



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

A utilização de materiais reciclados na construção para melhoria do desempenho térmico e acústico

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente

Autor

Liliana Patrícia Tinoco Rainho

Orientadores

Luís Godinho (DEC-FCTUC)

Andreia Pereira (DEC-FCTUC)

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

Coimbra, Julho, 2013

AGRADECIMENTOS

Quero deixar aqui o meu agradecimento a algumas pessoas que me acompanharam ao longo da realização da presente dissertação.

Agradeço em primeiro lugar ao Professor Luís Godinho, pela disponibilidade e orientação. A sua disponibilidade e ajuda fizeram com que esta dissertação fosse possível. Agradeço também aos meus pais, pelo apoio e pela paciência que tiveram ao longo de todo o meu percurso académico. Quero agradecer também ao meu namorado pela paciência e ajuda. Por fim, agradeço aos meus amigos pela disponibilidade, apoio e boa disposição.

A todos o meu profundo agradecimento.

RESUMO

O sector das construções consome muitos recursos naturais não renováveis, o que acarreta problemas para o ambiente, tais como, o esgotamento dos recursos e os impactes ambientais associados ao fabrico dos materiais de construção. Para que este sector seja eficiente é necessário adoptar medidas sustentáveis, como o uso de materiais naturais e de resíduos.

Neste trabalho focamos o estudo nos resíduos aplicados neste sector. Este interesse deve-se à elevada produção de resíduos, o que leva a uma acção de reciclagem quase obrigatória.

Fez-se uma revisão do estado da arte para analisar os resíduos aplicados no fabrico de alguns materiais e elementos de construção, estudando-se com mais detalhe os resíduos aplicados no fabrico de isolantes térmicos e acústicos. O foco neste assunto deve-se ao elevado consumo de energia para aquecimento e arrefecimento dos edifícios, emitindo grandes quantidades de carbono. Por outro lado, as crescentes exigências de conforto têm vindo progressivamente a valorizar a componente acústica dos edifícios.

Avaliamos e comparamos também os desempenhos térmico e acústico de algumas amostras de isolantes reciclados com algumas amostras de isolantes correntes. As amostras recicladas são de resíduos têxteis e de resíduos de espumas, e as amostras de referência são lã de rocha, poliuretano e basotect. A avaliação do desempenho foi feita através dos parâmetros condutividade térmica (λ) e coeficiente de absorção sonora (α). Pela comparação destes dois parâmetros observamos que as amostras recicladas têm valores comparáveis com os das amostras comerciais. Assim, estes materiais reciclados podem constituir soluções interessantes como isolantes térmicos e acústicos.

ABSTRACT

The construction sector consumes many non renewable natural resources, which causes problems to the environment, such as resource depletion and environmental impacts associated with the manufacture of building materials. To make the sector efficient it is necessary to adopt sustainable measures such as the use of natural materials and waste.

In this paper we will focus our study on the waste applied in this sector. This interest is due to a high waste production, which leads to an almost mandatory recycling action.

A review of the state of art was carried out to analyze the residues used in the manufacture of some materials and construction elements, studying in more detail the waste applied in the manufacture of thermal and acoustic insulation. The focus on this issue is due to the high energy consumption for heating and cooling buildings, emitting large amounts of carbon. On the other hand, increasing comfort requirements have progressively enhance the acoustic component of the buildings.

We have also evaluated and compared the performances of some thermal and acoustic recycled insulation samples with some common insulation samples. The samples are from recycled textile waste and foam waste and the reference samples are from rock wool, polyurethane and basotect. The performance evaluation was made by using the parameters of thermal conductivity (λ) and sound absorption coefficient (α). By comparing these two parameters we have observed that recycled samples have values comparable to those of commercial samples. Therefore, these recycled materials can be interesting solutions for thermal and acoustic insulation.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objectivos.....	2
1.3	Estrutura do trabalho	2
2	BETÕES E ARGAMASSAS	4
2.1	Areia	4
2.2	Cimento	4
2.3	Argamassas.....	5
2.4	Betão.....	11
2.5	Pavimentos rodoviários	20
3	ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO.....	23
3.1	Lancis e blocos de pavimento	23
3.2	Tijolos.....	24
3.3	Blocos.....	25
3.4	Placas de fibrocimento	29
3.5	Barreiras acústicas	30
4	MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO E/OU ACÚSTICO	35
5	AValiação E COMPARAÇÃO DE ALGUMAS AMOSTRAS.....	49
5.1	Desempenho térmico.....	52
5.1.1	Parâmetros de caracterização	52
5.1.2	Comparação com soluções tradicionais	54
5.2	Desempenho acústico.....	56
5.2.1	Parâmetros avaliados.....	56
5.2.2	Comparação com soluções tradicionais	60
6	CONCLUSÕES.....	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Condutividade térmica das cinco amostras (Meshgin et al., 2010)	6
Figura 2.2 - Condutividade térmica das amostras secas (Alani et al., 2011).....	7
Figura 2.3 - Condutividade térmica das amostras saturadas (Alani et al., 2011)	7
Figura 2.4 - Coeficientes de absorção das diferentes amostras com diferentes percentagens de substituição ((a) – 5% de resíduos; (b) – 10% de resíduos; (c) – 25% de resíduos; (d) – 50% de resíduos) (Flach et al., 2012)	10
Figura 2.5 - Representação da aplicação de resíduos têxteis no reboco (Pinto et al., 2012)....	11
Figura 2.6 - Resíduos de betão e tijolos para fabrico de um novo betão (Yang et al., 2010)...	12
Figura 2.7 - Amostras de: (a) – resíduos de vidro triturado e (b) – metacaulino	14
Figura 2.8 - Condutividade térmica das amostras de betão com diferentes percentagens de resíduos de vidro e metacaulino (Al-Sibahy e Edwards, 2011)	14
Figura 2.9 - Condutividade térmica das amostras de betão (Sukontasukkul, 2008)	15
Figura 2.10 - Teste de condutividade (Issa e Salem, 2012).....	16
Figura 2.11 - Amostra de betão com agregados de madeira reciclada (Becchio et al., 2009) .	18
Figura 2.12 - Comparação da densidade e da condutividade térmica dos diferentes tipos de betões (Sales et al., 2009)	19
Figura 2.13 - Tamanho das várias partículas de vidro (Disfani et al., 2010)	21
Figura 2.14 - Estrada de acesso a auto-estrada (Agrela et al., 2011)	22
Figura 3.1 - Lancis fabricados a partir de agregados reciclados (Gayarre et al., 2011)	23
Figura 3.2 - Condutividade térmica das amostras de tijolos (Görhan e Şimşek, 2012)	25
Figura 3.3 - Blocos ocos contendo grânulos de borracha (Mohammed et al, 2010).....	26
Figura 3.4 - Condutividade térmica das misturas de betão de granulado de borracha (Mohammed et al, 2010)	26
Figura 3.5 - Coeficiente de absorção sonora em função da frequência da percentagem de substituição de grânulos de borracha e de 0% de pó de sílica.....	27
Figura 3.6 - Coeficiente de absorção sonora em função da frequência da percentagem de substituição de grânulos de borracha e de 5% de pó de sílica.....	27
Figura 3.7 - Coeficiente de absorção sonora em função da frequência da percentagem de substituição de grânulos de borracha e de 10% de pó de sílica.....	28
Figura 3.8 - Coeficiente de absorção sonora das amostras (Leiva et al (2011).....	29
Figura 3.9 - Estrutura da barreira acústica (Garcia-Valles et al., 2008)	30

Figura 3.10 - Curvas do coeficiente de absorção acústica de um isolante comercial e de painéis de PROUSÓ aplicados em barreiras acústicas (Garcia-Valles et al., 2008)	31
Figura 3.11 - Estrutura da barreira acústica (García-Chocano e Sánchez-Dehesa, 2011).....	32
Figura 3.12 - Coeficiente de absorção de algumas amostras (Rey et al., 2012).....	33
Figura 3.13 - Absorção das barreiras acústicas na câmara de reverberação (Rey et al., 2012)	33
Figura 4.1 - Placa sanduíche (espuma de vidro e duas camadas de fibras de vidro) (Ayadi et al., 2010).....	36
Figura 4.2 - Condutividade térmica das amostras recuperadas e virgens (Saiz-Arroyo et al., 2012).....	37
Figura 4.3 - Coeficiente de absorção das amostras recuperadas e virgens (Saiz-Arroyo et al., 2012).....	37
Figura 4.4 - Histograma da variação da condutividade térmica de acordo com o teor de cola (Agoua et al., 2010)	38
Figura 4.5 - Histograma da variação da condutividade térmica de acordo com os grânulos de madeira (Agoua et al., 2010)	39
Figura 4.6 - Placas pré-moldadas de resíduos de calçado (Andrade e Medeiros, 2012).....	40
Figura 4.7 - Coeficiente de absorção acústica das diferentes amostras (Karademir et al., 2011)	40
Figura 4.8 - Coeficiente de perda de transmissão de som das amostras estudadas (amostra 1 – aglomerado de madeira comercial; amostra 2 – tábuas de madeira comercial para chão; amostra 3 – aglomerado de madeira e borracha à razão 60:40; amostra 4 – aglomerado de madeira e borracha à razão 50:50 (Zhao et al., 2009))	42
Figura 4.9 - Coeficiente de perda de transmissão de som para os diferentes tamanhos de grânulos de borracha (aglomerado de madeira e borracha à razão 60:50) (Zhao et al., 2009)	43
Figura 4.10 - Coeficiente de absorção sonora das amostras (Maderuelo-Sanz et al., 2010)....	44
Figura 4.11 - Coeficiente de absorção de algumas amostras e de fibras de vidro (Maderuelo-Sanz et al., 2010)	44
Figura 4.12 - Resíduos têxteis dos reforços dos pneus (Jimenez-Espadafor et al., 2010).....	45
Figura 4.13 - Coeficiente de absorção sonora das amostras com diferentes densidades (Jimenez-Espadafor et al., 2010)	45
Figura 4.14 - Resposta da frequência aos testes de impacto para todas as amostras (Maderuelo-Sanz et al., 2010)	46
Figura 4.15 - Resposta da frequência aos testes de impacto para duas amostras estudadas e quatro amostras comerciais (Maderuelo-Sanz et al., 2010).....	46
Figura 4.16 - Variação do coeficiente de absorção acústica em função do comprimento das fibras (Benkreira et al., 2011).....	47

Figura 4.17 - Condutividade térmica de acordo com a gradação das partículas (Herrero et al., 2012).....	48
Figura 5.1 - Amostras de resíduos têxteis ((a) – Amostra Cinza B; (b) – Amostra Cinza A)..	49
Figura 5.2 - Amostras de resíduos de esponja “aglomex acoustic” ((a) – Amostra A; (b) – Amostra B; (c) – Amostra C)	50
Figura 5.3 - Amostras de produtos comerciais ((a) – lã de rocha; (b) – basotect; (c) – poliuretano).....	51
Figura 5.4 - Amostra de perfurado de madeira.....	51
Figura 5.5 – Densidades das amostras recicladas e das amostras comerciais	52
Figura 5.6 – Condutividade térmica e densidade de algumas amostras recicladas	54
Figura 5.7 - Condutividade térmica das amostras comerciais e de três amostras recicladas ...	55
Figura 5.8 – Condutividade térmica e densidade de algumas amostras recicladas e das amostras comerciais.....	56
Figura 5.9 - Equipamento de ensaio (tubo de impedância)	57
Figura 5.10 - Registo da pressão, temperatura e humidade da sala.....	58
Figura 5.11 - Avaliação de ruído no interior do tubo de impedância.....	58
Figura 5.12 - Sinal dos microfones numa posição inicial e invertida	58
Figura 5.13 - Coeficientes de absorção das Amostra A, Amostra B e Amostra C.....	59
Figura 5.14 - Coeficientes de absorção das Amostra Cinza A e Amostra Cinza B.....	60
Figura 5.15 - Coeficientes de absorção das amostras comerciais.....	60
Figura 5.16 - Coeficientes de absorção das amostras tradicionais e das amostras de reciclados	61
Figura 5.17 - Condutividade térmica do perfurado+amostra	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Resultados dos testes de condutividade (Issa e Salem, 2012).....	17
Tabela 2.2 - Condutividade térmica das amostras (Akçaözoglu et al. 2012)	18
Tabela 4.1 - Coeficiente de transmissão térmica (Melo et al., 2010)	39
Tabela 4.2 - Condutividade térmica de alguns materiais disponíveis no mercado (Santos e Matias, 2006).....	41
Tabela 5.1 - Características de cada amostra.....	52
Tabela 5.2 - Valores da condutividade térmica da Amostra A e da Amostra C.....	53
Tabela 5.3 - Espessura e densidade das amostras de “Fibertex”	53
Tabela 5.4 - Condutividade térmica das amostras comerciais.....	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

A indústria mundial da construção aparenta claros problemas de sustentabilidade, pois consome cerca de 3000 milhões de toneladas por ano de matérias-primas (Pacheco-Torgal e Labrincha, 2012).

Para o ambiente, as ameaças causadas por esta indústria na produção de materiais são o esgotamento das matérias-primas e os impactes ambientais causados pelo processo de produção dos materiais.

Existe então uma necessidade urgente de procurar novos materiais de construção que substituam os materiais tradicionais, que sejam sustentáveis e que não levem ao esgotamento das matérias-primas não renováveis. O uso sustentável implica que se protejam os recursos, usando-os de forma racional no presente, sem comprometer o uso dos mesmos nas gerações futuras (Pacheco Torgal e Jalali, 2010). Desta forma, para que se pratique uma política sustentável na construção podemos optar por dois tipos de materiais: os materiais naturais renováveis e os materiais reciclados.

Os materiais naturais renováveis são todos os materiais que, pela acção do homem, se produzem na terra e não se esgotam. No contexto da construção temos vários exemplos como, a cortiça, a fibra de coco, entre outros.

Materiais reciclados são todos os materiais reaproveitados e utilizados para a mesma ou para outra finalidade, ou seja, transformam-se numa nova matéria-prima para produção de um novo produto.

A questão de fundo que, neste estudo se procura analisar, diz respeito à aplicação de materiais reciclados na construção. Uma questão que pode ser levantada é “ porquê a utilização de materiais reciclados e não de materiais naturais renováveis?” A resposta é simples, a produção de resíduos é cada vez mais elevada, tornando a reciclagem uma acção de grande importância e quase obrigatória. Desta forma, será muito interessante estudar os potenciais dos materiais reciclados aplicados na indústria da construção.

Serão estudados com maior detalhe os materiais reciclados aplicados para melhoramento do desempenho térmico e acústico. Na realidade, o aquecimento e arrefecimento dos edifícios consomem muita energia e como consequência está associado à emissão de carbono. Assim, tem interesse estudar o desempenho destes materiais aplicados ao isolamento para diminuir as emissões de carbono. O isolamento acústico também é importante, pois concede ao ser humano conforto.

Importa referir que a utilização dos materiais reciclados tem associadas três grandes vantagens, a diminuição da procura dos materiais não renováveis, a redução dos consumos de energia e a diminuição dos resíduos incinerados e depositados em aterro. Estas vantagens contribuem para um ambiente de maior qualidade.

Assim, neste estudo pretende-se identificar quais os materiais reciclados que são usados na construção. Estudam-se com maior detalhe os materiais reciclados aplicados para melhorar o desempenho térmico e acústico de elementos de construção. Por fim, comparam-se os desempenhos destes com os materiais tradicionais.

1.2 Objectivos

O presente trabalho tem por finalidade determinar as potencialidades dos materiais reciclados aplicados ao sector da construção, mais especificamente na melhoria do desempenho térmico e acústico.

Desta forma, para o decorrer deste estudo, estabelecemos os seguintes objectivos:

- 1) tomar conhecimento dos estudos que têm sido desenvolvidos, a nível mundial, relativamente à aplicação de materiais reciclados na construção;
- 2) investigar com maior detalhe os casos de desenvolvimento no que respeita à aplicação de materiais reciclados como soluções de melhoramento térmico e acústico em edifícios;
- 3) determinar em laboratório os parâmetros α (coeficiente de absorção acústica) e λ (condutividade térmica) das amostras recolhidas e comparar os valores entre as amostras.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos.

No primeiro capítulo fazemos um enquadramento geral, apresentando uma justificação da escolha deste tema, definimos os objectivos e damos uma visão geral da estrutura do trabalho.

O capítulo 2 refere alguns materiais reciclados aplicados na produção de betão e argamassas, fazendo uma revisão do estado da arte no que respeita aos materiais reciclados aplicados em areia, cimento, argamassas, betão e pavimentos rodoviários.

No capítulo 3 procura-se analisar a aplicabilidade dos materiais reciclados aos diversos elementos de construção, tais como lancis, tijolos, blocos, placas de fibrocimento e barreiras acústicas.

O capítulo 4 é dedicado à apresentação de alguns materiais reciclados aplicados na construção com a finalidade de isolantes térmico e/ou acústico.

No capítulo 5 faz-se uma descrição das amostras analisadas em laboratório e indica-se os métodos utilizados para avaliar o desempenho destas amostras. No que diz respeito aos métodos, descrevemos os ensaios realizados e os parâmetros a determinar. Ainda neste capítulo apresenta-se e compara-se os resultados.

Por fim, no capítulo 6, vamos elaborar as conclusões gerais. Para isto utilizamos a informação essencial para focar as conclusões mais importantes deste trabalho. Indicamos também alguns estudos que se possam fazer em trabalhos futuros.

2 BETÕES E ARGAMASSAS

A análise da literatura mostra que os resíduos que dão origem aos materiais reciclados provêm de diversas fontes, tais como, resíduos de construção e demolição, resíduos de indústrias de fabricação de materiais de construção (indústria de mármore, indústria cerâmica, etc.), resíduos de fábricas de papel, resíduos têxteis, resíduos de calçado, resíduos agrícolas (cascas de arroz, palha de trigo, cinzas de palha de arroz e cinzas de bagaço de azeitona), vidro, plástico, papel de jornal, borracha (principalmente borracha de pneu), metais ou madeira.

A areia e o cimento são materiais fundamentais no sector da construção, daí serem consumidos em grandes quantidades. Neste capítulo, será analisado em primeiro lugar a aplicação de materiais reciclados na areia e no cimento. Em seguida, são analisados alguns materiais reciclados incorporados no betão e nas argamassas e por fim, são referidos alguns materiais reciclados inseridos nos pavimentos rodoviários.

2.1 Areia

A partir de resíduos de construção e demolição é possível produzir areia reciclada, como substituição da areia obtida de materiais naturais.

O estudo feito por Ulsen et al. (2012) mostra que os resíduos de construção e demolição triturados originam areia de classificação semelhante à areia natural.

Este tipo de abordagem não é muito comum, mas com este resultado é de esperar que mais investigações sejam feitas no sentido de confirmar e alargar o leque de matérias recicladas na indústria da construção.

2.2 Cimento

O cimento é um produto que também pode ser obtido por materiais reciclados de diversas origens, tais como resíduos de entulho de betão, resíduos de lâ de rocha e resíduos de louça sanitária.

Cheng et al. (2010) desenvolveram um estudo sobre a aplicabilidade de resíduos de lã de rocha como compósitos de cimento. As conclusões são interessantes, pois dependendo do tamanho das partículas da lã de rocha, estas podem ser usadas como um material de cimento ou como um material de enchimento. Este estudo também mostrou que a lã de rocha melhora a resistência à compressão, absorção e erosão.

Este estudo revela um potencial interessante, pois os resíduos de lã de rocha são produzidos em abundantes quantidades e além disso esta aplicação apresenta características de melhoramento acústico. Desta forma, é encontrada mais uma aplicação para estes resíduos.

Segundo a investigação de Schepper et al. (2012) o fabrico de cimento a partir do esmagamento de resíduos de betão é uma boa solução, sem a necessidade de ajustamento de “ingredientes”.

Os resíduos de louça sanitária incorporados entre 10 a 20% para fabrico de cimento também são uma alternativa estudada por Medina et al. (2012). Estes autores estudaram o comportamento de uma mistura de cimento com resíduos de louça sanitária e resíduos de construção e demolição. O cimento com baixas quantidades destes resíduos apresenta propriedades aceitáveis, principalmente baixa condução de calor.

Estudos deste tipo têm vindo a ser desenvolvidos e revelam-se importantes, pois permitem adicionalmente a redução da quantidade dos resíduos citados anteriormente (resíduos de lã de rocha, resíduos de betão e resíduos de louça sanitária) em aterros.

2.3 Argamassas

As argamassas são uma componente na construção de elevada importância, pois aplicam-se de diversas formas, quer no assentamento, quer no reboco de alvenarias e também para aplicação de revestimentos (por exemplo, mosaicos e azulejos). Como as argamassas são consumidas em grandes quantidades é necessário aplicar materiais reciclados como substituição dos materiais naturais para que se pratique uma construção sustentável. Os materiais reciclados são: resíduos de vidro; resíduos de construção e demolição; lamas de pedreiras e resíduos do fabrico de papel; resíduos têxteis. É também abordada a aplicabilidade de materiais reciclados em argamassas com melhorias do desempenho térmico e/ou acústico. Os materiais reciclados investigados para este fim são: contraforte de calçado, casca de arroz e compensado resinado; borracha de pneu triturada; coque de petróleo.

Para Meshgin et al. (2010) a utilização de borracha de pneu triturada, como aditivo apresenta um grande potencial para as argamassas. Estes autores estudaram cinco amostras com diferentes percentagens de borracha e de diferentes tamanhos, os restantes “ingredientes” foram aplicados em quantidades constantes. Determinaram várias propriedades, incluindo a condutividade térmica (Figura 2.1).

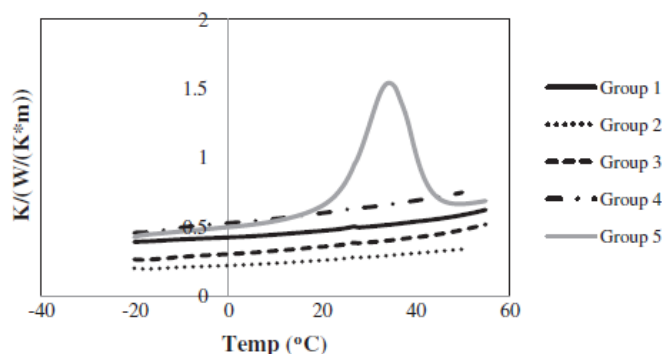


Figura 2.1 - Condutividade térmica das cinco amostras (Meshgin et al., 2010)

Estes compostos apresentam melhorias nas propriedades térmicas, ou seja, a condutividade é menor quando aplicada as partículas de borracha. Esta condutividade também é influenciada pelo tamanho das partículas, quanto menor o tamanho menor a condutividade térmica.

