



ANTÓNIO CORRÊA MONTEIRO QUEIROZ E MELO
Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

REUTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE ACETATO DE CELULOSE PARA O FABRICO DE COMPÓSITOS À BASE DE GESSO

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA
Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2022



REUTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE ACETATO DE CELULOSE PARA O FABRICO DE COMPÓSITOS À BASE DE GESSO

ANTÓNIO CORRÊA MONTEIRO QUEIROZ E MELO

Licenciado em Ciências de Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor Alberto José Antunes Marques Martinho,
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Coorientador: Professor Doutor João Pedro Sousa Oliveira,
Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutor António Gabriel Marques Duarte Santos,
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Arguentes: Doutor Rui Fernando dos Santos Pereira Martins,
Professor Associado, FCT-NOVA

Orientador: Doutor João Pedro de Sousa Oliveira,
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Reutilização de fibras de acetato de celulose para o fabrico de compósitos à base de gesso

Copyright © António Queiroz e Melo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Alberto Martinho pelo acompanhamento ao longo do trabalho desenvolvido. A sua experiência e dedicação na orientação desta dissertação foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Ao Professor Doutor João Pedro Oliveira pela abertura e disponibilidade que demonstrou ao ter aceitado este desafio e pelo tempo despendido na procura de soluções e análise de resultados.

Ao Rui Gonçalves, que desde o primeiro momento se disponibilizou para me acompanhar ao longo destes meses de trabalho, onde a sua experiência e aconselhamento foram fundamentais.

À minha família e amigos, que me acompanharam e motivaram durante o percurso na faculdade e que foram essenciais na concretização desta jornada.

RESUMO

A procura pelo desenvolvimento de processos produtivos eficientes, sustentáveis e que contribuam para a economia circular, é, aos dias de hoje bastante elevada.

Os materiais compósitos têm ganho espaço no mercado, sendo, em alguns casos utilizados, para substituir outros materiais mais convencionais. Um aumento da resistência mecânica, aliada à redução de densidade e menor custo de produção, fazem com que estes materiais sejam bastante competitivos no mercado.

Sendo o desenvolvimento sustentável um dos temas na ordem do dia, é necessário o desenvolvimento de processos que reintroduzam materiais em fim de vida no ciclo de produção. Em alternativa, é possível dar uma nova utilização ao material, não sendo necessário integrar um novo ciclo de produção.

O objetivo deste trabalho prendeu-se com o estudo da reutilização de fibras de acetato de celulose para produzir um compósito com matriz de gesso. Foram produzidos provetes variando a percentagem mássica de fibras. Posteriormente, foram ensaiados numa máquina de flexão em três pontos e submetidos a um teste de atenuação sonora.

Concluiu-se que a incorporação das fibras de acetato de celulose provocou uma diminuição da tensão de rotura dos provetes, mas permitiu a existência de deformação plástica após a rotura, aumentando a capacidade de deformação e a tenacidade das amostras.

O desempenho acústico dos provetes com fibras foi reduzido comparativamente com os provetes de gesso puro. Verificou-se que atenuação sonora foi semelhante para todos os provetes, com variações na ordem dos 5 a 10 pontos percentuais.

Palavras chave: Reutilização; Gesso; Fibras de acetato de celulose; Ensaio de flexão em três pontos; Ensaio de atenuação sonora;

ABSTRACT

The demand for the development of efficient and sustainable production processes that contribute to the circular economy is nowadays very high.

Composite materials have gained space in the market, in some cases being used to replace other more conventional materials. An increase in mechanical strength, combined with a reduction in density and lower productions costs, make these materials very competitive.

With sustainable development being one of the themes on the agenda, it is necessary to develop processes that reintroduce end-of-life materials into the production cycle. Alternatively, it is possible to give a new use to the material without having to integrate a new production cycle.

The objective of this work was to study the reuse of cellulose acetate fibers to produce a composite with gypsum matrix. Samples were produced varying the mass percentage of fibers. Later they were tested in a three-point bending machine and submitted to a sound attenuation test.

It was concluded that the incorporation of cellulose acetate fibers caused a decrease in the tensile strength of the specimens but allowed the existence of plastic deformation after rupture increasing the deformation capacity and toughness of the specimens.

The acoustic performance of the specimens with fibers was reduced in comparison with pure gypsum specimens. It was found that sound attenuation was similar for all samples, with variations in the order of 5 to 10 percentage points.

Keywords: Reuse; Gypsum; Cellulose Acetate Fiber; Three-point bending test; Sound attenuation test;

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objetivo.....	2
1.3	Estrutura do documento.....	2
2	ENQUADRAMENTO	3
2.1	Materiais compósitos em Engenharia.....	3
2.2	Compósitos de matriz cerâmica com reforço polimérico	5
2.3	Produtos existentes	7
2.4	Resumo do capítulo	10
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1	Caracterização do material a reutilizar	13
3.2	Trituração Mecânica.....	14
3.3	Produção de provetes	15
3.4	Ensaio de flexão em três pontos.....	15
3.5	Ensaio acústico	17
3.5.1	Objetivo.....	17
3.5.2	Parâmetros e metodologia do ensaio	17
3.5.3	Instrumentação utilizada.....	18
3.6	Resumo do capítulo	19

4	DISCUSSÃO DE RESULTADOS	21
4.1	Evolução da massa dos provetes.....	21
4.2	Tempo de cura dos provetes.....	22
4.3	Curvas tensão - extensão	23
4.4	Efeito da variação da percentagem mássica de fibras no gesso.....	26
4.5	Ensaio acústico	27
4.6	Resumo do capítulo	33
5	CONCLUSÕES	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Classificação de materiais compósitos, adaptado de [8].	4
Figura 2.2 - Curva tensão-extensão de cerâmicos e compósitos de matriz cerâmica, [9].	7
Figura 2.3 - Tijolos de cimento reforçados com pedaços de borracha, [15].	8
Figura 2.4 - Tijolos reforçados com fibras de resíduos de chá, [19].	8
Figura 2.5 - Tijolo fabricado a partir de cinzas volantes, [16].	9
Figura 2.6 - Provetes de asfalto com beatas encapsuladas no interior, [21].	10
Figura 3.1 - Filtros sem o revestimento de papel.	14
Figura 3.2 - Liquidificadora PHILIPS <i>Daily Collection</i>, [24].	14
Figura 3.3 - Fibras de acetato de celulose após trituração mecânica.	15
Figura 3.4 - Máquina de flexão em três pontos, [27].	16
Figura 3.5 - Sistema de apoio do ensaio de flexão, [27].	17
Figura 3.6 - Esquema de montagem do ensaio acústico.	18
Figura 4.1 - Redução em percentagem da massa dos provetes.	21
Figura 4.2 - Tempo de cura dos provetes em função da percentagem mássica de fibras.	22
Figura 4.3 - Curva tensão - extensão de um provete com 0%p de fibras.	23
Figura 4.4 - Curva tensão - extensão de um provete com 1,5%p de fibras.	24
Figura 4.5 - Curva tensão - extensão de um provete com 3%p de fibras.	24
Figura 4.6 - Curvas tensão - extensão de vários provetes: a) 4,5%p; b) 6%p; c) 7,5%p; d) 9%p.	25

Figura 4.7 - Tensão de rotura dos provetes em função da percentagem mássica de fibras.	26
Figura 4.8 - Variação da atenuação sonora em função da frequência de teste, para 0%p de fibra.	27
Figura 4.9 - Variação do isolamento acústico representativo de 1,5%p de fibras.	28
Figura 4.10 - Atenuação sonora de provetes com 3%p de fibras.	28
Figura 4.11 - Isolamento acústico de provetes com 6%p de fibras.	29
Figura 4.12 - Atenuação sonora para os provetes de 7,5%p de fibras.	30
Figura 4.13 - Variação do isolamento acústico para os provetes com 9%p de fibras.	30
Figura 4.14 - Variação da atenuação sonora para todas as percentagens mássicas.	31

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Especificações da instrumentação utilizada.....	19
--	----

INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

A preocupação com o desenvolvimento sustentável, conceito utilizado pela primeira vez em 1987, tem sido alvo de diversas análises para a criação de processos produtivos eficientes e sustentáveis [1]. O desenvolvimento sustentável divide-se em três componentes principais: sustentabilidade ambiental, económica e sociopolítica [2]. Um dos grandes problemas que tem sido abordado ao longo dos últimos anos, e que abrange as três componentes do desenvolvimento, é a utilização das beatas de cigarros.

As beatas de cigarros constituem um sério problema ambiental. Em 2012 foram consumidos aproximadamente 6,25 biliões de cigarros em todo o Mundo [3]. Estão presentes nos filtros de cigarros mais de 7000 químicos, dos quais pelo menos 69 são conhecidos por serem cancerígenos e causarem cancro [4]. Isto gera vários milhões de toneladas de lixo tóxico, que representa um risco elevado para o ambiente e para todos os seres vivos [5]. O filtro do cigarro é constituído, na maioria dos casos, por fibras de acetato de celulose, que apesar de serem de origem orgânica, possuem uma biodegradabilidade reduzida [6].

Os processos de depósito de beatas em aterros e os processos de incineração, não são, nem sustentáveis, nem economicamente eficientes. Numa sociedade em permanente desenvolvimento transversal a todos os setores, este tipo de soluções não é admissível [5]. A reciclagem de beatas é difícil, uma vez que não existem mecanismos em grande escala que garantam a separação eficiente das beatas e o tratamento dos químicos incorporados nos filtros [7].

Devido aos constrangimentos inerentes ao processo de reciclagem de beatas de cigarros, e aos problemas ambientais causados por este tema, é necessário procurar alternativas para a sua reutilização.

1.2 Objetivo

O objetivo do trabalho desenvolvido nesta dissertação é verificar se a introdução de pequenas percentagens mássicas de fibras de acetato de celulose em gesso, é viável. Pretende-se investigar qual é a influência das fibras de acetato de celulose na resistência mecânica das amostras, através de um ensaio de flexão em três pontos. Para além da resistência mecânica, pretende-se verificar se a introdução deste polímero no gesso proporciona um melhor isolamento acústico.

Verificando-se estas duas hipóteses, cria-se um produto com valor acrescentado que pode ter aplicabilidade no âmbito de Engenharia. Este produto, através da reutilização de um material em fim de vida, contribui para a economia circular e para a diminuição do consumo de recursos.

1.3 Estrutura do documento

A presente dissertação está dividida em 5 capítulos:

- Capítulo 1: motivação e objetivos;
- Capítulo 2: apresentação do enquadramento do trabalho e estado de arte;
- Capítulo 3: descrição dos materiais e métodos utilizados;
- Capítulo 4: apresentação e discussão dos resultados;
- Capítulo 5: conclusões e trabalhos futuros.

