



Universidade do Minho

Departamento de Engenharia Civil

Fabiola Catarina Fernandes Gomes

**PLACAS À BASE DE DESPERDÍCIOS  
INDUSTRIAIS PARA PAREDES INTERIORES**

Outubro de 2021



Universidade do Minho

Departamento de Engenharia Civil

Fabiola Catarina Fernandes Gomes

## PLACAS À BASE DE DESPERDÍCIOS INDUSTRIAIS PARA PAREDES INTERIORES

Dissertação de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de

**Professora Rute Maria Gonçalves Eires**

**Professor Raúl Manuel Esteves Sousa Figueiro**

Outubro de 2021

## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos. Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do Repositório da Universidade do Minho.

*Licença concedida aos utilizadores deste trabalho*



Atribuição  
CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Agradecimentos

Com a realização desta dissertação dou por concluída uma etapa importante da minha formação académica, e desta forma quero agradecer a todos os que direta e indiretamente estiveram envolvidos neste percurso.

Agradeço a minha orientadora Professora Rute Eires, pelo contributo prestado e pelos conhecimentos transmitidos ao longo de todo o período de desenvolvimento do estudo.

Ao Professor Raúl Fanguero, coorientador desta dissertação, pela disponibilidade e partilha de conhecimentos da área de engenharia têxtil.

Ao Eng.º Carlos Jesus, técnico do laboratório de materiais de construção por toda a sua disponibilidade, conhecimento, partilha, profissionalismo e simpatia, sem dúvida o seu apoio e motivação foram essenciais e imprescindíveis para o desenvolvimento e término deste trabalho.

À fábrica têxtil industrial João António Lima Malhas, pela simpatia, e por todo o material fornecido.

A todos os que ajudaram na resolução de problemas diários do Departamento de Engenharia Civil e Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho.

Agradecimento ao Nuno Almeida Moreira, pela sua disponibilidade e ajuda em termos de execução prática dos diversos moldes e fornecimento dos materiais que foram necessários.

À amiga Isabel Oliveira e família, por todo o incentivo, carinho e amizade, foram uma segunda família que nos momentos de dificuldade sempre estiveram disponíveis, obrigada pelo apoio constante para que pudesse ser mais leve todo este percurso.

Às minhas colegas de curso, Mariana, Maria, Soraia e Daniela, por se juntarem a mim nesta caminhada, por todos os momentos de diversão, de companheirismo e de auxílio constante.

À minha equipa de voleibol do Leixões e todos os amigos que o desporto teve o prazer de me presentear, pela paciência, compreensão, e pelo apoio na capacidade de conciliar o desporto com a vida académica.

Agradecimento especial a Juliana e a Lila, por nunca me deixarem cair, pela amizade, pela alegria, pelo encorajamento, serei eternamente grata, tornaram mais leves os momentos de dificuldade.

Por fim, e não menos importante, à minha família que apesar de estarmos separados por um oceano, todo o vosso carinho, educação, esforço, investimento pessoal e económico, foram essenciais para toda a minha formação, como pessoa, aluna, atleta e profissional.

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho acadêmico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

---

## PLACAS À BASE DE DESPERDÍCIOS INDUSTRIAIS PARA PAREDES INTERIORES

### RESUMO

A escassez de recursos, o aumento das produções industriais, a quantidade de resíduos gerados na indústria têxtil e papelreira e a exploração de alguns materiais que contribuem para a pegada ecológica, despertou a necessidade de valorizar os resíduos têxteis e de papel, de forma a incorporá-los em novos materiais, evitando que sejam depositados em aterros ou queimados, minimizando assim, o impacto ambiental.

Sendo a construção civil um dos sectores com maior relevância para a produção de novos materiais, a possibilidade de incorporação de resíduos industriais nos materiais de construção é um dos passos mais importantes para a inovação, sustentabilidade, e reaproveitamento dos desperdícios existentes.

Neste estudo, foi desenvolvido um compósito à base de resíduo de papel, resíduo têxtil e gesso, reforçado com suporte em cartão alveolar, com a finalidade de obter uma placa com características melhores que as placas de gesso cartonado/isolamento para execução de paredes interiores.

Pode concluir-se que apesar das resistências à flexão do compósito serem inferiores relativamente às convencionais placas de gesso cartonado, as placas desenvolvidas no estudo, apresentaram melhores características térmicas, leveza do material e prevê-se que tenham um menor custo económico, comparadas às anteriores. Como tal, este compósito, com mais estudos para aperfeiçoamento e melhoria das resistências, poderá ser uma solução interessante para substituir os materiais convencionais utilizados na construção de paredes interiores.

#### **PALAVRAS-CHAVE:**

Isolamento térmico; Paredes interiores; Isolamento térmico; Paredes interiores; Resíduos industriais; Resíduos têxteis

## INDUSTRIAL WASTE BASED SLABS FOR INTERIOR WALLS

### ABSTRACT

The scarcity of resources, the increase in industrial production, the amount of waste generated in the textile and paper industry and the exploitation of some materials that contribute to the ecological footprint, has awakened the need to enhance the value of textile and paper waste in order to incorporate them into new materials, preventing them from being disposed of in landfills or burned, thus minimizing the environmental impact

Civil construction is one of the most relevant sectors for the production of new materials. The possibility of incorporating industrial waste in construction materials is one of the most important steps towards innovation, sustainability, and reuse of existing waste.

In this study, a composite was developed based on waste paper, textile waste and gypsum, reinforced with a honeycomb cardboard support, in order to obtain a board with better characteristics than the gypsum board/insulation boards for the execution of interior walls.

It can be concluded that although the flexural strengths of the composite are lower compared to conventional plasterboard. The plates developed in the study, present better thermal characteristics, material lightness and it is predicted to have a lower economic cost, compared to the previous ones. As such, this composite, with further studies for improvement and improvement of strengths, may be an interesting solution to replace conventional materials used in the construction of interior walls.

#### KEYWORDS:

Thermal insulation; Interior walls; Building panels; Cellulose waste; Industrial waste; Textile waste

**ÍNDICE**

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos e Metodologia.....	1
1.3. Descrição da Dissertação .....	2
<b>2. RESÍDUOS DE PAPEL</b> .....	<b>4</b>
2.1. História do Papel.....	4
2.2. Setor industrial do papel em Portugal – a pasta de papel/celulose .....	8
2.3. Desperdícios do papel. ....	11
2.4. Reaproveitamento dos desperdícios (Pré-consumo e Pós-consumo) no fabrico de materiais de construção.....	14
<b>3. RESÍDUOS TÊXTEIS</b> .....	<b>16</b>
3.1. Produção têxtil em Portugal .....	16
3.2. Desperdício têxtil.....	17
3.3. Reaproveitamento dos desperdícios – pré consumo e pós consumo.....	18
3.3.1. Reaproveitamento – Pré consumo .....	18
3.3.2. Reaproveitamento – Pós consumo.....	19
3.3.3. Utilização de desperdícios têxteis em materiais de construção .....	19
<b>4. MATERIAIS UTILIZADOS E COMPOSIÇÕES REALIZADAS</b> .....	<b>21</b>
4.1. Introdução.....	21
4.2. Caracterização dos materiais utilizados .....	21
4.2.1. Resíduos sólidos fibrosos da indústria do papel .....	21
4.2.2. Resíduo têxtil.....	23
4.2.3. Gesso .....	24
4.2.4. Bórax.....	25
4.2.5. Cola branca .....	26
4.2.6. Placas de cartão alveolar.....	26
4.3. Misturas.....	27
<b>5. METODOLOGIAS LABORATORIAIS</b> .....	<b>29</b>
5.1. Introdução.....	29
5.2. Processo de mistura.....	29



5.3. Preparação e cura dos provetes.....	32
5.4. Ensaio da caracterização dos componentes .....	33
5.4.1. Termogravimetria (TGA) .....	33
5.4.2. Calorimetria Diferencial de Varrimento (DSC).....	34
5.4.3. Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) .....	35
5.5. Ensaio de resistência à flexão .....	35
5.6. Ensaio da caracterização das propriedades térmicas.....	37
5.7. Ensaio expedito ao fogo .....	43
<b>6. DESEMPENHO DO MATERIAL COMPÓSITO.....</b>	<b>44</b>
6.1. Introdução.....	44
6.2. Avaliação qualitativa das misturas realizadas .....	44
6.3. Ensaio da caracterização dos componentes do compósito.....	46
6.3.1. Análise de resultados de Termogravimetria .....	46
6.3.2. Análise de resultados da Calorimetria Diferencial de Varrimento.....	47
6.3.3. Análise de resultados da Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier .....	49
6.4. Ensaio de resistência à flexão .....	51
6.4.1. Análise de resultados .....	51
6.5. Ensaio da caracterização das propriedades térmicas.....	53
6.5.1. Análise de resultados .....	53
6.6. Ensaio expedito ao fogo .....	56
6.6.1. Análise de resultados .....	56
6.7. Produto final – Acabamentos.....	57
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS.....</b>	<b>59</b>
7.1. Considerações finais.....	59
7.2. Perspetivas futuras .....	60
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fabrico manual do papel [3] .....	4
Figura 2.2 – Representação Cartográfica [3] .....	5
Figura 2.3 – Moinhos de papel [3] .....	6
Figura 2.4 – Mesa plana [3].....	6
Figura 2.5 –Primeira máquina de produção da pasta de papel [8].....	10
Figura 2.6 – Diagrama do processo de uma fábrica de pasta de papel [11].....	13
Figura 2.7 – Produção de resíduos sólidos [11].....	13
Figura 3.1 – Fluxograma do processo produtivo da indústria têxtil e os resíduos associados [25] .....	17
Figura 3.2 – (a) Resíduos provenientes da confeção; (b) Resíduos provenientes da Tecelagem (cotão).....	18
Figura 4.1 – Moinho de lâminas (Laboratório de Materiais de Construção, Universidade do Minho) .....	22
Figura 4.2 – (a) Resíduos sólidos fibrosos; (b) Resíduos sólidos fibrosos secos em estufa; (c) Resíduos sólidos fibrosos triturados.....	22
Figura 4.3 – Máquinas de tecelagem fábrica têxtil António Lima - Barcelos .....	23
Figura 4.4 – (a) e (b) Resíduo Têxtil; (c) Resíduo têxtil triturado.....	24
Figura 4.5 – Gesso em pó .....	25
Figura 4.6 – Bórax em pó .....	26
Figura 4.7 – Placa de cartão alveolar .....	27
Figura 5.1 – Processo de amassadura – (a) água; (b) gesso + bórax; (c) RP +RT; (d) Mistura P11 .....	30

Figura 5.2 – Diferentes fases da preparação dos provetes nos moldes cúbicos; a) molde metálico; b) Placa metálica e acetato; c) colocação do acetato na parte inferior do molde; d) compactação manual; e) peça de compactação; f) Compactação mecânica .....	30
Figura 5.3 – Compactação realizada no equipamento ELE .....	31
Figura 5.4 – (a) e (b) Placa após desmoldagem; (c) Armazenamento em estufa .....	31
Figura 5.5 – P11S.....	32
Figura 5.6 – (a), (b) moinho de lâminas; (c) Resíduo têxtil triturado; (d) Resíduo de papel triturado .....	32
Figura 5.7 – (a) <i>STA 7200 Thermal Analysis System</i> ; (b) Cadinho onde é colocada a amostra .	34
Figura 5.8 – <i>DSC 822</i> .....	34
Figura 5.9 – <i>IRAffinity – 1S</i> .....	35
Figura 5.10 – <i>Lloyd Instruments LR50K</i> .....	36
Figura 5.11 – Momento de rotura da placa .....	36
Figura 5.12 – (a) secção trapezoidal; (b) Secção retangular.....	37
Figura 5.13 – (a) Fonte de calor e dissipador; (b) Regulador de temperatura .....	38
Figura 5.14 – Secção retangular dividida .....	38
Figura 5.15 – Localização dos termopares tipo k.....	39
Figura 5.16 – <i>Picolog</i> .....	39
Figura 5.17 – (a) Fluxímetro; (b) Pasta dentífrica na área ativa de contacto; (c) Fluxímetro na amostra.....	40
Figura 5.18 – Aplicação da espuma de poliuretano em vários provetes.....	40
Figura 5.19 – Prototherm pronto para ensaiar.....	41

