônica [32], sendo que uma representação gráfica destes parâmetros pode ser encontrada na figura 35.

De referir também que esta norma especifica o condicionamento [32] dos provetes de ensaio em condições semelhantes à que serão garantidas aquando da pesagem dos painéis fabricados com vista a auferir a sua massa por unidade de superfície. Por essa razão, e sendo os provetes para este ensaio recolhidos desses mesmos painéis, considera-se que não é necessário proceder a novo condicionamento.

4.7. Isolamento Acústico

As propriedades acústicas de diversas soluções de painéis sanduíche preparados no decorrer deste Trabalho Final de Mestrado serão apuradas de acordo com a norma **ISO 140-3:1995 – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements** [33] que irá retornar uma gama de valores de redução acústica, R, em dB.

O método de ensaio consiste na separação, pelo painel a ensaiar, de duas câmaras acústicas, câmara emissora (onde existe um equipamento de emissão de ruído aéreo) e câmara receptora (onde está colocado um microfone receptor). Através da medição, num espectro de frequências, da diferença que se verifica entre o sinal emitido na primeira câmara e o efectivamente recebido na segunda é possível calcular o isolamento acústico promovido pelo elemento em ensaio [33].

O painel de ensaio terá dimensões de 1500x1250mm sendo que estas medidas servirão, como se verá mais à frente, para outro ensaio, nomeadamente para o ensaio de flexão sob carga distribuída.

4.8. Condutibilidade e Resistividade Térmica

Em paralelo com as propriedades acústicas também as propriedades térmicas serão verificadas, desta feita com recurso à norma **EN 12664:2001 – Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Dry and moist products of medium and low thermal resistance** [34] que será o método seguido para a determinação da condutividade e resistividade térmica de várias configurações desenvolvidas neste TFM.

Para a execução destes ensaios uma amostra de 500x500mm é colocada entre dois pratos e isolada termicamente do meio ambiente circundante [34] através do uso de um material com baixa condutividade térmica, como forma de evitar perdas térmicas ou influência externa. A determinação da condutibilidade térmica do material é feita

através da medição do fluxo térmico que se estabelecerá entre os dois pratos separados pela amostra, sendo que a existência deste se deve ao facto de um dos pratos ser aquecido e mantido a uma temperatura constante, enquanto o segundo, também com temperatura controlada, é mantido a uma temperatura inferior [34], impondo-se assim um diferencial de temperaturas.

Convém referir nesta fase que tanto os ensaios de condutibilidade térmica como os ensaios de isolamento acústico serão conduzidos por entidades externas à Amorim Cork Composites uma vez que o laboratório desta última não se encontra preparado para a execução de tais ensaios.

4.9. Resistência ao Impacto

A resistência ao impacto será determinada através de uma metodologia experimental não normalizada mas utilizada pela indústria ferroviária e representada na figura 36. Trata-se de um método empírico de comparação entre soluções no qual uma esfera de aço com um diâmetro de 50mm e uma massa de 500g é largada, a uma altura de 1,0m, sobre um provete de teste com dimensões de 220x220mm. A queda livre desta esfera provoca uma indentação no provete de teste, sendo esta posteriormente medida com recurso a um comparador.



Figura 36 – Ensaio de resistência ao impacto. Montagem experimental (esquerda) e material necessário (direita).

O provete de teste é, durante este ensaio, suspenso em duas arestas simulando a sua aplicação real que o impossibilita de ter toda a sua face inferior em contacto com uma superfície rígida.

4.10. Flexão sob Carga Distribuída

O ensaio de flexão sob carga distribuída pretende verificar o comportamento do painel sanduíche quando, simulada a sua aplicação real, se encontra sujeito a cargas distribuídas. Este ensaio pretende simular o carregamento do painel sanduíche pelos passageiros do comboio/metro atribuindo um valor médio de peso por pessoa e aproximando a sua distribuição aleatória a uma carga distribuída.

Também neste ensaio não é seguida uma norma mas sim uma metodologia experimental sugerida por fabricantes de material ferroviário como modo de validação do comportamento do painel. Assim, o painel é colocado sobre a estrutura rígida, representada na figura 37, que simula os suportes do piso na aplicação real sendo possível modificar a distância entre estes suportes por forma a validar casos distintos. Após isto são colocados pesos sobre o painel de forma incremental e medida, através de um comparador, a sua flexa máxima.

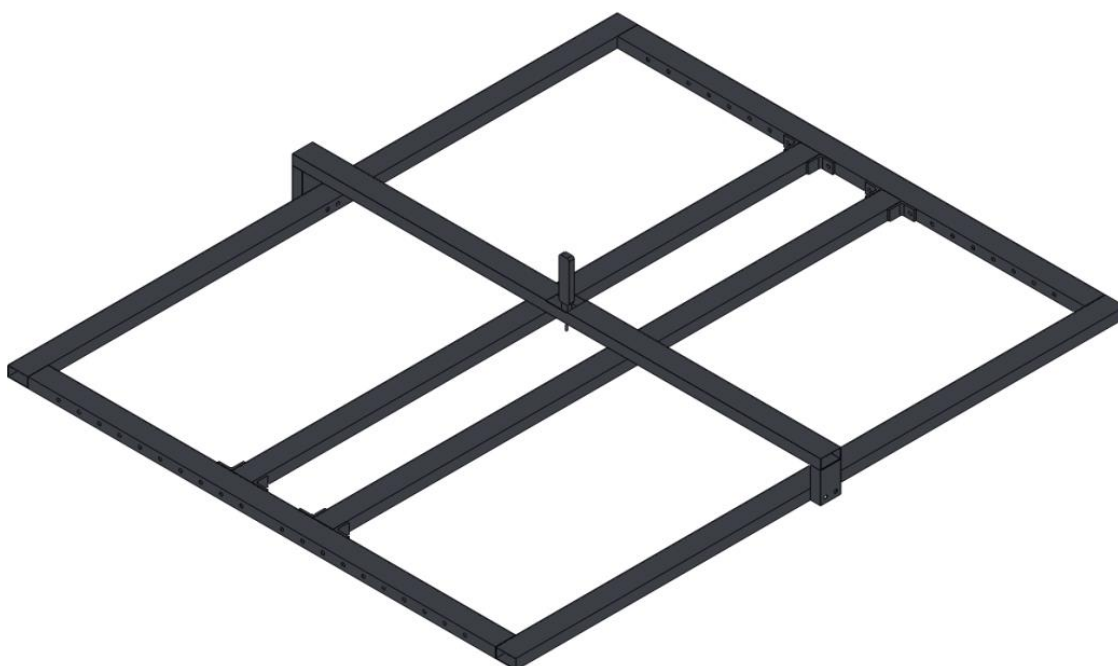


Figura 37 – Estrutura para ensaio de flexão sob carga distribuída.

4.11. Plano de Ensaio

Como forma de síntese dos vários ensaios de caracterização descritos nos pontos imediatamente anteriores, abaixo pode ser encontrada a tabela 6 que se apresenta sobre a forma de um plano dos ensaios a realizar aos painéis que serão fabricados no decurso deste Trabalho Final de Mestrado. Neste quadro é compilada a informação de, não apenas os ensaios a fazer a cada um dos painéis, mas também a norma a que respeitam esses ensaios, o número de provetes a ensaiar, a sua dimensão, e o condicionamento a que serão sujeitos.

Tabela 6 – Plano de Ensaio.

Requisito	Norma	Condicionamento	Nº Provetes	Dimensão Provetes (mm)
Peso por unidade de área	EN 323	T = 20±2°C HR = 65±5%	1	450x400
Absorção de Água (núcleo)	ASTM C-272	T = 49±3°C durante 24h	3	76,2x76,2
Absorção de Água (painel)	ASTM C-272	T = 49±3°C durante 24h	3	76,2x76,2
Resistência à flexão e Módulo de Elasticidade à flexão (estado inicial)	ASTM C-393	T = 23±3°C HR = 50±5%	3	450x50
Resistência à flexão e Módulo de Elasticidade à flexão (estado envelhecido)	ASTM C-393	Envelhecimento: NF F31-446	3	450x50
Adesão entre camadas (estado inicial)	ASTM-C297	T = 23±3°C HR = 50±5%	3	50x50
Adesão entre camadas (estado envelhecido)	ASTM-C297	Envelhecimento: NF F31-446	3	50x50
Resistência à extracção de parafuso	EN 320	T = 20±2°C HR = 65±5%	3	50x50
Isolamento Acústico	ISO 140-3	-	1	1500x1250
Condutibilidade e Resistividade Térmica	EN 12664	-	1	500x500
Resistência ao Impacto	-	-	1	220x220
Flexão sob carga distribuída	-	-	1	1500x1250

De referir que nem todos os ensaios acima referidos serão executados em todas as configurações de painel sanduíche que serão fabricadas. Na prática ocorrerá, no decorrer dos ensaios iniciais, nomeadamente dos mecânicos (resistência à flexão, módulo de elasticidade à flexão, adesão entre camadas, etc.), uma triagem por forma a verificar quais das configurações se apresentam como mais promissoras, abandonando-se assim aquelas que apresente uma performance insatisfatória ou que, de uma forma geral, não tragam vantagens em relação a uma outra.

5. Materiais utilizados

Estando identificados os requisitos, respectivas normas e metodologias experimentais, bem como definido o plano de ensaios, é importante identificar e caracterizar os materiais que serão utilizados para o fabrico dos painéis sanduíche que este Trabalho Final de Mestrado pretende caracterizar pelo que se torna esse o objectivo do presente capítulo. A combinação efectiva destes vários materiais, que resultará em diferentes painéis sanduíche também eles com propriedades distintas, será coberta no capítulo seguinte quando for descrito o procedimento de fabrico dos mesmos.

5.1. Peles

As peles dos painéis sanduíche a fabricar serão compostas por folhas de alumínio com espessura de 1,0mm em liga 5754 com têmpera H48 e com um fino revestimento epoxídico (epoxy coating) visíveis na figura 38. Este revestimento tem uma função anti corrosiva garantindo a durabilidade da pele de alumínio por um extenso período de tempo, propriedade esta imprescindível à aplicação a que se destina.

Trata-se de um material normalizado (EN AW 5754 H48) que é recebido com um filme de protecção, apropriado ao corte laser, numa das suas faces e que servirá como elemento protector durante as fases de manuseio e processamento deste material, evitando-se assim danos significativos ao seu revestimento que possam levar a uma degradação prematura. A liga em causa caracteriza-se por ter a composição química, propriedades mecânicas e físicas apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 – Composição química e propriedades mecânicas das peles [35] [36] [37].

EN AW 5754 H48							
Composição Química							
Fe (%)	Cr (%)	Ti (%)	Zn (%)	Mg (%)	Mn (%)	Si (%)	Cu (%)
0,40	0,30	0,15	0,20	2,6-3,6	0,50	0,40	0,10
Propriedades Físicas / Mecânicas							
Resistência à Tração				280 MPa			
Limite Elástico				220 MPa			
Densidade				2.68 g/cm ³			
Ponto de Fusão				570-640 °C			
Expansão Térmica				24,4x10 ⁻⁶ /K			

Módulo de Elasticidade	70 GPa
Condutibilidade Térmica	147 W/m.K
Resistividade Eléctrica	$0.049 \times 10^{-6} \Omega.m$

A escolha de alumínio para as peles dos painéis sanduíche deve-se à necessidade de selecção de um material que forneça as devidas propriedades de resistência mecânica ao mesmo tempo que tendo uma densidade moderada. Desta forma chapas de aço, ainda que com propriedades mecânicas assinalavelmente superiores apresentam também um peso significativamente mais elevado pelo que, de entre os materiais metálicos, a escolha recaiu sobre a já referida liga de alumínio.



Figura 38 – Chapa de alumínio EN AW 5754 H48.

De ressaltar é o facto de apenas se utilizar alumínio para as peles dos vários painéis sanduíche. Esta realidade possibilita ter uma base directa de comparação entre painéis, tornando-se numa ferramenta extremamente útil para se verificar as implicações e consequências das alterações que serão impostas nos materiais de núcleo e adesivos.

5.2. Núcleo

Ao contrário do que se verifica com o material das peles, onde todos os painéis encontrarão o seu denominador comum, os núcleos farão uso de diferentes materiais e

de diferentes combinações entre os mesmos. Com efeito são usados três materiais distintos para o núcleo dos painéis sanduíche, tendo todos eles como constituinte comum a cortiça. Na prática será utilizado um material de aglomerado de cortiça granulada e dois materiais aglomerados compósitos de cortiça com borracha.

O primeiro material, aglomerado de cortiça granulada (figura 39), tem a sua escolha justificada primeiramente por ter sido desenvolvido pela ACC como parte da sua gama de materiais de núcleo para a indústria dos compósitos, gama essa designada CoreCORK, e pela sua relativa baixa densidade que possibilitará um conjunto igualmente com um peso total baixo. Esta última é uma das fundamentais preocupações pois, como já foi referido, o baixo peso é um dos principais objectivos das estruturas sanduíche e a razão de ser da utilização das mesmas.

Por outro lado, a selecção dos restantes dois materiais, aglomerados compósitos de cortiça com borracha (figura 40 e figura 41), sendo materiais de densidades muito superiores, visa dar resposta a limitações de isolamento acústico destes painéis sanduíche, pelo que, com a inclusão destes, se pretende alcançar um compromisso de aceitação entre as propriedades mecânicas, térmicas, acústicas e o peso total do conjunto. Estes materiais pertencem à gama ACM da Amorim Cork Composites cujo principal intuito é a sua aplicação enquanto Heavy Mass Layer (HML) justamente com o objectivo de melhorar o isolamento acústico dos sistemas em que são inseridos.

Na tabela 8 estão indicadas as principais propriedades tabeladas para o material CoreCORK NL20 que será o material de núcleo base nos painéis que serão fabricados.

Tabela 8 – Propriedades CoreCORK NL20 [38].

NL20			
Método de Ensaio	Propriedade	Unidade	Valor
ASTM C271	Densidade	Kg/m ³	200
ASTM C365	Resistência à Compressão	MPa	0.5
ASTM C365	Módulo à Compressão	MPa	6.0
ASTM C297	Resistência à Tracção	MPa	0.7
ASTM C273	Resistência ao Corte	MPa	0.9
ASTM C273	Módulo ao Corte	MPa	5.9
ASTM C377	Condutividade Térmica	W/m ^o K	0.034
ASTM E756	Factor de Perda @ 1KHz	-	0.043

Este material apresenta-se sobre a forma de placas com a dimensão de 1000x500mm e com uma espessura de 13 e de 18mm, podendo esta ser alterada de acordo com as necessidades individuais de cada aplicação.



Figura 39 – Placas CoreCORK NL20.

Para os materiais CoreCORK ACM poderá ser visto na tabela 9 e na tabela 10 que a densidade dos mesmos é em muito superior à do material NL20. Na prática, como pode ser visto nas tabelas de propriedades que se seguem, a densidade destes materiais é três (650Kg/m³) a seis (1200Kg/m³) vezes superior àquela encontrada no primeiro (200Kg/m³).

Tabela 9 – Propriedades CoreCORK ACM15 [39].

ACM15			
Método de Ensaio	Propriedade	Unidade	Valor
ASTM F1315	Densidade (min)	Kg/m ³	650
ASTM F152	Resistência à tracção	MPa	1.3
ISO 1856	Resistência à compressão, 50%def @ RT	%	15
ISO 8301	Resistividade Térmica	m°K/W	7.1
-	Tensão @ 10% compressão	MPa	0.83
-	Temperatura Transição Vítre (Tg)	°C	-65
-	Factor de Perda @ 20°C - 1Hz	-	0.2
-	Factor de Perda Máximo @ 1Hz	-	0.26 @ -54°C

Tabela 10 – Propriedades CoreCORK ACM89 [40].

ACM89			
Método de Ensaio	Propriedade	Unidade	Valor
ASTM F1315	Densidade (min)	Kg/m ³	1200
ASTM F152	Resistência à tracção	MPa	1.2
ISO 1856	Resistência à compressão, 50% def @ RT	%	37
ISO 8301	Resistividade Térmica	m°K/W	6.7
-	Tensão @ 10% compressão	MPa	1.3
-	Temperatura Transição Vítea (Tg)	°C	-51
-	Factor de Perda @ 20°C - 1Hz	-	0.2
-	Factor de Perda Máximo @ 1Hz	-	0.29 @ -35°C

Estes têm origem através da operação de laminagem de cilindros dos seus respectivos materiais, obtendo-se assim rolos de material com a espessura requerida, no caso específico deste TFM em 5mm. As operações de laminagem poderão ter por base cilindros de maior ou menor dimensão pelo que assim se podem também obter rolos com largura e comprimento adequados.



Figura 40 – Rolo CoreCORK ACM15.



Figura 41 – Rolo CoreCORK ACM89.

5.3. Adesivo

À semelhança do que acontece com os materiais de núcleo, também para os materiais adesivos serão utilizados diferentes produtos, possibilitando que, também neste componente, seja feita uma comparação da variação das propriedades mecânicas dos painéis sanduíche com diferentes adesivos.

A primeira possibilidade de uso é uma cola líquida de dois componentes à base de poliuretano (figura 42 e tabela 11) apropriada ao fabrico de painéis sanduíche, conforme anunciado pelo fabricante [41]. A utilização desta cola envolve a mistura desses dois componentes, a deposição sobre as peles de alumínio, e subsequente dispersão sobre estas garantindo uma película fina e homogênea de adesivo.

A segunda possibilidade visa verificar a hipótese de simplificação do processo de fabrico destes painéis através do uso de filmes adesivos (figura 43 e tabelas 12 e 13) à base de Polietileno de Alta Densidade (HDPE) e de Polipropileno (PP), também estes apropriados à construção de painéis sanduíche, neste caso específico, de painéis com núcleos ninho de abelha [42] [43]. Uma vez que estes adesivos se apresentam em estado

sólido a sua aplicação fica bastante simplificada, no entanto, é necessário o uso de temperatura e pressão para que o processo de colagem efectivamente se dê. Outro ponto positivo do uso deste tipo de adesivos é a diminuição do desperdício uma vez que podem ser recebidos ou cortados à medida dos painéis a construir.

Tabela 11 – Propriedades Sikaforce 7710 L100 [41].

SIKA Sikaforce 7710 L100		
Propriedades	Componente A SikaForce 7710 L100	Componente B SikaForce 7710
Base química	Polióis	Isocianato (derivados)
Cor	Bege	Castanho
Cor da mistura	Bege	
Mecanismo de cura	Polimerização	
Densidade	1,6 g/cm ³ aprox.	1,2 g/cm ³ aprox.
Densidade da mistura	1,5 g/cm ³ aprox.	
Rácio de Mistura	Em volume	100:25
	Em Peso	100:19
Viscosidade	Brookfield – RVT6/20	30.000 mPa.s aprox.
	Brookfield – RVT2/50	250 mPa.s aprox.
Viscosidade mistura	Brookfield – RVT6/20	10.000 mPa.s aprox.
Temperatura de Aplicação	15-30°C	
Tempo de Aplicação	100 min. aprox.	
Tempo de Abertura	100 min aprox. (Ver diagrama 1)	
Tempo de pressão	230 min aprox. (ver diagrama 1)	
Dureza Shore D	80 D aprox.	
Resistência à Tração	13 N/mm ² aprox.	
Extensão de Cedência	8% aprox.	
Resistência ao Corte	9 N/mm ² aprox.	



