



Rafaela Vanessa Saraiva da Silva

# CARACTERIZAÇÃO DE UM COMPÓSITO COM CASCA DE ARROZ E GRANULADO DE BORRACHA

CHARACTERIZATION OF A COMPOSITE WITH RICE HUSK AND  
RUBBER GRANULATE

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções,  
orientada pela Professora Doutora Julieta Maria Pires António e pelo Professor Doutor António José Barreto Tadeu

Coimbra, Fevereiro, 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



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

Rafaela Vanessa Saraiva da Silva

# **Caracterização de um compósito com casca de arroz e granulado de borracha**

## **Characterization of a composite with rice husk and rubber granulate**

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções,  
orientada pela Professora Doutora Julieta Maria Pires António e pelo Professor Doutor António José Barreto Tadeu

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.  
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, declina qualquer  
responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões  
que possam surgir

Colaboração Institucional



Coimbra, 3 de Março de 2017

## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação contou com o apoio e colaboração de várias pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a sua concretização.

Agradeço à Professora Doutora Julieta António, minha orientadora, pela troca de conhecimentos, disponibilidade e, acima de tudo, por toda a sua compreensão, atenção e forma generosa com que me acompanhou.

Ao Professor Doutor António Tadeu, co-orientador, agradeço igualmente a sua compreensão e disponibilidade.

Um agradecimento especial à equipa do ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção da Universidade de Coimbra, por toda a ajuda e dedicação prestada durante o trabalho experimental.

Agradeço o apoio do projeto “*mcRICE - Compósitos multifuncionais sustentáveis produzidos a partir de casca de arroz, integrando granulados reciclados de borracha e cortiça*”, POCI- 01-0247-FEDER-017710, sem o qual não seria possível a investigação e materialização do trabalho.

Para terminar, resta-me agradecer a toda a minha família e amigos. Em especial aos meus avós maternos, à minha mãe e ao Zé que influenciaram de forma positiva a pessoa que sou hoje, apoiaram-me em todos os momentos da minha vida e, como tal, foram uma força extraordinária para conseguir concretizar mais um objetivo de vida: terminar o curso de mestrado integrado em engenharia civil.

Obrigada a todos,  
Rafaela

## RESUMO

Os vários problemas em torno do ambiente não param e, cada vez mais, este tema é discutido para a reorganização do comportamento das sociedades. A indústria dos pneus tem vindo a ser alvo de grandes pressões no intuito de criar o maior número possível de alternativas para a reciclagem e reaproveitamento de pneus usados. Como o pneu é um material difícil de eliminar, este levanta várias questões ambientais, económicas e sociais. Um outro resíduo, agroindustrial, que existe com bastante abundância é a casca de arroz. A produção deste resíduo ultrapassa, por ano, os 700 milhões de toneladas a nível mundial, ocupando bastante espaço, sendo normalmente queimado ou transportado para aterro. O aproveitamento destes desperdícios tem vindo a ganhar aceitação por parte da indústria, integrando-os em materiais que possam ser utilizados na construção, de forma a minimizarem os problemas ambientais, contribuindo para a sustentabilidade.

Neste contexto, na presente dissertação foram estudados compósitos produzidos a partir do granulado de borracha de pneus usados e de casca de arroz da região do Baixo Mondego. Estudaram-se duas composições com diferentes percentagens em massa de casca de arroz e de borracha.

Foram realizados ensaios laboratoriais com o objetivo de analisar as propriedades dos materiais que permitirão aferir a viabilidade da utilização destes compósitos em materiais de construção. Para isso, foi efetuado um estudo experimental realizado nas instalações laboratoriais do ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção da Universidade de Coimbra, recorrendo a um conjunto de equipamentos adequados para proceder à realização de vários ensaios, nomeadamente: o ensaio para determinar a redução da transmissão de sons de percussão, o ensaio para avaliar a condutibilidade térmica, o ensaio de transmissão de vibrações, o ensaio à compressão, o ensaio para determinar a rigidez dinâmica, o ensaio da absorção sonora em tubo de impedância e o ensaio de perda por transmissão sonora em tubo de impedância.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Reaproveitamento de materiais; Casca de arroz; Granulado de borracha; Ensaio laboratoriais.

## ABSTRACT

The various problems surrounding the environment do not stop, and more and more this theme is discussed for the reorganization of the behavior of societies. The tire industry has been under great pressure to create as many alternatives as possible to the recycling and reuse of used tires. As the tire is a difficult material to eliminate, it causes several environmental, economic and social issues. Another agroindustrial residue existing with enough abundance is the rice husk. The production of this waste per year, exceeds 700 million tons worldwide, taking up a lot of space and is usually burnt or transported to landfill. The use of these wastes has gained acceptance by the industry, integrating them in materials that can be used in construction in order to minimize environmental problems, contributing to sustainability.

In this context, in the present dissertation were studied composites made of rubber granulate of used tires and rice husks from the region of Baixo Mondego. Two different compositions with different percentages in mass of rice husk and rubber granulate have been studied.

Laboratory tests were carried out with the objective of analyzing the properties of the materials that will allow to verify the viability of the use of these composites in construction materials. For this, an experimental study was carried out at the laboratory facilities of ITeCons - Institute of Research and Technological Development in Construction Sciences of the University of Coimbra, using a set of suitable equipment to carry out several tests, namely: the test for determination of reduction of transmitted impact noise, the thermal conductivity test, the vibration transmissibility test, the compression test, the apparent dynamic stiffness test, the sound absorption test in the impedance tube and the sound transmission loss in impedance tube.

Keywords: Sustainability; Reutilization of materials; Rice husk; Rubber granules; Laboratory tests.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE QUADROS .....	viii
ABREVIATURAS .....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
Enquadramento .....	1
Objetivos do Trabalho .....	2
Estrutura do Trabalho .....	2
2. UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO.....	4
2.1. Introdução .....	4
2.2. Construção Sustentável.....	6
2.3. Materiais de Construção Sustentáveis .....	7
2.3.1. Cânhamo .....	7
2.3.2. Fibra de Coco.....	9
2.3.3. Fibra de linho .....	11
2.3.4. Fibras de Madeira .....	12
2.3.5. Lã de Ovelha.....	13
2.3.6. Juta.....	14
2.3.7. Bambu.....	15
2.4. Materiais Usados no Presente Trabalho .....	17
2.4.1. Casca de Arroz.....	17
2.4.2. Borracha Reciclada.....	21
3. MATERIAIS E METODOLOGIAS DE ENSAIO .....	25
3.1. Descrição das Amostras.....	25
3.2. Ensaio de Medição da Redução da Transmissão de Sons de Percussão $\Delta L_w$ de Revestimentos de Piso .....	26
3.3. Ensaio de Determinação do Coeficiente de Condutibilidade Térmica de Produtos de Isolamento Térmico .....	28
3.4. Ensaio de Determinação de Transmissibilidade de Vibrações .....	30
3.5. Ensaio de Determinação do Comportamento à Compressão de Produtos de Isolamento Térmico .....	33
3.6. Ensaio de Determinação da Rigidez Dinâmica Aparente de Materiais Utilizados sob Pavimentos Flutuantes em Edifícios.....	35
3.7. Ensaio de Determinação do Coeficiente de Absorção Sonora em Tubo de Impedância.....	37
3.8. Ensaio de Determinação da Perda por Transmissão Sonora em Tubo de Impedância..	39

---

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....	41
4.1. Redução da Transmissão de Sons de Percussão $\Delta L_w$ de Revestimentos de Piso .....	41
4.2. Condutibilidade Térmica de Produtos de Isolamento Térmico .....	43
4.3. Transmissibilidade de Vibrações .....	44
4.4. Comportamento à Compressão de Produtos de Isolamento Térmico .....	48
4.5. Rigidez Dinâmica de Materiais Utilizados sob Pavimentos Flutuantes em Edifícios ...	50
4.6. Coeficiente de Absorção Sonora em Tubo de Impedância .....	53
4.7. Perda por Transmissão Sonora em Tubo de Impedância .....	54
5. CONCLUSÕES .....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1-</b> Construção Sustentável, (adaptada de Mateus e Bragança, 2006) .....	7
<b>Figura 2.2-</b> Cânhamo: <b>a)</b> Caule da planta; <b>b)</b> Fibras da planta (Hemparchitecture@, 2016)...	8
<b>Figura 2.3</b> – Aplicações da fibra de Cânhamo em 2013 na Europa, (Carus e Sarmento 2016)9	
<b>Figura 2.4</b> - Coqueiro, coco e fibras de coco (Ali, 2010) .....	10
<b>Figura 2.5</b> –Fibra de Linho (Audaces@, 2015).....	11
<b>Figura 2.6</b> – Fibras de Madeira (Millerwastemills@, 2016) .....	12
<b>Figura 2.7</b> – Lã de Ovelha (Fazfacil@, 2016).....	13
<b>Figura 2.8</b> – Juta: <b>a)</b> Planta Corchors (Fmagricola@, 2011); <b>b)</b> Fibras de juta (Fuchic@, 2015) .....	15
<b>Figura 2.9</b> – Cana de Bambu (Word-of-adventures@, 2014). .....	16
<b>Figura 2.10</b> – Arroz: <b>a)</b> Casca de arroz (Portalveneza@, 2012); <b>b)</b> Palha de arroz (Fragmaq@, 2013).....	19
<b>Figura 3.1</b> – Compósitos: <b>a)</b> Amostra B; <b>b)</b> Amostra A .....	25
<b>Figura 3.2</b> – Câmara: a) Emissão e máquina de percussão; b) Receção .....	27
<b>Figura 3.3</b> - Equipamento $\lambda$ -Meter EP500.....	29
<b>Figura 3.4</b> – Definição da zona de medição .....	30
<b>Figura 3.5</b> – Esquema do equipamento utilizado na determinação da transmissibilidade de vibrações (Dias, 2015) .....	30
<b>Figura 3.6</b> – Sistema de excitação (Dias, 2015) .....	31
<b>Figura 3.7</b> – Ensaio da amostra A com os provetes de 100 mm×100 mm .....	32
<b>Figura 3.8</b> – Máquina Universal Instron.....	34
<b>Figura 3.9</b> - Posições das determinações da espessura para verificação do paralelismo. ....	34
<b>Figura 3.10</b> – Compressão de um provete .....	35
<b>Figura 3.11</b> - Colocação da camada de gesso no provete .....	36
<b>Figura 3.12</b> - Proвете de uma amostra a ser ensaiado .....	37
<b>Figura 3.13</b> – <b>a)</b> Representação esquemática do tubo de impedância segundo a ISO 10534-2; <b>b)</b> Tubo de impedância montado .....	38
<b>Figura 3.14</b> - Sistema de medição do ensaio (adaptado de Oliveira et al, 2016) .....	38
<b>Figura 3.15</b> - Amostras: <b>a)</b> Amostra B; <b>b)</b> Amostra A.....	39
<b>Figura 3.16</b> – Tubo de impedância: <b>a)</b> Amostras de 100 mm; <b>b)</b> Amostras de 29 mm .....	40
<b>Figura 4.1</b> – Representação gráfica do nível sonoro de percussão normalizado do pavimento de referência com o revestimento do piso $L_{n,r}$ (dB) .....	41
<b>Figura 4.2</b> - Valores de condutibilidade térmica para os 3 provetes ensaiados (mW/m°C): <b>a)</b> Amostra A; <b>b)</b> Amostra B .....	43
<b>Figura 4.3</b> – Curvas de transmissibilidade para várias cargas (amostra A com 400 cm <sup>2</sup> de área, 25,20 mm de espessura e com uma massa volúmica de 392,68 kg/m <sup>3</sup> ).....	45
<b>Figura 4.4</b> – Curvas de transmissibilidade para várias cargas (amostra B com 400 cm <sup>2</sup> de área, 24,33 mm de espessura e com uma massa volúmica de 280,40 kg/m <sup>3</sup> ).....	45



---

<b>Figura 4.5</b> – Curvas de transmissibilidade para várias cargas (amostra B com 900 cm <sup>2</sup> de área, 23,43 mm de espessura e com uma massa volúmica de 299,50 kg/m <sup>3</sup> ).....	46
<b>Figura 4.6</b> – Curvas de transmissibilidade para M1 da amostra A e B com 400 cm <sup>2</sup> de área.	47
<b>Figura 4.7</b> - Curvas de Força/Deslocamento dos provetes da amostra A no ensaio de compressão .....	48
<b>Figura 4.8</b> - Valores obtidos nos ensaios de compressão para os provetes da Amostra A.....	48
<b>Figura 4.9</b> - Curvas de Força/Deslocamento dos provetes da amostra B no ensaio de compressão .....	49
<b>Figura 4.10</b> - Valores obtidos nos ensaios de compressão para os provetes da Amostra B ....	49
<b>Figura 4.11</b> – Função de transferência no domínio da frequência .....	50
<b>Figura 4.12</b> – Curvas de absorção sonora das Amostras A e B.....	53
<b>Figura 4.13</b> – Curvas de perda por transmissão sonora das Amostras A e B.....	55

---

## ÍNDICE DE QUADROS

<b>Quadro 3.1</b> - Equipamentos utilizados para a execução do ensaio da redução da transmissão a sons de percussão.....	26
<b>Quadro 3.2</b> - Equipamentos utilizados para a execução do ensaio da transmissão a sons de percussão .....	31
<b>Quadro 3.3</b> - Relação entre T, IE e Tdb .....	33
<b>Quadro 3.4</b> - Equipamentos utilizados para a execução do ensaio da rigidez dinâmica .....	36
<b>Quadro 3.5</b> - Equipamentos utilizados para a realização do ensaio de determinação do coeficiente de absorção sonora em tubo de impedância.....	37
<b>Quadro 4.1</b> - Valores de $\Delta L$ do ensaio de Redução da Transmissão de Sons de Percussão ...	42
<b>Quadro 4.2</b> – Espessura, massa volúmica aparente e resistência térmica para as Amostras A e B.....	43
<b>Quadro 4.3</b> - Tensões de compressão correspondentes aos vários carregamentos estáticos para amostras de 400 cm <sup>2</sup> e 900 cm <sup>2</sup> .....	44
<b>Quadro 4.4</b> - Valores médios dos ensaios à compressão para as Amostras A e B.....	49
<b>Quadro 4.5</b> –Frequência de ressonância, $f_r$ e rigidez dinâmica aparente, $s't$ para a amostra A .....	51
<b>Quadro 4.6</b> –Frequência de ressonância, $f_r$ e rigidez dinâmica, $s't$ para a amostra B .....	51

## **ABREVIATURAS**

ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção;

UNESCO – Organização das Nações Unidas Para a Educação, Ciência e Cultura;

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente;

CIB – Conselho Internacional Construção;

ONU – Organização das Nações Unidas;

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations;

MBB – Misturas Betuminosas com Borracha

# 1. INTRODUÇÃO

## Enquadramento

Nos últimos anos, o setor da construção tem vindo a exercer um grande impacto ambiental. Para reduzir esse impacto cabe à indústria da construção a responsabilidade de encontrar alternativas mais sustentáveis. Essas alternativas devem estar presentes em todas as fases da construção, desde a extração e transformação das matérias-primas, à concepção dos diversos projetos, à execução da obra, à utilização e manutenção do edifício e até à sua demolição e posterior tratamento dos entulhos.

Devido ao crescimento demográfico e à concentração populacional nas cidades, o aumento do consumo de recursos naturais utilizado pelo setor da construção tem conduzido a uma sobreexploração de alguns recursos não renováveis e a um aumento dos consumos de energia.

As atividades da construção consomem cerca de 50% dos recursos extraídos da natureza, levando a uma exploração intensiva e conseqüentemente ao esgotamento destes recursos.

Desta forma, o setor da construção contribui para a perda da biodiversidade, para o aumento do efeito estufa e conseqüente aquecimento global, para a degradação das águas, do ar e dos solos que proporcionam a nossa subsistência. A má gestão dos recursos naturais e a exploração exaustiva dos recursos não renováveis dificulta o equilíbrio ambiental e condiciona o presente, pondo em causa a qualidade de vida das gerações futuras.

Face à previsível necessidade de aumentar o número de habitações, em especial nos países em vias de desenvolvimento, deve-se estudar o potencial de utilização de materiais ecológicos, renováveis e recicláveis. Neste contexto, e no âmbito desta dissertação, considerou-se a borracha de pneu reciclada que ao ser um material reutilizável, tem um elevado contributo para a redução dos gases de efeito de estufa. Uma vez que, atualmente é proibido depositar os pneus em aterro, a borracha pode ser um material valorizado na construção. Também se considerou a casca de arroz, pois é um resíduo agro-industrial que permanecer por muitos anos no solo e, quando queimado, emite produtos tóxicos para o homem prejudicando o meio ambiente. Devido a estes problemas, e à sua grande produção em todo mundo e em Portugal, é necessário reaproveitar estes resíduos.

## **Objetivos do Trabalho**

A presente dissertação tem como objetivo estudar a viabilidade do aproveitamento de um resíduo agro-industrial (casca de arroz) que é produzido em grandes quantidades na zona do Baixo Mondego. A este resíduo foi agregado um granulado de borracha reciclado proveniente de pneus, formando assim um compósito que pode vir a ser utilizado na construção.

Para o efeito foram desenvolvidas duas amostras, constituídas por diferentes percentagens de materiais. A amostra A é composta por 50% de casca de arroz e 50% de borracha reciclada. A amostra B é constituída por 75% de casca de arroz e 25% de borracha.

A avaliação da viabilidade da utilização deste compósito baseou-se numa série de propriedades determinadas experimentalmente.

Foram realizados diversos ensaios laboratoriais, disponibilizado pelo ITeCons, Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção, tais como: transmissão de sons de percussão, condutibilidade térmica, transmissibilidade de vibrações, compressão, rigidez dinâmica, absorção sonora e perdas por transmissão sonora.

No final, analisaram-se os resultados obtidos experimentalmente de forma a ganhar alguma sensibilidade relativamente à possível aplicação do material estudado na construção.

## **Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos.

No primeiro capítulo é apresentado o enquadramento do tema e a justificação da necessidade de se abordar o tema, estabelecendo-se ainda os objetivos da dissertação.

No segundo capítulo são apresentados alguns conceitos teóricos relevantes para o estudo, efetuando-se uma revisão bibliográfica. Ainda são apresentados alguns materiais sustentáveis que podem ser usados na construção, baseados em estudos já publicados. São apresentados com mais detalhe os materiais que fazem parte das amostras estudadas nesta dissertação, sendo eles a casca de arroz e a borracha reciclada.

No terceiro capítulo são descritas as amostras e as metodologias de ensaio utilizadas na determinação das diferentes propriedades, assim como a geometria e as dimensões dos provetes.

No quarto capítulo são apresentados os resultados experimentais, analisados e comentados para os diferentes compósitos.

No último capítulo, são expostas as conclusões sobre o trabalho desenvolvido nesta dissertação e apresentam-se propostas para trabalhos futuros no seguimento deste tema.

---

## 2. UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO

### 2.1. Introdução

O setor da construção é um dos que consome uma maior quantidade de recursos naturais. Nos últimos anos verificou-se uma grande diminuição desses recursos e é necessário encontrar novos materiais e novas técnicas construtivas. Temas como o buraco do ozono e o aquecimento global são muito discutidos e a construção civil, apesar da sua contribuição para a melhoria da qualidade de vida da população, tem uma grande responsabilidade na poluição do planeta. Assim, deve procurar-se construir com mais responsabilidade, pensando no futuro e não apenas no presente, ou seja, construir de forma sustentável (Teodoro, 2011).

Desde os anos 70, quando ocorreu a crise de petróleo, alguns países procuraram novas fontes de energia, organizando convenções internacionais, que têm vindo a ser realizadas até aos dias de hoje. Nestes encontros foram fixados objetivos, ações e programas que, ao serem cumpridos, permitiriam a recuperação e proteção dos recursos da Terra.

Assim, em 1972 foi realizada a primeira conferência conhecida como a *Conferência de Estocolmo*, na Suécia, com o objetivo de conscientizar a sociedade a melhorar a sua relação com o meio ambiente (ONU, 1972).

Em 1975, promovida pela UNESCO, realizou-se a *Conferência de Belgrado*. O tema principal foi a necessidade de uma nova ética global que erradicasse a pobreza, a fome, o analfabetismo, a poluição e a exploração humana. No final da conferência foi elaborada a "*Carta de Belgrado*", sendo considerado um dos documentos mais lúcidos e importantes daquela década (Teodoro, 2011).

Na cidade de Tbilisi na Geórgia, em 1977, ocorreu a *Conferência Intergovernamental sobre a educação ambiental*, organizada pela UNESCO e pela PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente). Esta conferência estava destinada aos Estados membros “ (...) *que incluam nas suas políticas de educação medidas orientadas no sentido de incorporar conteúdo, diretrizes e atividades ambientais nos seus sistemas*”. Ainda, “*convida as autoridades da educação a intensificarem o seu trabalho de reflexão, de pesquisa e de inovação relativo à Educação Ambiental*”. E incentiva “*os Estados Membros a colaborarem*

---

*neste sentido, em especial por meio de intercâmbio de experiências, de pesquisas, de documentação e de materiais, e também colocando serviços de formação à disposição do pessoal docente e dos especialistas de outros países” e “a comunidade internacional para, generosamente, contribuir no sentido de fortalecer essa colaboração numa atitude que simboliza a necessária solidariedade de todos os povos e que pode ser considerada, particularmente, como estímulo para promover a compreensão internacional e a causa da paz” (UNESCO E PNUMA, 1977).*

Em 1980, foi utilizado pela primeira vez o termo desenvolvimento sustentável, por um organismo privado. No entanto, em 1987, foi redigido o *Relatório Brundtland*, e este termo passou a ser usado com mais insistência, obtendo um maior protagonismo. Este relatório foi elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. No relatório constava a definição para desenvolvimento sustentável: “*é aquele que garante a satisfação das necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazer as suas próprias necessidades*”. Neste relatório, também se encontram referências marcantes em relação à importância que a tecnologia e o comportamento humano têm na alteração do padrão de crescimento, através da mudança dos hábitos de consumo e da promoção da discussão pública (Santos et al, 2008).