Poucos estudos ainda se fizeram para determinar as propriedades térmicas deste material como aditivo nas argamassas. Seria assim importante que mais estudos se fizessem, visto que as argamassas são uma componente essencial na construção. Podemos afirmar que as argamassas com propriedades térmicas, ou seja, com comportamentos de isolamento térmico são mais apetecíveis.

Olmeda et al. (2011) testaram o potencial da aplicação de coque de petróleo (resíduo obtido pela indústria petrolífera) nas argamassas. Deste estudo determinaram uma melhoria do isolamento acústico, contudo muito mais baixa que o esperado. Desta forma o material não pode ser aplicado em pisos de habitações com a finalidade de melhoramento acústico.

Importa explorar e desenvolver mais este estudo, sendo possível descobrir outros potenciais deste resíduo. O interesse em desenvolver este assunto deve-se ao facto de ser um resíduo produzido em abundância e todos os modos de aplicabilidade são importantes.

Os resíduos de vidro aplicados nas argamassas também foram estudados por três grupos de investigadores.

Alani et al. (2011) determinaram as propriedades térmicas do vidro reciclado em substituição da areia para fabrico de betonilha. Fizeram cinco amostras de betonilha e compararam as suas propriedades. Dentro das propriedades térmicas determinaram a condutividade. Concluíram que a substituição do vidro reciclado pela areia diminuiu a condutividade térmica em quase 50% (Figura 2.2). Concluíram também que a condutividade térmica aumenta com a presença da humidade, como mostra a Figura 2.3. Para estes autores, esta substituição parece ser muito favorável e realista.

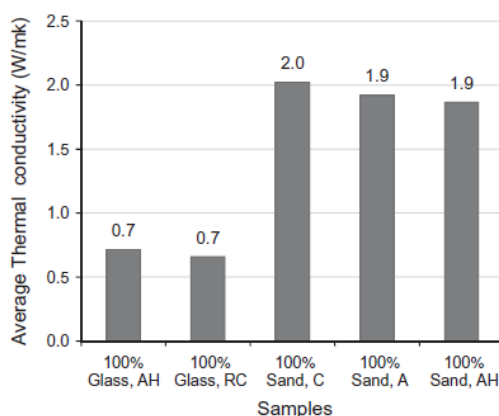


Figura 2.2 - Condutividade térmica das amostras secas (Alani et al., 2011)

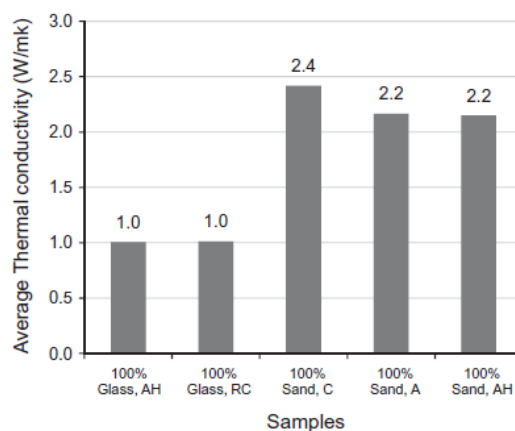


Figura 2.3 - Condutividade térmica das amostras saturadas (Alani et al., 2011)

Desta forma, este estudo mostra-se muito interessante, pois o material apresenta um elevado desempenho térmico. Vamos esperar que mais estudos sejam realizados e que esta substituição seja bem utilizada. Se assim for, vai permitir uma diminuição da procura de areia e uma redução dos consumos de energia.

Dois grupos de pesquisadores (Penacho et al., 2012 e Oliveira et al., 2012) avaliaram a aplicabilidade de resíduos de vidro como substituição da areia em argamassas. Estes resíduos de vidro têm duas origens, resíduos de construção e demolição e resíduos sólidos urbanos. Ambos os estudos concluíram que a percentagem de substituição de 20% de areia pelo vidro permite obter argamassas com um bom desempenho e comportamento mecânico.

Desta forma, tem interesse fazer novas experiências e desenvolver novas soluções que permitam aumentar o grau de substituição da areia pelo vidro, possibilitando assim, poupar os recursos naturais e aumentar a percentagem de reciclagem.

Os agregados reciclados dos resíduos de construção e demolição têm vindo a ser alvo de alguns estudos sobre a aplicabilidade em argamassas, em substituição da areia natural. Vários autores defendem variadas percentagens de substituição, tais como: Vegas et al. (2009) indicam uma substituição de 25% de areia natural pelos agregados reciclados de betão; Dapena et al. (2011) estabelecem uma substituição de 20%, em peso, de areia natural por agregados reciclados de betão; Corinaldesi et al. (2009) sugerem uma substituição de 100% de areia natural pelos agregados reciclados de betão e agregados reciclados de cerâmica; Silva et al. (2010) defendem uma substituição de 20-25% de areia natural por agregados reciclados de cerâmica (resíduos de tijolos de cerâmica vermelha); Jimenez et al. (2012) defende uma substituição até 40% de areia natural pelos agregados reciclados a partir de material cerâmico (compostos de tijolo cerâmico vermelho e argamassa de alvenaria). Estas percentagens de substituição garantem todas as propriedades que as argamassas devem apresentar.

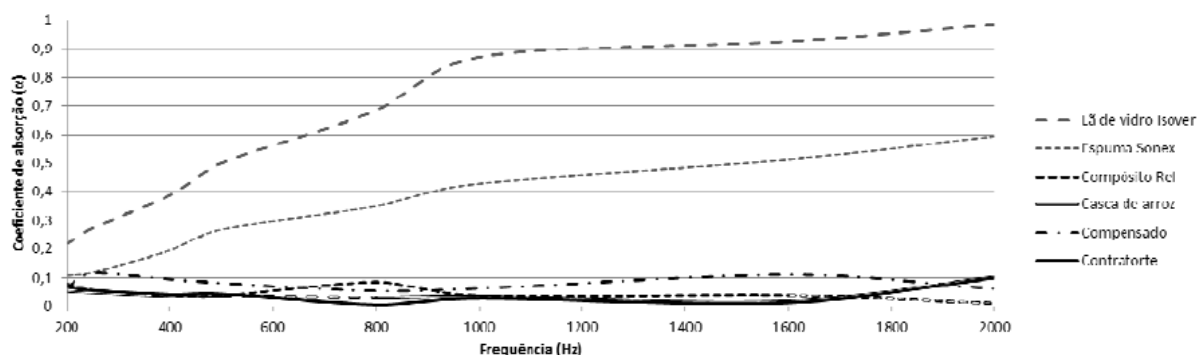
A alternativa de substituição da areia natural pelos agregados reciclados dos resíduos de construção e demolição parece muito ambiciosa, interessa agora melhorar as percentagens de substituição. O estudo desenvolvido por Corinaldesi et al. (2009) levanta algumas dúvidas pelo facto da percentagem de substituição ser tão elevada em relação aos estudos desenvolvidos pelos outros autores.

Em relação às lamas de pedreiras incorporadas nas argamassas de cimento, Lampreia e Veiga (2012) obtiveram bons resultados nos estudos que fizeram. Também é relatado por estes autores que a indústria de papel se tem interessado pela incorporação dos seus resíduos nas

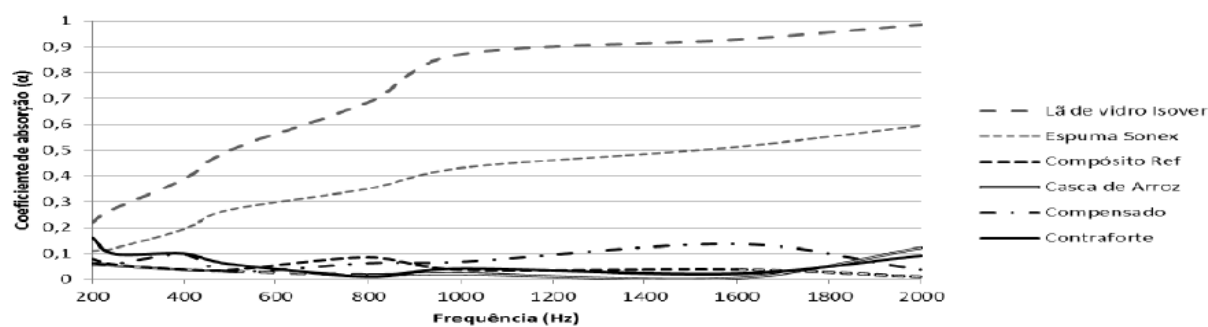
argamassas, mas aqui os resultados não são tão interessantes, pois não apresentam melhorias em relação às argamassas de fabrico convencional.

Sobre estes dois resíduos seria interessante desenvolver mais estudos, de forma a entender melhor a percentagem de substituição do componente natural, e para o último resíduo melhorar os seus resultados para que se torne uma alternativa mais apetecível.

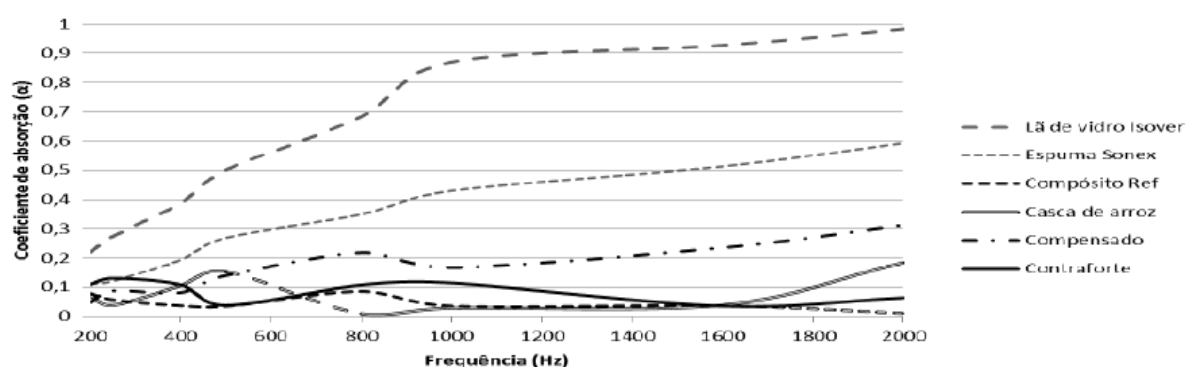
A aplicação de contraforte de calçado, casca de arroz e compensado resinado (madeira), como substituição da areia natural para produção de argamassas com características acústicas, foi testada por Flach et al. (2012). Esta substituição foi feita com diferentes percentagens de cada material. Os resultados do coeficiente de absorção desta análise são apresentados na Figura 2.4. Estes resultados foram apelativos, pois todos estes compósitos apresentam valores de absorção acústica superiores ao compósito de referência. O compensado resinado destacou-se dos outros resíduos nas percentagens de substituição de 5 e 25%, ou seja, os valores do coeficiente de absorção foram superiores em relação aos valores dos coeficientes da casca de arroz e do contraforte de calçado. O contraforte tem melhor desempenho na percentagem de substituição de 10% e a casca de arroz na percentagem de 50%.



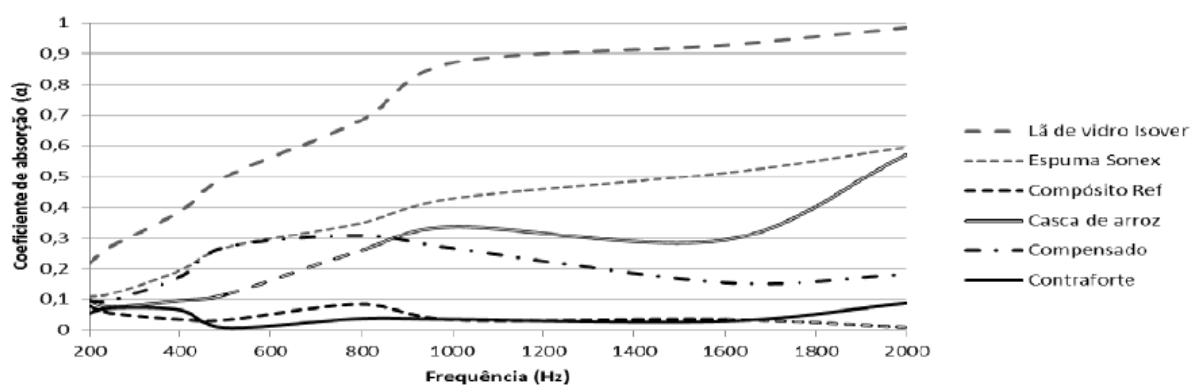
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.4 - Coeficientes de absorção das diferentes amostras com diferentes percentagens de substituição ((a) – 5% de resíduos; (b) – 10% de resíduos; (c) – 25% de resíduos; (d) – 50% de resíduos) (Flach et al., 2012)

Este estudo apresenta-se inovador, pois pela primeira vez aparece uma aplicação para os resíduos de calçado. Além destes autores se interessarem por estes resíduos também verificaram o seu desempenho acústico em diferentes percentagens de substituição. Factor muito importante, pois em estudos deste tipo importa saber o desempenho a diferentes percentagens de substituição para se poder melhorar estas percentagens e até mesmo compreender até onde pode ir o desempenho máximo de determinado resíduo. Interessa agora desenvolver mais estudos neste sentido para que se permita estudar melhor as características destes materiais, quem sabe as propriedades e desempenhos térmicos.

Pinto et al. (2012) desenvolveram um estudo sobre a aplicação dos resíduos têxteis nas argamassas para reforço de rebocos (Figura 2.5). Os resíduos têxteis têm na sua composição

30% de lã e 70% de fio acrílico. As propriedades medidas neste estudo foram a durabilidade e o comportamento mecânico do reboco. As conclusões obtidas foram positivas, provando que a aplicabilidade de resíduos têxteis tem potencialidades.



Figura 2.5 - Representação da aplicação de resíduos têxteis no reboco (Pinto et al., 2012)

Este estudo poderá ser mais alargado em relação a outras propriedades, como por exemplo, as características acústicas. Esperamos assim, que mais estudos sejam realizados no sentido de determinar outras características desta argamassa.

Deste subcapítulo, verificamos que a aplicabilidade de materiais reciclados em argamassas tem sido alvo de grande estudo. Seria interessante daqui para a frente que estes estudos trouxessem confiança para que na realidade se aplicassem, pois existem aqui abordagens com bastante potencial.

2.4 Betão

O betão é o material mais utilizado na construção e aquele que consome mais matérias-primas. Assim, tem interesse fabrica-lo com materiais reciclados em substituição dos materiais naturais. Alguns estudos já foram realizados neste sentido.

Segundo Rao et al. (2005) a produção de betão é possível a partir de agregados reciclados dos resíduos de construção e demolição.

Para Berndt (2008) a substituição de cimento convencional por escórias e agregados reciclados de betão é uma solução aceitável para o fabrico de betão. Este autor determinou

que para uma percentagem de substituição de 50% de cimento convencional por escórias atribui ao betão melhores propriedades mecânicas.

Agrela et al. (2010) também defendem que a incorporação de agregados reciclados dos resíduos de construção e demolição são uma boa opção na produção de betão.

Para Yang et al. (2010) a incorporação resíduos de construção e demolição na fabricação de betão também é importante. Eles focaram o seu estudo na avaliação da inclusão de agregados de betão e tijolos de argila triturados relativamente às propriedades mecânicas e físicas (Figura 2.6).



Figura 2.6 - Resíduos de betão e tijolos para fabrico de um novo betão (Yang et al., 2010)

Evangelista et al. (2012) defendem a incorporação de 20-25% de agregados finos reciclados de betão como substituição de agregados naturais. Para Rosa et al. (2012) o uso de agregados reciclados provenientes da indústria de pré-fabricação de betões auto-compactáveis também é uma boa aposta. Pedro et al. (2012) também partilham da mesma opinião.

Estes autores levantam uma questão importante, ou seja, tentar dar mais um rumo aos resíduos de construção e demolição, pois como sabemos, são produzidos em abundância e depositados em aterro. Em Portugal este tema ainda está em estado embrionário, mas representa um conceito a desenvolver para que se permita dar um caminho mais adequado a estes resíduos. O facto de se tentar reciclar estes resíduos no fabrico de betão é uma boa opção, pois o betão é um componente na construção que se produz em grandes quantidades e necessita de elevadas quantidades de recursos. Em relação às escórias que fala Berndt (2008), também tem interesse estudar a sua aplicabilidade para que se possam reciclar também. Contudo é necessário desenvolver mais estudos para se puder definir as características adequadas do betão reciclado, ou seja, durabilidade, resistência à compressão, percentagem de substituição dos resíduos, etc.

A aplicação de resíduos de louça sanitária e pó cerâmico foi estudada por dois grupos de autores. Medina et al. (2012) desenvolveram um estudo que serviu para provar que a inclusão de 20 a 25% de resíduos de louça sanitária na produção de betão apresenta melhorias no comportamento mecânico em relação ao betão convencional. Fernandes e Ribeiro (2012) estudaram a possibilidade de incorporar pó cerâmico, proveniente de fabricação cerâmica, na produção de betão. É possível incorporar 5% de pó cerâmico no fabrico de betão sem comprometer as suas características.

Estes dois tipos de resíduos são produzidos em abundância, assim tem interesse determinar outros destinos para estes resíduos. Importa agora desenvolver mais estudos e determinar outras propriedades, tais como o desempenho térmico e acústico destes betões.

Um outro resíduo que se produz abundantemente é o vidro. Vejamos os estudos que têm sido desenvolvidos sobre a aplicação deste resíduo no fabrico de betão.

A substituição em diferentes percentagens de resíduos de vidro triturado para fabrico de betão foi estudada por Nassar e Soroushian (2011). Estes autores determinaram que a substituição do cimento por agregados de vidro reciclado aumenta a durabilidade e a resistência de betão em relação ao betão convencional. Para Ali e Al-Tersawy (2011) a inclusão do vidro na produção de betão também é uma boa opção. Estes autores estudaram amostras com várias percentagens de substituição de vidro reciclado. Deste estudo concluíram que, quanto maior a percentagem de substituição menor a resistência à compressão e tracção. Contudo, se aplicado em percentagens adequadas tem um bom desempenho, e desta forma, pode ser aplicado com sucesso.

Maier e Durham (2011) introduziram outros resíduos além do vidro para produção de betão. Estes incorporaram resíduos de vidro moído, agregados de betão reciclado e escorias na fabricação de betão. A incorporação destes resíduos mostrou-se favorável, contudo é necessário ter em atenção a percentagens de substituição destes compostos, pois a percentagem superior a 50% diminui a rigidez do betão.

Um estudo desenvolvido por Al-Sibahy e Edwards (2011) avaliou as propriedades mecânicas e térmicas do betão contendo resíduos de vidro. A produção do betão foi concebida a partir da adição de diferentes percentagens de vidro triturado e metacaulino (Figura 2.7). A condutividade térmica é determinada em função da percentagem de vidro triturado e do metacaulino, como mostra a Figura 2.8. Os autores verificaram que a condutividade térmica dos betões modificados é menor em relação ao betão de referência (convencional).

Concluíram também que o melhor valor de condutividade térmica, ou seja, o valor mais baixo, se obtém com uma percentagem de 45% de vidro e 10% de metacaulino.



Figura 2.7 - Amostras de: (a) – resíduos de vidro triturado e (b) – metacaulino

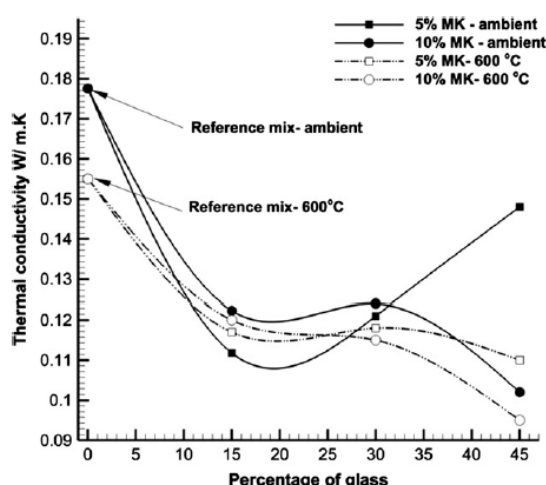


Figura 2.8 - Condutividade térmica das amostras de betão com diferentes percentagens de resíduos de vidro e metacaulino (Al-Sibahy e Edwards, 2011)

Todos estes estudos em relação à reciclagem e reaproveitamento de vidro são importantes em primeiro lugar devido à elevada produção deste resíduo, mas outra questão importante é que o vidro tem propriedades que lhe permitem substituir as matérias-primas naturais não renováveis. Uma das propriedades é, por exemplo, o bom desempenho térmico, como apresenta o estudo desenvolvido por Al-Sibahy e Edwards (2011). Tem interesse explorar mais propriedades deste resíduo, dando-lhe a possibilidade de mais aplicações na construção.

A borracha é um resíduo que, a nível mundial, se produz em quantidades elevadíssimas. Importa, desta forma, explorar as propriedades deste resíduo aplicado à construção para criar

mais uma das possíveis opções de reciclagem. Vários estudos foram desenvolvidos para explorar as potencialidades da borracha aplicada no fabrico do betão.

Hernández-Olivares et al. (2005) testaram a aplicação de raspas de borracha de pneu na produção de betão. As percentagens de aplicação de borracha foram de 0%, 3,5% e 5%. Testaram as suas propriedades mecânicas. Os resultados foram positivos pelo facto da reciclagem de pneus e pela capacidade de amortecimento do betão pelo composto da borracha.