ENQUADRAMENTO

No presente capítulo irá ser apresentada a pesquisa bibliográfica realizada para esta dissertação. Encontra-se neste capítulo uma breve contextualização relativamente aos materiais compósitos, com particular destaque para compósitos de matriz cerâmica e reforço polimérico. Também é feita uma apresentação de materiais compósitos relacionados com o tema desta dissertação. Serão apresentados de forma sintética, tanto produtos cerâmicos inovadores reforçados com materiais em fim de vida como aplicações de reutilização de beatas de cigarros. O objetivo desta exposição é compreender a razão da criação destes produtos e verificar quais as propriedades finais obtidas.

2.1 Materiais compósitos em Engenharia

A classificação de materiais compósitos iniciou-se em meados do século XX, com a manufatura de compósitos multifásicos deliberadamente projetados e concebidos, como é o caso dos polímeros reforçados com fibra de vidro [8].

Um material compósito é um material composto por dois ou mais constituintes com propriedades físicas e químicas diferentes. Através da sua combinação pretende-se obter um material com propriedades melhores do que cada um dos componentes individualmente, o que é de interesse elevado em Engenharia. A aplicação nas indústrias aeronáutica, militar e espacial já é uma realidade e prevê-se que estes materiais possam vir a complementar ou até substituir materiais utilizados em outras áreas de Engenharia. A obtenção de materiais com maior resistência mecânica, combinada com uma redução de densidade e menores custos são algumas das razões que motivam a substituição de materiais mais tradicionais por compósitos [9].

Um compósito é constituído por um reforço que está embebido numa matriz. A matriz é um componente contínuo, que pode ser de origem metálica, cerâmica ou polimérica. Uma das funções

da matriz é distribuir os esforços ao longo das fibras e garantir a coesão volumétrica. O reforço, que pode consistir em fibras ou partículas, é um componente descontínuo. As propriedades do produto final obtido estão dependentes das percentagens relativas de cada constituinte e da geometria e dimensão do reforço [10].

A classificação deste tipo de materiais pode ser sintetizada de forma genérica no esquema da Figura 2.1.

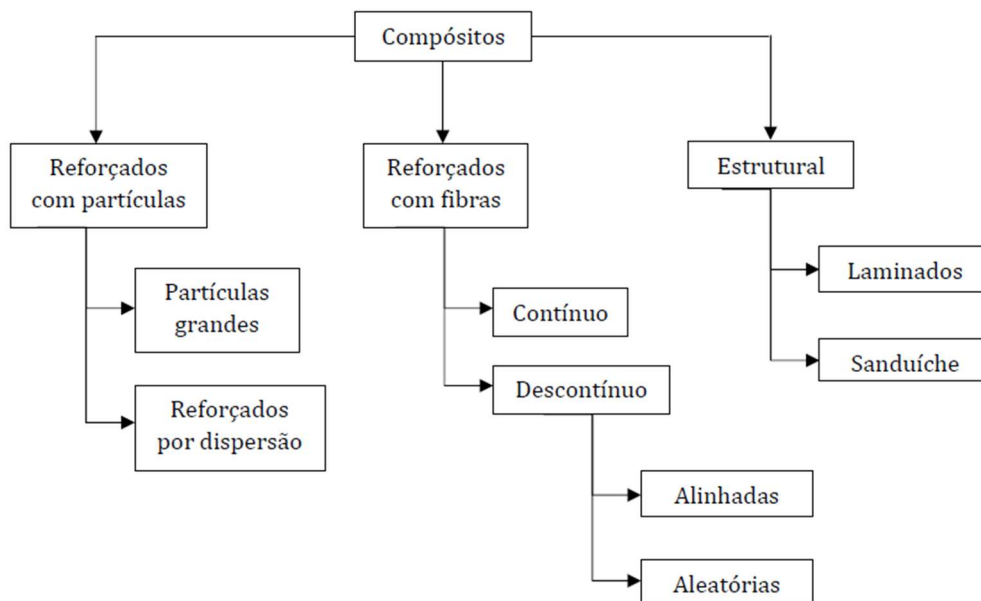


Figura 2.1 - Classificação de materiais compósitos, adaptado de [8].

Como se pode observar na Figura 2.1, a classificação de compósitos reforçados com partículas é dividida em duas subclassificações: partículas grandes e reforçadas por dispersão. A diferença entre estas classificações reside no mecanismo de reforço. O termo partículas grandes é utilizado para indicar que a interação partículas-matriz não pode ser classificada como uma interação atômica ou molecular. Na maioria dos casos as partículas são mais resistentes do que a matriz. Estas partículas tendem a conferir um aumento de resistência da matriz. O comportamento mecânico do compósito depende da resistência na fronteira entre a matriz e o reforço [8].

As principais vantagens dos compósitos relativamente a materiais mais tradicionais são a baixa densidade, elevada resistência mecânica, resistência à corrosão e impacto, e durabilidade. A gama de aplicações de materiais compósitos é extensa. As áreas de construção, energia, indústria aeronáutica e aeroespacial são alguns dos exemplos de utilização destes materiais [10].

A seleção do tipo de material compósito a utilizar deve ter como base a satisfação dos requisitos de projeto. A escolha do material da matriz e a dimensão e geometria do reforço, bem

como das percentagens relativas de cada um dos componentes, deve possibilitar a obtenção de um compósito com propriedades que garantam um bom desempenho durante a sua utilização.

2.2 Compósitos de matriz cerâmica com reforço polimérico

Na área de ciências dos materiais, a maioria dos materiais de engenharia são divididos em três grandes classes: metais, polímeros e cerâmicos. Os materiais com maior destaque ao longo desta dissertação serão os dois últimos. A matriz dos materiais compósitos pode ser de origem metálica, polimérica ou cerâmica. Visto que o trabalho a ser desenvolvido nesta dissertação envolve a utilização de materiais compósitos de matriz cerâmica com reforço polimérico, é importante conhecer as propriedades destes dois materiais.

Os cerâmicos são materiais sólidos inorgânicos, não metálicos, ligados quimicamente entre si por ligações essencialmente iônicas e/ou covalentes [11]. Para uma utilização adequada deste tipo de materiais interessa conhecer as suas propriedades mecânicas. Este tipo de materiais tem várias propriedades interessantes tais como a elevada resistência à compressão, elevada dureza e baixa condutividade térmica. A resistência a elevadas temperaturas torna este tipo de materiais atrativo. No entanto, a reduzida tenacidade à fratura limita a utilização de cerâmicos em aplicações estruturais. Enquanto os metais deformam plasticamente devido ao elevado número de deslocamentos, os cerâmicos não apresentam deformação plástica à temperatura ambiente e têm propensão a falhas catastróficas. Os cerâmicos são pouco tolerantes a fissuras que podem ter origem tanto no processo de fabrico como em serviço. Uma fissura, ainda que tenha uma dimensão muito reduzida, pode facilmente atingir uma dimensão crítica e originar uma falha repentina do material [12].

A dureza destes materiais possibilita a sua utilização como abrasivos, desbaste e polimento de materiais menos duros. A resistência ao calor dos cerâmicos proporciona a sua utilização como materiais refratários, isto é, materiais que mantêm as suas propriedades na presença de temperaturas elevadas. Os cerâmicos também podem ser utilizados como isolantes térmicos e elétricos [8].

Os polímeros são, de uma forma geral, macromoléculas resultantes da união de moléculas pequenas, denominadas por monómeros. Os monómeros são moléculas com massa molecular reduzida a partir das quais se dá a reação de polimerização que gera o polímero [8]. Este tipo de material pode ser de origem natural ou sintética. O amido, substância presente em diversos alimentos como é o caso das batatas, arroz e trigo, é um polímero de origem natural. Os polímeros sintéticos são produzidos em laboratório e podem ser divididos em três grupos: termoplásticos,

elastômeros e termoendurecíveis. Os termoplásticos são plásticos que apresentam elevada viscosidade quando são aquecidos, possibilitando a moldagem para obtenção de um produto. Um dos exemplos mais comuns de materiais produzidos através de termoplásticos são os blocos de *Legó*. Os elastômeros, como o próprio nome sugere, são polímeros com boas propriedades elásticas, e são vulgarmente utilizados no fabrico de pneus de automóveis. Por último, os termoendurecíveis são materiais que se caracterizam por endurecer quando aquecidos a uma determinada temperatura. A forma adquirida pelo material é irreversível, tornando impossível a reutilização destes polímeros. A reação através da qual se obtêm os polímeros termoendurecíveis é designada por reticulação [8].

Enquanto a finalidade dos reforços como fibras ou partículas em compósitos de matriz, metálica ou polimérica, é aumentar a resistência, o reforço em compósitos de matriz cerâmica tem como objetivo aumentar a tenacidade. O aumento de tenacidade proporcionado pelos reforços na matriz cerâmica ocorre devido a mecanismos de dissipação de energia. Estes mecanismos passam pela descolagem da fibra em relação a matriz, a flexão das fissuras e *pull-out* da fibra. É possível ter uma noção da curva tensão-extensão de cerâmicos e compósitos de matriz cerâmica através da Figura 2.2. Os mecanismos de descolagem fibra-matriz e *pull-out* das fibras só é possível devido a uma interface matriz-reforço relativamente fraca. Caso a fronteira seja muito forte, a propagação da fissura irá ser mais rápida, resultando numa pequena absorção de energia [9].

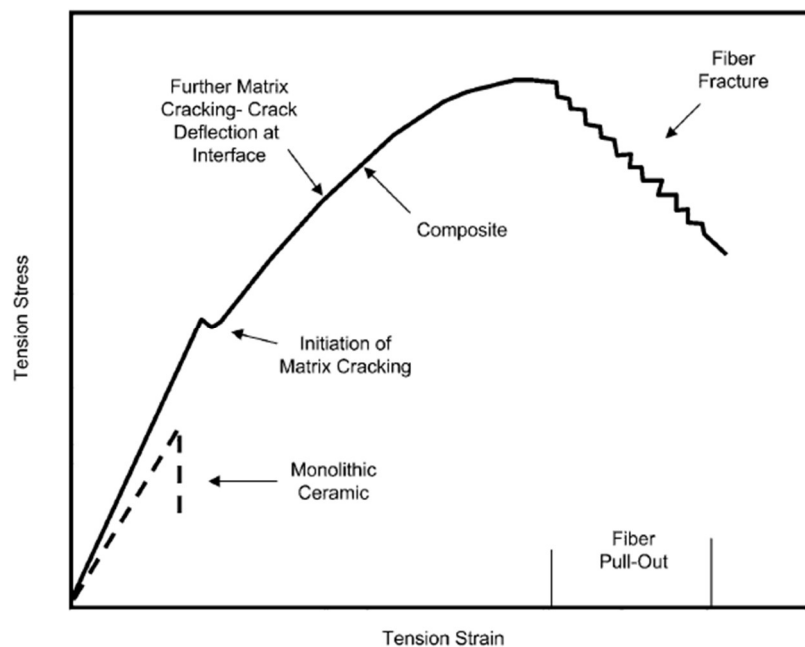


Figura 2.2 - Curva tensão-extensão de cerâmicos e compósitos de matriz cerâmica, [9].