A *Agenda 21* foi um dos principais resultados da conferência Eco-92 ou Rio-92, ocorrida no Rio de Janeiro, em 1992, promovida pela ONU onde teve a participação de 179 países. É um plano de ação à escala global, nacional e local que foi implementado pelos governos no sentido de promover o desenvolvimento sustentável (Santos et al, 2008).

Em 2002, ocorreu a *Cimeira da Terra sobre Desenvolvimento Sustentável*, em Joanesburgo, África do Sul, em que se reafirmaram os compromissos da *Agenda 21* e onde se negociou um acordo para promover o desenvolvimento sustentável que preconiza a harmonia entre a economia, o ambiente e o bem-estar social (Garcia, 2002).

Mais recentemente, no dia 1 de janeiro de 2016 entrou em vigor a resolução da Organização das Nações Unidas (ONU) intitulada “*Transformar o nosso mundo: Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável*”, constituída por 17 objetivos, desdobrados em 169 metas, que foi aprovada pelos líderes mundiais, a 25 de setembro de 2015, numa cimeira memorável na sede da ONU, em Nova Iorque. Trata-se de uma agenda alargada e ambiciosa que aborda várias dimensões do desenvolvimento sustentável (social, económico, ambiental) e que promove a paz e a justiça. A avaliação dos progressos terá de ser realizada regularmente, por cada país, envolvendo os governos, a sociedade civil, empresas e representantes dos vários grupos de interesse. Será utilizado um conjunto de indicadores globais, cujos resultados serão compilados num relatório anual (ONU, 2015).



---

## 2.2. Construção Sustentável

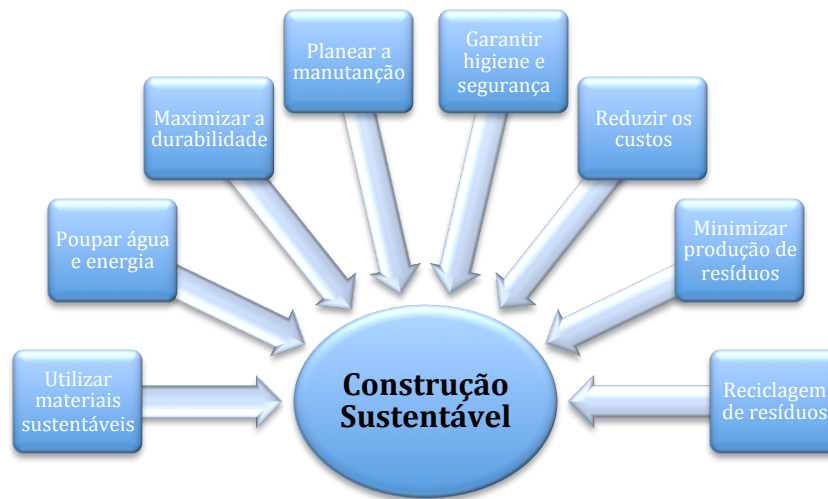
Nos últimos anos, a população mundial tem vindo a aumentar cada vez mais, o que implica um aumento da economia e, conseqüentemente, conduz a alterações dos recursos naturais. Assim, a construção sustentável tem como principal objetivo minimizar os impactos ambientais de um edifício/infraestrutura, desde a fase da obra, à fase da utilização e demolição.

Em 1995, Roodman e Lenseen, afirmaram que os edifícios armazenam uma grande quantidade de materiais (40% dos materiais e 55% das madeiras extraídas no mundo). As quantidades de resíduos provenientes da atividade da construção são elevadas, estimando-se que o edificado e atividades afins originem cerca de 40% do total de resíduos produzidos. Assim, é cada vez mais urgente considerar os impactos potenciais e reais associados ao ambiente construído e à construção de edifícios (ou conjuntos de edifícios), de preferência numa fase inicial, antes do projeto, de forma a serem encontradas medidas que permitam minimizá-los e, se possível, eliminá-los (Pinheiro, 2006).

Em 1994, foi efetuada a primeira conferência mundial pelo Conselho Internacional da Construção (CIB) que definiu construção sustentável como *“a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos”* e estabelece sete princípios fundamentais para a construção sustentável (Kibert, 2013).

A construção sustentável, procura seguir um desenvolvimento sustentável de forma a não esgotar os recursos naturais e desenvolver métodos ambientais corretos de produção e consumo, garantindo a sobrevivência dos ecossistemas. Deve, ainda, melhorar a qualidade de vida dos habitantes e reduzir as agressões ambientais por usar materiais reciclados e amigos do ambiente.

Durante a fase de um projeto é preciso ter em conta algumas prioridades para se obter uma construção sustentável, como se ilustra na **Figura 2.1**.



**Figura 2.1-** Construção Sustentável, (adaptada de Mateus e Bragança, 2006)

### 2.3. Materiais de Construção Sustentáveis

No fabrico de materiais de construção convencionais, há um grande gasto de energia e produção de emissões que contaminam a terra, a água e o ar. Face a isto, é necessário modernizar as técnicas tradicionais, utilizando tecnologias que não prejudiquem o planeta e reduzam o uso de recursos naturais não renováveis. A utilização de materiais naturais renováveis e de materiais reciclados, ou o aproveitamento de resíduos para serem integrados em materiais de construção podem contribuir para a diminuição do impacto da energia associada à produção de materiais e evitam o esgotamento de recursos naturais não renováveis. Os materiais e desperdícios que podem ser analisados como alternativas são diversos. Nas secções seguintes vai ser dado destaque a alguns materiais naturais e resíduos agroindustriais que poderão ser usados como materiais de construção e que a construção industrializada considera como não convencionais, apesar de já se conhecerem algumas aplicações para os mesmos.

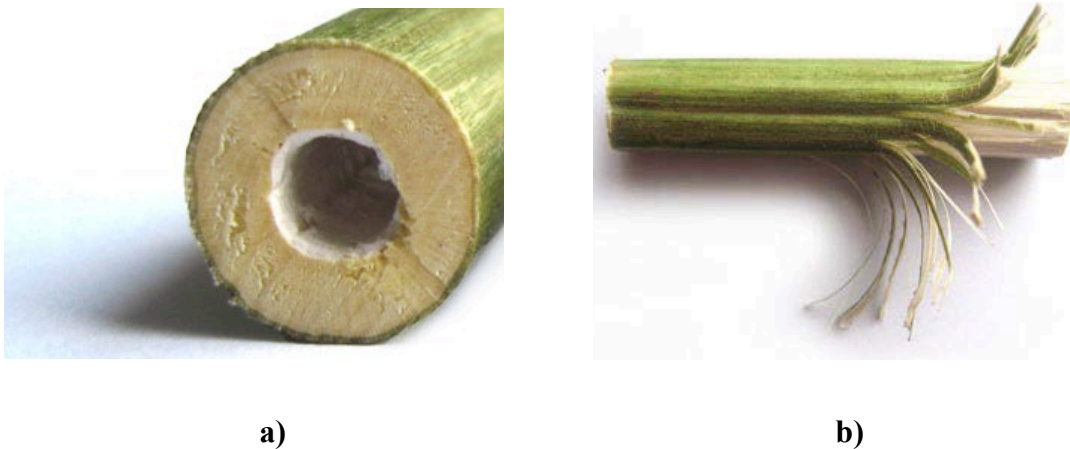
#### 2.3.1. Cânhamo

O cânhamo é uma planta robusta, plantada no final da primavera e cortada em agosto, e tem uma taxa de crescimento notável atingindo mais de 4 metros de altura (Ip, 2012).

Desde há muitos anos que o cânhamo tem sido uma importante matéria-prima para a indústria. Inicialmente, as fibras do cânhamo (**Figura 2.2**) foram utilizadas para o fabrico de diversos produtos técnicos, tais como, cordas, lonas de barcos, tecelagem, entre outros. A sua indústria tem vindo a desenvolver-se um pouco por todo o mundo devido às suas qualidades,

tendo uma vasta área de aplicações, passando pela alimentação, cosmética, têxteis, combustíveis, indústria farmacêutica e até pelos materiais de construção (Santos, 2013).

Quase todas as partes da planta do cânhamo podem ser utilizadas. No entanto, o cultivo do cânhamo tem sido realizado maioritariamente para extração das fibras exteriores da planta. No interior do caule (**Figura 2.2**) fica o cerne lenhoso, que é utilizado aos pedaços, e é parecido com pequenas aparas de madeira, mas diferem destas devido à extrema leveza do cerne lenhoso. Esta parte da planta é utilizada na construção civil (Santos, 2013).

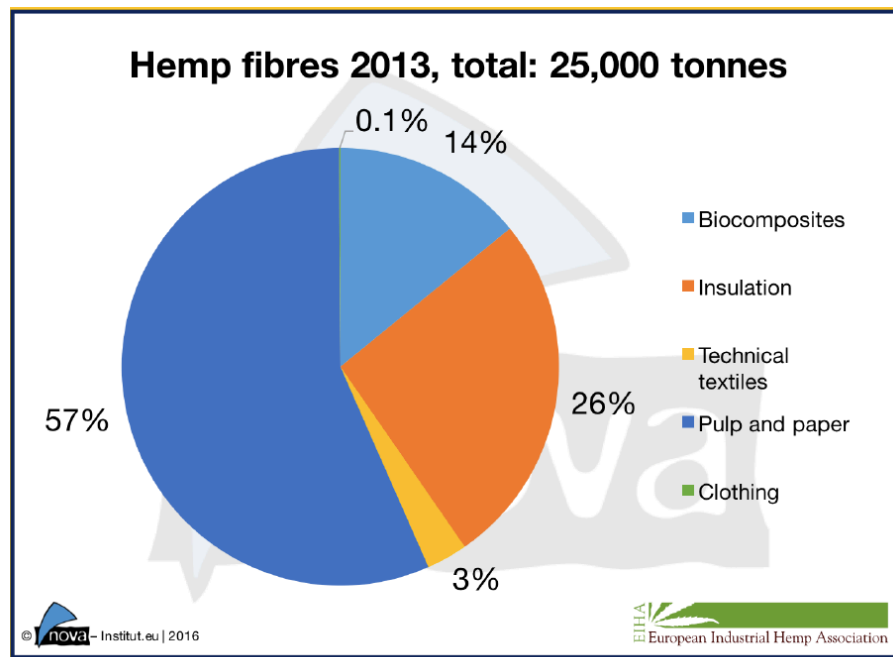


**Figura 2.2-** Cânhamo: **a)** Caule da planta; **b)** Fibras da planta (Hemparchitecture@, 2016)

#### Cânhamo na Construção:

As fibras de cânhamo têm as melhores propriedades mecânicas, comparando com outras fibras naturais, e no âmbito da construção civil são utilizadas para isolamento térmico e acústico (Madurwar et al, 2013), revestimentos, coberturas, em betões e reforços de terras.

Segundo a associação Europeia da fibra de cânhamo, são usadas cerca de 25 mil toneladas deste material por ano na Europa, sendo 26% da sua utilização para isolamento em construções, como está descrito na **Figura 2.3** (Carus e Sarmiento, 2016).



**Figura 2.3** – Aplicações da fibra de Canhâmo em 2013 na Europa, (Carus e Sarmento 2016)

#### Vantagens da Utilização do cânhamo na construção (Sousa, 2010):

- ⇒ É um material de origem biológica e de carácter ecológico;
- ⇒ Material leve, tornando-o benéfico para reabilitações;
- ⇒ Material plantado, existe em Portugal (apesar de não ser o maior produtor);
- ⇒ Não é inflamável, não liberta gases tóxicos;
- ⇒ Durável e resistente a fungos e bactérias;
- ⇒ Reciclável, renovável e biodegradável;
- ⇒ Permite a respiração natural das construções, evitando a ocorrência de condensações;
- ⇒ Condutibilidade térmica varia entre os 0,038 e 0,040 W/m°C;
- ⇒ Resistência à compressão varia entre os 200 e 500 kPa.

#### **2.3.2. Fibra de Coco**

O coqueiro (*Cocos nucifera* L., Coir e Arecaceae) (**Figura 2.4**) é uma planta bastante abundante da região do Nordeste do Brasil, no entanto, esta pode ser cultivada noutras regiões de clima tropical com uma temperatura acima de 22°C, com elevada humidade e chuvas sazonais (Castilhos, 2011).

Existem, dois tipos de fibras de coco, a primeira uma fibra castanha extraída de cocos maduros e a segunda uma fibra branca que é extraída de cocos verdes imaturos. As fibras castanhas são fortes, grossas e usadas na construção civil, enquanto que as fibras brancas são

mais suaves, finas e mais fracas. De acordo com o site “Ano Internacional das fibras Naturais” 2009 (FAO), cerca de 500 000 toneladas de fibras de coco são produzidas anualmente em todo o mundo, principalmente na Índia e no Sri Lanka (Ali, 2010).

O revestimento exterior do material fibroso do coco é constituído por 43% de celulose, 45% de lenhina e 4,9% de pectina. A elevada quantidade de lenhina origina a durabilidade da fibra (Silva et al, 2012).



**Figura 2.4** - Coqueiro, coco e fibras de coco (Ali, 2010)

Cerca de 80% das cascas do coco verde são colocadas em aterros e demoram entre 8 a 12 anos para se decompor, provocando problemas para o ambiente. Portanto, é necessário desenvolver alternativas que possibilitem reduzir a quantidade de resíduos sólidos e proporcionar uma nova opção de rendimento.

#### Fibra de coco na Construção:

Várias pesquisas têm sido feitas no âmbito da utilização das fibras de coco na construção e concluiu-se que a sua utilização melhora algumas propriedades das argamassas e betões (Hwang et al, 2016).

As fibras de coco são também utilizadas no isolamento térmico de telhados de betão, economizando cerca de 3% a 9% do consumo de energia (Mintorogo et al, 2015).

Têm-se incorporado fibras de coco em materiais frágeis de maneira a aumentar a sua resistência. Esta técnica já é utilizada há alguns anos e necessita de um tratamento prévio do material a utilizar. Estas fibras são um material que, na forma de placas pré-moldadas, apresentam um elevado potencial na construção civil devido à sua resistência e durabilidade.

Além disso, o custo da construção civil poderia ser alterado, devido ao valor desta matéria-prima, da baixa densidade e do fácil transporte (Silva et al, 2012).

Vantagens da utilização da fibra de coco na construção (Castilhos, 2011):

- ⇒ Material 100% natural;
- ⇒ Recuperável, reciclável e biodegradável;
- ⇒ Material sustentável;
- ⇒ Não causa impacto ambiental;
- ⇒ Possibilita maior conforto;
- ⇒ Estável e boa durabilidade;
- ⇒ Bom isolante ao som;
- ⇒ É um material não tóxico e não irritante ao toque;
- ⇒ É resistente aos fungos

### **2.3.3. Fibra de linho**

O linho é uma planta herbácea que atinge um metro de altura e pertence à família das lináceas. É constituído por uma substância fibrosa, da qual se extraem as fibras longas (**Figura 2.5**) para a indústria, e por uma substância lenhosa.



**Figura 2.5** –Fibra de Linho (Audaces@, 2015)

Fibra de linho na Construção:

A fibra de linho é utilizada em diversas soluções no setor da construção civil, tais como: o reforço do betão, a estabilização de solos, em isolamentos térmicos e acústicos, podendo ser aplicada em paredes, pisos e telhados (Web.fibrenamics@, 2016).

#### Vantagens da utilização da fibra de linho na construção (Sousa, 2010):

- ⇒ Material 100% natural e facilmente decomposto;
- ⇒ Origem em recursos renováveis;
- ⇒ Evita condensações;
- ⇒ É um material não tóxico e não irritante ao toque;
- ⇒ Seguro e fácil de instalar;
- ⇒ Condutibilidade térmica de 0,037 W/m°C;
- ⇒ Boa durabilidade.

No entanto, este material, apesar de natural, tem algum peso na contribuição para o aquecimento global devido aos fertilizantes artificiais utilizados no seu cultivo, favorecendo as emissões de CO<sub>2</sub> e prejudicando o meio ambiente (Sousa, 2010).

#### **2.3.4. Fibras de Madeira**

A madeira tem vindo a assumir um papel cada vez mais importante na construção. Além das suas características naturais de força, beleza, durabilidade, eficiência térmica e acústica, resistência ao fogo e aos sismos, a madeira tem atualmente a resposta a um dos maiores desafios do nosso tempo: a sustentabilidade (Jular@, 2016).

As florestas geridas de forma sustentável apresentam um aumento da massa florestal, onde a taxa de árvores em crescimento supera largamente a taxa de árvores cortadas (Jular@, 2016).

A fibra de madeira (**Figura 2.6**) é obtida por desfibração do serrim e aparas das serrações (madeira não tratada), portanto, é um material natural, reciclável e renovável. Este material comercializa-se em granel, em rolos, em painéis flexíveis ou rígidos. Estes têm diferentes tamanhos e espessuras, que podem ser utilizados no isolamento de paredes interiores e exteriores, pavimentos e tetos (Sousa, 2010).



**Figura 2.6** – Fibras de Madeira (Millerwastemills@, 2016)

### Fibras de madeira na Construção:

Devido ao facto deste material apresentar boas qualidades térmicas e resistentes e também pela sua leveza, este é bastante aplicado nas habitações. Os isolantes compostos por fibras de madeira podem apresentar melhores valores de isolamento térmico se o cimento for utilizado como ligante mineral, impedindo a penetração da água, a degradação biológica e aumentando a resistência ao fogo (Sousa, 2010).

### Vantagens da utilização de fibras de madeira na construção (Sousa, 2010):

- ⇒ Produzido a partir de recursos renováveis e naturais;
- ⇒ É um material reciclável e incorpora materiais reciclados;
- ⇒ Condutibilidade térmica varia entre 0,042 e 0,050 W/m°C;
- ⇒ Elevada durabilidade, cerca de 75 a 100 anos;
- ⇒ A madeira resiste melhor ao fogo do que o aço;
- ⇒ A madeira não enferruja.

### **2.3.5. Lã de Ovelha**

A lã de ovelha (**Figura 2.7**) pertence às fibras naturais mais antigas, que foram usadas durante séculos para fabricar tecidos de alta qualidade. Durante muito tempo, a lã foi utilizada para fabricar tapetes e outros tecidos, no entanto, tornou-se a referência de alta qualidade e ganhou uma nova popularidade. Assim, nos últimos anos, novos produtos fabricados com fibras e resíduos de lã foram concebidos (Vantsi e Karki, 2014).



**Figura 2.7** – Lã de Ovelha (Fazfacil@, 2016)

### Lã na Construção:

A lã de ovelha é 100% natural, sendo apenas tratada com Bórax, mineral não tóxico, que garante melhor resistência ao fogo e aos insetos. O principal benefício do uso deste material centra-se na capacidade de absorver e restituir a humidade do ar circundante, sem



comprometer a sua eficiência térmica. É considerado um dos materiais mais “verdes” usados na construção (Sousa, 2010).

A lã é um material natural adequado para isolamento térmico e acústico do edifício. Na Itália, já existem produtos no mercado tais como (Bosia et al, 2015):

- Mantas macias feitas em 100% de lã de ovelha, com espessuras entre 4 e 6 cm, utilizadas principalmente para o isolamento de telhados inclinados;
- Painéis semi-rígidos feitos de lã de ovelha (70-80%) e fibras de poliéster (20-30%), com espessuras entre 5 e 12 cm. A rigidez, obtida através da fusão parcial das fibras de poliéster, também permite a aplicação em paredes.

Vantagens da utilização da lã na construção (Sousa, 2010):

- ⇒ Material biodegradável e renovável;
- ⇒ Reduzidos consumos de energia na produção;
- ⇒ Não tóxico para os utilizadores, livre de CFC's;
- ⇒ É bastante resistente ao fogo, não favorecendo a combustão em caso de incêndio (ponto de inflamação muito elevado, de 560 °C);
- ⇒ Condutibilidade térmica de 0,039 W/m°C;
- ⇒ Boa durabilidade, quando corretamente instalada e tratada.

### 2.3.6. Juta

A Juta (*Corchorus capsularis*) (**Figura 2.8**) é uma fibra têxtil vegetal que provém da família Tilioidae. Esta erva lenhosa alcança uma altura de 3 a 4 metros e o seu talo tem uma grossura de aproximadamente 20 mm. A fibra de juta é biodegradável e reciclável, portanto, é amiga do ambiente. É uma das fibras naturais mais versáteis sendo utilizada para diversas áreas tais como: construção, agricultura e na produção de têxteis (Worldjute@, 2002).

