



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Estudo Acústico e Térmico de Compósitos de Materiais Naturais

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Especialidade de Construções

Autor

Cátia Andreia Mendes Monteiro

Orientador

Julieta Maria Pires António

António José Barreto Tadeu

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correcções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Colaboração institucional



Coimbra, Fevereiro, 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, Professora Doutora Julieta Maria Pires António e Professor Doutor António José Barreto Tadeu pela oportunidade e pelos conhecimentos transmitidos.

Agradeço de igual forma ao ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências e Construção e a todas as pessoas que dele fazem parte.

Quero agradecer aos meus pais por tudo o que me ensinaram e proporcionaram, porque sem eles não teria conseguido concluir esta etapa.

Agradeço em especial às minhas melhores amigas de Coimbra que são uma segunda família e que sempre tiveram paciência para mim.

RESUMO

A crescente preocupação Europeia reflete-se nas energias renováveis e alterações climáticas que contribuem para um crescimento sustentável. Ao aumentar a eficiência energética pode obter-se uma economia sustentável, utilizando recursos mais eficientes.

Para isso, têm havido uma maior procura no que respeita à utilização de materiais naturais que garantem uma maior sustentabilidade na construção nos tempos atuais. Estes materiais naturais podem incorporar muitas vezes resíduos agro-industriais que não têm outra utilização ou desperdícios de materiais naturais de outras indústrias como por exemplo a indústria corticeira. O presente trabalho analisa a possibilidade de utilização de casca de arroz e granulado de cortiça para produzir um material compósito.

A casca de arroz possui um baixo peso específico, baixo peso volúmico, uma baixa densidade, uma lenta biodegradação, é constituída essencialmente por sílica e fibras, e têm um elevado calor específico o que leva a que a casca de arroz tenha um bom comportamento higrotérmico. Em contrapartida, a casca de arroz pode causar danos ambientais, quando simplesmente é libertada como resíduo, a casca é queimada, o que a transforma como uma fonte de poluição e contaminação, quando utilizada de forma inadequada.

O granulado de cortiça expandida é um subproduto obtido durante a fabricação do aglomerado de cortiça expandida (ICB) que por sua vez é fabricado com desperdícios da indústria da cortiça (desperdícios das rolhas) e pequenos pedaços de cortiça. Neste trabalho, realizou-se uma investigação inicial, para perceber as potencialidades de materiais compósitos fabricados com casca de arroz e granulado de cortiça expandida aglomerados com poliuretano. Fabricaram-se de forma não industrial, duas misturas com diferentes percentagens de cortiça, que permitiram fabricar pequenas amostras para a determinação de algumas propriedades térmicas e acústicas. Atendendo aos resultados dos ensaios, prevê-se que estes materiais possam vir a ser utilizados na construção. Refira-se que o desenvolvimento deste tipo de materiais poderá contribuir significativamente para a estratégia de sustentabilidade ao usar por um lado componentes naturais e simultaneamente ao contribuir para a valorização de resíduos e subprodutos da indústria agrícola e da indústria corticeira.

Palavras-chave: valorização de resíduos; casca de arroz; granulado de cortiça expandida; propriedades térmicas; propriedades acústicas

ABSTRACT

The growing European concern is reflected in the renewable energy and climate changes that contribute to sustainable growth. To increased energy efficiency can be achieved to sustainable economy using resources more efficient.

For that, has been an increased demand in respect of the use of natural materials that ensure greater sustainability in construction nowadays. These natural materials can incorporate agro-industrial waste that often have no other use or waste of natural materials from other industries such as the cork industry. The present work analyzes the possibility of using rice husk and granulated cork to produce a composite material.

The rice husk has a low specific weight, a low volume weight, a low density, a slow biodegradation, it's consists essentially of silica and fibers, and have a high specific heat which leads to the rice husk has a good hydrothermal behavior. On the other hand, the rice can cause environmental damage, when simply is released as waste, the bark is burnt, which transforms as a source of pollution and contamination when used inappropriately.

The expanded granulated cork is a by-product obtained during the manufacture of the agglomerate of expanded Cork (ICB), which in turn is manufactured using cork industry waste (waste from the cork stoppers), and small pieces of cork. In this work, we realized an initial investigation, to understand the potential of composite materials manufactured from rice husk and expanded granulated cork agglomerates with polyurethane. We manufactured, non-industrial way, two mixtures with different percentages of cork, which allowed to manufacture small samples for the determination of some thermal and acoustic properties. On results of the tests, it is expected that these materials may be used in the construction. It should be noted that the development of this kind of materials could contribute significantly to the sustainability strategy to use on the one hand natural components and simultaneously to contribute to the recovery of waste and by-products of agricultural industry and cork industry.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE QUADROS.....	vii
ABREVIATURAS.....	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2. MOTIVAÇÃO.....	2
1.3. OBJECTIVOS	3
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
2. ESTADO DE ARTE	5
2.1. ENQUADRAMENTO GERAL	5
2.2. APROVEITAMENTO DE MATERIAIS NATURAIS PARA A CONSTRUÇÃO ..	6
2.3. CULTURA DE ARROZ.....	9
2.4. PRODUÇÃO DE CORTIÇA	11
3. MATERIAIS E TÉCNICAS EXPERIMENTAIS	13
3.1. INTRODUÇÃO.....	13
3.2. DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS ENSAIADAS	13
3.3. METODOLOGIAS EXPERIMENTAIS	15

3.3.1.	Ensaio de Medição de redução da Transmissão de Sons de Percussão ΔL_w	15
3.3.2.	Ensaio de determinação do coeficiente de condutibilidade térmica	17
3.3.3.	Ensaio de determinação da transmissibilidade de vibrações	19
3.3.4.	Ensaio de determinação do comportamento à compressão	22
3.3.5.	Ensaio de determinação da rigidez dinâmica de materiais utilizados sob pavimentos flutuantes.....	24
3.3.6.	Ensaio de determinação da absorção sonora em tubo de impedância.....	27
3.3.7.	Ensaio de determinação da perda por transmissão sonora em tubo de impedância	29
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS EXPERIMENTAIS	31
4.1.	Ensaio de medição da redução da transmissão de sons de percussão ΔL_w	31
4.2.	Ensaio de determinação do coeficiente de condutibilidade térmica	33
4.3.	Ensaio de determinação da transmissibilidade de vibrações.....	34
4.4.	Ensaio de determinação do comportamento à compressão	38
4.5.	Ensaio de determinação da rigidez dinâmica de materiais utilizados sob pavimentos flutuantes	39
4.6.	Ensaio de determinação da absorção sonora em tubo de impedância	41
4.7.	Ensaio de determinação da perda por transmissão sonora em tubo de impedância ..	42
5.	CONCLUSÕES	44
6.	BIBLIOGRAFIA	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Casca do Arroz	10
Figura 3. 1- Compósito A	14
Figura 3. 2 - Compósito B	14
Figura 3. 3 - Câmara de emissão e recetora	15
Figura 3. 4 - Máquina de percussão sobre lajeta flutuante	16
Figura 3. 5-Equipamento single-specimen Lambda-meter EP500 com introdução da amostra.	18
Figura 3. 6 - Definição da zona de medição	19
Figura 3. 7 - Equipamento de ensaio utilizado na determinação da transmissibilidade	20
Figura 3. 8 - Equipamento de ensaio com as quinze placas	21
Figura 3. 9 - Amostra do Compósito A com 200 mm x 200 mm e de 150 mm x 150 mm	22
Figura 3. 10 - Amostra do Compósito B com 200 mm x 200 mm e de 150 mm x 150 mm	22
Figura 3. 11 - Posições das determinações da espessura para verificação do paralelismo	23
Figura 3. 12 - Rotura do provete no ensaio de resistência á compressão	24
Figura 3. 13 - Esquema do provete para se efetuar o Ensaio	25
Figura 3. 14 - Provete preparado	25
Figura 3. 15 - Ensaio da determinação da rigidez dinâmica	26
Figura 3. 16 - Esquema do funcionamento de um tubo de impedância	28
Figura 3. 17 - Tubo de Impedância para a determinação da perda de transmissão sonora	29
Figura 4. 1 - Medição do nível sonoro normalizado do compósito A e do compósito B	32
Figura 4. 2 - Curva de transmissibilidade do compósito A para o provete de 400 cm ²	34
Figura 4. 3 - Curva de transmissibilidade do compósito B para o provete de 400 cm ²	35
Figura 4. 4 - Curva de transmissibilidade do compósito A para o provete de 225 cm ²	35
Figura 4. 5 - Curva de transmissibilidade do compósito B para o provete 225 cm ²	36
Figura 4. 6- Curva de transmissibilidade dos compósitos A e B de 100 mm x 100 mm	37
Figura 4. 7 - Curva de transmissibilidade dos compósito A e B de 75 mm x 75mm	37
Figura 4. 8 - Curvas de absorção dos compósitos A e B	41
Figura 4. 9 - Curvas de perda por transmissão sonora do compósito A e B	42

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3. 1 - Quadro com as respectivas dimensões de cada provete	14
Quadro 4. 1 - Resultados dos ensaios de Condutibilidade térmica dos Compósitos A e B	33
Quadro 4. 2 - Resultados dos ensaios de compressão	39
Quadro 4. 3 - Resultados finais da frequência de ressonância f_r , e a respetiva rigidez dinâmica aparente s_t' , para o compósito A	40
Quadro 4.4 - Resultados finais da frequência de ressonância f_r , e a respetiva rigidez dinâmica aparente s_t' , para o compósito B	40

ABREVIATURAS

CE – Comissão Europeia

EN – Norma Europeia

ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção

ISO – Organização Internacional para Padronização

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

No último século, o planeta tem vindo a sofrer múltiplas alterações devido ao avanço da tecnologia e da ciência. Toda a exploração dos recursos naturais da Terra, permite ao ser humano obter melhores condições de vida e níveis de conforto. Porém, todos estes benefícios têm vindo a ser questionados devido ao aumento da preocupação relativa ao meio ambiente. Consequentemente têm sido levadas a cabo tentativas de valorização da utilização racional de recursos e energias por parte das autoridades nacionais e internacionais contribuindo para o estabelecimento de metas importantes para a prática indispensável da sustentabilidade.

A “Estratégia Europa 2020” ou mais recentemente a “Estratégia Europeia 2030”, constituem políticas para o aumento da sustentabilidade. A respeito do “Clima e Energia”, impõe-se por um lado, a intensificação do recurso a fontes de energias renováveis e por outro lado, uma significativa redução de emissão de gases com efeitos de estufa. De facto, as mais recentes orientações da Comissão Europeia vão no sentido de uma política energética e ambiente integradas. (European Commission, 2012)

O novo regulamento dos produtos de construção (Regulamento (UE) nº 305/2011 do Parlamento Europeu e do conselho de 9 de Março de 2011), antecipa um novo requisito para o sector da construção civil relativo à “utilização sustentável dos recursos naturais”, para que estes assegurem a “reutilização ou a reciclabilidade dos materiais de construção e das suas partes após a demolição” a “durabilidade das obras de construção” e a “utilização nas obras de construção de matérias-primas e materiais secundários compatíveis com o ambiente”. Um dos requisitos básicos presentes nesta norma europeia é a utilização sustentável de recursos naturais, tendo em conta a sua durabilidade, a reciclagem após a demolição e o impacto de utilização de recursos sustentáveis e materiais comparáveis com o meio ambiente, para além da utilização de produtos que permitem economizar a energia como é o exemplo dos isolamentos térmicos.

O desenvolvimento da sociedade conduziu a um crescimento do número de fontes de ruído e variações climáticas, tanto no ambiente exterior como no ambiente interior dos edifícios. Este facto tem como consequência uma diminuição da qualidade de vida das populações, para além do desconforto acústico e térmico (Tadeu & Mateus, 2001). O desenvolvimento sustentável entre a sociedade, a economia e o ambiente possibilitam que no futuro, haja um maior equilíbrio na vida do ser humano. Neste sentido, existe uma necessidade crescente de estudar novos produtos naturais que se tornem mais económicos e mais sustentáveis.

A produção de materiais com uma gestão correta dos recursos naturais, com uma utilização limitada de energia, e com um reduzido impacto no ser Humano e na natureza pode contribuir muito para uma construção mais sustentável. A utilização de materiais naturais e reciclados deverá ser uma aposta, uma vez que, de uma forma geral, têm menor impacto sobre a saúde humana e o ambiente, podem apresentar bons desempenhos acústico e térmicos, podendo colocar o país num determinado nível de excelência do ecoedifício.

1.2. MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos, tem havido uma enorme procura de aplicação de materiais naturais na construção de edifícios. Logo, surgiu a utilidade em estudar o compósito de casca de arroz com aglomerado de cortiça expandida. Este interesse deve-se à enorme preocupação em substituir materiais pouco ecológicos por materiais mais sustentáveis e com características semelhantes, permitindo desta forma o aproveitamento de desperdícios, a redução do impacto ambiental, poupança de energia e melhorar o conforto térmico e acústico.

Atualmente, os principais produtos utilizados na construção civil, são os aglomerados (cortiça, madeira), e os granulados (fibras), estes tipos de produtos surgem como possíveis substitutos de materiais tradicionais obtendo bom desempenho em termos acústicos e térmicos. Contudo, são necessários estudos que confirmam as suas características, recorrendo à realização de ensaios laboratoriais, para depois se introduzir estes materiais no mercado.

Portugal é um país com grande capacidade de produção de arroz desde início do século xx. O cultivo do arroz começou a estender-se em várias regiões do país nomeadamente no Baixo Mondego, onde é uma zona bastante propícia a esta atividade devido, à temperatura que pode afetar a planta, a água disponível, e a quantidade de radiação solar que os arrozais recebem. A casca de arroz destaca-se não só pelo seu abundante volume de produção, mas também por representar um resíduo agrícola que possui uma superfície dura que demora aproximadamente 5 anos a decompor-se, sendo um resíduo que ocupa muito espaço, logo é necessário áreas de despejo de tamanho considerável. Quando não é aproveitada de forma alimentar, é utilizada como “cama” para animais, é queimada ou deixada no solo com os consequentes impactos ambientais, (POFC, 2012).

A cortiça é um produto natural, uma vez que Portugal é o maior produtor mundial de cortiça. Cerca de 80% da cortiça produzida mundialmente surge na Península Ibérica, cabendo mais de 75% a Portugal. As indústrias da cortiça têm vindo ao longo dos últimos anos, a procurar novas áreas para a sua aplicação. A sua versatilidade permite-lhe aplicações desde a indústria do vestuário/calçado até à indústria naval. Este interesse deve-se essencialmente à

preocupação em substituir materiais pouco ecológicos por outros mais sustentáveis/ecológicos e com características semelhantes, permitindo um aproveitamento de desperdícios e uma redução no impacto ambiental.