Visto que a área abaixo da curva representa a tenacidade do material, é evidente o aumento desta propriedade em compósitos de matriz cerâmica relativamente a materiais cerâmicos.

Os métodos de fabrico de compósitos de matriz cerâmica podem ser através de processos no estado sólido, líquido ou gasoso para incorporar o reforço na matriz. Em qualquer destes processos os objetivos são obter porosidade reduzida, homogeneidade na dispersão do reforço ao longo da matriz e controlo na fronteira entre a matriz e as fibras. O método mais convencional é o fabrico a partir de pó. Este processo pode ser utilizado para obter um cerâmico reforçado com fibras descontínuas, sendo que é mais eficaz com o uso de fibras curtas uma vez que as fibras longas se transformam em fibras curtas durante o processo de mistura.

2.3 Produtos existentes

O produto que se pretende obter neste trabalho é um cerâmico que na sua constituição tenha fibras de acetato de celulose. Este material já foi alvo de diversos estudos para desenvolvimento de produtos e também já foram criados materiais que na sua composição integram materiais em fim de vida, possibilitando a sua reutilização [13], [14]. A reutilização de produtos em fim de vida tem como principal objetivo criar produtos com valor acrescentado e que contribuam para a diminuição de consumo de recursos. Deste modo dá-se continuidade ao ciclo de vida do produto e à economia circular.

Na Figura 2.3 é possível observar um exemplo da reutilização de borracha proveniente de pneus usados através da sua incorporação num tijolo de cimento. Foram introduzidas diferentes percentagens volumétricas de borracha com objetivo de verificar, entre outras propriedades, a influência no isolamento térmico deste produto [15].



Figura 2.3 - Tijolos de cimento reforçados com pedaços de borracha, [15].

Existem diversos casos de estudo de produção de materiais de construção com materiais reutilizados [16]–[18]. É o caso da Figura 2.4, onde foram fabricados tijolos com fibras de resíduos de chá. O objetivo deste estudo foi verificar se a produção destes tijolos é viável assegurando as propriedades mecânicas e a durabilidade deste componente [19].

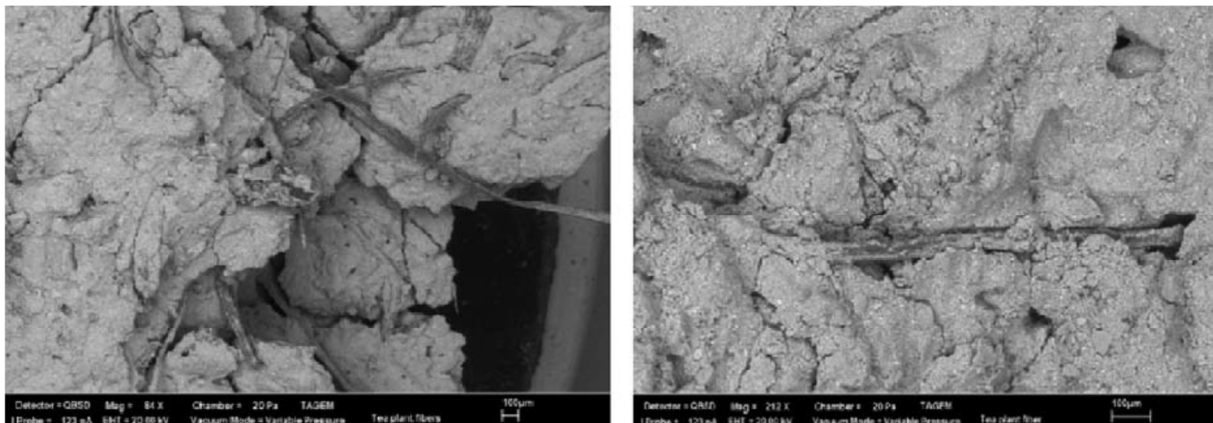


Figura 2.4 - Tijolos reforçados com fibras de resíduos de chá, [19].

Foram desenvolvidos tijolos cuja composição é única e exclusivamente cinzas obtidas através de processos de queima de combustível nas centrais termoelétricas a carvão. Os produtos obtidos apresentaram boas propriedades. Verificou-se uma diminuição de densidade de 28% e um aumento da resistência à compressão de 24%, comparativamente a tijolos tradicionais [16]. Na Figura 2.5 está apresentado este produto inovador obtido a partir de material reutilizado.

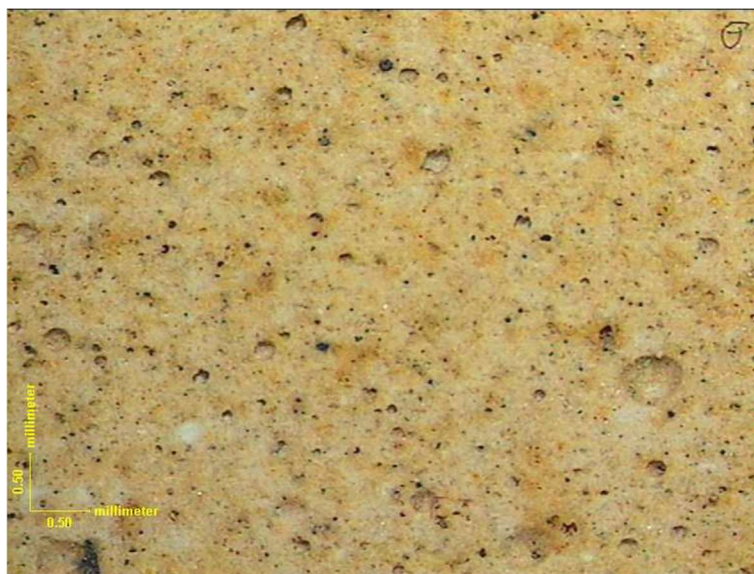


Figura 2.5 - Tijolo fabricado a partir de cinzas volantes, [16].

Existem estudos que recorreram a resíduos de produtos reciclados para fabricar novos componentes. A preocupação com a obtenção de um produto com condutividade térmica reduzida originou o uso de resíduos de papel reciclado no fabrico de um tijolo poroso e de baixa densidade. Os resultados obtidos indicaram que a redução da condutividade térmica foi superior a 50% em relação a um tijolo sem a inclusão de resíduos de papel reciclado. Apesar da porosidade deste

produto, a resistência mecânica manteve-se acima dos valores de referência para a utilização em aplicações construção [18].

Foi analisada a tentativa de desenvolver um produto cerâmico a partir da mistura de argila com lama de curtume, designação dada ao processo de curtir couros. O principal objetivo deste estudo foi testar a reutilização destes resíduos do processo de curtume no fabrico de produtos cerâmicos. As propriedades obtidas indicaram que a utilização deste produto é viável desde que a proporção de material seja adequada [20].

A reutilização de sedimentos de dimensões reduzidas em materiais cerâmicos, em particular tijolos e telhas, também já foi alvo de análise. A incorporação destes resíduos, na percentagem correta, contribui para a diminuição da porosidade e da contração durante o processo de cozedura do cerâmico. Para a mesma percentagem de resíduos, as propriedades mecânicas do produto não se alteraram [17].

A reciclagem de beatas de cigarros ainda não é um processo suficientemente desenvolvido, por isso uma alternativa é a reutilização. Este produto em fim de vida já foi reutilizado em diversos processos produtivos. Alguns deles irão ser apresentados de seguida.

Uma das investigações realizadas para reutilizar beatas de cigarros foi a incorporação em provetes de asfalto para construções de pavimentos. O fundamento desta utilização é restringir a interação de beatas com o ambiente através do seu encapsulamento. Foram analisadas as propriedades mecânicas das amostras obtidas com base nos padrões exigidos para a circulação de veículos em regime de tráfego ligeiro, médio e elevado. Na Figura 2.6 encontram-se alguns dos provetes obtidos neste estudo [21].



Figura 2.6 - Provetes de asfalto com beatas encapsuladas no interior, [21].

Num outro estudo foram analisadas as propriedades físicas e o desempenho acústico de fibras de acetato de celulose obtidas a partir de beatas de cigarros, para uma potencial utilização como isolante sonoro. A densidade aparente e a porosidade têm um efeito importante nas propriedades acústicas. Os resultados obtidos demonstram que o desempenho acústico dos filtros de cigarros usados e não usados é semelhante, sendo que os últimos apresentam um desempenho ligeiramente superior para frequências baixas principalmente devido a uma maior porosidade do que os filtros usados. Este material reutilizado como absorvedor acústico pode competir com materiais acústicos tradicionais. A sua utilização na construção de edifícios ou barreiras acústicas deve ser analisada [22].

Visto que uma parte importante do filtro é composta por acetato de celulose, um método para a sua reciclagem é o aproveitamento para o fabrico de pasta de celulose para a produção de papel. Os resultados obtidos indicam que este processo pode ser considerado como um método alternativo para a produção de papel, apesar da falta de brancura devido a uma purificação pouco adequada dos resíduos presentes nos filtros de cigarros [23].

2.4 Resumo do capítulo

Atualmente, o nível de desenvolvimento de processos e produtos compósitos sustentáveis e economicamente eficientes é bastante elevado. A sustentabilidade passa pela investigação de produtos que contribuam para a economia circular. Por outro lado, também é importante desenvolver processos cujos requisitos energéticos sejam reduzidos.

Nesse sentido, pretende-se investigar a viabilidade da utilização de um compósito à base de gesso com reforço de fibras de acetato de celulose. Pretende-se investigar a influência das fibras na resistência mecânica dos provetes e também no isolamento acústico. No capítulo seguinte serão apresentados os materiais e métodos utilizados.

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do material a reutilizar

Um dos objetivos do trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação, é reutilizar fibras de acetato de celulose para produzir um compósito à base de gesso. Optou-se por utilizar em primeiro lugar o mesmo material em estado virgem, isto é, filtros de cigarros, devido a questões higiénicas e tratamento das fibras. A reutilização correta das fibras pressupõe um tratamento e controlo dos níveis de humidade de forma a não comprometer o seu comportamento. Para além do controlo de humidade, é necessário fazer uma seleção das fibras para reutilizar apenas as que se encontrem em bom estado de conservação.

Os filtros utilizados apresentam uma geometria cilíndrica e dimensões variadas. Foram utilizados filtros com duas geometrias distintas. A primeira com diâmetro de 8 mm e comprimento de 22 mm, enquanto a segunda geometria apresentava um diâmetro de 6 mm e comprimento de 6 mm. A utilização de dois modelos diferentes de filtros não teve implicações no processo de produção de provetes, uma vez que a trituração realizada permitiu obter fibras com homogeneidade dimensional. Estes filtros possuem um revestimento de papel, que foi removido manualmente para posterior utilização no fabrico de provetes. Na Figura 3.1 pode-se observar o filtro sem o revestimento. Do ponto de vista industrial, seria interessante investigar e desenvolver um processo automático que permitisse a remoção do revestimento do filtro.