Quando atinge a altura máxima, a fibra é extraída antes ou depois da floração e no processo industrial as hastes são cortadas e amolecidas em água, durante 12 a 25 dias. É nesta altura que a casca se solta permitindo que as fibras sejam retiradas. Estas, são colocadas a secar, desfiadas e amarradas em fardos. Os seus principais constituintes são: lenhina e a celulose que é a principal componente da fibra (Worldjute@, 2002).



a)



b)

**Figura 2.8** – Juta: a) Planta Corchors (Fmagricola@, 2011); b) Fibras de juta (Fuchic@, 2015)

#### Juta na Construção:

As fibras de juta podem ser utilizadas no reforço em compósitos poliméricos, substituindo fibras sintéticas, como a fibra de vidro, que além de terem um custo superior também são não renováveis. Embora a resistência à tração das fibras de juta sejam inferiores às da fibra de vidro, quando é feita uma avaliação custo-benefício comprova-se que a fibra de juta é a escolha mais indicada para substituir a fibra de vidro. Esta substituição confere aos compósitos baixa densidade e maior elasticidade. Para além do seu baixo custo e de serem um material natural, a energia necessária à produção da juta é muito menor que a fibra de vidro, o que leva a querer que esta fibra é uma boa aposta para reforço dos compósitos. Assim, os compósitos apresentam uma boa aplicabilidade em telhas, painéis para divisórias, tetos falsos e edifícios pré-fabricados (Silva, 2012).

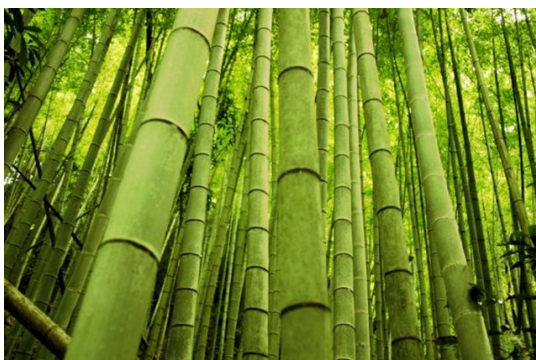
#### Vantagens da utilização da juta na construção (Silva, 2012):

- ⇒ A fibra de juta é 100% biodegradável e reciclável;
- ⇒ Possui uma elevada resistência à tração;
- ⇒ Boas propriedades de isolamento acústico;
- ⇒ Reduzida condutibilidade térmica;
- ⇒ É resistente ao fogo devido à sua estrutura.

#### **2.3.7. Bambu**

O bambu (**Figura 2.9**) é uma planta que se desenvolve na África, Ásia, América e Oceânia e existem mais de 1200 espécies. Uma característica comum entre estas espécies é o seu rápido crescimento, que pode atingir até 25 cm por dia. Das 1200 espécies, aproximadamente 20 são

consideradas adequadas para fins de construção. Os mais importantes são Bambu Moso (*Phyllostachys edulis*), Guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) e *Dendrocalamus Asper*, sendo estas as espécies mais altas de bambu. Os seus colmos têm um diâmetro entre 10 e 18 cm e a sua altura varia de 12 a 20 metros. Devido à sua grande resistência à tracção e à compressão, força e flexibilidade, o bambu tem sido amplamente utilizado para habitação e para outros fins de construção. Para além disso, contêm também características que são usadas na produção de papel, têxtil, uso farmacêutico, entre outras (Escamilla e Habert, 2014).



**Figura 2.9** – Cana de Bambu (Word-of-adventures@, 2014).

O bambu tem uma enorme elasticidade tornando-se um bom material estrutural para a construção em zonas onde a atividade sísmica é maior, como Russel afirmou “*Em 1992, Costa Rica foi atingida por um terramoto que registrou 7.5 de magnitude na escala de Richter. Os únicos edifícios que sobreviveram eram casas construídas de bambu...*” (Atanda, 2015).

#### Bambu na Construção:

Na construção, o bambu pode ser utilizado como um substituto para reforço do aço. Lakshmipathy e Sanathakumar em 1980, fizeram estudos que demonstraram que o betão de reforço de fibra natural é mais resistente do que um betão convencional. O bambu também pode ser usado em fundações, mas as canas têm de ser tratadas para evitar fungos e são diretamente colocadas no solo. Podem ser ainda utilizadas para a pavimentação, em coberturas, em revestimentos de paredes, em tubos de água e em mobiliário (Atanda, 2015).

Ambientalmente, o bambu reduz a utilização do consumo de madeira na construção e, devido à sua textura, não necessita de ser pintado, o que evita problemas de saúde provocados por tintas (Atanda, 2015).

#### Vantagens da utilização do bambu na construção (Guaduabamboo@, 2008):

⇒ O bambu é forte e rígido;

- ⇒ Possui uma elevada flexibilidade;
- ⇒ É um material ideal para construções resistentes aos sismos;
- ⇒ É um material fácil de cortar, reparar, reposicionar;
- ⇒ É um material não-poluente;
- ⇒ Devido à forma circular e com as secções ocas é um material de construção leve, fácil de manusear, transportar e armazenar.

## 2.4. Materiais Usados no Presente Trabalho

### 2.4.1. Casca de Arroz

#### Cultura de Arroz no Baixo Mondego

A produção de arroz em Portugal começou a ser registada nos primeiros anos do século XVIII. Embora se cultivasse muito antes nas regiões do Sul, só a partir desta data houve registos da presença do cereal nas zonas limítrofes do estuário do Tejo. No início do século XX, estabeleceram-se as bases para a produção de arroz em Portugal. Nos anos 30, os arrozais cresceram significativamente e as zonas de cultivo estenderam-se a outras regiões do país.

Atualmente, o arroz é cultivado no Baixo Mondego, no Vale do Tejo, no Sado (Alcácer do Sal) e noutras regiões, em menor escala (Novarroz@, 2014).

O Baixo Mondego corresponde a uma extensa planície aluvionar, entre as cidades de Coimbra e Figueira da Foz, que é atravessada longitudinalmente pelo maior rio nacional (rio Mondego), de maior bacia hidrográfica e de maior escoamento anual médio. A cultura do arroz foi introduzida nesta zona, nomeadamente no concelho de Montemor-o-Velho pelo Rei D.Dinis, oferecendo terras às pessoas que as queriam cultivar (Soares, 2011).

Com o passar dos anos, este cultivo começou a expandir-se nesta região. *“Ainda há meio século desconhecida nos campos de Coimbra (a cultura do arroz) principiou a crescer e a desenvolver em tão rápida escala, que há dez anos ocupava quase a décima parte da vasta superfície sujeita às inundações do Mondego”*, descrevia Adolfo Loureiro, em 1874, o avanço tomado pela orizicultura nos campos do Mondego (Vasquinhas, 2000).

A sub-região do Baixo Mondego, no início dos anos 60, foi marcada por vários problemas graves tais como: períodos de cheias violentas e frequentes, acentuada variabilidade sazonal e anual de caudais, elevadas taxas de deposição de material sólido, rede de drenagem agrícola pouco funcional e rede de rega insuficiente e degradada (COBA, 2007).

Estes problemas destruíram cerca de 5000 hectares de campos de arroz e de milho, de tal forma que foi necessário a intervenção do estado para melhorar o potencial agrícola desta região. Assim, em 1962, é lançado o Plano Geral de Aproveitamento do Baixo Mondego com o objetivo de melhorar os problemas mencionados anteriormente. A partir desta data, a orizicultura apresentou uma grande expansão (Soares, 2011).

O crescimento da produção do cultivo do arroz está relacionado com os novos processos de mecanização que corresponde ao uso da tração mecânica necessária para preparar o solo e na colheita (Soares, 2011).

Este processo faz parte de um grau de intensificação da produção agrícola, onde *“O Estado desempenhou aqui um papel decisivo por diversas vias: ao subsidiar os preços da produção, ao apoiar a mecanização, ao activar as infraestruturas de escoamento de produção...”* (Hespanha e Reis, 1987).

Atualmente, a área de cultivo de arroz ocupa 56% da área total do Vale do Mondego, o que corresponde a 7000 ha, ou seja, 30.000t de arroz e uma mão-de-obra de cerca 6300 agricultores (Agronegócios@, 2015).

O processo de transformação do arroz, que vai desde a colheita do cereal até à obtenção do produto acabado, origina resíduos de valor económico e nutritivo baixos. Cerca de 15.000t de palha e 6.000t de casca (**Figura 2.10**) são produzidas anualmente no Baixo Mondego, sendo esta colhida entre Setembro e Outubro. Atualmente, o aproveitamento da palha de arroz destina-se, em grande parte, ao revestimento de espaços de permanência de animais, sendo vendida para as explorações agropecuárias da região. De acordo com alguns trabalhadores, a palha de arroz é vendida normalmente em fardos paralelepípedicos com cerca de 18 kg, com preços que podem variar entre os 0,80 € e 1,00 €. Outro dos resíduos que provém da cultura do arroz é a casca com um preço de 0,03 €/kg, que é produzida pela indústria transformadora de arroz aquando do descasque dos grãos (Itecons@, 2016).

A nível mundial, a produção de arroz em casca é superior a 700 milhões de toneladas, por ano (FAO, 2016), sendo a casca cerca de 20% do peso. A casca de arroz é assim um resíduo consideravelmente abundante que é habitualmente depositada nos campos, nos rios, vai para aterro ou é queimada (FAO@, 2016).

As grandes quantidades de casca que são despejadas como lixo resulta num problema de deposição de resíduos e de emissões de metano. Além disso, a baixa densidade da casca de arroz permite que seja transportada pelo vento podendo causar problemas respiratórios, se inalada (Chungsangunsit et al, 2009).

A queima deste resíduo vegetal pode trazer diversos problemas de contaminação do ar, pois gera fumo e “poeiras” respiráveis que contêm sílica cristalina e outras substâncias perigosas (Hussain e Damatty, 2009).



**Figura 2.10** – Arroz: **a)** Casca de arroz (Portalvенеza@, 2012); **b)** Palha de arroz (Fragmaq@, 2013)

#### Aplicações da Casca de Arroz na Construção Civil



Um dos estudos realizado na Coreia e no Japão, foi sobre uma solução de poliestireno expandido feita de resíduos que é utilizada como ligante para compósitos de cascas de arroz-plásticos. Os compósitos foram preparados com várias proporções e foi usado um método de moldagem por pressão a quente. Foram testados quanto à densidade aparente, absorção de água, expansão em espessura e resistência à flexão a seco e em estado húmido. A partir dos resultados dos ensaios, verificou-se que a densidade aparente dos compósitos aumentou com o teor de aglutinante e proporção de casca de arroz e poliestireno. A resistência à flexão em estado húmido atingiram valores máximos com um teor de aglutinante de 30,0% e uma proporção de enchimento-ligante de 1,0%. A absorção de água e a espessura diminuíram com o aumento do teor de aglutinante, da casca de arroz e poliestireno. Uma vez que os compósitos têm uma elevada resistência à flexão e resistência à água, poderão ser usados como materiais de construção. Podem ser usados em revestimentos, em telhas e em paredes interiores (Choi et al, 2005).

Foi realizado um outro estudo na Tailândia com o objetivo de estudar o efeito da casca de arroz e da cinza de casca de arroz nas propriedades de tijolos. Concluíram que a casca de arroz no tijolo diminui a resistência à compressão. No entanto, as cinzas de casca de arroz aumentam a resistência à compressão e a densidade do tijolo. Assim, a melhor composição

para o tijolo foi de 2% de cinzas de casca de arroz que originou uma resistência à compressão de 6,20 MPa e 15,2 % de absorção de água. Estas propriedades são apropriadas à composição de tijolos (Sutas et al, 2011).

Outros autores estudaram na França, um novo material de construção ecológica desenvolvida com casca de arroz e um ligante à base de cal. Este novo material foi comparado ao betão de cânhamo e concluiu-se que as partículas naturais têm características completamente diferentes. Apesar de as cascas de arroz serem menos porosas do que as partículas do cânhamo, o betão de casca de arroz tem boas propriedades térmicas. A resistência à compressão do betão de casca de arroz desenvolvido foi de 0,33MPa após 60 dias, enquanto que para o betão de cânhamo foi de 0,48MPa. Como o processo de carbonatação desempenha um papel fundamental nestes betões de agregados de plantas, estão em curso trabalhos para determinar a resistência mecânica a longo prazo. Atualmente, decorrem investigações para melhorar as propriedades mecânicas deste novo material (Chabannes et al, 2014).

Existem alguns materiais reciclados de casca de arroz que são utilizados na construção civil e estão presentes no mercado, tais como:

	<p><u>Referência:</u> RCER0829</p> <p>Material constituído por 60% de casca de arroz. É bastante semelhante à madeira tropical e apresenta boa trabalhabilidade, é usado como revestimento de superfícies exteriores (Matrec@, 2014).</p>
	<p><u>Referência:</u> RPLACER0932</p> <p>Material constituído por resíduos de plásticos industriais e de casca de arroz. É caracterizado por boas propriedades de isolamento acústico, sendo usado principalmente para fazer móveis, pavimentos e em telhados (Matrec@, 2014).</p>

## 2.4.2. Borracha Reciclada

### A origem do Pneu

Durante milhares de anos, a roda foi reinventada em diferentes regiões de todo o mundo para atender às necessidades de transporte. Na Mesopotâmia ou no Antigo Egito, a roda era elaborada como um disco sólido com três segmentos unidos por pedaços circulares de metal (Silva, 2011).

Charles Goodyear, em 1839 descobriu o processo de vulcanização da borracha a partir da mistura da borracha natural com enxofre e de seguida procedeu ao seu aquecimento. Constatou que o calor do fogão tinha curado a borracha e esta ganhou propriedades elásticas (Silva, 2011).

Quando Thomson produziu o seu primeiro pneu, as bicicletas e os automóveis ainda não tinham sido inventados e o pneu apenas foi aplicado às carruagens puxadas por cavalos. O pneu conseguiu percorrer distâncias consideráveis para a época, mas havia muitos problemas de fabrico, que levou ao abandono da ideia. Passado algum tempo, Dunlop passou a produzir e a comercializar os primeiros pneus de borracha vulcanizada para bicicletas (Silva, 2011).

### Eliminação dos Pneus usados

Na eliminação do pneu, existem opções sobre o destino final mais adequado. Pode-se recuperar a funcionalidade do produto, recorrendo à recauchutagem de pneus que consiste em aproveitar a estrutura resistente do pneu gasto, desde que esteja em boas condições de conservação, e é incorporada uma nova borracha de maneira a ganhar uma nova vida. Ainda se pode recuperar a funcionalidade ao recorrer à reutilização e reciclagem. O material do pneu original e a energia contida determina o valor do pneu gasto e as suas possibilidades de reciclagem. Existem quatro tipos de “fim-de-vida” dos pneus usados: a reutilização, a reciclagem, a recauchutagem e a valorização energética. A reciclagem preserva o meio ambiente, evita a degradação do solo e reduz os impactos negativos na natureza. Os pneus quando queimados libertam gases de forte odor e contêm dióxido de enxofre. Outro problema da deposição dos pneus deve-se ao facto da proliferação de vários mosquitos, pois retêm água no seu interior e tornam-se os responsáveis de várias doenças.

### Legislação da Gestão dos Resíduos de Pneu e Pneu usado em Portugal

A gestão de pneus usados está legislada pelo Decreto-Lei nº 111/2001, de 6 de Abril, alterado pelo Decreto-Lei nº 43/2004, de 2 de Março, que estabelece o regime jurídico da gestão de pneus e pneus usados. O presente decreto estabelece princípios e normas na gestão de pneus e pneus usados, dando prioridade à prevenção da produção destes resíduos, à recauchutagem, à reciclagem e outras formas de valorização, com o intuito de reduzir e



eliminar a maior quantidade de resíduos possível. É aplicável a todos os pneus que estejam no mercado nacional e a todos os pneus usados (Decreto-Lei n.º 111/2001).

Segundo o artigo n.º5 do Decreto-Lei n.º 43/2004, a combustão de pneus sem recuperação energética é proibida, a queima a céu aberto e o abandono de pneus usados, bem como a sua gestão por entidades não autorizadas e ou licenciadas para o efeito (Decreto-Lei n.º 111/2001).

As entidades que apenas utilizam pneus usados em trabalhos de construção civil e obras públicas, como proteção de embarcações, molhes marítimos ou fluviais e no revestimento dos suportes dos separadores de vias de circulação automóvel, estão dispensadas de autorização ao abrigo da legislação aplicável à gestão de resíduos, nos termos do artigo n.º6 alínea 3 (Decreto-Lei n.º 111/2001).

No artigo n.º7 são definidas as competências da entidade gestora do sistema integrado:

- a) Organizar a rede de recolha e transporte dos pneus usados, efetuando os necessários contratos com distribuidores, sistemas municipais e multimunicipais de gestão de resíduos sólidos urbanos ou seus concessionários ou outros operadores, a quem deverá prestar as correspondentes contrapartidas financeiras;
- b) Decidir sobre o destino a dar a cada lote de pneus usados, respeitando a hierarquia dos princípios de gestão e tendo em conta os objetivos fixados no artigo 4.º;
- c) Estabelecer contratos com os recauchutadores, recicladores e valorizadores para regular as receitas ou encargos determinados pelos respetivos destinos dados aos pneus (Decreto-Lei n.º 111/2001).

Os artigos 4º, 9º e 17º do Decreto-Lei n.º111/2001, de 6 de Abril, foram alterados pelo Decreto-lei n.º43/2004, de 2 de Março, no qual se prevê algumas alterações do cálculo dos objetivos de gestão, das regras fixadas para a comercialização de pneus e recolha de pneus usados. A entidade gestora terá o dever de assegurar a gestão de todos os pneus usados que sejam entregues nos centros de recolha do qual estão encarregues, mesmo que já tenha alcançado os objetivos mínimos previstos para o ano em causa. Ainda foi introduzido o “ecovalor”, isto é, um valor na fatura de comercialização de pneus, correspondente à contrapartida financeira fixada a favor da entidade gestora. Este mecanismo permitirá ao consumidor tomar conhecimento que o pneu que adquiriu se encontra abrangido por um sistema integrado, facilitando igualmente o processo de fiscalização (Decreto-Lei n.º 43/2004).

### Aplicações de Borracha Reciclada de Pneu usado na Construção Civil

A borracha de pneu reciclada é utilizada como matéria-prima, e o material mais utilizado é a sua transformação em borracha vulcanizada que apresenta alta resistência química e física. Depois do processamento do pneu resultam produtos finais como: têxtil, aço e granulado de borracha com diferentes granulometrias. Este material é vendido para diversas aplicações, tais como: pavimentos desportivos, recintos diversos, parques infantis, MBB – Misturas Betuminosas com Borracha, em estradas, habitações...(Valorpneu@, 2012).

Existe em Portugal um projeto designado “*Remade in Portugal*” que visa promover a conceção de produtos de grande qualidade estética e funcional, incorporando no seu fabrico mais de 50% de resíduos. O conceito pretende demonstrar que podem ser criados produtos de elevado valor a partir do aproveitamento de resíduos como matéria-prima. Assim, esta marca, reconhecida internacionalmente oferece aos consumidores produtos alternativos que permitem reduzir o impacto ambiental. Temos o exemplo de uma entidade gestora do sistema integrado de gestão de pneus usados, designada por Valorpneu, que em 2011 se juntou a esse projeto, podendo assumir importância na sensibilização do reaproveitamento de materiais recicláveis, nomeadamente os pneus (Apambiente@, 2016).

Existem vários materiais reciclados de pneus que são utilizados na construção civil e estão presentes no mercado, tais como:

	<p><u>Referência:</u> RRUB1889</p> <p>Material constituído com borracha reciclada de pós-consumo de pneus usados. Utilizam-se na produção de sistemas de revestimento de pavimentos para absorção de choques e ruído de passos. Tem uma boa absorção ao ruído (Matrec@, 2014).</p>
	<p><u>Referência:</u> RRUB1799</p> <p>Material constituído com mais de 80% de borracha reciclada proveniente de pneus. É caracterizado por um bom isolamento térmico e acústico e é usado como piso em áreas que precisam amortecer o impacto da queda (Matrec@, 2014).</p>

	<p><u>Referência:</u> RNRUBCOR1867</p> <p>Material constituído com 60% de grânulos de cortiça natural com 40% de borracha de pneu reciclada. É utilizado como isolamento acústico em pavimentos, para a redução de vibrações e do ruído de passos (Matrec@, 2014).</p>
	<p><u>Referência:</u> RRUB1629</p> <p>Material constituído com 100% de borracha reciclada proveniente dos pneus. É usado como revestimento de pavimentos desportivos (Matrec@, 2014).</p>

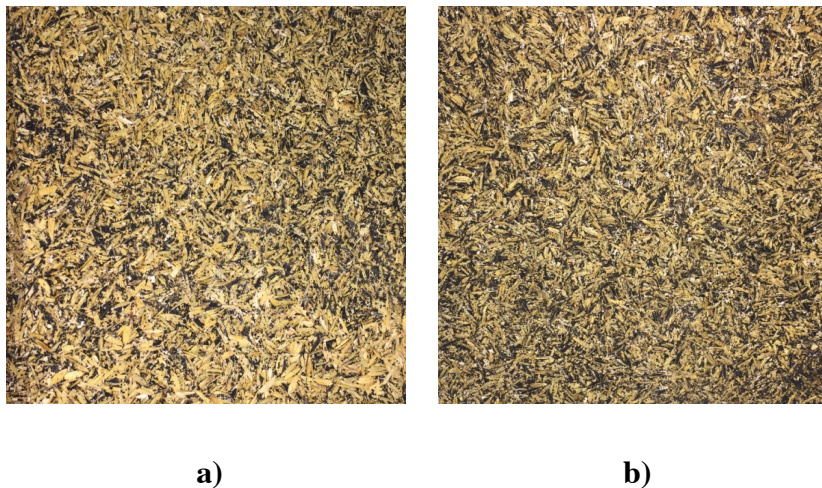
Vários estudos estão a ser realizados com o objetivo de misturar a borracha reciclada de pneus com outras matérias-primas de modo a melhorarem um material. Vários autores da Universidade de Tecnologias de Babol, no Irão realizaram uma pesquisa, que se focou em encontrar a melhor maneira de produzir um betão de pavimentação com o uso de resíduos de borracha de pneus. Estes resíduos foram utilizados para substituir a areia convencional que se usa para se fabricar o betão. Concluíram, que quantidades consideráveis de resíduos de borracha reciclada de pneus usados podem ser utilizados no betão e assim, estão a contribuir para a eliminação de poluentes no meio ambiente (Hesami et al, 2016).