1.3. OBJECTIVOS

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do aproveitamento de um resíduo agro-industrial, a casca de arroz, abundante na região do baixo Mondego, para a produção de um material que possa ser utilizado na construção. Para o efeito, desenvolveu-se, de forma não industrial um compósito constituído por granulado de cortiça expandida e casca de arroz, aglomerados com poliuretano. Os objetivos mais específicos traduziram-se na avaliação do desempenho do compósito, através da caracterização de algumas propriedades, que pudessem iniciar a sua adequabilidade à aplicação como material de construção, tais como mecânicas, térmicas e vibro-acústicas.

Com o intuito de atingir os objetivos descritos, foram desenvolvidas duas amostras, composta com diferentes percentagens de materiais. A primeira amostra (Compósito A) é composta por 50% de casca de arroz, 50% granulado de cortiça expandida e poliuretano, e a segunda amostra (Compósito B) é composta por 75% de casca de arroz, 25% granulado de cortiça expandida e poliuretano. Para caracterizar as amostras realizaram-se ensaios de transmissão de sons de percussão, condutibilidade térmica, transmissibilidade de vibrações, compressão, rigidez dinâmica, absorção sonora e perdas por transmissão sonora.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação é dividida em cinco capítulos principais. No capítulo da introdução, é feito um breve enquadramento do tema no que respeita às políticas de crescimento europeias, aos motivos que originaram a realização desta dissertação e os principais objetivos deste estudo, e a forma como esta organizada.

No segundo capítulo, que descreve o estado de arte, é apresentado uma pequena revisão dos estudos relacionados com o tema proposto. No início do capítulo, faz-se um enquadramento histórico, de materiais naturais, renováveis e que sejam bastante sustentáveis. De seguida, faz-se um breve resumo de diversos materiais naturais sustentáveis que foram sujeitos a estudos, e por último uma descrição geral da cultura do arroz da região e da produção de cortiça em Portugal

No capítulo Materiais e Técnicas Experimentais, descrevem-se os materiais utilizados e apresenta-se a descrição dos ensaios bem como dos seus procedimentos utilizados.

No capítulo Apresentação e Análise de Resultados, apresentam-se, analisam-se e comentam-se os resultados obtidos durante os ensaios experimentais dos dois compósitos.

No último capítulo é feito um conjunto de considerações sobre o conteúdo desta dissertação, e ainda são apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros.

2. ESTADO DE ARTE

2.1. ENQUADRAMENTO GERAL

Nos dias de hoje há uma elevada preocupação da Europa a nível da gestão de recursos naturais e não renováveis, à qual se associam preocupações ambientais, económicas e sociais. A este respeito, sabe-se que o setor da construção é responsável por enormes impactos ambientais especialmente devido ao consumo excessivo de energia traduzindo-se também em alterações climáticas. A implementação de uma construção mais sustentável é, por isso, um tema de enorme relevância. A importância da sustentabilidade está hoje bem patente em vários documentos estratégicos das políticas europeias e nacionais, como já foi referido a propósito da Estratégia Europa 2020, do novo Regulamento dos produtos da construção (Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011) e da criação de um quadro que defina os requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia (Diretiva 2009/125/EC do Parlamento e do Conselho de 21 de Outubro de 2009).

Apesar de a legislação sobre a gestão de resíduos de biomassa ser escassa e não estar estabilizada, tem havido uma evolução no sentido de promover o seu aproveitamento para fins energéticos (Decreto-Lei n.º 179/2012, de 3 de Agosto). Os resíduos das indústrias agrícolas resultantes das atividades de exploração e processamento de matérias-primas têm forte potencial de utilização como biomassa para a produção de energia. A 22 de Março de 2007, foi proposto em Assembleia da República, através do Projeto de Resolução n.º 199/X, a intenção de apontar para uma maior valorização da biomassa agrícola, contribuindo assim para a redução da dependência da biomassa florestal

As atividades humanas, a agricultura e a indústria da construção são, produtoras de resíduos com possíveis consequências para a saúde humana e para o meio ambiente. A indústria da construção está associada a enormes impactos ambientais, sendo responsável pela produção de 40% das emissões de dióxido de carbono, pela utilização de 35% dos recursos ambientais e pela produção de 38% dos resíduos a nível mundial (A.Sev). Perante esta situação, tem-se assistido a um enorme esforço da Europa no sentido de melhorar a eficácia da gestão dos resíduos industriais, não apenas com o objetivo de reduzir o impacto ambiental das respetivas atividades, mas também com o objetivo de explorar os resíduos, (KERAKOLL, 2013).

A redução dos impactos ambientais pode ser realizada através da aplicação de materiais sustentáveis, que hoje em dia estão cada vez mais presentes na construção. O uso de matérias-primas pode ser reduzido de forma significativa através da incorporação de materiais recicláveis ou na eliminação de resíduos através da transformação de resíduos em novos

produtos mais uteis (Chabannes, 2014), obtendo elevados níveis de qualidade e conforto aos utilizadores, colocando assim o país num determinado nível de excelência da ecoedificação.

2.2. APROVEITAMENTO DE MATERIAIS NATURAIS PARA A CONSTRUÇÃO

Existem vários materiais sustentáveis que hoje em dia são cada vez mais utilizados na construção, sendo eles de origem natural ou reciclados. Os materiais naturais são normalmente produtos de elevada qualidade e desempenho, mas por vezes com elevado custo. A pouca orientação para o uso destes materiais naturais, faz com que estes sejam apenas utilizados em construções cujos critérios e solicitações de projeto sejam mais exigentes.

Alguns dos materiais naturais mais conhecidos são as fibras de linho, fibras de cânhamo, o algodão, e a fibra de coco.

O linho, *Linum usitatissimum L*, é uma planta herbácea que pertence à família das lináceas, alcançando quase um metro de altura. É constituída por uma substância fibrosa, da qual é possível extrair as fibras para o fabrico de tecidos. Produz uma semente, a linhaça produto muito utilizado na culinária, e de onde se extrai o óleo de linhaça rico em ómega 3, ómega 6 e ómega 9. (FOLCLORE, 2011) O linho ao longo dos tempos deixou de ser só utilizado na confeção de tecidos, na alimentação e na indústria farmacêutica e cosmética, e passou a ser utilizado na área de construção civil, aonde apresentou ótimos resultados.

As fibras de linho são materiais renováveis, têm uma redução de dióxido de carbono, reciclável, a sua resistência aumenta até 20% quando molhada e é durável. É um bom isolante térmico e acústico saudável, sustentável e eficiente. No entanto é necessário efetuar a este tipo de isolamento tratamentos químicos ecológicos para aumentar a sua resistência à combustão e à ação de roedores e insetos, (ISOLINA, 2001).

Foi realizado um estudo na Universidade de Picardie Jules Verne, França, em que os investigadores se focaram nos efeitos causados nas propriedades mecânicas, térmicas e acústicas pelo tamanho das fibras de linho. Estas fibras são considerados resíduos, ou seja, são as partes excluídas enquanto se desenreda o linho. As conclusões obtidas foram que a condutibilidade térmica diminui com o aumento do tamanho da moagem das fibras, uma vez que a compactação entre as fibras diminui, enquanto o coeficiente da absorção acústica aumenta. Consideraram que as fibras de linho reúnem ótimas características para serem incorporadas em painéis sanduiche combinados com outros materiais, (HAJJ, 2011).

O cânhamo ou cânhamo industrial, *Cannabis sativa L*, é o nome dado à fibra cultivada a partir do género *Cannabis*, é a mais antiga planta cultivada no mundo e é totalmente biodegradável

e 100% livre de poluentes. Nos últimos anos o cânhamo têm sido utilizado para fins industriais, para construção, alimentação e combustível devido às suas qualidades de resistência, solidez, isolamento e preservação do ambiente. A fibra de cânhamo é a parte mais valiosa da planta e é chamado de líber, podendo atingir 4-6 metros de comprimento, pode apresentar a cor branca, cinza, preta ou verde, dependendo do processo utilizado para a remoção da fibra do caule. (NAIHC, 2011; ECOFIBRE, 2011). As fibras de cânhamo são um material sustentável, renovável, de baixa energia incorporada, reciclável, mas a sua exposição prolongada à água pode provocar apodrecimento. Apresentam um bom isolamento térmico e acústico devido ao elevado teor de sílica e à porosidade de todo o material, sendo um material renovável e reduz a libertação de dióxido de carbono, (NNFCC, 2011).

Foi realizado um estudo sobre as qualidades acústicas do cânhamo por BRE, um centro de acústica, *in situ* em Haverhill, Inglaterra, antes de os moradores ocuparem as casas. A proposta era de que o isolamento acústico não fosse inferior a 53 dB. Os resultados obtidos para a utilização de cânhamo como isolamento acústico garantiram esse requisito, conseguindo até superá-lo, uma vez que atingiu o valor de 57,5 dB, enquanto na construção sustentável atinge os 63,5 dB. Este resultado prova que a utilização de fibras de cânhamo garantem um bom desempenho acústico. Este pode ser aplicado, no meio de duas paredes, no pavimento (entre laje e o azulejo/madeira) e na compartimentação interior, (CLARKE, 2002).

Um outro estudo para as propriedades acústicas do betão de cânhamo, designado por “Hempcrete”, foi realizado na Universidade de BATH situada na cidade de Calverton no Reino Unido, em parceria com o Centro de BRE. Foi desenvolvido um edifício para fins científicos, que é chamado de Hempod, uma casa feita a partir do caule do cânhamo misturado com um aglutinante especialmente desenvolvido, à base de cal. A porosidade do cânhamo proporciona um isolamento de alta qualidade, e a cal vai proteger o cânhamo, o que faz com que o material se torne altamente resistente ao fogo. Esta casa foi testada durante 18 meses, relativamente a temperaturas e humidades, com sensores embebidos nas paredes da casa que medem a rapidez com que o calor e o vapor passam por elas. O projeto “Casas renováveis”, é financiado pelo Departamento de Energia e Mudanças Climáticas comprovou que a casa de cânhamo seria economicamente viável, tornando o Hempcrete competitivo com tijolos e a argamassa convencional, (UKHEMPCRETE, 2016).

O algodão é uma fibra natural de origem vegetal com comprimento de 24 a 38 mm. É obtido dos frutos de algumas espécies do género *Gossypium* de cor branca ou esbranquiçada. A sua grande vantagem comparativamente às fibras artificiais e sintéticas é o conforto. Esta fibra natural é cultivada em mais de 60 países, sendo a China e os Estados Unidos os maiores produtores com 43% da produção mundial e o terceiro maior produtor mundial é a Índia, que apesar de possuir uma maior área plantada, tem um baixo rendimento de cultivo, (PR, 2001).

Trata-se de um material que contém pelo menos 85% de algodão reciclado, reduzindo a quantidade de resíduos a ir para aterro durável, reciclável, baixa energia, e permite uma construção sustentável, uma vez que não contém aditivos químicos, não causará irritação e comichão durante o processo de aplicação, sendo um bom isolante térmico e acústico. A sua aplicação na construção civil é em forma de placas ou rolos, facilitando assim a sua instalação tanto em paredes interiores como exteriores. Pode ser aplicado em tetos, madeiras ou estruturas metálicas, (BLTD, 2011).

Foi realizado um estudo na Universidade Marmara, Turquia, em que se comparou o tecido de algodão com resíduos de fibras de folhas de chá. As fibras de folhas de chá utilizadas não foram prensadas, uma vez que poderia afetar as propriedades de atenuação do som. O aumento no coeficiente de absorção sonora com a adição da camada de tecido de algodão foi de três vezes, para uma espessura de 10 mm da amostra. Quando a espessura da amostra duplicou, a aplicação da camada de tecido de algodão melhorou as propriedades de absorção acústica, na gama de frequências de 1000-3500 Hz. Para uma espessura de 30 mm, a aplicação da camada de tecido de algodão melhora as propriedades de absorção acústica, para frequências baixas, de 1000-2500 Hz. Para uma gama de frequências mais alta 3200-4600 Hz a aplicação da camada de tecido de algodão faz diminuir a absorção sonora cerca de 30% em comparação com a sua não-aplicação. Conclui-se então, que a aplicação da camada de tecido de algodão melhora bastante a absorção do som para as baixas e médias frequências, sendo apenas prejudicial a sua aplicação nas altas frequências.

A fibra de coco provém do coqueiro comum, *Cocos nucifera L.*, e é a única fibra de um fruto usada em elevada quantidade. As fibras hoje em dia são um problema de poluição devido à sua quantidade (o total da produção de fibra de coco é de cerca de 250 mil toneladas).

As fibras de coco são um material sustentável, renovável, de baixa energia incorporada, reciclável, estável e é necessário tratar as fibras uma vez que são altamente inflamáveis. Formam uma camada sob a casca de coco de 3 a 5 cm de espessura, que são trituradas, lavadas e secas para poderem ser separadas. A composição da fibra de coco é composta por 43% de celulosa, 45% de lenhina e 4,9% de pectina, a elevada percentagem de lenhina confere à fibra uma elevada durabilidade, (Santiago, 2006). As fibras de coco juntamente com ICB são um ótimo isolante acústico, devido à absorção das frequências de gama baixa, onde se obtém excelentes resultados relativamente a outros materiais naturais e contribuem para uma diminuição de níveis sonoros aéreos, (Senhoras, 2013).

Foi realizado um estudo na Univerdade do Porto, Portugal, com a finalidade de estudar novos compósitos que possam incorporar as fibras de coco e que possam ser utilizadas como isolamento acústico. Foi realizada uma placa de fibras de coco, e foi utilizada como uma camada resiliente para pavimentos flutuantes (laje flutuantes) para aumentar o isolamento a

sons de impacto. Os resultados obtidos laboratorialmente revelaram que a camada resiliente tem uma boa contribuição para o pavimento flutuante, tanto para o isolamento acústico estrutural como a sons aéreos, atingindo uma melhoria do som de impacto (ΔL_w) de 19 dB com uma lajeta flutuante ou 29 dB para aplicação sobre ripas de madeira sem uma laje flutuante, (Rodrigues 2003).