Figura 42 – Cola Sika Sikaforce 7710 L100.

Tabela 12 – Propriedades Collano 22.110 [42].

Collano 22.110 (HDPE)	
Dados do Produto	
Base	Filme adesivo termoplástico à base de poliolefina modificada
Cor	Ligeiramente opaco
Cheiro	Inodoro antes de processado
Densidade	0.91 g/cm ³
Intervalo de Fusão	120-130 °C
Índice de fluidez	3-6 g/10 min (190 °C / 21.2 N)
Temp. de Deflexão Térmica	110 °C
Resistência à Lavagem	60 °C
Resistência à Lavagem a seco	Sem indicação
Dados da Aplicação	
Gama de Temperaturas	Evitar temperaturas acima de 220°C (430°F)
Temperatura mínima na linha de adesão	130°C

Tabela 13 – Propriedades Collano 23.110 [43].

Collano 23.110 (PP)	
Dados do Produto	
Base	Filme adesivo termoplástico base de polipropileno modificado
Cor	Ligeiramente opaco
Cheiro	Inodoro antes de processado
Densidade	0.91 g/cm ³
Intervalo de Fusão	137-150 °C
Índice de fluidez	5-8 g/10 min (230 °C / 21.2 N)
Temp. de Deflexão Térmica	135 °C
Resistência à Lavagem	60 °C
Resistência à Lavagem a seco	Sem indicação
Dados da Aplicação	
Gama de Temperaturas	Evitar temperaturas acima de 220°C (430°F)
Temperatura mínima na linha de adesão	165°C

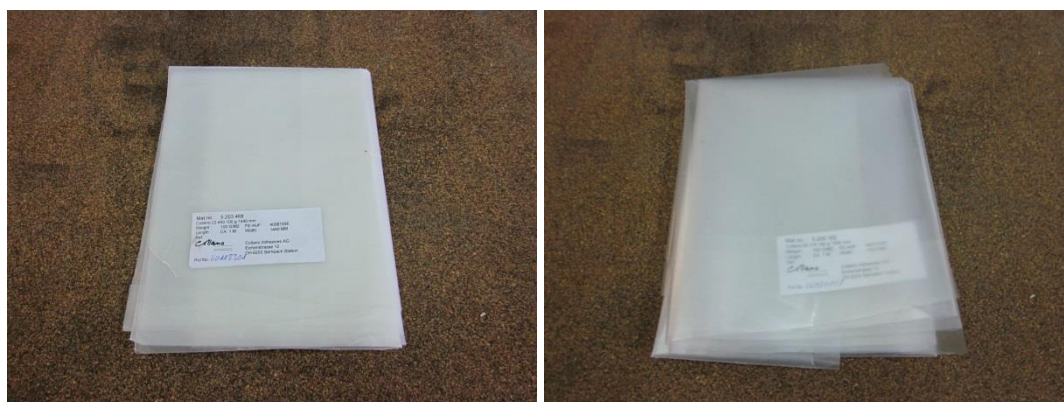


Figura 43 – Filmes adesivos Collano 22.110 (esquerda) e Collano 23.110 (direita).

6. Metodologia Experimental

Neste capítulo é descrita a parte efectivamente experimental deste Trabalho Final de Mestrado e na mesma engloba-se a definição das diferentes configurações de painéis sanduíche, a preparação dos materiais para essas mesmas configurações, o fabrico dos painéis propriamente dito e subsequente preparação de provetes, bem como os resultados obtidos através da execução do plano de ensaios anteriormente definido.

6.1. Configurações

Conforme descrito neste documento, e por forma a possibilitar a avaliação de diferentes soluções e a verificação do impacto que a inclusão de diferentes materiais tem nas propriedades globais, considera-se a utilização de vários materiais no fabrico dos painéis sanduíche.

Na tabela 14 estão evidenciadas essas configurações, sendo identificados não só os materiais que irão compor cada um dos painéis (peles, núcleo, e adesivo) mas também a espessura dessas camadas. Na mesma tabela é também atribuída uma designação a cada uma destas configurações.

Tabela 14 – Configurações dos protótipos dos painéis sanduíche.

Configurações dos Protótipos dos Painéis Sanduíche			
Designação	Material Peles (espessura)	Material Núcleo (espessura)	Adesivo (quantidade)
P01	Alumínio 5754H48 (1,0mm)	NL20 (18,0mm)	Collano 23.110 (100g/m ²)
P02	Alumínio 5754H48 (1,0mm)	NL20 (18,0mm)	Collano 22.110 (100g/m ²)
P03	Alumínio 5754H48 (1,0mm)	NL20 (18,0mm)	Sikaforce 7710L100 (200g/m ²)
P04	Alumínio 5754H48 (1,0mm)	NL20 (13,0mm) ACM15 (5,0mm)	Sikaforce 7710L100 (200g/m ²)
P05	Alumínio 5754H48 (1,0mm)	NL20 (13,0mm) ACM89 (5,0mm)	Sikaforce 7710L100 (200g/m ²)

6.2. Preparação de materiais

A etapa de preparação dos materiais para o fabrico dos painéis sanduíche é porventura o conjunto de operações, precedente à fase de fabrico propriamente dita, com maior importância para o sucesso na obtenção de painéis com boas características estruturais, pelo que foi prestada especial atenção na condução dessas tarefas. Desta forma podem ser identificadas como fazendo parte desta etapa as operações de corte à medida das peles de alumínio e dos núcleos de cortiça e cortiça com borracha, a mistura dos dois componentes da cola de poliuretano e o corte à medida dos filmes adesivos.

A preparação das chapas de alumínio consistiu no corte das mesmas (figura 44) às dimensões que foram previstas para a execução dos painéis, isto é 450x400mm, tendo estas operações de corte sido executadas com recurso a uma guilhotina hidráulica.

Adicionalmente, e por forma a evitar danos na superfície do alumínio, a face colocada em contacto com a mesa da guilhotina foi aquela que dispunha do filme de corte/protecção, ficando a face exposta, livre de contactos que potenciassesem o dano. Foram também tidas em consideração as operações de transporte e movimentação para que não ocorressem danos na superfície ou nos cantos deste material.

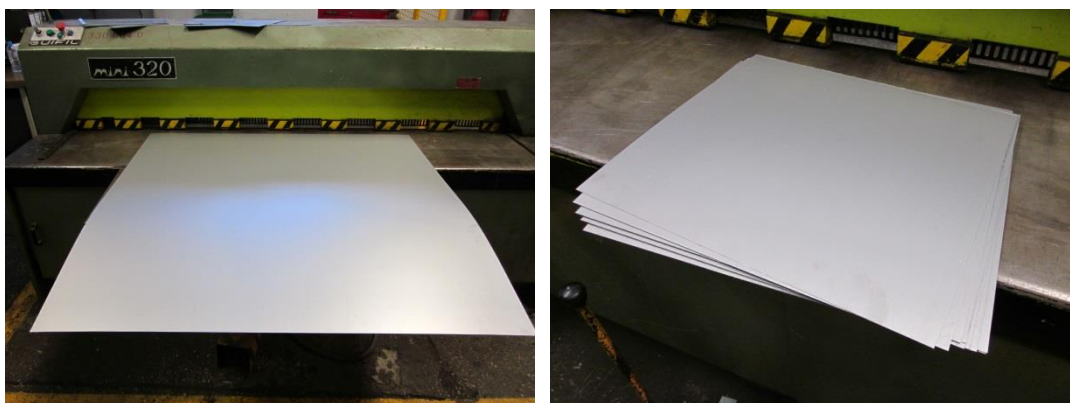


Figura 44 – Corte das chapas de alumínio. Antes (esquerda) e depois (direita).

Por seu lado, a preparação dos materiais do núcleo consistiu na marcação das dimensões de corte (as mesmas consideradas para as peles de alumínio) em várias folhas de CoreCORK NL20 com 1000x500mm e no posterior corte das mesmas (figura 45) com recurso a uma serra de banda. Estas operações, tendo sido executadas em folhas de

diferentes espessuras (13mm e 18mm), foram repetidas diversas vezes por forma obter todo o material necessário para a execução das várias combinações de painel sanduíche anteriormente descritas.



Figura 45 – Núcleo CoreCORK NL20. Marcação (esquerda) e após corte (direita).

Adicionalmente os núcleos de cortiça, após finalizadas as operações de corte, foram soprados com ar comprimido por forma a remover quaisquer contaminantes (pó ou pequenos pedaços de cortiça) resultantes das operações de movimentação e de corte que pudessem ter ficado retidos na superfície destes materiais.

O mesmo tipo de operações (marcação, corte, e limpeza) foram realizadas para a preparação dos materiais de núcleo CoreCORK ACM15 e ACM89 (figura 46) com a diferença de que, para estes materiais, as operações de corte foram realizadas recorrendo a um faca x-acto e uma régua metálica pelo facto de serem substancialmente mais finos (5mm) que os anteriores.



Figura 46 – Núcleos CoreCORK ACM15 (esquerda) e ACM89 (direita) após corte.

A preparação dos filmes adesivos consistiu no corte de um filme de grandes dimensões num conjunto de pequenas folhas com cerca de 500x450mm (figura 47), tendo sido o corte executado também com recurso às já referidas faca x-acto e régua metálica.

O corte numa dimensão superior aos restantes materiais justifica-se como sendo uma precaução para a fase de fabrico, garantindo a cobertura total das faces a colar e evitando que um erro durante o posicionamento ou mesmo o deslocamento durante a fase de prensagem, resulte num painel com zonas sem adesivo e portanto com zonas efectivamente descoladas.

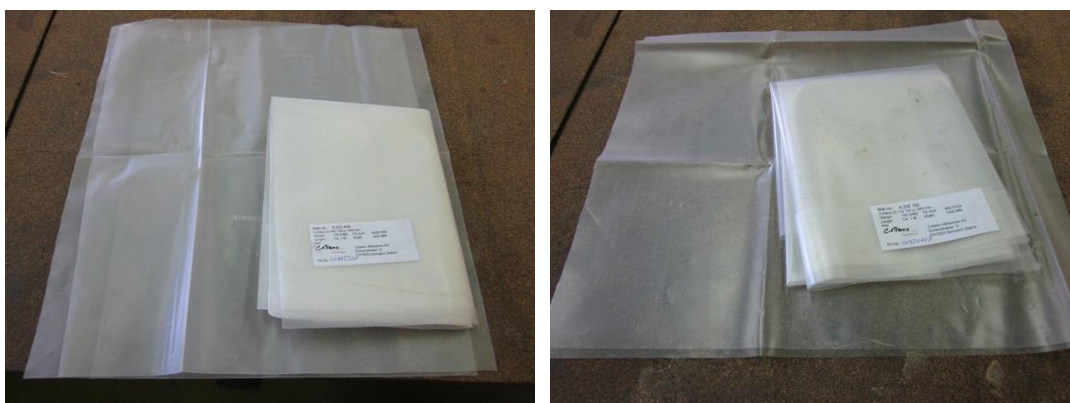


Figura 47 – Filmes adesivos após operações de corte.

Por fim, a preparação da cola de poliuretano consiste na mistura das duas partes que a compõem (figura 48) numa proporção definida pelo fabricante. Neste caso específico a relação de mistura é 100:19 em peso (ou 100:25 em volume) [41] o que significa que as 100g do componente A devem ser adicionadas e cuidadosamente misturadas 19g do componente B. A medição das proporções foi feita utilizando uma balança laboratorial.

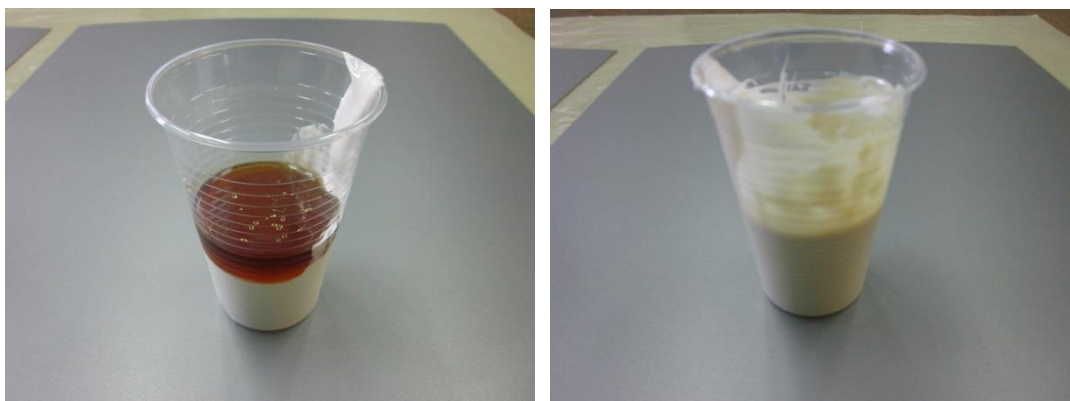


Figura 48 – Cola Sikaforce 7710L100 antes (esquerda) e após (direita) mistura.

6.3. Fabrico dos Painéis

Resultante da utilização de diferentes materiais resultam também métodos de fabrico distintos e, embora exista transversalmente a componente de sobreposição de camadas, para a formação de um painel sanduíche, o uso de diferentes tipos de adesivos bem como de diferentes números de camadas de material de núcleo, resulta em efectivas e importantes diferenças no processamento destes painéis.

Assim, e por forma a evidenciar essas diferenças, será descrito o procedimento que levou à conclusão do fabrico de cada uma das diferentes tipologias dos referidos painéis.

6.3.1. Fabrico dos Painéis P01 e P02

Os painéis designados por P01 e P02 são painéis sanduíche cujo material adesivo são os filmes adesivos Collano 23.110 e Collano 22.110 respectivamente. Estes, por usarem o que efectivamente é o mesmo tipo de adesivo (filme termoplástico), terão o seu fabrico descrito em simultâneo.

Assim, o fabrico destes painéis começa com a limpeza da superfície das peles de alumínio (figura 49) utilizando um agente de limpeza/activação (SIKA Sikaktivator 205). Garante-se desta forma a não existência de contaminantes na superfície do alumínio (por exemplo óleos ou gordura) e que esta mesma superfície está devidamente preparada para a recepção do adesivo e subsequente operação de colagem.



Figura 49 – Peles de alumínio antes da limpeza (esquerda) e após limpeza (direita).

Após a conclusão das operações de limpeza segue-se o posicionamento das camadas que constituirão estes painéis sanduíche. Para o efeito começa-se por dispor a primeira camada de filme adesivo sobre a primeira pele de alumínio, colocando-se de seguida o material de núcleo (figura 50), sendo que após este é adicionada uma outra camada de filme adesivo, sobre a qual é por fim colocada em posição a última pele de alumínio (figura 51).



Figura 50 – Adição da 1ª camada de adesivo (esquerda) e do núcleo (direita).

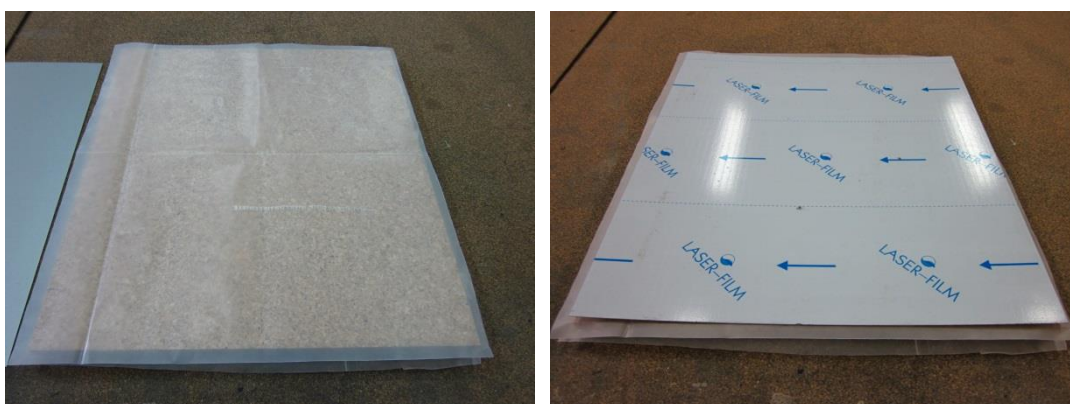


Figura 51 – Adição da 2ª camada de adesivo (esquerda) e da última pele (direita).

Com estas operações realizadas termina-se a construção do painel sanduíche ficando apenas por efectuar a operação de colagem, tornando essa ligação permanente. Para o efeito, e uma vez que foram, para estas configurações, utilizados filmes adesivos, esta operação é necessariamente feita com recurso à aplicação de pressão e temperatura, o que implica a utilização de uma prensa de pratos aquecidos com pressão e temperatura controláveis. Essa prensa e operação de prensagem são ilustradas através da figura 52.



Figura 52 – Colocação em prensa aquecida (esquerda) e prensagem (direita).

É neste último ponto que a diferença entre os dois filmes adesivos implica condições de processamento distintas. Com efeito o painel P01, cujo filme adesivo tem por base o Polipropileno, foi submetido a uma temperatura de 175°C, enquanto o painel P02, cujo filme adesivo tem por base o Polietileno, foi processado a uma temperatura de 150°C. Por seu lado, as condições de pressão e de tempo de prensagem foram idênticas para os dois painéis, consistindo na sujeição destes a uma pressão de 2bar durante um período de tempo de 15 minutos.

6.3.2. Fabrico do Painel P03

A construção do painel P03 difere dos anteriores na medida em que os filmes adesivos anteriormente utilizados são substituídos pela cola SIKA Sikaforce 7710L100.

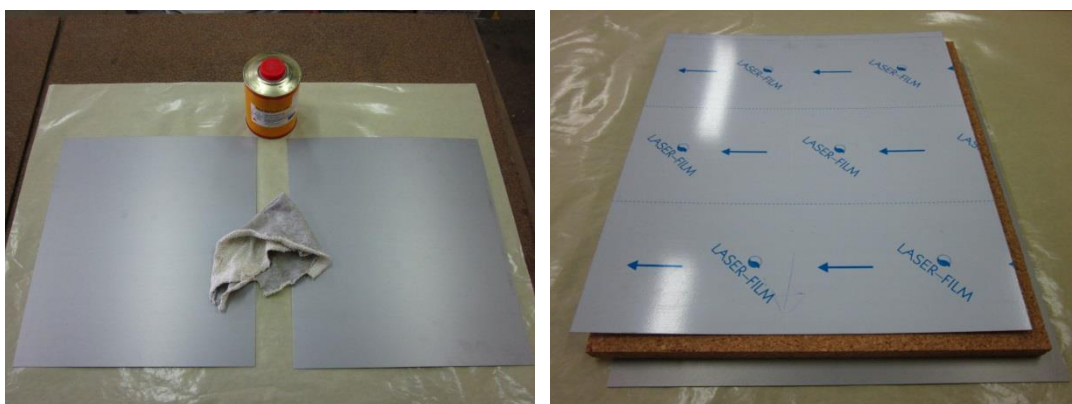


Figura 53 – Operação de limpeza (esquerda) e sobreposição de camadas (direita).