### 3. MATERIAIS E METODOLOGIAS DE ENSAIO

#### 3.1. Descrição das Amostras

As amostras estudadas neste trabalho foram preparadas a partir da casca de arroz, da borracha reciclada e de uma resina de poliuretano.

A casca de arroz utilizada é um subproduto da cultura do arroz produzida no Baixo Mondego e o granulado de borracha provém de pneus usados. Estes compósitos foram moldados inicialmente em placas retangulares com as dimensões de  $1000\text{ mm} \times 1000\text{ mm}$ , e uma espessura aproximada de 26,45 mm. Nos ensaios realizados, as amostras podem apresentar diferentes dimensões, como será descrito mais à frente, na descrição das metodologias de ensaio. Designou-se por amostra “A” a que é constituída por 50% de casca de arroz e 50% de borracha reciclada. A amostra “B” é constituída por 25% de borracha e 75% de casca de arroz (ver **Figura 3.1**), com as percentagens referidas em massa. O aglutinante representou 20% em massa dos elementos sólidos.



**Figura 3.1** – Compósitos: **a)** Amostra B; **b)** Amostra A

Foram realizados diferentes ensaios, nos laboratórios do ITeCons, a estas amostras com o objetivo principal de determinar várias propriedades para averiguar as possibilidades da utilização destes materiais como materiais de construção. Na secção seguinte vai ser efetuada uma descrição dos métodos de ensaio utilizados.

Os ensaios laboratoriais que foram realizados neste trabalho são: o ensaio para determinação da redução da transmissão de sons de percussão, o ensaio para avaliar a condutibilidade térmica, o ensaio para determinar a transmissão de vibrações, o ensaio de compressão, o ensaio para determinar a rigidez dinâmica aparente, o ensaio para determinar a absorção sonora em tubo de impedância e o ensaio de perda por transmissão sonora em tubo de impedância.

### 3.2. Ensaio de Medição da Redução da Transmissão de Sons de Percussão $\Delta L_w$ de Revestimentos de Piso

O ensaio da redução da transmissão de sons de percussão consiste na medição do nível de pressão sonora (através de microfones) numa câmara recetora. Neste ensaio é introduzido uma ação de percussão, através de uma máquina de percussão, no pavimento da câmara emissora, considerando a solução a ser caracterizada sobre o pavimento de referência. Este ensaio é realizado de acordo com a orientação das normas ISO 10140-1, ISO 10140-3, ISO 10140-4, EN ISO 717-2.

A realização do ensaio em laboratório requer a utilização de equipamentos técnicos específicos (**Quadro 3.1**).

**Quadro 3.1** - Equipamentos utilizados para a execução do ensaio da redução da transmissão a sons de percussão

Equipamento	Marca	Modelo	Observações
<b>Câmaras Acústicas do ITeCons</b>			Forma cúbica aproximadamente 3,75 m de aresta e paredes multicamada em “Viroc” com cerca de 50 cm de espessura; Forma paralelepípeda com volume de 72,54 cm <sup>3</sup> e paredes duplas de betão armado e alvenaria com cerca de 50 cm de espessura.
<b>Laje standard (de referência ITeCons)</b>		CAC01-01	
<b>Sistema de aquisição multianalisador Pulse</b>	Bruel & Kjaer	3560-C-T46	Cinco canais
<b>Microfone</b>	Bruel & Kjaer	4190-B	
<b>Girafa Giratória</b>	Bruel & Kjaer	3923	
<b>Termohigrómetro</b>			
<b>Barómetro</b>			
<b>Calibrador acústico</b>	Bruel & Kjaer	4231	
<b>Fonte de ruídos de percussão</b>	Bruel & Kjaer	3207	
<b>Software</b>			Necessário à aquisição e tratamento de dados.
<b>Fonte de ruídos aéreos</b>	Bruel & Kjaer	4292	Necessário para a medição do tempo

---

de reverberação.

---

Durante o ensaio mediu-se a temperatura, a humidade e pressão atmosférica no interior das câmaras emissora e recetora (**Figura 3.2**). Verificou-se a precisão dos microfones, usando o calibrador acústico.

Cada uma das amostras (A e B) com as dimensões de  $1000\text{ mm} \times 1000\text{ mm}$  foi colocada sobre uma laje estrutural maciça com 140 mm de espessura (laje de referência do ITeCons) na câmara emissora. De seguida, foi colocada uma lajeta flutuante de betão armado com 40 mm de espessura sobre a amostra. Sobre a lajeta flutuante é colocada uma máquina de percussão normalizada (**Figura 3.2**). A máquina de percussão e a amostra foram posicionadas em 4 posições distintas, distribuídas aleatoriamente ao longo da laje a ensaiar.



a)



b)

**Figura 3.2**– Câmara: a) Emissão e máquina de percussão; b) Receção

Registou-se o nível de pressão sonora na câmara recetora, para as várias posições de fonte ao longo de um varrimento com um microfone móvel. Mediu-se também a pressão sonora na câmara recetora com a máquina de percussão a operar apenas sobre a laje de referência. Mediu-se ainda, o ruído de fundo ( $L_{n,o}$ ), que foi medido no espaço recetor na ausência do ruído produzido pela fonte. Adicionalmente, ainda foram medidos os tempos de reverberação, na câmara recetora. Considerou-se um mínimo de uma posição de fonte e registaram-se seis decaimentos para três posições do microfone com a medição de dois decaimentos em cada posição. As medições, foram realizadas em bandas de 1/3 de oitava entre as frequências centrais de 100 a 5000Hz.

Os níveis sonoros, para cada banda de frequência, registados na câmara recetora são corrigidos com o ruído de fundo. De seguida, estes valores, designados por,  $L_i$ , são corrigidos

com a área da absorção equivalente,  $A$ , através da fórmula da determinação do nível sonoro normalizado:

$$L_n = L_i + 10 \log \left( \frac{A}{A_0} \right) \quad (3.1)$$

Onde:

$L_n$  – Nível sonoro normalizado (dB);

$A$  - Área da absorção equivalente ( $m^2$ );

$L_i$  – Nível sonoro médio com as correções devidas ao ruído de fundo (dB);

$A_0$  – Área de absorção equivalente de referência  $A_0 = 10 m^2$ .

De seguida, determinou-se a redução da transmissão de sons de percussão produzida pelo revestimento, pela fórmula:

$$\Delta L = L_{n,0} - L_n \quad (3.2)$$

Onde:

$L_{n,0}$ - nível sonoro normalizado da laje de referência ensaiada sem o revestimento;

Determinou-se, para cada banda de frequência, o nível sonoro normalizado de um pavimento de referência, pela fórmula:

$$L_{n,r} = L_{n,r,0} - \Delta L \quad (3.3)$$

Onde:

$L_{n,r,0}$ - Nível sonoro normalizado da laje de referência de acordo com os valores da norma

Através da norma EN ISO 717-2:2013, é possível encontrar o valor do índice de isolamento sonoro,  $L_{n,r,w}$ , que é dado pelo valor da curva de referência ajustada, correspondente aos 500 Hz. Assim, o índice de redução da transmissão de sons de percussão,  $\Delta L_w$ , é dado por:

$$\Delta L_w = 78 - L_{n,r,w} \quad (3.4)$$

Onde:

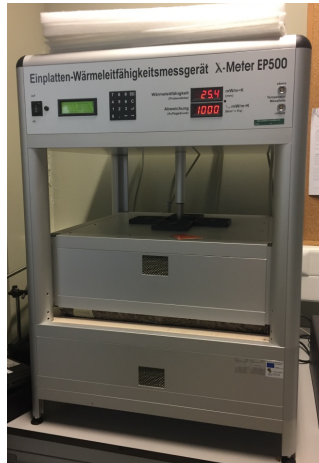
78 – É o valor do índice da laje de referência da norma.

### 3.3. Ensaio de Determinação do Coeficiente de Condutibilidade Térmica de Produtos de Isolamento Térmico

O ensaio para a determinação do coeficiente de condutibilidade térmica permite determinar os valores da condutibilidade térmica e da resistência à transferência de calor para materiais de isolamento térmico e outros produtos. Este ensaio foi conduzido segundo as normas EN 12664:2001 e ISO 8302:1991.

Para a realização do ensaio utilizou-se o equipamento  $\lambda$ -Meter EP500, usando o método “guarded hot plate” (**Figura 3.3**).

As amostras, A e B, foram cortadas em provetes de forma quadrada com as dimensões  $500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ . Para cada amostra foram ensaiados três provetes.



**Figura 3.3** - Equipamento  $\lambda$ -Meter EP500

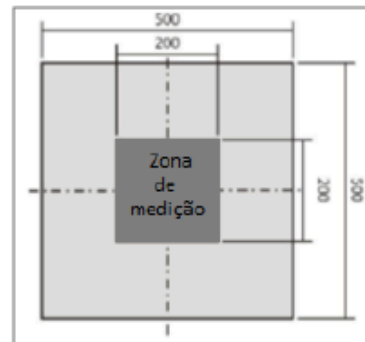
Procedeu-se ao condicionamento dos provetes a  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  e  $(50 \pm 5)\%$  de humidade relativa, com uma duração superior a 24h, de forma a obter uma massa constante. No início deste ensaio, determinou-se a massa, o comprimento e a largura das amostras, antes de as colocar no equipamento.

Após a colocação do provete no equipamento, foi possível determinar através deste, a espessura da amostra,  $d$ , a diferença de temperatura,  $\Delta T$ , aplicada sobre a amostra e o fluxo de calor,  $Q$ , que é equivalente à potência elétrica,  $P$ , do aquecimento. A condutividade térmica,  $\lambda$ , é determinada com base na área de medição,  $A$ , e na condução térmica unidimensional da seguinte forma (Lambda-messtechnik@, 2016):

$$\lambda = \frac{Q \times d}{A \times \Delta T} \quad (3.5)$$

A área de medição da condutibilidade térmica está definida no centro da amostra, numa área de  $200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ , definida na **Figura 3.4**.



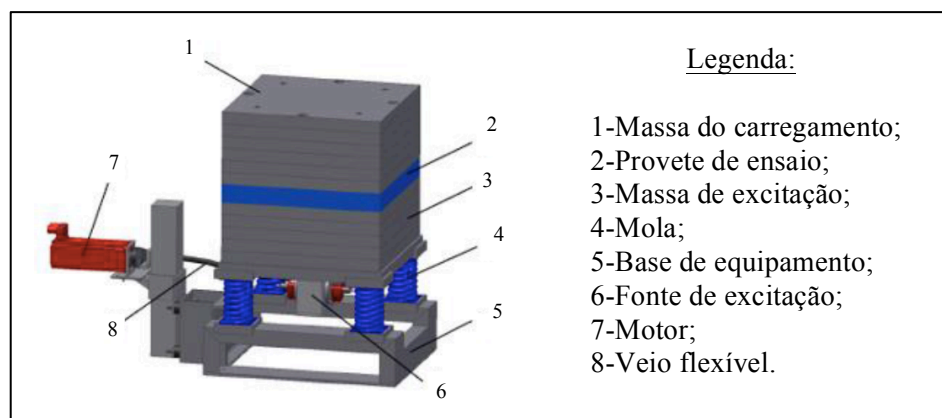


**Figura 3.4** – Definição da zona de medição

Durante este ensaio, foi necessário garantir um bom contacto entre as superfícies do provete e os pratos do equipamento. A diferença de temperaturas entre pratos foi de 15°C. De seguida, efetuaram-se as medições no equipamento  $\lambda$ -Meter EP500 para três temperaturas: 10°C, 25°C e 40°C. Durante este ensaio, o equipamento mede a condutibilidade térmica e a resistência térmica a cada 30 segundos, existindo um período mínimo de ensaio em regime permanente de 75 minutos em que não se podem verificar variações do coeficiente de condutibilidade térmica superiores a 1%, ou seja, o ensaio termina quando o gráfico não apresenta oscilações.

### 3.4. Ensaio de Determinação de Transmissibilidade de Vibrações

Este ensaio foi realizado segundo a norma ISO 10846-3:2002, com um equipamento concebido pelo ITeCons (**Figura 3.5**). Foram realizados dois ensaios para cada amostra, em cada ensaio utilizaram-se quatro provetes retangulares com as dimensões de 100mm×100mm e 150mm×150mm por provete, correspondendo a áreas de 200×200 mm<sup>2</sup> e 300×300 mm<sup>2</sup>, respetivamente.



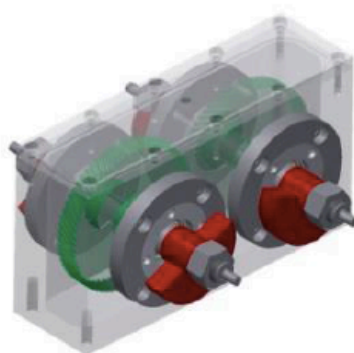
**Figura 3.5** – Esquema do equipamento (Shaker) utilizado na determinação da transmissibilidade de vibrações (Dias, 2015)

Numa fase inicial, mediu-se a espessura, o comprimento e a largura dos provetes e calculou-se a massa volúmica aparente. No **Quadro 3.2** estão representados os equipamentos utilizados para a realização deste ensaio.

**Quadro 3.2** - Equipamentos utilizados para a execução do ensaio da transmissão a sons de percussão

Equipamento	Marca	Modelo	Observações
Datalogger	HBM	MX840A	Reúne os valores dos acelerómetros;
Acelerómetro	Endevco	752A12	3 acelerómetros (um no topo e dois na base do equipamento) ligados aos datalogger;
Sistema de excitação	SEW	CMP63M	Serve para colocar a massa inferior em movimento.
Software	Catman Easy v3.4		Necessário à aquisição de dados.
Shaker			Nome do equipamento

O ensaio começou com a colocação dos quatro provetes nos quatro cantos das placas. Estes, são intercalados por duas massas, a inferior é excitada e a superior é designada por carregamento. As massas resultam da sobreposição de placas de aço aparafusadas entre si, de forma a evitar vibrações, com dimensões de 495×495×40 mm. A massa inferior é excitada através de um movimento rotacional de massas excêntricas em torno de um eixo (**Figura 3.6**).



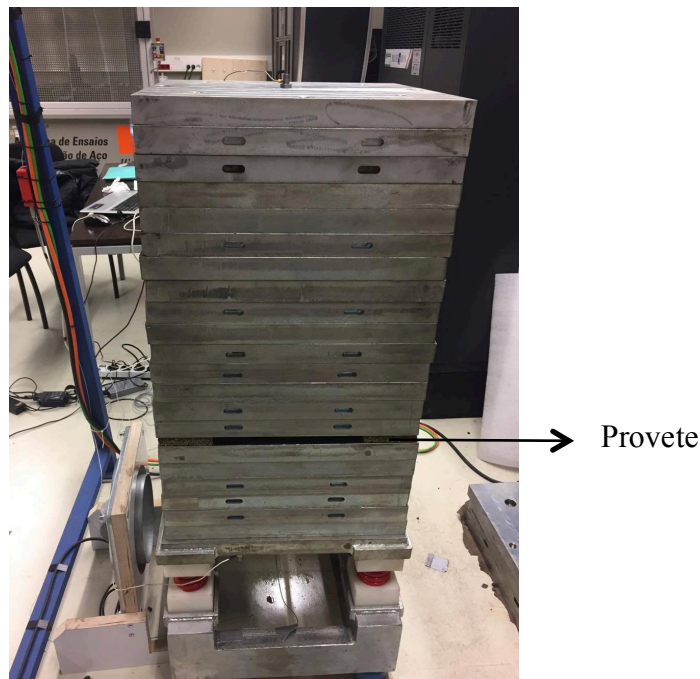
**Figura 3.6** – Sistema de excitação (Dias, 2015)

As vibrações dos dois blocos são monitorizadas com a colocação de três acelerómetros, um no topo e dois na base do equipamento. Colocam-se dois acelerómetros na base porque o sistema de excitação está colocado no centro do equipamento e, deste modo, é impossível colocar apenas um no centro. O valor da aceleração na base obtém-se através da média das leituras registadas pelos dois acelerómetros.

As 4 molas que fazem parte do equipamento, com uma rigidez global de 1031 KN/m, têm o objetivo de atenuarem as vibrações provenientes do pavimento.

Debaixo das quatro amostras são colocadas placas de aço, que servem de base a estas amostras. Sobre as amostras colocam-se placas que geram a massa de carregamento a que o provete está sujeito. Cada placa de aço pesa, aproximadamente, 73,8 Kg e foram realizados ensaios com diferentes números de placas, que variou entre 1 a 15 (**Figura 3.7**).

A rotação do motor vai variando de maneira a fazer variar a frequência de vibração. Sempre que é colocada uma placa (para fazer aumentar a massa), as amplitudes são registadas no domínio do tempo. De seguida, este domínio é convertido para a frequência através de um programa, *em fortran*, que aplica uma transformada rápida de Fourier (FFT).



**Figura 3.7** – Ensaio da amostra A com os provetes de 100 mm×100 mm

A transmissibilidade das vibrações, para cada frequência de excitação, é calculada através da fórmula:

$$T = \frac{a_2}{a_1} \quad (3.6)$$

em que:

$a_2$  = amplitude do sinal 2 (vibração da massa de carregamento);

$a_1$  = amplitude do sinal 1 (vibração da massa inferior)

Assim, a curva de transmissibilidade é determinada através da repetição desta fórmula para diferentes frequências.

O isolamento de vibrações obtido pelo sistema, em %, é calculado por:

$$IE = (1 - TR) \times 100 \quad (3.7)$$

A transmissibilidade, em dB, é obtida através da seguinte equação:

$$T_{db} = 20 \log (T) \quad (3.8)$$

No **Quadro 3.3**, apresentam-se os valores de transmissibilidade,  $T_{db}$ , agregados a diferentes valores de isolamentos de vibrações.

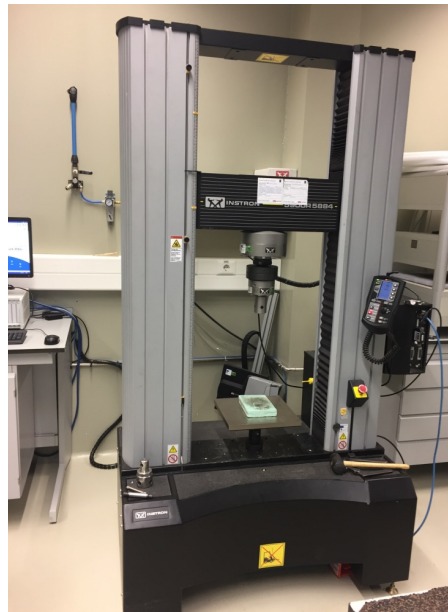
**Quadro 3.3** - Relação entre T, IE e  $T_{db}$

T	IE	$T_{db}$ (dB)
0,05	95%	-26,02
0,10	90%	-20,00
0,15	85%	-16,48
0,20	80%	-13,97
0,25	75%	-12,04

### 3.5. Ensaio de Determinação do Comportamento à Compressão de Produtos de Isolamento Térmico

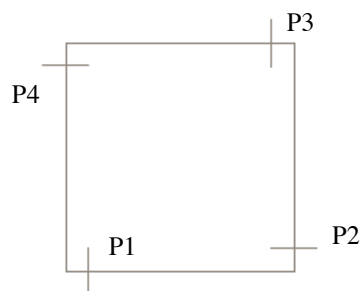
O ensaio de determinação do comportamento à compressão, é determinado através de uma força de compressão aplicada na direção axial perpendicular às faces principais do provete, de modo a ser possível calcular a força máxima suportada, que corresponde a uma deformação relativa de 10%.

Este ensaio realizou-se com seis provetes (três para cada amostra) de dimensões 150 mm × 150 mm, de acordo com as normas EN 826:2013 e EN 12085:2013. O equipamento utilizado foi a máquina Universal Instron 5884 (**Figura 3.8**).



**Figura 3.8** – Máquina Universal Instron

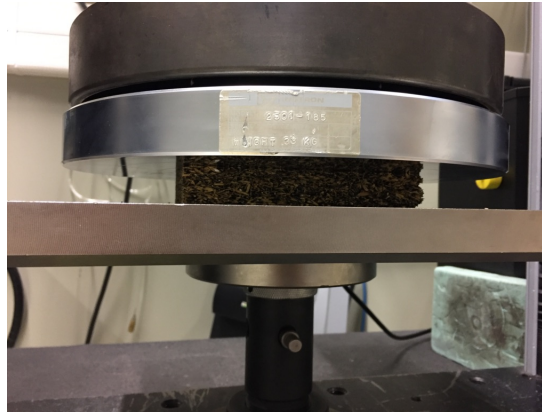
A tolerância no paralelismo entre as duas faces maiores do provete, não deve ser superior a 0,5% do lado do provete, com um máximo de 0,5 mm. Para a verificação do paralelismo, devem ser efetuadas 4 medições, nos locais indicados na **Figura 3.9**, considerando-se nesta verificação a maior diferença entre as medições.