2.3. CULTURA DE ARROZ

O arroz é o cereal mais consumido e produzido no mundo, considerado o principal alimento para a maioria da população mundial. O seu aparecimento aconteceu de forma selvagem na Índia, mas foi na China que a sua cultura se desenvolveu. Nos dias de hoje, é cultivado em mais de 42 países, e teve uma grande importância ao longo da história, (Novarroz, 2014).

Em Portugal a cultura do arroz situa-se maioritariamente na região do Baixo Mondego, sendo que existe também em duas grandes regiões, o Vale do Tejo e Sorraia e o Vale do Sado, o que faz com que o aproveitamento dos seus resíduos possa fazer parte de uma estratégia nacional, e permita garantir as quantidades necessárias para a exploração deste cereal no setor da construção.

O Baixo Mondego é uma região com enorme tradição na produção no cultivo de arroz, milho e na indústria que lhe está associada, criando assim, grandes quantidades de resíduos anualmente. Situa-se numa zona litoral NUTS III do centro do país, com uma área de cerca de 2062 km², que engloba oito municípios: Coimbra, Cantanhede, Condeixa-a-Nova, Figueira da Foz, Mira, Montemor-o-Velho, Penacova e Soure, (Ribeiro J., 2013). A área de cultivo de arroz ocupa atualmente 56% da área total do Vale, cerca de 7000 ha. O número total de agricultores do Baixo Mondego ronda os 6300, contudo as pessoas que dependem desta atividade é bem superior, por via dos respetivos agregados familiares, (IFAP, 2013).

No caso do Baixo Mondego, são produzidas anualmente 30.000 toneladas de arroz gerando bastantes lucros para a região, valor esse que é bastante significativo comparado com outras atividades económicas nessa região.

Para além do valor económico que esta atividade representa, há um valor cultural associado à tradição da cultura do arroz nesta região, que influencia outras atividades de natureza social e gastronómica, (Eart B, 2008).

O processo de transformação do arroz, desde a colheita até à obtenção do produto final, origina resíduos como a palha e casca de arroz. Atualmente, o aproveitamento destes resíduos com um grande poder calorífico de 3410 kcal/Kg, utiliza-se como “cama” para animais, sendo vendida para as explorações agropecuárias da região, mas também são identificados vários

problemas relacionados com o destino final da palha de arroz. Este resíduo vai ter dois destinos, que são a queimada e/ou incorporação no solo. Com a queimada são lançadas na atmosfera enormes quantidades de dióxido de carbono, sendo o teor de carbono da palha de arroz é cerca de 40% da queimada, por exemplo 500 mil Toneladas de palha seria responsável por lançar para a atmosfera 200 mil Toneladas de dióxido de carbono. Por outro lado, a incorporação de palha de arroz no solo liberta metano, cujas emissões são mais prejudiciais do que os subprodutos da queima, (ISION).

A casca de arroz (ver Figura 2.1) é, composta por uma capa lenhosa do grão de dimensão 3 – 5 mm, dura e irregular, composta em média por 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica, dependendo da variedade semeada, do clima, do tipo de solo e da localização geográfica (Mehta) Em termos de composição química a casca de arroz tem cerca de 38% de carbono, 37% de oxigénio e 5% de hidrogénio, sendo os restantes compostos nitrogénio e enxofre (Knowledgebank, 2013), (Rama, 2014).



Figura 2. 1 - Casca do Arroz

É altamente resistente à penetração de humidade e decomposição fúngica, o que torna a casca de arroz um bom isolante. Por cada 100 kg de arroz produzido, consegue-se gerar aproximadamente 20 kg de casca de arroz. A casca de arroz solta apresenta uma densidade de apenas 70-110 Kg/m³, quando é vibrada chega aos 180 Kg/m³ (IRRI, 2014).

A casca de arroz é conhecida por ter uma superfície exterior muito irregular a nível de tecido e rigidez, por isso requer alguma atenção da forma como estas características da superfície exterior influenciam as propriedades e o desempenho dos compostos onde são introduzidos (Parque B. W.-H., 2003), como pode suceder com a sua utilização em cortiça. Pois não têm uma aplicação direta. As vantagens da casca de arroz é que apresenta baixo valor nutritivo e baixa densidade.

2.4. PRODUÇÃO DE CORTIÇA

A cortiça provem da casca do sobreiro, árvore que se cresce maioritariamente nos países do Sul do Mediterrâneo como em Portugal, Espanha, França, Itália e Marrocos. A União Europeia é considerada o maior produtor de cortiça, sendo que Portugal suporta uma percentagem acima dos 50% (Bicho & Gil, 1999).

A indústria corticeira em Portugal consome, anualmente, mais de 280 mil toneladas de cortiça. No entanto, verifica-se que uma quantidade apreciável da cortiça recebida nas unidades de transformação (20% a 30%) é rejeitada, nomeadamente sob a forma de granulados, pelo que pode revelar-se economicamente interessante encontrar utilizações alternativas atuais para a utilização deste material.

A cortiça tem múltiplos fins a que se destina, mas é na forma de rolha natural que esta é mais conhecida, e ainda hoje, recai a sua preferência. No entanto, com o evoluir dos anos este material tem tido outras aplicações, como no aparecimento de áreas inovadoras de eco-design, a utilização da cortiça para objetos do quotidiano tem vindo a crescer, optando por materiais 100% naturais que contribuem para a sustentabilidade ambiental, (APCOR, 2011). A aplicação de granulados em materiais de construção tem tido bastante aceitação, nomeadamente no fabrico de painéis aglomerados de cortiça.

A cortiça (ver Figura 2.2), apresenta várias camadas de células alveolares caracterizadas por uma capacidade de impermeabilização e carregada de um gás comparável ao ar que ocupa 90% do seu volume. É caracterizada como um material leve, têm elasticidade, baixa condutibilidade térmica, boa resistência ao fogo, grande capacidade de dissipação de energia (vibrações), grande capacidade de absorção de energia (impacto), e elevada deformabilidade. Por estas razões a aplicação de cortiça na construção civil, tem vindo a desenvolver-se bastante e utilizada em isolamentos térmicos, acústicos e vibráticos (tetos, paredes e pavimentos) e para fins industriais (antivibráticos para maquinaria e isolamentos para fins industriais). O seu desempenho depende do granulado de cortiça, da sua densidade e dos procedimentos de colagem, (Dias, 2015), (Gil, 2006).

Do ponto vista ecológico é bastante importante o uso de produtos de cortiça, uma vez que são produtos renováveis e duráveis, promovendo assim a fixação de dióxido de carbono. A cortiça é imputrescível e tem uma elevada resistência ao desgaste e ao ataque de insetos. Por todas estas razões a aplicação da cortiça na construção civil é uma área que se tem vindo a desenvolver e apresenta um elevado potencial de crescimento no futuro.



Figura 2.2- Cortiça

3. MATERIAIS E TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

3.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo é referente aos materiais de estudo e seus ensaios, divide-se em dois subcapítulos: na caracterização dos materiais e constituição das amostras, e nas metodologias experimentais.

O primeiro subcapítulo é referente à descrição dos materiais utilizados das amostras estudadas. Descreve-se de uma forma breve, as principais propriedades e aplicações dos materiais, tendo em conta as suas potencialidades no domínio do isolamento térmico e acústico.

No segundo subcapítulo, é referente às metodologias experimentais utilizadas para a caracterização das amostras que foram estudadas.

O objetivo deste capítulo é, garantir uma solução sustentável com propriedades de isolamento térmico e acústicas adequadas.

3.2. DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS ENSAIADAS

Neste trabalho usou-se um desperdício agro-industrial, a casca do arroz e um material resultante de desperdícios da indústria corticeira, granulado de cortiça expandida para produzir materiais compósitos. Estes dois materiais foram aglomerados com poliuretano para produzir o compósito. Realizaram-se duas misturas com composições distintas.

A primeira amostra é composta por 50% de casca de arroz, 50% de granulado de cortiça expandida e poliuretano (Compósito A), (ver Figura 3. 1). A segunda amostra é composta por 75 % de casca de arroz, 25% de granulado de cortiça expandida e poliuretano (Compósito B), (ver

Figura 3. 2). As dimensões dos provetes usadas em cada ensaio encontram-se no (ver Quadro 3. 1).



Figura 3. 1- Compósito A



Figura 3. 2 - Compósito B

Ensaio	Compósito A (mm)	Compósito B (mm)
Medição da redução da transmissão de sons de percussão ΔL_w	100 x 100	100 x 100
Determinação do coeficiente de condutibilidade térmica	50 x 50	50 x 50
Determinação da transmissibilidade de vibrações	200 x 200	200 x 200
	150 x 150	150 x 150
Determinação do comportamento à compressão	150 x 150	150 x 150
Determinação da rigidez dinâmica de materiais utilizados sob pavimentos flutuantes	20 x 20	20 x 20
Determinação da absorção sonora em tubo de impedância	ϕ 100	ϕ 100
	ϕ 29	ϕ 29
Determinação da perda por transmissão sonora em tubo de impedância	ϕ 100	ϕ 100
	ϕ 29	ϕ 29

Quadro 3. 1 - Quadro com as respectivas dimensões de cada provete

3.3. METODOLOGIAS EXPERIMENTAIS

3.3.1. Ensaio de Medição de redução da Transmissão de Sons de Percussão ΔL_w

Este ensaio tem o intuito de estudar o comportamento das amostras, para controlo do isolamento a sons de percussão, quando colocados sob lajes flutuantes. O ensaio foi realizado seguindo, de uma forma geral, os procedimentos indicados nas normas ISO 10140-1:2010, ISO 10140-3:2010, ISO 10140-4:2010, EN ISO 717-2:2013.

Os equipamentos utilizados na realização do ensaio foram os seguintes:

- Camaras acústicas ITeCons, com forma cúbica aproximadamente 3,75m de aresta e paredes multicamada em “Viroc” com cerca de 50cm de espessura e recetora; forma paralelepípedica com volume de 72,53 m³ e paredes duplas de betão armado e alvenaria com cerca de 50 cm de espessura
- Laje de referência ITeCons CAC01-01
- Sistema de aquisição multianalisador Pulse, com cinco canais
- Microfone do tipo 4190 MIC, montado em girafa giratória do tipo 3923 GIR ambos da marca *Bruel & Kjaer*
- Fonte de ruído aéreos do tipo OMNIPOWER 4292 da marca *Bruel & Kjaer*
- Termohigrómetro
- Barómetro
- Termómetro

O ensaio é realizado no interior das câmaras acústicas verticais (ver esquema da Figura 3.3).

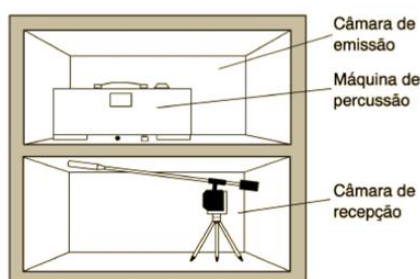


Figura 3. 3 - Câmara de emissão e recetora

Para a realização do ensaio utilizaram-se amostras de dimensão reduzida com 1mx1m. Para cada compósito (compósito A e compósito B) a amostra foi colocada na camara emissora sobre uma laje estrutural maciça em betão armado com 14 cm de espessura (laje de referência do ITeCons). Sobre a amostra é colocada uma lajeta flutuante de betão armado com 7 cm. Sobre a lajeta coloca-se a máquina de martelos que vai percutir a solução (ver Figura 3.4).



Figura 3. 4 - Máquina de percussão sobre lajeta flutuante

Com a máquina de percussão em funcionamento, para 4 posições distintas sobre a lajeta flutuante, garantindo uma distância mínima de 0,7 m entre diferentes posições. A máquina de percussão deve ser posicionada a uma distância dos extremos da laje de pelo menos 0,7 m, ou seja, somatório das distâncias do apoio da laje 0,2 m e 0,5 m do bordo inferior do apoio da laje. Registou-se o nível sonoro no interior da camara recetora. Foi necessário, também medir o tempo de reverberação na camara recetora. Para o método do ruído interrompido, utilizando uma da fonte de ruído aéreo (numa posição) e registaram-se 6 decaimentos para 3 posições de microfones (dois decaimentos em cada posição). O tempo de reverberação irá permitir calcular a área de absorção equivalente (A) da camara recetora através da fórmula da Sabine. Mediu-se também o ruído de fundo existente na camara recetora ($L_{n,0}$) com a máquina de martelos a percutir diretamente a laje de referência do ITeCons. As medições foram efetuadas em bandas de um terço de oitava entre os 100 e os 5000 Hz.

Em primeiro lugar, os níveis sonoros registados na câmara recetora, com a solução instalada são corrigidos com o ruído de fundo, para cada banda de frequência. Estes valores (L_i) são de seguida corrigidos com a área de absorção equivalente (A) através da seguinte expressão:

$$L_n = L_i + 10 \log(A/10)$$

Seguidamente determina-se o valor de ΔL correspondente à diferença entre $L_{n,0}$ e L_n , que corresponde à redução do nível sonoro obtido com a solução quando instalada na laje de

referência do ITeCons. A norma exige que se transponha o resultado para uma laje de referência normalizada. Para o efeito, os valores de ΔL são subtraídos aos níveis especificados para a laje de referência normalizada ($L_{n,r,0}$), obtendo-se os níveis ($L_{n,r}$) que existiriam na câmara recetora se a laje utilizada fosse a normalizada. Aplica-se a esta curva o procedimento indicado na norma EN ISO 717-2:2013, para obter o índice de isolamento de valor de $L_{n,r,w}$, que é obtido pela curva de referência correspondente aos 500Hz. Conhecido o valor de $L_{n,r,0,w}$ (78 dB) da norma, pela diferença entre esse valor e o valor $L_{n,r,w}$, obtém-se a redução da transmissão de sons de percussão, ΔL_w .

3.3.2. Ensaio de determinação do coeficiente de condutibilidade térmica

O coeficiente de condutibilidade térmica de um material (λ) consiste na quantidade de calor que passa durante uma hora por 1 m² de uma parede com um metro de espessura constituída pelo material em estudo, quando a diferença de temperatura entre as duas faces é de 1 °C, e o coeficiente de condutibilidade térmica quantifica a facilidade com que o calor se propaga ou transmite através de determinado material.

No ensaio para determinação do coeficiente da condutibilidade térmica, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Balança capaz de efetuar pesagens com uma exatidão superior a 0,5% do valor medido (10g < m < 100g -> exatidão = 0.05g; m > 100g -> exatidão = 0.5g)
- Paquímetro de 750mm
- Paquímetro com uma resolução de pelo menos 0,5mm
- Régua biselada
- Régua metálica
- Camara climática
- Guarded hot plate: *single-specimen Lambda-meter EP500*
- Apalpa-folgas
- Termohigrómetro

Este ensaio foi realizado segundo a norma EN 12667:2001 e ISO 8302:1991. Através do equipamento *single-specimen Lambda-meter EP500* (ver Figura 3.5), permite-se alcançar valores absolutos de condutibilidade térmica, para materiais com a finalidade de obter qual capacidade que um material têm em deixar passar o calor.