Desta forma as operações de limpeza (figura 53) e de disposição das várias camadas (figura 55), peles de alumínio e material de núcleo, são as mesmas que as consideradas até ao momento. A diferença mais significativa no processamento destes painéis surge da necessidade de aplicação manual da referida cola na superfície das chapas de alumínio (figura 54) que constituem as peles deste painel sanduíche.

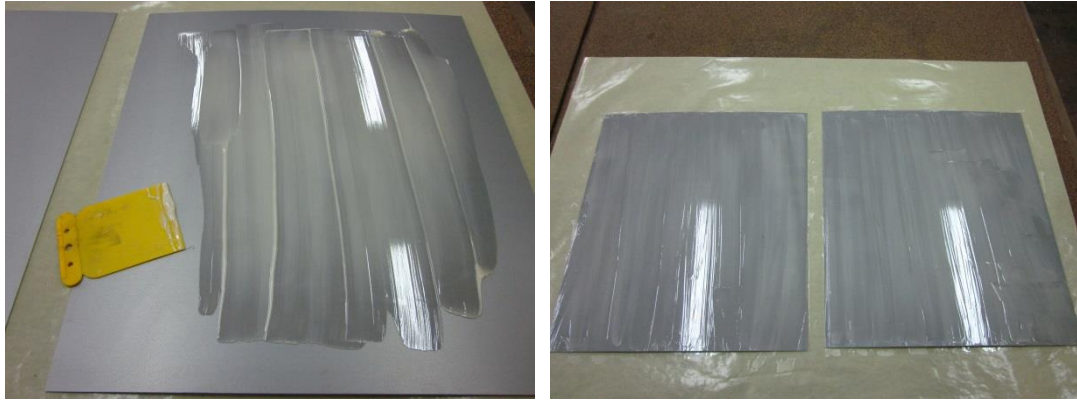


Figura 54 – Aplicação manual de cola (esquerda) e aplicação concluída (direita).

Esta operação manual exige um cuidado atento para que a camada de cola disposta sobre as peles seja, tanto quanto possível numa aplicação manual, uniforme e que tenha uma quantidade controlada ($150\text{-}350\text{g/m}^2$ [41]) para que se garanta a existência de adesivo em toda a superfície a colar e que a resistência desse elo adesivo seja uniforme ao longo de toda a superfície.

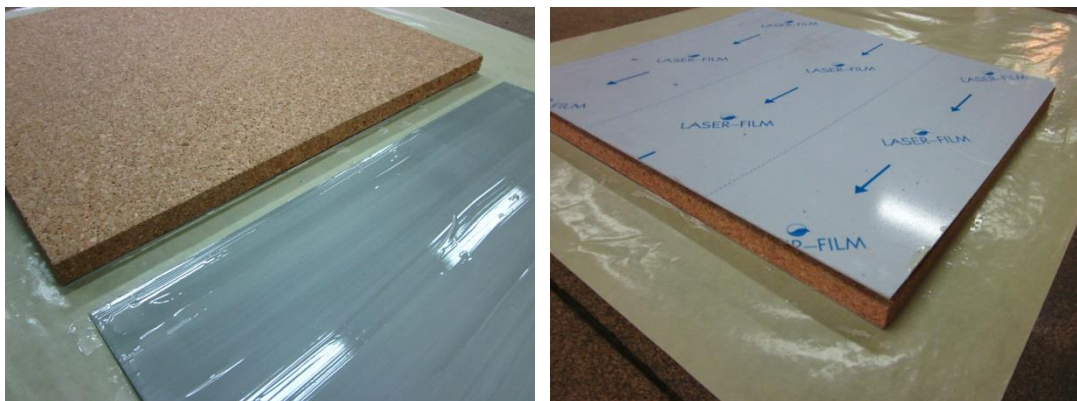


Figura 55 – Adição do material de núcleo (esquerda) e da última pele (direita).

Outra importante diferença no fabrico desta configuração de painel sanduíche é a não existência da necessidade de cura deste adesivo através do uso de temperatura. Desta forma, e ainda que seja necessária a aplicação de pressão uniforme (mínimo 200g/cm² [41]) sobre as superfícies a colar, conforme ilustrado na figura 56, a cura deste adesivo pode ser feita à temperatura ambiente durante um período de tempo predeterminado pelo fabricante (230 minutos a 23°C 50%HR [41]).



Figura 56 – Colocação em prensa (esquerda) e prensagem (direita).

6.3.3. Fabrico dos Painéis P04 e P05

A constituição destas duas configurações é idêntica com a excepção do material de núcleo Heavy Mass Layer utilizado ser, como se pode ver na figura 57, no caso do painel P04 o ACM15 e no caso do painel P05 o ACM89. Estas últimas configurações distinguem-se também da anterior (P03) por adicionarem, como efeito da inclusão de uma camada de material de núcleo diferente, mais um passo à fase de aplicação de cola.

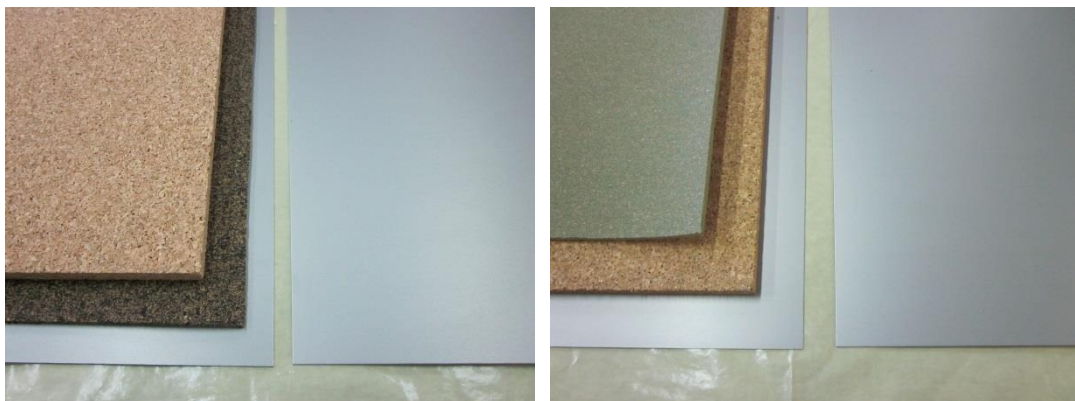


Figura 57 – Disposição das camadas do painel P04 (esquerda) e P05 (direita).

A aplicação de cola nas peles destas configurações segue o descrito no ponto anterior, no entanto existe a necessidade de prever a aplicação de cola entre o CoreCORK NL20 e o ACM15/ACM89 conforme pode ser visto na figura 58.

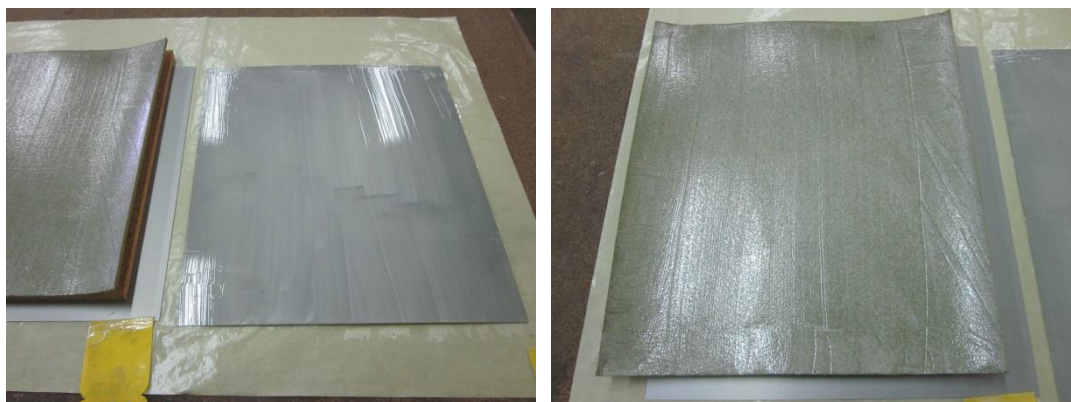


Figura 58 – Aplicação de cola na pele (esquerda) e na HML (direita).

Tendo, os materiais de núcleo adicionados a estas configurações, maior flexibilidade e diferentes porosidades entre eles, torna-se difícil julgar com precisão a quantidade de cola disposta nas suas superfícies. No entanto, através de uma pesagem cuidadosa no momento de preparação da cola é possível ultrapassar esta dificuldade, colocando-se sobre a superfície destes materiais apenas a quantidade de cola desejada.

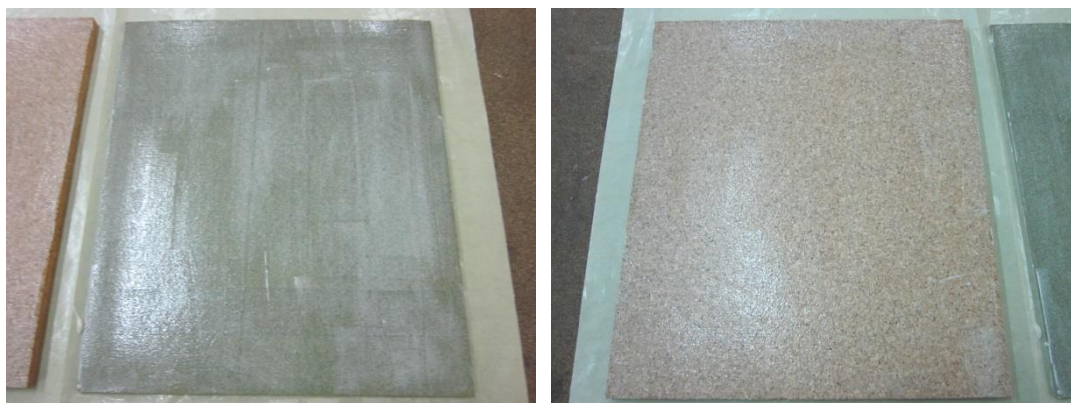


Figura 59 – Aplicação da HML sobre pele (esquerda) e NL20 sobre HML (direita).

Após o posicionamento de todas as camadas (figura 59) dá-se início ao processo de cura do adesivo seguindo as disposições para o P03, ou seja, aplica-se uma pressão mínima de 200g/cm^2 durante um mínimo de 230 minutos à temperatura ambiente (figura 60).

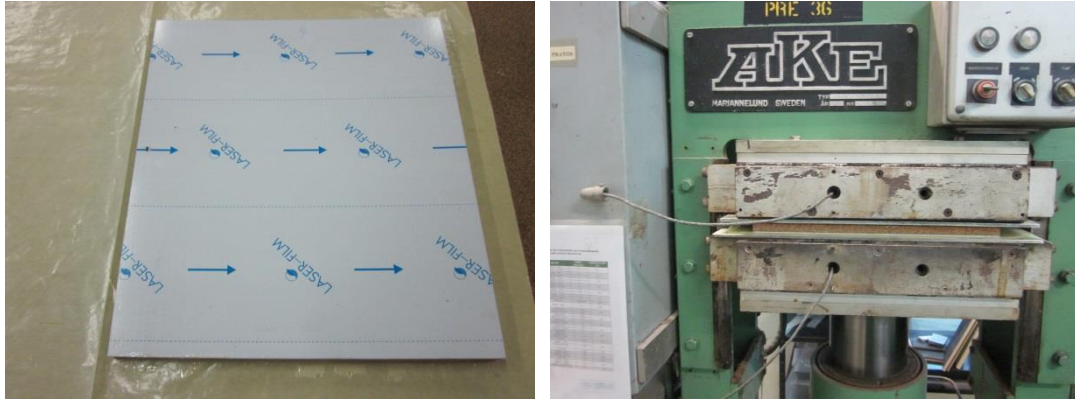


Figura 60 – Aplicação da última pele (esquerda) e prensagem (direita).

6.4. Painéis Concluídos

Após a conclusão com sucesso dos procedimentos acima descritos obtém-se o conjunto de cinco painéis sanduíche visível na figura 61.

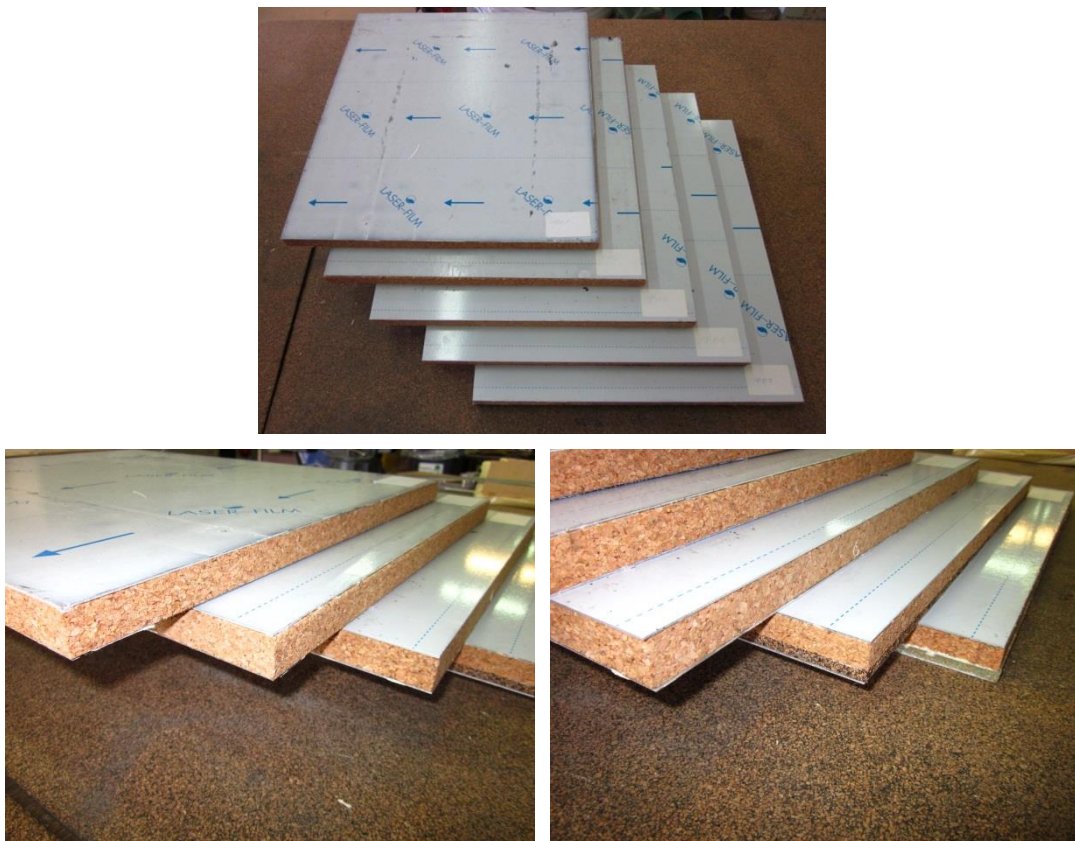


Figura 61 – Conjunto de painéis concluídos. Vista global (topo) e detalhes (esquerda e direita).

6.5. Preparação de Provetes

A preparação dos provetes para ensaio consistiu na marcação, corte, identificação e condicionamento de provetes recolhidos a partir dos painéis anteriormente fabricados, e cujo fabrico está descrito no subcapítulo anterior.

Através do plano de ensaios definido no capítulo 4, foi possível contabilizar as quantidades e dimensões dos provetes necessários de cada uma das cinco configurações executadas, por forma a executar por completo esse mesmo plano de ensaios. Após um processo de maximização da superfície disponível, por forma a recolher os provetes necessários dos painéis disponíveis, procedeu-se à marcação das respectivas linhas de corte (figura 62) sobre o filme de corte/protecção.

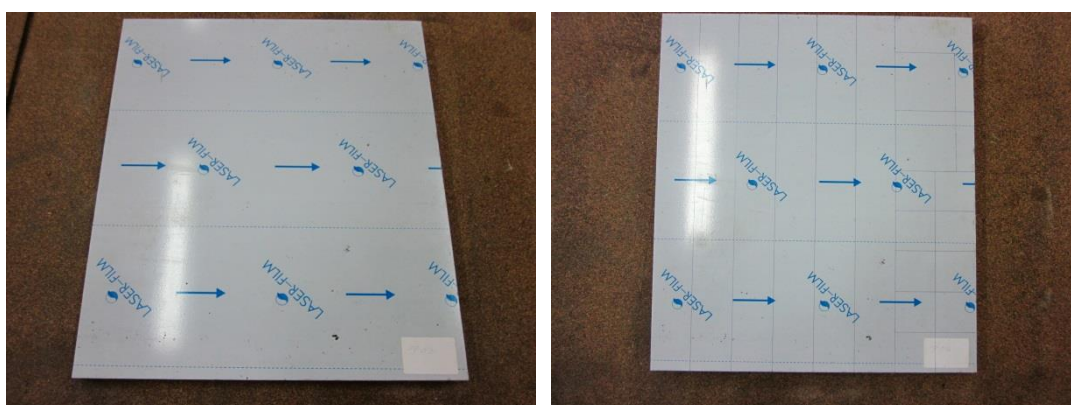


Figura 62 – Painel antes da marcação (esquerda) e após a marcação (direita).

Deste processo resultou a recolha de 17 provetes (figura 63) de cada uma das cinco configurações produzidas, totalizando assim 85 provetes de ensaio. Este número não contempla os painéis adicionais, de maiores dimensões (1500x1250mm), que foram produzidos em ambiente industrial e dos quais foram recolhidos os provetes para a realização dos ensaios acústicos (1500x1250mm), térmicos (500x500mm), e de resistência ao impacto (220x220mm).

O grande número de provetes destinados a estes ensaios, que ascende a uma centena, comandou a necessidade de fazer a identificação dos mesmos, não só por tipo de configuração de onde provêm, mas também pelo tipo de ensaio a que se destinam. De igual forma esta identificação é importante para o controlo dos resultados obtidos.

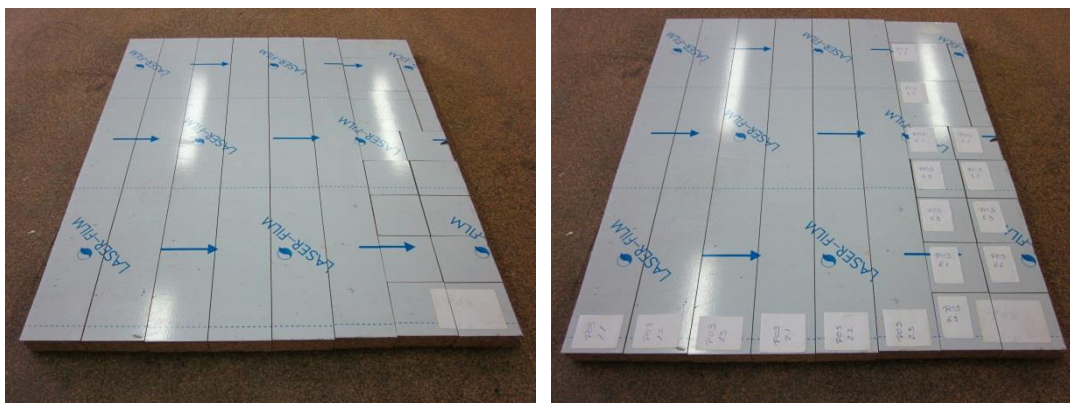


Figura 63 – Painel após operações de corte (esquerda) e identificação (direita).