**Figura 3.9-** Posições das determinações da espessura para verificação do paralelismo.

Procedeu-se ao condicionamento dos provetes a  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  e  $(50 \pm 5)\%$  de humidade relativa, com uma duração superior a 24h, de forma a obter uma massa constante. Registou-se a massa (antes e após o condicionamento), o comprimento, a largura das amostras e a espessura antes de as colocar no equipamento. Em seguida, colocou-se o provete centrado na máquina de compressão, aplicou-se uma força de pré-carga de  $(250 \pm 10)\text{Pa}$  e comprimiu-se o provete (**Figura 3.10**). O ensaio deve ser conduzido até ao limite de resistência do provete e deduzir o valor da resistência à compressão, ou até 10% de deformação relativa e deduzir o valor da

tensão de compressão a 10% da deformação relativa. Deste modo, foi possível registrar a curva força/deslocamento.



**Figura 3.10** – Compressão de um provete

### 3.6. Ensaio de Determinação da Rigidez Dinâmica Aparente de Materiais Utilizados sob Pavimentos Flutuantes em Edifícios

O ensaio para a determinação da rigidez dinâmica aparente foi conduzido segundo as normas ISO 9052-1:1989 e ISO 7626-5:1994. A rigidez dinâmica aparente é calculada com a frequência de ressonância do material, que é obtida através da vibração vertical de um sistema mola-massa. Este sistema é composto pela amostra inserida entre duas superfícies horizontais, nomeadamente, uma base e uma placa de carga.

A rigidez dinâmica aparente por unidade de área do provete,  $s'_t$ , é dada pela equação:

$$s'_t = 4\pi^2 m'_t f_r^2 \quad (3.9)$$

onde,

$m'_t$  - massa total usada durante o teste por unidade de área ( $\text{kg/m}^2$ );

$f_r$  - frequência de ressonância medida (Hz).

Para a realização deste ensaio, foram ensaiados quatro provetes para cada amostra, de forma quadrada e de dimensões de 200 mm×200 mm. Para cada provete a ser ensaiado, mediu-se o comprimento, a largura, a espessura (nos quatro bordos dos provetes) e registou-se a massa. Cada provete foi envolvido numa película de plástico impermeável e foi aplicada uma camada de gesso com pelo menos 5 mm de espessura de forma a evitar irregularidades na superfície (**Figura 3.11**).



**Figura 3.11** - Colocação da camada de gesso no provete

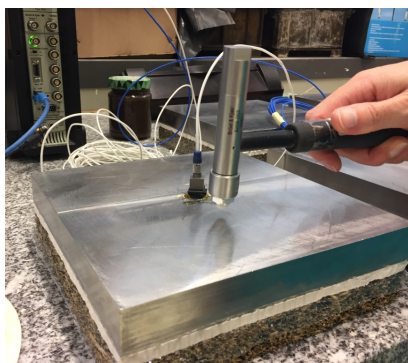
Para finalizar, antes do gesso ficar seco colocou-se uma chapa de aço (placa de carga), quadrada com as dimensões  $200\pm 3$  mm  $\times$   $200\pm 3$  mm com uma massa de cerca de 8kg. O ensaio da rigidez dinâmica deve ser efetuado após  $24\pm 2$ h da preparação dos provetes, para que a camada de gesso tenha tempo suficiente de secar. O material utilizado para a realização deste ensaio apresenta-se no **Quadro 3.4**.

**Quadro 3.4** - Equipamentos utilizados para a execução do ensaio da rigidez dinâmica

Equipamento	Marca	Modelo	Observações
Martelo de Impacto	Bruel & Kjaer	8206	
Acelerómetro	Bruel & Kjaer	4370	
Pré-amplificador	Bruel & Kjaer	2646	
Sistema Multi-Analisador Pulse™	Bruel & Kjaer	3560-C	
Software			Necessário para aquisição e tratamento de dados.

O ensaio começa com a geração do sinal, isto é, ocorre uma excitação do sistema provocado por um martelo de impacto sobre a placa de carga do provete. Os batimentos são efetuados na zona central da placa, próximo ao acelerómetro, de forma a que ocorram oscilações verticais. A medição da aceleração da vibração é feita sobre a placa de carga, com o acelerómetro localizado no centro do provete (**Figura 3.12**). A excitação é provocada durante algum tempo com batimentos que deverão ter a mesma força e serem separados por intervalos de tempo iguais em quatro pontos à volta do acelerómetro. Para cada batimento a aceleração do sistema e a força aplicada são registadas pelo transdutor de força incorporado no martelo de impacto e pelo acelerómetro, analisadas e tratadas pelo sistema Multi-Analisador Pulse™. A validação das medições é obtida através de uma função que indica o grau de linearidade entre a

aceleração e a força para cada frequência. O valor da função de coerência deve estar compreendido entre 0 e 1. Um valor de coerência menor que 1 é uma indicação de falta de qualidade dos dados obtidos e assim o resultado do ensaio deve ser rejeitado.



**Figura 3.12** - Provette de uma amostra a ser ensaiado

### 3.7. Ensaio de Determinação do Coeficiente de Absorção Sonora em Tubo de Impedância

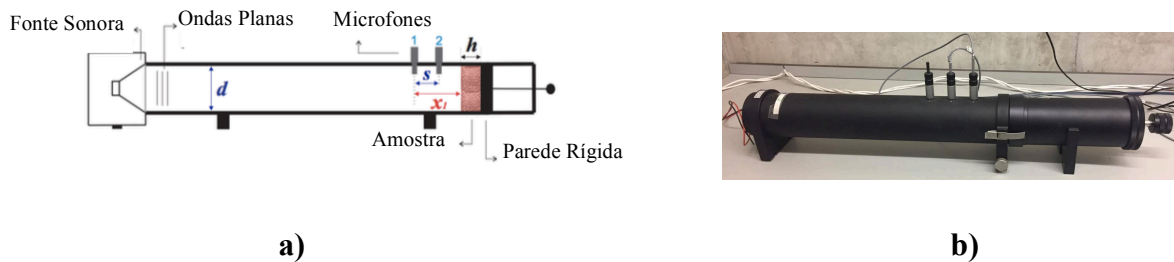
No ensaio de determinação do coeficiente de absorção sonora em tubo de impedância, testam-se provetes circulares de pequenas dimensões com a finalidade de determinar o coeficiente de absorção sonora de materiais utilizando a técnica da função de transferência, descrita na norma internacional ISO 10534-2 de 2001. O equipamento utilizado para a realização deste ensaio apresenta-se no **Quadro 3.5**.

**Quadro 3.5** - Equipamentos utilizados para a realização do ensaio de determinação do coeficiente de absorção sonora em tubo de impedância

Equipamento	Marca	Modelo	Observações
<b>Tubo de Impedância</b>	Bruel & Kjaer	4206-T	Adaptado alternadamente para os diâmetros nominais internos de 100 mm e 29 mm.
<b>Calibrador acústico tipo 1</b>	Bruel & Kjaer	4231	
<b>Equipamento de aquisição de sinal (Pulse)</b>	Bruel & Kjaer	3560-C	
<b>Termómetro</b>	Bruel & Kjaer		
<b>Barómetro</b>			
<b>Amplificador de Potência</b>	Bruel & Kjaer	2716-C	
<b>Microfones</b>	Bruel & Kjaer	2670	2 Microfones
<b>Software</b>	Pulse LabShop		Necessário à aquisição e tratamento de dados.



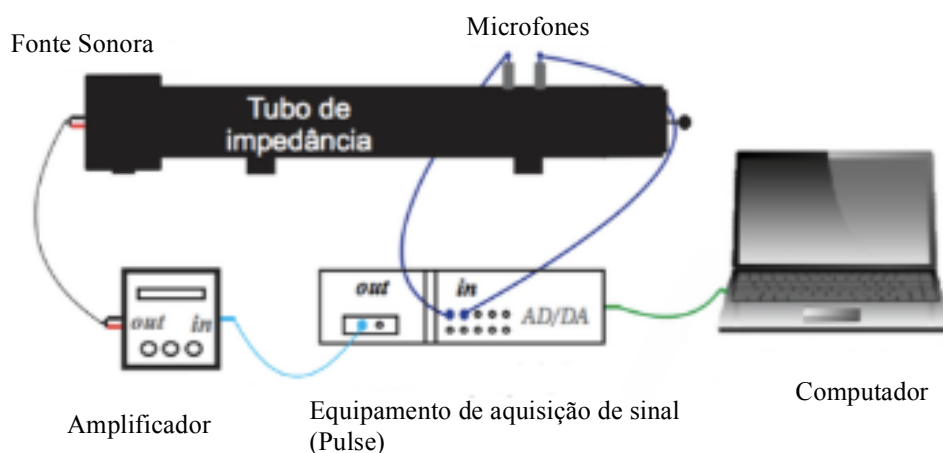
O tubo de impedância consiste num tubo com paredes suficientemente rígidas com uma fonte sonora numa das extremidades e a amostra a ser estudada na outra. Também é constituído por dois microfones para captação do sinal sonoro, como representado na **Figura 3.13**.



**Figura 3.13** – a) Representação esquemática do tubo de impedância segundo a ISO 10534-2; b) Tubo de impedância montado

A **Figura 3.13** ilustra dois microfones espaçados por uma distância  $s=5$  cm, com o microfone 1 a uma distância de  $x_1=15$  cm em relação à amostra, sendo que esta possui uma espessura  $h=25$  mm. O tubo possui um diâmetro  $d=100$  mm, e no seu interior ocorre a emissão de um ruído de intensidade média, constante ao longo do espectro de frequências, em ondas planas, originando um campo onde as ondas são refletidas e absorvidas pelo provete.

O sinal é gerado no computador e conduzido para o equipamento de aquisição de sinal, passa pelo amplificador e é enviado para a fonte sonora. Os microfones captam os sinais de pressão no interior do tubo, enviando para o equipamento de aquisição de sinal (Pulse), e de seguida são reenviados para o computador, para que sejam executadas as etapas de processamento e análise do sinal. O sistema de medição é ilustrado na **Figura 3.14**.

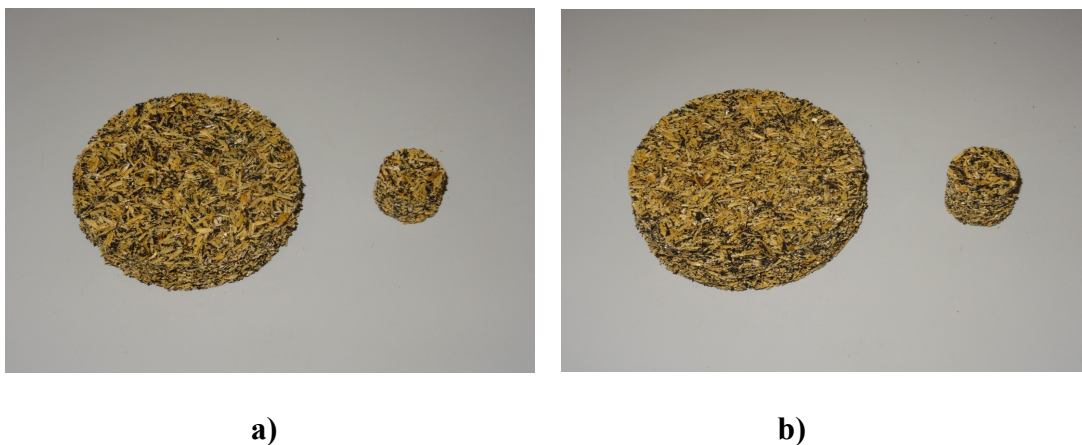


**Figura 3.14** - Sistema de medição do ensaio (adaptado de Oliveira et al, 2016)

Antes da realização deste ensaio verificou-se a precisão dos microfones, usando um calibrador acústico e mediu-se a temperatura e a pressão atmosférica no interior do tubo de impedância. Foram ensaiados 2 provetes para cada amostra com um diâmetro de 100 mm e 3 provetes para cada amostra com 29 mm de diâmetro, de forma circular (**Figura 3.15**). Para cada um dos provetes, foram efetuados 4 ensaios, em que o provete foi retirado e colocado novamente no tubo de impedância para cada um destes ensaios. Devido à textura irregular das amostras testaram-se as duas faces para verificar se os resultados eram coerentes.

A amostra de maior diâmetro (100 mm) permite avaliar a absorção sonora desde os 100 Hz até aos 1600 Hz e a amostra de menor diâmetro (29 mm) permite avaliar a absorção sonora dos 500 Hz aos 6300 Hz, sendo possível comparar as curvas dos 500 Hz aos 1600Hz.

Procedeu-se à verificação do ruído dentro do tubo com a fonte desligada. A diferença entre os níveis sonoros com a fonte ligada e com a fonte desligada terá de ser igual ou superior a 10 dB em toda a gama de frequências analisada. O provete introduzido no tubo não deverá ficar comprimido ou apertado de maneira a ficar dobrado e deve ficar perpendicular com o tubo de impedância.



**Figura 3.15** - Amostras: **a)** Amostra B; **b)** Amostra A

No final, utilizando o programa Pulse LabShop é possível recolher e tratar os dados, exportando-os para uma folha de Excel, obtendo assim uma representação gráfica da absorção sonora para ondas planas de incidência normal, por bandas de frequência.

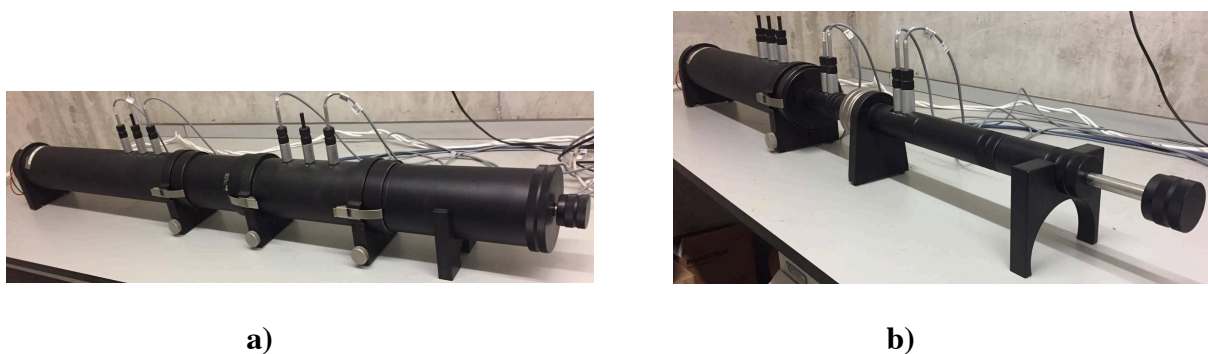
### **3.8. Ensaio de Determinação da Perda por Transmissão Sonora em Tubo de Impedância**

O principal objetivo deste ensaio é calcular a perda de transmissão sonora provocada pelas amostras, considerando o método das duas cargas. Este método pressupõe a utilização

alternada de duas condições distintas de terminação na extremidade do tubo de impedância, com propriedades acústicas contrastantes. Na primeira terminação, em ambos os diâmetros (29 mm e 100 mm) foi utilizada uma combinação de lã de rocha (com uma massa volúmica de  $30 \text{ kg/m}^3$ ) com espuma de poliuretano com célula aberta (com uma massa volúmica de  $25 \text{ kg/m}^3$ ) com espessuras de 30 mm e 40 mm respetivamente. Na segunda terminação, em ambos os diâmetros (29 mm e 100 mm) usou-se feltro de fibras têxteis (com uma massa volúmica de  $100 \text{ Kg/m}^3$ ) com uma espessura de 10 mm.

O equipamento laboratorial utilizado neste ensaio e as dimensões das amostras foram as mesmas que no *ensaio de determinação do coeficiente de absorção sonora em tubo de impedância* descrito no ponto 3.7. No entanto, neste ensaio a amostra não é colocada na extremidade do tubo, mas num suporte intermédio com dois microfones em cada lado. Efetuaram-se três ensaios para cada amostra e colocou-se fita-cola nos bordos das amostras uma vez que estes se encontravam algo irregulares.

As amostras foram colocadas entre dois tubos de forma a ficarem perpendiculares com o tubo de impedância, em que cada tubo contém dois microfones e está incorporado um altifalante (fonte sonora) localizado numa das extremidades (**Figura 3.16**).



**Figura 3.16** – Tubo de impedância: **a)** Amostras de 100 mm; **b)** Amostras de 29 mm

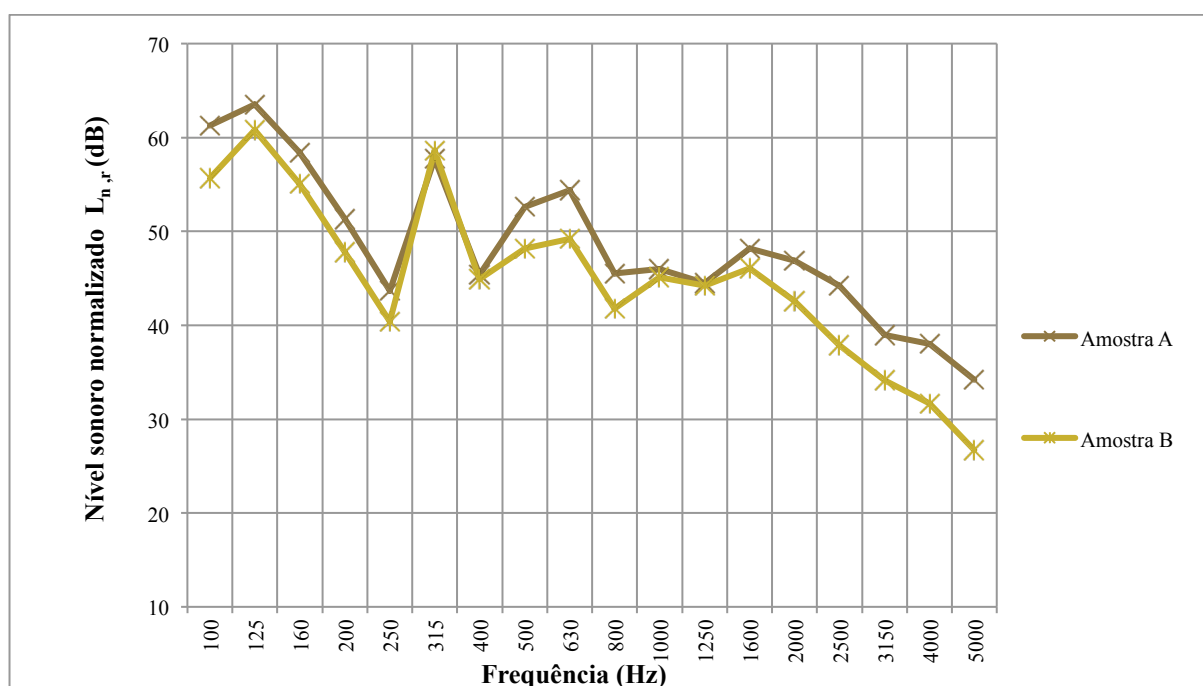
Com o altifalante em funcionamento estabelecem-se variações de pressão que são registadas simultaneamente nos quatro microfones localizados em posições conhecidas entre si e em relação à superfície do provete de ensaio. A partir dessas leituras é possível calcular a perda por transmissão sonora. A perda por transmissão sonora foi determinada entre os 100 Hz e os 5000 Hz, em bandas de frequência de terços de oitava.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS EXPERIMENTAIS

### 4.1. Redução da Transmissão de Sons de Percussão $\Delta L_w$ de Revestimentos de Piso

Nesta secção apresentam-se os resultados do ensaio para determinação da redução da transmissão de sons de percussão. O nível sonoro normalizado ( $L_{n,r}$ ), em bandas de frequência de terços de oitava, entre os 100 Hz e os 5000 Hz, foi determinado de acordo com a secção 3.2 para as duas amostras.

A **Figura 4.1** apresenta os resultados relativos às medições do nível sonoro de percussão normalizado, obtido na câmara recetora do laboratório para as amostras A e B (descrito na secção 3.2).



**Figura 4.1** – Representação gráfica do nível sonoro de percussão normalizado do pavimento de referência com o revestimento do piso  $L_{n,r}$  (dB)

Analisando a **Figura 4.1** observa-se que as duas curvas apresentam configurações semelhantes.

No entanto, a amostra B, ou seja, aquela que contém mais casca de arroz apresenta uma transmissão sonora menor, excetuando na frequência dos 315 Hz em que o nível de transmissão sonora atinge um valor superior ao da amostra A.

Até aos 630 Hz, ou seja na zona das baixas frequências, o nível de transmissão sonora tem umas certas irregularidades. Neste intervalo, o valor máximo da transmissão sonora ocorre para a frequência dos 125 Hz para ambas as amostras.

Depois, no intervalo entre os 630 Hz e os 1600 Hz, ou seja, na zona de médias frequências, ocorrem ainda variações mais ligeiras da transmissão sonora, atingindo o seu valor máximo nos 630 Hz.

Por último, a partir dos 1600 Hz, ou seja na zona de altas frequências, a transmissão sonora diminui com o aumento da frequência como seria expectável.