De forma sucinta, procedeu-se à pesagem das amostras dos dois compósitos com a intenção de determinar a massa do provete antes de colocar os provetes no equipamento de ensaio. Para obter uma massa constante nas amostras teve-se que condicionar as amostras a (23 ± 2) °C e (50 ± 5) % de humidade relativa durante um determinado período de tempo.



Figura 3. 5-Equipamento single-specimen Lambda-meter EP500 com introdução da amostra

O equipamento utilizado para determinar o coeficiente de condutibilidade térmica do material em estudo, têm uma temperatura média de 25°C, com uma diferença de temperatura entre pratos de 10°C a 15°C. A temperatura e humidade são medidas através de um termohigrómetro. A face superior e inferior do provete que ficam em contacto com os pratos, devem apresentar-se planas.

O equipamento está preparado para ensaiar amostras com dimensões de 500 mm x 500 mm, mas a área de medição da condutibilidade térmica está localizada no centro da amostra, numa área de 200 mm x 200 mm (ver Figura 3.6), e esta medição é efetuada para três temperaturas, 10°C, 25°C e 40°C. Durante o ensaio enquanto o equipamento mede a condutibilidade térmica, existe um período mínimo de ensaio em regime permanente de 75 minutos durante o qual não se pode verificar variações do coeficiente de condutibilidade térmica superiores a 1%. Após o ensaio determina-se imediatamente a massa do provete.

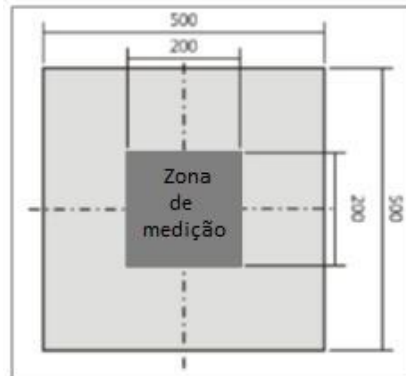


Figura 3. 6 - Definição da zona de medição

O coeficiente de condutibilidade térmica, λ , para uma condição unidirecional, é calculado com base no fluxo de calor, Q , na espessura da amostra, d , na diferença de temperatura entre os pratos, ΔT , e na área de medição da condutibilidade, A , (parâmetros fornecidos pelo equipamento), através da seguinte expressão:

$$\lambda = Q * d / a * \Delta T$$

Os resultados dos ensaios efetuados são obtidos a partir da média dos valores de condutibilidade térmica dos três provetes de cada compósito.

3.3.3. Ensaio de determinação da transmissibilidade de vibrações

Este ensaio foi realizado seguindo procedimentos da norma ISO 10846-3:2002. O shaker é um equipamento que foi concebido no ITeCons, com intuito de ensaiar materiais antivibráteis. De acordo com os procedimentos usados é possível determinar a transmissibilidade de vibrações, a rigidez dinâmica e o fator de perdas.

Na medição da transmissibilidade de vibrações, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Shaker (figura 3.7)
- Acelerómetros Endevco 752A12 ligados ao datalogger HBM MX840A

- Software Catman Easy v3.4

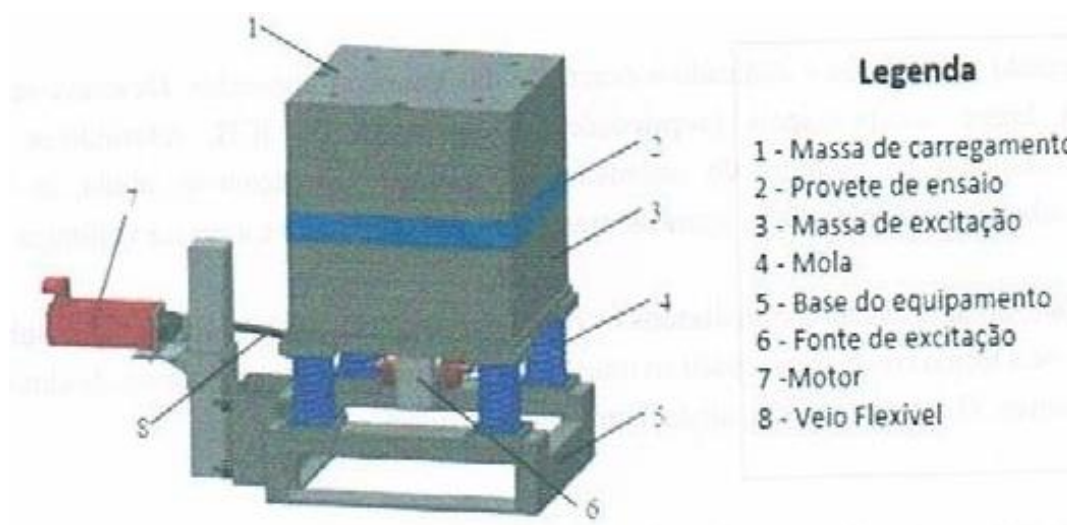


Figura 3. 7 - Equipamento de ensaio utilizado na determinação da transmissibilidade

Para determinar a transmissibilidade, do material o provete a ensaiar é colocado entre duas massas, a massa superior designada como massa de carregamento, e a massa inferior que é designada como massa de excitação. No equipamento utilizado as massas de excitação e as massas de carregamento, são constituídas pela superposição de placas de aço, com dimensões de 495x495x40 mm, e com 74 Kg. Estas placas são aparafusadas entre si, com quatro parafusos, para evitar vibrações entre placas. As massas são colocadas em movimento na vertical através de um servo motor rotativo SEW, modelo CMP63M com um vibrador de frequência (15 a 200 Hz). A frequência de excitação, rotação do eixo, é controlada através do software Movitools 5.7, que impõe rotações por minuto associadas à frequência pretendida.

Para evitar vibrações vindas do solo, a massa excitada é apoiada sobre quatro molas com uma rigidez total de 1031 kN/m, esta massa foi definida de modo a garantir que a primeira frequência natural de vibração deste sistema, com dois graus de liberdade, fosse muito mais baixa e se afastasse de uma forma significativa da segunda frequência natural de vibração, a massa é agitada através do movimento rotacional de massas excêntricas em torno de um eixo.

O ensaio é repetido para várias massas de carregamento. Realizam-se quinze ensaios, que correspondem ao número de placas aplicadas sobre o provete em estudo.

As vibrações da massa de carregamento são monitorizadas colocando um acelerómetro no topo da massa e as vibrações da massa de excitação são monitorizadas colocando dois acelerómetros na base da massa de excitação. O valor da aceleração na massa de excitação

obtem-se através da média das leituras registadas por estes dois acelerómetros. O uso de dois acelerómetros é devido à impossibilidade da colocação de apenas um no centro da base devido à presença do sistema de excitação, (Dias, 2015).

O cálculo da transmissibilidade é efetuado através de medições de acelerações, que são registadas através da média das leituras dos dois acelerómetros que se encontram na base do equipamento. E consiste na relação de amplitude entre a força transmitida à base e a força exterior imposta, tratando-se de um sistema de isolamento de vibrações.

A transmissibilidade é calculada para cada frequência de excitação, através do quociente entre as amplitudes do sinal 2 (vibração da massa de carregamento) e do sinal 1 (vibração da massa de excitação), $T = a_2/a_1$. A repetição deste ensaio para as várias frequências permite traçar uma curva de transmissibilidade, que nos permite verificar em que frequências o sistema garante transmissibilidade de vibração baixa, ou seja melhor isolamento.

Os compósitos A e B foram ensaiados para duas dimensões distintas, 200 mmx200 mm (400 cm²) e 150 mm x150 mm (225 cm²) (ver Figuras 3.9 e 3.10). Por questões práticas de realização do ensaio cada um dos provetes foi dividido em quatro partes iguais que foram colocados sobre os quatro cantos da massa de excitação, (ver Figura 3.8).



Figura 3. 8 - Equipamento de ensaio com as quinze placas



Figura 3. 9 - Amostra do Compósito A com 200 mm x 200 mm e de 150 mm x 150 mm

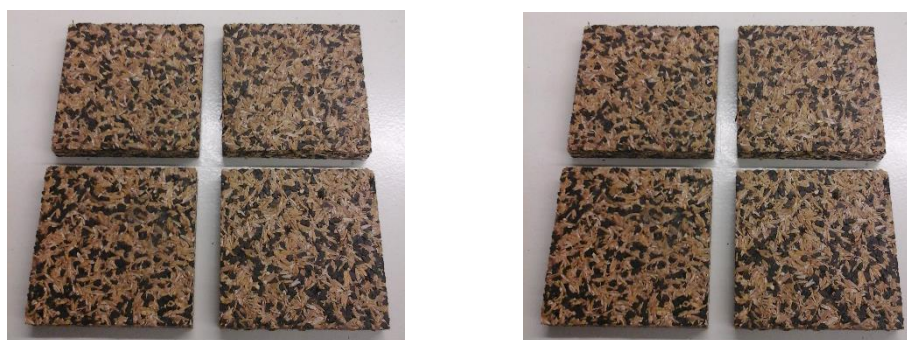


Figura 3. 10 - Amostra do Compósito B com 200 mm x 200 mm e de 150 mm x 150 mm

3.3.4. Ensaio de determinação do comportamento à compressão

Este ensaio foi realizado para perceber o comportamento à compressão dos materiais. Foi determinada a tensão de compressão, para cada um, correspondente a uma deformação de 10% da espessura. Assim, função da tensão aplicada para a mesma deformação percebe-se qual o material mais compressível. Para a realização do ensaio seguiram-se os procedimentos preconizados na norma EN 826:2013 (normalmente usada para isolamentos térmicos).

Na realização do ensaio foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Máquina universal Instron
- Dispositivo de medição do deslocamento, adaptado à máquina de ensaio de compressão com uma precisão de leitura de $\pm 5\%$ ou 0.1 mm
- Sensor de força fixo ao prato da máquina de ensaio com exatidão de $\pm 1\%$
- Registador, para o registo simultâneo da força (F), do deslocamento (X) e que forneça a

curva de F em função de X

- Câmara climática
- Régua ou fita metálica (0,05 mm)
- Balança
- Régua biselada
- Apalpa folgas
- Termohigrómetro
- Esquadro

Preparam-se três provetes de cada compósito A e B. Os provetes devem ser cortados de modo a que a sua base seja perpendicular à direção de compressão do produto na utilização prevista, devem ser cortados e preparados de modo a não alterarem a estrutura do produto. Devem ter em média uma área de 150 mm x 150 mm, com uma espessura de 16 mm. A temperatura ambiente deve estar estabilizada entre $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e $(50 \pm 5) \%$ de humidade relativa.

A tolerância no paralelismo entre as duas faces maiores do provete não deve ser superior a 0.5% do lado do provete com um máximo de 0,5 mm. Para a verificação do paralelismo devem ser efetuadas quatro medições de espessura nos locais indicados na (ver Figura 3.11), considerando-se nesta verificação a maior diferença entre as medições;

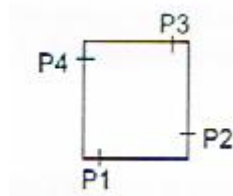


Figura 3. 11 - Posições das determinações da espessura para verificação do paralelismo

O ensaio tem objetivo de conduzir o ensaio ao limite de resistência do provete e daí deduzir o valor da resistência à compressão, ou até 10% de deformação relativa e daí deduzir o valor da tensão de compressão a 10% de deformação relativa. Cada provete é centrado com as faces de moldagem em contacto com áreas de compressão (ver Figura 3.12). De seguida, aplica-se uma força gradual e crescente. O equipamento de ensaio indica a carga de rotura máxima, F_c ,

sendo tensão de rotura à compressão, f_c , e área de aplicação da carga, A , determinada pela seguinte expressão:

$$f_c = F_c / A \quad (\text{Mpa})$$



Figura 3. 12 - Rotura do provete no ensaio de resistência á compressão

3.3.5. Ensaio de determinação da rigidez dinâmica de materiais utilizados sob pavimentos flutuantes

Este ensaio é aplicado a materiais que possam ser aplicados sob pavimentos flutuantes para diminuir a transmissão a sons de percussão. O ensaio baseia-se no comportamento de um sistema massa mola com um grau de liberdade e o parâmetro determinado é a rigidez dinâmica do material.

Na medição da rigidez dinâmica, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Balanças
- Paquímetros
- Termohigrómetro
- Martelo de impacto
- Acelerómetro

- Shaker
- Multi-Analisador Pulse TM

O ensaio determinado foi realizado segundo a norma ISO 9052-1:1989 e ISO 7626-5:1994. Foram preparados quatro provetes de cada compósito correspondente, com dimensões de 200 mm x 200 mm x 17 mm (ver Figura 3.13). Para cada provete, é necessário efetuar a medição da sua massa, comprimento, largura, espessura (fazer quatro registos em cada bordo do provete) antes da realização do ensaio, e depois voltam-se a fazer medições após a realização do ensaio sob carga.

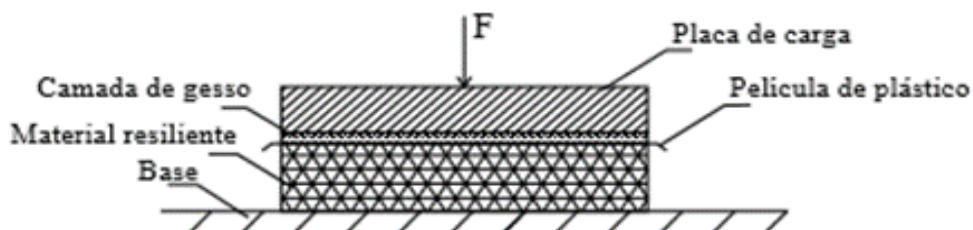


Figura 3. 13 - Esquema do provete para se efetuar o Ensaio

O provete deve ser preparado sendo coberto por uma folha de plástico impermeável (≈ 0.02 mm de espessura) sobre a qual é aplicada uma camada fina e homogénea de gesso de 5mm de espessura, para corrigir eventuais irregularidades da superfície do provete, e antes do gesso começar a secar aplica-se uma placa de carga em aço, têm dimensões de (200 ± 3) mm x (200 ± 3) mm e cm uma massa aproximadamente de 8 kg (ver Figura 3.14).