Figura 3.1 - Filtros sem o revestimento de papel.

A utilização dos filtros conforme apresentado na Figura 3.1, é pouco interessante uma vez que a dispersão na matriz de gesso é reduzida. Para melhorar a distribuição do reforço na matriz, optou-se por realizar um processo de trituração mecânica dos filtros.

3.2 Trituração Mecânica

O objetivo do processo de trituração mecânica é transformar os filtros em fibras de forma a proporcionar uma melhor dispersão do reforço ao longo da matriz de gesso. A trituração dos filtros foi realizada com recurso a uma liquidificadora doméstica *PHILIPS Daily Collection*, disponível no Laboratório de Máquinas do DEMI. Este equipamento apresenta uma potência nominal de 500 W, e está apresentado na Figura 3.2. O corte das fibras ocorre devido ao movimento circular das 4 lâminas da máquina.



Figura 3.2 - Liquidificadora PHILIPS *Daily Collection*, [24].

A trituração mecânica das fibras foi realizada de forma iterativa até garantir a homogeneidade dimensional das mesmas. As fibras obtidas têm um comprimento médio de 10 mm e estão apresentadas na Figura 3.3. Devido à homogeneidade dimensional obtida através da trituração mecânica, não foi necessário recorrer a nenhum processo de separação das fibras.



Figura 3.2 - Fibras de acetato de celulose após trituração mecânica.

3.3 Produção de provetes

O fabrico dos provetes decorreu segundo as normas ASTM C1185 e ASTM D790, cuja recomendação é a produção de pelo menos três amostras por grupo, com as dimensões $180 \times 30 \times 10$ mm [25], [26]. O fabrico dos provetes foi idêntico para todas as amostras. Primeiramente, juntou-se o gesso com as fibras, até obter uma mistura homogênea. De seguida, adicionou-se a água e envolveu-se a mistura até atingir a uniformidade pretendida. Após a mistura dos diferentes elementos, procedeu-se à colocação da mistura nos moldes de madeira previamente preparados. O tempo decorrido até à remoção de todos os provetes dos moldes foi 24 horas [27].

Foram produzidos 21 provetes, com percentagens mássicas de fibras de acetato de celulose de 0%p até 9%p. Para assegurar que todos os provetes estavam em condições de ser submetidos a ensaios experimentais, foi feito um controlo da massa dos provetes após o seu fabrico. A massa das amostras com 3%p, 4,5%p e 6%p de fibras de acetato de celulose foi controlada 1, 2, 3 e 6 dias após o seu fabrico. Para as amostras com 7,5%p e 9%p foram efetuadas pesagens 1, 4 e 6 dias depois da produção das mesmas.

3.4 Ensaio de flexão em três pontos

As propriedades mecânicas dos provetes produzidos foram avaliadas com recurso a um ensaio de flexão em três pontos. Os provetes foram ensaiados após a sua massa estabilizado, coincidindo com o tempo de cura. Este ensaio foi realizado numa máquina de flexão que se encontra disponível no Laboratório de Máquinas do DEMI e está apresentada na Figura 3.4. A partir deste ensaio é possível obter um gráfico tensão extensão dos provetes ensaiados. Todos os provetes

produzidos anteriormente foram testados, com as dimensões em conformidade com o Capítulo 3.3.

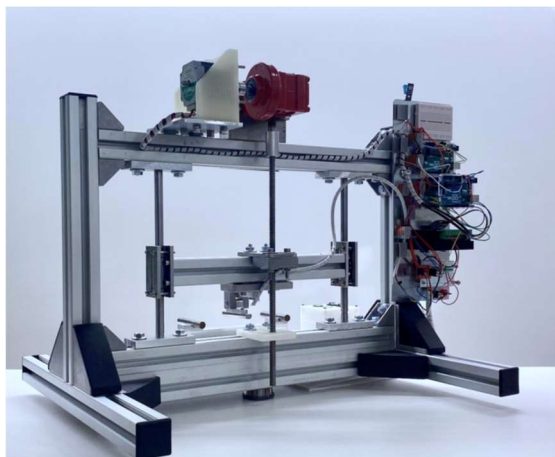


Figura 3.3 - Máquina de flexão em três pontos, [27].

Os parâmetros do ensaio foram mantidos constantes para todos os provetes. A distância entre os apoios de suporte do provete foi de 160 mm, sendo que o ponto de aplicação de carga se encontrava equidistante dos apoios. A aplicação de carga teve início imediatamente após o contacto entre a máquina e o provete, de forma a minimizar as folgas existentes entre ambos. A velocidade de realização do ensaio foi de 2 mm/min, permanecendo constante em todos os ensaios realizados [27]. O sistema de apoio dos provetes e aplicação de carga encontra-se ilustrado na Figura 3.5.

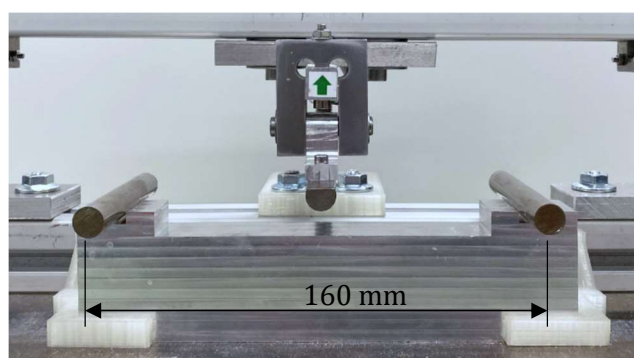


Figura 3.4 - Sistema de apoio do ensaio de flexão, [27].

3.5 Ensaio acústico

3.5.1 Objetivo

Para além do ensaio de flexão em três pontos, que permite caracterizar o comportamento mecânico dos provetes produzidos, foi também realizado um ensaio acústico. O objetivo deste ensaio, de uma forma resumida, é avaliar o isolamento acústico proporcionado pelas amostras com diferentes percentagem mássica das fibras de acetato de celulose. Gerando um campo sonoro a montante da amostra e através de medições de intensidade sonora a montante e a jusante do provete é possível calcular o isolamento acústico pelo provete em análise.

3.5.2 Parâmetros e metodologia do ensaio

Uma vez que se pretende utilizar este compósito em ambientes cuja gama de frequências é audível por pessoas, optou-se por realizar os ensaios numa gama de 200 Hz a 20 kHz. Mais concretamente, foram feitos ensaios às frequências de 200, 500, 750, 1k, 2k, 3k ...18k, 19k e 20kHz.

As condições ambiente dos ensaios foram aproximadamente constantes ao longo de todas as medições. Evitou-se a realização de ensaios na presença de ruído proveniente de fontes externas e fluxo de ar natural. Assim, os desvios provocados por fatores externos são minimizados.

Na Figura 3.6 está esquematizada a montagem do ensaio acústico. O elemento designado com o número 2 é a amostra a testar. Os elementos apresentados com os números 1 e 3, respetivamente, gerador sonoro e microfone, irão ser apresentados posteriormente com maior detalhe no subcapítulo 3.5.3.

De modo a garantir a uniformidade das condições durante a realização dos ensaios, as medidas D_1 e D_2 apresentadas na Figura 3.6 permaneceram constantes em todas as medições realizadas. O microfone (elemento 3) e o gerador sonoro (elemento 1) encontram-se equidistantes da amostra a ensaiar, sendo a distância D_1 e D_2 2,5 cm. Considerou-se que a dissipação da onda sonora para a distância considerada é desprezável, podendo assim aceitar os resultados obtidos. A duração de cada ensaio foi de 10 segundos, sendo este tempo considerado suficiente para uma aquisição de dados correta para posterior análise.

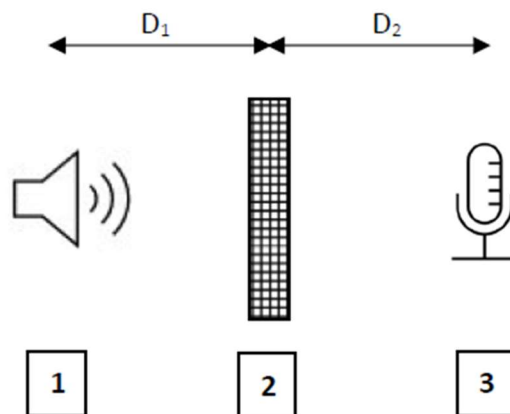


Figura 3.5 - Esquema de montagem do ensaio acústico.

Foram efetuados diversos conjuntos de medições, que correspondem às diferentes frequências de teste. Para todos os conjuntos de ensaios, o procedimento adotado para determinar o isolamento acústico foi semelhante. O isolamento acústico de cada provete é calculado relativamente à intensidade sonora associada à frequência em análise. A primeira medição realizada para cada frequência permite determinar a intensidade sonora de referência associada a essa frequência. Esta medição é efetuada na ausência do elemento 2 (amostra). As restantes medições permitem determinar a intensidade sonora a jusante da amostra (elemento 3, microfone). Tendo os valores de intensidade sonora de todas as amostras para cada valor de frequência analisada, é possível determinar o isolamento acústico proporcionado. Este valor é um coeficiente que resulta do quociente entre o valor de intensidade sonora medido a jusante de cada provete e o valor de referência.

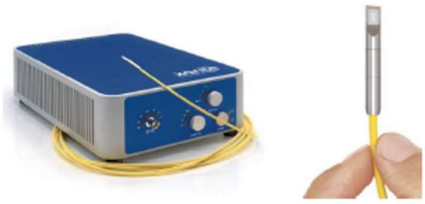
3.5.3 Instrumentação utilizada

Para a realização do ensaio acústico foram utilizados dois equipamentos principais: o gerador sonoro e o microfone para aquisição de dados.

O som foi produzido com recurso a um gerador de som disponível *on-line*. Este gerador permite obter sons puros na gama de frequências pretendida. Por estas razões considera-se que a escolha deste gerador de sinais sonoros é adequada.

No que diz respeito à aquisição de dados, foi utilizado um microfone ótico equipamento utilizado foi o microfone ótico *Xarion Eta250 Ultra* [28]. As características deste equipamento estão sintetizadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Especificações da instrumentação utilizada.

Equipamento	Especificações	Ilustração
Microfone Ótico	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo: Eta250 Ultra • Gama Intensidade Sonora: 50 - 150 dB • Gama de frequências: 10Hz - 1MHz • Sensibilidade: 10mV/Pa • Alimentação: 120V/230V; 50/60 Hz • Sinal de saída: $\pm 15V$ 	

3.6 Resumo do capítulo

Após uma descrição pormenorizada dos métodos e materiais utilizados ao longo da dissertação, estão reunidas as condições para apresentar o capítulo seguinte que diz respeito aos resultados obtidos e respetiva discussão.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Evolução da massa dos provetes

Como referido em 3.3, realizou-se um controlo da massa transversal a todos os provetes após a sua produção. Este foi o primeiro estudo a ser realizado após a remoção dos provetes dos moldes. A pesagem das amostras é importante uma vez que permite analisar qual é a influência das fibras de acetato de celulose no período de cura dos provetes e da sua evolução de massa.