Pode-se dizer que, quer para frequências mais altas, quer para frequências mais baixas, a amostra constituída com mais casca de arroz (amostra B) é a que apresenta melhores características para isolamento a sons de percussão. Os valores de  $\Delta L$  permitem verificar que a redução da transmissão sonora é maior para a amostra B (**ver Quadro 4.1**).

**Quadro 4.1** - Valores de  $\Delta L$  do ensaio de Redução da Transmissão de Sons de Percussão

Amostra A	Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
	$\Delta L$ (dB)	5,7	4	9,6	17,2	25,3	11,8	24,6	17,9
	Freq. (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
	$\Delta L$ (dB)	26	26	27,5	23,8	25,1	27,8	33	34
Amostra B	Freq. (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500
	$\Delta L$ (dB)	11,3	6,7	12,9	20,7	28,6	10,9	25,1	22,3
	Freq. (Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
	$\Delta L$ (dB)	29,7	26,9	27,8	25,9	29,4	34,1	37,9	40,3

Através de um ajuste da curva de referência à curva de isolamento sonoro, na frequência de 500 Hz é possível obter o índice de isolamento sonoro ( $L_{n,r,w}$ ) das curvas apresentadas na **Figura 4.1**. O ajuste é feito através da movimentação da curva de referência em intervalos de 1 dB na direção da curva medida, até que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível mas nunca superior a 32 dB. O índice de redução da transmissão de sons de percussão do revestimento de piso ( $\Delta L_w$ ) é obtido através da subtração entre 78 dB (valor

definido na norma) e o índice de isolamento ( $L_{n,r,w}$ ). O valor do índice de redução da transmissão de sons de percussão ( $\Delta L_w$ ) é de 23 dB para a amostra A e 27 dB para a amostra B.

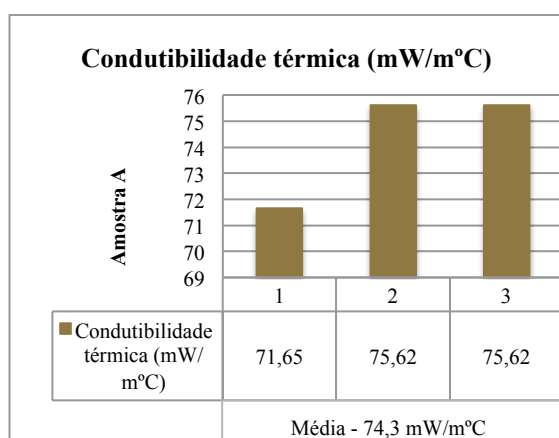
#### 4.2. Condutibilidade Térmica de Produtos de Isolamento Térmico

Como indicado no capítulo 3, nomeadamente no ponto 3.3, o ensaio decorreu segundo as normas referidas a uma temperatura média de 25°C e com uma diferença de temperatura entre pratos no intervalo de 10°C a 15°C. Foram ensaiados três provetes para cada amostra (Quadro 4.2).

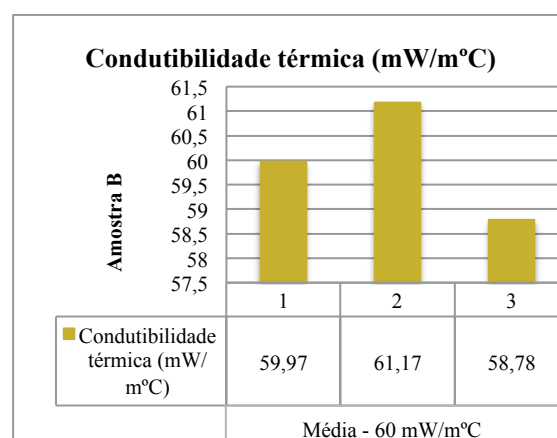
Determinou-se a condutibilidade térmica, para cada provete, a três temperaturas: 10°C, 25°C e 40°C. De seguida, ajustou-se uma reta aos três valores obtidos para as respetivas temperaturas e encontrou-se na reta o valor da condutibilidade térmica que corresponde aos 10° C, ( $\lambda_{10}$ ).

**Quadro 4.2** – Espessura, massa volúmica aparente e resistência térmica para as Amostras A e B

Provetes	Amostra A			Amostra B		
	1	2	3	1	2	3
Espessura (m)	$26,6 \times 10^{-3}$	$26,7 \times 10^{-3}$	$26,7 \times 10^{-3}$	$25,4 \times 10^{-3}$	$25,6 \times 10^{-3}$	$25,1 \times 10^{-3}$
Massa Volúmica Aparente ( $\text{kg/m}^3$ )	380,2	392,4	333,4	301,7	288,5	295,5
Resistência Térmica ( $\text{m}^2\text{°C/W}$ )	0,372	0,353	0,353	0,424	0,419	0,427



a)



b)

**Figura 4.2** - Valores de condutibilidade térmica para os 3 provetes ensaiados ( $\text{mW/m}^{\circ}\text{C}$ ): a) Amostra A; b) Amostra B

A análise dos gráficos de colunas da **Figura 4.2** indica que os provetes (2 e 3) da amostra A, são os que apresentam uma maior condutibilidade térmica. Aquele que apresenta o menor valor  $e$ , dessa forma mais interessante a nível de desempenho térmico, é o provete 3 da amostra B.

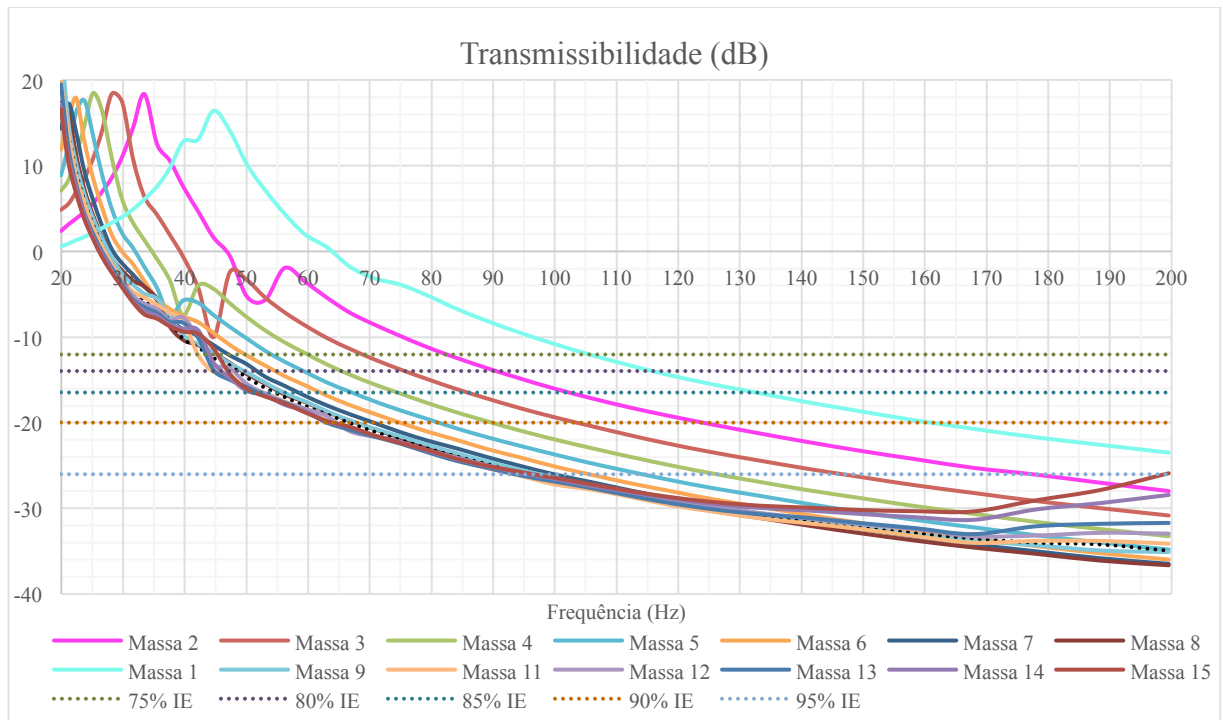
Um material com um coeficiente de condutibilidade térmica inferior a  $65 \text{ mW/m}^\circ\text{C}$  é normalmente considerado um isolante térmico. Assim, a amostra B reúne as condições, pois todos os valores da condutibilidade térmica dos três provetes estão abaixo de  $65 \text{ mW/m}^\circ\text{C}$ . Isto deve-se ao facto destes provetes serem constituídos com uma maior percentagem de casca de arroz, apresentando boas características para o isolamento. Observando o **Quadro 4.2**, conclui-se que a amostra com um melhor comportamento térmico (com maior resistência térmica), é aquela que apresenta a menor massa volúmica.

### 4.3. Transmissibilidade de Vibrações

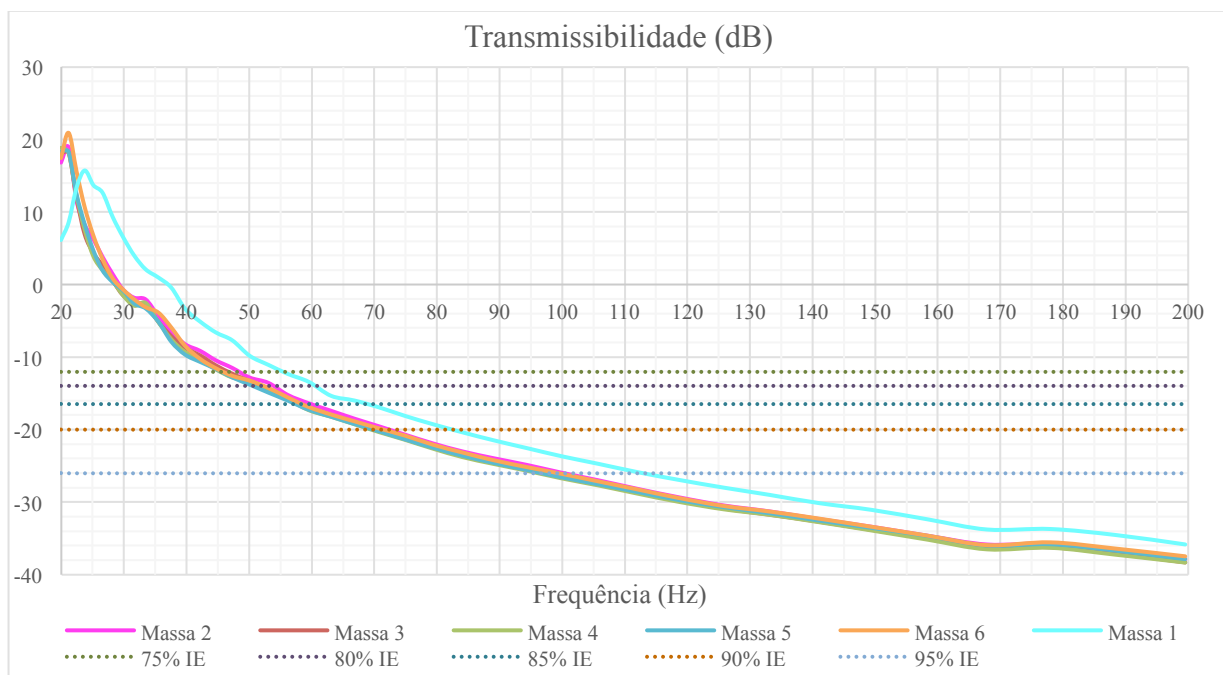
As curvas de transmissibilidade foram determinadas para uma área de  $400 \text{ cm}^2$  (4 provetes de  $100 \text{ cm}^2$ ) para as amostras A e B. No decorrer dos ensaios decidiu-se também ensaiar a amostra B com uma área de  $900 \text{ cm}^2$ . As **Figuras 4.3, 4.4 e 4.5**, apresentam as curvas de transmissibilidade em dB, obtidas para vários carregamentos, para a amostra A com  $400 \text{ cm}^2$ , para a amostra B com  $400 \text{ cm}^2$  e para a amostra B com  $900 \text{ cm}^2$ , respetivamente. Nos gráficos estão indicados os valores de transmissibilidade correspondentes ao isolamento das vibrações de 75%, 80%, 85%, 90%, 95%. A tensão a que as amostras ficam sujeitas em cada ensaio apresenta-se no **Quadro 4.3**.

**Quadro 4.3** - Tensões de compressão correspondentes aos vários carregamentos estáticos para amostras de  $400 \text{ cm}^2$  e  $900 \text{ cm}^2$

	Massas (Kg)	Tensão KPa para amostras de $400 \text{ cm}^2$	Tensão KPa para amostras de $900 \text{ cm}^2$
M1	74	18	8
M2	148	36	16
M3	221	54	24
M4	295	72	32
M5	369	90	40
M6	443	108	-
M7	517	127	-
M8	590	145	-
M9	664	163	-
M10	738	181	-
M11	812	199	-
M12	886	217	-
M13	959	235	-
M14	1033	253	-
M15	1107	271	-

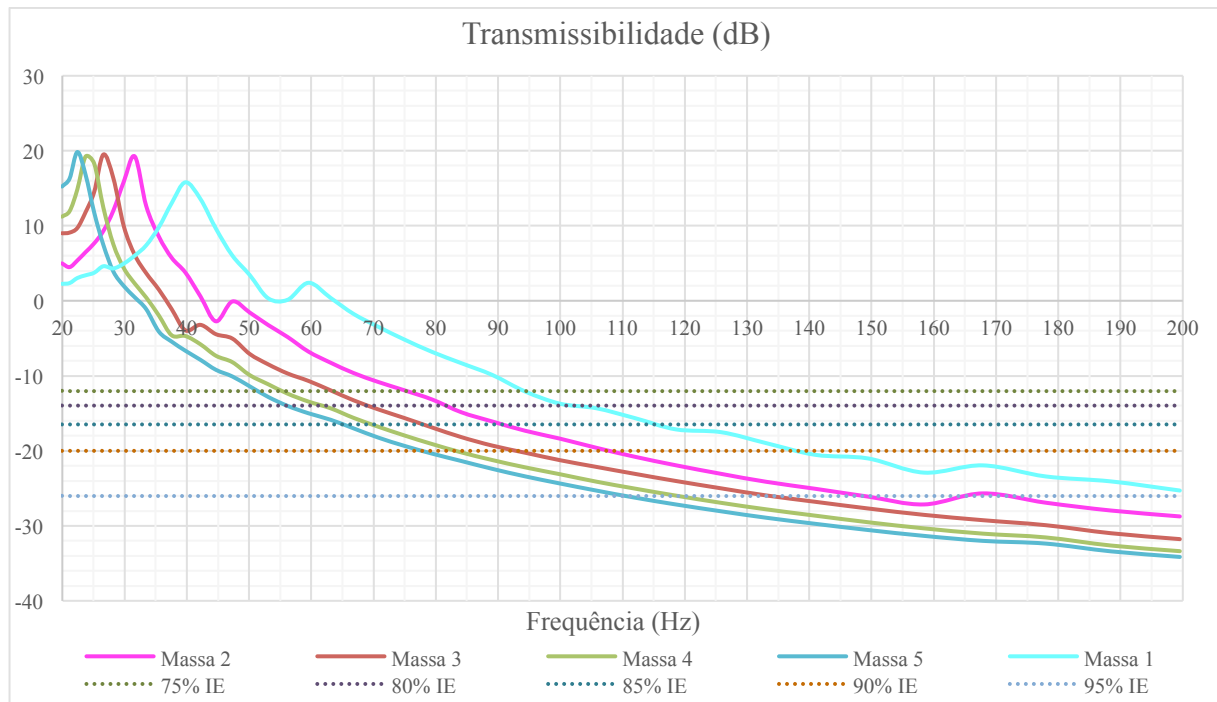


**Figura 4.3** – Curvas de transmissibilidade para várias cargas (amostra A com 400 cm<sup>2</sup> de área, 25,20 mm de espessura e com uma massa volúmica de 392,68 kg/m<sup>3</sup>)



**Figura 4.4** – Curvas de transmissibilidade para várias cargas (amostra B com 400 cm<sup>2</sup> de área, 24,33 mm de espessura e com uma massa volúmica de 280,40 kg/m<sup>3</sup>)





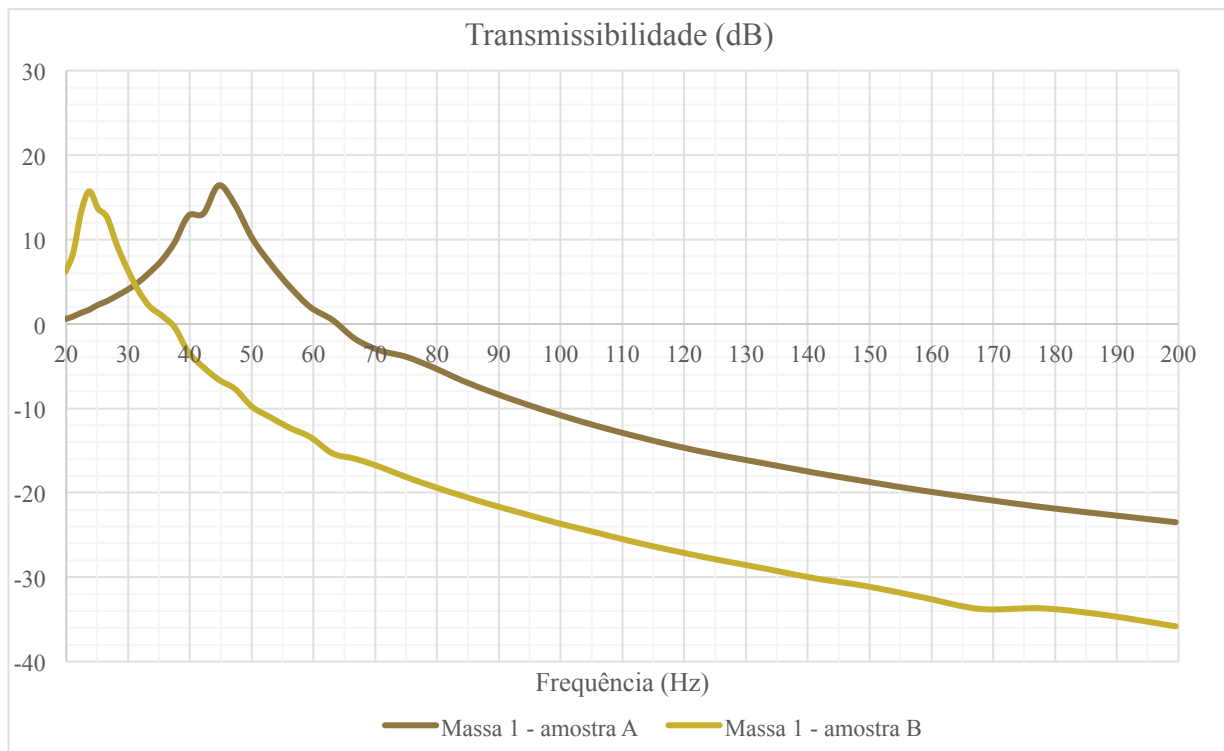
**Figura 4.5** – Curvas de transmissibilidade para várias cargas (amostra B com 900 cm<sup>2</sup> de área, 23,43 mm de espessura e com uma massa volúmica de 299,50 kg/m<sup>3</sup>)

Analisando os gráficos das **Figuras 4.3 e 4.5**, é possível constatar que à medida que a massa de carga aumenta (aumenta a tensão), menor é a frequência de ressonância do sistema e o pico das curvas de transmissibilidade desloca-se para a esquerda. Ainda é possível constatar que, com o aumento da massa a transmissibilidade vai diminuindo, para a mesma frequência, aumentando consequentemente o isolamento à vibração.

No entanto, na amostra A, com 400 cm<sup>2</sup> de área (**Figura 4.3**), verifica-se que a partir da massa M8, o que corresponde a uma tensão de 145 kPa, as curvas começam a ficar sobrepostas para as frequências mais baixas, o que significa que já houve uma deformação elevada dos provetes e o seu comportamento dinâmico já não é melhor para cargas maiores. Ainda se verifica nessas curvas que a tendência nas frequências mais altas de diminuir a transmissibilidade com o aumento da frequência (como se verifica para tensões menores) se inverte. Por exemplo, a curva M15, aos 200 Hz, garante apenas uma transmissibilidade de -26 dB, quando deveria ser aproximadamente de -37 dB para uma frequência de excitação de 200 Hz.

A sobreposição das curvas é também evidente nos provetes da amostra B com 400 cm<sup>2</sup>, mas para massas mais baixas, a partir da massa M2 o que corresponde a uma tensão de 16 kPa (**ver Figura 4.4**). A amostra B tem uma massa volúmica muito mais baixa do que a amostra

A e é muito mais compressível uma vez que necessita de uma carga menor para atingir uma determinada deformação, como pode ser constatado através do ensaio de compressão. Esta amostra apenas funciona bem para cargas baixas (baixas tensões). Note-se que quando se ensaiam as amostras de  $400 \text{ cm}^2$  (**Figura 4.4**), a partir da massa M3 (tensão de 54 kPa) já não se verifica maior isolamento com o aumento da tensão devido à deformação excessiva. No entanto, quando se ensaiam as amostras de  $900 \text{ cm}^2$  (**Figura 4.5**), consegue-se verificar esse efeito para tensões que variam dos 8 aos 40 kPa. Para este tipo de amostras o ideal será trabalhar com uma tensão de 40 kPa.