Segundo Sukontasukkul (2008) a substituição de grânulos de borracha de pneu reciclada pode ser aplicada na produção de betão originando melhorias no seu desempenho em relação ao betão convencional. Neste estudo as amostras estudadas tinham uma percentagem de substituição de 10, 20 e 30%. Das propriedades estudadas a condutividade térmica e o coeficiente de absorção foram determinados. A Figura 2.9 representa a condutividade térmica das amostra de betão, a condutividade térmica do betão de referência (sem inclusão de borracha) e o valor da condutividade regulamentar máxima (TIS). Este autor concluiu que o betão contendo borracha tem um melhor desempenho térmico e acústico, ou seja, a condutividade térmica é menor e o coeficiente de absorção é maior em relação ao betão convencional. Concluiu também que quanto maior a adição de borracha, menor a condutividade térmica.

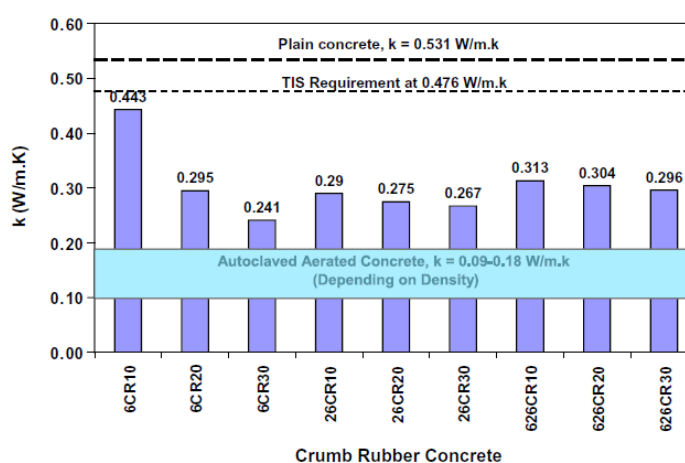


Figura 2.9 - Condutividade térmica das amostras de betão (Sukontasukkul, 2008)

Hall e Hopfe (2011) também desenvolveram um estudo para avaliar o comportamento térmico do betão onde são incorporados resíduos de borracha de pneus. A substituição da borracha é

feita por diferentes percentagens e os grânulos de diferentes tamanhos. Estes autores concluíram que a adição de borracha faz diminuir significativamente a condutividade térmica.

Segundo Xue e Shinozuka (2012) a inclusão de resíduos de borracha no fabrico de betão é uma medida positiva. Este betão, em relação ao betão convencional, apresenta melhorias no desempenho sísmico por apresentar maior capacidade de dissipação de energia.

Para Issa e Salem (2012) a substituição de areia natural por grânulos de borracha de pneu reciclado para o fabrico de betão parece ser uma opção viável. Estes autores estudaram as propriedades das percentagens de substituição de 0 a 100%. Estudaram também a condutividade térmica das amostras a partir de um medidor de condutividade, que tem como finalidade medir o tempo (micro-segundos) que uma onda leva a viajar de um pólo para o outro (Figura 2.10). Quanto maior o tempo, menor a condutividade térmica do material. Os resultados destes testes são apresentados na Tabela 2.1. Estes autores concluíram que para uma resistência à compressão aceitável do betão, a percentagem de substituição tem que ser inferior a 25%, em volume. Concluíram também, com o aumento da percentagem de substituição obtiveram melhores propriedades de amortecimento e melhores propriedades de isolamento térmico.



Figura 2.10 - Teste de condutividade (Issa e Salem, 2012)

Tabela 2.1 - Resultados dos testes de condutividade (Issa e Salem, 2012)

Cylinder type	Recorded reading (μs)			
	No. 1	No. 2	No. 3	AVG
0%	194	195	152	180
15%	250	283	248	260
25%	427	410	429	422
50%	687	638	655	660
100%	818	977	917	904
Full F.A.	1039	1636		1338

Todos estes estudos são importantes pois conseguimos perceber, entre outras propriedades, que a borracha tem uma melhoria no desempenho térmico e acústico dos betões, segundo estes três grupos de autores Sukontasukkul (2008), Hall e Hopfe (2011) e Issa e Salem (2012). Estas propriedades são muito importantes no nosso estudo, pois procuramos materiais com bom desempenho térmico e acústico. Importa agora que sejam desenvolvidos mais alguns estudos para entender melhor a percentagem de substituição dos grânulos de borracha sem comprometer as outras propriedades (compressão, tracção, etc.).

Também foram determinados os desempenhos do betão com inclusão de resíduos de plástico.

Para Marzouk (2005) a utilização de 50% em volume de resíduos de PET (poli teraftalato de etileno) no betão permite uma melhoria na condutividade térmica. Esta condutividade é melhorada 46% em relação ao betão convencional, ou seja, 1,28 W/m.K para o betão convencional e 0,69 W/m.K para o betão com resíduos de plástico.

Yesilata et al. (2009) desenvolveram um estudo para comparar a condutividade térmica do betão com resíduos de diferentes geometrias. Utilizaram resíduos de PET com geometria quadrada e com geometria irregular. Os resultados são uma redução da condutividade térmica de 10% e 17%, respectivamente. Estes autores referem que esta melhoria da condutividade se deve a uma maior aderência das partículas irregulares à pasta de cimento.

Segundo Silva et al. (2011) as amostras de betão estudadas foram preparadas com plástico em substituição dos agregados naturais. As percentagens de substituição foram de 0%, 7,5% e 15%. O desempenho físico e mecânico das amostras de betão diminuiu, mas são suficientemente bons, podendo ser aplicado na indústria da construção.

Para Akçaözoglu et al. (2012) a inclusão de agregados de plástico (resíduos plásticos) no betão é uma boa solução em relação às propriedades térmicas. Estes autores fizeram cinco amostras com diferentes percentagens (0, 30, 40, 50 e 60%) de plástico e determinaram a condutividade térmica de cada amostra (Tabela 2.2). O menor valor de condutividade foi atingido para uma percentagem de 60%. Estes autores concluíram que a condutividade térmica deste betão foi melhorada 58% em relação ao betão de referência (convencional), cujo coeficiente é de 0,9353 W/m.K.

Tabela 2.2 - Condutividade térmica das amostras (Akçaözoglu et al. 2012)

Mixture	TC (W/m K)
M0	0.9353
M1	0.6118
M2	0.5723
M3	0.5348
M4	0.3924

Estes estudos são bastante interessantes, pois mostram que o plástico também apresenta um bom desempenho térmico. Tem interesse desenvolver mais estudos para podermos comparar e tirar conclusões mais consistentes e até explorar outras propriedades que este betão pode conter, como por exemplo, propriedades acústicas.

Um outro grupo de autores (Becchio et al., 2009) explora as propriedades do betão com inclusão de resíduos de madeira (Figura 2.11). Neste estudo são analisadas as propriedades mecânicas recorrendo a testes de compressão e à condutividade térmica recorrendo ao modelo de fluxo de calor unidimensional. As conclusões deste estudo mostram que a adição de agregados de madeira melhora as propriedades térmicas e as propriedades mecânicas são aceitáveis.



Figura 2.11 - Amostra de betão com agregados de madeira reciclada (Becchio et al., 2009)

Para Sales et al. (2009) a inclusão de resíduos de madeira, tal como para o autor anterior, é uma opção positiva. Contudo este autor vai mais além e não só inclui as raspas de madeira como inclui também o lodo resultante do tratamento de águas residuais. Este autor determina a condutividade térmica das amostras, como apresenta a Figura 2.12. Nesta figura as amostras de betão 1, 2 e 3 apresentam os valores de acordo com a norma brasileira. O betão 4 representa a amostra que contem o lodo e as raspas de madeira e por fim o betão 5 representa o betão convencional. Deste estudo concluíram que o “novo” betão apresenta uma condutividade térmica 23% inferior à do betão convencional. Concluíram também que as quantidades de alumínio presentes no betão são inferiores às quantidades presentes no lodo.

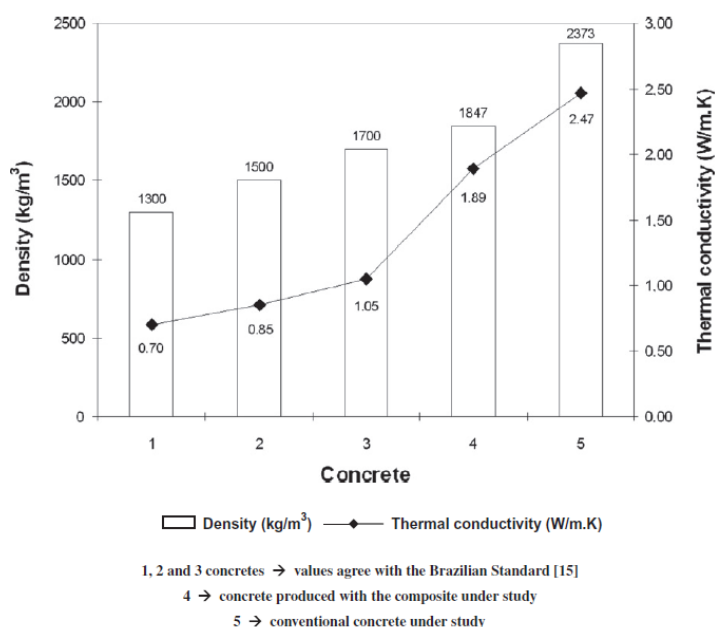


Figura 2.12 - Comparação da densidade e da condutividade térmica dos diferentes tipos de betões (Sales et al., 2009)

Destes dois estudos percebemos que os resíduos de madeira inseridos no betão melhoram as propriedades térmicas. Percebemos também que o lodo ao ser aplicado no betão tem uma vantagem, pelo facto da quantidade de alumínio diminuir. Estes tipos de estudos são interessantes pois é conseguido mais um modo de reciclagem e reaproveitamento para os resíduos de madeira e para os lodos. Esperamos agora que desenvolvam este assunto de modo a explorar outros desempenhos (por exemplo acústico) e outras propriedades (por exemplo mecânicas).

Os resíduos agrícolas também foram explorados neste subcapítulo do betão. Segundo Rattanashotinunt et al. (2012) estudaram aplicabilidade de resíduos de cana-de-açúcar e resíduos de carboneto de cálcio no betão. Os resíduos de cana-de-açúcar são produzidos a partir da queima da cana na produção de electricidade e os resíduos de carboneto de cálcio são um subproduto da produção de acetileno. As propriedades mecânicas do betão, tais como, resistência á compressão e resistência á tracção foram semelhantes às propriedades do betão convencional.

As cinzas volantes resultantes da combustão de resíduos agrícolas, tais como o bagaço de azeitona, aplicadas no betão também são estudadas por Cuenca et al. (2012). Este estudo mostra que a resistência à compressão do “novo betão” apresenta os mesmos valores ou um pouco melhores, em comparação com o betão convencional.

Destes estudos concluímos que os resíduos agrícolas apresentam potenciais quando aplicados ao betão. Mas estes estudos são escassos e não podemos tirar conclusões consistentes. Deste modo, importa desenvolver mais estudos para se poder determinar outras propriedades.

Em relação a este subcapítulo do betão observamos que se fizeram muitos estudos e com variadíssimos resíduos. Para o nosso trabalho, como já foi referido, importa estudar os materiais com melhorias no desempenho térmico e acústico. Assim, podemos dizer da informação apreendida deste subcapítulo, que os resíduos de madeira, borracha, vidro e plástico apresentam melhorias no desempenho térmico e/ou acústico do betão.

2.5 Pavimentos rodoviários

A aplicação de materiais reciclados, como o vidro reciclado, e resíduos de construção e demolição, na construção rodoviária tem vindo a ser estudada.

O vidro reciclado é uma mistura de partículas de vidro colorido e é muitas vezes composta de alguns detritos, tais como, papeis, plástico, metais e resíduos de alimentos. Segundo Disfani et al. (2010) o vidro reciclado triturado de partículas médias (9.5 mm) e finas (4.75 mm), como mostra a Figura 2.13, pode ser usado como material de construção em aplicações de engenharia geotécnica, e em particular nas obras rodoviárias. O estudo realizado mostra que os parâmetros de resistência do vidro reciclado de partículas finas e médias são semelhantes à mistura de areias naturais e cascalho. Em relação à avaliação ambiental no que respeita às concentrações de lixiviado, os valores estavam dentro dos limites regulamentares da Austrália, assim como a concentração de metais pesados.

Este estudo tem alguma relevância, pois mostra-nos mais um destino para o vidro. Contudo não é muito conclusivo, pois a inexistência de outros estudos limita as conclusões em relação a este tipo de aplicações. Desta forma, é necessário desenvolver mais estudos direccionados para a aplicação do vidro reciclados em obras rodoviárias.

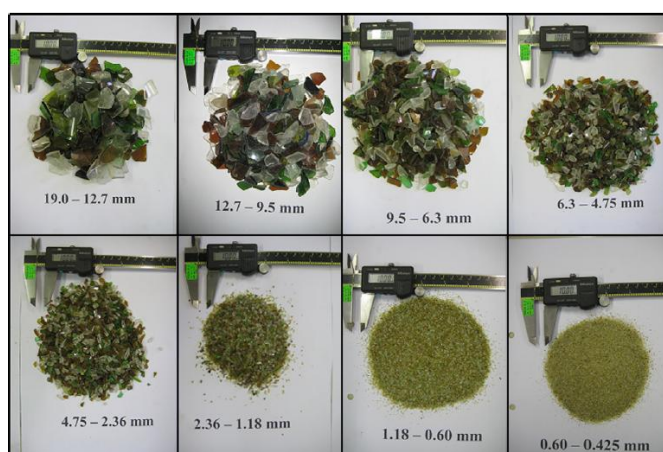


Figura 2.13 - Tamanho das várias partículas de vidro (Disfani et al., 2010)

A aplicação de resíduos de construção e demolição em estradas tem vindo a ser desenvolvida e estudada, permitindo assim a substituição dos agregados naturais não renováveis.

O estudo desenvolvido por Barbudo et al. (2011) relata a aplicação de três grupos de resíduos de construção e demolição, são eles: agregados reciclados de betão (90% de betão esmagado de diferentes qualidades); mistura de agregados reciclados (mistura de 70-90% de betão com alvenaria); mistura de agregados reciclados e cerâmica (70% de betão e 25% de partículas de cerâmica). Deste estudo concluíram que os agregados reciclados de betão têm uma maior resistência à erosão e a mistura de agregados reciclados e cerâmica tem um bom desempenho mecânico, para estradas de baixo tráfego. Outro aspecto importante é a selecção correcta dos materiais e uma pré-triagem para remoção de impurezas para melhorar a qualidade dos agregados reciclados. Em termos ambientais é necessário verificar o teor de sulfatos, este é influenciado pela percentagem de tijolo moído no agregado reciclado.

Agrela et al. (2011) desenvolveram um estudo para aplicação de cimento tratado com agregados reciclados mistos na construção da base de uma rampa de acesso para auto-estrada (Figura 2.14). As conclusões deste estudo mostram que esta aplicação apresenta uma boa resistência à compressão e deflexão. Os aspectos ambientais também são cumpridos, apenas é necessário adequar a quantidade de alvenaria a introduzir no composto reciclado.



Figura 2.14 - Estrada de acesso a auto-estrada (Agrela et al., 2011)

Outro estudo foi desenvolvido por Jiménez et al. (2012) para avaliar a utilização de agregados reciclados mistos de resíduos não seleccionados de construção e demolição em estradas rurais não pavimentadas. A conclusão deste trabalho é a possível utilização destes agregados em estradas rurais não pavimentadas, tendo em atenção os limites dos compostos de enxofre e dos sais solúveis.

Este grupo de autores (Jiménez et al., 2012) usou três estradas experimentais rurais não pavimentadas para estudar a possível aplicação dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Desta forma, este estudo é importante, porque permite comparar resultados numa base experimental mais alargada.

Existe uma questão que se levanta neste subcapítulo pelo facto de surgirem poucos estudos com base em usos reais da aplicação de agregados reciclados de construção e demolição em rodovias. Desta forma, os estudos experimentais existentes não nos permitem ainda comparar os resultados, tirar conclusões fidedignas e tomar opções correctas em relação à aplicação destes materiais reciclados em pavimentos rodoviários reais.

3 ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO

Existem elementos fundamentais e indispensáveis no sector da construção, como os tijolos, os blocos, as barreiras acústicas, etc. Estes elementos são usados em elevadas quantidades, sendo necessários elevados recursos não renováveis para o seu fabrico. Assim, para que estes elementos se possam caracterizar como elementos sustentáveis é necessário que sejam fabricados a partir de materiais reciclados. Procura-se, de seguida, identificar quais os materiais reciclados que foram aplicados a alguns elementos, tais como, lancis, tijolos, blocos, placas de fibrocimento e barreiras acústicas.

3.1 Lancis e blocos de pavimento

Outra aplicação dos resíduos é no fabrico de lancis e blocos de pavimento a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.

O estudo desenvolvido por Gayarre et al. (2011) na aplicação de dois tipos de agregados reciclados (resíduos de betão e resíduos de alvenaria provenientes da fábrica de tijolo de barro) para fabricação de lancis e blocos de pavimentos teve as seguintes conclusões: com uma percentagem de substituição de 45-50% de agregados reciclados foi possível fabricar lancis (Figura 3.1) de boa qualidade; foi também possível fabricar blocos de pavimento com 100% de substituição de agregados reciclados.



Figura 3.1 - Lancis fabricados a partir de agregados reciclados (Gayarre et al., 2011)

Este trabalho tem a sua importância pelo facto de avaliar o grau de substituição dos agregados reciclados no fabrico de lancis e blocos de pavimento, e também pelo facto de avaliar as

características dos mesmos depois do fabrico. É um estudo interessante, pois mostra-nos outra aplicabilidade para os agregados reciclados de construção e demolição. Contudo este tema também não está muito desenvolvido, sendo necessários mais estudos para se obter conclusões mais consistentes.

3.2 Tijolos

Um outro componente da construção onde é possível aplicar materiais reciclados é o tijolo. Este pode ser fabricado com casca de arroz, cinzas de casca de arroz e resíduos de fábricas de papel.

Segundo Raut et al. (2012) é possível a fabricação de tijolos a partir de resíduos de fábrica de papel e cinzas de casca de arroz. Estes autores testaram várias amostras, com diferentes percentagens, e concluíram que a solução óptima para a fabricação de tijolos seria a combinação de 80% de resíduos da fábrica de papel, 10% de cinzas de casca de arroz e 10% de cimento (em peso).

Görhan e Şimşek (2012) estudaram a aplicação de casca de arroz no fabrico de tijolos. Estes autores determinaram a condutividade térmica em várias percentagens de substituição (5,10 e 15%) de agregados naturais por casca de arroz. A Figura 3.2 representa a condutividade térmica das diferentes amostras em função da temperatura. A amostra B representa o tijolo convencional. A comparação da condutividade entre as amostras indica que a aplicação de casca de arroz diminui a condutividade térmica do tijolo. Deste estudo, os autores concluíram que a aplicação de 10% de casca de arroz e argila são uma composição óptima para o fabrico de tijolos de argila.

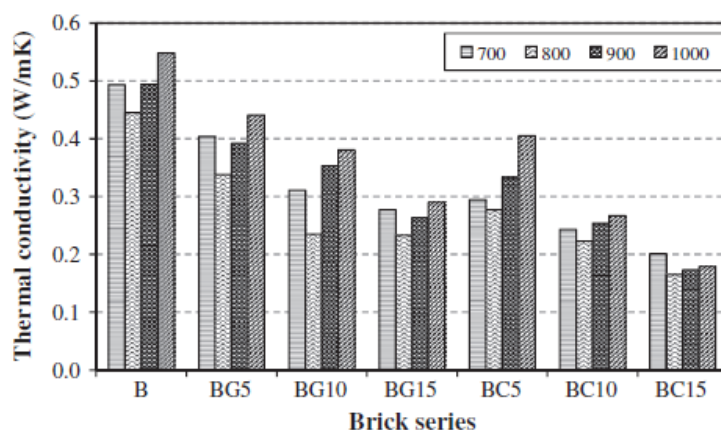


Figura 3.2 - Condutividade térmica das amostras de tijolos (Görhan e Şimşek, 2012)

Para Vessozi et al. (2012) confeccionar tijolos com cinzas de casca de arroz também pode ser uma alternativa sustentável. Desta forma, desenvolveram um estudo para avaliar se esta teoria tinha fundamento. Os materiais utilizados foram cimento, solo, cinzas de casca de arroz e água. A conclusão destes investigadores em relação ao fabrico de tijolos a partir destes “ingredientes” foi a impossibilidade de confecção. Estes ingredientes não se agregaram uns aos outros.

Os estudos desenvolvidos neste sentido são estudos recentes e escassos. Mas mostram uma propriedade interessante, o desempenho térmico dos tijolos determinado pelo estudo dos autores Görhan e Şimşek (2012). Desta forma, é de esperar que mais investigação seja feita para que se possa melhorar e determinar propriedades destes materiais e chegar a uma alternativa sustentável no fabrico de tijolos.

3.3 Blocos

As aplicações de resíduos de grânulos de borracha triturada e resíduos de construção e demolição na fabricação de blocos também foram estudadas.

Segundo Mohammed et al (2010) a substituição de agregados finos por resíduos de borracha para fabrico de blocos ocos é uma solução aceitável (Figura 3.3). Foram preparadas sessenta e quatro misturas com diferentes percentagens de substituição (0, 10, 25 e 50%). Neste estudo também determinam o efeito da adição de pó de sílica no desempenho destes blocos. Determinaram a condutividade térmica, o coeficiente de absorção acústica e a resistência à compressão e tracção. Segundo estes autores as propriedades térmicas e acústicas são

melhoradas relativamente aos blocos ocios convencionais. A condutividade térmica diminui com o aumento da percentagem dos grânulos de borracha e com o aumento do teor de pó de sílica (0, 5 e 10% de sílica) (Figura 3.4). Em relação ao coeficiente de absorção, (Figuras 3.5 – 3.7) este aumenta com o aumento das percentagens de substituição de borracha, mas para o mesmo conteúdo de grânulos de borracha e com o aumento da adição do teor de sílica este coeficiente diminui. Contudo também existem desvantagens, pois quanto maior a percentagem de resíduos de borracha, menor a resistência à compressão e tracção.