O valor 1 apresentado no eixo das ordendas da Figura 4.1 corresponde à massa inicial do provete.

Na Figura 4.1 é possível observar a redução de massa dos provetes em função da percentagem mássica de fibras de acetato de celulose.

Verifica-se que para os provetes cuja constituição é apenas gesso, isto é, cuja percentagem de fibras é 0%, a redução de massa é aproximadamente 30%, resultante do processo de hidratação do gesso.

Por outro lado, verifica-se que com o aumento da percentagem mássica de fibras, a redução de massa atinge valores maiores. Para os provetes que na sua composição têm fibras de acetato de celulose, a massa de gesso presente nessa amostra é menor. Assim, a hidratação do gesso em termos absolutos quando comparada com os provetes com 0% de fibras é mais reduzida. A água presente nestes provetes, em vez de ser absorvida pelo gesso, evapora, sendo a causa da maior redução de massa dos provetes com fibras na sua constituição.

A maior redução de massa ocorreu para os provetes com 6%p e 9%p, onde a redução de massa foi de aproximadamente 40%.

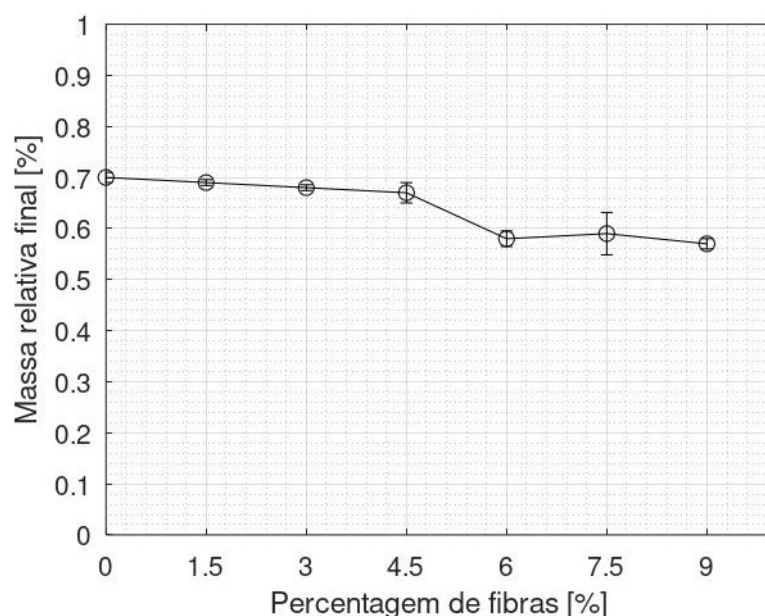


Figura 4.1 - Redução em percentagem da massa dos provetes.

4.2 Tempo de cura dos provetes

O controlo da massa dos provetes ao longo dos dias seguintes à produção, permitiu a recolha de dados para analisar o tempo de cura dos provetes em função da percentagem mássica de fibras. Somente após o tempo de cura ter atingido o seu final, foram realizadas os ensaios de flexão, como mencionado no Capítulo 3.4.

Na Figura 4.2 encontra-se ilustrado o gráfico que relaciona o tempo de cura dos provetes com a percentagem mássica de fibras.

Verifica-se que, para provetes cuja percentagem mássica excede 3%p, o tempo de cura é de 3 a 4 dias.

Como foi mencionado anteriormente no subcapítulo 4.1, para os provetes com maior percentagem mássica de fibras, o mecanismo responsável pelo aumento da redução de massa é a evaporação da água presente no interior. Combinando as informações da Figura 4.1 e da Figura 4.2, é possível concluir que o processo de hidratação do gesso é mais eficiente do que a evaporação de água dos provetes, uma vez que permite um tempo de cura menor. O tempo de cura de provetes com 7,5%p e 9%p de fibras é o dobro dos provetes com 1,5%p e 3%p de fibras.

Tendo em conta os resultados obtidos, que demonstram a influência das fibras de acetato de celulose no tempo de cura dos provetes, é possível garantir que estes se encontram em

condições de serem submetidos ao ensaio de flexão em três pontos, uma vez que foram ensaiados após a conclusão do período de cura.

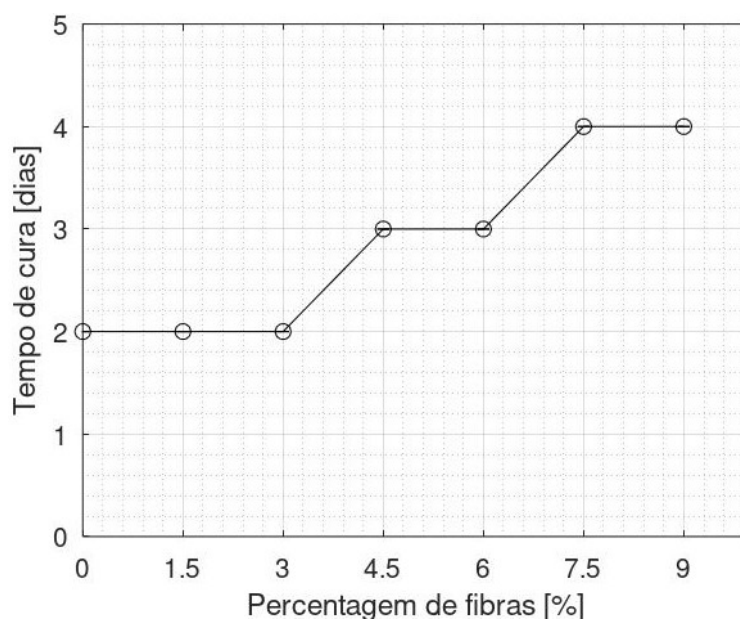


Figura 4.2 - Tempo de cura dos provetes em função da porcentagem mássica de fibras.

4.3 Curvas tensão - extensão

Os valores extraídos dos ensaios de flexão em três pontos, permitem avaliar a resistência mecânica dos provetes através de uma curva tensão – extensão. Neste subcapítulo serão analisados os resultados obtidos para os diferentes provetes.

O gesso, sendo um material cerâmico, possui um comportamento frágil. Como se pode observar na Figura 4.3, o provete em análise não apresenta deformação plástica, visto que a rotura e fratura ocorrem praticamente em simultâneo. A tensão de rotura observada para este provete foi de 1,5 MPa.

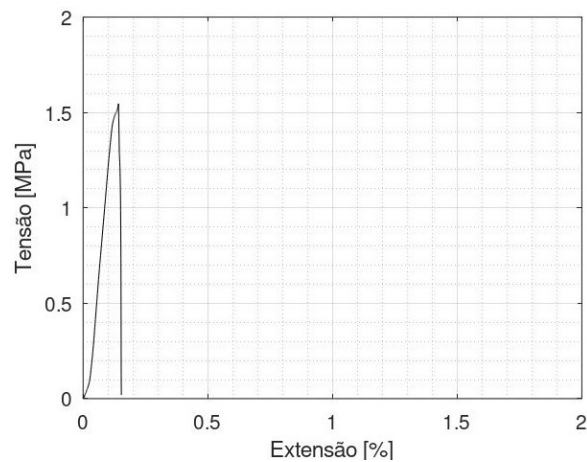


Figura 4.3 - Curva tensão - extensão de um provete com 0%p de fibras.

A incorporação de 1,5%p e 3%p de fibras de acetato de celulose provoca uma diminuição da tensão de rotura, conforme ilustrado nas curvas tensão – extensão da Figura 4.4 e da Figura 4.5, respectivamente. Apesar deste decréscimo para 1 MPa, a presença das fibras permite a existência de deformação plástica após a rotura. Após atingir a tensão de rotura, a interligação matriz – reforço é menor, dando início ao mecanismo de *pullout*. Este fenómeno é responsável pela existência de plasticidade após a rotura uma vez que origina novos valores de tensão e aumenta a extensão do provete [9], [29].

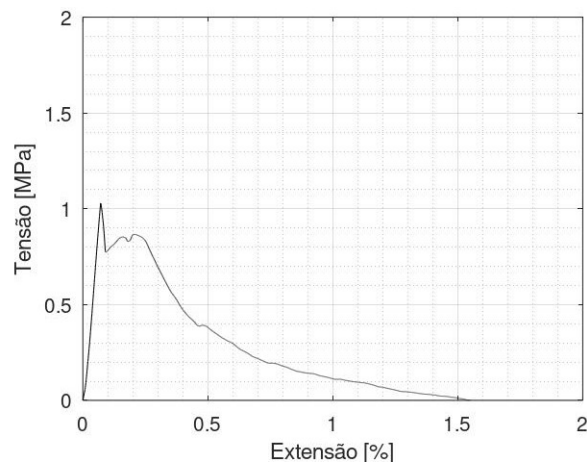


Figura 4.4 - Curva tensão - extensão de um provete com 1,5%p de fibras.

Em comparação com a curva tensão – extensão da Figura 4.3 que corresponde a um provete com 0%p de fibras, os provetes com 1,5%p e 3%p apresenta uma tensão de rotura menor, mas verifica-se a existência de deformação plástica após a rotura, levando a maiores níveis de extensão e tenacidade.

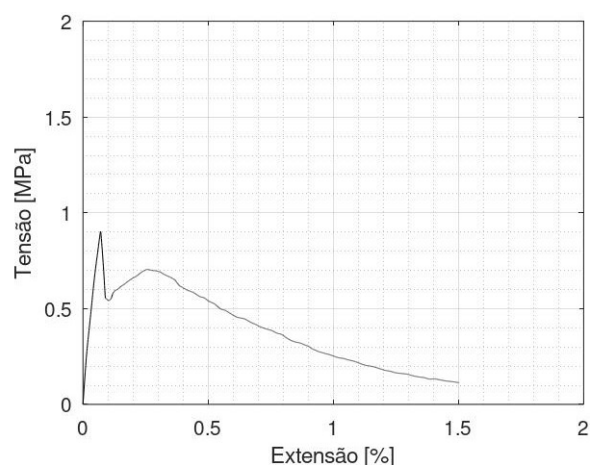


Figura 4.5 - Curva tensão - extensão de um provete com 3%p de fibras.

Na Figura 4.6 estão apresentadas as curvas tensão extensão representativas das restantes percentagens mássicas, uma por subconjunto.

É evidente a redução do valor da tensão de rotura comparativamente aos provetes com 1,5%p, e 3%p, demonstrando a baixa resistência mecânica das amostras. Apesar disso, o comportamento dos provetes é idêntico, podendo-se observar plasticidade após a rotura, levando a maiores níveis maiores extensão do que o gesso convencional.

O material utilizado como reforço para a matriz de gesso, é essencialmente poroso. Com o aumento da percentagem mássica de fibras de acetato de celulose nos provetes, a quantidade de defeitos presentes nos provetes é maior. Estes defeitos potenciam a propagação das fissuras, levando posteriormente à rotura do material.