Figura 3. 14 - Provete preparado

A carga total sobre o provete, incluindo todo o equipamento de medição e/ou excitação deve ser (8 ± 0.5) Kg. Os dispositivos de medição e excitação devem ser aplicados de forma que apenas ocorram oscilações verticais, e a inércia da base deve ser tal que na vibração a sua velocidade é desprezável comparada com a da placa de carga. Para o efeito os provetes são ensaiados sobre um maciço de betão (bancada) de grande inércia.

Após a preparação dos quatro provetes de cada compósito A e B, o ensaio de rigidez dinâmica só se realiza após (24 ± 2) h, para que a camada de gesso tenha tempo suficiente para secar.

Para a realização de cada ensaio aplica-se uma força de impacto na zona central da placa com um martelo de impacto (ver Figura 3.15). A vibração é registada por um acelerómetro colocado no centro do provete. O acelerómetro e o martelo de impacto estão ligados ao multi-analisador, que em conjunto com um *software* permite tratar os resultados. Os batimentos são aplicados em quatro pontos distintos, sobre a placa de carga do provete em zonas próximas do acelerómetro, para ser registado o primeiro modo de vibração e para que apenas ocorram oscilações verticais sem componentes noutras direções. A repetição do ensaio em quatro pontos permite obter valores médios para cada provete. O registo da força de impacto e da aceleração permite traçar uma curva de aceleração (razão entre a aceleração e a força). Nessa curva é possível identificar a frequência de ressonância que representa a frequência natural do sistema. Com esta frequência e a massa de carregamento do compósito é possível determinar a rigidez do material.



Figura 3. 15 - Ensaio da determinação da rigidez dinâmica

A rigidez dinâmica, s_t' , foi obtida para cada medição em função da massa total usada durante os teste por unidade de área, m_t' , e a correspondente frequência de ressonância, f_r , através da seguinte expressão:

$$s_t' = 4\pi^2 m_t' f_r^2$$

3.3.6. Ensaio de determinação da absorção sonora em tubo de impedância

Com a realização deste ensaio pretendeu-se determinar a capacidade que os materiais têm de absorver som. Com esta metodologia específica determina-se o coeficiente de absorção sonora em relação a ondas planas (com raios sonoros que incidem perpendicularmente às amostras).

Na medição do coeficiente de absorção sonora, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Tubo de impedância de acordo com as exigências da norma ISO 10534-2, da marca *Briel & Kjaer* e modelo 4206-T
- Calibrador acústico tipo 1, conforme definido na norma IEC 942
- Equipamento de aquisição de sinal (Pulse)
- Termómetro, com uma classe de exatidão de 0.5°C
- Barómetro, com uma classe de exatidão de 0.5 KPa

O tubo de impedância metálico de secção transversal circular, é uma ferramenta que serve para medir o coeficiente de absorção e a impedância acústica dos materiais. Através da emissão de um ruído de intensidade média, constante ao longo do espectro de frequências, em onda sonora plana, origina-se um campo onde as ondas são refletidas e absorvidas pelo provete. As ondas enviadas por um altifalante são recebidas por dois microfones contidos no interior do tubo (ver Figura 3.16) que por estarem a uma distância pré-definida um do outro, conseguem traduzir quais as ondas sonoras incidentes e quais as refletidas, e é através deste método que se obtém o coeficiente de absorção. Para a realização dos ensaios foram utilizadas duas terminações, uma para amostras de 100 mm de diâmetro (permite avaliar a absorção sonora dos 50 aos 1600 Hz, baixas frequências) e outra para amostras de 29 mm (regista a absorção dos 400 aos 6300 Hz, altas frequências). Para se anularem os erros de fase dos dois microfones, procede-se à correção prevista na norma referenciada, colocando-se uma amostra de referência fornecida pela marca do tubo durante uns segundos. Nessa correção é feita uma troca de posição dos microfones, voltando os mesmos à posição inicial após a correção.

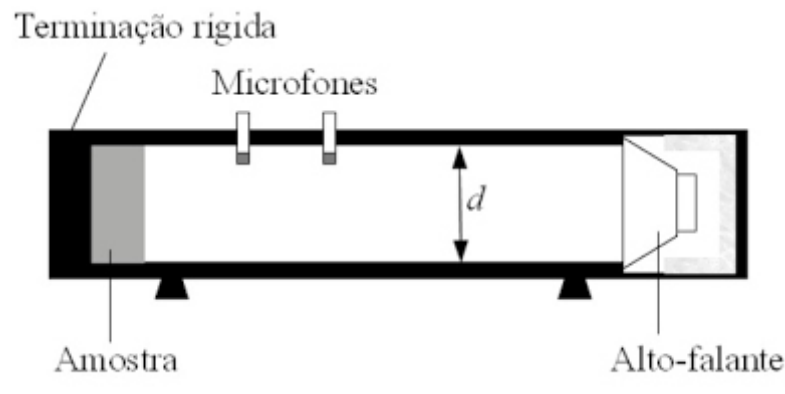


Figura 3. 16 - Esquema do funcionamento de um tubo de impedância

Este ensaio foi realizado segundo a norma EN ISO 10534-2:2001. Antes da realização do ensaio deve verificar-se se os microfones estão calibrados e se as ligações estão operacionais. De seguida, deixa-se a fonte emissora (altifalante) ligado durante alguns minutos e regista-se a temperatura e a pressão dentro do tubo de impedância, pois estes dados são necessários para introduzir no programa Pulse LabShop.

Procede-se à verificação do ruído dentro do tubo com a fonte sonora ligada e desligada. A diferença entre os níveis sonoros terá de ser igual ou superior a 10 dB, em toda a gama de frequências baixas e altas.

Para a realização do ensaio, insere-se o provete dentro do tubo de impedância de forma cuidada, ajustando-se a sua posição e a frente do provete deve ficar perpendicular ao eixo do tubo. Cada amostra deve ser testada pelo menos duas vezes, devendo a amostra ser retirada e colocada novamente no tubo. Devem ensaiar-se vários provetes cortadas abrangendo zonas diferentes da amostra. Os provetes ensaiados têm diâmetros de 100 mm e 29 mm.

Se a amostra se encontra demasiado apertada no tubo, ou com alguma folga pode haver influência nos resultados. Quando existe uma folga das amostras permite a existência de espaços vazios, levando ao risco de ressonância, caso contrário, se as amostras são grandes em relação ao diâmetro do tubo, a sua colocação é mais difícil, pode não possibilitar a posição perpendicular ao eixo do tubo, o que poderá deformar a amostra e isto reflete-se nos resultados que se obtêm.

3.3.7. Ensaio de determinação da perda por transmissão sonora em tubo de impedância

Este ensaio tem como objetivo determinar a resistência à transmissão do som conferida pelos materiais.

Para a realização do ensaio foram usados os seguintes equipamentos:

- Tubo de impedância da marca *Brüel & Kjær* e modelo 4206-T
- Multianalisador Pulse *Brüel & Kjær*, modelo 3560-C

A determinação da perda por transmissão sonora, foi efetuada com recurso a um tubo de impedância metálico como se ilustra na (Figura 3.17). O conjunto contém um suporte para as amostras entre dois tubos, em cada um dos quais estão incorporados dois microfones (*Brüel & Kjær*, modelo 4187) e um altifalante localizado numa das extremidades. A interface operacional do sistema baseou-se na utilização de *software* computacional especializado (*Brüel & Kjær*, modelo 7758), com interligação a um sistema de aquisição multianalisador Pulse (modelo 3560-C), complementado por um amplificador de potência (modelo 2716-C), ambos da marca *Brüel & Kjær*.

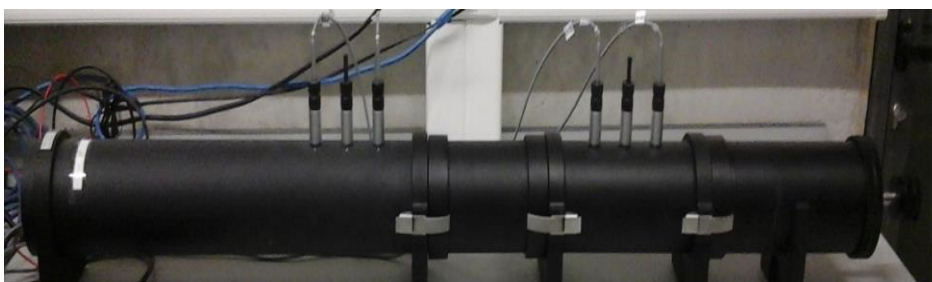


Figura 3. 17 - Tubo de Impedância para a determinação da perda de transmissão sonora

Para a realização do ensaio laboratorial, foi considerado o método das duas cargas, o qual pressupõe a utilização alternada de duas condições distintas de terminação na extremidade do tubo de impedância, subdividindo-se o ensaio em duas fases. A primeira determinação é constituída por duas camadas com diferentes características, através da combinação de espuma de poliuretano com célula aberta (massa volúmica de 25 kg/m^3), e de lã de rocha (massa volúmica de 30 kg/m^3), com espessuras nominais de 40 mm e 30 mm, respetivamente. Para a segunda terminação considerou-se feltro de fibras têxteis, com massa volúmica de 100 kg/m^3 e espessura de 10 mm. Estas duas terminações possuem propriedades acústicas muito distintas.

Com o altifalante em funcionamento contínuo, as variações de pressão sonora estabelecidas foram simultaneamente registadas nos quatro microfones fixos, localizados em posições conhecidas entre si e em relação à superfície do provete de ensaio, permitindo a obtenção da respetiva perda por transmissão sonora.

Foram testadas amostras com diâmetros de 100 mm e 29 mm (duas amostras de cada diâmetro), para a determinação da perda por transmissão sonora em bandas de frequência de terços de oitava entre 100 Hz e 5000 Hz, para o compósito A e o compósito B.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Após a descrição dos procedimentos experimentais apresentados no capítulo anterior, neste capítulo apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos.

De maneira a tornar a análise de resultados mais fácil e intuitiva, sempre que possível, os resultados são apresentados graficamente. Os resultados obtidos são comparados entre os dois compósitos A e B. Esta análise centra-se essencialmente na avaliação das propriedades do próprio material em termos de isolamento térmico e acústico. E analisa-se os resultados dos compósitos com outros materiais que já foram estudados.

4.1. Ensaio de medição da redução da transmissão de sons de percussão ΔL_w

Nesta secção apresentam-se os resultados do desempenho dos compósitos à transmissão de sons de percussão. O nível sonoro normalizado de um pavimento de referência com o revestimento aplicado, L_{nr} , foi determinado de acordo com o exposto no capítulo anterior no ponto 3.3.1. Na Figura 4.1 apresenta-se esse nível sonoro, em bandas de terços de oitava, entre os 100 e os 5000 Hz para os dois compósitos. A sobreposição das duas curvas permite-nos uma comparação relativa do comportamento dos dois compósitos. Refira-se que estamos ainda a analisar a transmissão sonora incluindo ainda o pavimento de referência.

Os resultados deste estudo foram obtidos em conformidade com as respetivas normas do ensaio, já referidas. Para cada banda de frequência de um terço de oitava entre os 100 Hz e os 5000 Hz, em várias posições do microfone, de acordo com a normalização, determinou-se o valor do nível sonoro normalizado L_{nr} .

Como se observa no gráfico da Figura 4.1, determinou-se os valores em laboratório para a lajeta flutuante com as duas amostras estudadas para as diferentes frequências.

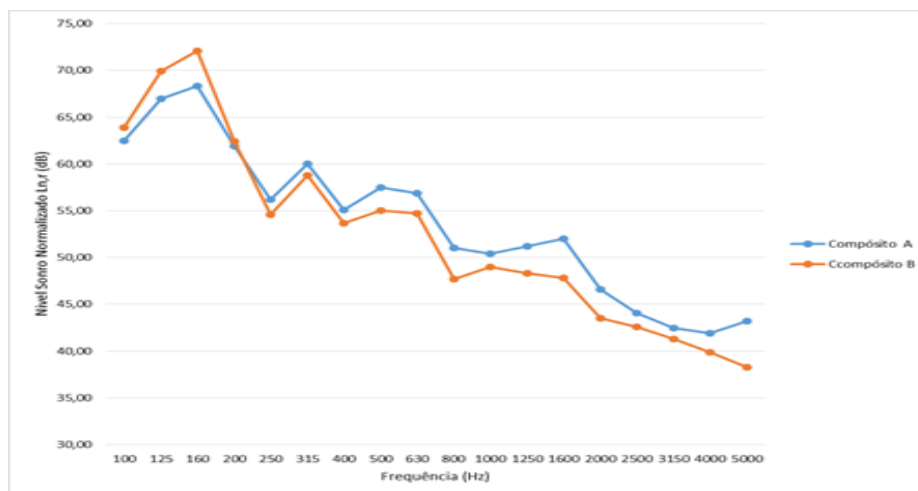


Figura 4. 1 - Medição do nível sonoro normalizado do compósito A e do compósito B

Analisando o gráfico da Figura 4.1, verifica-se que a transmissão sonora, de uma forma geral tem tendência a diminuir com o aumento da frequência, como seria expetável. No entanto, até aos 200 Hz, a transmissão sonora da solução com o compósito A é inferior à obtida na solução com o compósito B. Entre os 200 Hz e os 5000 Hz a solução com o compósito A apresenta um nível de transmissão sonora superior ao obtido com o compósito B. Para as frequências mais baixas, parece ser benéfico a existência de uma maior percentagem de cortiça (compósito A), enquanto para frequência mais altas o compósito constituído com maior percentagem de casca de arroz, apresenta melhores características para isolamento a sons de percussão.

O índice de isolamento sonoro das curvas apresentadas é obtido através de um ajuste da curva de referência à curva de isolamento sonoro aos 500 Hz. O ajuste é feito através da movimentação da curva de referência em intervalos de 1 dB até que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível mas nunca superior a 32 dB. O valor de $L_{n,rw}$, obtido é subtraído ao valor de 78 dB (para o pavimento definido na norma), para se obter o índice de redução da transmissão de sons de percussão, ΔL_w . O valor de ΔL_w obtido para ambas as amostras é de 20 dB. Apesar de o comportamento dos dois compostos ser diferente ao longo da frequência, o índice de isolamento, como é um valor único e resulta do ajuste de uma curva de referência vai dar o mesmo resultado.