O processo de condicionamento destes provetes, embora tenha sido iniciado, como anteriormente descrito, pelo condicionamento dos painéis nas suas dimensões iniciais a fim de determinar a sua massa, foi feito com recurso à câmara climática Thermotron, visível na figura 64, onde é possível o controlo preciso tanto da temperatura como da humidade a que estes ficam expostos.



Figura 64 – Câmara climática Thermotron.

Para estas operações de condicionamento os provetes foram sujeitos às condições estipuladas pelas respectivas normas de ensaio, sofrendo consecutivas medições de massa intervaladas por 24h, até à obtenção do estado de massa constante, ou seja, que a variação da massa destes provetes num período de 24h fosse inferior a 0,1%.

6.6. Ensaio

Depois da preparação dos materiais, do fabrico das várias configurações de painéis sanduíche, e da preparação dos provetes para os vários ensaios, através das operações de marcação, corte, identificação e condicionamento, procedeu-se à execução do plano de ensaios anteriormente definido.

Assim, neste subcapítulo, serão apresentados, de forma compilada, os resultados desses mesmos ensaios, bem como feitas algumas considerações sobre o procedimento de ensaio e dos próprios resultados alcançados.

6.6.1. Peso

A fase da efectiva realização de ensaios iniciou-se com a medição, após condicionamento a uma temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e uma humidade relativa de $65\pm 5\%$ na referida câmara climática Thermotron, da massa de cada um dos painéis fabricados.

As referidas medições, feitas utilizando uma balança laboratorial, deram origem aos valores presentes na tabela 15 os quais, após o devido cálculo, resultaram nos valores de peso por unidade de área que na mesma figuram.

Tabela 15 – Resultados dos ensaios de determinação do peso por unidade de área.

Peso por Unidade de Área			
Designação	Dimensão do Painel (mm)	Massa do Painel (Kg)	Peso por unidade de Área (Kg/m²)
P01	450x400	1,631	9,06
P02	450x400	1,659	9,22
P03	450x400	1,711	9,51
P04	450x400	2,232	12,40
P05	450x400	2,285	12,69

6.6.2. Absorção de água

Conforme descrito anteriormente, este ensaio, para além de realizado para os materiais de núcleo utilizados, foi estendido a provetes dos painéis sanduíche por estes melhor representarem a aplicação real na qual apenas o material de núcleo na periferia dos

painéis ficará exposto. Como tal, e por forma a cobrir ambas as situações, foi necessário proceder à recolha dos provetes visíveis na figura 65.

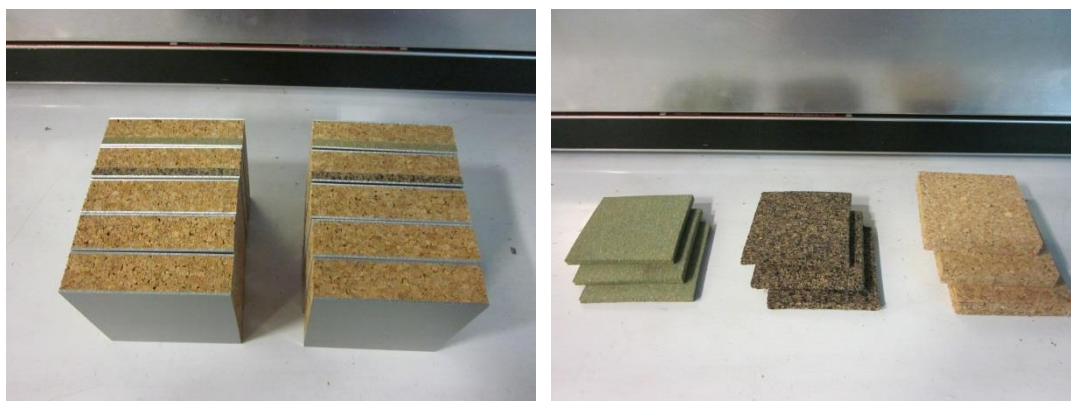


Figura 65 – Provetes de painéis (esquerda) e de materiais de núcleo (direita).

Recolhidos todos os provetes necessários à realização do ensaio, estes foram colocados numa estufa a $49^{\circ}\pm 3^{\circ}\text{C}$ durante um período de 24h e posteriormente arrefecidos num dessecador (durante 1h) até à temperatura ambiente. Após esta fase os provetes foram novamente colocados dentro da estufa, por um novo período de 24h, mas neste caso os mesmos foram submersos em água destilada. Os resultados das duas etapas descritas encontram-se representados na figura 66.



Figura 66 – Provetes à saída da estufa (esquerda) e após imersão em água (direita).

O peso de cada um dos provetes foi registado à saída do dessecador e após as 24h de imersão em água destilada, sendo que os resultados dessas medições compõem a tabela 16, e tendo os mesmos dado origem aos valores de aumento de peso nela presentes.

Tabela 16 – Resultados dos ensaios de determinação da Absorção de Água.

Absorção de Água					
Designação	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Massa de água absorvida (g)	Aumento de Peso (%)	Aumento Médio de Peso (%)
P01	49,6582	51,6355	1,9773	3,98%	4,05%
	49,7423	51,7909	2,0486	4,12%	
P02	51,2245	53,4659	2,2414	4,38%	4,49%
	52,2532	54,6548	2,4016	4,60%	
P03	52,7514	54,9569	2,2055	4,18%	4,20%
	53,2573	55,5078	2,2505	4,23%	
P04	69,6116	71,8905	2,2789	3,27%	3,51%
	70,4599	73,0937	2,6338	3,74%	
P05	71,2794	72,9867	1,7073	2,40%	2,45%
	72,9337	74,7645	1,8308	2,51%	
Núcleo NL20	12,9397	16,5278	3,5881	27,73%	28,40%
	12,8869	16,6952	3,8083	29,55%	
	12,8688	16,4618	3,593	27,92%	
Núcleo ACM15	18,8449	23,6467	4,8018	25,48%	26,32%
	18,8806	23,9311	5,0505	26,75%	
	18,5232	23,4743	4,9511	26,73%	
Núcleo ACM89	20,5127	21,5743	1,0616	5,18%	4,75%
	20,8505	21,7983	0,9478	4,55%	
	20,6454	21,5776	0,9322	4,52%	

6.6.3. Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade à Flexão

A determinação da Resistência à Flexão e do Módulo de Elasticidade à Flexão compõem-se do ensaio de um total de 30 provetes divididos em dois grupos: 15 no estado inicial (figura 67) e 15 no estado envelhecido de acordo com a secção 4.3.



Figura 67 – Provetes para ensaio de flexão a três pontos.

A realização do ensaio propriamente dito consistiu no posicionamento de cada um dos trinta provetes no equipamento de ensaio, conforme exemplificado pela figura 68, e subsequente introdução das suas medidas (largura, espessura, e comprimento suspenso) no equipamento de teste. Os valores obtidos foram recolhidos do próprio equipamento que, através da sua programação, efectua os cálculos de forma automática e de acordo com a norma considerada para estes ensaios.

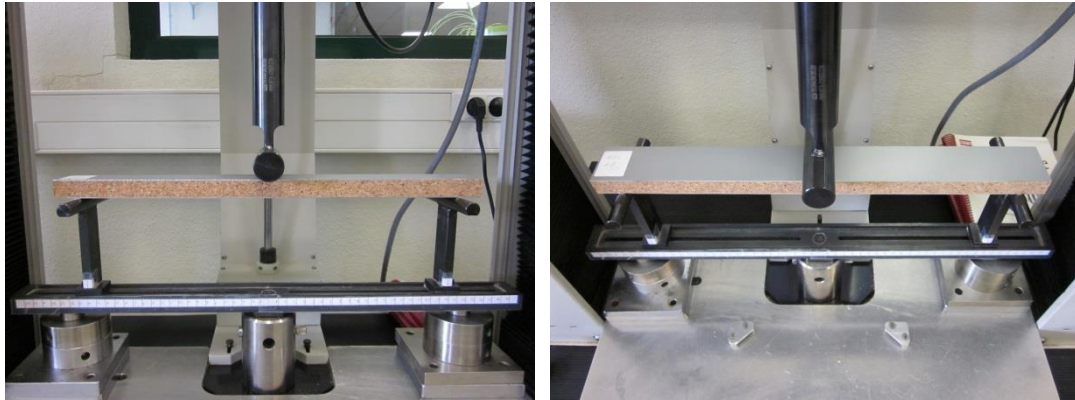


Figura 68 – Posicionamento do provete no equipamento de ensaio.

Durante estes ensaios foi também registada, visualmente e sendo disso exemplo a figura 69, a resposta de cada provete à aplicação de carga dando especial interesse ao modo de falha a que este ensaio deu origem possibilitando que se destaquem as diferenças entre as várias configurações de painéis sanduíche fabricados.

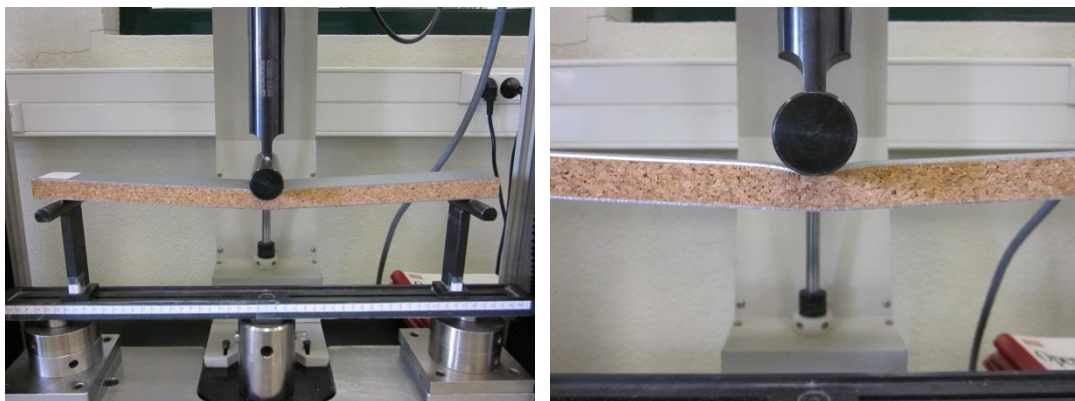


Figura 69 – Provete durante o ensaio de flexão a três pontos.

A informação acima referida está compilada nas tabelas 17 e 18 facilitando assim a leitura e comparação dos resultados entre as diversas soluções.

Tabela 17 – Resultados dos ensaios de determinação da Resistência à Flexão e do Módulo de Elasticidade à Flexão dos provetes no Estado Inicial.

Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade à Flexão (Estado Inicial)					
Designação	Resistência à Flexão (MPa)	Resistência à Flexão Média (MPa)	Módulo de Elasticidade à Flexão (GPa)	Módulo de Elasticidade à Flexão Médio (GPa)	Modo de Falha
P01	21,14	22,95	4,83	4,95	Falha por cedência da pele de Alumínio
	24,41		4,98		
	23,30		5,03		
P02	17,71	18,51	4,53	4,50	Falha por descolagem
	20,79		4,44		
	17,02		4,52		
P03	22,73	23,21	5,07	5,14	Falha por cedência da pele de Alumínio
	23,52		5,23		
	23,38		5,13		
P04	18,64	19,97	3,33	3,55	Falha por cedência da pele de Alumínio
	20,95		3,74		
	20,33		3,59		
P05	17,16	17,55	2,04	2,25	Falha por cedência da pele de Alumínio
	17,42		2,31		
	18,08		2,40		

Tabela 18 – Resultados dos ensaios de determinação da Resistência à Flexão e do Módulo de Elasticidade à Flexão dos provetes no Estado Envelhecido.

Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade à Flexão (Estado Envelhecido)					
Designação	Resistência à Flexão (MPa)	Resistência à Flexão Média (MPa)	Módulo de Elasticidade à Flexão (GPa)	Módulo de Elasticidade à Flexão Médio (GPa)	Modo de Falha
P01	21,04	21,33	4,80	4,86	Falha por cedência da pele de Alumínio
	21,49		4,83		
	21,45		4,94		
P02	4,18	14,02	2,50	3,89	Falha por descolagem
	16,81		4,46		
	21,07		4,72		
P03	23,12	22,65	5,35	5,51	Falha por cedência da pele de Alumínio
	22,70		5,14		
	22,12		5,14		
P04	20,35	19,91	3,55	3,50	Falha por cedência da pele de Alumínio
	19,71		3,50		
	19,67		3,44		
P05	18,09	18,26	2,18	2,26	Falha por cedência da pele de Alumínio
	18,34		2,32		
	18,34		2,29		

6.6.4. Adesão entre camadas

De igual forma, a determinação da adesão entre camadas é composta pelo ensaio de um total de trinta provetes e, também à semelhança do descrito no ponto anterior, a totalidade está dividida em dois grupos iguais, pré (figura 70) e pós-envelhecimento.

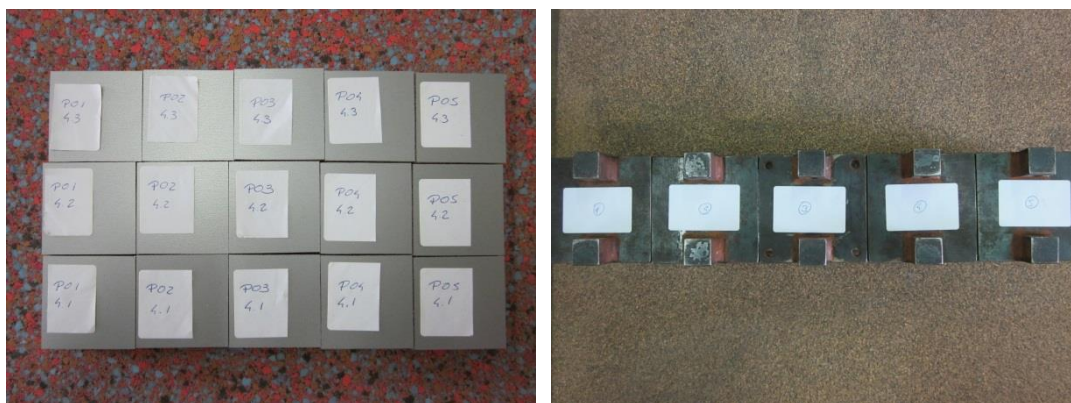


Figura 70 – Provetes (esquerda) e dispositivo para ensaio FTS (direita).

A realização deste ensaio, cujo equipamento utilizado é visível na figura 71, envolveu a colagem de cada um dos 30 provetes nas garras de ensaio identificáveis na figura 70. Estas garras asseguram que a força, perpendicular à superfície dos mesmos, é exercida uniformemente, sendo essa força máxima retornada automaticamente pelo equipamento.

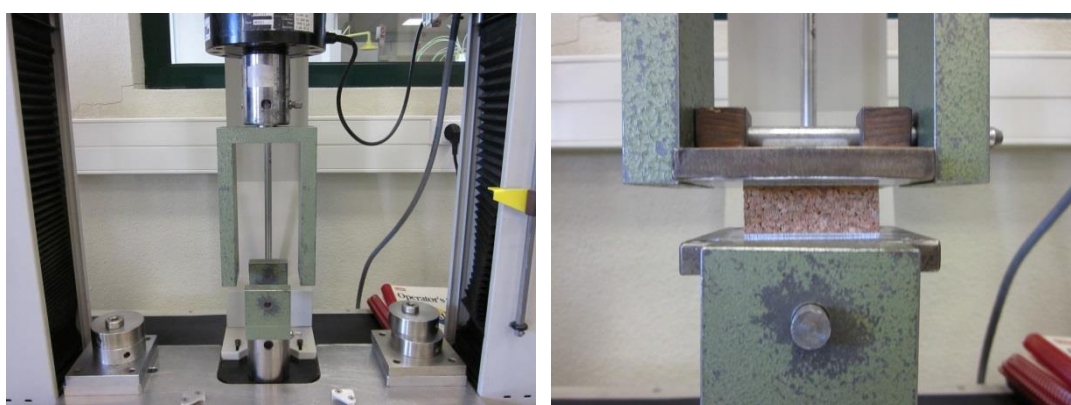


Figura 71 – Equipamento para ensaio FTS (esquerda) e ensaio FTS (direita).

Os valores da tensão máxima suportada pelos elos de ligação entre as camadas que compõem o painel sanduíche estão organizados nas tabelas 19 e 20 facilitando a

interpretação dos mesmos. De igual forma evidencia-se o modo de falha que ocorre durante o ensaio, ou seja, identifica-se qual dos materiais ou superfícies ligantes falha.

Tabela 19 – Resultados dos ensaios de determinação da Adesão Entre Camadas dos provetes no Estado Inicial.

Adesão Entre Camadas (Estado Inicial)			
Designação	Resistência à Descolagem (MPa)	Resistência à Descolagem Média (MPa)	Modo de Falha
P01	0,655	0,64	Ruptura pelo núcleo de NL20
	0,642		
	0,613		
P02	0,340	0,36	Ruptura pela ligação adesiva entre o Alumínio e núcleo de NL20
	0,387		
	0,364		
P03	0,749	0,76	Ruptura pelo núcleo de NL20
	0,789		
	0,755		
P04	0,651	0,72	Ruptura pelo núcleo de NL20
	0,780		
	0,722		
P05	0,511	0,57	Ruptura pela ligação adesiva entre os núcleos de ACM89 e de NL20
	0,678		
	0,531		

Tabela 20 – Resultados dos ensaios de determinação da Adesão Entre Camadas dos provetes no Estado Envelhecido.

Adesão Entre Camadas (Estado Envelhecido)			
Designação	Resistência à Descolagem (MPa)	Resistência à Descolagem Média (MPa)	Modo de Falha
P01	0,631	0,64	Ruptura pelo núcleo de NL20
	0,628		
	0,657		
P02	X	X	Ensaio não realizado. Após o ciclo de envelhecimento verificou-se a separação total das camadas
	X		
	X		
P03	0,677	0,70	Ruptura pelo núcleo de NL20
	0,802		
	0,614		
P04	0,341	0,39	Ruptura pela ligação adesiva entre os núcleos de ACM15 e de NL20
	0,388		
	0,440		
P05	0,338	0,36	Ruptura pela ligação adesiva entre o Alumínio e núcleo de ACM89
	0,374		
	0,374		

6.6.5. Resistência à Extração de Parafuso

A realização dos ensaios de determinação da resistência à extração de parafusos envolveu, para além da já descrita preparação de provetes, a execução de um furo de diâmetro 2,7mm e profundidade 19mm [32] na zona central dos mesmos e visível na figura 72. Concluído este processo de furação seguiu-se a aplicação manual dos parafusos, definidos pela já citada EN 320:1993, cujo resultado se vê na figura 73.