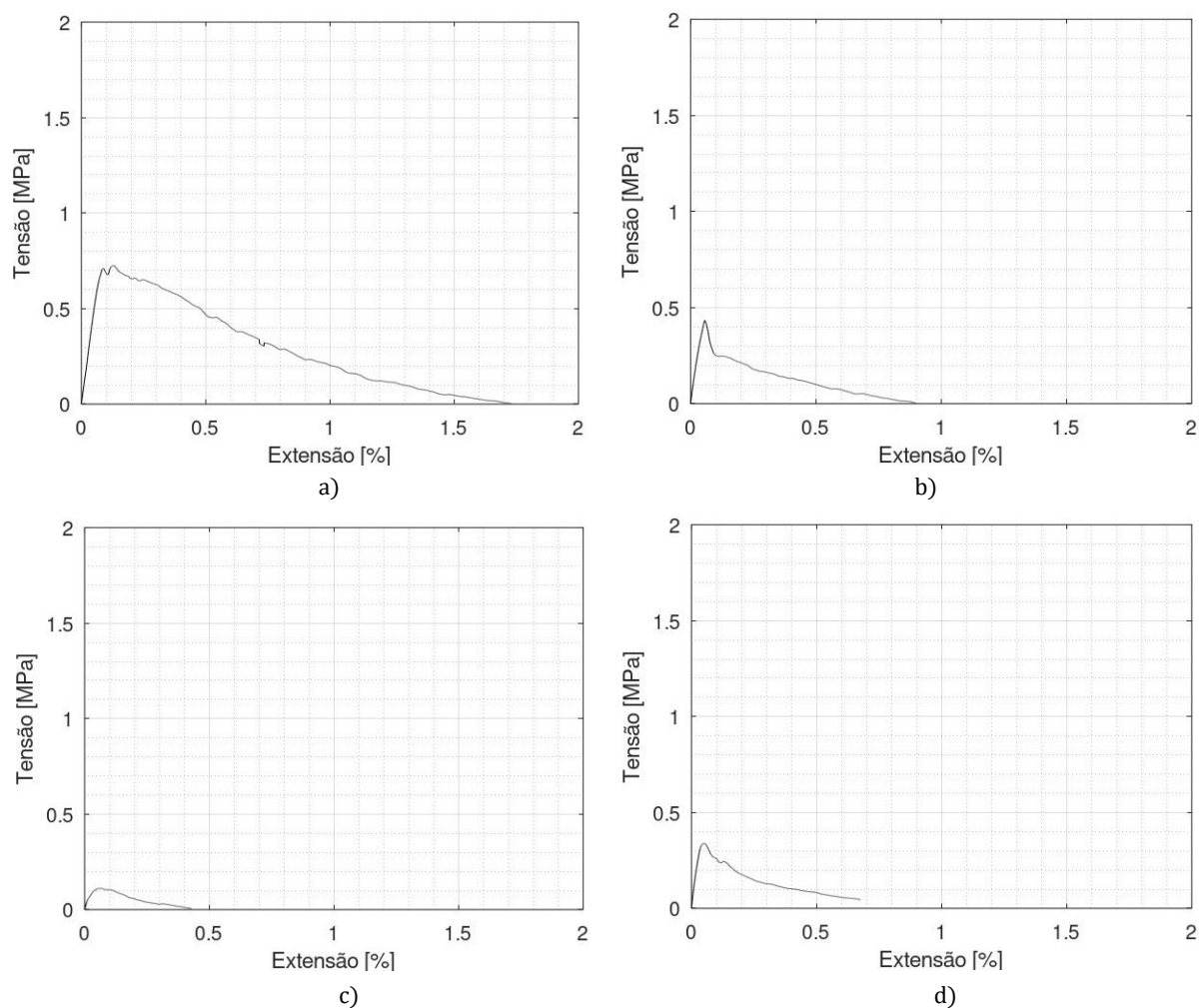


Figura 4.6 - Curvas tensão - extensão de vários provetes: a) 4,5%p; b) 6%p; c) 7,5%p; d) 9%p.

4.4 Efeito da variação da percentagem mássica de fibras no gesso

A produção de provetes variando a percentagem mássica de fibras de acetato de celulose presente na sua constituição revelou-se bastante importante. A análise do comportamento mecânico através dos ensaios de flexão em três pontos permitiu concluir qual o efeito das fibras na resistência mecânica. Através da análise da Figura 4.7, verifica-se o decréscimo da tensão de rotura com o aumento da percentagem mássica de fibras.

A maior redução do valor da tensão de rotura ocorre para 7,5%p de fibras, correspondendo a uma diminuição de aproximadamente 84% comparativamente a um provete de gesso puro.

Apesar da redução substancial da tensão de rotura a inclusão de fibras de acetato de celulose, permitiu a passagem de um comportamento frágil para a presença de plasticidade após a rotura. Observou-se, em todos os provetes onde foram incorporadas fibras, plasticidade após ter

vido atingido o valor máximo de tensão. Este fenómeno, designado por *pullout*, é característico dos compósitos, e resulta da interação matriz – reforço, que implica novos valores de tensão para atingir a fratura do material. A deformação plástica presente nos provetes possibilitou maiores níveis de deformação dos provetes e um conseqüente aumento de tenacidade à fratura.

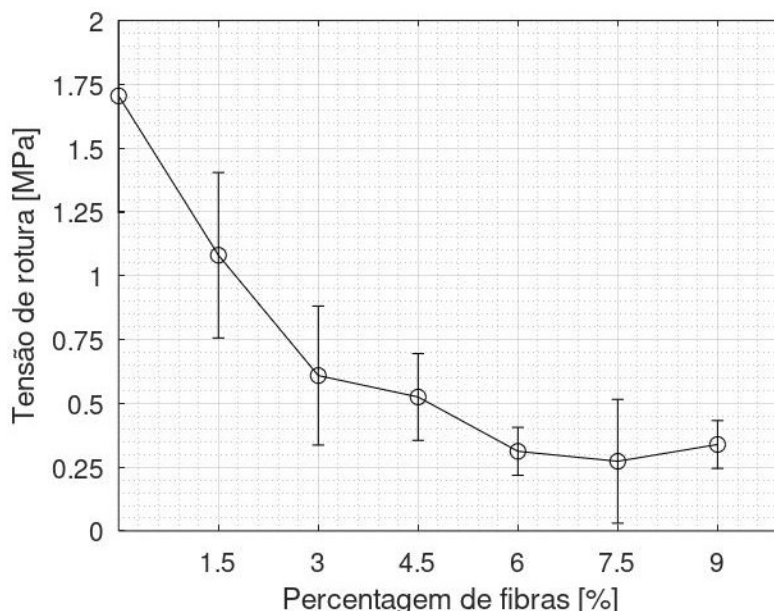


Figura 4.7 - Tensão de rotura dos provetes em função da percentagem mássica de fibras.

4.5 Ensaio acústico

Como foi mencionado no subcapítulo 3.5, todos os provetes foram submetidos a um ensaio acústico para avaliar a influência da variação da percentagem mássica das fibras de acetato de celulose na atenuação sonora.

Na Figura 4.8 é possível observar a atenuação sonora representativa para 0%p de fibra ao longo da gama de frequências analisadas. Verifica-se que no intervalo de frequências de 2 a 7kHz o isolamento acústico do provete aumenta, atingindo uma atenuação sonora de 22% à frequência de 7kHz. Para esta mesma frequência existe um ponto de inflexão, a partir do qual o isolamento diminui até atingir a frequência de 13kHz. Na restante gama de valores de frequência o isolamento do provete de gesso puro vai sendo melhor atingindo novamente valores acima dos 15%.

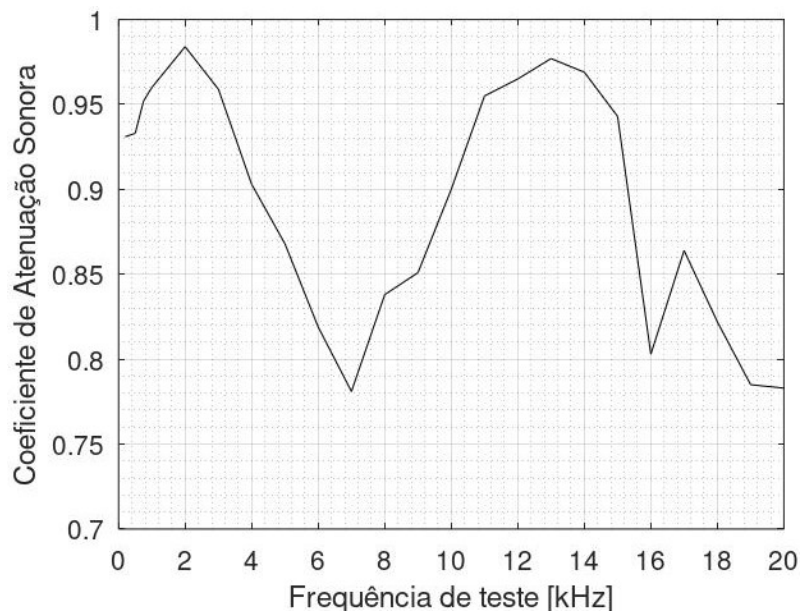


Figura 4.8 - Variação da atenuação sonora em função da frequência de teste, para 0%p de fibra.

Por uma questão de facilidade de comparação em relação aos provetes de gesso puro, cada Figura terá no mesmo gráfico a curva correspondente à percentagem mássica de fibras em análise e a curva referente ao gesso puro.

Na Figura 4.9 encontra-se o andamento do isolamento acústico para um provete com 1,5%p de fibra. Em comparação com a curva presente no mesmo gráfico que corresponde à Figura 4.8, pode verificar-se que os níveis de atenuação sonora são semelhantes. Nos intervalos 11 – 15kHz e 16,5 – 18,5kHz o isolamento acústico proporcionado pelos provetes com 1,5%p de fibras é superior ao de gesso puro. O aumento de isolamento sonoro nestes intervalos é superior em 5 e 10 pontos percentuais, respetivamente.

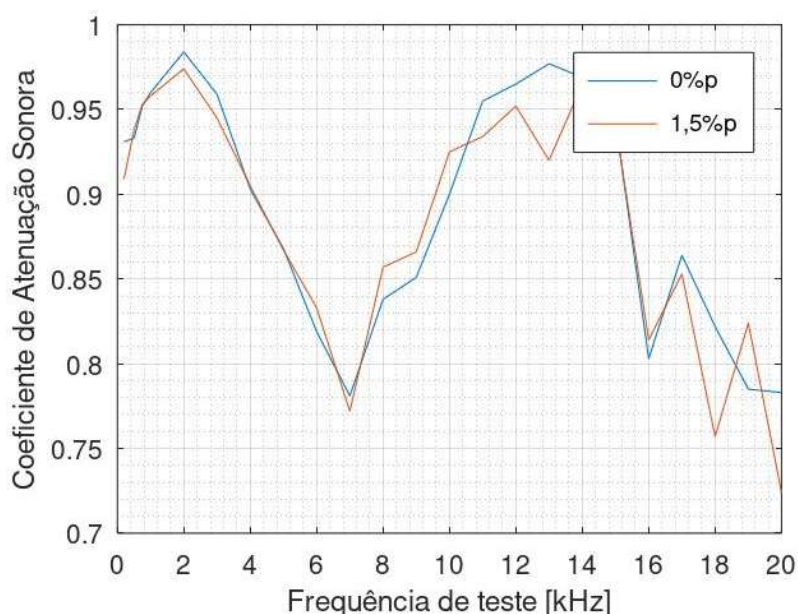


Figura 4.9 - Variação do isolamento acústico representativo de 1,5%p de fibras.