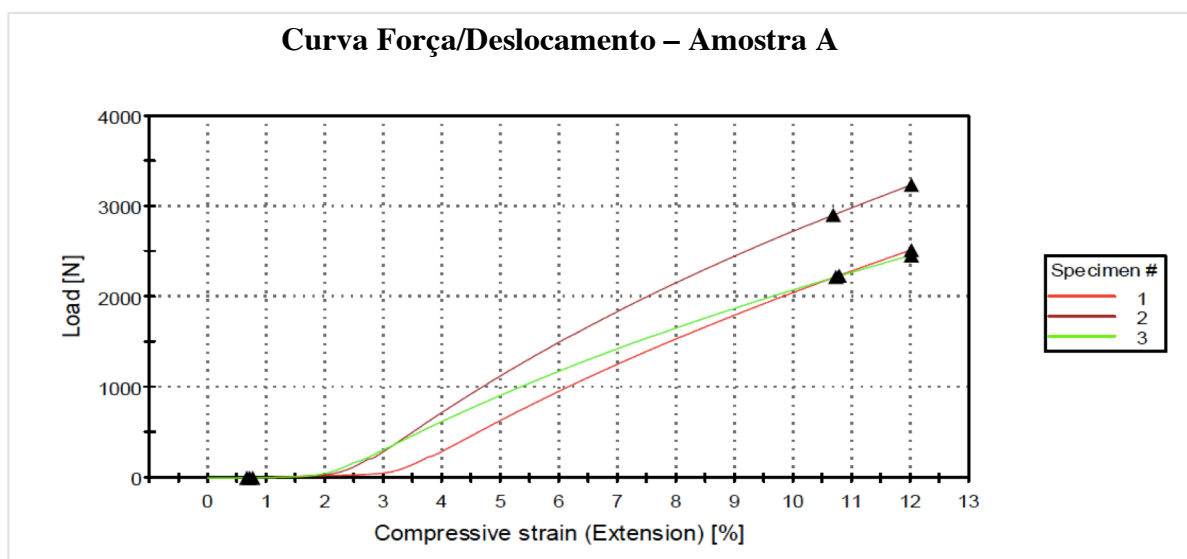
**Figura 4.6** – Curvas de transmissibilidade para M1 da amostra A e B com  $400 \text{ cm}^2$  de área

A **Figura 4.6** apresenta a comparação da curva M1 (correspondente a uma tensão de 18 kPa) da amostra A e B, para os provetes com  $400 \text{ cm}^2$  de área e evidencia que a amostra B é mais isolante do que a amostra A. A amostra B começa a apresentar isolamento à vibração a partir dos 37 Hz, aproximadamente, enquanto que a amostra A começa aos 64 Hz. Verifica-se ainda, que a amostra B é aquela que apresenta uma maior área negativa das curvas de transmissibilidade, ou seja, um maior isolamento de vibrações e uma maior gama de frequências abrangidas.

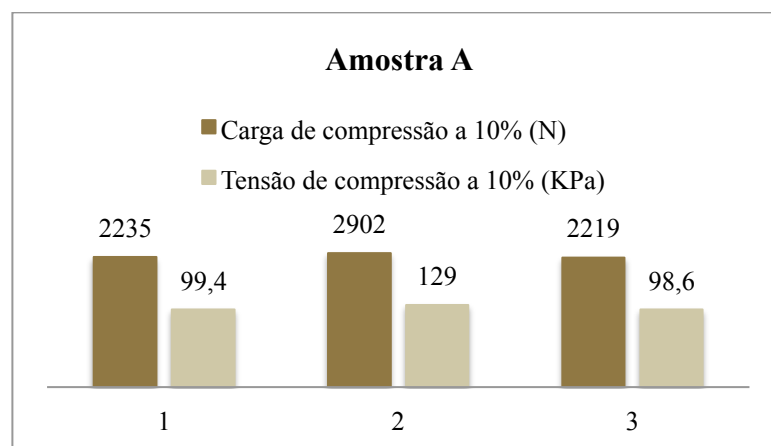
#### 4.4. Comportamento à Compressão de Produtos de Isolamento Térmico

Nesta secção apresentam-se os resultados de ensaio obtidos usando os procedimentos descritos na secção 3.5.

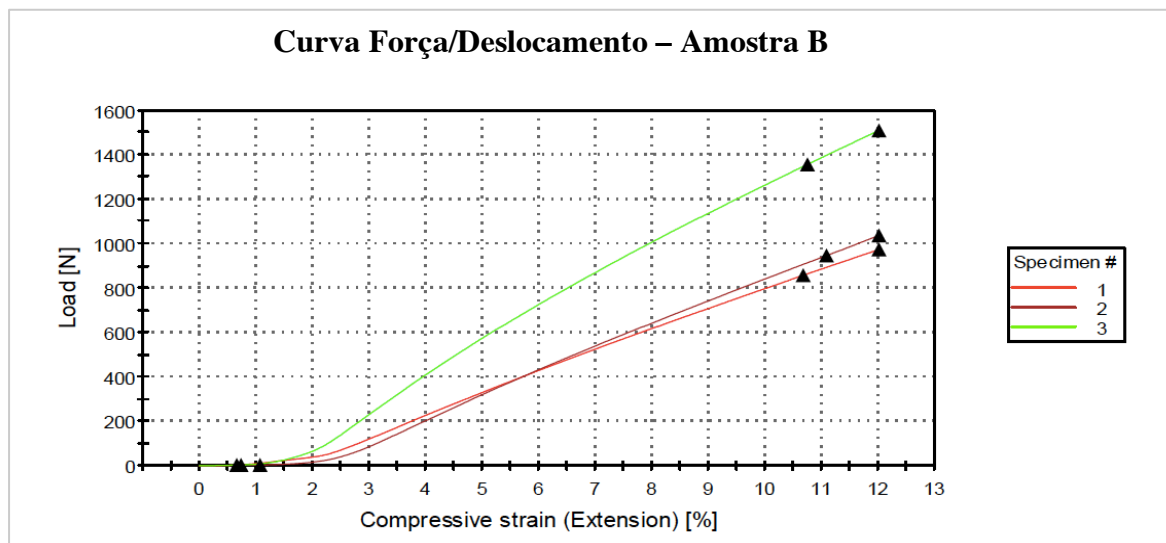
Na **Figura 4.7** e na **Figura 4.9** apresentam-se as curvas de Força/Deslocamento dos comportamentos à compressão dos provetes da amostra A e da amostra B, respetivamente. Os valores de carga de compressão a 10% (que também podem ser lidos nos gráficos das **Figuras 4.7 e 4.9**) e a tensão de compressão a 10% encontram-se nas **Figuras 4.8 e 4.10**.



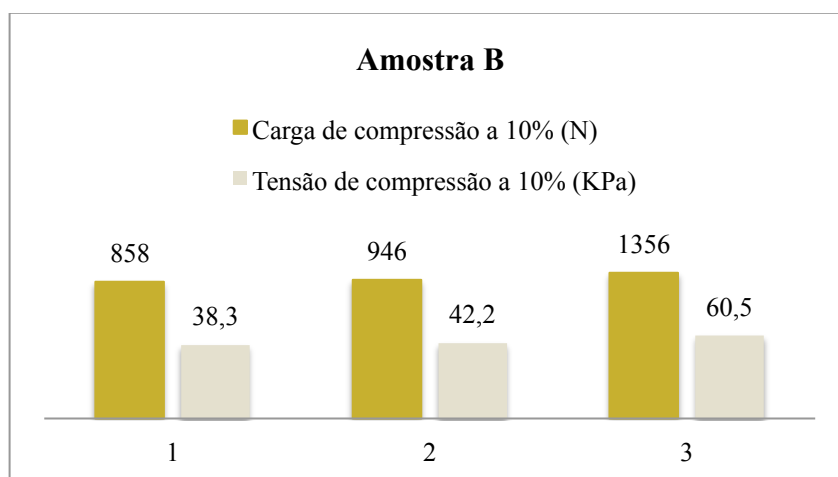
**Figura 4.7** - Curvas de Força/Deslocamento dos provetes da amostra A no ensaio de compressão



**Figura 4.8** - Valores obtidos nos ensaios de compressão para os provetes da Amostra A



**Figura 4.9** - Curvas de Força/Deslocamento dos provetes da amostra B no ensaio de compressão



**Figura 4.10** - Valores obtidos nos ensaios de compressão para os provetes da Amostra B

No **Quadro 4.4** encontra-se o valor médio da carga e da tensão de compressão para 10% de deformação e da massa volúmica aparente dos três provetes de cada amostra.

**Quadro 4.4** - Valores médios dos ensaios à compressão para as Amostras A e B

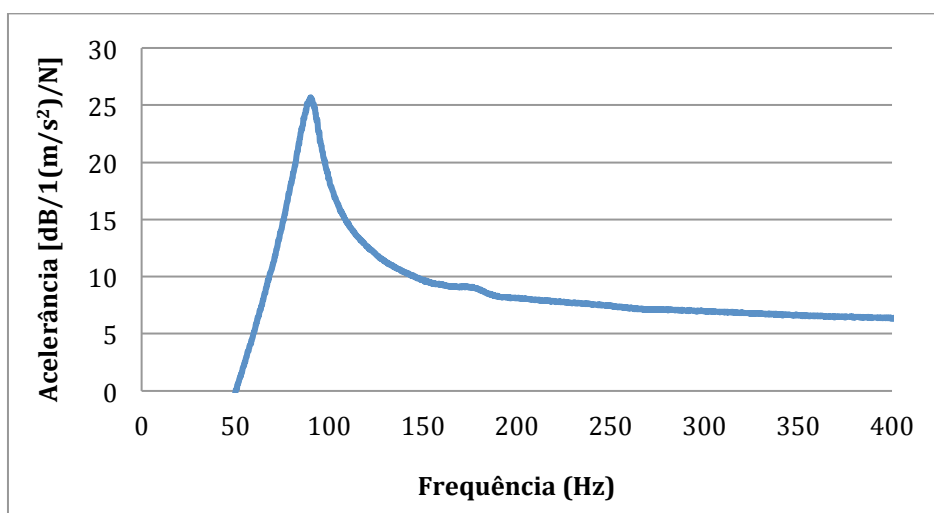
Amostras	A	B
Carga de compressão a 10% (N)	2452	1053
Tensão de compressão a 10% (KPa)	109	47
Massa volúmica aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	361,9	297,8

Das **Figuras 4.8 e 4.10** constata-se que os valores da carga de compressão a 10% e os valores da tensão de compressão a 10% são mais elevados na amostra A. Estes provetes são mais rígidos que os da amostra B e a massa volúmica é superior, assim, a carga de compressão para obter a mesma deformação foi maior. Os valores da amostra B (**Figura 4.10**), são menores pois os provetes têm uma massa volúmica menor e necessitam de menos carga para se deformarem uma vez que são mais flexíveis.

A Amostra A, com massa volúmica aparente de  $361,9 \text{ Kg/m}^3$ , em termos médios, atinge os 10% de deformação aos 2452 N para uma tensão de compressão de 109 KPa. No entanto, o compósito B, apresenta uma massa volúmica aparente, menor, de  $297,8 \text{ Kg/m}^3$  e atinge os 10% de deformação aos 1053 N para uma tensão de 47 KPa (**Quadro 4.4**).

#### 4.5. Rigidez Dinâmica de Materiais Utilizados sob Pavimentos Flutuantes em Edifícios

Neste ensaio, foram ensaiados quatro provetes para cada amostra. Para cada uma das medições foi obtida a função transferência, entre a aceleração e a força, no domínio da frequência. No gráfico da função transferência foi possível identificar a frequência para a qual ocorre a ressonância no sistema. Esta é dada pela abcissa que correspondente ao pico da amplitude da curva (**ver Figura 4.11**).



**Figura 4.11** – Função de transferência no domínio da frequência

Seguiu-se o procedimento descrito na secção 3.6 e determinou-se a rigidez dinâmica através da equação 3.9 para cada provete. A rigidez dinâmica aparente para cada amostra foi calculada através da média dos dezasseis valores obtidos, neste sentido, foi calculada a massa total usada durante o teste por unidade de área (massa do carregamento, do gesso e do

acelerômetro), de acordo com a equação 3.9. Nos **Quadros 4.5 e 4.6** apresentam-se os resultados obtidos neste ensaio laboratorial.

**Quadro 4.5** –Frequência de ressonância,  $f_r$  e rigidez dinâmica aparente,  $s'_t$  para a amostra A

Amostra	Provete	Massa Volúmica ( $\text{kg/m}^3$ )	Espessura Média (mm)	Frequência Ressonância (Hz)	Rigidez Dinâmica Aparente ( $\text{MN/m}^3$ )	Rigidez Dinâmica Aparente Média ( $\text{MN/m}^3$ )
Amostra A	1	379,36	25,93	80,47	53,4	61
				81,41	54,6	
				81,41	54,6	
				81,25	54,4	
	2	374,85	25,17	85,94	61,3	
				86,25	61,7	
				85,31	60,4	
				85,16	60,1	
	3	412,84	26,21	89,8	66,6	
				90,2	67,1	
				89,8	66,6	
				90,2	67,1	
	4	361,88	26,95	86,25	60,9	
				84,69	58,7	
				85,94	60,5	
				85,78	60,3	

**Quadro 4.6** –Frequência de ressonância,  $f_r$  e rigidez dinâmica,  $s'_t$  para a amostra B

Amostra	Provete	Massa Volúmica ( $\text{kg/m}^3$ )	Espessura Média (mm)	Frequência Ressonância (Hz)	Rigidez Dinâmica Aparente ( $\text{MN/m}^3$ )	Rigidez Dinâmica Aparente Média ( $\text{MN/m}^3$ )
Amostra B	1	287,52	24,72	61,88	32,1	
				61,72	31,9	
				62,34	32,6	
				61,54	31,7	
	2	308,26	24,97	71,09	42,4	
				70,94	42,2	

				70,78	42,0	39
				71,09	42,4	
	3	297,59	26,25	78,75	51,4	
				78,91	51,7	
				79,06	51,9	
				78,59	51,2	
				61,41	31,3	
	4	278,91	24,96	61,56	31,5	
				61,56	31,5	
				61,56	31,5	
				61,56	31,5	

No **Quadro 4.5** apresentam-se os resultados dos provetes que têm a mesma proporção de casca de arroz e de borracha reciclada. Observa-se que existe algum desvio entre os resultados que pode estar relacionado com a organização não uniforme das partículas constituintes da amostra. O provete que possui uma menor massa volúmica é o quarto, contudo, não é o que possui uma rigidez dinâmica menor. Neste conjunto de provetes, o resultado da rigidez dinâmica aparente mais alta é no terceiro provete, com uma massa volúmica e com uma frequência de ressonância mais elevada.

A análise do **Quadro 4.6** evidencia que o terceiro provete apresenta uma maior espessura e uma maior rigidez dinâmica.

Em termos médios, a rigidez dinâmica aparente é maior na amostra A, e menor na amostra B. A amostra B apresenta um melhor comportamento ao isolamento a sons de percussão (constatado no ponto 4.1), pois apresenta um menor valor da rigidez dinâmica.

Com o conhecimento da rigidez dinâmica é possível prever a redução do nível sonoro a sons de percussão.

$$\Delta L_w = 18 + 15 \log \left( \frac{m}{s} \right) \quad (4.1)$$

Onde,

m - Massa total por unidade de área usada durante o teste ( $\text{kg/m}^2$ );

s - Rigidez dinâmica aparente por unidade de área da amostra ( $\text{MN/m}^3$ ).

Neste caso, considera-se a massa por unidade de área a da lajeta de betão usada no ensaio de percussão (cerca de  $100 \text{ kg/m}^2$ ).

Assim,

Para a amostra A:

$$\Delta L_w = 18 + 15 \log \left( \frac{m}{s} \right) = 18 + 15 \log \left( \frac{0,04 \times 2500}{61} \right) = 21,2 \text{ dB} \quad (4.1-a)$$

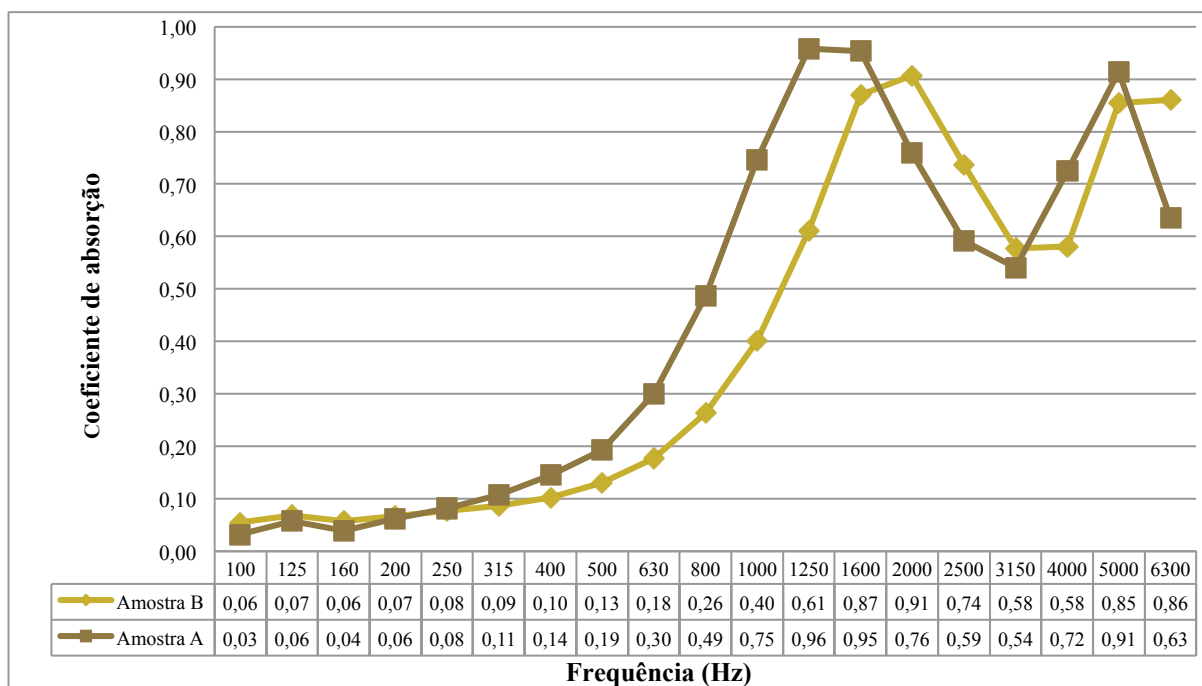
Para a amostra B:

$$\Delta L_w = 18 + 15 \log \left( \frac{m}{s} \right) = 18 + 15 \log \left( \frac{0,04 \times 2500}{39} \right) = 24,1 \text{ dB} \quad (4.1-b)$$

Verifica-se que os valores obtidos pela expressão 4.1 para as amostras A e B são mais baixos, mas não muito díspares dos determinados na secção 4.1 (de 23 dB para a amostra A e 27 dB para a amostra B).

#### 4.6. Coeficiente de Absorção Sonora em Tubo de Impedância

Conforme foi descrito na secção 3.7, usaram-se dois tubos de impedância, para se ensaiarem provetes circulares de 100 mm e 29 mm com o objetivo de determinar o coeficiente de absorção sonora a ondas planas de incidência normal ao provete. A **Figura 4.12** apresenta o traçado das curvas de absorção sonora em função da frequência, em bandas de terços de oitava para as amostras A e B. A amostra de maior diâmetro (100 mm) permitiu avaliar a absorção sonora desde os 100 Hz até aos 1600 Hz e com a amostra de menor diâmetro (29 mm), avaliou-se a absorção sonora dos 500 Hz aos 6300 Hz.



**Figura 4.12** – Curvas de absorção sonora das Amostras A e B

Os resultados deste ensaio, apresentados na **Figura 4.12**, mostram que para baixas frequências o coeficiente de absorção sonora é muito baixo e idêntico para as duas amostras.



Para as médias frequências, até aos 1600 Hz, o material mais absorvente é o da amostra A, constituída com 50% de borracha reciclada e 50% de casca de arroz.