Figura 72 – Provetes de ensaio de resistência à extração de parafusos antes (esquerda) e após furação (direita).



Figura 73 – Provetes de ensaio de resistência à extração de parafusos após colocação dos parafusos.

O ensaio propriamente dito consiste na aplicação de um esforço axial ao parafuso, através da tracção da sua cabeça e como tal do seu corpo. Este esforço de tracção é aplicado a uma velocidade lenta e constante. O posicionamento fixo do provete de

ensaio é garantido pelo equipamento de testes, identificável na figura 74, que contém uma superfície imóvel com um furo por onde se faz a extracção do parafuso.

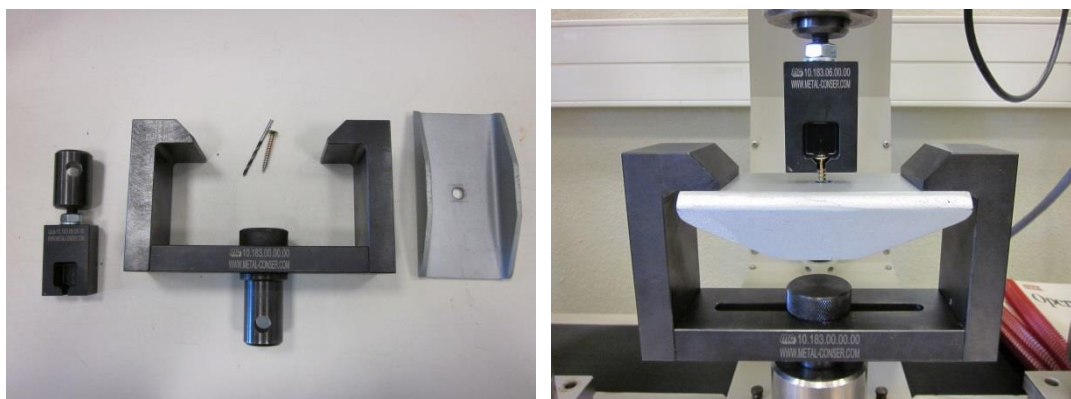


Figura 74 – Equipamento de ensaio de extracção de parafuso.

Durante estes ensaios os valores máximos da força aplicada ao parafuso são registados pelo equipamento de ensaios e devolvidos ao utilizador. Esses mesmos valores de força máxima, obtidos para cada um dos provetes ensaiados, estão compilados na tabela 21.

Tabela 21 – Resultados dos ensaios de determinação da Resistência à Extracção de Parafuso.

Resistência à Extracção de Parafuso		
Designação	Força Máxima (N)	Força Máxima Média (KN)
P01	1436,40	1,46
	1552,80	
	1402,70	
P02	1407,10	1,51
	1589,70	
	1525,80	
P03	1586,80	1,65
	1610,10	
	1760,00	
P04	1447,70	1,71
	1816,20	
	1877,80	
P05	1447,70	1,52
	1533,20	
	1582,00	

6.6.6. Isolamento Acústico

No gráfico da figura 75 podem ser encontrados os valores obtidos pelos ensaios de determinação do isolamento acústico ao ruído aéreo efectuados aos painéis das configurações P03, P04 e P05, (com dimensões de 1500x1250mm).

As configurações P01 e P02 não foram ensaiadas pois, com excepção do adesivo utilizado, que no caso destas foram os filmes termoplásticos, todas as restantes camadas são iguais à configuração P03. Desta forma não eram esperadas diferenças substanciais entre esta última e as primeiras, pelo que se optou pela não realização desses ensaios.

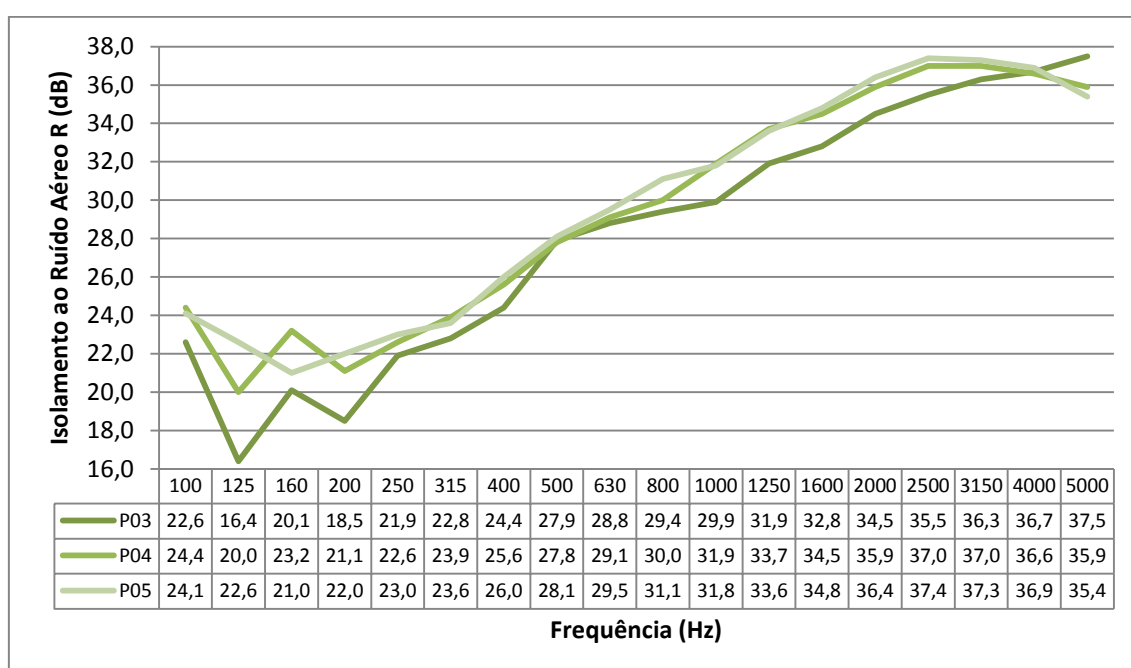


Figura 75 – Resultado dos ensaios de determinação do Isolamento Acústico.

6.6.7. Condutibilidade e Resistividade Térmica

Na tabela 22 podem ser encontrados os valores obtidos nos ensaios de determinação da condutibilidade e da resistividade térmica feitos a provetes com a dimensão de 500x500mm. Os provetes em causa foram recolhidos dos painéis anteriormente ensaiados para a determinação das propriedades acústicas.

Tabela 22 – Resultados dos ensaios de determinação da Condutibilidade e Resistividade Térmica.

Condutibilidade e Resistividade Térmica		
Designação	Condutibilidade Térmica (W/(m.°C))	Resistividade Térmica (m².°C/W)
P03	0,0649	0,308
P04	0,0581	0,344
P05	0,0555	0,360

Por semelhança ao descrito no ponto anterior, também para este, apenas as configurações P03, P04 e P05 foram ensaiadas para determinação das propriedades térmicas. Os motivos para esta decisão são os mesmos descritos anteriormente, ou seja, a forte semelhança entre as configurações P01, P02 e P03 dita que não seriam esperadas diferenças substanciais na definição das propriedades térmicas.

6.6.8. Resistência ao Impacto

A realização dos ensaios de resistência ao impacto obrigou à recolha de provetes com dimensão de 220x220mm, tendo a determinação quantitativa da resistência ao impacto, das diferentes configurações de painéis sanduíche, sido obtida através da metodologia experimental descrita anteriormente e subsequente medição dos resultados obtidos. A figura 76 exemplifica tanto os provetes recolhidos para este ensaio como a operação de medição das indentações deste resultantes.

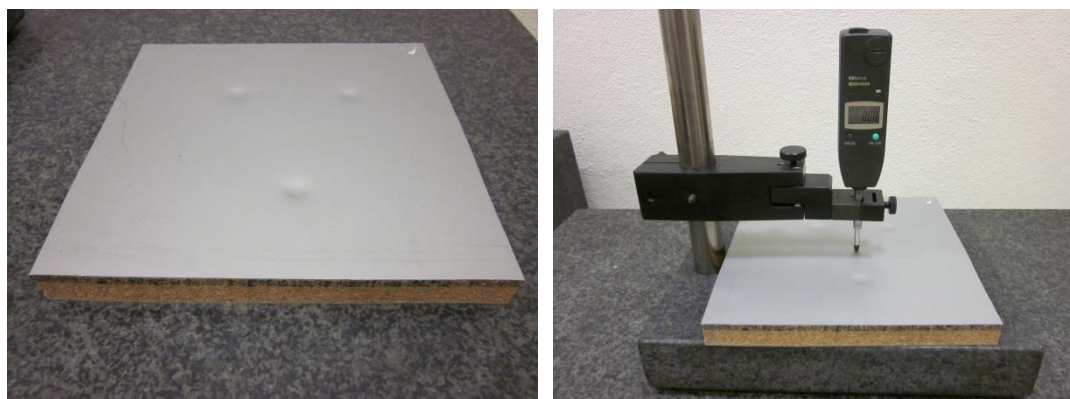


Figura 76 – Proвете após ensaio de resistência ao impacto (esquerda) e medição da indentação causada pelo ensaio (direita).

A condução dos ensaios propriamente ditos implicou o suporte dos provetes por duas das suas extremidades, uma vez que esta configuração melhor representa o tipo de solicitações a que, na aplicação real, estes painéis estariam submetidos.

Tendo estes ensaios sido realizados a todas as configurações preconizadas neste Trabalho Final de Mestrado há que destacar o facto de, nas configurações P04 e P05, as quais possuem dois materiais de núcleo distintos, estes ensaios terem sido realizados sobre ambas as superfícies do painel sanduíche. Isto é, registaram-se os resultados do impacto da esfera de ensaio na superfície com CoreCORK NL20 e na superfície com CoreCORK ACM15/ACM89. O teste das duas superfícies metálicas nos provetes em causa serviu para verificar o impacto que um diferente material de núcleo tem na resistência à indentação destas soluções.

A medição das indentações causadas pelo impacto da esfera de ensaio nos referidos provetes foram medidos com recurso a um conjunto comparador – mesa calibrada, e os resultados obtidos através dessas medições estão compilados na tabela 23.

Tabela 23 – Resultados dos ensaios de determinação da Resistência ao Impacto.

Resistência ao Impacto		
Designação	Indentação (mm)	Indentação média (mm)
P01	0,93	0,91
	0,89	
	0,91	
P02	0,97	0,94
	0,94	
	0,92	
P03	0,85	0,89
	0,95	
	0,88	
P04 (Impacto na face de NL20)	0,78	0,76
	0,76	
	0,73	
P04 (Impacto na face de ACM15)	0,99	0,99
	1,01	
	0,97	
P05 (Impacto na face de NL20)	0,66	0,68
	0,70	
	0,69	
P05 (Impacto na face de ACM89)	1,12	1,16
	1,18	
	1,19	

6.6.9. Flexão sob Carga Distribuída

Os ensaios de flexão sob carga distribuída foram conduzidos, como ilustrado pela figura 77, em painéis instalados na estrutura descrita no capítulo 4, tendo as massas sido aplicadas de forma faseada (incrementos de 20Kg) sob uma área correspondente a um quadrado com 550mm de lado ($0,3025\text{m}^2$). 550mm é também a distância entre apoios. Os valores de flecha, registados por comparador no centro do vão, estão representados no gráfico da figura 78, onde é possível verificar a evolução da flecha das configurações P03, P04 e P05 com a adição de massas (representada em Kg e em Kg/m^2).



Figura 77 – Ensaio de flexão sob carga distribuída antes (esquerda) e após (direita) aplicação de carga.

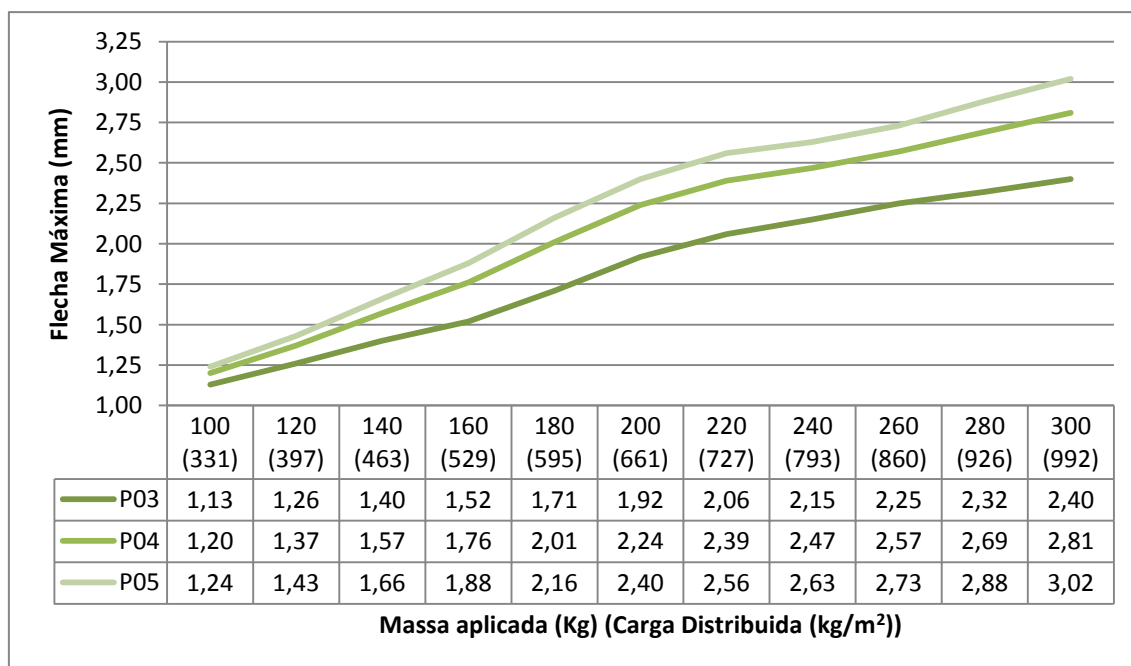


Figura 78 – Resultados dos ensaios de flexão sob carga distribuída.

7. Análise de Resultados

Uma vez já compilados os resultados dos diversos ensaios conduzidos nos painéis sanduíche fabricados, apresentados no capítulo 6, neste será feita uma análise dos mesmos com o objectivo de avaliar, de forma global, o sucesso da sua realização e evidenciar as diferenças verificadas entre as configurações. Também neste capítulo será possível destacar, de entre as várias soluções, aquelas que se apresentam com melhor desempenho e que resultam numa configuração globalmente mais favorável. Da mesma forma será possível a identificação das soluções que, por apresentarem performance inadequada, devam ser descartadas.

Por fim será feita a compilação dos valores obtidos, apresentados em língua Inglesa, para os diferentes painéis em tabelas individuais de especificações (tabelas 24 a 28). Estas destinam-se a contribuir para a proliferação e globalização de forma a poderem ser interpretadas por um maior número de pessoas.

7.1. Peso

Como era de esperar, e pode ser verificado pelo gráfico da figura 79, as três primeiras configurações de painel sanduíche, P01, P02, e P03, têm um peso por unidade de área bastante semelhante. Este acontecimento era esperado pelo facto de, à excepção do adesivo, estas configurações serem em tudo iguais, isto é, têm os mesmos materiais e espessuras das peles e do núcleo.

De facto o incremento em peso sentido na configuração P02 é inferior a 2% (tendo por base o peso da configuração P01, e correspondendo a um incremento de apenas 160g/m^2), podendo esta pequena diferença dever-se a diminutas flutuações dimensionais das peles, do núcleo, ou do adesivo.

Por seu lado, o incremento de peso inferior a 5% da configuração P03, por comparação com a configuração P01 pode também, em parte, ser explicado pelas mesmas diminutas flutuações dimensionais dos materiais das peles e do núcleo, havendo no entanto, neste caso, que considerar a maior massa de adesivo aplicado nesta configuração, cerca de

200g/m², contra as 100g/m² das primeiras duas configurações as quais utilizam os filmes adesivos.

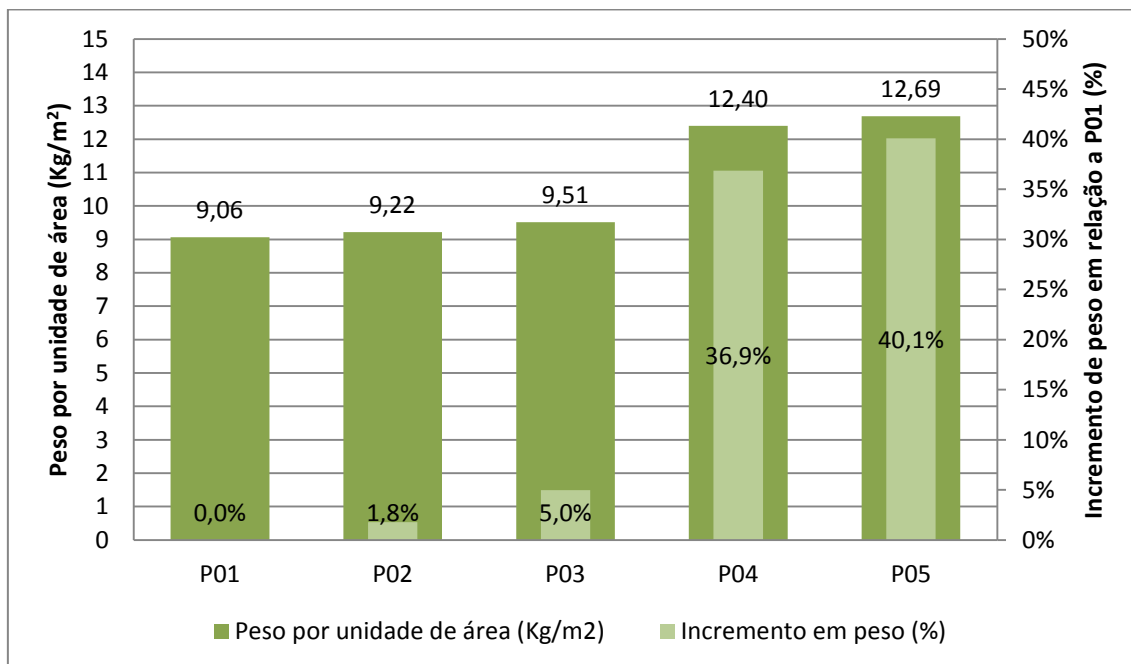


Figura 79 – Comparação do peso por unidade de área das várias configurações.

A grande diferença em peso por unidade de área é encontrada, também como esperado dada a utilização de materiais de elevada densidade como núcleos, entre as primeiras configurações e as P04 e P05, ascendendo a diferença, neste caso, a valores entre os 35 e os 40%. Para além do óbvio incremento em peso decorrente do uso de Heavy Mass Layers é de destacar a existência de mais uma superfície de colagem e como tal há também que contabilizar a presença de uma camada adicional de adesivo com aproximadamente 200g/m².