O isolamento sonoro para os provetes com 3%p de fibras de acetato de celulose pode ser observado na Figura 4.10. A atenuação sonora provocada para 3%p de fibras, é superior aos provetes de gesso puro apenas na gama de frequências de 11 a 13,5kHz, em 5 pontos percentuais. Os provetes de gesso puro revelam um melhor desempenho comparativamente aos provetes com 3%p de fibras. Os resultados obtidos através do ensaio de isolamento acústico para os provetes cuja composição é de 6%p de fibras de acetato de celulose podem ser observados na Figura 4.11.

Fazendo uma análise global dos resultados em comparação com os provetes de gesso puro, o desempenho acústico dos provetes em análise é inferior em praticamente toda a gama de frequências de teste. A maior diferença de atenuação sonora verificada ocorre à frequência de 7kHz. Para a frequência referida, o isolamento acústico proporcionado pelos provetes de gesso puro excede o isolamento dos provetes de 6%p de fibras em mais de 10 pontos percentuais.

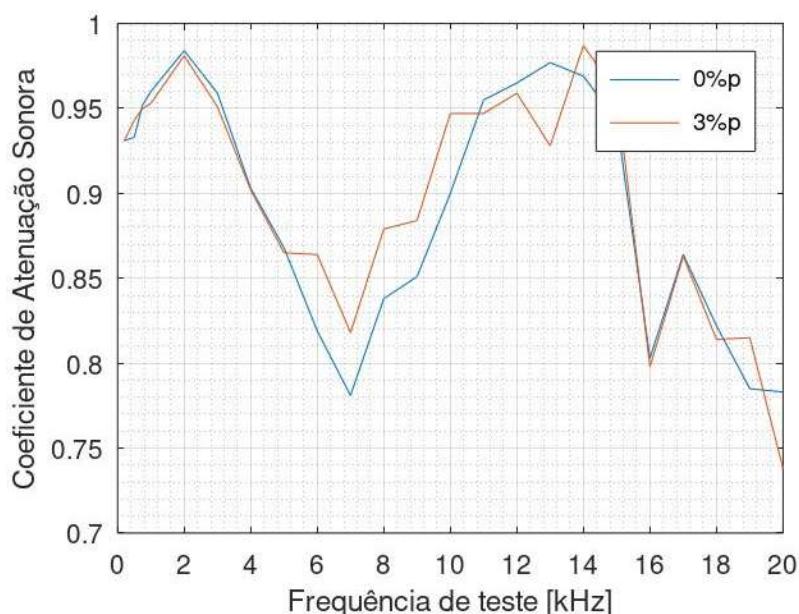


Figura 4.10 - Atenuação sonora de provetes com 3%p de fibras.

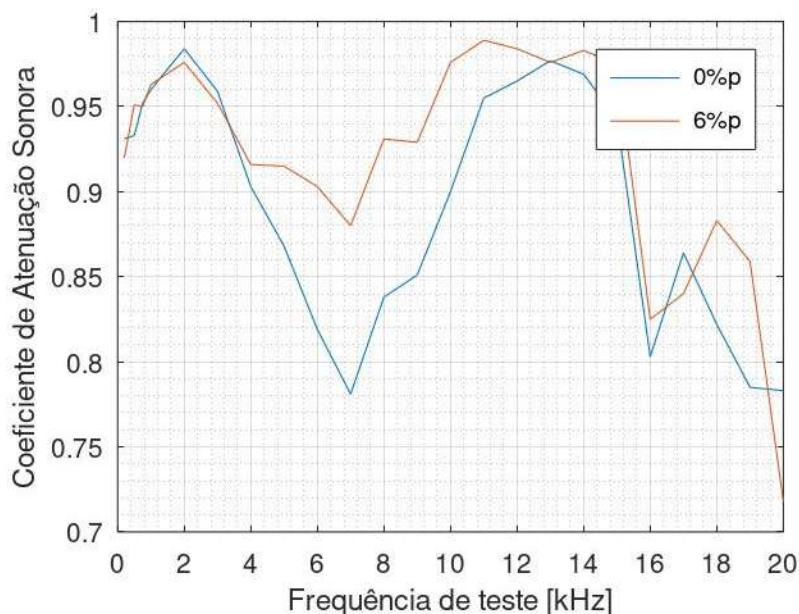


Figura 4.11 - Isolamento acústico de provetes com 6%p de fibras.

Na Figura 4.12 pode-se observar a variação da atenuação sonora dos provetes com 7,5%p de fibras de acetato de celulose ao longo das frequências de teste.

Em comparação com o gráfico da Figura 4.11, no intervalo de frequências de 4 a 11kHz, os provetes com 7,5%p apresentam melhor isolamento sonoro do que os provetes com 6%p de fibras. Nos restantes intervalos, e à semelhança dos gráficos anteriores, os provetes apresentam um comportamento relativamente próximo dos provetes de gesso puro, mostrando a fraca capacidade de desempenhar funções de isolante sonoro.

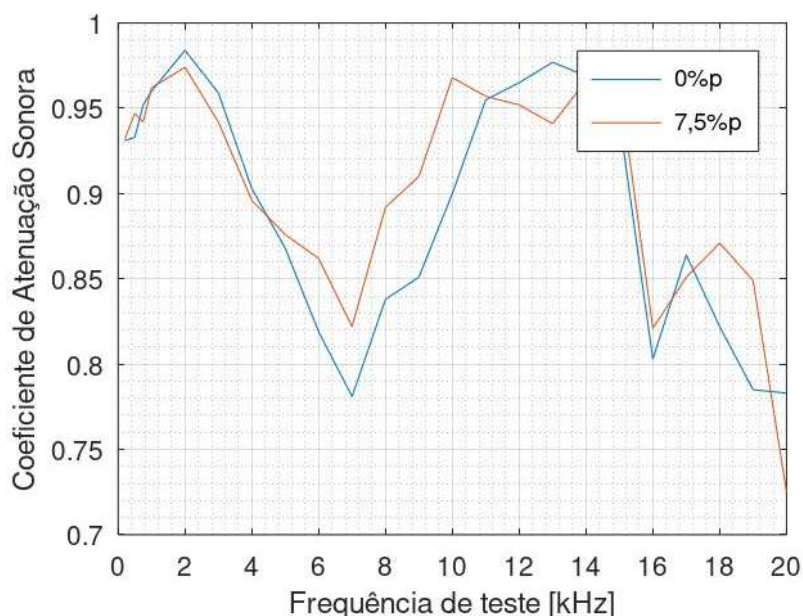


Figura 4.12 - Atenuação sonora para os provetes de 7,5%p de fibras.

Para os provetes produzidos com 9%p de fibras de acetato de celulose, a variação do isolamento acústico ao longo da gama de frequências em análise, é relativamente semelhante aos gráficos anteriores apresentados, como se pode verificar através do gráfico da Figura 4.13.

O isolamento proporcionado por estes provetes é melhor apenas no intervalo 15 a 17kHz, com diferenças residuais aproximadamente de 3%. A maior disparidade de valores de isolamento sonoro, ocorre à frequência de 7kHz para a qual se verifica a existência de um ponto de inflexão para ambas as curvas.

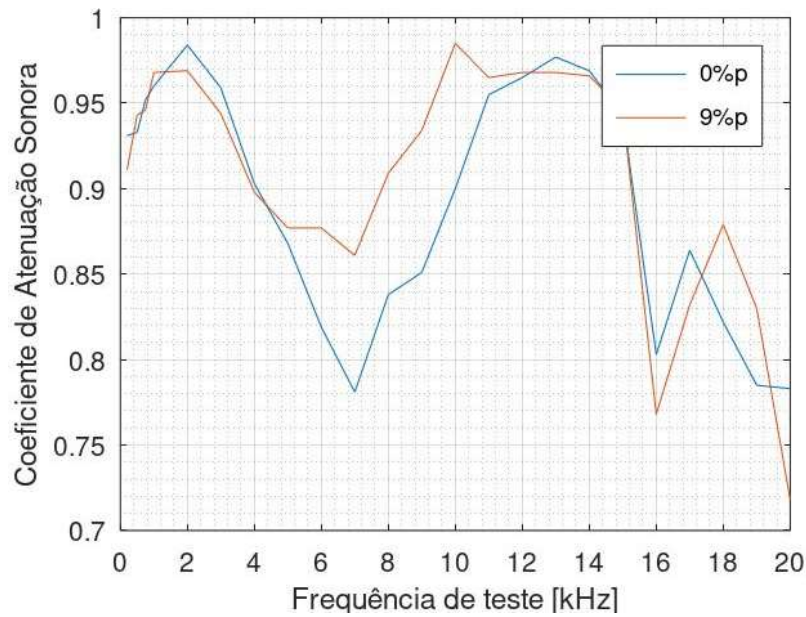


Figura 4.13 - Variação do isolamento acústico para os provetes com 9%p de fibras.

Na Figura 4.14, encontra-se o gráfico com as curvas da variação do isolamento acústico referentes a todas as percentagens mássicas de provetes produzidos. Como mencionado anteriormente na análise dos restantes gráficos, o comportamento da generalidade dos provetes foi semelhante para a totalidade da gama de frequências de testes. De notar que existem diversos pontos de inflexão comuns às diferentes curvas. À frequência de 2kHz a atenuação sonora das diferentes percentagens mássicas aumenta, passando de valores que rondam os 97% para atingir valores que estão entre os 77 e 87%. É neste ponto, à frequência de 7kHz, que surge um novo ponto de inflexão. Daí em diante o isolamento sonoro diminui até à frequência de aproximadamente 15kHz, onde existe outro ponto de inflexão. A partir deste valor o isolamento acústico de todos os provetes aumenta até à frequência de 16kHz até valores de aproximadamente 82%. Na restante gama de frequências o isolamento sonoro dos provetes tem oscilações consoante a percentagem mássica de fibras de cada provete. De notar que não existe uma linearidade entre as propriedades acústicas dos compósitos e a percentagem mássica dos mesmos. Tal pode dever-se a problemas de homogeneidade na mistura do gesso com o acetato de celulose.