---

Figura 5.20 – Esquema <i>Prototherm</i> .....	42
Figura 5.21 – Representação em 3D - <i>Prototherm</i> .....	43
Figura 6.1 – Ensaio TGA – Resíduo de papel.....	47
Figura 6.2 – Ensaio TGA – Resíduo têxtil.....	47
Figura 6.3 – Ensaio DSC – Resíduo de papel .....	48
Figura 6.4 – Ensaio DSC – Resíduo têxtil .....	49
Figura 6.5 – Ensaio FTIR – Resíduo de papel .....	49
Figura 6.6 – Ensaio FTIR – Resíduo têxtil .....	50
Figura 6.7 – Apresentação dos dados à flexão das diferentes placas .....	51
Figura 6.8 – Realização ensaio à flexão P11S - SANDWICH .....	52
Figura 6.9 – Placas após rotura: (a) P11S; (b) PGC; (c) P15S; (d) P6S; (e) P5S; (f) P11S - SANDWICH.....	52
Figura 6.10 – Período de estabilização do fluxo de calor de cada placa .....	53
Figura 6.11 – Condutibilidade térmica das placas em estudo .....	54
Figura 6.12 – Resistência térmica das placas em estudo.....	54
Figura 6.13 – (a) Amostra 1; (b) Amostra 1 após 4 minutos .....	56
Figura 6.14 – (a) Amostra 2; (b) Amostra 2 após 4 minutos .....	57
Figura 6.15 – Acabamentos – Produto final .....	58

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da indústria da pasta de papel [8].....	11
Tabela 2 – Materiais existentes no mercado com a utilização de resíduos de papel.....	15
Tabela 3 – Misturas realizadas no estudo para todos materiais .....	28
Tabela 4 - Composição da mistura P11.....	30
Tabela 5 – Avaliação qualitativa dos compósitos realizados no estudo .....	44
Tabela 6 – Codificação espectral – Resíduo de papel .....	50
Tabela 7 – Valores mecânicos da resistência à flexão das diferentes placas.....	51
Tabela 8 – Valores das propriedades térmicas das placas .....	53
Tabela 9 – Comparação térmica de materiais existentes com compósito estudado .....	56

## ÍNDICE DE SÍMBOLOS

EN	– Norma Europeia
RP	– Resíduo de papel
RT	– Resíduo têxtil
TGA	– Termogravimetria
DSC	– Calorimetria diferencial de varrimento
FTIR	– Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
LMC	– Laboratório de materiais de construção
ISO	– International standard
LNEC	– Laboratório nacional de engenharia civil
U	– Coeficiente de transmissão térmica
$\lambda$	– Condutibilidade térmica
Rt	– Resistência térmica
Rsi	– Resistência térmica superficial interior

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

O sector da construção consome muitos recursos naturais não renováveis, o que acarreta problemas para o ambiente, tais como, o esgotamento dos recursos e os impactos ambientais associados ao fabrico dos materiais de construção[1]. Para que este sector seja eficiente é necessário adotar medidas sustentáveis, como o uso de materiais naturais renováveis e de resíduos.

A escassez de recursos, o aumento das produções industriais, a quantidade de resíduos gerados na indústria têxtil e papelera e a exploração de alguns materiais que contribuem para a pegada ecológica, despertou a necessidade de valorizar os resíduos têxteis e do papel, de forma a incorporá-los em novos materiais, evitando que sejam depositados em aterros ou queimados, minimizando assim, o seu impacto ambiental.

Neste momento, os resíduos de papel são aplicados na construção para a realização de placas de paredes e forro de coberturas, mas como reforço do gesso, ou são aplicados soltos como enchimento isolante [2].

Pela pesquisa realizada não existe no mercado uma variedade de materiais para placas de paredes interiores constituídos por pasta de papel com a agregação de resíduos têxteis.

Este trabalho focou o estudo nos resíduos têxteis e resíduos de papel como matérias-primas para produção de um material compósito para a realização de placas para paredes interiores. Este interesse deve-se à elevada produção de resíduos nas indústrias de papel e têxtil, o que leva a uma ação de reciclagem quase obrigatória.

## 1.2. Objetivos e Metodologia

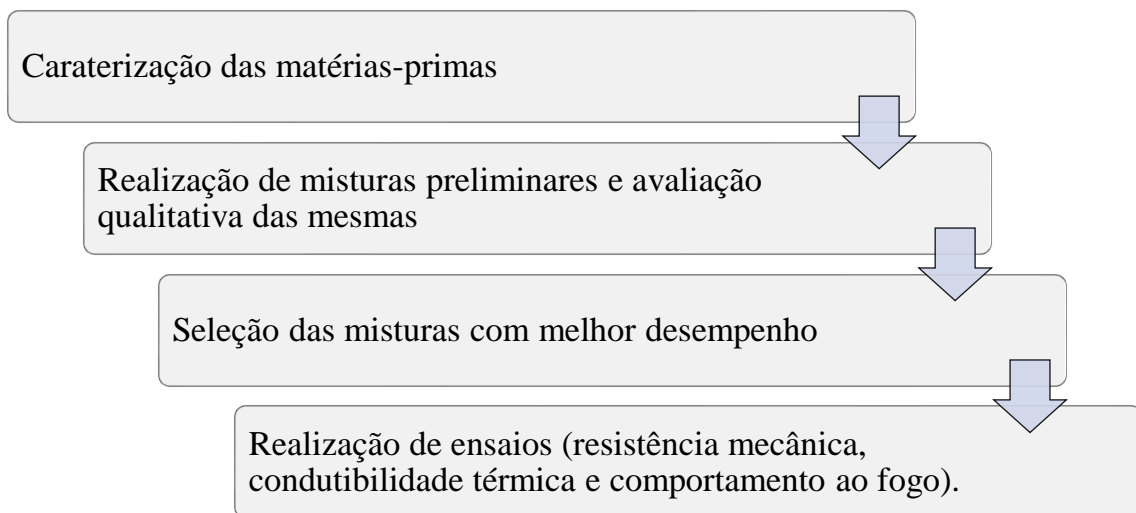
O objetivo deste estudo foi desenvolver um material compósito para fabrico de placas leves para paredes interiores tendo por base materiais reciclados que resultam do processo industrial do papel e do têxtil.

Pretendia-se que o compósito desenvolvido tivesse melhores propriedades térmicas que as placas para paredes interiores à base de gesso e fosse, também, um substituto mais sustentável relativamente às placas existentes no mercado.

Foi realizado um estudo geral sobre o tema, que consistiu em analisar o que já existe no mercado, que estudos científicos existem e analisar os materiais que iremos utilizar para o compósito base. Para tal, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em que foram utilizados livros, artigos técnicos/científicos, revistas, dissertações de mestrado e teses de doutoramento expostas nos repositórios das Universidades, como também via internet.

Caracterizaram-se as matérias-primas e estudaram-se várias composições com diferentes percentagens de papel, resíduos têxteis e gesso até à obtenção de um compósito que apresentasse alguma coesão e resistência de todos os elementos incorporados na mistura.

A metodologia seguida para a parte laboratorial foi a seguinte:



### 1.3. Descrição da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em 8 capítulos:

Capítulo 1 – É realizada uma breve introdução ao trabalho desenvolvido, explica-se a importância do tema escolhido, bem como os objetivos e suas metodologias.



Capítulo 2 – Este capítulo consiste numa revisão bibliográfica, sobre a história do papel, do sector industrial do papel em Portugal, dos desperdícios do papel e dos possíveis materiais na construção que na sua constituição tenham resíduos de papel.

Capítulo 3 - No seguimento no capítulo anterior, relativamente a revisão bibliográfica, este capítulo refere-se a análise e compreensão da produção têxtil em Portugal, aos desperdícios têxteis existentes na indústria têxtil, ao reaproveitamento pré-consumo e pós-consumo desses materiais, e um estudo do mercado da utilização dos desperdícios têxteis em materiais de construção.

Capítulo 4 – Consiste em fazer uma breve introdução ao estudo experimental, aos materiais utilizados e às composições realizadas ao longo de toda a investigação.

Capítulo 5 - Descreve toda a metodologia laboratorial, desde os processos de mistura à preparação dos provetes efetuados no laboratório, como também uma descrição de todos os ensaios a realizar.

Capítulo 6 – Neste capítulo são analisados todos os resultados das placas desenvolvidas, como também a análise e resultado das mesmas nos diversos ensaios laboratoriais, relativamente a caracterização dos componentes do compósito, ensaio de resistência à flexão, ensaio da caracterização das propriedades térmicas, ensaio expedito ao fogo e, por fim, uma apresentação do produto final e dos vários acabamentos aplicados.

Capítulo 7 - Considerações finais desta dissertação e perspectivas futuras a realizar sobre o tema desenvolvido.

## 2. RESÍDUOS DE PAPEL

### 2.1. História do Papel

*“A invenção do papel foi um acontecimento que ocorreu há muito tempo e os processos para o seu fabrico têm vindo a ser trabalhados ao longo dos séculos” [3].*

Ao longo dos anos, por vários povos e regiões no mundo através de diversos métodos e matérias-primas, foram criados antepassados do papel, sendo o papiro o mais conhecido [4].

A descoberta do papel foi feita pelo mítico chinês Cai Lun, funcionário real, que no ano de 105 d.C. através da separação de vegetais e focando-se no bambu, para recriar um produto inovador sob a forma de folhas leves e lisas: o papel. O ano de 105 d.C. é considerado um marco na história do papel, e que por decisão política, o imperador decide iniciar a produção do papel em que este passou a ser o suporte de escrita oficial.

Cai Lun surge *“como o deus dos papeleiros, símbolo de um tempo novo em que para efeitos de generalização, se procurou o aperfeiçoamento e a normalização do fabrico do papel” [3].*

A produção artesanal, que nos tempos de hoje muitos ainda praticam, tem como exemplo a prática utilizada pelos chineses, como se pode verificar na Figura 2.1, que retrata o procedimento em que *“o uso de plantas fibrosas descascadas, maceradas em água para facilitar a desagregação, cardos em soluções alcalinas à base de cinzas, batidas com ajuda de um pilão, resultando daí uma pasta que se dilui em água e se aplaina em formas, secando ao sol.”*

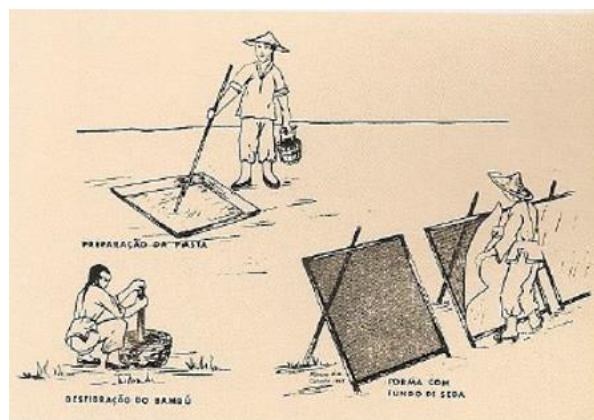


Figura 2.1 – Fabrico manual do papel [3]

O papel sendo um material leve e barato, facilmente se propagou por todo o império chinês, e assim acaba por ter outras utilidades além da escrita, como no vestuário, chapelaria, decoração, equipamento militar e, posteriormente, na esfera monetária e como a base para a criação de embalagens.

O aparecimento do papel, vem revolucionar o desenvolvimento e a expansão do conhecimento, pois aumentou a capacidade de comunicação e, desta forma, o seu uso expandiu-se.

O seu percurso inicia-se em Lei-Lan, onde Cai Lun o inventou, e seguiu passando por outras povoações Chinesas, desde os caminhos da rota de seda, até à Ásia Central através de caravanas de comerciantes Persas, Assírios e povos do atual Afeganistão.

O papel passou pelo mundo durante um milénio tendo como principais intermediários os Árabes. Estes foram os principais responsáveis pela introdução do papel no Ocidente, que se iniciou entre o século II e o VIII, e fizeram dos Chineses seus prisioneiros ao serem derrotados na Batalha de Talas, Samarcanda em 751. A maior parte dos prisioneiros Chineses eram artesãos do papel e, para garantirem um tratamento privilegiado, divulgaram alguns dos segredos dos seus trabalhos aos Árabes que, desta forma e considerando-se um povo muito culto e intelectual, usufruíram destes conhecimentos para que em pouco tempo alcançassem a capacidade de transformar Samarcanda em um grande centro de produção, favorecida pelo cultivo local de linho e cânhamo. Desta forma, o papel, que era exclusivo dos Chineses passou rapidamente para os Árabes, que conseguiram expandir o seu uso ao instalar moinhos de papel em toda a Ásia Menor e Norte de África como demonstra a Figura 2.2 [3].