Figura 3.3 - Blocos ocios contendo grânulos de borracha (Mohammed et al, 2010)

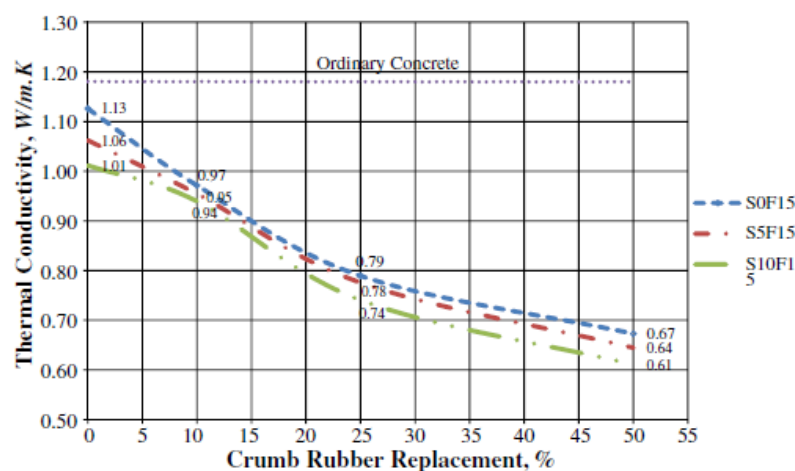


Figura 3.4 - Condutividade térmica das misturas de betão de granulado de borracha (Mohammed et al, 2010)

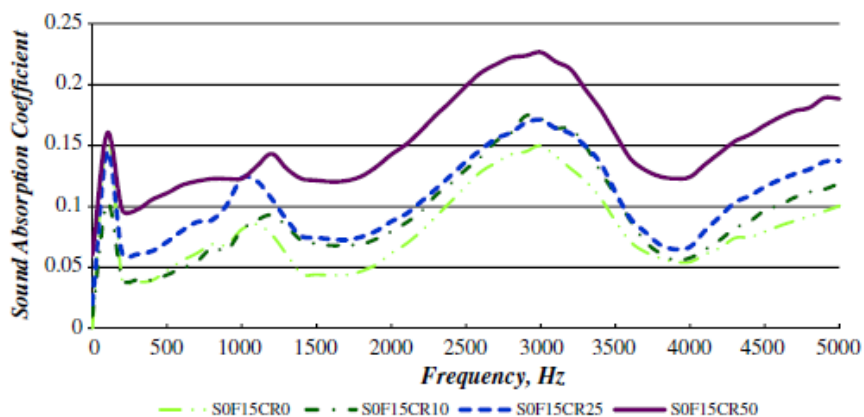


Figura 3.5 - Coeficiente de absorção sonora em função da frequência da percentagem de substituição de grânulos de borracha e de 0% de pó de sílica

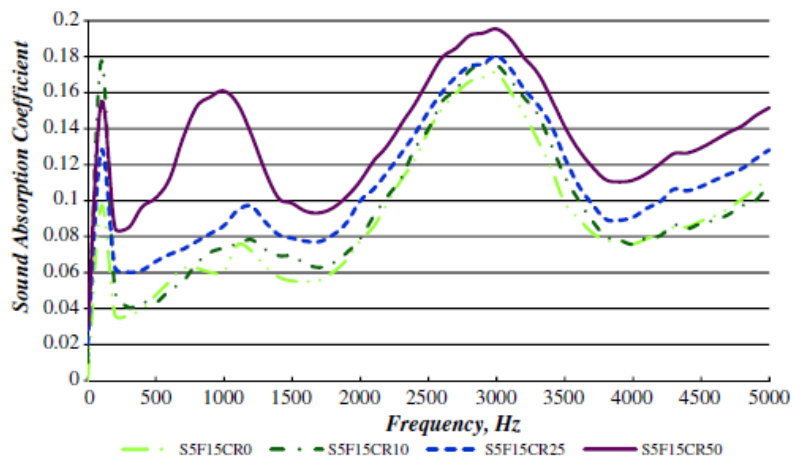


Figura 3.6 - Coeficiente de absorção sonora em função da frequência da percentagem de substituição de grânulos de borracha e de 5% de pó de sílica

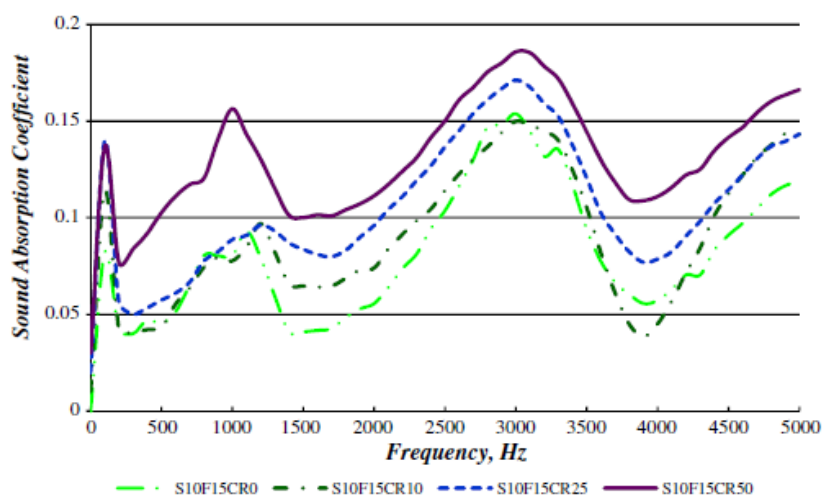


Figura 3.7 - Coeficiente de absorção sonora em função da frequência da percentagem de substituição de grânulos de borracha e de 10% de pó de sílica

Para Leiva et al (2011) a fabricação de blocos com betão proveniente de agregados reciclados mistos dos resíduos de construção e demolição melhora a sua aplicabilidade para determinados fins. Estes autores estudam a aplicabilidade de várias percentagens de substituição (20 a 100%) dos agregados naturais por agregados reciclados. As propriedades mecânicas, o coeficiente de absorção sonora e a condutividade térmica das amostras foram determinadas. A Figura 3.8 representa o coeficiente de absorção sonora da amostra de referência (H0) e da amostra que contém os agregados reciclados (WR). Deste estudo concluíram que há melhoramento acústico e térmico deste novo material reciclado em relação ao material não reciclado. Em relação às propriedades mecânicas, estas são idênticas às propriedades dos materiais existentes no mercado.

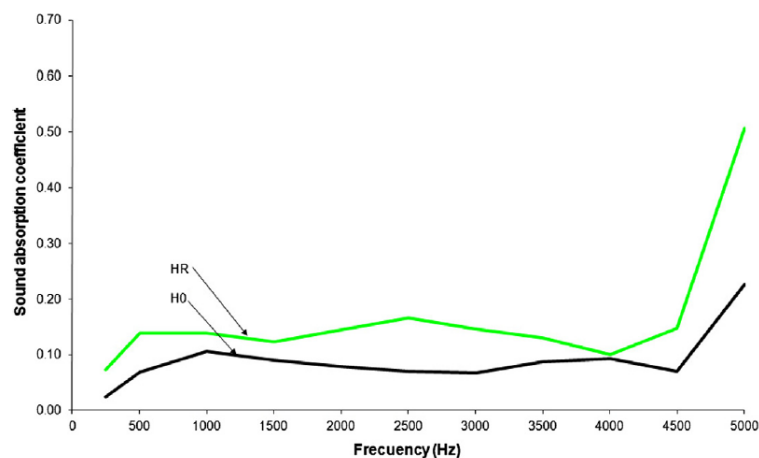


Figura 3.8 - Coeficiente de absorção sonora das amostras (Leiva et al (2011))

Estes estudos mostram alguma relevância, pois a acústica e a térmica na construção são parâmetros muito importantes e que interessam monitorizar e limitar. No estudo desenvolvido por Mohammed et al (2010) a conclusão em relação ao melhor desempenho térmico e acústico dos blocos de betão com o aumento da percentagem de grânulos de borracha veio reforçar o estudo desenvolvido por Sukontasukkul (2008). Neste estudo, este autor avaliou o desempenho do betão com diferentes percentagens de substituição de grânulos de borracha. Se as características térmicas e acústicas destes novos materiais foram melhoradas, importava agora desenvolver mais estudos neste sentido, permitindo no futuro aplicar estes materiais.

3.4 Placas de fibrocimento

As placas de fibrocimento também podem ser fabricadas com materiais recicláveis.

Segundo o estudo desenvolvido por Ashori et al. (2011) é possível o fabrico de placas de fibrocimento a partir de papel de jornal reciclado. Estas placas têm um desempenho ideal quando o conteúdo de papel de jornal reciclado é de 10%, em peso.

A desvantagem deste assunto deve-se ao facto da inexistência de estudos sobre a aplicação de papel de jornal no fabrico de placas. É uma aplicação importante, pois é viável economicamente e ambientalmente. Outro aspecto importante deste estudo é a preocupação com a substituição das fibras de amianto por fibras naturais, visto que são muito prejudiciais à saúde. Neste sentido, seria importante desenvolver mais estudos para se complementar

informação e até mesmo determinar outros parâmetros, tais como condutividade térmica e coeficiente de absorção acústica destas placas.

3.5 Barreiras acústicas

Uma outra aplicação dos resíduos é no fabrico de barreiras acústicas. Os resíduos aplicados neste elemento de construção são de diversos tipos, tais como resíduos industriais, borracha de pneu triturado e resíduos têxteis.

Um estudo desenvolvido por Garcia-Valles et al. (2008) mostra a aplicação de resíduos industriais na construção de barreiras acústicas (Figura 3.9). Estes resíduos são: pó da fabricação de mármore; escórias de alumínio gerados no processo de reciclagem; fundição de areias e poliestireno expandido gerado a partir da reciclagem de embalagens. Foi também usada uma pequena parcela de matérias-primas com a finalidade de conferir plastificação e coesão das partículas. Os resultados obtidos deste estudo provam que este material (PROUSÓ) tem boas propriedades físicas, e absorve 95% do som na faixa de frequências de 500 Hz, como mostra a Figura 3.10.

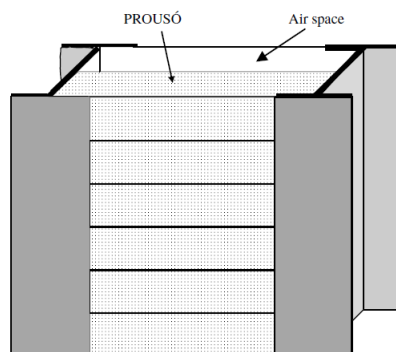


Figura 3.9 - Estrutura da barreira acústica (Garcia-Valles et al., 2008)

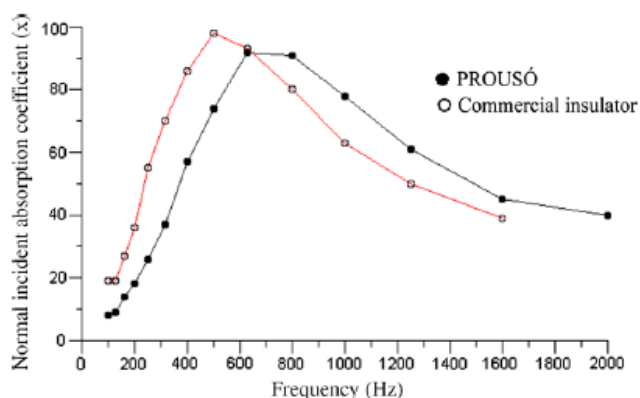


Figura 3.10 - Curvas do coeficiente de absorção acústica de um isolante comercial e de painéis de PROUSÓ aplicados em barreiras acústicas (Garcia-Valles et al., 2008)

É de notar que este estudo tem muita importância, pois além de dar mais um caminho para os resíduos industriais, também uma questão que nos dias de hoje se dá muita relevância, a poluição sonora. Esta aplicabilidade é mais uma forma que ajuda a resolver grandes e graves problemas de poluição sonora gerados na envolvente de estradas principais. Contudo, muita pesquisa ainda está a ser desenvolvida devido à preservação e protecção do ambiente em relação às escórias. Desta forma, é importante que sejam desenvolvidos mais estudos, pois o ponto importante de todos estes aspectos é a preservação e protecção do ambiente.

García-Chocano e Sánchez-Dehesa (2011) desenvolveram um estudo de aplicabilidade de granulados de borracha a partir da reciclagem de pneus como material isolante nas barreiras acústicas.

As barreiras acústicas analisadas por estes autores são diferentes das convencionais, sendo constituídas por tubos cilíndricos, colocados na vertical, onde entre eles passa ar, como representa a Figura 3.11. A borracha triturada é colocada dentro dos cilindros. Esta estrutura das barreiras traz vantagens na construção, sendo necessários menos recursos para as ancorar no solo, uma vez que a acção do vento se apresenta bastante reduzida.

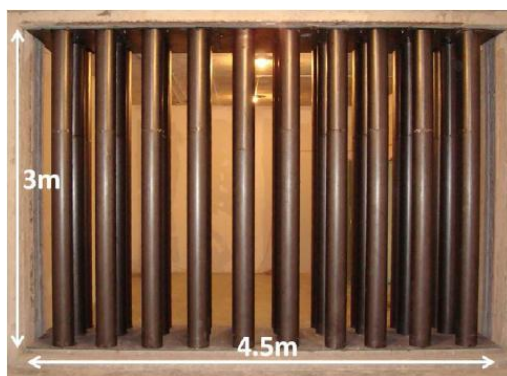


Figura 3.11 - Estrutura da barreira acústica (García-Chocano e Sánchez-Dehesa, 2011)

Deste estudo, não é possível concluir com clareza se a borracha de pneu triturada é um bom isolante aplicado neste tipo de barreiras acústicas. Contudo é uma alternativa adicional para incorporar os resíduos de borracha devido à quantidade excessiva de resíduos de pneus gerada diariamente. É necessário desenvolver estudos em relação a este assunto, para que possa ter conclusões mais evidentes.

Através de outros quatro autores (Rey et al., 2012) estudou-se a aplicação de resíduos têxteis no fabrico de barreiras acústicas. Nesta experiência não foi utilizada qualquer resina tóxica e as amostras contêm diferentes percentagens de resíduos têxteis, ou seja, diferentes percentagens de algodão e fibras de poliéster (que actuam como ligantes). É também utilizada uma amostra de fibras naturais de coco. A Figura 3.12 mostra os resultados do coeficiente de absorção de algumas destas amostras. Os valores obtidos relativamente ao coeficiente de absorção, à resistência ao fluxo de ar e à perda por transmissão são aceitáveis. Estes autores desenvolveram barreiras acústicas com estes materiais e determinaram a capacidade de absorção nas câmaras de reverberação (Figura 3.13). A absorção das barreiras acústicas dos resíduos têxteis também tem valores aceitáveis. Concluíram, em relação aos valores obtidos do coeficiente de absorção, à resistência ao fluxo de ar e à perda por transmissão, que estes resíduos têxteis são uma boa aposta na fabricação de barreiras acústicas.

A partir dos gráficos obtidos por estes autores podemos verificar que, a partir de determinadas frequências, o coeficiente de absorção das amostras é superior em alguns casos à amostra de fibra de coco. O mesmo acontece com a absorção determinada na câmara reverberante para as barreiras acústicas feitas com estas amostras. Estes materiais parecem ter bom desempenho acústico. Assim, tem interesse desenvolver este assunto e estudar estas barreiras a uma escala real para que se possam tirar conclusões mais consistentes.

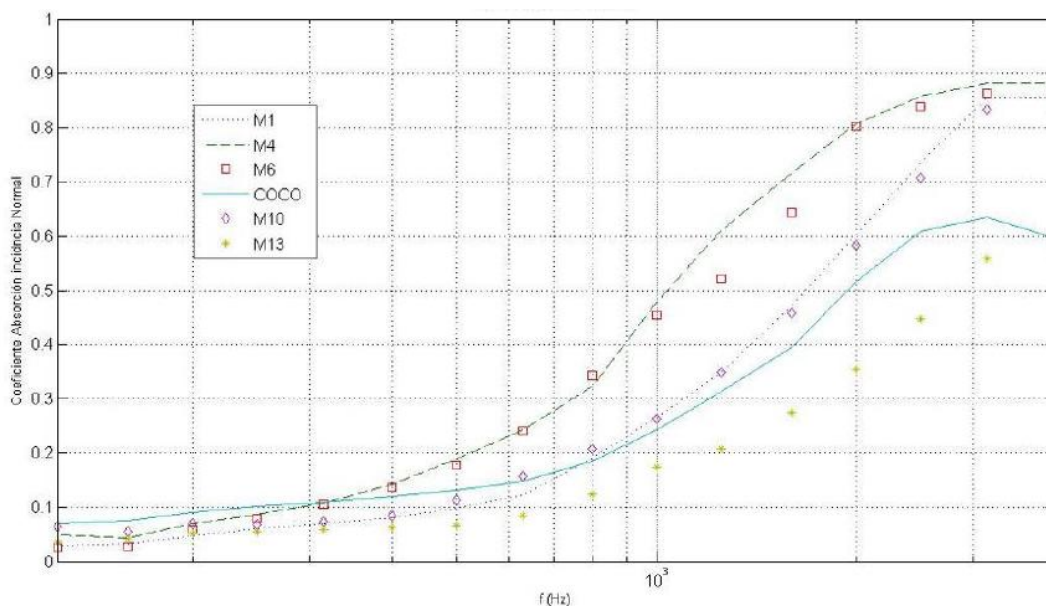


Figura 3.12 - Coeficiente de absorção de algumas amostras (Rey et al., 2012)

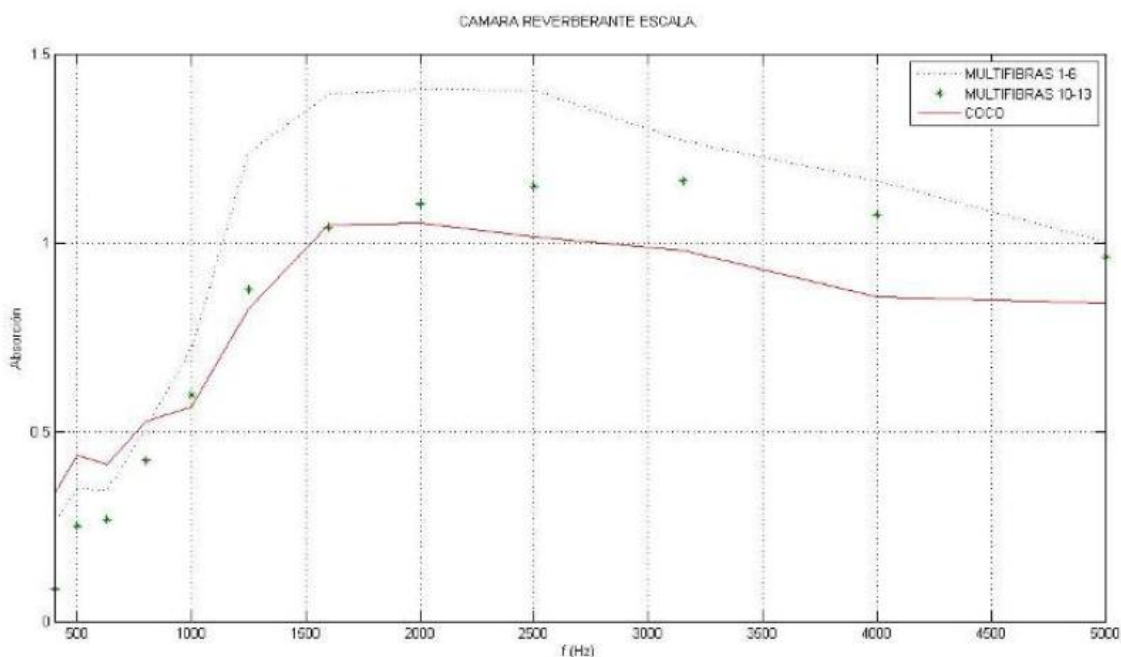


Figura 3.13 - Absorção das barreiras acústicas na câmara de reverberação (Rey et al., 2012)

Estudos deste tipo, na fabricação de barreiras acústicas, têm muita importância em dois sentidos. Um deles é a preocupação de utilizar materiais reciclados de forma a diminuir a utilização das matérias-primas não renováveis. Outro é a preocupação com a poluição sonora,

tentando minimizar o ruído produzido pelo tráfego (ruído de banda larga) nas rodovias e ferrovias, principalmente.

4 MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO E/OU ACÚSTICO

Os isolantes são componentes da construção muito importantes, pois permitem melhorar o conforto térmico e acústico nos edifícios. Vários estudos foram já desenvolvidos em relação a estes componentes, para que se possa obter uma solução sustentável. Os materiais reciclados testados são de variadíssimas origens.

Segundo Rushforth et al. (2003) a utilização de resíduos de tapetes para fabrico de isolamento acústico é uma alternativa viável, quer economicamente quer ambientalmente. Estes autores mostraram que os materiais provenientes de desperdícios industriais de tapetes apresentam boas propriedades acústicas podendo, desta forma, serem utilizados na produção de placas com a finalidade de isolamento. Neste estudo foi também avaliado o desempenho dos materiais com grânulos do mesmo tamanho e de tamanhos diferentes. Os resultados mostraram que os tamanhos singulares não apresentaram vantagens em relação aos outros.

Estes autores exploraram um assunto interessante, contudo é de notar que nos anos procedentes mais nenhum estudo foi feito neste sentido. Seria importante pegar nestes resíduos e explorar as suas potencialidades a fim de encontrar um material com desempenho acústico e quem sabe até térmico.

Um outro estudo foi desenvolvido por Bernardin et al. (2006) onde aplicaram os resíduos de indústrias de cerâmica como substituintes de poliestireno expandido e madeiras no interior de paredes. Estes resíduos misturados com água e substâncias orgânicas são utilizados para produzir cerâmica de baixa densidade. Estudaram algumas propriedades desta cerâmica, contudo as propriedades térmicas e acústicas não foram muito exploradas. As conclusões em relação ao desempenho térmico e acústico têm um parecer positivo, mas nada conclusivo.

Assim, seria importante estudar esta matéria em relação às propriedades térmicas e acústicas dos resíduos de cerâmica a fim de se poder elaborar conclusões mais evidentes.

O estudo desenvolvido por Garcia-Valles et al. (2008), já foi retratado neste trabalho no subcapítulo das barreiras acústicas. Este estudo mostrou também que o material aplicado nas barreiras como isolante, designado por “PROUSÓ”, pode ser aplicado em edifícios melhorando o desempenho acústico e térmico.