Os resultados são bastante promissores, pois nem todos os materiais usados sob pavimentos flutuantes apresentam valores tão elevados. Como comparação pode usar-se o resultado de uma amostra de cortiça expandida com espessura, 20 mm, sob lajeta flutuante em que o valor de ΔL_w é de 22 dB (Amorim, s.d.), valor não muito distinto do valor obtido neste estudo.

4.2. Ensaio de determinação do coeficiente de condutibilidade térmica

Como foi referido no capítulo anterior, os ensaios de condutibilidade térmica, $W/m^{\circ}C$, foram realizados com uma temperatura média de $25^{\circ}C$ e garantindo uma diferença de temperaturas entre pratos de $10^{\circ}C$ a $15^{\circ}C$.

Determina-se a condutibilidade térmica para as três temperaturas. Ajusta-se uma reta aos três pontos. A seguir vai-se buscar à reta a condutibilidade correspondente aos 10 graus na reta. O valor que apresenta para cada provete é esse, é o λ_{10} . Sendo assim, os resultados do coeficiente de condutibilidade térmica para cada provete, ocorreram a partir da média de valores que cada provete esteve sujeito às três diferentes temperaturas $10^{\circ}C$, $25^{\circ}C$ e $40^{\circ}C$ (quadro 4.1).

Os resultados dos ensaios efetuados são obtidos os valores de condutibilidade térmica dos três provetes de cada compósito.

	Compósito A			Compósito B		
	1 provete	2 provete	3 provete	1 provete	2 provete	3 provete
espessura (mm)	248,5	248,8	247,5	163	159	161
Massa volumica aparente (kg/m^3)	391,7	378,5	424,8	407,5	431,4	423,9
Condutibilidade Térmica ($W/(m^{\circ}C)$)	62,83	60,1	65,81	68,49	69,9	67,07

Quadro 4. 1 - Resultados dos ensaios de Condutibilidade térmica dos Compósitos A e B

Para que um material seja considerado isolante térmico deverá ter um coeficiente de condutibilidade térmica inferior a $65 mW/m^{\circ}C$.

Analisando os resultados verifica-se que o compósito A apresenta melhores resultados que o compósito B devido à maior percentagem de cortiça, que é um material com ótimas características como isolante térmico. Refira-se que em termos médios a condutibilidade térmica do compósito A está abaixo de $65 mW/m^{\circ}C$. O compósito B, possui muito menos cortiça e mais casca de arroz, ou seja, não é um bom isolante térmico apresentando valores de condutibilidade térmica acima dos $65 mW/m^{\circ}C$.

Em simultâneo, ensaiou-se também uma amostra constituída só por casca de arroz e poliuretano. Para esta amostra obteve-se um valor de condutibilidade térmica de $95,44 mW/(m^{\circ}C)$. Comparando os Compósito A e B com essa amostra verifica-se que com a adição de alguma cortiça se melhora bastante o comportamento térmico do compósito.

4.3. Ensaio de determinação da transmissibilidade de vibrações

As figuras seguintes apresentam as curvas de transmissibilidade, em dB, obtidas para os quatro provetes de estudo, com as respectivas áreas de 20cm x 20cm e de 15cm x 15cm, quando submetidos aos vários carregamentos. Os provetes ensaiados, para cada compósito têm as dimensões de 400 cm² e 225 cm². Como já foi referido, cada um dos provetes foi dividido em quatro partes iguais para colocar nos quatro cantos do equipamento.

As figuras 4.2 a 4.5 apresentam as curvas de transmissibilidade para os quatro provetes distintos ensaiados (dois do compósito A e dois do compósito B). Para cada provete o ensaio foi repetido para 15 massas de carregamento distintas como pode ser observado nos gráficos.

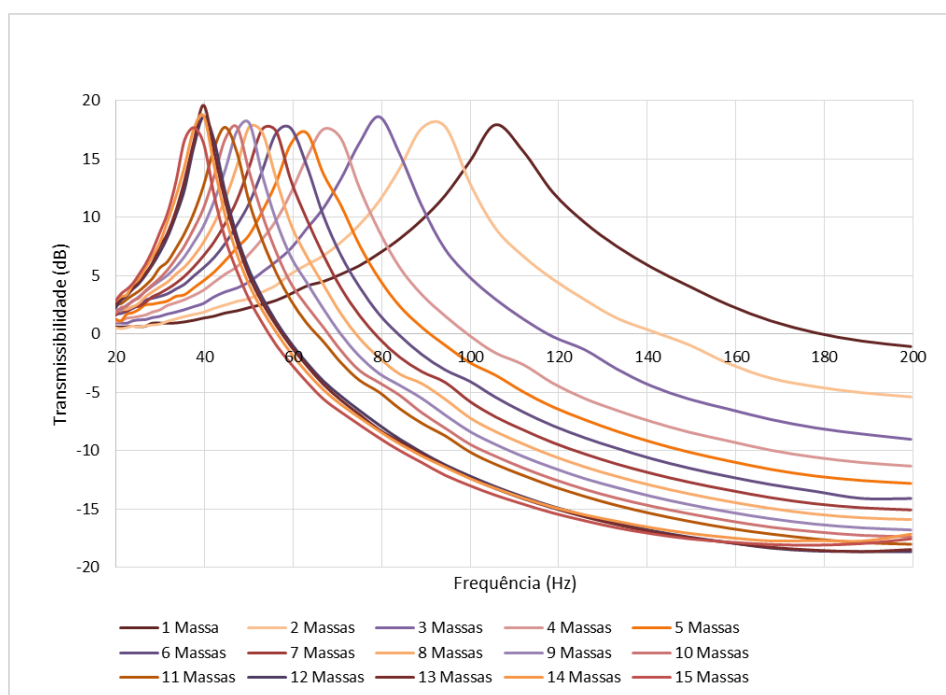


Figura 4. 2 - Curva de transmissibilidade do compósito A para o provete de 400 cm²

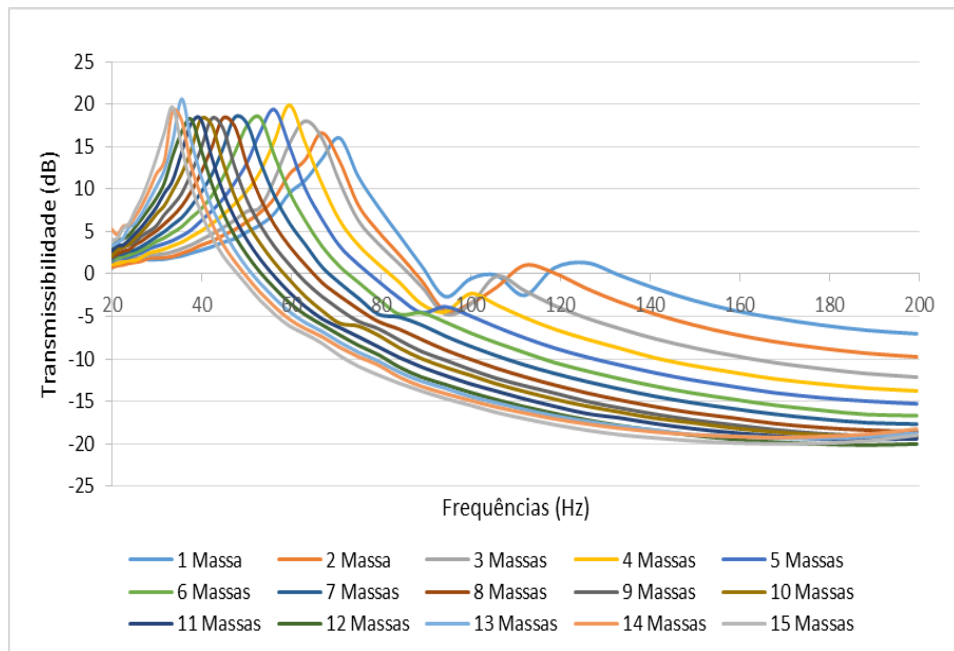


Figura 4. 3 - Curva de transmissibilidade do composto B para o provete de 400 cm²

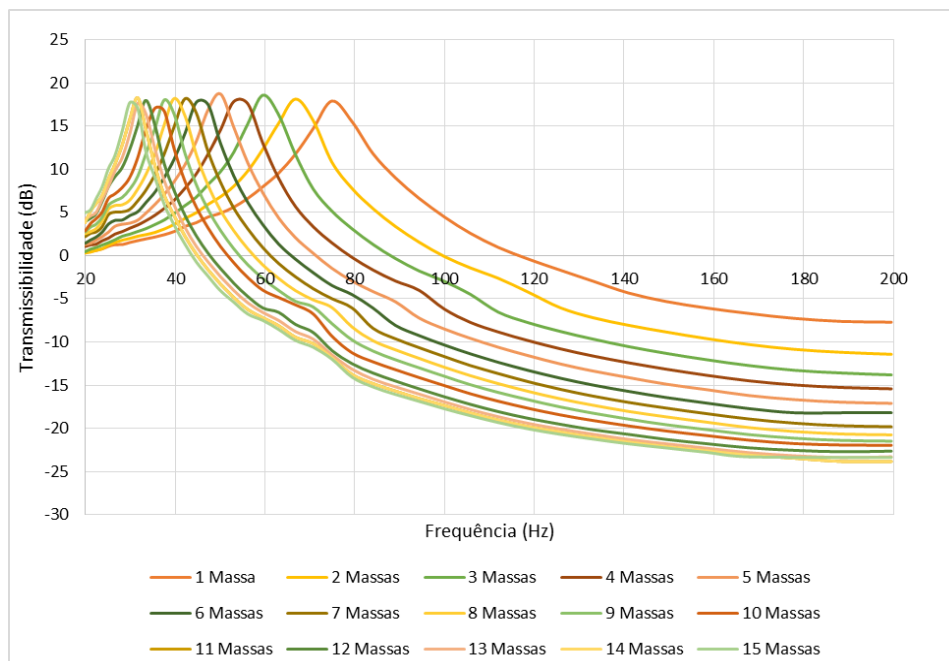


Figura 4. 4 - Curva de transmissibilidade do composto A para o provete de 225 cm²

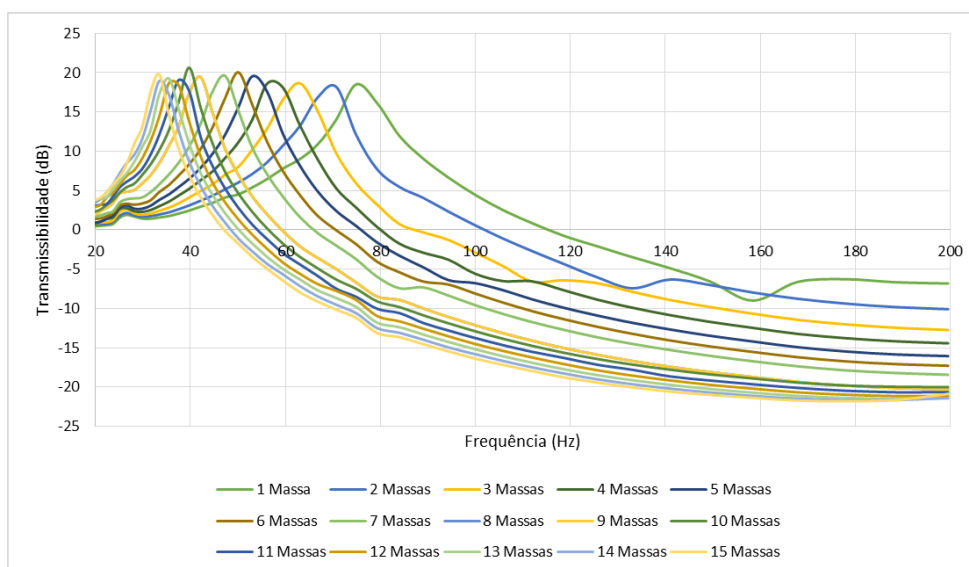


Figura 4. 5 - Curva de transmissibilidade do compósito B para o provete 225 cm²

Comparando os quatro gráficos, pode-se concluir que, para ambos os compósitos A e B, quanto maior for a massa de carga sobre o provete, menor é a frequência de ressonância do sistema e o pico das curvas de transmissibilidade vai-se deslocando para a esquerda. Para uma mesma frequência, o aumento da massa faz diminuir a transmissibilidade, aumentando o isolamento à vibração. Para uma mesma massa, na zona de isolamento (frequências onde a transmissibilidade é inferior a 0 dB) o isolamento à vibração vai aumentando com a frequência. Refira-se que para massas muito elevadas as curvas começam a ficar muito próximas umas das outras. O excesso de carregamento comprime muito o provete tornando-o mais rígido.

Para o mesmo compósito, quando as dimensões da amostra diminuem, para uma dada massa de carregamento a frequência de ressonância diminui e o isolamento de vibração aumenta para cada frequência.

Para o compósito A, conclui-se que quanto menor for o provete (225 cm²), menor é a transmissibilidade, ou seja, para uma maior massa de carregamento a frequência de ressonância diminui e o isolamento de vibração aumenta para cada frequência. Enquanto para o provete 400 cm² começa a isolar quando atinge os 55 Hz.

Para o compósito B, acontece o mesmo, mas como este compósito tem menos aglomerado de cortiça, começa a isolar aos 45 Hz para o provete 225 cm, enquanto para o provete de 400 cm² mm começa a isolar aos 50 Hz,

As figuras 4.6 e 4.7 apresentam as curvas de transmissibilidade, em dB, obtidas para 3 Massas e 14 Massas das duas amostras para as respectivas áreas de 400 cm² e de 225 cm².