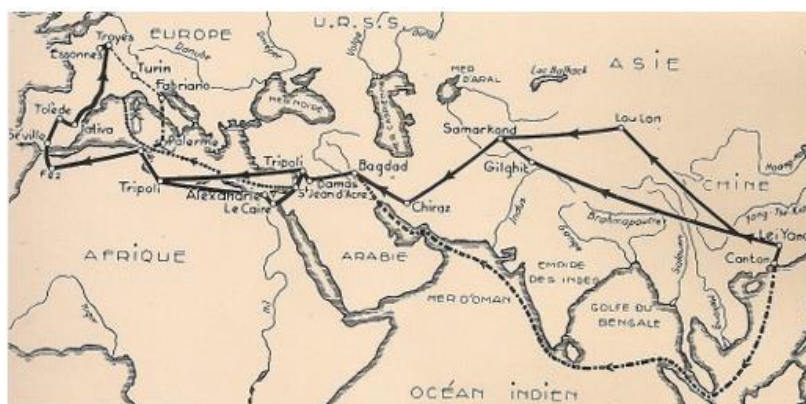


Figura 2.2 – Representação Cartográfica [3]

Naturalmente, com a expansão Árabe foram descobertas novas matérias-primas (cânhamo, linho) que foram agregadas à produção do papel e que acabaram por adicionar outras qualidades ao mesmo. Neste processo de fabrico de papel são utilizados moinhos de papel com o objetivo de moer as fibras, “*com mós movidas pelo homem ou por animais de tração*” [3]. Esta indústria utiliza como um dos seus principais componentes para a produção de papel a água, uma das razões que justifica que os moinhos de papel (Figura 2.3) e, futuramente, as fábricas, se localizem perto das linhas de água.

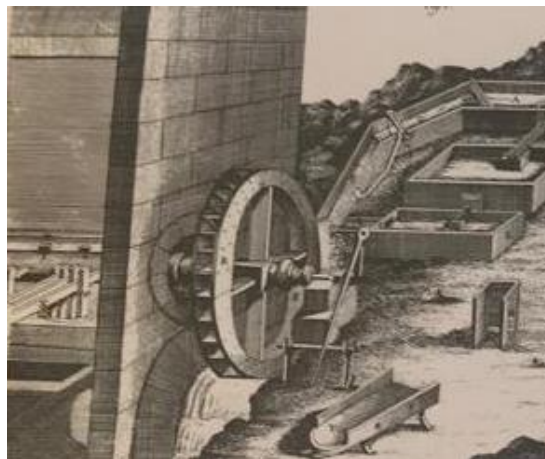


Figura 2.3 – Moinhos de papel [3]

Com a criação da máquina de mesa plana (Figura 2.4), que começou a ser ensaiada em 1799 na França, deu-se um grande salto na indústria da produção de papel, que fez com que a produção passasse a ser um processo contínuo, minimizando a intervenção humana no processo de passar a pasta para a folha de papel [3].

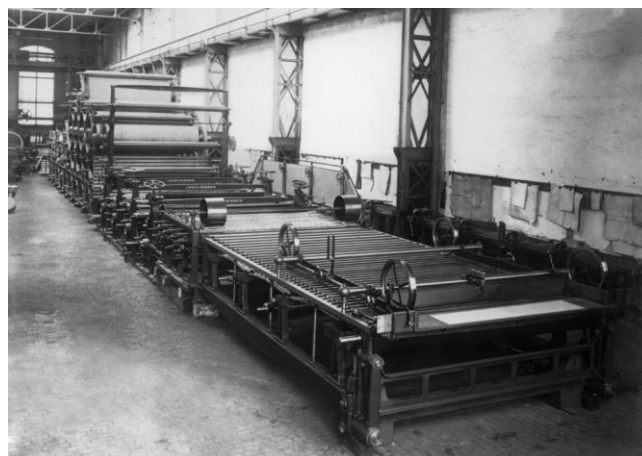


Figura 2.4 – Mesa plana [3]

Nas décadas de 1830 e 1840 apareceu uma segunda geração de máquinas de papel, que vieram a aumentar a qualidade global e permitir diferenciação de vários tipos de papel (acetinagem, calandragem, revestimento). Devido a esta nova geração, houve um crescimento exponencial na capacidade de produção do papel, que também acabou por dar resposta à grande procura desencadeada pela imprensa (jornais diários e impressão de livros), que ocorreu durante o século XIX. Devido ao crescimento exponencial da produção de papel era exigido uma maior necessidade de alimentação da máquina com pasta, e conseqüentemente, mais matéria-prima. Os trapos já eram escassos para a grande procura, aparecendo assim os trapos de algodão, que também eles a longo prazo não serão suficientes para a produção em contínuo para grandes quantidades e a preços baixos [3]. Assim, houve a necessidade de procurar novas matérias-primas que fossem capazes de dar resposta a todas as necessidades na produção do papel, que basicamente foi andar um pouco atrás no tempo e voltar às origens, onde os chineses iniciaram os processos de desfibração vegetal.

Após uma grande procura, passando por várias fibras vegetais, tais como, palha, palmeira, juta, alfa ou esparto, foi nas árvores que: *“se todas as plantas têm a celulose indispensável ao papel, era preciso encontrar as mais adequadas de entre as disponíveis, o que desde logo variou conforme as regiões, e depois desenvolver a técnica para isolar a celulose, que deveria produzir-se em quantidade, a preços aceitáveis e de forma contínua, para alimentar a máquina também ela «contínua» de papel.”* [3].

As árvores devido à sua resistência começaram a ser usadas. O alemão Henri Voelter em 1846, inventou o desfibrador que permite desfazer a madeira, transformando-a numa espécie de pó. Nas madeiras mais resinosas, o resultado obtido é de uma pasta mecânica, que após ser refinada e furada, dá origem a um papel com baixa resistência, pouca durabilidade, e de baixo custo, que foi rapidamente utilizado como papel de jornal, que se tornaria no novo modelo descartável. O processo para criar a pasta mecânica (primeira fábrica situada nos Estados Unidos em 1867) foi evoluindo passando a utilizar desfibradores contínuos de caixa fechada impulsionados por motores de grande potência, mas visto que toda a matéria-prima para criar a pasta mecânica é aproveitada, fez com que a qualidade do papel não fosse tão alta, devido à sua fraca resistência e às suas impurezas, que eram facilmente visíveis [3].

A partir da segunda metade do século XIX começa a surgir a mudança na indústria da produção de papel, em que os moinhos de papel e o trapo começam a ser substituídos, principalmente nos

países que adotaram pela industrialização dos dois grandes setores da produção de papel: *“a preparação da pasta de madeira, através de equipamentos pesados, grandes consumidores de energia, sob a forma de vapor e/ou eletricidade, e de produtos químicos; e depois a produção da folha, através da longa máquina de papel (...)”* [3]. A partir do século XIX a principal fonte para a produção da pasta de papel passa a ser as árvores (eucalipto, pinheiro e choupo), através de um processo de compressão e secagem simultânea por meio de cilindros aquecidos que é executada por uma máquina inventada em 1978 pelo operário Luís Robert [2]. É importante mencionar que, atualmente, grande parte do papel é produzido a partir de florestas geridas no âmbito de uma política de Gestão Florestal que visa o desenvolvimento sustentado e a preservação do ambiente [5]. No entanto, a plantação massiva de Eucalipto tem vindo ao longo dos anos a reduzir a área de mata ou floresta endémica e a tornar a floresta numa espécie de monocultura, com pouca biodiversidade o que poderá facilitar a ocorrência de incêndios e combate aos mesmos.

A evolução do uso do papel vai continuar porque o papel é uma manifestação da vida diária, em que durante os últimos anos o consumo por indivíduo de um país tem vindo a ser considerado como um indicador do padrão de vida do mesmo [6]. Todavia, com a informatização também se verifica um decréscimo do uso do papel uma vez que se tem vindo a desmaterializar alguns procedimentos burocráticos, substituindo os registos em papel por registos digitais.

## **2.2. Setor industrial do papel em Portugal – a pasta de papel/celulose**

Em Portugal criou-se a Academia Real das Ciências, em 1789, com o objetivo de divulgar e aprofundar o papel, até que este, passa a ser analisado como uma eventual riqueza nacional anunciada por Estevão Cabral: *“Reduzo o meu assunto a falar de uma só cousa, por motivo da qual nos sai das mãos um tesouro, que pela nota impressa das alfândegas, consta serem mais de duzentos mil cruzados. Que todos os anos contribuimos a Génova, e à Holanda. O papel digo. Qual necessidade temos nós de comprar papel? Parece-me que nenhuma, e que poderíamos antes vendê-lo: e isto é o que vou provar”* [3].

Um dos problemas da produção de papel em Portugal, nos finais do século XVIII, baseava-se na quantidade e qualidade do papel, e não na sua produção. Desta forma, para ultrapassar estas dificuldades, visto que o fabrico de papel ainda se produzia muito de maneira artesanal, o objetivo seria que a sua produção se dispusesse como manufaturas. Para ajudar a ultrapassar e dar o salto no ensino de novas técnicas no fabrico de papel, José Maria Ottone, de origem genovesa,

que após de ter conhecido Portugal de norte a sul, foi na Lousã que criou uma manufatura, a Fábrica da Lousã criada em 1716, com o apoio real de D. João V [3]. Desde então, esta indústria tem vindo a evoluir.

Também, nas décadas de 1940/50 em Portugal, a indústria de pasta de papel era uma das prioridades segundo o paradigma industrial da altura, uma indústria moderna, concentrada, com setores de base bem definidos e com capacidade de modernização, que garantissem independência económica do País [7].

A partir da sequência Floresta - pasta de celulose - papel, considerada uma configuração de uma fileira industrial, em que a montante do papel na fase industrial está a pasta de celulose, tanto como em fibra primária extraída diretamente da madeira, como em fibra secundária que advém da reciclagem do trapo ou do papel, em que todo este processo permite o crescimento da produção e satisfazer as várias necessidades do mercado, gerando assim soluções industriais de elevada complexidade [4].

Desta forma, foi necessário criar uma unidade empresarial para a produção de celulose em Portugal para evitar importações e ter um grande crescimento no mercado nacional de papel. O que levou a elevados níveis de qualidade e tornou-se um dos setores mais importantes da nossa estrutura de exportações.

Com a criação da CPC - Companhia Portuguesa de Celulose, localizada em Cacia - Aveiro a partir de 1953 (Figura 2.5), fábrica pioneira da produção da pasta de papel, instalada com o apoio da tecnologia nórdica, em que a produção da pasta de pinho era realizada pelo processo alcalino “ao sulfato” (denominado “o kraft”) que posteriormente e de forma autónoma começou a produzir e a comercializar a partir de 1957 pasta a partir do eucalipto.

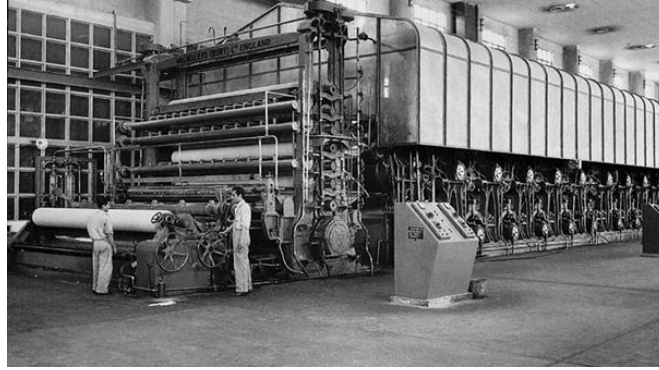


Figura 2.5 –Primeira máquina de produção da pasta de papel [8]

Na transição da transformação resinosa para a folhosa, a CPC teve um papel muito importante na divulgação do produto que rapidamente conquistou o mercado e, conseqüentemente, se expandiu, sob a forma de pastas branqueadas para o fabrico de papéis finos, de elevada qualidade, alcançando assim aquela espécie folhosa o destaque de uma das bases do futuro na indústria mundial de celulose, e assim o eucalipto ganhou um importante papel na nossa floresta de produção.[3]

É de salientar a diferença existente entre as plantas resinosas, em que estas apresentam uma fibra longa e resistente, utilizada para efeitos de estrutura na composição da folha de papel, e as plantas folhosas que apresentam uma fibra curta e resistente, utilizada para enchimento da mesma estrutura.

Após a criação da CPC, e muito devido à sua criação e por serem os pioneiros a nível mundial na produção de pasta branqueada de eucalipto ao sulfato, foram surgindo outras empresas de celulose em Portugal, transformando-se o segmento de fileira em um setor autónomo, que acaba por satisfazer a escassa procura nacional e que procura se expandir para a exportação [3].