Como já referimos no subcapítulo 2.3, este assunto é relevante não só devido à importância que é dada à acústica e à térmica mas também pela importância que é dada aos resíduos industriais. Nos dias de hoje são geradas enormes quantidades destes resíduos e são principalmente depositados em aterros. Caso esta alternativa de reciclagem seja favorável, a quantidade de resíduos depositados em aterro poderá diminuir, o que traz uma grande vantagem para o meio ambiente.

Para Bernardo et al. (2006) e para Ayadi et al. (2010) os resíduos de vidro para produção de espumas de vidro são uma solução viável. As espumas de vidro têm três características muito importantes, são bons isolantes térmicos, bons isolantes acústicos e não são inflamáveis (devido à sua natureza inorgânica). O estudo desenvolvido por Bernardo et al. (2006) não conclui acerca do desempenho térmico e acústico das espumas de vidro, contudo afirma ter uma boa resistência mecânica. No estudo feito por Ayadi et al. (2010) desenvolveram uma placa sanduíche feita à base de vidro triturado, onde no interior se encontra a espuma de vidro e nas partes exteriores as fibras de vidro (Figura 4.1). As características deste material isolante são uma condutividade térmica (λ) de $0,031\text{W/m}^\circ\text{C}$ e um coeficiente de isolamento acústico (R) de 15dB. Este material apresenta também boa resistência à compressão, à prova de fogo e à água.

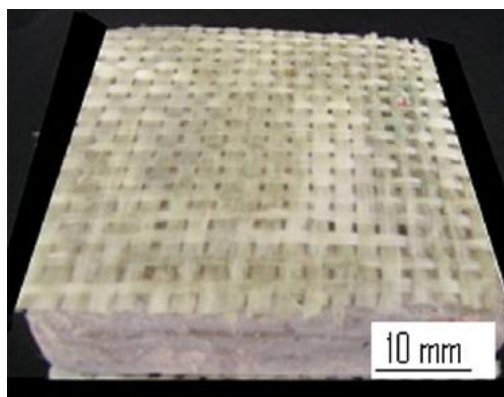


Figura 4.1 - Placa sanduíche (espuma de vidro e duas camadas de fibras de vidro) (Ayadi et al., 2010)

Saiz-Arroyo et al. (2012) estudaram a aplicabilidade de resíduos de espumas de poliolefinas na produção de novas espumas. Os resíduos são aquecidos e prensados dando origem ao novo material. Estas espumas recicladas apresentam propriedades mecânicas inferiores às espumas produzidas a partir de matéria-prima virgem. Os valores da condutividade térmica das espumas recuperadas são ligeiramente mais elevados que os valores das espumas obtidas da matéria-prima virgem (Figura 4.2). Relativamente ao coeficiente de absorção, este apresenta

valores um pouco superiores nas amostras recuperadas em relação às amostras virgens (Figura 4.3). Como conclusão, estes autores consideram que estas espumas recicladas apresentam bom isolamento térmico e boa absorção acústica.

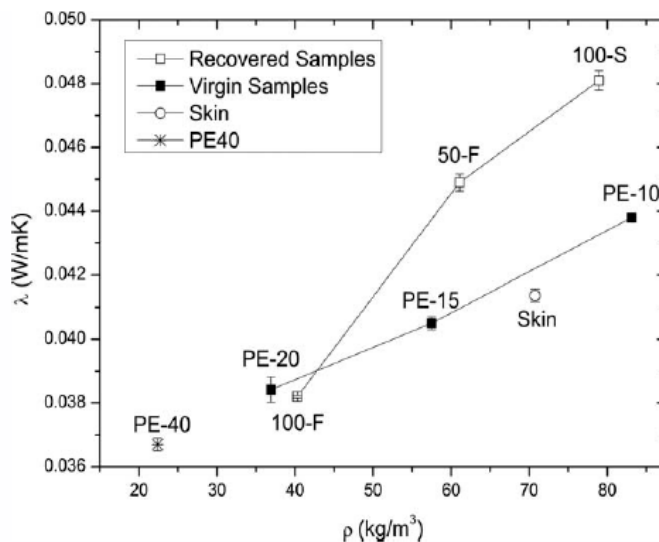


Figura 4.2 - Condutividade térmica das amostras recuperadas e virgens (Saiz-Arroyo et al., 2012)

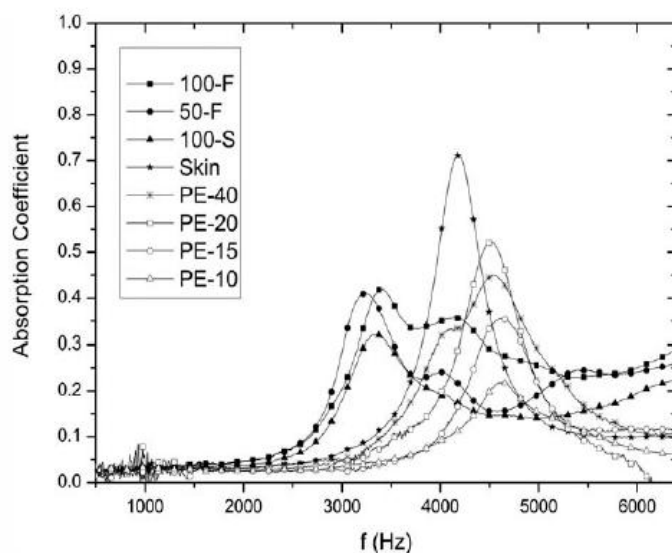


Figura 4.3 - Coeficiente de absorção das amostras recuperadas e virgens (Saiz-Arroyo et al., 2012)

Este estudo mostra-nos que as características destes materiais não sofrem grandes alterações com a reciclagem. Este factor tem muita importância, pois sabemos que nem sempre a reciclagem confere aos novos materiais as mesmas características em relação aos materiais obtidos por matérias-primas virgens. Em relação ao desempenho acústico, este ainda consegue ter valores superiores nas amostras recuperadas em relação às amostras virgens, o que confere a este material uma vantagem. Achamos que este estudo pode gerar mais uma solução para a reciclagem destes materiais e um grande contributo para a construção.

A aplicação de aparas de madeira e embalagens de poliestireno (plástico) é uma boa solução como material isolante para tectos e paredes divisórias (Agoua et al., 2010). Estes autores usam as embalagens de poliestireno dissolvido como cola para ligar as aparas de madeira umas às outras. Foram usados dois tipos de madeira. A condutividade térmica das amostras deste estudo é baixa, o que confere a este material um bom desempenho térmico. A condutividade térmica varia com o teor de cola (Figura 4.4) e com o tamanho dos grânulos das aparas de madeira (Figura 4.5).

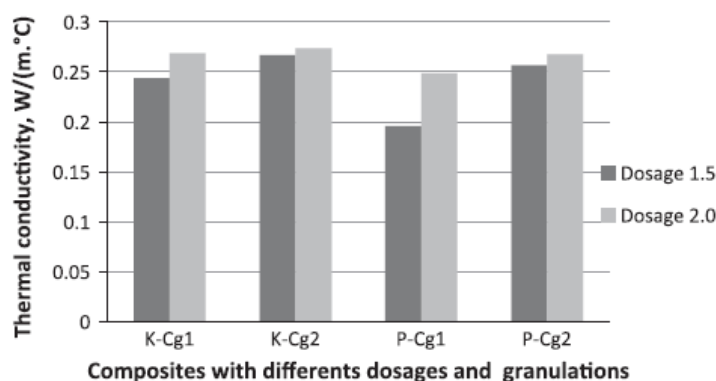


Figura 4.4 - Histograma da variação da condutividade térmica de acordo com o teor de cola (Agoua et al., 2010)

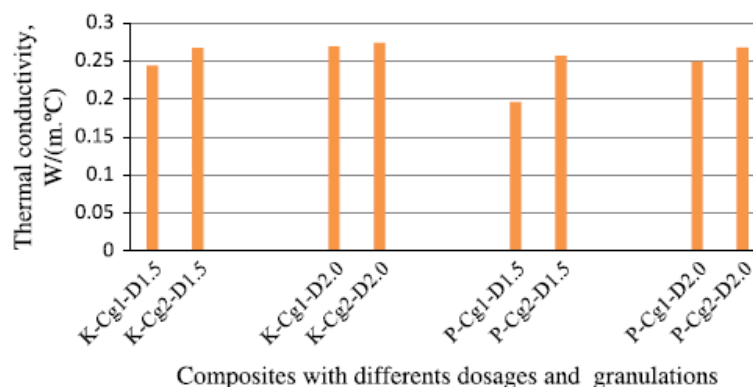


Figura 4.5 - Histograma da variação da condutividade térmica de acordo com os grânulos de madeira (Agoua et al., 2010)

Trata-se, assim, de um estudo que nos mostra outros tipos de materiais que se podem reciclar. Aproveitando este estudo, seria interessante utilizar outros materiais em substituição das aparas de madeira e comparar o desempenho térmico. Seria interessante também determinar o desempenho acústico destes materiais estudados por Agoua et al., 2010.

Melo et al. (2010) desenvolveram um estudo para determinar o desempenho térmico da composição gesso/resíduos de calçado, gesso e gesso/vermiculite. A comparação dos resultados dos testes de condutividade mostra que a produção de placas de gesso/resíduos de calçado é a solução que apresenta melhor desempenho térmico. A condutividade térmica deste material estudado foi de 0,26W/m° C. O coeficiente de transmissão térmica das diferentes placas é apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Coeficiente de transmissão térmica (Melo et al., 2010)

Masonry	U (W/m ² /°C)
Reference wall (without the plate coating)	0.491
Wall + plaques of composite gypsum/vermiculite	0.30
Wall + composite gypsum boards/EVA	0.289

Andrade e Medeiros (2012) testaram os resíduos de calçado, gerados pela indústria, na fabricação de placas pré-moldadas (Figura 4.6) e para enchimento de lajes como um isolante acústico. Deste estudo, concluíram que este material tem boas características acústicas e que pode ter estas duas aplicabilidades.



Figura 4.6 - Placas pré-moldadas de resíduos de calçado (Andrade e Medeiros, 2012)

Estes dois estudos descritos anteriormente são bastante interessantes devido à elevada produção de resíduos de calçado que se gera diariamente. Uma aparente falha nestes estudos tem a ver com a falta de observação em simultâneo do desempenho térmico e acústico. Seria interessante trabalhar e explorar mais este assunto, podendo obter um material isolante sustentável.

Segundo Karademir et al. (2011) a utilização de uma mistura de resíduos de papel com 15 e 30% de fibras de lã, fibras de cerâmica e pó de algodão para produção de painéis com propriedades de isolamento térmico e acústico é uma solução apetecível. O valor mais elevado de absorção de som foi conseguido pelas amostras que continham 30% de fibras de lã, como se pode verificar na Figura 4.7. Em relação à melhor estabilidade térmica, esta é conseguida pelas amostras que contém fibras de cerâmica.

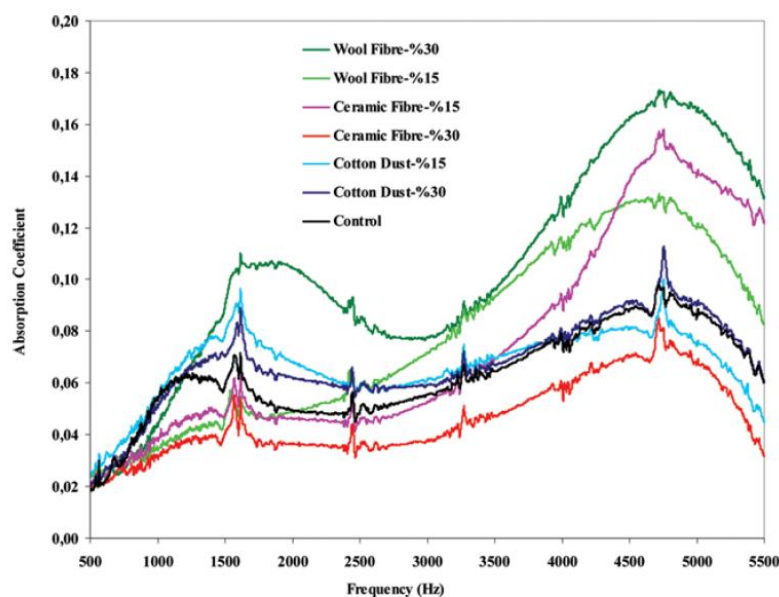


Figura 4.7 - Coeficiente de absorção acústica das diferentes amostras (Karademir et al., 2011)

Este estudo é importante, pois é avaliado o desempenho dos resíduos de papel como isolantes térmicos e acústicos. Contudo não há estudos para que se possam comparar resultados.

Os resíduos da indústria têxtil também são gerados em grandes quantidades. Dois grupos de autores desenvolveram estudos no sentido da aplicação destes resíduos em materiais isolantes com bom desempenho térmico e acústico. Rey et al. (2011) estudaram a aplicabilidade das espumas de poliuretano obtidas pelos resíduos de almofadas, palmilhas, etc. Neste estudo determinaram o desempenho acústico deste material reciclado. Para determinar este desempenho acharam o coeficiente de absorção acústica a partir de diversos modelos. Este estudo mostra que o material reciclado tem melhorias no comportamento acústico. Para Brigasá et al. (2012) a aplicação de resíduos de tecido como isolante térmico é uma boa solução. A condutividade térmica dos resíduos de tecido é de 0,044W/m.°C. Este valor de condutividade é semelhante aos valores de condutividade da espuma de poliestireno expandido (EPS), do poliestireno extrudido (XPS) e da lã mineral (MW) (Tabela 4.2). Este resíduo é aplicado na caixa-de-ar entre duas paredes duplas. A resistência térmica aumenta 56% para os resíduos de tecido quando comparados com a caixa-de-ar vazia.

Tabela 4.2 - Condutividade térmica de alguns materiais disponíveis no mercado (Santos e Matias, 2006)

Thermal insulation materials	Thermal conductivity, λ (W/m °C)
Molded expanded polystyrene (EPS)	0.037-0.055
Extruded expanded polystyrene (XPS)	0.037
Mineral wool (MW)	0.040-0.045
Granules of clay, vermiculite or expanded perlite	0.060-0.160

Estes dois estudos são muito relevantes devido à elevada produção deste tipo de resíduos. Em relação ao primeiro estudo importa determinar o desempenho térmico e em relação ao segundo estudo interessa determinar o desempenho acústico. Para ambos tem interesse determinar mais propriedades, principalmente a resistência à compressão, à água e ao fogo. Tem interesse determinar também a melhor forma de como aplicar estes materiais na caixa-de-ar. Seria importante no futuro, melhor a aplicação deste tipo de resíduos como isolantes térmicos e acústicos, pois verificámos que tem potencialidades, mas interessa agora explorá-las.

Para finalizar este capítulo falta analisar a aplicação dos resíduos de borracha em isolamentos. Alguns estudos têm vindo a ser desenvolvidos e pelo que lemos, este resíduo tem vindo a ser bem explorado para desempenhar o papel de isolamento.

Pfretzschnner e Rodríguez (1999) verificaram que fragmentos de borracha são bons amortecedores de ruído num espectro de absorção de banda larga.

Yang et al. (2004) estudaram a aplicabilidade de resíduos de borracha de pneu para um painel com propriedades de isolamento. Estes determinaram que o painel possuía melhoramento acústico.

Outro grupo de pesquisadores (Hong et al., 2007) descobriu que um painel feito de partículas de borracha reciclada tem boas propriedades de absorção de som.

Para Zhao et al. (2009) painéis feitos a partir de madeira e resíduos de borracha de pneu tem um bom desempenho como isolamento acústico. O resíduo de borracha é triturado e depois aglomerado à madeira com adesivos comerciais. Estes autores mostraram também que quanto maior a percentagem de borracha melhor o desempenho acústico do painel, como mostra a Figura 4.8 (neste ensaio o tamanho das partículas de borracha é de 5mm). O tamanho das partículas também influencia o desempenho acústico da amostra (ver Figura 4.9), ou seja, quanto maior as partículas melhor o desempenho.

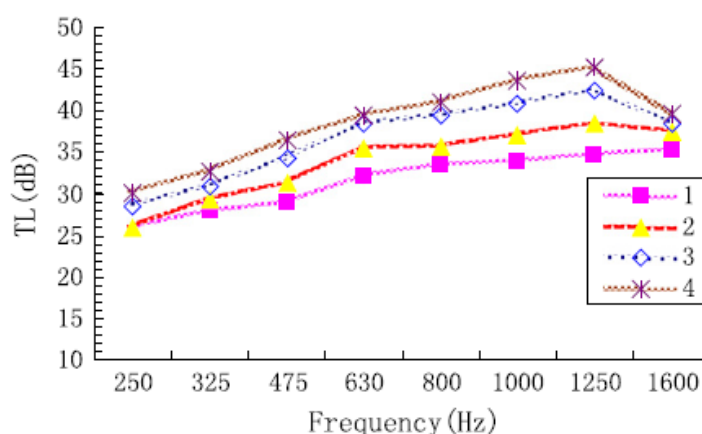


Figura 4.8 - Coeficiente de perda de transmissão de som das amostras estudadas (amostra 1 – aglomerado de madeira comercial; amostra 2 – tábuas de madeira comercial para chão; amostra 3 – aglomerado de madeira e borracha à razão 60:40; amostra 4 – aglomerado de madeira e borracha à razão 50:50 (Zhao et al., 2009))

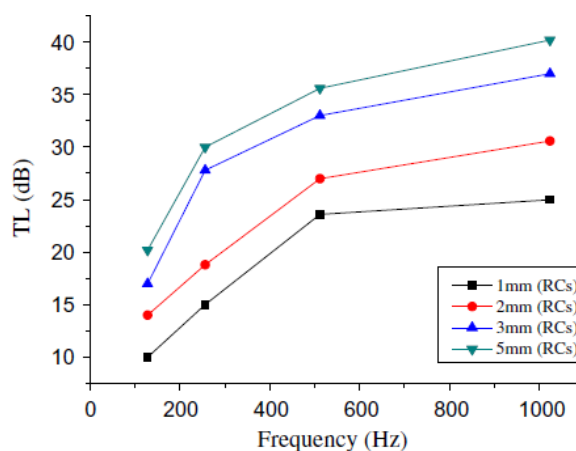


Figura 4.9 - Coeficiente de perda de transmissão de som para os diferentes tamanhos de grânulos de borracha (aglomerado de madeira e borracha à razão 60:50) (Zhao et al., 2009)

Segundo Maderuelo-Sanz et al. (2010) as propriedades acústicas de um painel feito de resíduos de borracha e resíduos têxteis dos pneus são muito boas. Este grupo de investigadores aproveitou o reforço têxtil dos pneus, ou seja, resíduos têxteis incorporados no bordo dos pneus, e a borracha triturada para fabricar painéis. A amostra que apresenta uma porosidade mais elevada é M-E e uma porosidade mais baixa é M-G. A Figura 4.10 mostra o coeficiente de absorção de todas as amostras estudadas. Os melhores resultados de absorção acústica em baixas frequências são obtidos pelas amostras M-E e M-F, para altas frequências são obtidos pelas amostras M-B e M-C. Em relação à Figura 4.11, esta apresenta o coeficiente de absorção de algumas amostras e o coeficiente de absorção das fibras de vidro. As amostras de fibras de vidro apresentam diferentes espessuras. As conclusões mostram que estes painéis possuem boas propriedades acústicas em baixas e altas frequências. O aumento da espessura do painel diminui o coeficiente de absorção acústica e quanto maior a quantidade da resina menor a absorção.

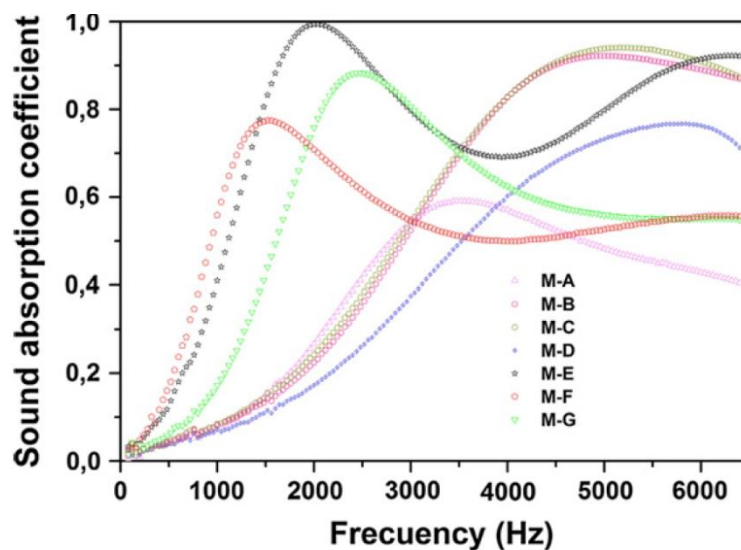


Figura 4.10 - Coeficiente de absorção sonora das amostras (Maderuelo-Sanz et al., 2010)

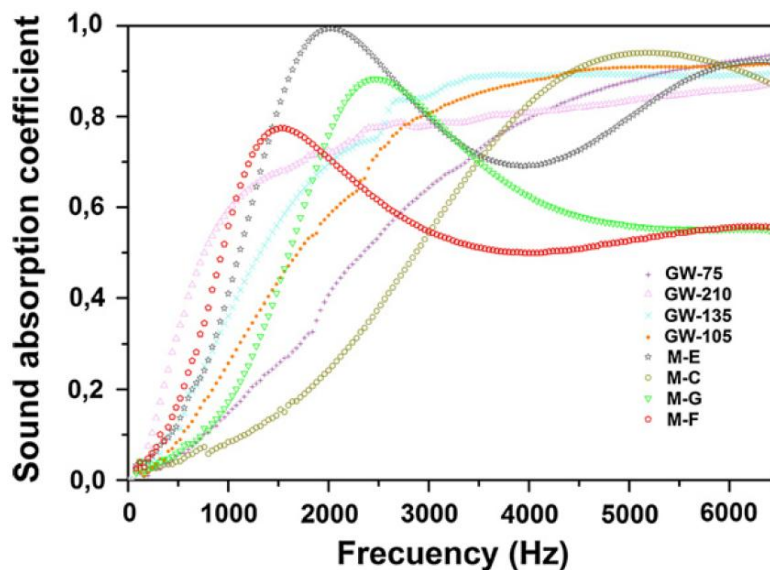


Figura 4.11 - Coeficiente de absorção de algumas amostras e de fibras de vidro (Maderuelo-Sanz et al., 2010)

Para Jimenez-Espadafor et al. (2010) a utilização dos reforços têxteis dos pneus (Figura 4.12) para o fabrico de painéis também é uma solução viável como propriedade acústica. Este estudo mostra também uma contradição que se torna um factor negativo para a construção, quanto mais baixa densidade do painel, maior desempenho acústico, mas menor propriedades mecânicas. Não foi possível reunir as duas condições num mesmo material. O material obtido por estes com melhor desempenho acústico tem uma densidade de 180kg/m^3 (Figura 4.13) e o

tamanho dos grânulos é de 5mm (tamanho que desempenha o melhor coeficiente de absorção). Este material mostrou melhor desempenho que muitos produtos comerciais.