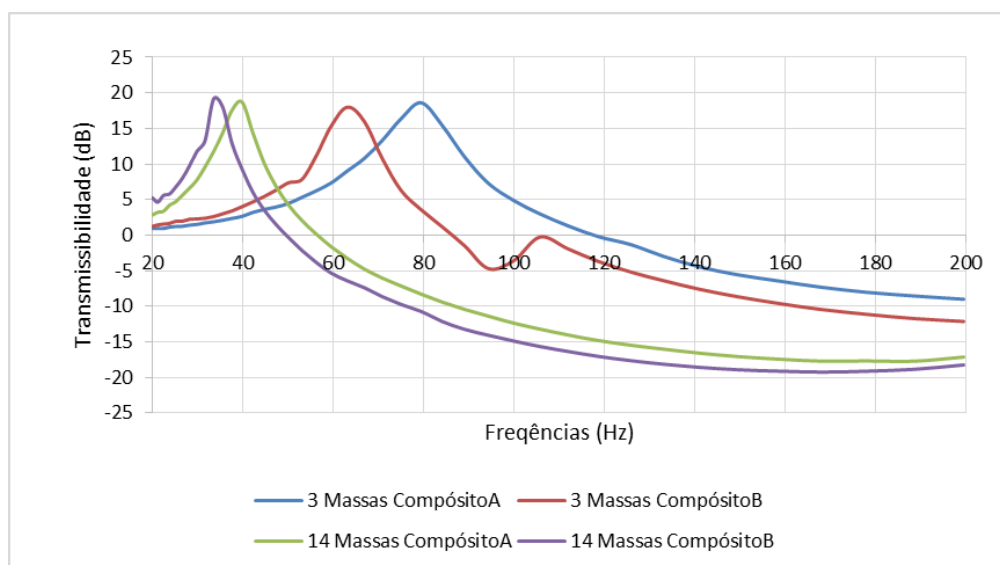


Figura 4. 6- Curva de transmissibilidade dos compósitos A e B de 400cm²

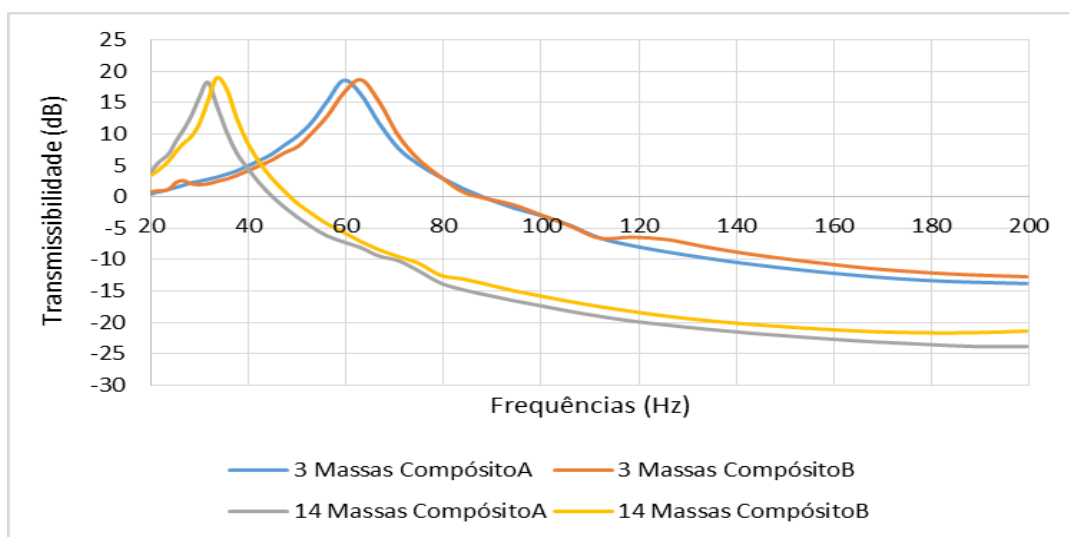


Figura 4. 7 - Curva de transmissibilidade dos compósitos A e B de 225cm²

Comparando as amostras de ambos os compósitos, e tendo ambas a mesma espessura, para os provetes de 400mm², conclui-se que para pouco carregamento o compósito A é menos isolante que o compósito B. A curva de transmissibilidade do compósito B é muito suave, talvez por causa de algumas heterogeneidades da mistura e também por não ter um comportamento muito resiliente para carregamentos baixos. Com o aumento das massas de carregamento, a tendência mantém-se. O compósito B começa a apresentar isolamento à vibração a partir dos 45 Hz, enquanto o compósito A só a partir dos 58 Hz. Pode-se verificar que para este carregamento, nas frequências mais altas as curvas de transmissibilidade começam a subir (em vez de descer). Este facto deve-se a provavelmente já ser um carregamento excessivo. Refira-se que era expectável que o material com mais cortiça (compósito A) apresentasse um melhor comportamento no isolamento de vibrações. Para este tamanho de provetes são evidentes as diferenças de transmissibilidade entre os dois materiais.

Para a amostra de 225 cm², e para as mesmas massas conclui-se que para pouco carregamento ambos os compósitos começam a isolar quando atingem a mesma frequência 87Hz, enquanto para maior carregamento o compósito A atinge primeiro o isolamento aos 42Hz. Refira-se, que neste caso, para provetes de dimensões menores o comportamento dos dois compósitos já não é tão distinto e se aproxima mais. Por outro lado, embora as diferenças sejam pequenas, o compósito A apresenta um comportamento ligeiramente melhor que o compósito B como era expectável. O facto de as misturas dos compósitos não terem sido feitas de forma industrial faz com que as amostras não sejam muito homogéneas e talvez por isso tenham dado origem a estes resultados. Para perceber melhor o comportamento destes materiais será necessário ensaiar diferentes espessuras e dimensões para conseguir chegar a conclusões mais objetivas.

4.4. Ensaio de determinação do comportamento à compressão

O quadro 4.2, ilustra os resultados médios obtidos nos ensaios à carga de compressão. Para os três provetes de ensaio de cada tipo de compósito apresenta-se a respetiva massa volúmica, a carga de compressão quando atinge os 10% de deformação e a respetiva tensão de compressão.

Provetes	Compósito A				Compósito B			
	1 provete	2 provete	3 provete	Média	1 provete	2 provete	3 provete	Média
Comprimento (mm)	151,2	150,9	151,1	151	151,7	151,6	151,6	151,6
Largura (mm)	151,1	150,8	150,4	150,8	151,5	151,4	151,4	151,4
Espessura (mm)	16	16,80	16,2	16,4	15,4	15,2	15,1	15,2
Massa volúmica aparente (kg/m ³)	436,5	388,7	404,9	410	448,1	423,4	427,9	433,1
Carga de compressão a 10 %, F10 (N)	8621	9792	6624	8346	10195	9288	9948	9810
Tensão de compressão a 10% (kPa)	377	430	291	366	444	405	433	427

Quadro 4. 2 - Resultados dos ensaios de compressão

Da análise do Quadro 4.2, pode-se concluir que no compósito A existe uma grande dispersão de valores da carga e da tensão de compressão. É muito provável que o 3 provete tenha mais cortiça que os outros dois. No compósito B não existe grande dispersão de resultados.

O compósito A tem menor massa volúmica, em termos médios atinge os 10% de deformação aos 8346 N para uma tensão de 366 kPa,. O compósito B tem uma massa volúmica superior de 433,1 kg/m², atinge os 10% de deformação aos 9810 N para uma tensão de 427 kPa. Comparando as duas amostras, a primeira amostra (compósitoA) contém mais cortiça, ou seja deforma mais a uma carga menor, enquanto a segunda amostra (compósito B) contém mais casca de arroz, para se deformar necessita de uma maior carga.

4.5. Ensaio de determinação da rigidez dinâmica de materiais utilizados sob pavimentos flutuantes

Para cada amostra do compósito A e compósito B, foram ensaiados quatro provetes. No Quadro 4.3 e 4.4 apresentam-se os valores da massa sobre o provete, frequência de ressonância e rigidez dinâmica para os dois compósitos respetivamente.

Compósito A	1 Provete	2 Provete	3 Provete	4 Provete	Média
m' t (kg/m ²)	208,2451	210,4569	207,783	208,3955	208,7201
fr (Hz)	107,34	86,41	115,47	125,31	109,3269
	108,75	86,09	115,63	125,63	
	109,84	85,94	120	125,47	
	109,38	85,78	115,78	126,41	
S' t (N/m ³)	94627496	61974145	1,09E+08	1,29E+08	1E+08
	97129845	61515981	1,1E+08	1,3E+08	
	99086665	61301801	1,18E+08	1,29E+08	
	98258471	61073755	1,1E+08	1,31E+08	
S' t (MN/m ³)	94,6275	61,97415	109,2616	129,0562	100,071
	97,12984	61,51598	109,5646	129,7162	
	99,08667	61,3018	118,0027	129,386	
	98,25847	61,07375	109,8491	131,332	

Quadro 4. 3 - Resultados finais da frequência de ressonância f_r , e a respetiva rigidez dinâmica aparente s_t' , para o compósito A

Compósito B	1 Provete	2 Provete	3 Provete	4 Provete	Média	D.Padrão
m' t (kg/m ²)	211,6693	209,4216	209,5104	210,8558	210,3643	1,089717
fr (Hz)	90,94	85,78	89,06	103,75	92,35375	7,284258
	90,63	84,84	89,06	104,69		
	90,63	84,84	88,75	104,38		
	90,47	86,56	89,69	103,59		
S' t (N/m ³)	69037817	60773308	65537550	89511963	71198181	
	68567942	59448665	65537550	91141311		
	68567942	59448665	65082098	90602349		
	68326053	61883559	66468039	89236091		
S' t (MN/m ³)	69,03782	60,77331	65,53755	89,51196	71,19818	11,71088
	68,56794	59,44867	65,53755	91,14131		
	68,56794	59,44867	65,0821	90,60235		
	68,32605	61,88356	66,46804	89,23609		

Quadro 4.4-Resultados finais da frequência de ressonância f_r , e a respetiva rigidez dinâmica aparente s_t' , para o compósito B

Pela observação dos quadros verifica-se que existe alguma dispersão de resultados nos vários provetes da mesma amostra. Mais uma vez pensa-se que é devido à heterogeneidade da mistura uma vez que a cortiça expandida e a casca de arroz têm propriedades bastante distintas.

Comparando os dois compósitos, verifica-se que a rigidez dinâmica aparente a média é maior no compósito A, ao contrário do que era esperado. Quanto mais baixa for a rigidez dinâmica, em princípio melhor será o comportamento do material no isolamento a sons de percussão. Os valores obtidos não são muito baixos como seria desejável. No entanto, serão comparáveis aos de outros materiais existentes. Por exemplo a rigidez dinâmica declarada para o aglomerado negro de cortiça expandida (por 50 mm de espessura) < 126 MN/m³ de acordo com as referências. Refira-se que os compósitos ensaiados têm cerca de 15 mm de espessura. De uma forma geral, com o aumento da espessura haverá uma diminuição da rigidez dinâmica, o que será benéfico para o aumento do isolamento a sons de percussão.

4.6. Ensaio de determinação da absorção sonora em tubo de impedância

A determinação do coeficiente de absorção sonora, dB, através do tubo de impedância, usando dois tamanhos provetes circulares de 100mm e 29mm de diâmetro, permitiu traçar curvas de absorção sonora em função da frequência, para os dois compósitos como se pode observar no gráfico da Figura 4.8.

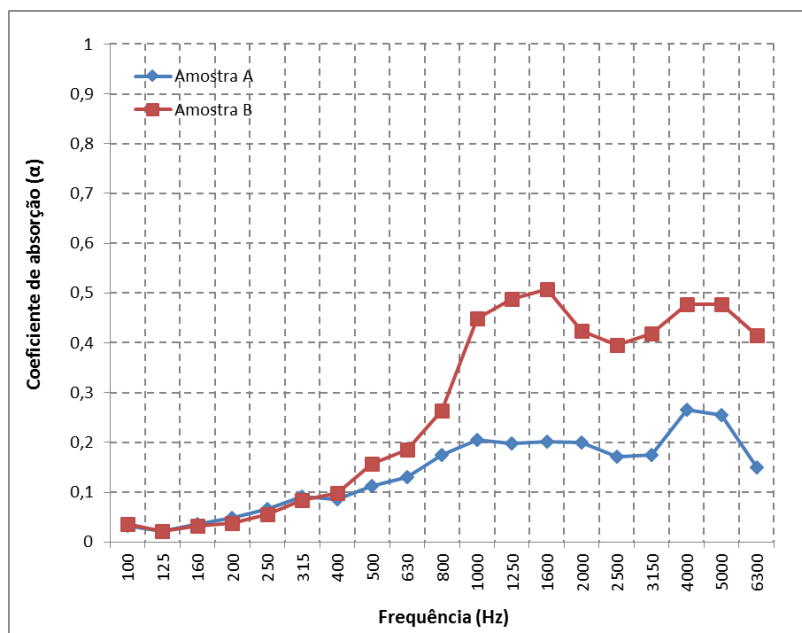


Figura 4. 8 - Curvas de absorção dos compósitos A e B

Analisando os resultados, verifica-se que até aos 400 Hz os dois compósitos têm um comportamento semelhante. Para o compósito B o coeficiente de absorção aumenta até um valor máximo de 0,5 nos 1600 Hz, seguindo-se uma diminuição na absorção nas frequências seguintes e novamente um aumento. O compósito A apresenta (acima dos 400 Hz) valores de absorção sempre mais baixos que o compósito B.

Assim, pode-se concluir que o compósito B, o que contém maior percentagem de casca de arroz apresenta melhores propriedades de absorção do som, do que o compósito A, que contém maior percentagem de cortiça. Embora a absorção sonora do compósito B não seja muito elevada, apresenta valores razoáveis de absorção para poder ser utilizado no controle da reverberação de espaços interiores.

4.7. Ensaio de determinação da perda por transmissão sonora em tubo de impedância

Para avaliar o isolamento a sons aéreos dos compósitos, determinou-se a perda por transmissão sonora (em dB), usando o tubo de impedância. Como já foi referido usaram-se provetes circulares com 100mm de diâmetro. Na Figura 4.9 apresenta-se o gráfico com as curvas de perda por transmissão sonora, em bandas de frequência de um terço de oitava, para ambos os compósitos.

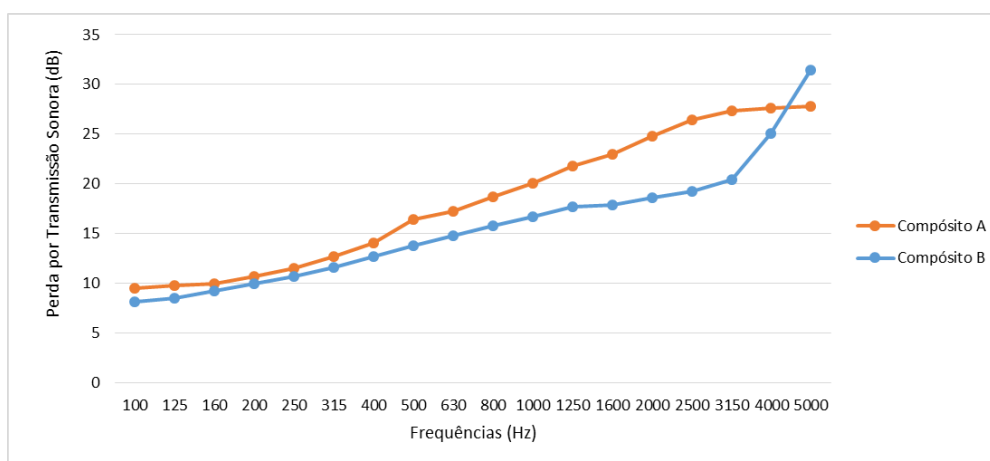


Figura 4. 9 - Curvas de perda por transmissão sonora do compósito A e B

O isolamento sonoro aumenta com o aumento da frequência como era previsível. Os gráficos apresentam valores da perda por transmissão sonora entre os 8 dB e os 32 dB.