Na Tabela 1, e de forma cronológica está descrito a evolução da indústria da pasta de celulose que emergiu com a criação da CPC - Companhia Portuguesa de Celulose e que, mais tarde, dá origem ao *The Navigator Company*, considerado um dos maiores líderes europeus e mundiais na produção de papéis finos de impressão e de escrita não revestidos.



Tabela 1 – Evolução da indústria da pasta de papel [8]

1953	Início da Companhia Portuguesa de Celulose - CPC	Produção de pasta crua de pinho (Cacia – Aveiro).
1957	Companhia Portuguesa de Celulose - CPC	Pioneira a Nível Mundial na produção de pasta branqueada de eucalipto ao sulfato.
1995	Fibra de eucalipto com Carbonato de Cálcio Precipitado (PCC)	Primeira experiência na junção da fibra de eucalipto com o PCC, para alcançar um papel mais homogéneo, branco e com uma maior opacidade.
2001	The Navigator Company	A Portucel obtém a totalidade do capital da Soporcel, daí surge o atual maior produtor de papéis finos não revestidos da Europa - The Navigator Company.
2013	“Alta performance”	“Melhor produção de sempre da nova fábrica de papel de Setúbal, atingindo-se 2.000.000 toneladas.”

As empresas associadas da CELPA, são responsáveis por 100% da produção nacional de pastas para papel de fibra virgem e cerca de 90% de produção nacional de papéis. A CELPA é uma associação sem fins lucrativos que pretende despertar a investigação científica técnica e tecnológica, criar estudos económicos, financeiros e outros relacionados com a atividade [4].

### 2.3. Desperdícios do papel.

A indústria do papel é a maior responsável pela reciclagem, que ocorreu nos Estados Unidos em 1993. Foi o primeiro ano na história em que mais papel foi reciclado e que não foi depositado em aterros sanitários. A reciclagem não é tão simples como parece, pois, o papel pode ser reciclado 5 a 8 vezes até que as fibras de papel se tornem curtas e fracas para voltarem a ser reutilizadas. Uma das partes mais dispendiosas da reciclagem é a recolha, triagem, enfardamento e transporte de resíduos de papel [6].

Como foi referido anteriormente, a pasta de celulose ou pasta de papel é produzida através de vários processos em que a madeira é o elemento primordial. O outro elemento que origina também as fibras de celulose é o papel/cartão reciclado. A utilização de fibras recicladas para o fabrico de papel é uma prática muito utilizada na indústria papeleira europeia há mais de 600 anos, mas devido à evolução dos sistemas de recolha e das técnicas de reciclagem, nas últimas décadas o papel/cartão reciclado passou a ter destaque como matéria-prima complementar às fibras virgens provenientes da madeira, que atualmente, a maioria do papel que é utilizado provém dessa mesma mistura. Uma das vantagens da utilização dessas fibras, além de ser um material económico, ajuda na redução da quantidade de resíduos depositados nos aterros sanitários e, desta forma, permite atrasar o corte das árvores. O processo de reciclagem de papel/cartão tem algumas

limitações devido às fibras que são recuperadas, pois degradam-se e desagregam-se por cada utilização, limitando assim para 4 a 6 vezes o número que são recicladas, obrigando a utilização de matérias virgens (madeira) para a produção de papel novo [5].

Em alguns papéis reciclados, ao adicionar uma pequena quantidade de fibras virgens, garante o aumento das características da superfície do papel, relativamente à impermeabilidade, aptidão e a impressão [5].

Em Portugal o fabrico do papel com material reciclado já vem desde alguns séculos. Atualmente, são utilizados os desperdícios de papel usado, que são recuperados e compactados após triagem. A recuperação de papel usado em Portugal é normalmente igual à média europeia, aproximadamente 55% do total de papel consumido [4].

Existem desperdícios da indústria do papel que neste momento não tem aproveitamento, como é o caso dos resíduos sólidos fibrosos que resultam do processo de crivagem, utilizados no caso de estudo, porém existem ainda vários resíduos que a indústria procura encontrar soluções para a sua reutilização como o caso, dos *grits* e *dregs*, que são gerados através do processo de pasta de papel (*KRAFT*) (Figura 2.6) na etapa de caustificação, quando se dá a recuperação do licor negro. Os *grits* são materiais grossos como areias, calcário ou outras escórias e os *dregs* são resíduos que não são solúveis no licor negro, pelo que são precipitados em forma de carbonatos, hidróxidos e sulfuretos de sódio. Estes dois tipos de resíduos são depositados em aterro, já que a sua possibilidade de aproveitamento continua a ser alvo de estudo. Outros tipos de resíduos gerados pela indústria da pasta de papel são as cinzas e as lamas. As cinzas resultam da combustão de biomassa florestal que é utilizada como fonte de combustível, no entanto a sua utilização gera elevadas quantidades de cinzas que geralmente são depositadas em aterros. Apesar de ser uma fonte renovável que é favorável a nível ambiental, as mesmas acarretam custos económicos devido às suas elevadas quantidades, colocando em causa possíveis danos futuros no meio ambiente. As lamas são produzidas devido aos repetidos tratamentos das águas residuais dos processos industriais. Devido a grande utilização de água que a indústria do papel utiliza para a sua produção, faz com que haja grandes quantidades de lamas, que, por sua vez, o seu tratamento e eliminação acarreta elevados custos como, também, são muito prejudiciais para o meio ambiente [9][10].

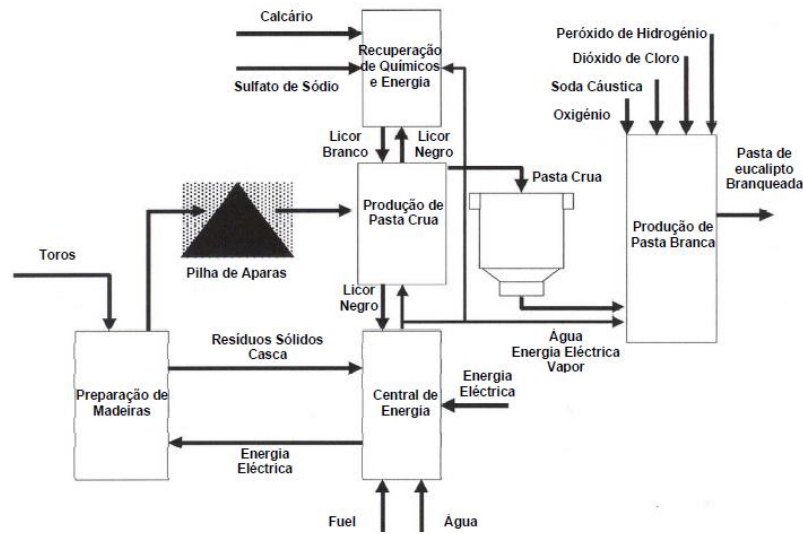


Figura 2.6 – Diagrama do processo de uma fábrica de pasta de papel [11]

A CELPA, em 2019, fez um estudo da produção de resíduos sólidos que provém do processo industrial e que está interligado com o padrão de produção de pastas e papéis. Desta forma, é possível verificar na Figura 2.7 que, anualmente, diminui o número de resíduos de madeiras e descasque de madeira, pois estes tem a possibilidade de serem reaproveitados, ao contrário das lamas e cinzas, que aumentam ou a mantém a sua produção, muito devido ao facto destas não serem reutilizáveis, como mencionado anteriormente [11].

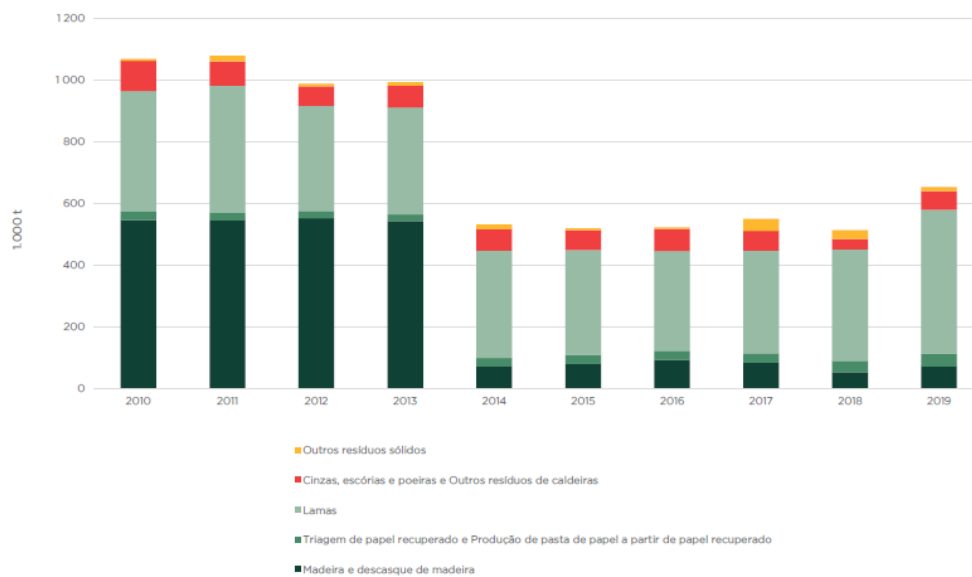


Figura 2.7 – Produção de resíduos sólidos [11]

## 2.4. Reaproveitamento dos desperdícios (Pré-consumo e Pós-consumo) no fabrico de materiais de construção

- Entende-se por pré e pós-consumo o seguinte: Fibra reciclada pré consumo: Papel que resulta do fabrico ou processo de conversão de papel em produtos para o consumidor, como envelopes. Este desperdício de papel consiste essencialmente em aparas e produtos rejeitados e representa uma fonte de fibra relativamente limpa para a fabricação de papel [12].
- Fibra reciclada pós-consumo: Papel que é reciclado após a sua utilização final pelo consumidor e recuperado de casas, escritórios e lojas. Este tipo de resíduos de papel é frequentemente o mais contaminado e difícil de recolher e reciclar uma vez que muitas vezes deve ser separado dos resíduos urbanos [7].

Tabela 2 – Materiais existentes no mercado com a utilização de resíduos de papel

Descrição	Vantagens/Características	Desempenho térmico
Painéis Acústicos e Térmicos à base de celulose, feitos a partir de fibras recicladas e renováveis com a base de celulose, composta por 65 – 75 % de material reciclado. Pode ser aplicado em painéis de escritórios, painéis acústicos em peças moldadas de tela plana [13].	Controla e isola a propagação do som; Reduz a transmissão do som; Inibe o ruído externo; Fácil instalação; Pode ser coberto com tecido ou outro material decorativo; São uma boa solução aos painéis de fibra de vidro e sintéticos; Excelente isolamento acústico.	Condutibilidade térmica 0.22 w/m.°C
Isolamento de fibra de celulose de preenchimento. Pode ser aplicado em paredes, pisos de madeira, edifícios novos, como também na remodelação e reabilitação de edifícios antigos, mais especificamente em sótãos, telhados, casas passivas, tetos, coberturas, fachadas exteriores, reservatórios, construções de baixo consumo energético e condutas de saneamento [14] [15].	Melhora os níveis de estanqueidade; É um material 100% reciclado e reciclável; Baixo coeficiente de condutividade térmica; Boa proteção contra temperaturas elevadas; Isolamento compacto e sem pontes térmicas; Preservação do meio ambiente Provém da reciclagem de jornais com a adição de borato e sal 100% natural; Sua aplicação é efetuada de forma manual ou por injeção, de projeção húmida e insuflação livre que garante o preenchimento todos os espaços.	Condutibilidade térmica 0.035 w/m.°C
Painéis “Fermacell”, fabricados à base de água, gesso e fibras de celulose. É aplicado em construções novas ou em projetos de reabilitação como um painel de revestimento final ou estrutural [16].	Isento de químicos; Sem aditivos aglutinantes; Painéis resistentes às cargas mecânicas; Elevada resistência ao fogo; Resistência à humidade; Fácil aplicação, onde podem ser fixados com parafusos ou grampos, podem ser riscados, serrados e furados; Excelentes características de isolamento acústico.	Condutibilidade térmica 0.32 w/m.°C
“Isonat CELFLEX”, isolamento composto por 85% de pasta de celulose de papel reciclado e 15% de fibras têxteis que provem dos desperdícios da indústria têxtil. É aplicado em divisórias interiores, como também em estúdios de gravação [17].	Excelente isolamento acústico; Excelente isolamento térmico; Boa capacidade de absorção de humidade.	Condutibilidade térmica 0.039 w/m.°C
“Papercrete”, é um material composto por 60% de pasta de fibra de papel, 20% de areia e 20% cimento Portland ou argila ou outro tipo de solo. Pode ser utilizado como opções de coberturas de baixo custo, criação de blocos, painéis e folhas [18].	Excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico; Material leve e seguro de trabalhar; Adequado para clima quente/seco.	Condutibilidade térmica 0.8 w/m.°C

### 3. RESIDUOS TÊXTEIS

#### 3.1. Produção têxtil em Portugal

Um dos maiores e importantes setores empresariais nacionais é a Indústria Têxtil e Vestuário (ITV), considerada das mais antigas e tradicionais indústrias portuguesas. A produção têxtil teve início no final do século XVIII, mas só na segunda metade do século XIX houve desenvolvimento da industrialização dos setores de fiação, tecelagem, tintura, acabamentos, têxteis-lar, malhas, têxteis técnicos, confeções e cordoarias [19].