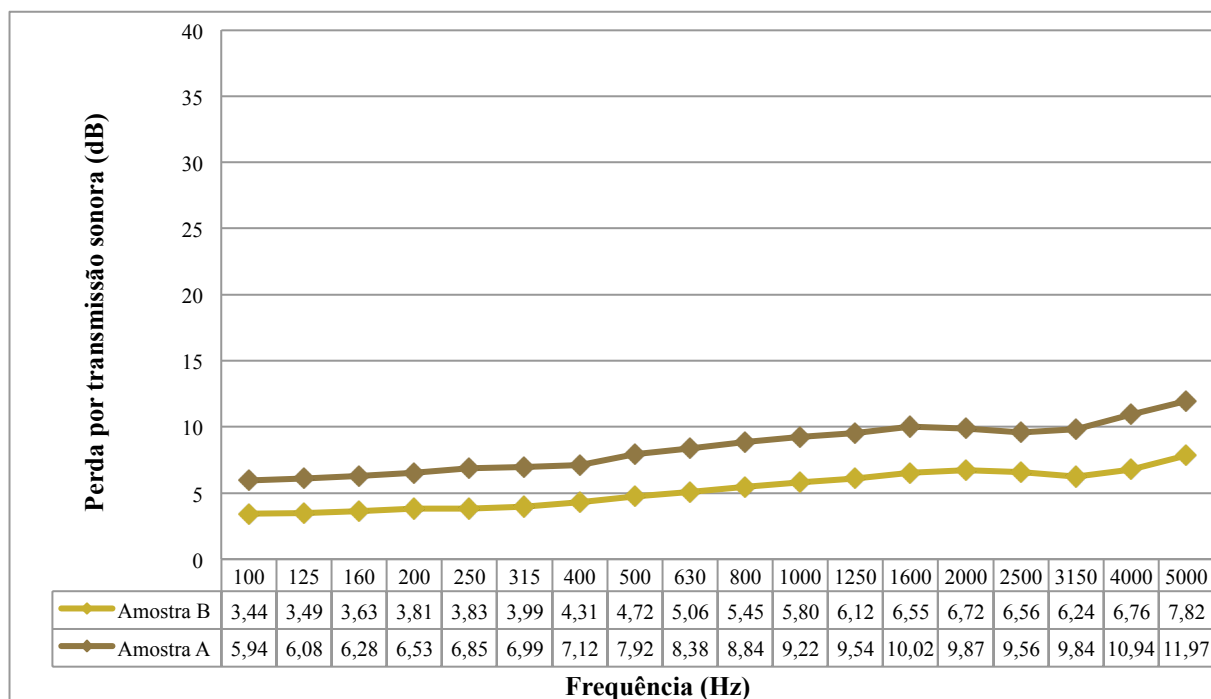
Nas altas frequências, a amostra B atinge um nível de absorção sonora mais elevado desde os 2000 Hz até aos 3150 Hz. Este aumento pode estar relacionado com o facto destas amostras serem mais maleáveis, prevendo-se que haja uma comunicação maior com alguns poros em profundidade, porque contêm mais casca de arroz e não são tão “duras” comparativamente com a amostra A.

A partir dos 4000 Hz, a amostra A tem melhores resultados sonoros, atingindo o maior valor nos 5000 Hz, no entanto, apresenta um decaimento para a banda de frequência seguinte.

De uma maneira geral, em termos globais, a amostra A apresenta melhores propriedades de absorção sonora, pois existe um maior número de frequências em que o seu coeficiente de absorção é superior ao da amostra B. No entanto, ambas as amostras possuem boas propriedades de absorção sonora para as altas frequências.

#### **4.7. Perda por Transmissão Sonora em Tubo de Impedância**

Para a realização deste ensaio utilizou-se o método das duas cargas, descrito na secção 3.8, e montou-se um tubo de impedância diferente para cada amostra circular com diâmetros de 100 mm e de 29 mm. Optou-se por colocar fita-cola no contorno dos provetes devido às irregularidades que resultaram do seu corte, de maneira a evitar que passasse som pelo contorno. Assim, para avaliar o isolamento a sons aéreos das amostras, determinou-se a curva da perda por transmissão sonora, em função da frequência, em bandas de terços de oitava para as duas amostras, como se apresenta na **Figura 4.13**.



**Figura 4.13** – Curvas de perda por transmissão sonora das Amostras A e B

Nas curvas da **Figura 4.13**, observa-se um aumento do isolamento sonoro de ambas as amostras com a frequência. As curvas apresentam valores da perda por transmissão sonora desde os 3,44 dB aos 11,97 dB.

De um modo geral, a amostra A apresenta ao longo de todas as bandas de frequência uma maior perda de transmissão sonora, ou seja, demonstra um melhor isolamento a sons aéreos. Este facto pode estar relacionado com a maior massa volúmica e rigidez da amostra. No entanto, verifica-se que o isolamento sonoro obtido para ambas as amostras é bastante baixo devido à massa volúmica aparente ser baixa e também ao facto de apresentarem uma porosidade elevada, principalmente a amostra B.

## 5. CONCLUSÕES

Esta dissertação enquadrou-se numa perspetiva de contribuir para a minimização dos impactes ambientais, através da viabilização de alternativas de construção, com materiais provenientes da reciclagem e resíduos agro-industriais, procurando um desenvolvimento sustentável. O objetivo principal deste trabalho consistiu na procura de uma solução para o aproveitamento sustentável da borracha dos pneus usados, através do seu granulado, e da casca de arroz proveniente no Baixo Mondego para produzir compósitos que pudessem ser utilizados na área da construção civil. Neste trabalho realizaram-se vários ensaios laboratoriais, de maneira a poder analisar não só o desempenho destes compósitos, através da caracterização das propriedades, mas também de forma a poder analisar a sua viabilidade no sector da construção. O primeiro ensaio realizado foi a transmissão de sons de percussão, onde se constatou que a amostra B, ou seja, a amostra constituída com uma maior percentagem de casca de arroz, é a que apresenta um nível de transmissão sonora mais baixa, excetuando na frequência dos 315 Hz. Para frequências mais elevadas (a partir dos 1600 Hz), a transmissão sonora diminui com o aumento da frequência. Determinou-se o valor do índice de redução da transmissão de sons de percussão ( $\Delta L_w$ ), sendo 23 dB para a amostra A e 27 dB para a amostra B. Pode-se dizer, que no geral, a amostra B, constituída com mais casca de arroz, é a que apresenta melhores características para isolamento a sons de percussão. No entanto, de outro estudo realizado com compósitos de casca de arroz e granulado de cortiça expandida, concluiu-se que, para frequências mais baixas, o compósito com maior percentagem em cortiça é o que apresenta melhores características para isolamento a sons de percussão (Monteiro, 2016).

Efetou-se o ensaio para a determinação da condutibilidade térmica, onde se observou que a amostra B, constituída com mais casca de arroz, é aquela que apresenta um menor valor da condutibilidade térmica (60 mW/m°C). Uma vez que este valor está abaixo dos 65 mW/m°C a amostra B pode ser considerada um bom isolante térmico. Concluiu-se que esta amostra é aquela que apresenta uma maior resistência térmica e uma menor massa volúmica. Comparativamente, com compósitos de casca de arroz e cortiça, a amostra com uma melhor condutibilidade térmica foi aquela que apresentava mais granulado de cortiça (Monteiro, 2016).

Determinou-se também a transmissibilidade de vibrações destes compósitos. Neste ensaio verificou-se que as tensões de compressão são maiores nas amostras de 400 cm<sup>2</sup> (pois

apresentam uma área menor). De uma forma geral quando a tensão aumenta, menor é a frequência de ressonância do sistema e maior é o isolamento de vibração para cada frequência. No entanto, nas amostras A e B com 400 cm<sup>2</sup> de área verifica-se que ocorrem a sobreposição de curvas. Para amostra A a sobreposição ocorre para massas superiores a M8 e para amostra B é para massas superiores a M2. Este facto mostra que já ocorreu uma deformação dos provetes e que o seu comportamento dinâmico já não melhora para cargas superiores, o que acaba por nos dar uma ideia da tensão limite com que se deverá trabalhar. Comparando as amostras A e B com 400 cm<sup>2</sup> para a tensão de 18 kPa, a amostra B é a que aparenta ser mais isolante, ou seja, começa a apresentar isolamento à vibração a partir dos 37 Hz, frequência mais baixa que a amostra A.

No ensaio da compressão, concluiu-se que a amostra A, mais rígida e com maior massa, necessita de valores mais elevados da carga de compressão para se obter 10% da deformação quando comparada com a amostra B. A amostra B é mais flexível, pois é formada por mais casca de arroz e tem uma massa volúmica menor, logo necessita de menos carga para se deformar.

Foi, também realizado o ensaio da rigidez dinâmica aparente, onde se verificou que a amostra A apresenta maior rigidez dinâmica. Constatou-se que quanto menor for a rigidez dinâmica melhor o comportamento ao isolamento a sons de percussão, como verificado no ensaio da redução da transmissão de sons de percussão.

No ensaio da absorção sonora, os resultados dos ensaios evidenciam que para baixas frequências o coeficiente de absorção sonora é muito baixo, sendo a curva A aquela que apresenta um melhor resultado. Para as médias frequências, dos 2000 Hz até 3150 Hz, o material mais absorvente é da amostra B. Para as altas frequências a amostra A tem melhores resultados, apresentando um decréscimo nas frequências seguintes para a curva B. De um modo geral, a amostra A (com iguais proporções de casca de arroz e granulado de borracha), apresenta melhores propriedades de absorção do som, do que amostra B. Comparativamente, com as amostras já estudadas, de casca de arroz e granulado de cortiça, as amostras com mais cortiça são as que apresentaram melhores resultados de absorção sonora (Monteiro, 2016).

Por fim, foi efetuado o ensaio da perda por transmissão sonora, onde se conclui que a amostra A, apresenta um melhor isolamento a sons aéreos. Uma possível justificação, pode estar relacionada com o facto desta amostra ter uma maior rigidez e uma maior massa volúmica do que amostra B. No entanto, o isolamento sonoro a sons aéreos é muito baixo.

Resumindo, este tipo de compósitos, embora não tendo uma condutibilidade térmica igual aos melhores produtos de isolamento térmico, têm uma condutibilidade térmica suficientemente

baixa para poderem complementar o isolamento térmico conferido por outros materiais. Também podem com sucesso ser usados como materiais resilientes em pavimentos flutuantes para melhorar o isolamento a sons de percussão. No que respeita ao isolamento de vibrações, poderão ser usados apresentando bom desempenho, quando sujeitos a baixas tensões (isolar equipamentos pouco pesados). Estes compósitos podem ser usados como materiais de revestimento para absorver o som e diminuir a reverberação no interior de espaços fechados. Na presente forma, estes compósitos não são indicados para aplicações de isolamento sonoro a sons aéreos.

Os resultados obtidos e os conhecimentos adquiridos, durante o desenvolvimento desta tese, podem ser consideravelmente ampliados. Para dar continuidade ao trabalho realizado nesta dissertação ou melhorar o estudo desenvolvido, são apresentadas algumas sugestões:

- Investir em técnicas de mistura e moldagem das placas de forma a obter amostras com uma organização das partículas mais uniforme;
- Controlar as espessuras e massas volúmicas das amostras com diferentes composições de maneira a ser mais fácil comparar os resultados apenas em função da composição;
- Realizar estudos com outras percentagens de casca de arroz, borracha de pneu reciclado e de aglutinante;
- Realizar alguns dos ensaios efetuados com amostras de maiores dimensões;
- Estudar a reação que as amostras com casca de arroz e borracha reciclada apresentam quando sujeitas ao fogo;
- Estudar novas combinações interessantes para a construção, utilizando diferentes materiais reciclados, como por exemplo, vidro, materiais plásticos, etc, e não se limitar a utilizar somente o granulado de borracha de pneus reciclados e casca de arroz.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agronegócios@, (2015). <http://www.agronegocios.eu/noticias/o-arroz/>. Obtido em 12 de Outubro de 2016.

Ali, M. (2010). “Coconut Fibre- A Versatile Material and its Applications in Engineering”. Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Universidade Politecnica delle Marche, Ancona, Itália.

Amorimisolamentos@, (2014). <http://www.amorimisolamentos.com/produtos/>. Obtido em 24 de Janeiro de 2017.

Apambiente@, (2016).  
<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=19&subref=132&sub2ref=195>. Obtido em 11 de Novembro de 2016.

Atanda, J. (2015). “Environmental impacts of bamboo as a substitute constructional material in Nigeria”, Case Studies in Construction Materials, May, Pages 33-39.

Audaces@ (2015).  
<http://www.audaces.com.br/desenvolvimento/falando-desenvolvimento/2015/12/07/historia-da-moda-origem-e-processo-de-producao-da-fibra-do-linho>. Obtido em 9 de Novembro de 2016.

Bosia, D., Savio, L., Thiebat, F., Patrucco, A., Fantucci, S., Piccablotto, G., Marino, D. (2015). “Sheep wool for sustainable architecture”, 6th International Building Physics Conference, Energy Procedia, Italy, Pages 315-320.

Carus, M., Sarmiento, L. (2016). “The European Hemp Industry; Cultivation, processing and applications for fibres, shivs, seeds and flowers”, European Industrial Hemp Association, Germany.

Castilhos, L.F.F. (2011). “Aproveitamento da fibra de coco”, Dossiê técnico, Instituto de Tecnologia do Paraná, Agosto.

- 
- Chabannes, M., Bénézet, J.C., Clerc, L., Garcia-Diaz, E. (2014). “Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application”, *Construction and Building Materials*, Vol. 70, Pages 428-438.
- Choi, N.W., Mori I., Ohama, Y. (2016). “Development of rice husks–plastics composites for building materials”, *Waste Management*, Vol. 26 (2006), Pages 189–194.
- Chungsangunsit, T., Gheewala, H.S., Patumsawad, S. (2009). “Emission Assessment of Rice Husk Combustion for Power Production”. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, Vol. 3, N°5. Pages 625-630.
- COBA, (2007). “Projecto de Desenvolvimento Agrícola do Baixo Mondego”. Projecto de emparcelamento e execução das redes secundárias de rega, drenagem e viária do bloco 6 – Bloco de Maiorca, Ministério da Agricultura, do desenvolvimento rural e das pescas., Vol. 2.
- Decreto-Lei n.º 43/2004 de 2 de Março, “Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território”, *Diário da República*, Páginas 1108-1109.
- Decreto-Lei n.º 111/2001 de 6 de Abril, “Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território”, *Diário da República*, Páginas 2046-2050.
- Dias, S. (2015). “Atenuação de vibrações por apoios constituídos por aglomerado de cortiça expandida (ICB), ” Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1 Vol..
- Escamilla, E.Z., Habert, G. (2014). “Environmental impacts of bamboo-based construction materials representing global production diversity”, *Journal of Cleaner Production*, January, Vol. 69, Pages 117-127.
- FAO@, (2016). <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Obtido em 15 de Novembro de 2016
- Fazfacil@, (2016). <http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/materiais-construcao-sustentaveis/>. Obtido em 9 de Novembro de 2016.
- Fmagricola@, (2011).  
[https://www.fmagricola.com.br/portal/manuais/infestantes\\_hf/files/assets/basic-html/page271.html](https://www.fmagricola.com.br/portal/manuais/infestantes_hf/files/assets/basic-html/page271.html). Obtido em 9 de Novembro de 2016.
-

---

Fragmaq@, (2013). <http://www.fragmaq.com.br/blog/energia-limpa-biomassa-palha-arroz/>. Obtido em 12 de Outubro de 2016.

Fuchic@, (2015). <http://www.fuchic.com.br/single-post/2015/07/07/Juta-a-fibra-de-mil-utilidades>. Obtido em 9 de Novembro de 2016.

Garcia, R. (2002). “Começa hoje a cimeira mundial do desenvolvimento sustentável”. *Jornal Público*, 26 de Agosto de 2002, Lisboa.

Guaduabamboo@, (2008). <https://www.guaduabamboo.com/construction/advantages-of-building-with-bamboo>. Obtido em 9 de Novembro de 2016.

Hemparchitecture@, (2016). <http://www.hemparchitecture.com/#/hemp-plant/> . Obtido em 2 de Novembro de 2016.

Hesami, S., Hikouei, I.S., Emadi, S. (2016). “Mechanical behaviour of self-compacting concrete pavements incorporating recycled tire rubber crumb and reinforced with polypropylene fiber”. *Journal of Cleaner Production*, April, Vol. 133, Pages 228-234.

Hespanha, P., Reis, J. (1988). “O Desenvolvimento do Baixo Mondego: Economias Regionais e Intervenção do Estado”. Coimbra: Comissão de Coordenação da Região Centro.

Hussain, I., Damatty, A.A. (2009). “An Economical Solution for the Environmental Problem Resulting from the Disposal of Rice Straw”, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Western Ontario, Canada.

Hwang, C.L., Tran, V.A., Hong, J.W., Hsiesh, Y.C. (2016). “Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites”, *Construction and Building Materials*, Vol.127, Pages 984-992.

Ip, Kenneth., Miller, A. (2012). “Life cycle greenhouse gas emissions of hemp-lime wall constructions in the UK”, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 69, Pages 1-9.

Itecons@, (2016).

Itecons.uc.pt:<http://www.itecons.uc.pt/projectos/baixomondego/index.php?module=sec&id=308>. Obtido em 12 de Outubro de 2016.

Jular@ (2016). <http://www.jular.pt/ecologia>. Obtido em 9 de Novembro de 2016.



---

KIBERT, C. (2013). “Sustainable Construction: Green building design and delivery” ISBN-13: 978-0470904459, New Jersey, EUA.

Lambda-messtechnik@, (2016). <http://www.lambda-messtechnik.de/en/thermal-conductivity-test-tool-ep500e/guarded-hot-plate-apparatus-lambda-meter-ep500e-design-and-function.html> Obtido em 14 de Dezembro.

Madurwar, M.V., Ralegaonkar, R.V., Mandavgane, S.A. (2013). “Application of agro-waste for sustainable construction materials: a review”, *Construction and Building Materials*, Volume 38, Pages 872–878.

Mateus, R., Bragança, L. (2006). “Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção”. Edições Ecopy, ISBN 978-989-95194-1-1, Ermesinde.

Matrec@, (2014). <https://www.matrec.com/materiali>. Obtido em 12 de Novembro.

Millerwastemills@, (2016). <http://www.millerwastemills.com/materials/wood-fiber/>. Obtido em 9 de Novembro de 2016.

Mintorogo, D.S., Widigdo, W.K., Juniwati, A. (2015). “Application of coconut fibre as outer eco-insulation to control solar heat radiation on horizontal concrete slab rooftop”, *Procedia Engineering*, Vol. 125, Pages 765-772, (The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF-5)).

Monteiro, C.A.M. (2016). “Estudo Acústico e Térmico de Compósitos de Materiais Naturais”, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Coimbra, Coimbra , 1 Vol..

Novarroz@, (2014). <http://novarroz.pt/pt/mundo-do-arroz/arroz-em-portugal/1-a-producao-de-arroz-em-portugal>. Obtido em 12 de Outubro.

Oliveira, T., Mareze, P., Pereira, M., Aguirre, S., Fonseca, W., Brandão, E., Pirk, R. (2016). “Sound absorption coefficient measurement based on the Transfer Function Method specified by the standard ISO 10534-2 using low-cost alternatives”. *Proceedings of the 22nd International Congress on Acoustics*, Buenos Aires.

ONU, (1972). “Declaração de Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano”, Estocolmo, Suécia.

- 
- ONU, (2015). “Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável”, Nova Iorque, EUA
- Pinheiro, M. (2006). “Ambiente e Construção Sustentável”, Instituto do Ambiente, ISBN-972-8577-32-X, Amadora, Lisboa.
- Portalvенеza@, (2012). <https://www.portalvенеza.com.br/liminar-suspende-funcionamento-de-industria-de-arroz/>. Obtido a 12 de Outubro.
- Santos, M. (2013). “O Cânhamo como material de construção: Viabilidade e Oportunidade”, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Fernando Pessoa, Porto, 1 Vol..
- Santos, S., Limão, A., Barbosa, P., Cachaço, B. (2008). “Sustentabilidade para principiantes”. Sustentare, Consultoria em Sustentabilidade Vol. 1, Novembro, Páginas 1-10.
- Silva, A. (2012). “A aplicação de Materiais Sustentáveis na Redução do Ruído”, Departamento de Engenharia Civil. Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra, 1 Vol..
- Silva, E., Marques, M., Junior, C.F. (2012). “Aplicação da Fibra de Coco em Matrizes Cimentícias”, Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, ISSN: 2236-1170, Vol. 8, Páginas 1555-1561, Bahia, Brasil.
- Silva, S.A. (2011). “Aproveitamento Sustentável da Borracha Proveniente dos Pneus Usados”, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1 Vol..
- Soares, N. (2011). “O Desenvolvimento da Região do Baixo Mondego a partir dos anos 60. A cultura do Arroz”. Trabalho realizado no âmbito da unidade curricular de Fontes de Introdução Sociológica, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Sousa, F. (2010). “Optimização de métodos de escolha de materiais com base no desempenho sustentável”, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Porto, Porto, 1 Vol..
- Sutas, J., Mana, A., Pitak, L. (2011). “Effect of rice Husk and rice husk ash to properties of bricks”, Elsevier, Pages 1061–1067.

---

Teodoro, N. (2011). “Contribuição para a Sustentabilidade na Construção Civil: reciclagem e reutilização de materiais”. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1 Vol..

UNESCO E PNUMA, (1977). “Declaração de Tbilisi,” Tbilisi, Geórgia.

Valorpneu@, (2012).

[http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id\\_object=225&name=Reciclagem](http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=225&name=Reciclagem). Obtido em 12 de Novembro de 2016.

Vantsi, O., Karki, T. (2014). “Utilization of recycled mineral wool as filler in wood-polypropylene composites.” *Construction and Building Materials*, Vol. 55, Pages 220-226.

Vasquinhas, M. (2000). “Um espaço em transformação: a extensão da cultura do arroz nos campos do Mondego, em 1856-88.” *Análise Social*, Vol. XXVI, Páginas 689-703, Coimbra.

Web.fibrenamics@, (2016).

[web.fibrenamics.com.pt:http://www.web.fibrenamics.com/pt/conhecimento/areas-de-aplicacao/construcao-civil/](http://www.web.fibrenamics.com/pt/conhecimento/areas-de-aplicacao/construcao-civil/). Obtido em 4 de Novembro de 2016.

Word-of-adventures@, (2014). <http://world-of-adventures.ru/ledy-diana/loshhina-chyornogo-bambuka-bermudskij-treugolnik-podnebesnoj/>. Obtido em 14 de Dezembro.

Worldjute@, (2002). [http://www.worldjute.com/about\\_jute/juthist.html](http://www.worldjute.com/about_jute/juthist.html). Obtido em 9 de Novembro de 2016.