A aceitabilidade, ou não, da adição de aproximadamente 3kg/m² está obviamente dependente do efeito que a camada de ACM15/ACM89 tem nas restantes propriedades do painel, nomeadamente nas propriedades acústicas uma vez que foram estas as motivadoras da adição das referidas camadas. No entanto haverá também que equacionar o efeito que a adição das camadas de CoreCORK ACM15 e ACM89 têm nas propriedades mecânicas e nas propriedades térmicas. Este efeito será abordado mais à frente neste documento.

7.2. Absorção de Água

Os valores obtidos para o incremento de peso decorrente da absorção de água, compilados no gráfico da figura 80, são na sua globalidade baixos, observando-se que a maioria dos mesmos se situa abaixo dos 5% tendo como base a massa inicial dos respectivos provetes. Este comportamento é bastante consistente entre as cinco configurações de painel sanduíche fabricadas (não havendo diferenças superiores a dois pontos percentuais entre elas), sendo que nestes casos a absorção de água se faz apenas pelas extremidades expostas dos provetes recolhidos dos respectivos painéis.

Em contraste com os valores obtidos para a situação mais representativa da aplicação a que estes painéis se destinam, encontram-se valores de incremento de massa entre os 25 e os 30% para provetes de NL20 e de ACM15 com dimensões representativas das camadas aplicadas ao fabrico dos painéis em causa.

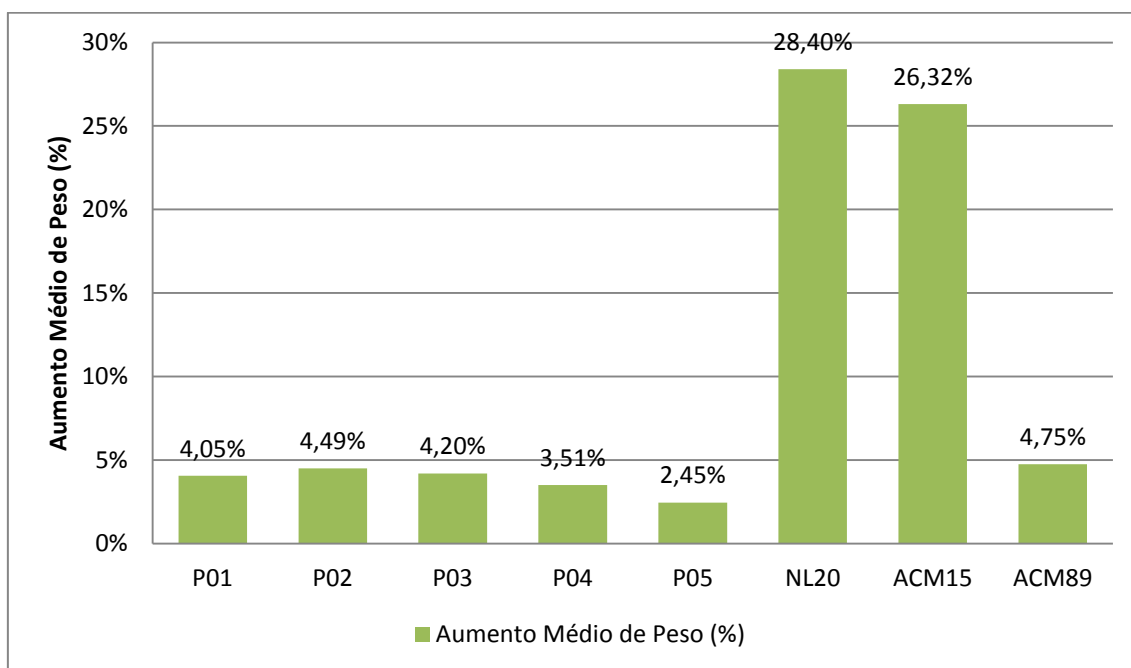


Figura 80 – Comparação do aumento médio de peso por absorção de água.

Estes valores elevados são facilmente explicáveis pela maior porosidade dos materiais CoreCORK NL20 e ACM15. No caso destes, a imersão em água resulta na ocupação dos espaços vazios entre os grãos destes materiais aglomerados, mantendo-se os mesmos preenchidos com água mesmo após a remoção dos provetes do seu estado de

imersão e seguinte secagem com papel absorvente. Há no entanto que referir que este é um efeito superficial, não se propagando a água para o interior destes materiais, que se mantêm interiormente secos.

Objectivamente os valores de aumento de peso encontrados para os materiais de núcleo NL20 e ACM15 não são representativos da performance aplicada destes materiais (por terem sido testados sem a presença das peles de alumínio), não sendo esses resultados considerados como factores preocupantes ou preponderantes para o abandono de qualquer uma das configurações.

7.3. Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade à Flexão

Os resultados dos ensaios de resistência à flexão e de módulo de elasticidade à flexão são provavelmente, de entre os resultados de ensaios a propriedades mecânicas, os mais indicativos da performance estrutural destas configurações, não só no momento que imediatamente sucede o seu fabrico, mas também após o ciclo de envelhecimento acelerado. Nesse sentido, os valores visíveis no gráfico da figura 81 facilitam a leitura e comparação dos valores expostos anteriormente nas tabelas de resultados destes ensaios.

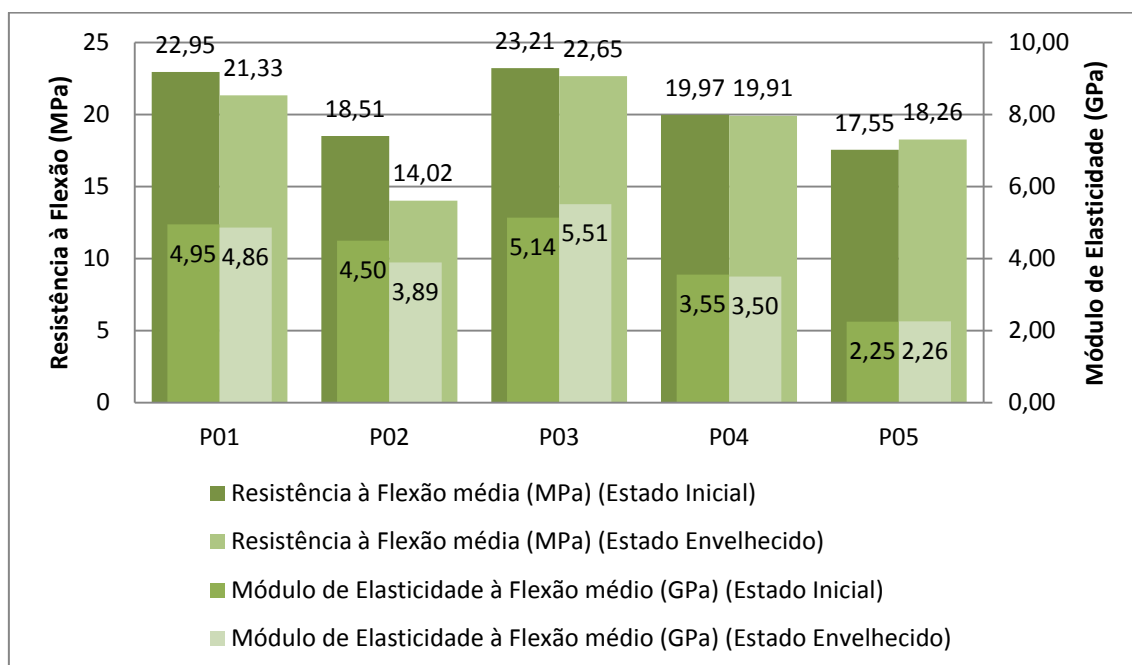


Figura 81 – Comparação da resistência à flexão e módulo de elasticidade à flexão.

No que toca à avaliação destas propriedades, no estado inicial dos provetes, é de salientar um desempenho bastante semelhante entre as configurações P01 e P03, ocupando estas as duas melhores posições no que toca à resistência à flexão e ao módulo de elasticidade à flexão. Demonstra-se assim uma relação de equivalência entre o uso do adesivo Collano 23.110 e a cola SIKA Sikaforce 7710L100. Da mesma forma fica evidente que a utilização de dois métodos de fabrico distintos, que cada um destes adesivos impõe, pode culminar em resultados idênticos.

Verifica-se no entanto que a adição de camadas de isolamento acústico nos materiais de núcleo, as já referidas HML, resulta num decréscimo considerável nestas propriedades, com o maior impacto a sentir-se na configuração P05 e figurando a P04 numa posição intermédia entre as configurações P03 e P05. De destacar que, apesar da presença de mais uma superfície colada nestas configurações, não houve qualquer indício de descolagem durante estes ensaios conforme se pode confirmar pela figura 82.



Figura 82 – Ensaio de flexão em provete P04 (esquerda) e P05 (direita).

A configuração P02 posiciona-se, no que toca à resistência à flexão, num intermédio entre as configurações P04 e P05. No entanto encara-se esta configuração como a pior deste conjunto de resultados iniciais uma vez que esta se distinguiu por apresentar um modo de falha catastrófico, a descolagem entre peles e núcleo (efeito visível na figura 83), sendo de referir que apenas nesta configuração se deu este tipo de falha, tendo todas as restantes falhado por cedência da pele de alumínio. Este modo de falha foi especialmente preocupante pelo facto de, após iniciada a falha através de descolagem, a mesma ser facilmente propagada manualmente, conseguindo-se separar completamente a pele do núcleo sem a aplicação de um esforço assinalável.

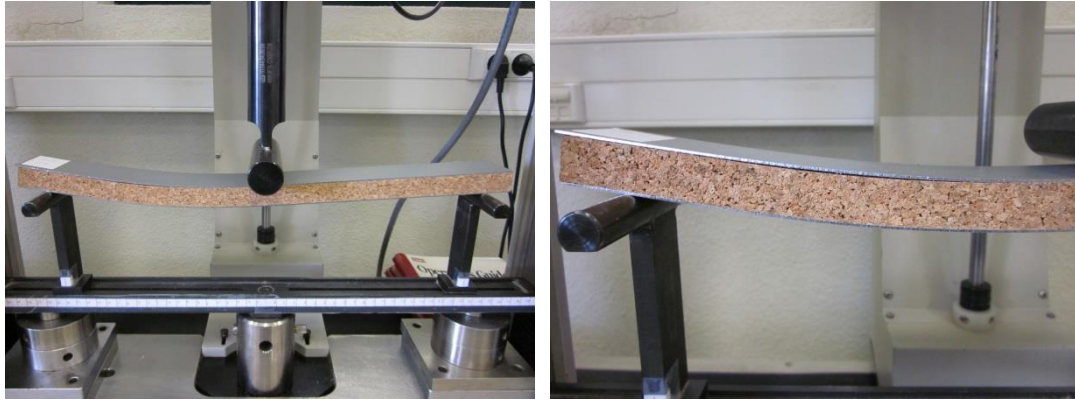


Figura 83 – Falha em provete P02 (esquerda) e detalhe de descolagem (direita).

Verificada a performance inicial das várias configurações, é de igual importância avaliar a susceptibilidade das mesmas para a perda das suas características iniciais por envelhecimento. O gráfico da figura 84 expõe, de forma quantitativa este impacto para cada uma das configurações possibilitando a comparação entre as mesmas.

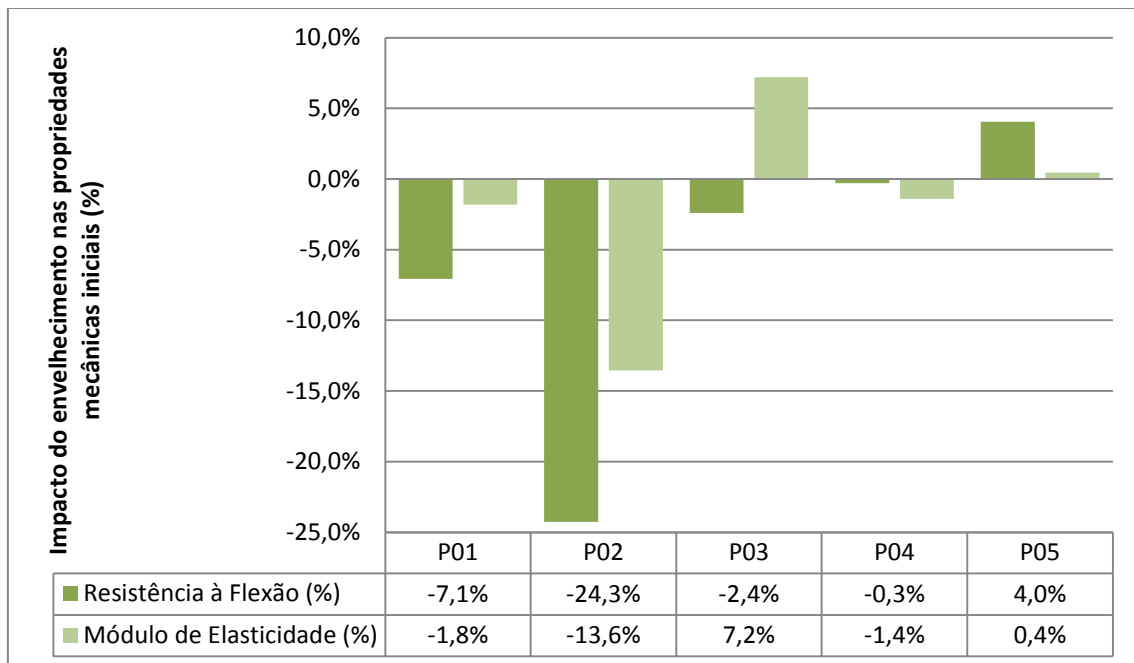


Figura 84 – Impacto do envelhecimento acelerado nas propriedades mecânicas.

Tendo todas as configurações sido submetidas às mesmas condições de envelhecimento, do gráfico da figura 84 sobressai que esse procedimento teve o seu maior impacto na configuração P02 onde o decréscimo na resistência à flexão ascendeu aos 25% e o

decréscimo no módulo elástico ascendeu a perto de 15%. Estes valores vêm firmar a necessidade de descartar esta configuração uma vez que, a um modo de falha catastrófico, se junta a rápida degradação da mesma, acentuando a sua inaptidão para a sujeição a este tipo de condições.

Todas as restantes configurações registam variações substancialmente inferiores, nenhuma excedendo os 7,5%, de onde se pode destacar o comportamento da configuração P04 a qual apresentou as menores perdas tanto em resistência à flexão como em módulo de elasticidade à flexão. Também de destacar a pequena degradação evidenciada pela configuração P01 onde apenas se regista uma pequena redução na resistência à flexão.

Há também que referir o diferente comportamento das configurações P03 e P05. Na primeira, e ainda que tenha existido uma muito pequena redução na resistência à flexão, regista-se um aumento, ainda que pequeno, no módulo de elasticidade à flexão dos provetes. Por seu lado, na segunda, registam-se simultaneamente diminutos aumentos nas duas propriedades analisadas. Estas variações, contraditórias para com o que seria espectável empiricamente, poderão ser devidas, não só a alguma flutuabilidade das propriedades dos provetes decorrente do fabrico dos painéis de onde originam, mas também a uma modificação das propriedades dos materiais de núcleo, e crucialmente, das propriedades do adesivo utilizado, nomeadamente no que toca à sua rigidez e resistência ao corte.

7.4. Adesão entre Camadas

Os ensaios de verificação da adesão entre camadas são particularmente informativos sobre a resistência das ligações coladas e sobre qual, de entre os componentes do painel sanduíche, o elemento por onde se iniciará a falha.

De entre as cinco configurações testadas no estado inicial, o modo de falha mais comum foi a ruptura à tracção do núcleo de CoreCORK NL20, que ocorreu nas configurações P01, P03 e P04 e que é identificável na figura 85. Este modo de falha era espectável uma vez que o material em causa é, de entre os utilizados para o fabrico dos painéis sanduíche em causa, aquele que tem uma menor tensão de ruptura.



Figura 85 – Modo de falha nos ensaios de FTS das configurações P01, P03 e P04.

Também de forma espectável, após a análise dos resultados dos ensaios de resistência à flexão e de módulo de elasticidade à flexão, se verifica que a configuração P02 falha pela sua ligação adesiva entre a pele de alumínio e núcleo (patente na figura 86), sendo também possível verificar que esse valor de falha se situa bastante abaixo dos valores encontrados para as restantes configurações, confirmando assim, que o filme adesivo utilizado nessa configuração não é apropriado ao uso em painéis sanduíche com núcleos em materiais aglomerados de cortiça.



Figura 86 – Modo de falha nos ensaios de FTS da configuração P02.

Por fim, a configuração P05, apresenta-se com, mesmo no estado inicial, um modo de falha distinto dos restantes. Neste caso a falha dá-se por ruptura da ligação adesiva entre os materiais de núcleo (figura 87), CoreCORK NL20 e ACM89, tendo-se obtido valores substancialmente mais baixos que os encontrados nas configurações P01, P03 e P04 cuja ruptura ocorreu, como já visto, pelo núcleo de CoreCORK NL20.



Figura 87 – Modo de falha nos ensaios de FTS da configuração P02.

Também à semelhança do que foi descrito para o subcapítulo anterior, é importante avaliar o impacto do ciclo de envelhecimento acelerado na qualidade da adesão entre camadas. Dessa forma, no gráfico da figura 88 é possível não só verificar os valores que originaram a falha dos respectivos provetes mas também a percentagem de decréscimo desses mesmos valores como causa da aplicação do citado ciclo de envelhecimento.

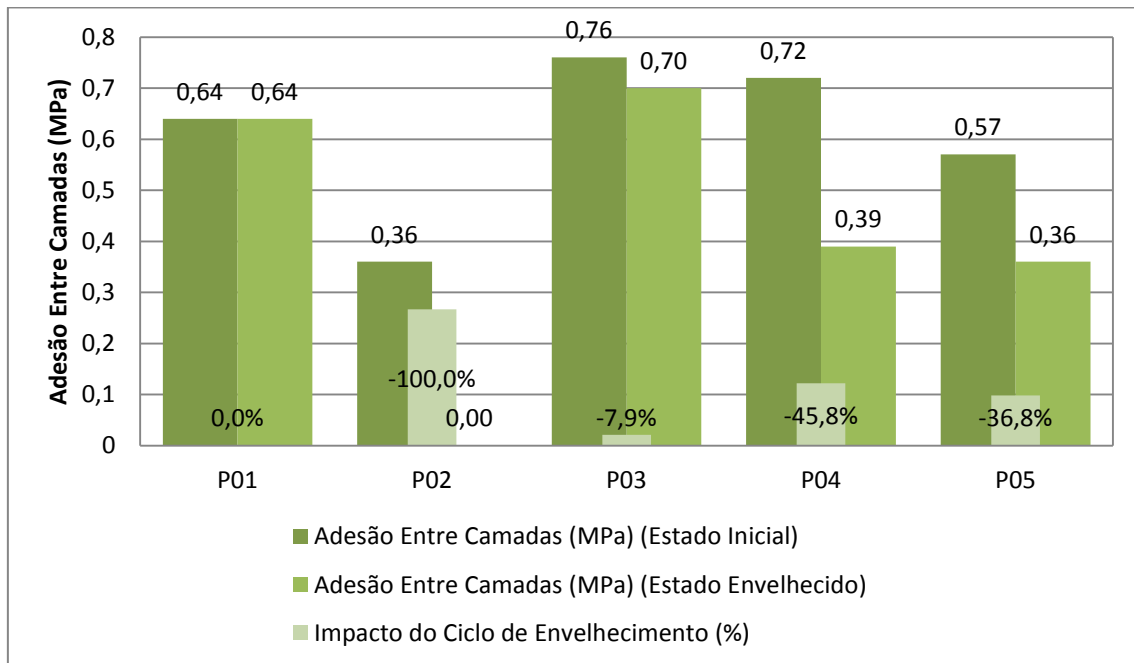


Figura 88 – Comparação da adesão entre camadas e impacto do envelhecimento.