Figura 4.12 - Resíduos têxteis dos reforços dos pneus (Jimenez-Espadafor et al., 2010)

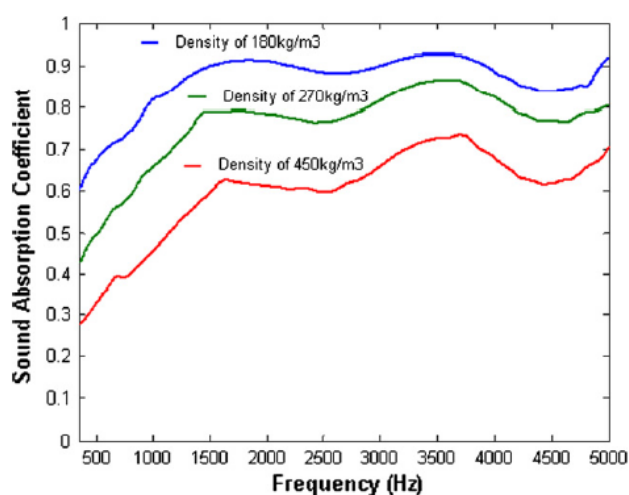


Figura 4.13 - Coeficiente de absorção sonora das amostras com diferentes densidades (Jimenez-Espadafor et al., 2010)

Um outro estudo feito por Maderuelo-Sanz et al. (2010) mostra que painéis de borracha de pneu triturado podem ser usados como isolantes de som, pois apresentam bom desempenho acústico (Figura 4.14). Uma conclusão deste estudo refere que os painéis que apresentam melhor desempenho são constituídos apenas por borracha de pneu triturada e um ligante. Estes painéis podem competir com os produtos de mercado, pois em relação a alguns, têm melhores propriedades acústicas, como mostra a Figura 4.15.

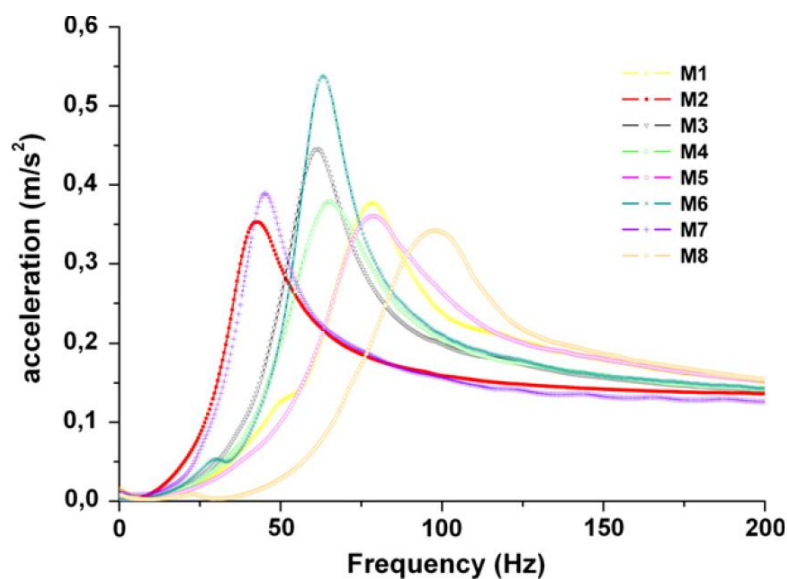


Figura 4.14 - Resposta da frequência aos testes de impacto para todas as amostras (Maderuelo-Sanz et al., 2010)

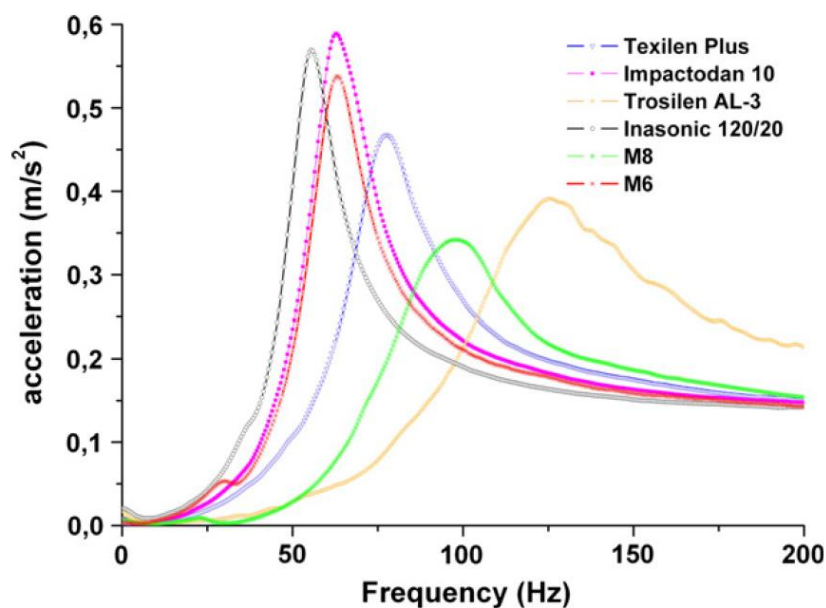


Figura 4.15 - Resposta da frequência aos testes de impacto para duas amostras estudadas e quatro amostras comerciais (Maderuelo-Sanz et al., 2010)

Para Benkreira et al. (2011) os resíduos pneus apresentam um bom desempenho térmico e acústico. Estes desenvolveram umas placas com grânulos de borracha e fibras usando um ligante, poliuretano. O interesse neste estudo é a criação de uma espuma com propriedades

térmicas e acústicas que possam competir com as espumas disponíveis no mercado. As conclusões deste estudo são positivas, ou seja, estas espumas apresentam um bom desempenho térmico e acústico. Concluíram também que o comprimento das fibras influencia o coeficiente de absorção acústica, como mostra a Figura 4.16.

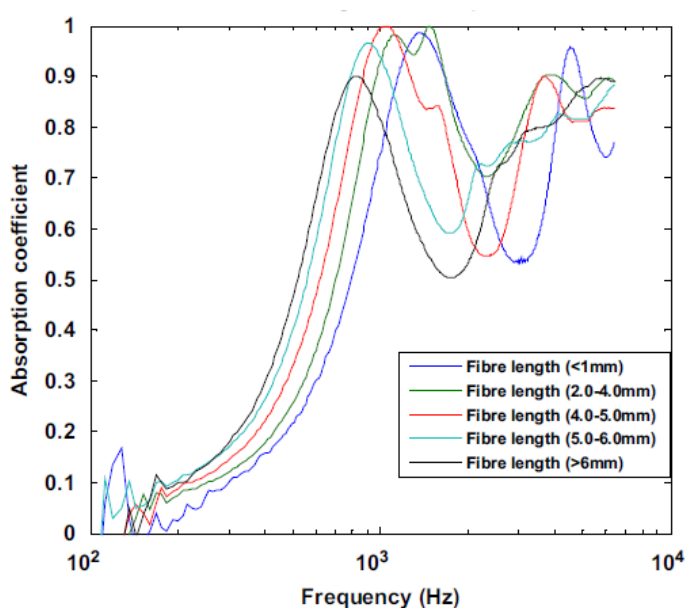


Figura 4.16 - Variação do coeficiente de absorção acústica em função do comprimento das fibras (Benkreira et al., 2011)

Segundo Herrero et al. (2012) a aplicação de borracha granulada e em pó na fabricação de placas tem um parecer positivo, pois as placas apresentam um bom desempenho térmico e acústico. Estas placas são feitas a partir de borracha, obtida pelos resíduos de pneus, e gesso. Os grânulos de borracha são de diferentes tamanhos. Deste estudo concluíram que quanto menor o tamanho das partículas, melhor desempenho térmico (ver Figura 4.17). Os melhores resultados de isolamento sonoro são obtidos com uma espessura mínima de 2 cm para a placa.

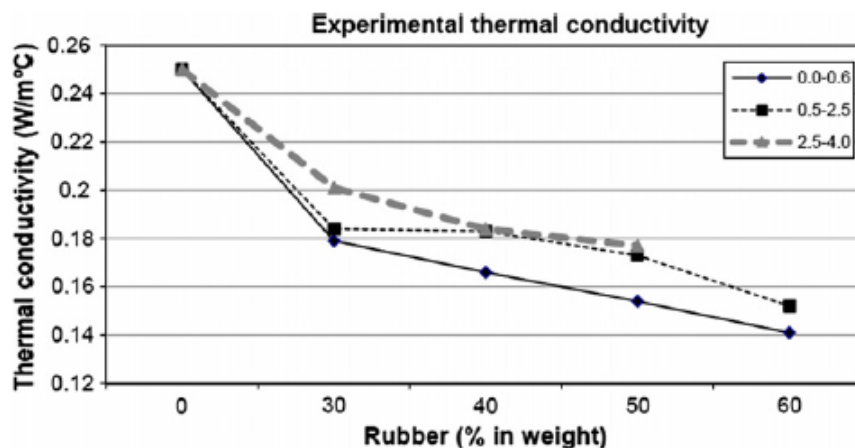


Figura 4.17 - Condutividade térmica de acordo com a gradação das partículas (Herrero et al., 2012)

Todos estes estudos desenvolvidos na aplicação de resíduos de borracha como materiais de isolamento são importantes, pois através destes podemos verificar que a borracha apresenta um bom desempenho térmico e acústico. Notámos que estes materiais mostram alguma competitividade com os de mercado, pois apresentam melhor desempenho que alguns isolantes comerciais e são mais baratos. Contudo não quer dizer que podemos parar este tipo de investigação por aqui porque ainda à muito a fazer. Dos estudos feitos por Zhao et al. (2009) e Jimenez-Espadafor et al. (2010) percebemos que quanto menor a densidade do material, melhor desempenho acústico. Contudo isto acarreta um problema, ou seja, menor densidade do material implica menor desempenho mecânico. Daqui podemos verificar que ainda existem estudos e matérias a necessitarem de ser desenvolvidas e aperfeiçoadas. Em alguns destes estudos também avaliaram só a componente acústica, só nos dois últimos estudos (Benkreira et al., 2011 e Herrero et al., 2012) avaliaram a componente térmica e a componente acústica.

5 AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DE ALGUMAS AMOSTRAS

No âmbito do presente trabalho, realizou-se uma avaliação e comparação entre amostras recicladas e amostras comerciais, no que respeita ao desempenho térmico e acústico.

Para avaliar e comparar o desempenho térmico e acústico, usamos oito amostras. As amostras recicladas foram escolhidas a partir da informação sintetizada na revisão do estado da arte. A composição de cada uma delas é descrita nos seguintes parágrafos.

As duas primeiras amostras, como mostra a Figura 5.1, são feitas a partir de resíduos têxteis. Estes resíduos são provenientes de indústrias têxteis, tecidos e roupas que atingiram o seu fim de vida. Os resíduos são triturados, de seguida aglomerados e prensados. As características destas duas amostras são diferentes, variando também a sua densidade (Figura 5.1 (b)).



Figura 5.1 - Amostras de resíduos têxteis ((a) – Amostra Cinza B; (b) – Amostra Cinza A)

As seguintes amostras (Figura 5.2) são fabricadas a partir de resíduos de espumas sintéticas, mais tecnicamente, espumas de poliuretano (comercializadas com a designação “aglomex acoustic”). Estes resíduos podem ter diversas origens, tais como, resíduos de fábricas de colchões, reciclagem de colchões, almofadas, sofás, automóveis, entre outras. Estas três amostras foram conseguidas a partir da trituração das espumas, sendo depois aglomeradas e prensadas. Por fim estas placas são cortadas com densidades e espessuras pretendidas.

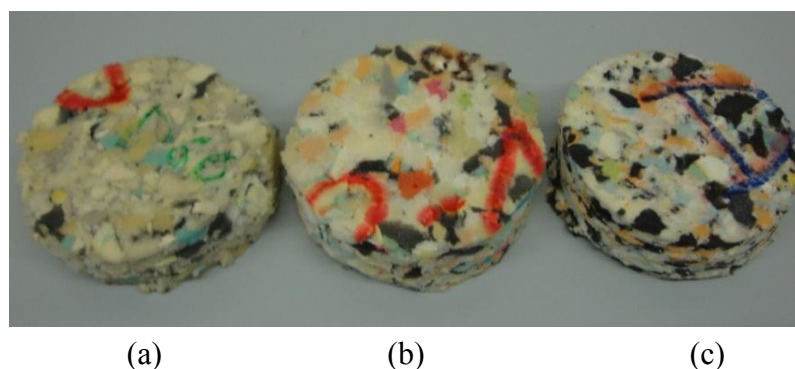


Figura 5.2 - Amostras de resíduos de esponja “aglomex acoustic” ((a) – Amostra A; (b) – Amostra B; (c) – Amostra C)

O terceiro conjunto de três amostras, mostradas na Figura 5.3, são produtos comerciais de origens não reciclável. Estes três materiais apresentam bom desempenho em relação às propriedades térmicas e acústicas, sendo soluções correntes na construção.

A Figura 5.3 (a) representa uma lã de rocha (comercializada com a designação “arena”). É um produto de lã mineral obtido a partir de areia. Esta areia é fundida e dá origem a fibras que se entrelaçam. Este produto apresenta boas características térmicas e acústicas e o seu material é incombustível.

A segunda amostra deste conjunto tem a designação comercial de basotect (Figura 5.3 (b)); é uma espuma flexível de células abertas feita de resina de melamina. A estrutura deste material é uma rede tridimensional composta por filamentos finos. É um material com baixa densidade, com elevada capacidade de absorção de som e boas propriedades de isolamento térmico, apresentando também boa resistência ao fogo.

A espuma de poliuretano, como apresenta a Figura 5.3 (c), é um polímero que compreende uma cadeia de unidades orgânicas unidas por ligações simples. É também uma espuma de células abertas.

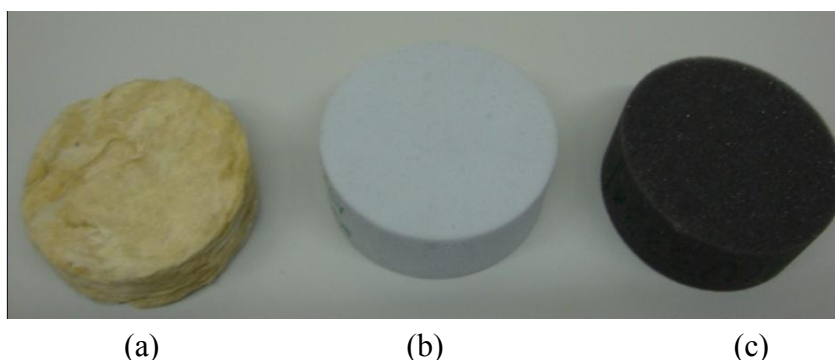


Figura 5.3 - Amostras de produtos comerciais ((a) – lã de rocha; (b) – basotect; (c) – poliuretano)

Por fim utilizamos também uma amostra comercial de perfurado de madeira (Figura 5.4). O interesse neste perfurado está relacionado com a capacidade de absorção, pois trata-se de um ressoador (materiais com capacidade de absorção acústica). O diâmetro dos perfurados é de 7mm.

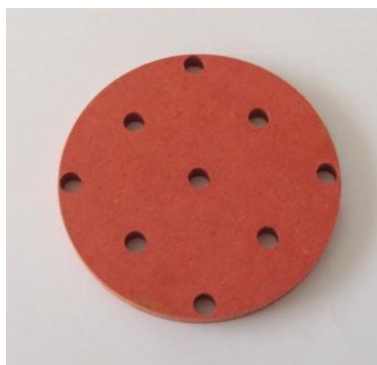


Figura 5.4 - Amostra de perfurado de madeira

As características determinadas em laboratório, tais como, o diâmetro, a espessura, a massa e a densidade de cada amostra são apresentadas na Tabela 5.1. A densidade de cada amostra é apresentada na Figura 5.5.

Tabela 5.1 - Características de cada amostra

Amostras	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Massa (g)	Densidade (kg/m ³)
Amostra Cinza A	100	16,6	17,1	131,23
Amostra Cinza B	100	13,7	7,7	71,60
Amostra A	100	32,5	16,9	66,24
Amostra B	100	32,1	21,5	85,32
Amostra C	100	30,9	32	131,92
Lã de Rocha	100	32,1	14	55,56
Basotect	100	40,4	3,2	10,09
Poliuretano	100	40,3	7,9	24,97

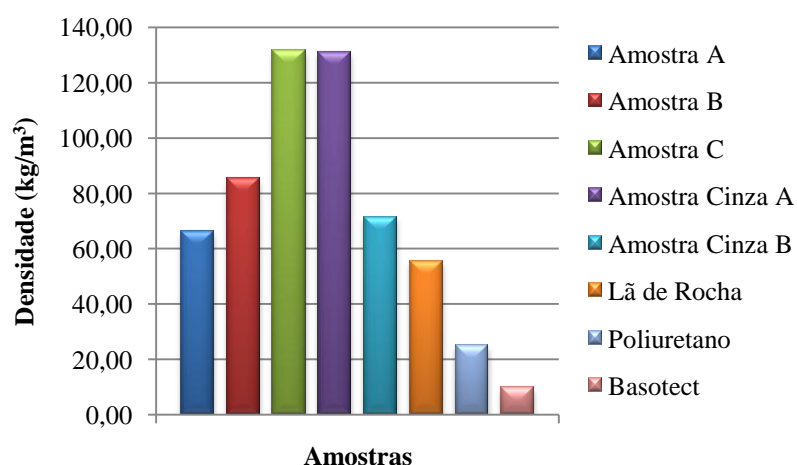


Figura 5.5 – Densidades das amostras recicladas e das amostras comerciais

5.1 Desempenho térmico

5.1.1 Parâmetros de caracterização

O parâmetro utilizado para avaliar e caracterizar os materiais em relação à térmica foi a condutividade térmica (λ). Este parâmetro indica a capacidade que um material tem em conduzir energia térmica. As unidades deste parâmetro são apresentadas em W/m.K ou W/m.°C. Um material que apresente baixa condutividade é um bom isolante térmico, ou seja, quanto menor o valor de λ do material, melhor isolamento térmico. Segundo Santos e Matias

(2006) consideram isolantes térmicos os materiais que apresentam uma condutividade inferior a 0,065 W/m.°C.

Os valores da condutividade das oito amostras não foram determinados neste estudo, recorreremos à literatura. Para a Amostra A e Amostra C a condutividade foi determinada pelo Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (AGLOMEX@, 2013). Comercialmente as amostras são designadas por: Amostra A - AGL60 e Amostra C - AGL120. Os valores da condutividade são apresentados na Tabela 5.2. Para a Amostra B não foi determinado o valor da condutividade.

Tabela 5.2 - Valores da condutividade térmica da Amostra A e da Amostra C

Amostras	Condutividade térmica (W/m.K)
Amostra A	0,036
Amostra C	0,039

Para as duas amostras de resíduos têxteis (Amostra Cinza A e Amostra Cinza B) usaram-se como referência dados de um produtor deste tipo de material, designadamente a empresa “LargeMind” que produz a solução “Fibertex”. As espessuras e as densidades deste produto são apresentadas na Tabela 5.3. A condutividade deste material é de 0,040 W/m.K para as diferentes densidades (NEEI@, 2013).

Tabela 5.3 - Espessura e densidade das amostras de “Fibertex”

Espessura (mm)	Densidade (kg/m³)
30	30
40	50
50	80

Os valores da condutividade térmica destas amostras (Amostra A, Amostra C, Amostra Cinza A e Amostra Cinza B) são apresentados na Figura 5.6, assim como as respectivas densidades de cada amostra. Dentro das amostras recicladas, a Amostra A apresenta um valor de condutividade mais baixo, apresentando também a densidade mais baixa. Destas quatro amostras, as amostras de resíduos têxteis (Amostra Cinza A e Amostra Cinza B) apresentam valores de condutividade mais elevados.

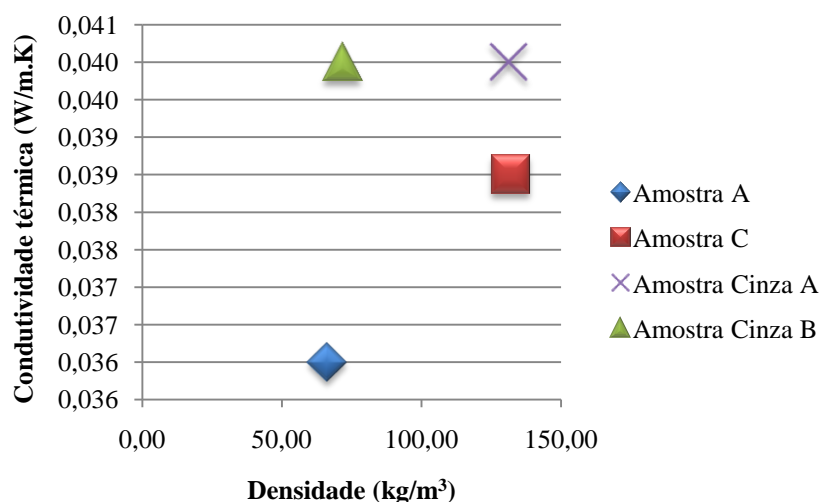


Figura 5.6 – Condutividade térmica e densidade de algumas amostras recicladas

5.1.2 Comparação com soluções tradicionais

Os valores da condutividade térmica das amostras de lã de rocha, basotect e poliuretano foram retirados respectivamente da seguinte bibliografia, ISOVER@ (2013), B6TECH@ (2013), e Santos e Matias (2006). Os valores da condutividade térmica destes materiais são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Condutividade térmica das amostras comerciais

Amostras	Condutividade térmica (W/m.K)
Lã de Rocha	0,036
Basotect	0,035
Poliuretano	0,040

Para avaliar o desempenho térmico das amostras comparamos os valores da condutividade dos materiais reciclados com os materiais comerciais, como representa a Figura 5.7. O material que apresenta uma condutividade mais baixa é o basotect. A Amostra A também apresenta um baixo valor de condutividade. Verifica-se também, que o poliuretano, a Amostra Cinza A e Amostra Cinza B têm o mesmo valor de condutividade térmica, contudo foi o valor mais elevado de condutividade térmica encontrado entre as amostras.