Através de uma análise geral ao gráfico, verifica-se que o compósito A, tem um melhor isolamento a sons aéreos, em toda a gama de frequências, só quando atinge os 5000 Hz é que a perda por transmissão sonora é menor do que no compósito B, atingindo um valor de 27 dB. Apesar de o compósito B apresentar uma maior massa volúmica do que o compósito A, o isolamento a sons aéreos é melhor no compósito A, talvez devido ao elevado poder amortecedor da cortiça. De qualquer forma será necessário ensaiar amostras de maiores dimensões em câmaras acústicas para obter resultados mais conclusivos.

5. CONCLUSÕES

Estudos sobre o aproveitamento de resíduos da indústria agrícola, têm vindo a demonstrar que alguns podem ser utilizados em diferentes aplicações na construção, o que acaba por gerar benefícios económicos e ecológicos e uma excelente oportunidade pra desenvolver produtos novos.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar, de uma forma experimental, a viabilidade de criar um compósito constituído por granulado de cortiça expandida e casca de arroz, aglomerados com poliuretano. O estudo realizado permitiu que se pudesse avaliar o desempenho do compósito, através da caracterização de algumas propriedades. Foram desenvolvidas duas amostras com percentagens de materiais diferentes. A primeira amostra (Compósito A) é composta por 50% de casca de arroz, 50% granulado de cortiça expandida e poliuretano, e a segunda amostra (Compósito B) é composta por 75% de casca de arroz, 25% de granulado de cortiça expandida e poliuretano.

No ensaio realizado para a determinação da redução da transmissão de sons de percussão, verifica-se que a transmissão sonora de uma forma geral, à exceção de algumas frequências, diminui com o aumento da frequência. Até aos 200 Hz, a transmissão sonora da solução com o compósito A é inferior à da solução do compósito B. Entre os 200 Hz e os 5000 Hz o compósito A apresenta um nível de transmissão sonora superior ao compósito B. Para as frequências mais baixas, parece ser benéfico a existência de uma maior percentagem de cortiça (compósito A), enquanto para frequência mais altas o compósito constituído com maior percentagem de casca de arroz, apresenta melhores características para isolamento a sons de percussão. No entanto numa análise mais macro obteve-se o mesmo índice de redução da transmissão de sons de percussão.

No ensaio da condutibilidade térmica, verifica-se que o compósito A que esta apresenta valores abaixo dos 65 mW/m°C apresenta melhores resultados que o compósito B devido à maior percentagem de cortiça, que é um material com ótimas características como isolante térmico. O compósito B, possui muito menos cortiça e mais casca de arroz, ou seja, não é tão bom isolante térmico apresentando valores de condutibilidade térmica acima dos 65 mW/m°C.

No ensaio da transmissão de vibrações, pode-se concluir que para o mesmo compósito, quando as dimensões da amostra diminuem, para uma dada massa de carregamento a frequência de ressonância diminui e o isolamento de vibração aumenta para cada frequência. Para o compósito A e compósito B com dimensões 400 mm², conclui-se que quanto maior a massa de carregamento menor é a transmissibilidade, ou seja, para uma maior massa de carregamento a frequência de ressonância diminui e o isolamento de vibração aumenta para cada frequência.

Comparando as amostras de ambos os compósitos, conclui-se que para carregamentos mais baixos o compósito A é menos isolante que o compósito B, e com o aumento das massas de carregamento, a tendência mantém-se.

Para a amostra de 225 cm², e para as mesmas massas conclui-se que para pouco carregamento ambos os compósitos começam a isolar quando atingem a mesma frequência 87Hz, enquanto para maior carregamento o compósito A atinge primeiro o isolamento. Refira-se, que neste caso, o compósito A apresenta um comportamento ligeiramente melhor que o compósito B.

A partir dos resultados obtidos no ensaio à compressão, conclui-se que o compósito A, que tem menor massa volúmica, e atinge os 10% de deformação para cargas mais baixas do que as necessárias para o compósito B. Comparando as duas amostras, a primeira amostra (compósito A) contém mais cortiça, ou seja deforma mais a uma carga menor, enquanto a segunda amostra (compósito B) contém mais casca de arroz, para se deformar necessita de uma maior carga.

Relativamente ao ensaio da rigidez dinâmica de materiais utilizados sob pavimentos flutuantes, comparando os dois compósitos, verifica-se que o compósito A apresenta maior rigidez dinâmica, ao contrário do que era esperado. Quanto mais baixa for a rigidez dinâmica, em princípio melhor será o comportamento do material no isolamento a sons de percussão, e quanto maior for a espessura menor será a rigidez dinâmica, o que será benéfico para o aumento do isolamento a sons de percussão.

No ensaio da determinação da absorção sonora, verifica-se que até aos 400 Hz os dois compósitos têm um comportamento semelhante, mas o compósito A apresenta (acima dos 400 Hz) valores de absorção sempre mais baixos que o compósito B. Assim, pode-se concluir que o compósito B, apresenta melhores propriedades de absorção do som, do que o compósito A.

No ensaio para a determinação da perda por transmissão sonora verifica-se que o compósito A, apresenta um melhor isolamento a sons aéreos, em toda a gama de frequências. Apesar de o compósito B apresentar uma maior massa volúmica do que o compósito A, o isolamento a sons aéreos é melhor no compósito A, talvez devido ao elevado poder amortecedor da cortiça

O presente estudo, constituiu uma fase preliminar do desenvolvimento destes compósitos. Produziu-se pouca quantidade de material, porque as amostras foram realizadas de forma não industrial, o que também condicionou os ensaios realizados que foram feitos essencialmente com provetes de dimensões reduzidas.

Como trabalhos futuros sugere-se que se realizem as misturas e as amostras de forma industrializada de maneira a se poderem obter compósitos com propriedades mais homogêneas e também facilitar a produção de maiores quantidades. Assim, será possível efetuar uma maior variedade de ensaios, especialmente aqueles que necessitam de provetes com maiores dimensões. Como neste trabalho apenas foram estudadas duas formulações, seria interessante estudar composições com outras percentagens dos componentes. Existem propriedades adicionais que poderiam ser determinadas, nomeadamente, a resistência à flexão, a estabilidade dimensional, a absorção de água, permeabilidade ao vapor de água, o calor específico, etc.

- Relativamente às propriedades determinadas durante o presente estudo seria vantajoso:
- Realizar ensaios de isolamento a sons aéreos com amostras de maiores dimensões (e diferentes espessuras) em câmaras acústicas;
- Determinar a absorção sonora em amostras de grandes dimensões em câmara reverberante;
- Determinar a redução da transmissão de sons de percussão com diferentes revestimentos (para além da lajeta de betão) e espessuras e usando dimensões maiores para os provetes;
- Determinar a transmissibilidade de vibrações para provetes com espessuras e dimensões diferentes das ensaiadas;
- Determinar a transmissibilidade de vibrações para provetes que tivessem estado sujeitos a carregamento estático durante períodos longos.

- Determinar a rigidez dinâmica de amostras com outras espessuras e composições;

Pode ainda alargar-se o âmbito deste trabalho investigando outros materiais ou desperdícios com os quais a casca de arroz possa ser misturada para obter compósitos com aplicação na construção.

6. BIBLIOGRAFIA

A., R. R. (2003). Natural vegetal fibbers as a new resiliente layer for floating floors. Euronoise Naples 2003 ;

A.Sev. (s.d.). *How can the constrction industry contribute to sustainable development? A conceptual FrameWork*. Development ;

al, E. S. (2009). Investigation og industrial tea-leaf-fibre waste for its sound absorption properties. *Applied acoustics* 70 ;

al, S. B. (2006). Tratamento superficial da fibra de coco estudo de caso baseado numa alternativa econômica para fabricação de materiais compósitos. Grupo de Pesquisa em Engenharia de Custos e Processos - GPEC, Universidade Federal;

Almeida A., M. P. (2013). A importância da cultura do arroz em Portugal e no Mundo. Boas Práticas no Cultivo de Arroz por Alargamento em Portugal ;

Amorim. (s.d.). www.amorimisolamentos.com/xms/files/FICHA_TECNICA/2014-09/Amorim_Isolamentos_FT_LAJETA_FLUTUANTE_COM_REVESTIMENTO_MOSAICO_R02.pdf ;

APCOR. (2011). www.apcor.pt Obtido de Associação Portugues da Cortiça, Portugal;

B, E. (2008). BIODEN - Densificação da Palha de Arroz. Lisboa;

Bicho, M., & Gil, L. (1999). Cortiça: Guia Normativa. Portugal;

BLTD. (2011). www.betterlivingthroughdesign.com ;

Chabannes, M. &. (2014). Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrte: An innovative application. Em *In Construction and Building Materials*. Elsvie;

CLARKE. (2002). Final Reporto in the Construction of the Hemp Houses at Haverhill,Suffolk. Hemp Houses Project. Obtido de Final Reporton the Construction of the Hemp Houses at Haverhill,Suffolk.;

Comission, E. (2012). Europe 2020 targets: climate change and energy. Bruxelles: EC;

Decreto de Lei nº 179/2012, d. 3. (2012). Lisboa: Diário da Republica, I Série no 150, 2 de Agosto de 2012.;

Dias, S. S. (2015). Atenuação de Vibrações por apoios constituídos por aglomerado de cortiça expandida (ICB). Coimbra: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil;

E, S. (2013). Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco. UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia;

ECOFIBRE. (2011). www.ecofibre.com.au Obtido de Ecofibre Industries Operations, Australia;

EN 12667 (2001) - Materiales de construcción: Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica. (s.d.);

EN 826 (2013) - Thermal insulating products for building applications. Determination of compression behaviour. (s.d.);

EN ISO 10140 (2010) - Acoustics: Laboratory measurement of sound insulation of building elements:Part 1: Application rules for specific products. (s.d.);

EN ISO 10534 (2001) – Acoustics: Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes: Part 2: Transfer-function method. (s.d.);

EN ISO 10846 (2002) - Acoustics and vibration: Laboratory measurement of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements: Part 1: Principles and guidelines. (s.d.);

EN ISO 717 (2013) – Acoustics: Rating of sound insulation in buildings and of building elements: Part 1: Airborne sound insulation. (s.d.);

EN ISO 7626 (1994) - Mechanical vibration and shock: Experimental determination of mechanical mobility: Part 1: Basic terms and definitions, and transducer specifications. (s.d.);

EN ISO 9052 (1989) – Acoustics: Determination of dynamic stiffness: Part 1: Materials used under floating floors in dwellings. (s.d.);

FOLCLORE. (2011). www.folcloreonline.com/ciclos/linho/historia.html (T.d.Popular, Editor)

Gil, L. (2006). A cortiça como material de Construção. Manual técnico. Portugal: APCOR- Associação Portuguesa de Cortiça;

- HAJJ, N. (2011). *Development of thermal insulating and sound absorbing agro-sourced materials from auto linked flax-tows*. Industrial crops and products;
- IFAP. (2013). www.ifap.minagricultura.pt/portal/page/portal/ifap_publico/GC_estatisticas insulation, E. I.–A. (s.d.);
- IRRI. (2014). www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/milling/what-is-rice-husk Obtido de Rice Knowledge Bank- Rice hsk;
- ision, C. A. (s.d.). *Alternative uses of rice straw in California*. Sacramento;
- ISO 8302 (1991) - Thermal insulation: Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus;. (s.d.);
- ISOLINA. (2001). www.isolina.com.KotimainenSuomessaTehtyEriste ;
- KERAKOLL. (2013). www.kerakoll.com/pt/produtos/greenbuildingrating ;
- Knowledgebank. (2013). www.knowledgebank.irri.org/rkb/rice-milling/byproducts-and-their-utilization/rice-husk.html ;
- LARROCHA. (s.d.). www.larocha.com ;
- Mehta. (s.d.). Rice Husk Ash - A unique supplementary cementing material. *Proceeding International Symposium on Advances in Concrete Technology*. Athens ;
- NAIHC. (2011). www.naihc.org , North merican Industrial Hemp Council, America do Norte;
- NNFCC. (2011). www.nnfcc.co.uk Obtido de National Non-Food Crops Centre, Reino Unido;
- Novarroz. (2014). www.novarroz.pt/mundo-do-arroz/historia-do-arroz/a-origem-da-cultura-do-arro-asia-neolitica , Obtido de A origem da cultura do arroz: Ásia Neolítica.;
- P., M. (s.d.). A unique Parque, B. D., Lee, k. H., Singh, A. P., & yOON. (s.d.);
- Parque, B. W.-H. (2003). Characterization of anatomical features and silica distribution in rice husk using microscopic and micro analytical techniques . *In Biomass and Bioenergy*. Seoul, Republic of Korea, Elseiver;
- POFC.(2012).www.pofc.qren.pt/media/noticias/entity/valorização-da-casca-de-arroz-portugues ;
- PR. (2001, Paraná Governo do Estado, Brasil). www.pr.gov.br/seab/deral/cultur13.pdf ;

PRE.(s.d.).www.pre.pt/eurotubo/pdf/Produtos/Isolamentos%20e%20Telas/Catalogo/Ficha%20Tecnica%20Aglomerados%20de%20Cortica%20Amorim.pdf ;

Rama, J. P. (2014). Eco-paineis construídos a partir de madeira e resíduos de palha/casca de arroz. Coimbra: Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; Departamento de Engenharia Civil, Coimbra;

Regulamento (UE) n.º 305/2011, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011 que estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção. . (s.d.). Jornal Oficial da União Europeia, 4 de Abril de 2011;

Ribeiro J., C. J. (2013). Carta regional de competitividade Baixo Mondego. Lisboa;

Tadeu, A., & Mateus, D. (2001). *Comportamento Acústico de Edifícios*. Coimbra: Departamento de Engenharia Civil da F.C.T. da Universidade de Coimbra;

UKHEMPCRETE. (2016). www.ukhempcrete.com;

Viero. (s.d.). www.viero.com.pt/fichas/ACE.pdf ;