Com efeito, é possível confirmar que a configuração que mais sofreu com a realização do ciclo de envelhecimento foi a P02 tendo-se tornado impraticável o ensaio após esse

processo dado que, ao momento de conclusão do ciclo, se verificou a descolagem total entre peles e núcleo, sendo este fenómeno visível na figura 89.

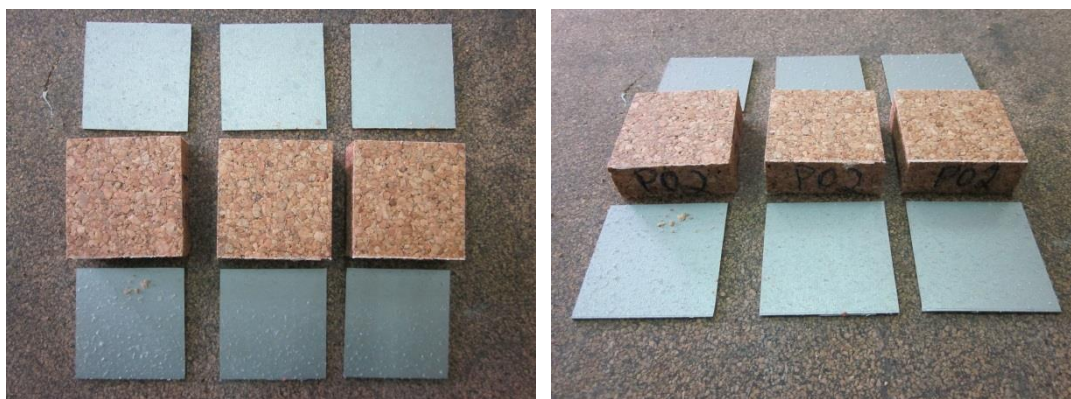


Figura 89 – Descolagem completa de provetes P02 após envelhecimento.

É também de destacar que as configurações onde foram aplicadas HML sofreram um decréscimo acentuado, entre os 35 e os 45%, na resistência das suas ligações coladas, verificando-se também, na configuração P04, a alteração do modo de falha, passando a haver falha pela ligação adesiva entre os materiais de núcleo, neste caso concreto entre o CoreCORK NL20 e o ACM15. Também na configuração P05 houve modificação do modo de falha, que anteriormente se dava pela ligação entre materiais de núcleo, passando nesta fase a dar-se pela separação entre a pele de alumínio e o core de ACM89.

Na figura 90 são visíveis os provetes, no estado envelhecidos, após a realização dos ensaios de FTS e os respectivos modos de falha.



Figura 90 – Modo de falha após envelhecimento nos ensaios de FTS das configurações P04 e P05.

Pelo contrário, nas configurações P01 e P03 pouco ou nada foi observado relativamente à sua afectação pelo ciclo de envelhecimento acelerado, mantendo-se na prática valores de falha bastante próximos dos originais e os mesmos modos de falha anteriormente vistos (falha pela ruptura do núcleo de CoreCORK NL20). Estas duas configurações demonstram assim, uma vez mais no âmbito deste estudo, a sua superioridade no que toca a propriedades estruturais.

7.5. Resistência à Extração de Parafuso

A resistência à extração de parafusos é um critério importante de validação por possibilitar a verificação da aplicabilidade das soluções preconizadas neste Trabalho Final de Mestrado à fixação através deste tipo de ligações aparafusadas. Mais do que isso possibilita também a comparação directa entre as várias configurações.

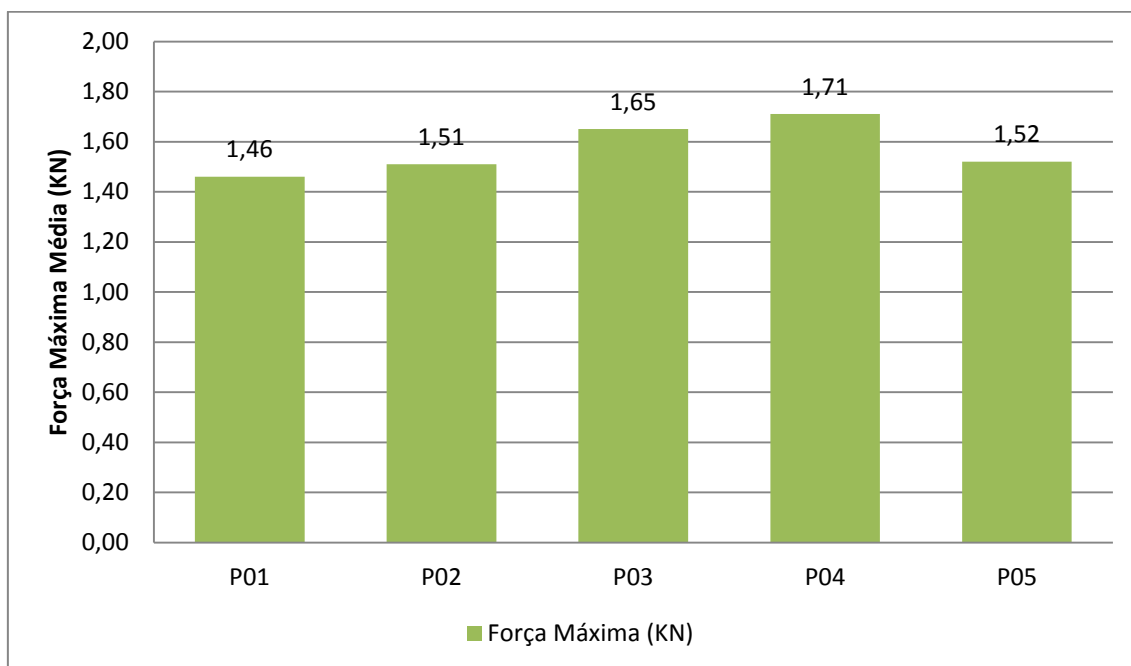


Figura 91 – Resultados dos ensaios de Resistência à Extração de Parafuso.

Conforme fica evidenciado pelo gráfico da figura 91, a diferença entre as várias soluções não é substancial. Este facto, e dada a diversidade de materiais de núcleos e adesivos utilizados, é indicativo de que a porção mais apreciável da resistência à

extracção de parafusos advém da contribuição da pele de alumínio. Esse facto fica também evidente pela deformação ocorrida no alumínio, na zona que imediatamente circunda a zona de inserção do parafuso de ensaio, que assume uma forma cónica após o ensaio. Esta mesma deformação é identificável na figura 92.

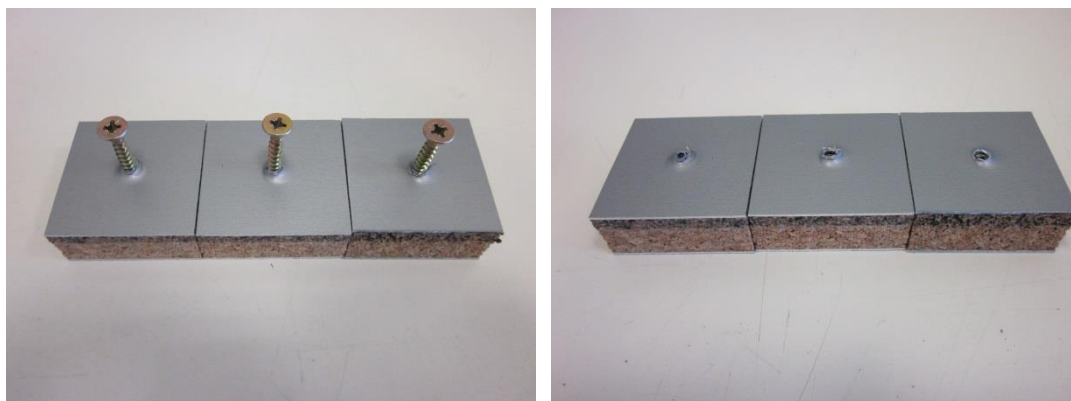


Figura 92 – Provetes de Resistência à Extracção de Parafuso após ensaio.

Em simultâneo, verificando-se as pequenas diferenças entre as três primeiras configurações, P01, P02, e P03, que são iguais no que toca às peles e núcleo, pode-se comentar a pequena, mas presente, contribuição do adesivo utilizado para os valores de resistência à extracção de parafusos. Em termos práticos verifica-se um acréscimo de aproximadamente 10% consequentes do uso da cola SIKA Sikaforce 7710L100 em detrimento dos filmes adesivos.

No que diz respeito à contribuição dada pelos diferentes materiais de núcleo, pode ser vista a ligeira melhoria desta propriedade na configuração P04, dada a utilização do material de núcleo, mais rígido, CoreCORK ACM15. Contrariamente, pode ser visto o efeito reverso na configuração P06 onde a utilização de um material menos rígido deteriora a resposta dos provetes a este ensaio.

7.6. Isolamento Acústico

A avaliação dos resultados dos ensaios acústicos é complexa, subjectiva, e estará sempre dependente dos valores de isolamento acústico requeridos da aplicação em causa. No caso particular das soluções desenvolvidas neste Trabalho Final de Mestrado,

esse requisito não é conhecido o que dificulta ainda mais a avaliação dos resultados obtidos.

No entanto, e considerando que a melhoria dos resultados de isolamento acústico estão directamente relacionados com o peso superficial dos mesmos, é inevitável a necessidade de fazer considerações quanto à aceitabilidade desse ganho de massa em função dos ganhos acústicos.

Como tal, e atendendo ao gráfico anteriormente apresentado para os resultados dos ensaios acústicos, é possível verificar que a adição de uma HML à configuração P03, criando-se a configuração P04, resulta efectivamente numa melhoria dos resultados de isolamento ao ruído aéreo nesta última. Porém, como já descrito, a aceitabilidade de um acréscimo de 30% em massa será sempre dependente dos requisitos e especificações da aplicação concreta.

Por outro lado, é facilmente visível que entre as configurações P04 e P05 a diferença, em termos de resultados dos ensaios acústicos, é praticamente inexistente. Dessa forma, qualquer incremento em peso superficial será, à partida, injustificável. No caso concreto da comparação directa das configurações P04 e P05, existe de facto um incremento em peso na ordem dos 2,5% o qual, ainda que diminuto, não encontra justificação em termos acústicos.

7.7. Condutibilidade e Resistividade Térmica

Os resultados dos ensaios de condutibilidade térmica e de resistividade térmica são consequência directa dos materiais utilizados no fabrico das várias configurações. Dessa forma também estes estarão em certa medida relacionados com o peso superficial das configurações ensaiadas.

No gráfico da figura 93 pode ser visto que a configuração P03 é a que apresenta o valor de condutibilidade térmica mais elevado, expondo uma diferença relevante quando em comparação com as configurações P04 e P05. Por seu lado, entre as configurações P04 e P05 a diferença é substancialmente inferior (cerca de 5%).

No que diz respeito aos valores apresentados para a resistividade térmica, estes são baseados no valor da espessura (mais especificamente na razão entre a espessura e a condutividade térmica) dos provetes testados que, como referido anteriormente, é igual em todas as configurações garantindo assim a possibilidade de comparabilidade delas.

Seguindo o já descrito para a análise dos valores obtidos nos ensaios acústicos, também nestes a avaliação dos resultados de condutividade e resistividade térmica é subjectiva às restrições ou requisitos da aplicação, pelo que a diminuição da condutividade térmica e o aumento da resistividade térmica sentidos nas últimas configurações necessita obrigatoriamente de ser contraposto com o aumento de peso superficial que também nestas configurações se sente.

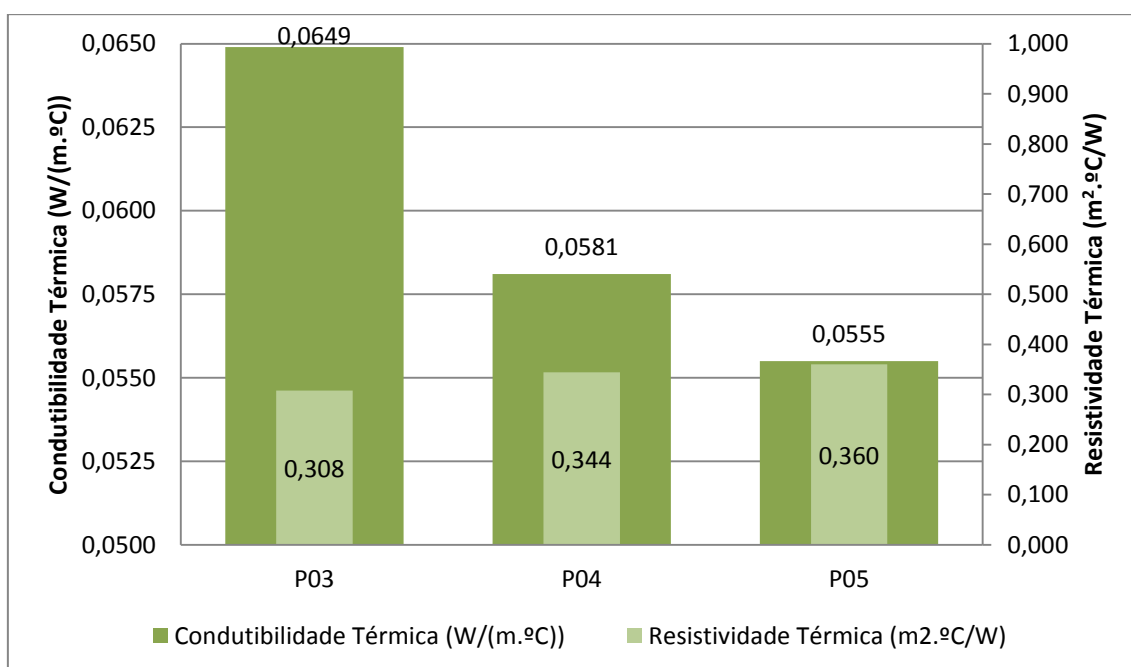


Figura 93 – Comparação da condutibilidade térmica e da Resistividade Térmica.

7.8. Resistência ao Impacto

Sendo a resistência à indentação por impacto um indicador de durabilidade destas configurações é necessário proceder-se à interpretação do gráfico da figura 94. Nele pode ser visto que as três configurações mais similares, P01, P02, P03, apresentam

resultados de indentação média praticamente indistinguíveis, tratando-se na prática de diferenças na ordem das centésimas de milímetro.

Por seu lado, nas configurações P04 e P05 assistem-se a dois comportamentos distintos dependendo da face solicitada pela queda da esfera de ensaio. Estas quando solicitadas na face de alumínio sob a qual se encontra o material NL20 assistem a uma redução substancial do valor de indentação médio. Este comportamento indica que ambos os materiais ACM15 e ACM89 estão, no momento do impacto, a actuar como elementos de absorção de energia, diminuindo a energia absorvida pelo alumínio e como tal minorando os efeitos do impacto neste, o que resulta em menores indentações.

Pelo contrário, quando a solicitação se dá na face de alumínio sob a qual se encontra o material ACM15 ou ACM89, assiste-se a um aumento substancial do valor de indentação médio, sobretudo na configuração P05. Estes resultados demonstram que a existência de uma camada elástica sobre a pele de alumínio solicitada ao impacto é prejudicial para esta. Neste caso a elasticidade e compressibilidade dos materiais ACM15 e ACM89 não oferece suporte à pele de alumínio que os cobre, ficando esta responsável pela absorção de uma maior porção da energia de impacto, o que resulta em valores de indentação superiores.

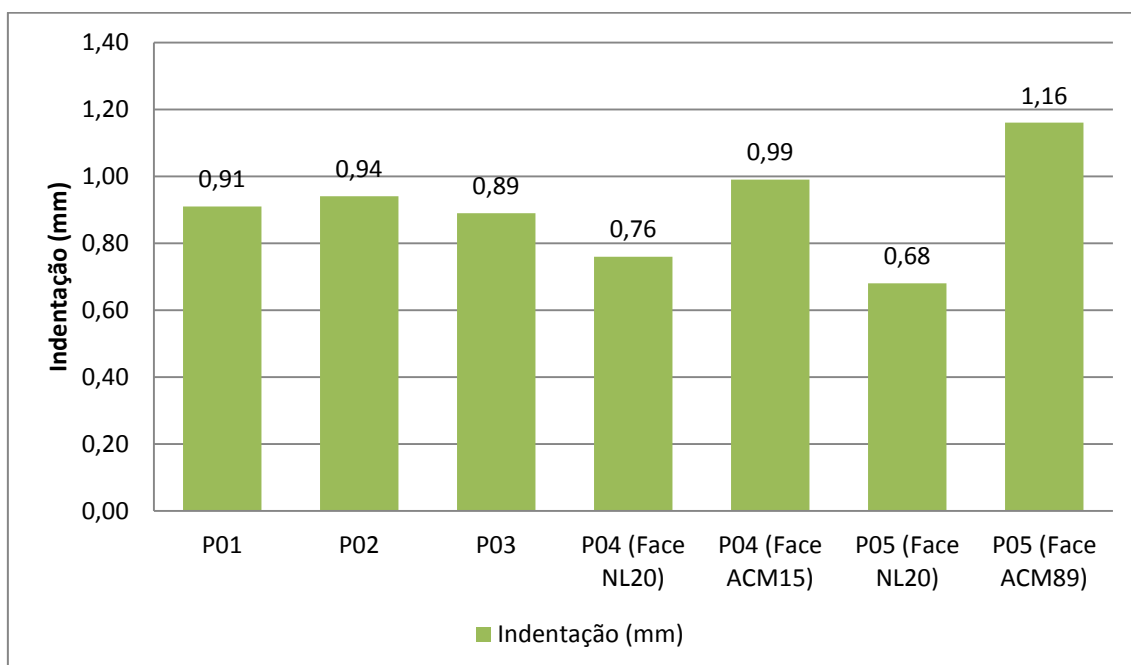


Figura 94 – Comparação dos resultados de Resistência ao Impacto.

Conclusivamente há que considerar que as camadas de CoreCORK ACM15 e ACM89, quando empregues numa aplicação real, sejam aplicadas na face contrária àquela em que há risco ou hipótese da ocorrência de impactos.