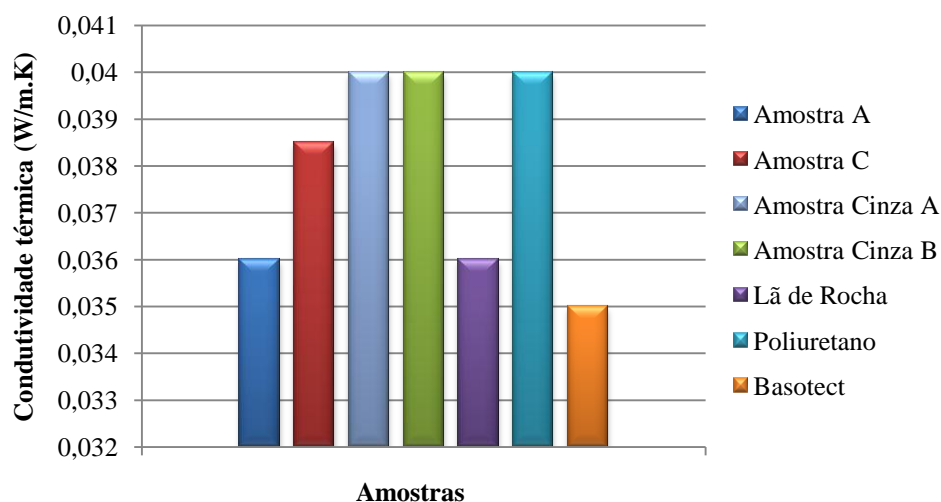


Figura 5.7 - Condutividade térmica das amostras comerciais e de três amostras recicladas

Fazendo uma avaliação em relação à condutividade térmica e à densidade das amostras (Figura 5.8) podemos verificar que a Amostra A e a lã de rocha apresentam densidades próximas e o valor da condutividade térmica é de 0,036 W/m.K para ambas as amostras. A Amostra Cinza A, a Amostra Cinza B e o poliuretano, como já verificamos anteriormente, apresentam a mesma condutividade térmica, mas a densidade da Amostra Cinza A é mais elevada. A Amostra C apresenta a densidade mais elevada de todas estas amostras, mas apresenta um valor de condutividade intermédio, de 0,0385 W/m.K. O basotect é a amostra comercial que apresenta os valores de condutividade e densidade mais baixos.

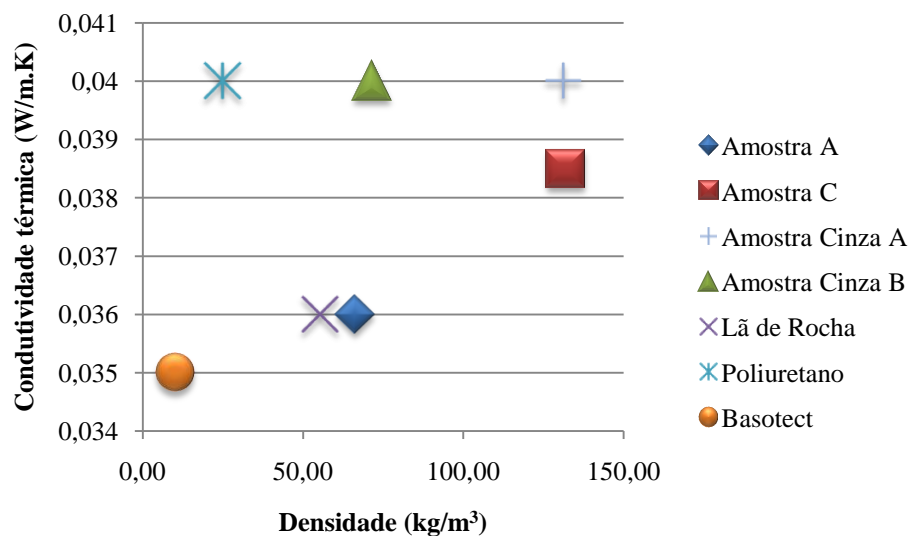


Figura 5.8 – Condutividade térmica e densidade de algumas amostras recicladas e das amostras comerciais

5.2 Desempenho acústico

5.2.1 Parâmetros avaliados

O parâmetro avaliado em laboratório foi o coeficiente de absorção acústica (α). Este coeficiente representa a capacidade que um material tem em absorver o som. Matematicamente este coeficiente é definido pela razão entre a energia absorvida e a energia incidente num material. Se o material reflectir toda a energia incidente, o valor α é zero, caso contrário, se o material absorver toda a energia incidente, α é um. Então, quanto maior o valor de α do material, melhor isolamento acústico.

Para determinar, em laboratório, o coeficiente de absorção acústica recorreremos ao método do tubo de impedância de acordo com a norma ISO 10534-2, e com a norma americana ASTM E 1050.

Este método consiste na emissão de um ruído de intensidade média constante ao longo do espectro de frequências, designado por ruído branco, em ondas planas, com o auxílio de um amplificador. Quando as ondas sonoras incidem na amostra dão-se variações de pressão provocadas pela transformação de alguma da energia sonora incidente em energia mecânica, o que diminui a pressão sonora reflectida. Estas variações de pressão são determinadas por dois

microfones que se encontram em posições pré-definidas. Os sinais dos microfones são processados por um analisador digital e, depois de tratados, obtêm-se os valores da absorção sonora em função da frequência do som.

O tubo de impedância usado foi do tipo 4206, como mostra a Figura 5.9, da marca Brüel & Kjaer, complementado por um amplificador do tipo 2716C (Brüel & Kjaer), tendo-se recorrido ao método dos dois microfones para a avaliação da absorção sonora das amostras. Para a aquisição de sinal, foi utilizado um sistema de aquisição multianalisador Pulse, modelo 3560-C (Brüel & Kjaer).

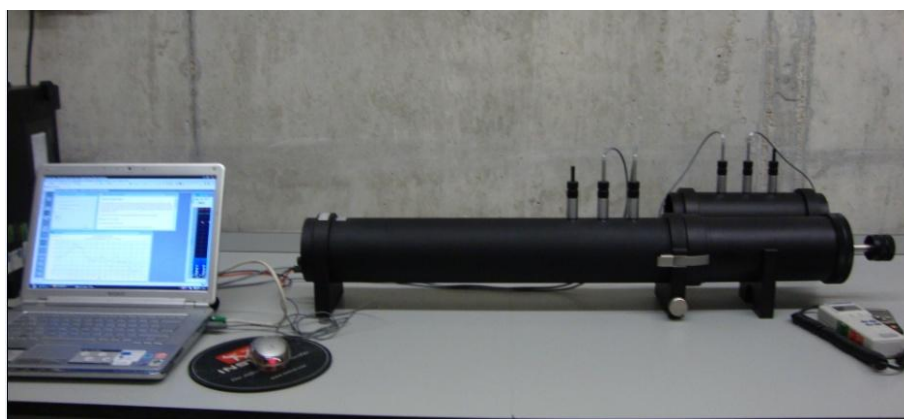


Figura 5.9 - Equipamento de ensaio (tubo de impedância)

Inicialmente registamos no programa a pressão, temperatura e humidade da sala onde está localizado o equipamento (Figura 5.10). De seguida, foi realizada uma verificação preliminar do sistema, avaliando o ruído no interior do tubo de impedância com a fonte em funcionamento e desligada. A diferença entre os níveis sonoros terá que ser igual ou superior a 10dB para todas as frequências, como mostra a Figura 5.11. Complementarmente, foi realizada a correcção prevista na norma ISO 10534-2, de forma a anular os erros de fase dos dois microfones, recorrendo a amostras de referência fornecidas pela Brüel & Kjaer (espumas sintéticas de célula aberta). Para esse efeito, foi registado o sinal com os microfones numa posição inicial, e invertendo depois o seu posicionamento relativo (Figura 5.12). Informação detalhada sobre este procedimento de ensaios pode encontrar-se em Patraquim et al. (2012).

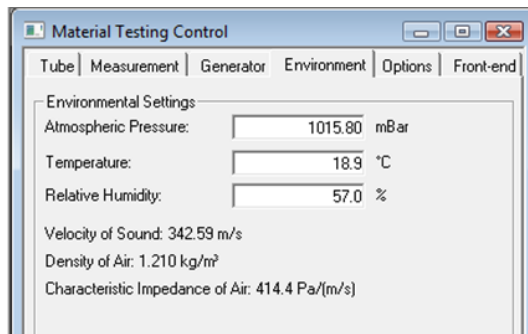


Figura 5.10 - Registo da pressão, temperatura e humidade da sala

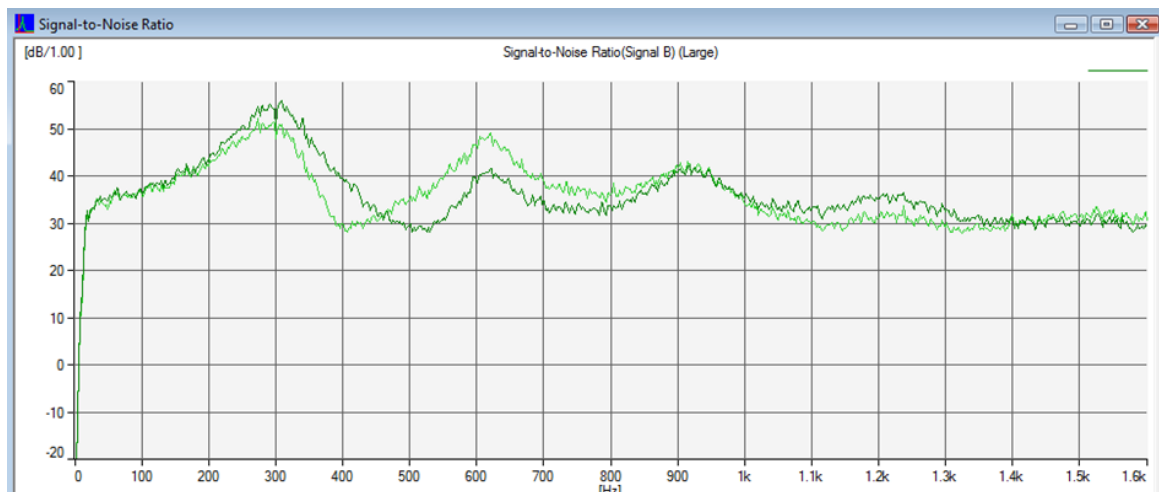


Figura 5.11 - Avaliação de ruído no interior do tubo de impedância

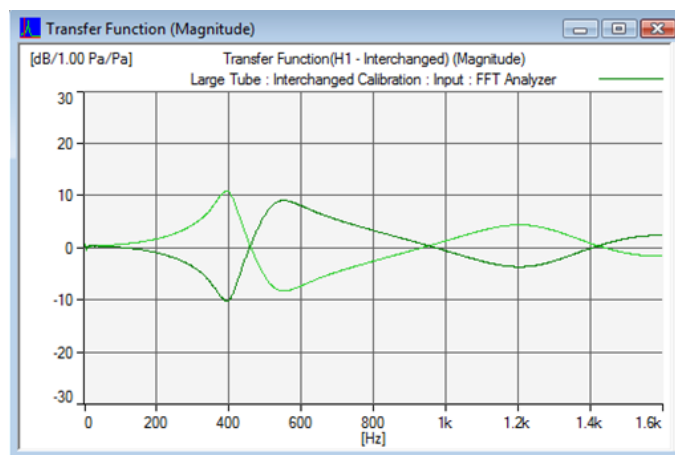


Figura 5.12 - Sinal dos microfones numa posição inicial e invertida

Os ensaios realizados estão compreendidos na gama das baixas frequências. Foram realizados 4 ensaios para cada amostra. Entre cada ensaio retiramos as amostras e recolocamo-las novamente no tubo de impedância. Fazendo o tratamento dos resultados obtidos determinamos as médias e os respectivos desvios padrão para cada amostra.

Os resultados obtidos para o coeficiente de absorção acústica da Amostra A, Amostra B e Amostra C são representados na Figura 5.14. Nas frequências analisadas a Amostra C apresenta os valores do coeficiente de absorção mais elevados e a Amostra A os valores mais baixos. Em relação às densidades a Amostra C é a mais densa e a Amostra A a menos densa.

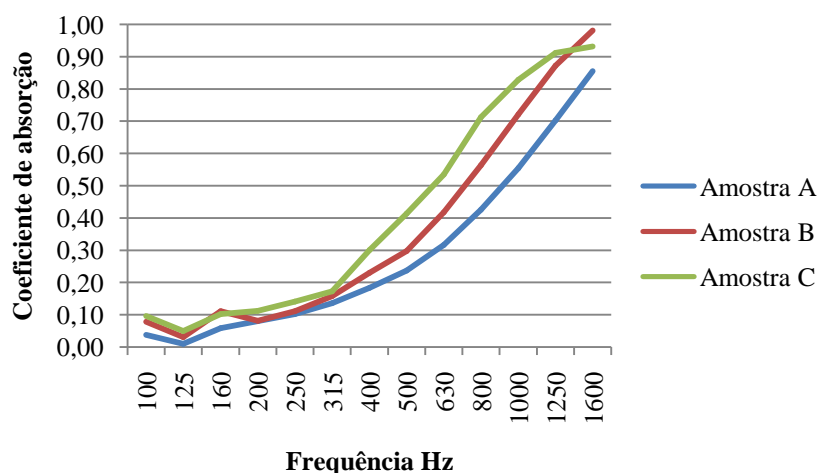


Figura 5.13 - Coeficientes de absorção das Amostra A, Amostra B e Amostra C

Para as amostras de resíduos têxteis (Amostra Cinza A e Amostra Cinza B) os resultados são apresentados na Figura 5.15. A Amostra Cinza A é mais densa e apresenta valores do coeficiente de absorção mais elevados em relação à Amostra Cinza B.

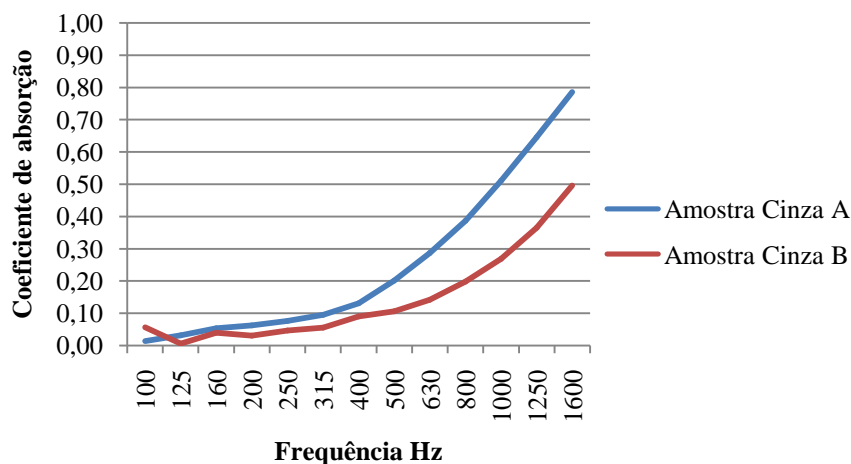


Figura 5.14 - Coeficientes de absorção das Amostra Cinza A e Amostra Cinza B

5.2.2 Comparação com soluções tradicionais

Os valores dos coeficientes de absorção para as respectivas frequências das amostras tradicionais (basotect, lã de rocha e poliuretano) são representados na Figura 5.16. O basotect e a lã de rocha apresentam valores do coeficiente de absorção muito análogos e superiores ao poliuretano. Em relação às densidades, o basotect é o menos denso e a lã de rocha a mais densa.

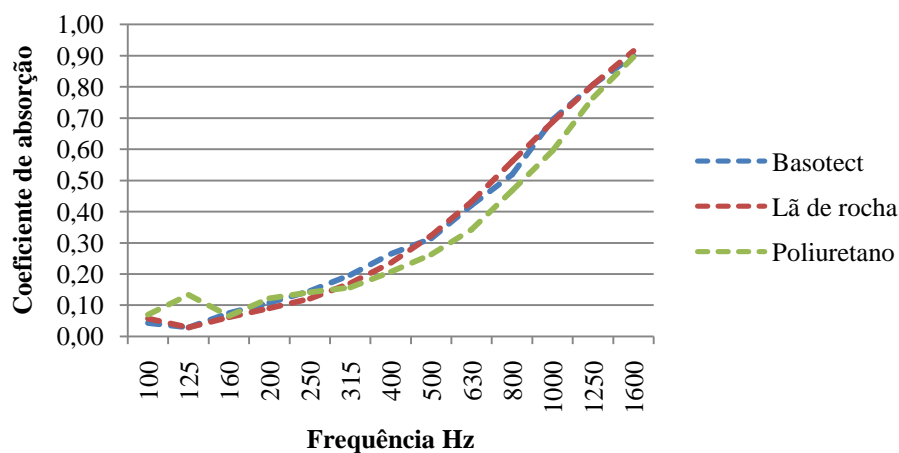


Figura 5.15 - Coeficientes de absorção das amostras comerciais

Os resultados do coeficiente de absorção para todas as amostras estudadas são apresentados na Figura 5.17. Verifica-se que nesta gama de frequências a Amostra C apresenta uma maior absorção e esta amostra também apresenta o maior valor de densidade. A Amostra Cinza A apresenta uma densidade muito próxima da Amostra C, contudo a Amostra Cinza A apresenta valores do coeficiente de absorção mais baixos. De todas as amostras, a Amostra Cinza B apresenta valores do coeficiente mais baixos e a sua densidade é intermédia, sendo de $71,60 \text{ kg/m}^3$. A Amostra B apresenta valores de absorção muito próximos do basotect e da lã de rocha.

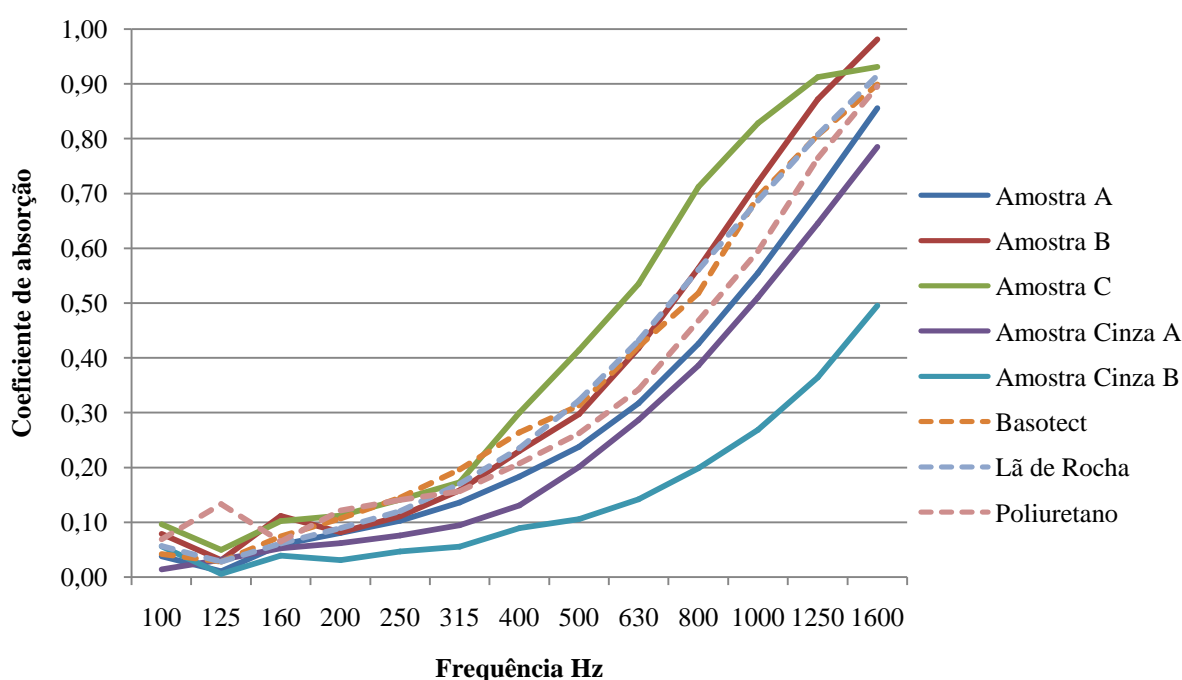


Figura 5.16 - Coeficientes de absorção das amostras tradicionais e das amostras de reciclados

Neste estudo, é também interessante observar o desempenho acústico da junção de algumas amostras com o perfurado de madeira. As amostras utilizadas foram a lã de rocha, Amostra Cinza B e Amostra A. Foram realizados quatro ensaios a cada grupo, fixando a espessura do perfurado+amostra em 40mm. Os valores da absorção são apresentados na Figura 5.18. As curvas geradas pelos valores de absorção para os três grupos são idênticas, indicando que para este tipo de aplicação não existe desvantagens (do ponto de vista acústico) na incorporação destes materiais reciclados.