Em Portugal, a indústria têxtil é reconhecida pelo seu admirável artesanato e perícia em vestuário e têxteis de alta qualidade. Num modo global, a indústria têxtil no norte de Portugal, devido ao seu passado colonial e suas influências, utilizava na produção de vestuário, tecidos como a seda da Índia e algodão de África para produção de vestuário tradicional português. Os fabricantes tiveram a necessidade de, através da tecnologia, produzir peças de vestuário de alta qualidade por um preço inferior equiparadas a outras indústrias europeias. De salientar que a indústria têxtil do norte de Portugal é um dos setores com elevada importância no país, e de renome a nível internacional, passando por diversos anos por períodos de retrocesso económico, abandono de fábricas e armazéns. Algumas empresas acabaram por se manter e ultrapassar de forma firme e revigorante todas as adversidades. A indústria têxtil do norte de Portugal é considerada líder Mundial em têxteis técnicos de alta qualidade, mais especificamente tecidos de alto desempenho e tecidos feitos a partir de materiais reciclados [20]. A Associação Têxtil e Vestuário de Portugal (ATP), diz que em 2018 o volume de negócios da indústria têxtil portuguesa é estimado em 7,610 milhões de euros e as exportações em 5,328 milhões de euros [20].

O processo produtivo da indústria têxtil abrange o processamento de vários tipos de matérias-primas tais como algodão, lã, fibras sintéticas e artificiais, podendo estas ser processadas de forma isolada ou em misturas. As várias operações utilizadas são as seguintes [21].

- Preparação da matéria-prima – Produção de fibras sintéticas, penteado e cardado;
- Fiação – Transforma as fibras (cortadas ou naturais) em fios;
- Tecelagem ou Tricotagem – Produção de rama, penteado, fio, tecido ou malha ou produto pronto para tingir;
- Estamparia – Produção de tecido ou malha estampada;
- Acabamentos químicos – Produção de tecido ou malhas com características específicas;
- Acabamentos mecânicos – Produção de tecido com características específicas;

- Confeção – Produção de têxtil lar, têxteis técnicos, vestuários;

### 3.2. Desperdício têxtil

Na produção têxtil existem diversas operações que geram resíduos, como indica a Figura 3.1, desde o descaroçamento do algodão até os restos de fios e tecidos das confeções, alterando apenas o tipo de resíduo, relativamente à sua característica e quantidade [22]. Os tipos de resíduos normalmente gerados nas indústrias têxteis são: pó de limpeza do algodão; fibras têxteis processadas – Fiação; algodão – tecelagem (Figura 3.2 (b)); algodão – acabamentos; e algodão/desperdícios (Figura 3.2 (a))– confeção. O resíduo utilizado neste trabalho (normalmente designado como algodão) é proveniente do processo da tecelagem e é obtido através dos filtros dos equipamentos de ar condicionado e apresenta um aspeto típico de algodão sem cor associada, devido aos fios utilizados para o processo, serem provenientes do algodão [23]. Ainda sobre o algodão, a quantidade deste resíduo é difícil de quantificar.

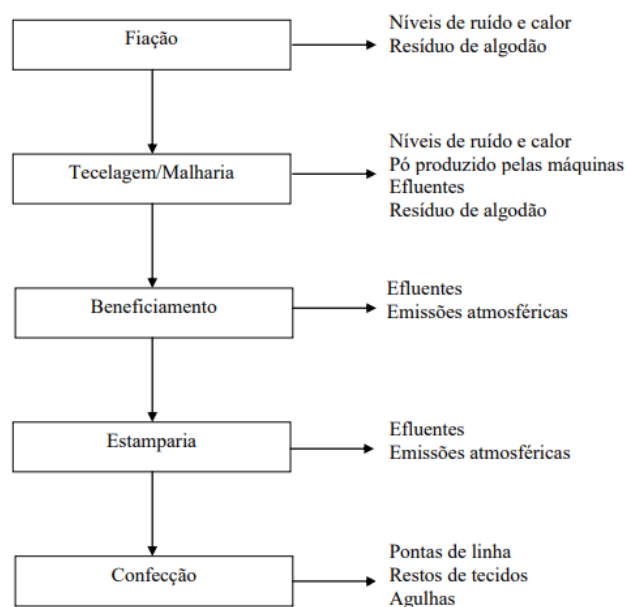


Figura 3.1 – Fluxograma do processo produtivo da indústria têxtil e os resíduos associados

[25]

Atualmente estes resíduos vão para aterro, compostagem ou são queimados para valorização energética. Estes resíduos têm um teor de humidade muito baixo e também uma densidade muito pequena, sendo este último aspeto um problema acrescido, devido aos elevados volumes associados [23].



Figura 3.2 – (a) Resíduos provenientes da confeção; (b) Resíduos provenientes da Tecelagem (cotão)

“Em Portugal, deita-se para o lixo cerca de 200 mil toneladas de resíduos têxteis por ano” [26], perante esta afirmação, empresas tentam ao abrigo da CSR – *Corporate Social Responsibility*, e através do *CITEVE* que é um centro tecnológico, que dá apoio técnico e inovador à indústria têxtil em Portugal, com o intuito de melhorar os seus objetivos e a dar prioridade a alguns dos principais tópicos do programa *RESET*. Este programa pretende preservar a sustentabilidade e a produção ecologicamente correta, tais como: a reciclagem de têxteis e eliminação de resíduos; consumo de água e poupança de energia; organizações empresariais sustentáveis; novas práticas químicas sustentáveis, incluindo a redução de substâncias químicas; têxteis inteligentes e novas formas de produção; eco criatividade; fibras naturais; e por fim, novos materiais e novas aplicações [27].

### 3.3. Reaproveitamento dos desperdícios – pré consumo e pós consumo

#### 3.3.1. Reaproveitamento – Pré consumo

Atualmente, o recurso mais viável para reciclar e regenerar fibras é utilizar resíduos têxteis pré-consumo, tais como os restos de fios, tecidos e malhas das sobras das fábricas, garantindo assim que estes não acabem em aterros ou sejam incinerados. Primeiro objetivo é reutilizar os restos da produção, integrando-os em novas produções ou dando origem a novas fibras têxteis. Kate Goldsworthy da *Textiles Environment Design*, afirma que Reaproveitamento – Pré consumo as fibras podem ser recicladas mecanicamente, mas acabam por degradar as fibras a cada ciclo de reciclagem, ou quimicamente, que podem dar origem a fibras de elevada qualidade, equiparando-



se às fibras virgens. A nível industrial a maioria dos processos de reciclagem atuais apenas existem para a reciclagem mecânica de algodão [28].

### **3.3.2. Reaproveitamento – Pós consumo**

Os resíduos têxteis pós-consumo são enviados para aterros ou reciclados para exportação ou reutilização. As estratégias utilizadas pelo “Compromisso Sistema de Moda Circular 2020”, assinado por mais de 90 empresas do sector da moda em 2017, que visa a redução de desperdícios [29], solicitou às empresas que se responsabilizassem a recolher e reciclar o vestuário, ao mesmo tempo que aumentam as fibras têxteis recicladas pós-consumo e, desta forma, garantem sistemas de recolha de vestuário pós-consumo, conseguindo entregar 25 milhões de peças a refugiados e deslocados a nível mundial [28].

### **3.3.3. Utilização de desperdícios têxteis em materiais de construção**

Existem vários estudos para a incorporação de resíduos têxteis em materiais de construção, tendo como objetivo principal a sustentabilidade dos mesmos. Garantir melhores características relativamente ao comportamento térmico e acústico, como também reduzir os custos comparativamente com os materiais comercializados é o principal desafio no desenvolvimento destes novos materiais.

Como exemplo desses mesmos estudos temos um material compósito à base de gesso e desperdícios industriais, que consiste em adicionar ao compósito de base de gesso o granulado de cortiça, fibras de celulose provenientes dos desperdícios do papel, e fibras têxteis da reciclagem de pneus usados. Este tipo de compósito poderá ser utilizado no fabrico de placas ou blocos de elementos não estruturais, sendo aplicados em divisórias, revestimento de paredes e tetos [30]. Neste caso, considera-se um resíduo têxtil pós-consumo, uma vez que é proveniente de outra indústria que não a têxtil, mas sim, de pneus usados.

Outro tipo de materiais é a utilização do pó do calcário e algodão para o desenvolvimento de blocos de betão ou placas, através do processamento mecânico do algodão cru proveniente do processo de fiação, com o objetivo de torná-los mais resistentes, mais leves (60% mais leves que os convencionais), económicos e a sua aplicação destina-se ao uso em paredes [24].

Argamassas de reboco com a incorporação de fibras de resíduos têxteis, neste tipo de estudo em que só foi considerado o fio com uma composição de 30% de algodão e de 70 % de acrílico e de 20 e 40 mm de espessura. A argamassa é composta por cimento, cal hidráulica e areia (traço 1:1:6). Neste estudo foi possível verificar melhorias relativamente a capacidade de compressão e flexão do material consoante o acréscimo de fibras [31].

Aspiras e Manalo [32], adicionaram à produção de betão resíduos provenientes da confeção têxtil, como o algodão, poliéster e seda. Estes resíduos têxteis de diferentes tamanhos foram misturados com cimento, produzindo um material compósito parecido com o betão, que pode ser cortado como madeira. Ao adicionar os resíduos têxteis diminuiu o peso do elemento e aumentou a sua resistência [23].

Como referido no subcapítulo 2.4 (Tabela 2), um dos materiais existentes no mercado que contém resíduos têxteis são os isolamentos Isonat CELFLEX, um isolamento composto por 85% de pasta de celulose de papel reciclado e 15% de fibras têxteis que provem dos desperdícios da indústria têxtil. Este material é aplicado em divisórias interiores como também em estúdios de gravação, com boas características relativamente ao isolamento acústico e térmico e uma boa capacidade de absorção de humidade [17].

## 4. MATERIAIS UTILIZADOS E COMPOSIÇÕES REALIZADAS

### 4.1. Introdução

O objetivo principal desta investigação é o desenvolvimento de um material compósito à base de resíduos sólidos fibrosos da indústria de papel e de resíduos têxteis, com a incorporação de gesso e suportado por uma placa de cartão alveolar. Este material compósito tem como propósito ser um substituto mais sustentável relativamente às placas de gesso cartonado existentes no mercado. Tendo em conta as características das matérias-primas utilizadas, e para obter uma base resistente ao fogo e durável, foi necessário adicionar ao ligante, gesso, e de um retardador ao fogo, bórax. Neste capítulo serão descritos todos os procedimentos e materiais utilizados para a obtenção de uma mistura que servirá de material compósito para a placa em desenvolvimento ao longo deste trabalho.

### 4.2. Caracterização dos materiais utilizados

#### 4.2.1. Resíduos sólidos fibrosos da indústria do papel

Estes resíduos foram fornecidos pela empresa *DS Smith* da fábrica Viana do Castelo em Portugal. Esta fábrica é uma das mais importantes fábricas de papel *kraftliner* da Europa, com uma capacidade de produção bruta de 425.000 toneladas por ano [33].

Esta unidade fabril produz cerca de 10 mil toneladas por ano destes resíduos fibrosos. Por esse motivo, é um material com grande potencial de fornecimento.

O produto referido é um resíduo resultante do processo de fabrico de papel *kraft*. É um resíduo que consiste em fibras de celulose curtas que já não têm possibilidade de serem utilizadas na produção de papel.

Tratando-se de um resíduo, deve ser privilegiada a hierarquia de gestão de resíduos (reutilização, reciclagem, valorização material/energética e por última deposição em aterro). A utilização dada na instalação é a valorização energética. Estas informações foram facultadas pela unidade fabril que forneceu as fibras. Neste estudo, pretende-se avaliar a valorização do material incorporando-o no material compósito.