7.9. Flexão sob Carga Distribuída

Sendo o ensaio de flexão sob carga distribuída um ensaio de resistência à flexão a uma escala mais próxima da representativa da aplicação destino, trata-se também de um importante indicador da performance mecânica das soluções desenvolvidas neste documento. A capacidade destas configurações em manter a forma quando carregadas de forma não localizada é de grande importância para a sua aplicação enquanto painéis de piso, pelo que a avaliação deste parâmetro é fulcral. A configuração P03 foi a que anteriormente obteve melhores resultados nos ensaios de resistência à flexão e módulo de elasticidade à flexão, pelo que o facto de figurar neste ensaio com os menores valores de flecha máxima não surge como surpresa.

Por sua vez, as configurações P04 e P05, que anteriormente se estabeleceu terem pesos superficiais bastante semelhantes, bem como comportamentos acústicos praticamente indistinguíveis, mostram agora a sua diferença para o ensaio em causa. Aqui a configuração P05 claramente apresenta mais deformação para a mesma carga aplicada, estando este facto também de acordo com os resultados anteriormente apresentados para os valores de resistência à flexão e módulo de elasticidade à flexão.

Estes factos resumidos indicam que, para este critério de carga distribuída, a configuração P03 é a que apresenta melhor comportamento e que, em função dos resultados anteriormente apresentados, a configuração P05 não apresenta vantagens quando directamente comparada à configuração P04.

7.10. Tabela de Resultados da Configuração P01

Tabela 24 – Datasheet for specimen P01.

Material	P01
1st Core Material	NL20
1st Core Thickness (mm)	18,0
2nd Core Material	-
2nd Core Thickness (mm)	-
Skin Material	Aluminum 5754 H48
Skin Thickness (mm)	1,0
Adhesive Material	Collano 23.110
Adhesive Quantity per Bond Line(g/m ²)	100
Total Thickness (mm)	20,0
Surface Weight	
Results: Surface Weight (kg/m ²)	9,06
Bending Test Norm: EN 310	
Dimensions (Span) (mm)	450 x 50 (400)
Results: Bending Strength (MPa)	22,95
Results: Young Modulus (GPa)	4,95
Flatwise Tensile Strength Test Norm: ASTM C297	
Dimensions (mm)	50 x 50
Results: Tensile Strength (MPa)	0,64
Screw Extraction Test Norm: EN 320	
Dimensions (mm)	75 x 75
Results: Force (KN)	1,46
Impact Resistance	Drop Ball 500g / Ø50mm / h1,0m
Dimensions (mm)	220 x 220 (Suspended 220 x 200)
Results: Identation (mm)	0,91
Acoustical Insulation Test Norm: ISO 140-3	
Results: Airborne Sound Insulation RW (dB)	x
Thermal Insulation Test Norm: EN12664	
Results: Thermal Conductivity (W/m.°C)	x
Results: Thermal Resistivity (m ² .°C/W)	x
Water Absorption Test Norm: ASTM C272	
Dimensions (mm)	76,2 x 76,2
Results: Mass Gain (%)	4,05

7.11. Tabela de Resultados da Configuração P02

Tabela 25 – Datasheet for specimen P02.

Material	P02
1st Core Material	NL20
1st Core Thickness (mm)	18,0
2nd Core Material	-
2nd Core Thickness (mm)	-
Skin Material	Aluminum 5754 H48
Skin Thickness (mm)	1,0
Adhesive Material	Collano 22.110
Adhesive Quantity per Bond Line(g/m ²)	100
Total Thickness (mm)	20,0
Surface Weight	
Results: Surface Weight (kg/m ²)	9,22
Bending Test Norm: EN 310	
Dimensions (Span) (mm)	450 x 50 (400)
Results: Bending Strength (MPa)	18,51
Results: Young Modulus (GPa)	4,51
Flatwise Tensile Strength Test Norm: ASTM C297	
Dimensions (mm)	50 x 50
Results: Tensile Strength (MPa)	0,36
Screw Extraction Test Norm: EN 320	
Dimensions (mm)	75 x 75
Results: Force (KN)	1,51
Impact Resistance	
Dimensions (mm)	Drop Ball 500g / Ø50mm / h1,0m 220 x 220 (Suspended 220 x 200)
Results: Identation (mm)	0,94
Acoustical Insulation Test Norm: ISO 140-3	
Results: Airborne Sound Insulation RW (dB)	x
Thermal Insulation Test Norm: EN12664	
Results: Thermal Conductivity (W/m.°C)	x
Results: Thermal Resistivity (m ² .°C/W)	x
Water Absorption Test Norm: ASTM C272	
Dimensions (mm)	76,2 x 76,2
Results: Mass Gain (%)	4,49

7.12. Tabela de Resultados da Configuração P03

Tabela 26 – Datasheet for specimen P03.

Material	P03
1st Core Material	NL20
1st Core Thickness (mm)	18,0
2nd Core Material	-
2nd Core Thickness (mm)	-
Skin Material	Aluminum 5754 H48
Skin Thickness (mm)	1,0
Adhesive Material	SIKA Sikaforce 7710L100
Adhesive Quantity per Bond Line(g/m²)	200
Total Thickness (mm)	20,0
Surface Weight	
Results: Surface Weight (kg/m²)	9,51
Bending Test Norm: EN 310	
Dimensions (Span) (mm)	450 x 50 (400)
Results: Bending Strength (MPa)	23,21
Results: Young Modulus (GPa)	5,14
Flatwise Tensile Strength Test Norm: ASTM C297	
Dimensions (mm)	50 x 50
Results: Tensile Strength (MPa)	0,76
Screw Extraction Test Norm: EN 320	
Dimensions (mm)	75 x 75
Results: Force (KN)	1,65
Impact Resistance	Drop Ball 500g / Ø50mm / h1,0m
Dimensions (mm)	220 x 220 (Suspended 220 x 200)
Results: Indentation (mm)	0,89
Acoustical Insulation Test Norm: ISO 140-3	
Results: Airborne Sound Insulation RW (dB) (ISO717-1)	30
Thermal Insulation Test Norm: EN12664	
Results: Thermal Conductivity (W/m.°C)	0,0649
Results: Thermal Resistivity (m².°C/W)	0,308
Water Absorption Test Norm: ASTM C272	
Dimensions (mm)	76,2 x 76,2
Results: Mass Gain (%)	4,20

7.13. Tabela de Resultados da Configuração P04

Tabela 27 – Datasheet for specimen P04.

Material	P04
1st Core Material	NL20
1st Core Thickness (mm)	13
2nd Core Material	ACM15
2nd Core Thickness (mm)	5
Skin Material	Aluminum 5754 H48
Skin Thickness (mm)	1,0
Adhesive Material	SIKA Sikaforce 7710L100
Adhesive Quantity per Bond Line(g/m ²)	200
Total Thickness (mm)	20,0
Surface Weight	
Results: Surface Weight (kg/m ²)	12,40
Bending Test Norm: EN 310	
Dimensions (Span) (mm)	450 x 50 (400)
Results: Bending Strength (MPa)	19,97
Results: Young Modulus (GPa)	3,55
Flatwise Tensile Strength Test Norm: ASTM C297	
Dimensions (mm)	50 x 50
Results: Tensile Strength (MPa)	0,72
Screw Extraction Test Norm: EN 320	
Dimensions (mm)	75 x 75
Results: Force (KN)	1,71
Impact Resistance	
Dimensions (mm)	Drop Ball 500g / Ø50mm / h1,0m 220 x 220 (Suspended 220 x 200)
Results: Identation (mm)	0,76 / 0,99
Acoustical Insulation Test Norm: ISO 140-3	
Results: Airborne Sound Insulation RW (dB) (ISO717-1)	32
Thermal Insulation Test Norm: EN12664	
Results: Thermal Conductivity (W/m.°C)	0,0581
Results: Thermal Resistivity (m ² .°C/W)	0,344
Water Absorption Test Norm: ASTM C272	
Dimensions (mm)	76,2 x 76,2
Results: Mass Gain (%)	3,51

7.14. Tabela de Resultados da Configuração P05

Tabela 28 – Datasheet for specimen P05.

Material	P05
1st Core Material	NL20
1st Core Thickness (mm)	13
2nd Core Material	ACM89
2nd Core Thickness (mm)	5
Skin Material	Aluminum 5754 H48
Skin Thickness (mm)	1,0
Adhesive Material	SIKA Sikaforce 7710L100
Adhesive Quantity per Bond Line(g/m²)	200
Total Thickness (mm)	20,0
Surface Weight	
Results: Surface Weight (kg/m²)	12,69
Bending Test Norm: EN 310	
Dimensions (Span) (mm)	450 x 50 (400)
Results: Bending Strength (MPa)	17,55
Results: Young Modulus (GPa)	2,25
Flatwise Tensile Strength Test Norm: ASTM C297	
Dimensions (mm)	50 x 50
Results: Tensile Strength (MPa)	0,57
Screw Extraction Test Norm: EN 320	
Dimensions (mm)	75 x 75
Results: Force (KN)	1,52
Impact Resistance	Drop Ball 500g / Ø50mm / h1,0m
Dimensions (mm)	220 x 220 (Suspended 220 x 200)
Results: Indentation (mm)	0,68 / 1,16
Acoustical Insulation Test Norm: ISO 140-3	
Results: Airborne Sound Insulation RW (dB) (ISO717-1)	32
Thermal Insulation Test Norm: EN12664	
Results: Thermal Conductivity (W/m.°C)	0,0555
Results: Thermal Resistivity (m².°C/W)	0,360
Water Absorption Test Norm: ASTM C272	
Dimensions (mm)	76,2 x 76,2
Results: Mass Gain (%)	2,45

8. Conclusões

Durante este estudo foi possível observar e enaltecer o elevado número de características interessantes que são intrínsecas à cortiça, mostrando que a mesma pode ser utilizada na criação de elementos estruturais. A abordagem de temáticas objectivas como a composição da cortiça, a sua exploração, processamento, transformação, e aplicações possibilitou também um melhor conhecimento desta tão versátil matéria-prima.

Tendo ficado evidente esta versatilidade foi lógico o enquadramento deste material enquanto núcleo de uma estrutura sanduíche. Este facto levou ao estudo da composição típica deste tipo de estruturas, e materiais a elas normalmente associados, culminando-se na selecção de um conjunto de materiais para o fabrico de várias configurações, e subsequente definição de um plano de ensaios de validação para as mesmas.

Das cinco configurações fabricadas e ensaiadas nem todas se apresentam como soluções efectivas. Na verdade a configuração P02 pode ser descartada quase inicialmente dada a sua baixa performance nos ensaios de resistência à flexão e nos ensaios de adesão entre camadas. A sua grande susceptibilidade à degradação por envelhecimento, em conjunto com o modo de falha catastrófico por descolagem entre peles e núcleo, ditaram a inaptidão desta solução.

Das quatro configurações restantes destacaram-se as P01 e P03 por apresentarem, nos diversos ensaios conduzidos, comportamentos muito semelhantes, não se tornando por isso nenhuma destas configurações descartável. Em termos práticos a forte semelhança entre as mesmas ditou que para a configuração P01 não fosse necessário proceder a alguns dos ensaios planeados inicialmente, uma vez que seriam espectáveis resultados similares.

Verificou-se desta forma que das citadas quatro configurações o plano de ensaios foi concluído para três delas, as configurações P03, P04 e P05. De entre estas foi também possível concluir que a configuração P05 não acrescenta uma performance significativa à P04, sobretudo considerando que desta advém um ligeiro incremento de peso superficial.

Exposto o acima é aceitável concluir que das iniciais cinco configurações, as duas que mais se destacam são as P03 e P04, cada uma delas evidenciando vantagens e desvantagem. Se por um lado a configuração P04 é substancialmente mais pesada que a P03, por outro lado também poderá justificar essa desvantagem com a evidente melhoria da performance acústica. Do lado contrário poderá ser colocada a configuração P03 que, podendo pecar pelos seus resultados acústicos, destaca-se pela sua performance mecânica robusta e durável, conforme mostra a baixa degradação com os ensaios de envelhecimento.

Por fim, a compilação de toda a informação, gerada pela execução do extenso plano de ensaios, em fichas técnicas para cada umas das configurações consideradas, fornece uma importantíssima ferramenta de comparação entre soluções, centralizando num só local a informação necessária para uma comparação directa entre estes elementos e qualquer outro produto correntemente no mercado.

9. Desenvolvimentos Futuros

Postas as conclusões evidenciadas nos capítulos anteriores, tanto para os resultados dos ensaios propriamente ditos como para as conclusões retiradas desses mesmos, a principal recomendação de desenvolvimentos futuros prende-se com a ampliação do número de materiais testados no fabrico dos painéis sanduíche. Dentro da amplitude e diversidade de materiais produzidos pela Amorim Cork Composites certamente existirão outros que, pelas suas propriedades singulares, possam servir o propósito de uma aplicação específica e como tal figurar numa destas configurações de painel sanduíche, pelo que a sua caracterização é valiosa.

Poderá também vir a ser interessante, após concluído sobre o efeito do núcleo nas propriedades globais destas estruturas sanduíche, proceder-se a um exercício semelhante, desta feita com a variação do material das peles. Aqui equacionar o uso de peles pré-impregnadas de fibras de vidro ou carbono em resinas epoxídicas ou fenólicas poderá, sem dúvida, apresentar-se como um rumo de desenvolvimento interessante.

Outra vertente que poderá, deverá, vir a ser estudada no futuro é a variação das propriedades apuradas com a variação da espessura das várias camadas de materiais. Com efeito neste Trabalho Final de Mestrado, e para efeitos comparativos, foram apenas equacionados arranjos com uma espessura total de 20mm por ser aquele mais apropriado à aplicação alvo. No entanto variar não só a espessura das peles como dos materiais de núcleo poderá resultar em significativos ganhos em propriedades mecânicas, térmicas, ou acústicas.

10.Referências Bibliográficas

- [1] “APCOR,” [Online]. Available: <http://www.apcor.pt>. [Acedido em 17 02 2013].
- [2] “AMORIM,” [Online]. Available: <http://www.amorim.com/>. [Acedido em 19 02 2013].
- [3] L. Gil, A cortiça como material de construção - Manual Técnico.
- [4] Cork Information Bureau, *Cortiça - Matéria Prima*, Santa Maria de Lamas, 2010.
- [5] S. P. Silva, M. A. Sabino, E. M. Fernandes, V. M. Correlo, L. F. Boesel e L. Reis, “Cork: properties, capabilities and applications,” *International Materials Reviews*, pp. 345-365, 2005.
- [6] M. A. Oliveira e L. Oliveira, A Cortiça, Corticeira Amorim S.G.P.S., 2000.
- [7] A. Sen, T. Quilhó e H. Pereira, “The cellular structure of cork from *Quercus cerris* var. *cerris* bark in a materials’,” *Industrial Crops and Products*, pp. 929-936, 2011.
- [8] Corticeira Amorim S.G.P.S., The Art of Cork, Mozelos.
- [9] Cork Information Bureau, *Rolhas de Cortiça*, Santa Maria de Lamas, 2010.
- [10] “Wineanorak - How Cork is Made,” [Online]. Available: www.wineanorak.com/corks/howcorkismade. [Acedido em 23 02 2013].
- [11] “Wineanorak - Making Technical Corks,” [Online]. Available: www.wineanorak.com/corks/makingtechnicalcorks. [Acedido em 23 02 2013].
- [12] Cork Information Bureau, *Materiais de Construção e Decoração*, Santa Maria de Lamas: APCOR, 2010.
- [13] A. Mestre, M. G. Campelo, M. Silva e R. Velhinho, “Design Cork for future, innovation and sustainability,” *SusDesign*, 2006.
- [14] Amorim Cork Composites, “Business Areas/Empresa: Amorim Cork Composites,” Outbox^Ativism , [Online]. Available: <http://corkcomposites.com/>. [Acedido em 02 03 2013].

- [15] H. G. Allen, *Analysis and Design of Structural Sandwich Panels*, Pergamon Press, 1969.
- [16] J. M. Davies, *Lightweight Sandwich Construction*, Blackwell Science, 2001.
- [17] D. Zenkert, *The Handbook of Sandwich Construction*, Engineering Materials Advisory Services, 1997.
- [18] DIAB, *Guide to Core and Sandwich*, Laholm, Sweden, 2012.
- [19] W. S. Burton e A. Noor, "Structural analysis of the adhesive bond in a honeycomb core sandwich panel," *Finite Elements in Analysis and Design*, vol. 26, pp. 213-227, 1997.
- [20] Alcan Baltek Corp., *Introduction to Cores*, 2009.
- [21] Euro-Composites, *Company Presentation - Our Products*, Echternach, Luxembourg, 2013.
- [22] S. Heimbs e M. Pein, "Failure behaviour of honeycomb sandwich corner joints and inserts," *Composite Structures*, vol. 88, pp. 575-588, 2009.
- [23] I. J. Straalen, "Comprehensive overview of theories for sandwich panels," *Modelling of sandwich structures and adhesive bonded joints*, pp. 48-70.
- [24] J. Sargianis, H.-i. Kim e J. Suhr, "Natural Cork Agglomerate Employed as an Environmentally friendly Solution for Quiet Sandwich Composites," *Scientific Reports*, vol. 2, pp. 403-408, 2012.
- [25] O. Castro, J. M. Silva, T. Devezas, A. Silva e L. Gil, "Cork agglomerates as an ideal core material in lightweight structures," *Materials And Design*, pp. 425-432, 2010.
- [26] *EN 323: Wood-based panels. Determination of density.*, 1993.
- [27] *ASTM C272: Standard Test Method for Water Absorption of Core Materials for Sandwich Constructions*, 2002.
- [28] *NF F31-446: Rolling stock. Composite panels with decorated or protected faces*,

1989.

- [29] *ASTM C393: Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure*, 2011.
- [30] *EN 310: Wood-based panels – Determination of módulos of elasticity in bending and of bending strength*, 2002.
- [31] *ASTM C297: Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions*, 2010.
- [32] *EN 320: Particleboards and fibreboards. Determination of resistance to axial withdrawal of screws*, 2011.
- [33] *ISO 140-3: Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements*, 1995.
- [34] *EN 12664: Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Dry and moist products of medium and low thermal resistance*, 2001.
- [35] *EN 573-3: Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 3: Chemical composition and form of products*, 2009.
- [36] *EN 1396: Aluminium and aluminium alloys - Coil coated sheet and strip for general applications - Specifications*, 1997.
- [37] Metalweb, “Metalweb.co.uk - Plate, sheet & strip typical physical properties,” [Online]. Available: <http://www.metalweb.co.uk>. [Acedido em 04 05 2013].
- [38] Amorim Cork Composites, *CoreCORK Technical Data*, 2009.
- [39] Amorim Cork Composites, *ACM Acoustical Materials - ACM15 Material Data Sheet*, 2007.
- [40] Amorim Cork Composites, *ACM Acoustical Materials - ACM89 Material Data Sheet*, 2007.

[41] SIKA, *SikaForce 7710 L100 - Product Data Sheet*, 2008.

[42] Collano, *Collano 22.110_22.111 Technical Data Sheet*, 2011.

[43] Collano, *Collano 23.110_23.111 Technical Data Sheet*, 2012.