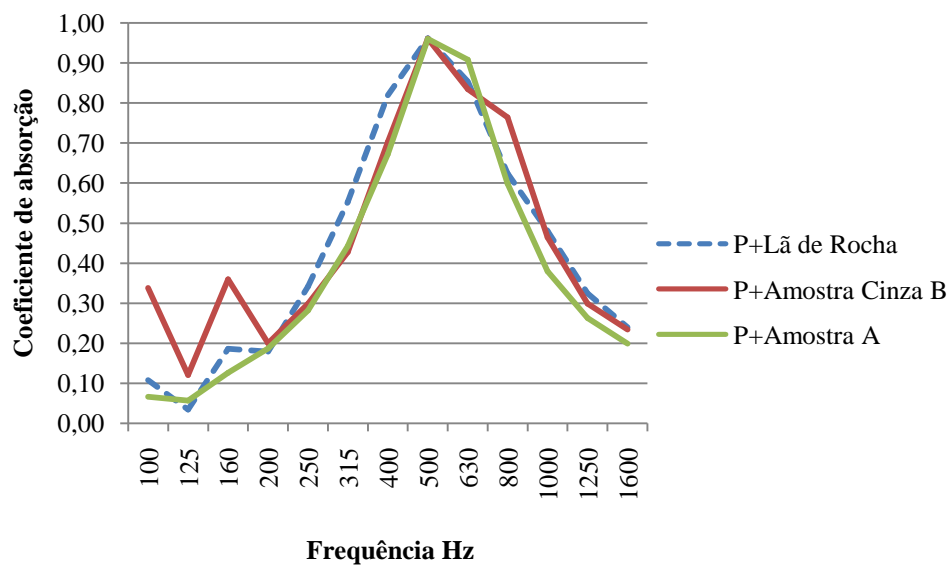


Figura 5.17 - Condutividade térmica do perfurado+amostra

6 CONCLUSÕES

O sector da construção é um sector que a nível mundial consome muitos recursos não renováveis. Este consumo acarreta problemas para o ambiente, como o esgotamento de matérias-primas e os impactes ambientais associados à produção de materiais. Para que se diminuam estes problemas tem que se tomar medidas sustentáveis, por exemplo, substituir os recursos não renováveis por recursos renováveis e resíduos.

Da revisão do estado da arte foi possível concluir que vários investigadores têm trabalhado no sentido, reaproveitar e reciclar resíduos de variadas origens para o fabrico de materiais de construção. Alguns destes estudaram as características e o desempenho dos novos materiais, em comparação com os materiais de origens não renováveis (tradicionais).

Os resíduos estudados por estes investigadores são de diversos tipos, tais como, resíduos de construção e demolição, resíduos de indústrias de fabricação de materiais de construção (indústria de mármore, indústria cerâmica, etc.), resíduos de fábricas de papel, resíduos têxteis, resíduos de calçado, resíduos agrícolas (cascas de arroz, palha de trigo, cinzas de palha de arroz e cinzas de bagaço de azeitona), vidro, plástico, papel de jornal, borracha (principalmente borracha de pneu), metais ou madeira.

Estes resíduos foram aplicados em variadas componentes da construção, como por exemplo, areia, cimento, argamassas, betão, pavimentos rodoviários, lajes e blocos de pavimento, tijolos, blocos, placas de fibrocimento, barreiras acústicas e isolamentos térmicos e/ou acústicos.

Foram estudados com mais detalhe neste trabalho os materiais reciclados aplicados ao isolamento térmico e/ou acústico. Esta importância deve-se ao consumo excessivo de energia para aquecimento e arrefecimento do edifício, e conforto do ser humano. Desta forma, ao aplicar o isolamento, diminui-se o consumo de energia e aumenta-se o conforto do ser humano.

Para complementar este estudo, foi analisado e comparando o desempenho térmico e acústico de oito amostras utilizadas em isolamentos, das quais cinco são recicladas e três são não recicladas (soluções correntes).

Para estudar o desempenho térmico analisamos a condutividade térmica das amostras obtendo as seguintes conclusões:

- Os valores de condutividade térmica das amostras recicladas são inferiores a 0,065W/m.K, conferindo-lhe a característica de isolante térmico;
- Os valores de condutividade das amostras recicladas estão na gama das amostras correntes, podendo serem assim aplicadas como isolantes térmicos;
- A Amostra A é melhor isolante térmico que o poliuretano, pois tem uma condutividade inferior.

O desempenho acústico foi analisado estudando o coeficiente de absorção acústica. As conclusões desta análise foram as seguintes:

- A Amostra C tem o melhor desempenho acústico de todas as oito amostras;
- A Amostra B tem um desempenho acústico muito próximo da lã de rocha e do basotec;
- Todas as amostras apresentam valores do coeficiente de absorção próximos das amostras não recicladas;
- O desempenho acústico do perfurado com as amostras (Amostra A, Amostra Cinza B e lã de rocha) é muito idêntico entre as três junções.

Como conclusão final, todas as amostras analisadas podem ser aplicadas como isolantes, pois o seu desempenho térmico e acústico está muito próximo, e em alguns casos é superior às amostras não recicladas.

Em trabalhos futuros seria importante avaliar outras características destas amostras, tais como a resistência ao fogo e à água, e sua durabilidade. Seria também interessante recolher mais amostras de outros resíduos e compará-las com estas, podendo assim alargar o leque das amostras recicladas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGLOMEX@ (2013). <http://aglomex.flex2000.pt/>. Flex2000 (página de internet oficial), Esmoriz.

Agoua, E., Allognon-Houessou, E., Adjovi, E., Togbedji, B. (2010). “Thermal conductivity of composites made of waste of wood and expanded polystyrene”. *Construction and Building Materials*, Vol. 41, pp. 557-562.

Agrela, F., Barbudo, A., Ramírez, A., Ayuso, J., Carvajal, M. D., Jiménez, J. R. (2011). “Construction of road sections using mixed recycled aggregates treated with cement in Malaga, Spain”. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 58, pp. 98-106.

Agrela, F., Juan, M. S., Ayuso, J., Geraldés, V. L., Jiménez, J. R. (2010). “Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete”. *Construction and Building Materials*, Vol. 25, pp. 3950-3955.

Akçaözoglu, S., Akçaözoglu, K., Atiş, C. D. (2012). “Thermal conductivity compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementitious composite containing waste PET lightweight aggregate (WPLA)”. *Composites: Part B*, Vol. 45, pp. 721-726.

Alani, A., MacMullen, J., Telik, O., Zhang, Z. Y. (2011). “Investigation in to the thermal performance of recycled glass screed for construction purposes”. *Construction and Building Materials*, Vol. 29, pp. 527-532.

Ali, E. E., Al-Tersawy, S. H. (2011). “Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in self compacting concrete”. *Construction and Building Materials*, Vol. 35, pp. 785-791.

Al-Sibahy, A., Edwards, R. (2011). “Mechanical and thermal properties of novel lightweight concrete mixtures containing recycled glass and metakaolin”. *Construction and Building Materials*, Vol. 31, pp. 157-167.

Andrade, L. A. S., Medeiros, R. (2012). “Reaproveitamento de rejeitos de E.V.A. para a produção de placas utilizáveis na construção civil”. 4º Congresso Nacional de Construções, Coimbra, Portugal, Actas em CD-ROM.

Ashori, A., Tabarsa, T., Valizadeh, I. (2011). “Fiber reinforced cement boards made from recycled newsprint paper”. *Materials Science and Engineering A*, Vol.528, pp. 7801-7804.

Ayadi, A., Stiti, N., Broumchedda, K., Kennai, H., Lerari, Y. (2010). “Elaboration and characterization of porous granules based on waste glass”. *Powder Technology*, Vol. 208, pp. 423-426.

Barbudo, A., Agrela, F., Ayuso, J., Jiménez, J. R., Poon, C. S. (2011). “Statistical analysis of recycled aggregates derived from different sources for sub-base applications”. *Construction and Building Materials*, Vol. 28, pp. 129-138.

Becchio, C., Corgnati, S. P., Kindinis, A., Pagliolico, S. (2009). “Improving environmental sustainability of concrete products: Investigation on MWC thermal and mechanical properties”. *Energy and Buildings*, Vol. 41, pp. 1127-1134.

Benkreira, H., Khan, A., Horoshenkov, K. V. (2011). “Sustainable acoustic and thermal insulation materials from elastomeric waste residues”. *Chemical Engineering Science*, Vol. 66, pp. 4157-4171.

Bernardin, A. M., Silva, M. J., Riella, H. G. (2006). “Characterization of cellular ceramics made by porcelain tile residues”. *Materials Science and Engineering A*, Vol. 437, pp. 222-225.

Bernardo, E., Cedro, R., Florean, M., Hreglich, S. (2006). “Reutilization and stabilization of wastes by the production of glass foams”. *Ceramic International*, Vol. 33, pp. 963-968.

Berndt, M. L. (2008). “Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate”. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, pp. 2606-2613.

Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., Paiva, A. (2012). “Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution”. *Construction and Building Materials*, Vol. 38, pp. 155-160.

B6TECH@ (2013). <http://www.b6tech.dk/uk/products-competencies/-basotect-foam.html>. Technical Polymer Solutions (B6 Gruppen) (página de internet oficial),

Cheng, A., Lin, W., Huang, R. (2010). “Application of rock wool waste in cement-based composites”. *Materials and Design*, Vol. 32, pp. 636-642.

Corinaldesi, V., Moriconi, G. (2009). “Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate”. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, pp. 289-294.

Cuenca, J., Rodríguez, J., Martín-Murales, M., Sánchez-Roldán, Z., Zamorano, M. (2012). “Effects of olive residue biomass fly ash as filler in self-compacting concrete”. *Construction and Building Materials*, Vol. 40, pp. 702-709.

Dapena, E., Alaejos, P., Lobet, A., Pérez, D. (2011). “Effect of recycled sand content on characteristics of mortars and concretes”. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 23, pp. 414-422.

Disfani, M. M., Arulrajah, A., Bo, M. W., Hankour, R. (2010). “Recycled crushed glass in road work applications”. *Waste Management*, Vol. 31, pp. 2341-2351.

Evangelista, L., Guedes, M., Brito, J., Ferro, A. (2012). “Análise microscópica de betões com agregados finos reciclados de Betão”. 4º Congresso Nacional de Construções, Coimbra, Portugal, Actas em CD-ROM.

Flach, F., Pires, J. R., González, M. A. S., Kulakowski, M. P. (2012). “Investigação do potencial de absorção acústica de compósitos de argamassa com materiais reciclados”. VIII Congresso Ibero-americano de acústica, Évora, Portugal, Actas em CD-ROM.

Frenandes, F. M., Ribeiro, C. M. (2012). “Betão modificado com pó cerâmico”. 4º Congresso Nacional de Construções, Coimbra, Portugal, Actas em CD-ROM.

García-Chocano, V. M., Sánchez-Dehesa, J. (2011). “Optimum control of broadband noise by arrays of cylindrical units made of a recycled material”. *Applied Acoustics*, Vol. 74, pp. 58-62.

Garcia-Valles, M., Avila, G., Martinez, S., Terradas, R., Nogués, J. M. (2008). “Acoustic barriers obtained from industrial wastes”. *Chemosphere*, Vol. 72, pp. 1098-1102.

Gayarre, F. L., López-Colina, C., Serrano, M. A., López-Martínez, A. (2011). "Manufacture of concrete kerbs and floor blocks with recycled aggregate from C&DW". *Construction and Building Materials*, Vol. 40, pp. 1193-1199.

Görhan, G., Şimşek, O. (2012). "Porous cly bricks manufactured with rice husks". *Construction and Building Materials*, Vol. 40, pp. 390-396.

Hall, M. R., Najim, K. B., Holfe, C. J. (2011). "Transient thermal behaviour of crumb rubber-modified concrete and implications for thermal response and energy efficiency in buildings". *Applied Thermal Engineering*, Vol. 33-34, pp. 77-85.

Hernández-Olivares, F., Barluenga, G., Parga-Landa, B., Bollati, M., Witoszek, B. (2005). "Fatigue behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete and its implications in the design of rigid pavements". *Construction and Building Materials*, Vol. 27, pp. 1918-1927.

Herrero, S., Mayor, P., Hernández-Olivares, F. (2012). "Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical thermal and acoustic properties of plaster-rubber mortars". *Material and Design*, Vol. 47, pp. 663-642.

Hong, Z., Bo, L., Guangsu, H., Jia, H. (2007). "A novel composite sound absorber with recycled rubber particles". *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 304, pp. 400-406.

ISOVER@ (2013). <http://www.isover.es/Aislamiento-en-la-EDIFICACION/Productos>. Saint-Gobain Isover - Portugal (página de internet oficial), Carregado.

Issa, C. A., Salem, G. (2012). "Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix design". *Construction and Building Materials*, Vol. 42, pp. 48-52.

Jimenez-Espadafor, F. J., Villanueva, J. A. B., García, M. T., Trujillo, E. C., Blanco, A. M. (2010). "Optimal design of acoustic material from tire fluff". *Material and Design*, Vol. 32, pp. 3608-3616.

Jiménez, J. R., Ayuso, J., López, M., Fernández, J. M., Brito, J. (2012). "Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing". *Construction and Building Materials*, Vol. 40, pp. 679-690.

Jiménez, R. J., Ayuso, J., Galvín, A. P., López, M., Agrela, F. (2012). "Use of mixed recycled aggregates with a low embodied energy from non-selected CDW in unpaved rural roads". *Construction and Building Materials*, Vol. 34, pp. 34-43.

Karademir, A., Yenidoğan, S., Aydemir, C., Kucuk, H. (2011). "Evaluation of sound absorption, printability, and some mechanical properties of thin recycled cellulosic sheets containing wool ceramic fiber, and cotton dust".

Lampreia, N. I. R., Veiga, M. R. S. (2012) "Utilização de argamassas com resíduos incorporados na reabilitação de revestimentos de edifícios". 4º Congresso Nacional de Construções, Coimbra, Portugal, Actas em CD-ROM.

Leiva, C., Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Arenas, C. G. (2011). "Recycled blocks with improved sound and fire insulation containing construction and demolition waste". *Waste Management*.

Maderuelo-Sanz, R., Martín-Castizo, M., Vílchez-Gómez, R. (2010). "The performance of resilient layers made from recycled rubber fluff for impact noise reduction". *Applied Acoustics*, Vol. 72, pp. 823-828.

Maderuelo-Sanz, R., Nadal-Gisbert, A. V., Crespo-Amorós, J. E., Parres-García, F. (2010). "A novel sound absorber with recycled fibers coming from end of life tires (ELTs)". *Applied Acoustics*, Vol. 73, pp. 402-408.

Maier, P. L., Durham, S. A. (2011). "Beneficial use of recycled materials in concrete mixtures". *Construction and Building Materials*, Vol. 29, pp. 428-437.

Marzouk, O. (2005) "Valorization of plastic waste: thermal conductivity of concrete formulated with PET". In 1st International Conference on Engineering for Waste Treatment, ISBN 2-951-1591-4-6, École de Mines d'Albi-Carmaux, France.

Medina, C., Banfill, P. F. G., Rojas, M. I. S., Frías, M. (2012). "Rheological and calorimetric behaviour of cements blended with containing ceramic sanitary ware and construction/demolition waste". *Construction and Building Materials*, Vol. 40, pp. 822-831.

Medina, C., Frías, M., Rojas, M. I., Thomas, C., Polanco, J. A. (2012). “Gas permeability in concrete containing recycled ceramic sanitary ware aggregate “. *Construction and Building Materials*, Vol. 37, pp. 597-605.

Melo, M. O. B. C., Silva, J. B., Coutinho, A. S., Sousa, V., Perazzo, N. (2010). “Energy efficiency in building insulations using thermal insulating materials in northeast Brazil”. *Energy and Buildings*, Vol. 44, pp. 35-43.

Meshgin, P., Xi, Y., Li, Y. (2010). “Utilization of phase change materials and rubber particles to improve thermal and mechanical properties of mortar”. *Construction and Building Materials*, Vol. 28, pp. 713-721.

Mohammed, B. S., Hossain, K. M. A., Swee, J. T. E., Wong, G., Abdullahi, M. (2010). “Properties of crumb rubber hollow concrete blocks”. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 23, pp. 57-67.

Nassar, R., Soroushian, P. (2011). “Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement”. *Construction and Building Materials*, Vol. 29, pp. 368-377.

NEEI@ (2013). <http://www.neei.uevora.pt/~nunocroino/largmind/?p=362>. LARGEMIND – Materiais Reciclados, Lda. (página de internet oficial), Évora.

Oliveira, R., Brito, J., Veiga, M. R. (2012) “Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos de vidro - efeito de fíler”. 4º Congresso Nacional de Construções, Coimbra, Portugal, Actas em CD-ROM.

Olmeda, J., Frías, M., Olaya, M., Frutos, B., Rojas, M. I. S. (2011). “Recycling petroleum coke in blended cement mortar to produce lightweight material for Impact Noise Reduction”. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 34, pp. 1194-1201.

Pacheco-Torgal, F., Labrincha, J.A. (2012). “The future of construction materials research and the seventh UN Millennium Development Goal: A few insights”. *Construction and Building Materials*, Vol. 40, pp. 729-737.

Pacheco-Torgal, Jalali, S. (2010). “A Sustentabilidade dos Materiais de Construção”. Portugal.

Patraquim, R., Godinho, L., Amado-Mendes, P. (2012). “Análise da absorção sonora de painéis ranhurados e perfurados incorporando espumas sintéticas”. VIII Congresso Ibero-americano de acústica, Évora, Portugal, Actas em CD-ROM.

Pedro, D., Rosa, A., Brito, J., Evangelista, L. (2012). “Betão de elevado desempenho com agregados reciclados provenientes da pré-fabricação”. 4º Congresso Nacional de Construções, Coimbra, Portugal, Actas em CD-ROM.

Penacho, P., Brito, J., Veiga, M. R. (2012) “Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos de vidro - reciclagem de agregados”. 4º Congresso Nacional de Construções, Coimbra, Portugal, Actas em CD-ROM.

Pfretzschner, J., Rodríguez, R. M. (1999). “Acoustic properties of rubber crumbs”. Polymer Testing, Vol. 18, pp. 81-92.

Pinto, J., Peixoto, A., Vieira, J., Fernandes, L., Morais, J., Cunha, V. M. C. F., Varum, H. (2012). “Render reinforced with textile threads”. Construction and Building Materials, Vol. 40, pp. 26-32.

Rao, A., Jha, K, N., Misra, S. (2005). “Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete”. Resources, Conservation & Recycling, Vol. 50, pp. 71-81.

Rattanashotinunt, C., Thairit, P., Tangchirapat, W., Jaturapitakkul, C. (2012). “Use of calcium carbide residue and bagasse ash mixtures as a new cementitious material in concrete”. Materials and Design, Vol. 46, pp. 106-111.

Raut, S., Rategaonkar, R., Mandavgane, S. (2012). “Utilization of recycled paper mill residue and rice husk ash in production of light weight bricks”. Archives of Civil and Mechanical Engineering.

Rey, R., Alba, J., Arenas, J. P., Sanchis, V. J. (2011). “An empirical modelling of porous sound absorbing materials made of recycled foam”. Applied Acoustic, Vol. 73, pp. 604-609.

Rey, R., Alba, J., Blanes, M., Marco, B. (2012). “Caracterización acústica de eco-materiales para el diseño de pantallas acústicas”. VIII Congresso Ibero-americano de acústica, Évora, Portugal, Actas em CD-ROM.

Rosa, A., Brito, J., Silva, P. (2012). “Betão auto-compactável com agregados reciclados provenientes da pré-fabricação”. 4º Congresso Nacional de Construções, Coimbra, Portugal, Actas em CD-ROM.

Rushforth, I. M., Horoshenkov, K. V., Mirafatab, M., Swift, M. J. (2003). “Impact sound insulation and viscoelastic properties of underlay manufactured from recycled carpet waste”. *Applied Acoustic*, Vol. 66, pp. 731-749.

Saiz-Arroyo, C., Saja, J. A., Rodríguez-Pérez, M. A. (2012). “Production and characterization of cross linked low-density polyethylene foams using waste of foams with the same composition”. *Polymer Engineering and Science*.

Sales, A., Souza, F. R., Santos, W. N., Zimer, A. M., Almeida, F. C. R. (2009). “Lightweight composite concrete produced with water treatment sludge and sawdust: Thermal properties and potential application”. *Construction and Building Materials*, Vol. 24, pp. 2446-2453.

Santos, C., Matias, L. (2006). “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios”. Versão actualizada, ICT Informação técnica, Edifícios-ITE 50, LNEC, Lisboa.

Schepper, M., Buysser, K., Driessche, I., Belie, N. (2012) “The regeneration of cement out of Completely Recyclable Concrete: Clinker production evaluation”. *Construction and Building Materials*, Vol. 38, pp. 1001-1009.

Silva, J., Brito, J., Veiga, R. (2010). “Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production”. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 22, pp. 236-244.

Silva, R. V., Brito, J., Saikia, N. (2011). “Influence of curing conditions on the durability-related performance of concrete made with selected plastic waste aggregates”. *Construction and Building Materials*, Vol. 35, pp. 23-31.

Sukontasukkul, P. (2008). “Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel”. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, pp. 1084-1092.

Ulsen, C., Kahn, H., Hawlitschek, G., Masini, E. A., Angulo, S. C., John, V. M. (2012). "Production of recycled sand from construction and demolition waste". *Construction and Building Materials*, Vol. 40, pp. 1168-1173.

Vegas, I., Azkarate, I., Juarrero, A., Frías, M. (2009). "Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates". *Materiales de Construcción*, Vol.59, pp. 5-18.

Vessozi, C. S., Meirelles, E. B., Ferreira, M. F., Baroni, M., Mohamand, G. (2012). "Tijolos de solo cimento confeccionados com cinza de casca de arroz como alternativa sustentável". 4º Congresso Nacional de Construções, Coimbra, Portugal, Actas em CD-ROM.

Xue, J. Shinozuka, M. (2012). "Rubberized concrete: A green structural material with enhanced energy-dissipation capability". *Construction and Building Materials*, Vol. 42, pp. 196-204.

Yang, H. S., Kim, H. J., Jeon, J. Y., Kang, C. W. (2004). "Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction material". *Bioresour Technol*, Vol. 95, pp. 61-66.

Yang, J., Du, Q., Bao, Y. (2010). "Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks". *Construction and Building Materials*, Vol. 25, pp. 1935-1945.

Yesilata, M., Isiker, Y., Turgut, P. (2009). "Thermal insulation enhancement in concretes by assing waste PET and rubber pieces". *Construction and Building Materials*, Vol. 23, pp. 1878-1882.

Zhao, J., Wang, X. M., Chang, J. M., Yao, Y., Cui, Q. (2009). "Sound insulation property of wood-waste tire rubber composite". *Composites Science and Technology*, Vol. 70, pp. 2033-2038.