Estas fibras foram utilizadas para proporcionar uma maior coesão às placas e, para poder ter uma melhor trabalhabilidade, foi necessário secá-las em estufa a 100°C, aproximadamente durante 1 hora. Isto porque as fibras cedidas pela empresa, referida anteriormente, apresentavam alguma humidade que não foi determinada, mas que era perceptível.

Após secagem, foi necessário triturá-las no moinho de lâminas (Figura 4.1), para ter uma maior capacidade de homogeneização e menor número de vazios, quando estas forem misturadas com os restantes materiais.



Figura 4.1 – Moinho de lâminas (Laboratório de Materiais de Construção, Universidade do Minho)

Na Figura 4.2 pode-se observar os diferentes estados do resíduo de papel. Na Figura 4.2 a) poderemos verificar o estado natural do resíduo do papel, na Figura b) o resíduo de papel já foi submetido à secagem em estufa, na figura c) poderemos visualizar o estado do resíduo triturado após a secagem em estufa.

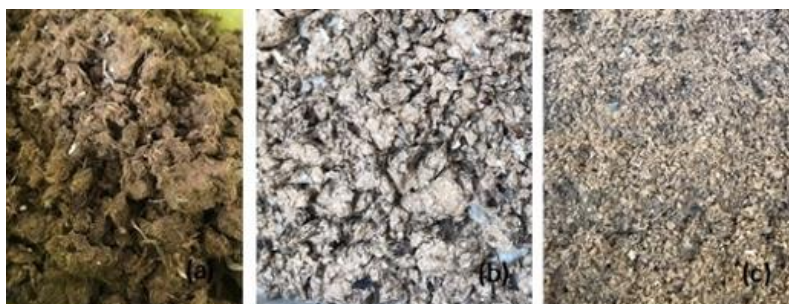


Figura 4.2 – (a) Resíduos sólidos fibrosos; (b) Resíduos sólidos fibrosos secos em estufa; (c) Resíduos sólidos fibrosos triturados

#### 4.2.2. Resíduo têxtil

Os resíduos têxteis foram fornecidos pela fábrica têxtil industrial João António Lima Malhas, localizada em Barcelos. Esta empresa, fundada em 2002, iniciou a sua atividade com apenas 4 máquinas, e atualmente, conta com mais de 60 máquinas industriais, com uma área fabril com mais de 5000m<sup>2</sup> e uma capacidade de produção anual superior a 3500 toneladas por ano [34].

Devido ao elevado número da produção anual, estes resíduos que sobram da tecelagem efetuada pelas máquinas industriais (Figura 4.3), não têm reaproveitamento, e assim tornam-se num resíduo que não é aproveitado. A técnica de tecelagem consiste em entrelaçar fios colocados em sentidos diferentes, na longitudinal (urdume) ou na transversal (trama), através do processo produzido no tear que dá origem aos tecidos planos ou malhas, que dependem das formas de entrelaçamento dos fios. Através deste processo de tecelagem dá-se a origem do resíduo têxtil utilizado neste estudo, que provém dos fios utilizados para a produção de tecidos em cru, que são provenientes do algodão. Desta forma, neste trabalho pretende-se valorizar o uso deste resíduo que é o algodão, incorporando-o no material compósito em estudo.



Figura 4.3 – Máquinas de tecelagem fábrica têxtil António Lima - Barcelos

No estudo realizado, recolheram-se os desperdícios têxteis (algodão) que eram espalhados ao longo dos pavilhões da fábrica têxtil, e triturados no moinho de lâminas do Laboratório de Materiais de Construção para uma maior facilidade de incorporação com os restantes materiais. Não havendo, neste caso, informação por parte da empresa relativamente às quantidades de resíduo produzido.



Figura 4.4 – (a) e (b) Resíduo Têxtil; (c) Resíduo têxtil triturado

### 4.2.3. Gesso

Conhecido por Gesso, poderá ser denominado como Pedra de gesso ou Selenite ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), é constituído por sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4$ ), que é formado devido à perda de água da sua composição. O gesso também poderá ser obtido através de subprodutos industriais [2].

O gesso é extraído a partir da desidratação da pedra de gesso que de seguida, é triturada até ficar em pó. Este material, devido à sua fácil trabalhabilidade tem um processo simples de extração que faz com que tenha um impacto ambiental muito baixo e ainda possa ser reciclado, o que confere uma construção mais sustentável [35].

O Gesso cozido é obtido pela cozedura entre os  $130^\circ\text{C}$  e os  $160^\circ\text{C}$ , da pedra de gesso. Se a pedra de gesso for aquecida entre os  $170^\circ\text{C}$  e os  $250^\circ\text{C}$ , obtém-se sulfato de cálcio sem água, designado de anidrite solúvel. Se for aquecido até aos  $600^\circ\text{C}$ , obtém-se a anidrite insolúvel e por fim se aquecer até aos  $1100^\circ\text{C}$  obtém-se gesso hidráulico. O mais utilizado na indústria da construção civil é o gesso comercial, que é obtido através da mistura do gesso a  $130^\circ\text{C}$  -  $160^\circ\text{C}$  e  $170^\circ\text{C}$  -  $250^\circ\text{C}$ , com a ressalva que este não poderá ser utilizado em exteriores, pois degrada-se com a água [36].

No estudo efetuado em laboratório para a criação do nosso compósito base, o gesso estuque foi utilizado como ligante e também como agente com a capacidade de conferir alguma rigidez e alguma resistência ao compósito em estudo. Foi utilizado o gesso em pó, comercialmente disponível para a construção, sendo que o mesmo tem uma rápida capacidade de endurecimento

ao misturar com a água (cerca de 15 minutos de início de presa), assim tornando o processo de cura do compósito mais acelerado.



Figura 4.5 – Gesso em pó

#### 4.2.4. Bórax

Através da reação do bórax com o ácido sulfúrico surge o bórax e o ácido bórico, que são utilizados como retardantes ao fogo e fungicidas em isolamentos à base de fibras de celulose/ papel como também na impregnação de madeiras. Desde o século 10 d.C. que é utilizado no fabrico do vidro cerâmico, até os tempos atuais, em que é um dos responsáveis pela durabilidade dos produtos obtidos na indústria da cerâmica e do vidro. Os boratos alteram a estrutura do vidro no processo de fabrico, garantindo mais resistência a temperaturas elevadas, ataques químicos e choques térmicos. Por consequente, é um dos aditivos mais utilizados na produção do vidro, cerâmica e fibra de vidro, principalmente como um redutor do consumo de energia que é necessário para produção dos mesmos. O bórax além das suas propriedades, como também as suas diversas aplicações, como o caso, de ser um dissolvente de óxidos de metais ferrosos, em que ao reagir com superfícies ferrosas forma uma película de proteção à corrosão, tem como suas principais funções de regulador, desinfetante, herbicida, agente dispersos, inseticida e controlo de viscosidade. Neste trabalho foi utilizado bórax em pó (Figura 4.6) convencionalmente comercializado [2].



Figura 4.6 – Bórax em pó

#### **4.2.5. Cola branca**

Cola branca para madeira ou papel, líquida, é um termoplástico à base de acetato de polivinila (PVA) e é considerado um dos mais eficientes e resistentes para colagem de diversos tipos de materiais, como a madeira e o papel. No estudo realizado foi utilizado este tipo de cola como mais um tipo de ligante dos materiais utilizados numa fase inicial. Posteriormente, utilizou-se a cola para a colagem do cartão alveolar ao compósito. [37]

#### **4.2.6. Placas de cartão alveolar**

As placas de cartão alveolar utilizadas neste estudo foram adquiridas na empresa 100 Metros, situada em Paços de Ferreira. Estas placas são aplicadas em vários tipos de indústria, tais como, indústria vidreira, eletromecânica, automóvel, carpintaria e imobiliária. São constituídas por uma série de lâminas de papel que criam uma estrutura com vários compartimentos hexagonais, denominadas de “favo de abelha” ou “favo de mel”, que garantem uma grande resistência à pressão, como também elevada capacidade de absorção e proteção de impactos [38]. Neste trabalho foram utilizadas placas com as seguintes dimensões: 150x150x15 mm<sup>3</sup>.





Figura 4.7 – Placa de cartão alveolar

### 4.3. Misturas

Todas as quantidades dos materiais adicionados a cada mistura foram tidas em conta em relação à percentagem do resíduo de papel. Relativamente à quantidade de água a utilizar, e visto que, todas as misturas foram testadas sem nenhuma base já existente, quanto as quantidades dos materiais. Foram testadas várias percentagens em massa de cada material, até a obtenção de um compósito coeso e que não quebrasse facilmente.

Para todas as misturas, o resíduo de papel foi colocado na estufa num ambiente controlado de 110°C por um período de 5/6 horas, e, seguidamente, triturado no moinho de lâminas. Houve a necessidade de o secar para não acrescentar à mistura mais água, e para facilitar o processo de trituração.

O resíduo têxtil utilizado nas misturas foi no seu estado normal, como apresentado na Figura 4.4 (b), mas devido a sua falta de trabalhabilidade e de homogeneidade ao misturar todos os elementos, como também para diminuir o número de vazios da própria mistura, foi necessário triturar o resíduo têxtil no moinho de lâminas e utilizar o resíduo já triturado a partir e inclusive da mistura P7.

As misturas P5, P6, P11 e P15 foram as que obtiveram um compósito com as características que pretendíamos na realização deste estudo, boa trabalhabilidade, homogeneidade, coesão e alguma resistência (Tabela 5). Para a execução das placas finais foi utilizada a mistura P11, devido a menor quantidade de gesso, à fácil trabalhabilidade do resíduo têxtil triturado, que permitiu que não houvesse um grande número de vazios na mistura, e também a não incorporação de cola, garantindo assim uma maior sustentabilidade.

Tabela 3 – Misturas realizadas (% em massa)

Misturas	Resíduo de papel – RP (%)	Água (%)	Resíduo têxtil – RT (%)	Gesso (%)	Cola Branca (%)	Bórax (%)
P1		400	12	-	-	10
P2		300	10	-	-	10
P3		140	20	-	-	10
P4		116	20	-	11.6	10
P5		100	10	-	10.0	10
P6		100	10	10	10.0	10
P7		100	10	10	-	10
P8	100	100	10	20	-	10
P9	100	100	10	30	-	10
P10		200	10	30	-	10
P11		250	10	30	-	10
P12		150	10	50	-	10
P14		100	10	50	-	10
P15		250	10	50	-	10
P13		150	10	75	-	10

## **5. METODOLOGIAS LABORATORIAIS**

### **5.1. Introdução**

Neste capítulo são descritos todos os processos utilizados para a execução da placa P11S, de forma a simplificar a demonstração de todas as etapas executadas no laboratório. Também são descritos todos os ensaios laboratoriais. Como já foi verificado no subcapítulo 4.3, foram testadas várias quantidades de resíduo de papel, resíduo têxtil, bórax, cola branca e gesso até obter um compósito com alguma resistência, para posteriormente fixar o compósito base à placa de cartão alveolar e realizar os ensaios pretendidos.

Inicialmente foram realizados ensaios para avaliação das características dos principais componentes da placa, os resíduos de papel e têxteis, no sentido de avaliar o seu comportamento com o aumento da temperatura, conseguindo verificar a que temperatura ocorre a degradação dos materiais.

Foram realizados ensaios destrutivos, o ensaio à flexão e o ensaio expedito ao fogo como também o ensaio não destrutivo e caracterização das propriedades térmicas.

### **5.2. Processo de mistura**

Todo o processo para a obtenção das misturas foi feito sem a utilização de meios mecânicos. Cada mistura efetuada originara um compósito, para garantir que as quantidades fossem sempre as mesmas. Neste subcapítulo será descrito todo o processo para a realização do compósito até a placa final, e desta maneira irá ser usado como exemplo o compósito P11.

Primeiro foram pesadas individualmente as quantidades de todos os elementos como indicado na Tabela 4, todos os elementos foram envolvidos com a ajuda de uma espátula até obter a mistura pretendida, como demonstra na Figura 5.1.