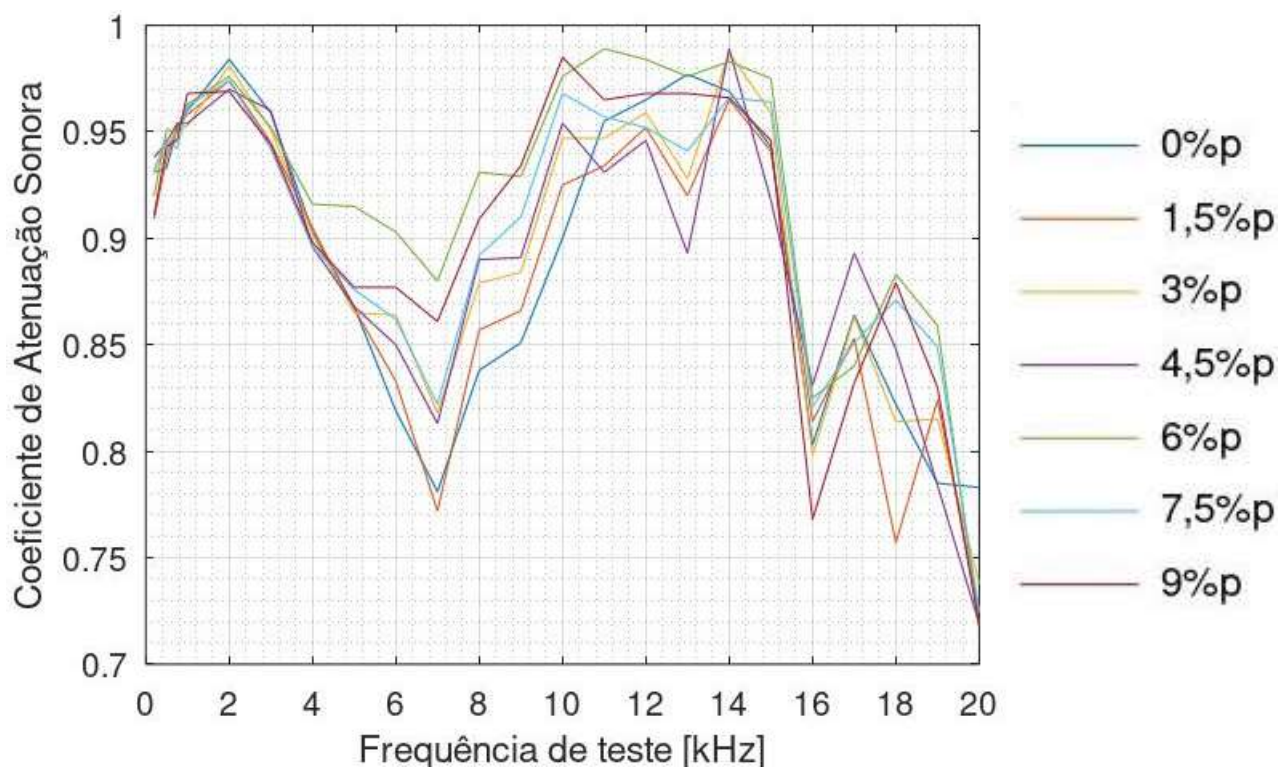


Figura 4.14 - Variação da atenuação sonora para todas as percentagens mássicas.

4.6 Resumo do capítulo

Após a análise dos resultados obtidos para os ensaios realizados, é possível concluir alguns aspetos importantes sobre a influência das fibras de acetato de celulose na resistência mecânica e no isolamento acústico dos provetes de gesso.

CONCLUSÕES

Após a conclusão deste trabalho, onde foi analisada a influência da percentagem mássica de fibras de acetato de celulose nos provetes de gesso produzidos é possível concluir alguns resultados importantes sobre o processo de cura dos provetes, resistência mecânica e desempenho como isolante acústico.

- Verificou-se que a incorporação de fibras de acetato de celulose em percentagens mássicas acima de 4,5%p provocam um aumento de 33% na redução de massa dos provetes comparativamente aos provetes de gesso puro.
- O tempo de cura dos provetes depende da percentagem mássica de fibras. Os provetes com 0%p, 1,5%p e 3%p apresentaram um tempo de cura de 2 dias. Para os provetes com 4,5%p e 6%p o tempo de cura aumentou para 3 dias. O aumento mais significativo ocorreu para os provetes com 7,5%p e 9%p, onde se verificou um aumento de 100% relativamente aos provetes de gesso puro.
- Verificou-se, através do ensaio de flexão em três pontos, que a tensão de rotura dos provetes diminui substancialmente com o aumento da percentagem mássica de fibras. A maior redução ocorreu para os provetes com 7,5%p, observando-se uma redução de 84% relativamente ao gesso puro. Por outro lado, a inclusão de fibras de acetato de celulose permitiu a ocorrência de plasticidade após a rotura. A existência deste fenómeno, permitiu atingir maiores níveis de extensão, aumentando a tenacidade à fratura do material.
- A influência das fibras de acetato de celulose no desempenho dos provetes como isolante acústico foi reduzida. Para as diferentes percentagens mássicas utilizadas, a variação da atenuação sonora ao longo da gama de frequências de teste, foi semelhante em todos os provetes. As curvas obtidas para cada subconjunto de provetes

apresentaram um andamento similar, com variações na ordem de 5 a 10 pontos percentuais.

- Para a realização de trabalhos futuros é sugerida a avaliação das propriedades térmicas dos compósitos produzidos. A influência das fibras de acetato de celulose neste produto deve ser analisada.
- A incorporação de materiais adicionais como reforço para este compósito deve ser estudada com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas e acústicas dos compósitos produzidos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Redclift, "Sustainable development (1987-2005): An oxymoron comes of age," *Sustain. Dev.*, vol. 13, no. 4, pp. 212–227, 2005, doi: 10.1002/sd.281.
- [2] V. Strezov, A. Evans, and T. J. Evans, "Assessment of the Economic, Social and Environmental Dimensions of the Indicators for Sustainable Development," *Sustain. Dev.*, vol. 25, no. 3, pp. 242–253, 2017, doi: 10.1002/sd.1649.
- [3] World Health Organization, *Tobacco and its environmental impact: an overview*. 2017.
- [4] "what-is-smoking-and-tobacco @ www.health.gov.au." [Online]. Available: <https://www.health.gov.au/health-topics/smoking-and-tobacco/about-smoking-and-tobacco/what-is-smoking-and-tobacco#chemicals-in-tobacco-smoke>.
- [5] S. Marinello, F. Lolli, R. Gamberini, and B. Rimini, "A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions," *J. Hazard. Mater.*, vol. 384, p. 121245, 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121245.
- [6] "10601329308021259 @ www.tandfonline.com." [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10601329308021259>.
- [7] A. Mohajerani, A. A. Kadir, and L. Larobina, "A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks," *Waste Manag.*, vol. 52, pp. 228–244, 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2016.03.012.
- [8] G. Hultquist and C. Leygraf, *Materials Science and Eng.*, vol. 42, no. 1. 1980.
- [9] F. C. Campbell, *Structural Composite Materials*. 2010.
- [10] R. R. Nagavally, "Composite Materials - History, Types, Fabrication Techniques, Advantages, and Applications," *Int. J. Mech. Prod. Eng.*, no. 2, pp. 25–30, 2016.
- [11] J. F. Shackelford, *CERAMICS, MATERIAL PROPERTIES OF*. 2020.
- [12] M. W. Barsoum, *Fundamentals of ceramics*. 2002.
- [13] A. Mohajerani *et al.*, "Implementation of recycling cigarette butts in lightweight bricks and a proposal for ending the littering of cigarette butts in our cities," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 18, 2020, doi: 10.3390/ma13184023.
- [14] A. A. Kadir and A. Mohajerani, "Recycling cigarette butts in lightweight fired clay bricks," *Proc. Inst. Civ. Eng. Constr. Mater.*, vol. 164, no. 5, pp. 219–229, 2011, doi: 10.1680/coma.900013.

- [15] P. Turgut and B. Yesilata, "Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks," *Energy Build.*, vol. 40, no. 5, pp. 679–688, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.05.002.
- [16] O. Kayali, "High Performance Bricks from Fly Ash," pp. 1–13, 2005.
- [17] C. M. F. Vieira, P. M. Andrade, G. S. Maciel, F. Vernilli, and S. N. Monteiro, "Incorporation of fine steel sludge waste into red ceramic," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 427, no. 1–2, pp. 142–147, 2006, doi: 10.1016/j.msea.2006.04.040.
- [18] M. Sutcu and S. Akkurt, "The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity," *Ceram. Int.*, vol. 35, no. 7, pp. 2625–2631, 2009, doi: 10.1016/j.ceramint.2009.02.027.
- [19] I. Demir, "An investigation on the production of construction brick with processed waste tea," *Build. Environ.*, vol. 41, no. 9, pp. 1274–1278, 2006, doi: 10.1016/j.buildenv.2005.05.004.
- [20] T. Basegio, F. Berutti, A. Bernardes, and C. P. Bergmann, "Environmental and technical aspects of the utilisation of tannery sludge as a raw material for clay products," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 22, no. 13, pp. 2251–2259, 2002, doi: 10.1016/S0955-2219(02)00024-9.
- [21] A. Mohajerani *et al.*, "Physico-mechanical properties of asphalt concrete incorporated with encapsulated cigarette butts," *Constr. Build. Mater.*, vol. 153, pp. 69–80, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.091.
- [22] R. Maderuelo-Sanz, V. Gómez Escobar, and J. M. Meneses-Rodríguez, "Potential use of cigarette filters as sound porous absorber," *Appl. Acoust.*, vol. 129, pp. 86–91, 2018, doi: 10.1016/j.apacoust.2017.07.011.
- [23] M. B. d'Henri Teixeira, M. A. B. Duarte, L. Raposo Garcez, J. Camargo Rubim, T. Hofmann Gatti, and P. A. Z. Suarez, "Process development for cigarette butts recycling into cellulose pulp," *Waste Manag.*, vol. 60, pp. 140–150, 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2016.10.013.
- [24] "daily-collection-liquidificadora @ www.philips.pt." https://www.philips.pt/c-p/HR2145_90/daily-collection-liquidificadora.
- [25] ASTM INTERNATIONAL, *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. D790*, no. January. 2002.
- [26] S. Shingles, "Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat," pp. 1–9.
- [27] R. M. Gonçalves, "Avaliação da potencial utilização de fibras de vidro recicladas para o desenvolvimento de compósitos à base de gesso," 2021.
- [28] "eta250-ultra @ xarion.com." <https://xarion.com/en/products/eta250-ultra>.
- [29] A. G. EVANS and D. B. MARSHALL, *The Mechanical Behavior of Ceramic Matrix Composites*. International Congress on Fracture (ICF), 1989.



2022

ANTÓNIO QUEIROZ E MELO

UM TÍTULO DE TFSF IMPRESSIONANTE COM UMA MUDANÇA DE I INHA FOR-