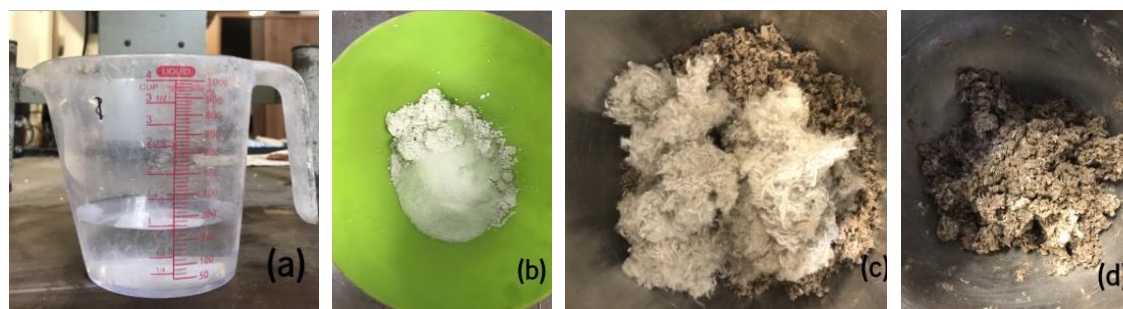


Figura 5.1 – Processo de amassadura – (a) água; (b) gesso + bórax; (c) RP +RT; (d) Mistura P11

Tabela 4 - Composição da mistura P11

Compósito	Resíduo de papel (%)	Resíduo Têxtil (%)	Água (%)	Gesso (%)	Bórax (%)
P11	100	10	250	30	10

Após concluirmos o processo anterior, ilustrado na Figura 5.1, a mistura é colocada no molde cúbico 150x150mm<sup>2</sup>, mas primeiro e para não causar rugosidades no compósito, foi colocado na parte inferior do molde como também na parte superior (por cima da mistura), uma folha de acetato rígida. A mistura é colocada sendo compactada manualmente com as mãos distribuindo de igual modo por todo o molde, é colocado a folha de acetato por cima, e é inserido um cubo de nylon para que possa ser comprimido Figura 5.2.

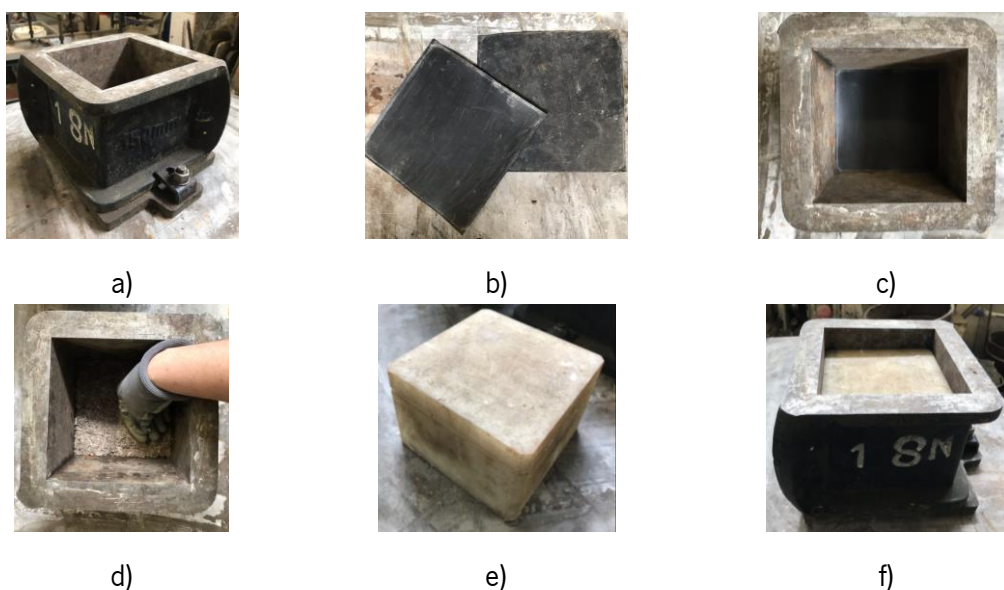


Figura 5.2 – Diferentes fases da preparação dos provetes nos moldes cúbicos; a) molde metálico; b) Placa metálica e acetato; c) colocação do acetato na parte inferior do molde; d) compactação manual; e) peça de compactação; f) Compactação mecânica

O molde foi colocado na prensa hidráulica – ELE (Figura 5.3), com colocação de cargas sobre o molde para garantir que a placa tenha aproximadamente 15 mm de espessura. De salientar que estas cargas foram colocadas após várias tentativas até obter a altura pretendida do compósito. A mistura foi comprimida com uma carga de 30kN numa velocidade de 0,5 mm/s.



Figura 5.3 – Compactação realizada no equipamento ELE

Após a desmoldagem, o processo de cura do compósito foi efetuado em ambiente controlado, na estufa a 105°C por 24 horas, para uma cura acelerada.



Figura 5.4 – (a) e (b) Placa após desmoldagem; (c) Armazenamento em estufa

Por fim, e após todo o processo acima descrito e também devido a alguma fragilidade do compósito foi colada uma placa de cartão alveolar com cola branca de madeira ao compósito,

obtendo assim o objetivo principal deste estudo, a criação de uma placa com desperdícios industriais. Cada compósito tem uma massa de 140 gramas e cada placa, ou seja, a junção do cartão alveolar com o compósito denominada agora por P11S tem uma massa de 157 gramas, e uma espessura de 35mm.



Figura 5.5 – P11S

### 5.3. Preparação e cura dos provetes

Todo o trabalho prático foi efetuado no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho (LMC), em que foram executadas várias tentativas para a realização das misturas do compósito à base de resíduo de papel e resíduo têxtil como podemos verificar na Tabela 3 no subcapítulo 4.3.

Na Figura 5.6 observa-se o processo de trituração dos resíduos utilizados neste estudo no moinho de lâminas.



Figura 5.6 – (a), (b) moinho de lâminas; (c) Resíduo têxtil triturado; (d) Resíduo de papel triturado

## 5.4. Ensaios da caracterização dos componentes

Para caracterizar e avaliar o comportamento dos materiais fibrosos utilizados foram realizados 3 tipos de análises aos componentes principais utilizados no compósito. Os materiais utilizados foram os resíduos de papel e os resíduos têxteis ambos triturados para facilitar o estudo dos mesmos.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Análise Avançada de Materiais de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho.

### 5.4.1. Termogravimetria (TGA)

O ensaio por termogravimetria (TGA – *Termogravimetria Analysis*), é uma técnica que é efetuada em atmosfera controlada onde é determinada a variação de massa (perda e/ou ganho) de uma amostra em relação ao tempo ou temperatura. O ensaio permite conhecer o que o aquecimento pode causar ao material, como também conhecer o intervalo de temperaturas em que pode ocorrer alguns processos como por exemplo combustão, decomposição, oxidação e perda de massa do material. Caso ocorram ganhos de massa, podem ser devido as oxidações em que são formados óxidos não-voláteis, relativamente as perdas, estas devido à evaporação dos elementos voláteis, tais como a água e alguns aditivos [39][40].

O equipamento (Figura 5.7 (a)) é constituído por uma microbalança que mede a massa da amostra do início ao fim do ensaio. A amostra é colocada num cadinho de análise térmica (Figura 5.7 (b)), e deverá ter até 10 miligramas. Após pesar a amostra no cadinho, é colocada no equipamento sujeita a um programa de temperaturas com um intervalo entre 25°C e 500°C, em que a temperatura irá aumentar 10°C por minuto, com a libertação de 200ml de azoto por minuto.

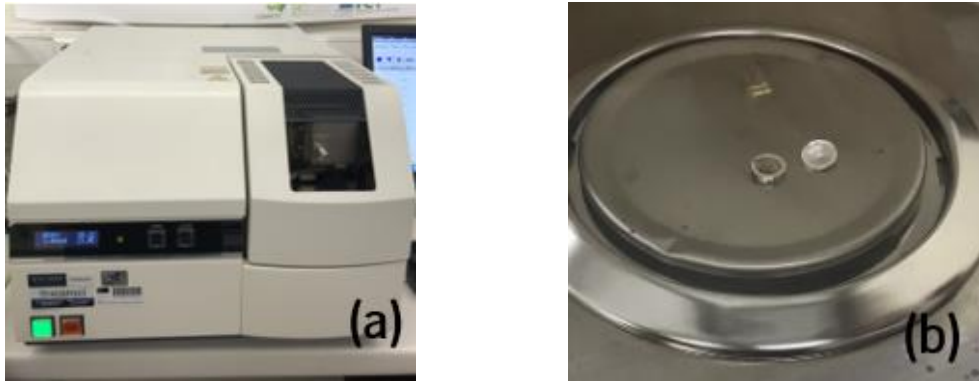


Figura 5.7 – (a) *STA 7200 Thermal Analysis System*; (b) Cadinho onde é colocada a amostra

#### 5.4.2. Calorimetria Diferencial de Varrimento (DSC)

O ensaio de calorimetria diferencial de varrimento (DSC – *Differential Scanning Calorimetry*), é utilizado para determinar a variação de fluxo de calor relacionado com as transições térmicas dos materiais em função do tempo e da temperatura. É possível determinar através da variação de fluxo de calor as temperaturas e entalpias de fusão, temperatura de transição vítrea, tempo de cristalização, como também é possível detetar as mudanças de fase físicas e reações térmicas dos processos exotérmicos e endotérmicos.

Esta técnica DSC, analisa em simultâneo a amostra em estudo e uma de referência, que corresponde a um suporte vazio. Desta forma, permite que o equipamento detete as diferenças de fluxo de calor entre a amostra e a referência, obtendo o traçado das curvas de fluxo de calor, para posteriormente determinar todos os parâmetros acima mencionados [41].

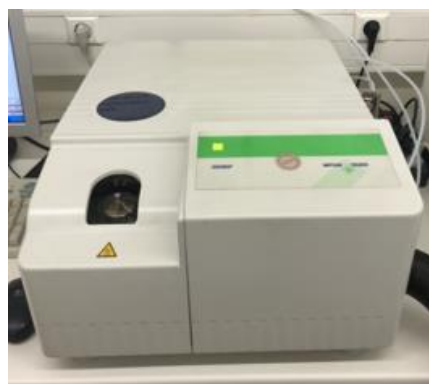


Figura 5.8 – *DSC 822*



### 5.4.3. Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

O ensaio de FTIR é utilizado para a caracterização e identificação de grupos químicos de materiais inorgânicos e orgânicos, permite também avaliar e identificar materiais desconhecidos e contaminações, quantifica alguns compostos, avalia as misturas dos materiais, determina o índice de oxidação, entre outros. FTIR é uma técnica que tem uma diversa utilidade em laboratórios analíticos industriais, como em todo o tipo de laboratórios de pesquisa, e uma das suas particularidades é a análise no infravermelho pode ser não-destrutiva, garantindo que a amostra possa ser recuperada para outra utilização [42].



Figura 5.9 – *IRAffinity – 1S*

### 5.5. Ensaio de resistência à flexão

Para o ensaio à flexão foram utilizadas as amostras da placa de gesso cartonado (PGC), P11S, P11S - SANDWICH, P5S, P6S E P15S, para posteriormente fazer a comparação e a análise de resultados no capítulo seguinte.

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados numa prensa hidráulica *Lloyd Instruments LR50K* (Figura 5.10), segundo a norma EN 1015-11: 1999 [43].

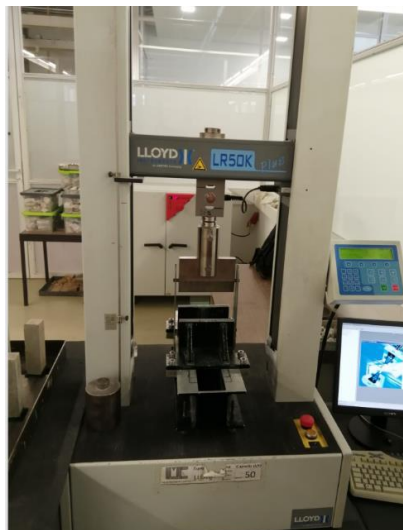


Figura 5.10 – *Lloyd Instruments LR50K*

As placas foram colocadas de forma que ficassem centradas com o rolo de carga apoiadas por dois apoios simples a uma distância entre rolos de 100mm. Foi aplicada uma pré-carga de aproximadamente 10N e de seguida iniciou-se o carregamento a uma velocidade de 0.020mm/s.

As cargas foram registadas ao longo do tempo o que resulta num gráfico, e o ensaio é terminado quando a placa entra em rotura (Figura 5.11), ou seja, quando a amostra não oferece resistência à ação aplicada.



Figura 5.11 – Momento de rotura da placa

Consoante a norma EN 1015-11: 1999, a resistência à flexão é determinada pela equação 5.1.

$$f = 1,5 \frac{Fl}{bd^2} \quad (5.1)$$

Onde:

$f$  é a resistência à flexão, em N/mm<sup>2</sup>;

$F$  é a carga máxima aplicada à amostra, em Newtons (N);

$l$  é a distância entre os eixos dos rolos de suporte, em milímetros (mm);

$b$  é a largura da amostra em milímetros (mm);

$d$  é a profundidade da amostra em milímetros (mm).

## 5.6. Ensaio da caracterização das propriedades térmicas

Para a realização do ensaio da caracterização das propriedades térmicas foi necessário criar um protótipo que chamamos *Prototherm*. Com este foi possível estudar as propriedades térmicas das diferentes placas em estudo. Este ensaio seguiu um procedimento interno do LMC baseado na norma ISO-9869-1994 [44].

A construção do *Prototherm* consistiu em formar um canal fechado com placas isolantes de maneira que não houvesse perdas de calor significativas, coladas e aplicadas com espuma expansiva e parafusos. O canal tem uma secção retangular (Figura 5.12. (b)) com uma área interior de 18750 mm<sup>2</sup> ao longo de 600mm, e uma secção trapezoidal (Figura 5.12. (a)).

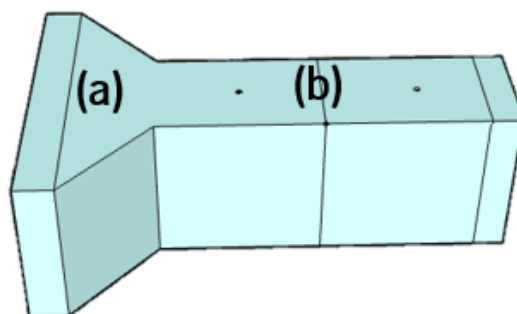


Figura 5.12 – (a) secção trapezoidal; (b) Secção retangular

Na secção trapezoidal (a), foram instalados uma fonte de calor e um dissipador (Figura 5.13. (a)), mesmo próximo do começo da secção retangular, de maneira que todo o calor pudesse propagar-

se ao longo da mesma. Para ser possível estabilizar a temperatura dentro do *Prototherm*, e no decorrer dos ensaios, foi instalado um controlador do fluxo de calor, a partir de um regulador de temperatura, no qual se fixou uma temperatura constante de  $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  (Figura 5.13. (b)).



Figura 5.13 – (a) Fonte de calor e dissipador; (b) Regulador de temperatura

A secção retangular (b), foi dividida em 2 secções com 300mm de comprimento cada, de maneira a facilitar a colocação das placas para os ensaios (Figura 5.14). De salientar que a dimensão interior da secção retangular tem as dimensões necessárias para a colocação exata de todas as placas.



Figura 5.14 – Secção retangular dividida

No centro de cada uma das partes da secção retangular foram feitas aberturas na parte superior do Prototherm como está representado a vermelho na Figura 5.15, de maneira que pudessem ser inseridos dois termopares tipo K, em que o sensor 1 regista a temperatura *input* e o sensor 2 a temperatura *output*, estes foram colocados a uma meia altura da secção do provete.

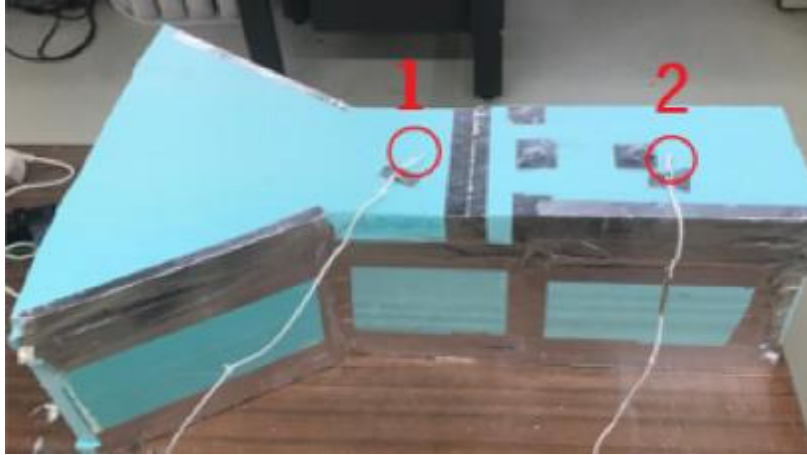


Figura 5.15 – Localização dos termopares tipo k

Para obter as temperaturas dos termopares, utilizou-se o *Picolog* (Figura 5.16), que regista as temperaturas em função do tempo ao longo de todo o ensaio.



Figura 5.16 – *Picolog*

Para obtermos o fluxo de calor, foi colocado em cada uma das amostras, na secção em que se insere o sensor 2, o fluxímetro Figura 5.17 a) que determina o fluxo de calor que atravessa a área ativa de contacto. A colocação do fluxímetro às placas tem algumas particularidades, como usar pasta dentífrica na área ativa de contacto do fluxímetro, de forma a facilitar a sua colocação às placas, Figura 5.17 b) e este tem que ser colocado também com o auxílio de fita cola, no centro das placas como está representado na Figura 5.17 c).

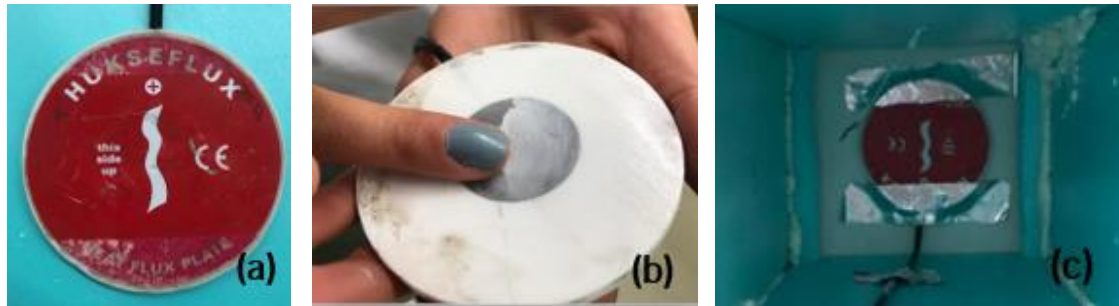


Figura 5.17 – (a) Fluxímetro; (b) Pasta dentífrica na área ativa de contacto; (c) Fluxímetro na amostra

Para concluir o procedimento para iniciar o ensaio, é colocado o provete no centro do protótipo entre os dois termopares, e para garantir que não existam perdas de calor no decorrer do ensaio, à volta de todos os provetes foi aplicada espuma poliuretano (Figura 5.18).



Figura 5.18 – Aplicação da espuma de poliuretano em vários provetes

E após a secagem da espuma de poliuretano, o *Prototherm* foi fechado com fita de alumínio (Figura 5.19) para garantir uma boa estanqueidade.



Figura 5.19 – Prototherm pronto para ensaiar

Os dados do ensaio são obtidos pelo *Picolog* onde são apresentadas as temperaturas dos sensores 1 e 2 em graus Celcius, e o fluxímetro em milivolt. Cada ensaio teve uma duração de 24 horas, para garantir a estabilização do fluxo de calor, e só após essa verificação, foi considerado um intervalo de tempo de 1 hora para cada ensaio, e é calculada a quantidade de calor que atravessa o provete em  $W/m^2$ . É de salientar que o fluxímetro tem uma correção associada de  $61,3 \mu V/W/m^2$ , devido a área de contato do fluxímetro, em que é obtido o valor do fluxo de calor que atravessa toda a placa e entra em contacto com a área do sensor.

Para a determinação dos coeficientes térmicos, foi necessário retirar a média das temperaturas entre o sensor 1 (*input*) e o sensor 2 (*output*) em graus, no referido intervalo de tempo onde existe estabilização do fluxo de calor. Para o cálculo desse parâmetro aplicou-se a equação 5.2. Na determinação da condutibilidade térmica, aplicou-se a equação 5.3.

$$U = \frac{Q}{\Delta T} \quad (5.2)$$

Onde:

$U$  é o coeficiente de transmissão térmica, em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$Q$  é o fluxo de calor, em  $W/m^2$ ;

$\Delta T$  é a diferença de temperatura, em  $^\circ C$ .

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_t + R_{se}} \quad (5.3)$$

Onde:

$U$  é o coeficiente de transmissão térmica, em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$R_t$  é a resistência térmica, em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ .

$R_{si}$  é a resistência térmica superficial interior, em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ . [45].

No cálculo da resistência térmica, seguiu-se a equação 5.4.

$$R_t = \frac{e}{\lambda} \quad (5.4)$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica, em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ;

$e$  é a espessura do material, em metros (m);

$\lambda$  é a condutibilidade térmica, em  $W/m \cdot ^\circ C$ .

Na Figura 5.20 esta representado um esquema elucidativo no qual se pode observar todos os elementos, assim como algumas medidas adotadas para a realização do ensaio no *Prototherm*.

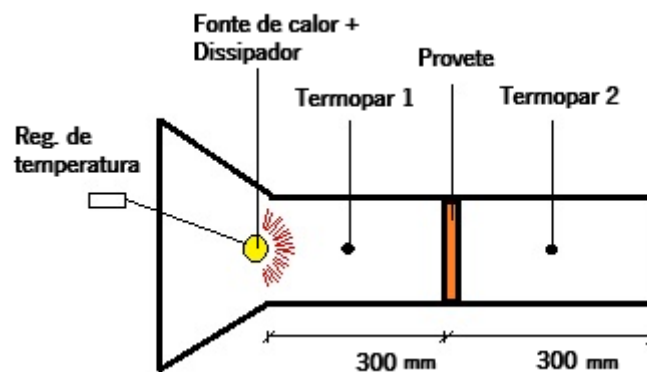


Figura 5.20 – Esquema *Prototherm*



Na Figura 5.21 apresenta-se um esquema em 3D do *Prototherm* com a visualização do elemento de ensaio, fonte de calor e fluxímetro.

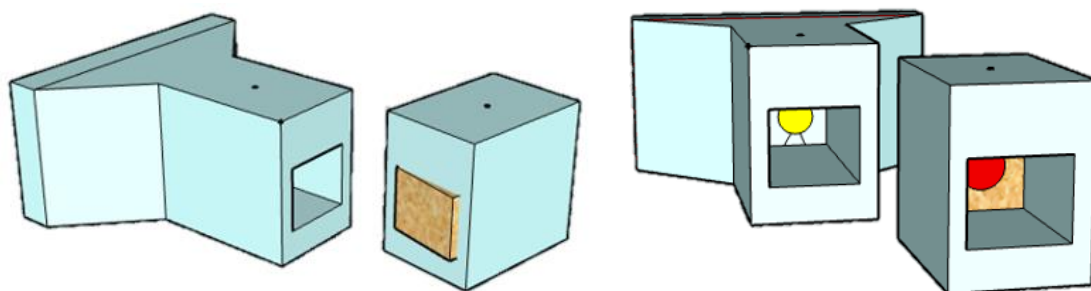


Figura 5.21 – Representação em 3D - *Prototherm*

### 5.7. Ensaio expedito ao fogo

O ensaio foi realizado sem recurso a uma específica norma, baseado no procedimento interno realizado no laboratório, onde foi ensaiada a capacidade de combustão do compósito base e sem a aplicação do suporte de cartão. Considerou-se a adição de bórax ao compósito P11, sendo este um retardador ao fogo. Utilizaram-se duas amostras iguais com as dimensões de  $150 \times 150 \times 15 \text{ mm}^3$ , e com as mesmas composições da P11. Na primeira (amostra 1) foi colocada uma chama de fogo e foi contabilizado o tempo até que o material ficasse completamente queimado, na segunda amostra (amostra 2) o método foi igual à da primeira (amostra 1), apenas diferenciando a adição de álcool etílico para que pudéssemos verificar e contabilizar o tempo até que houvesse a degradação total do material.

## 6. DESEMPENHO DO MATERIAL COMPÓSITO

### 6.1. Introdução

Neste capítulo são apresentados os resultados da caracterização dos resíduos utilizados (RP e RT), apresentando-se a análise de resultados dos ensaios realizados com os compósitos, que apresentaram o melhor desempenho.


Para uma melhor análise das características do material compósito, foram realizados vários compósitos experimentais preliminares, de forma a conhecer as propriedades mecânicas dos seus componentes, que nos permitiram comparar diversas propriedades do material. Assim, para a realização dos ensaios laboratoriais de resistência à flexão foram utilizadas as placas de gesso cartonado (para comparação de resultados), as placas P11S, P11S - SANDWICH, P5S, P6S e P15S.



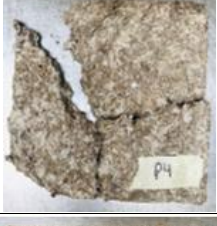





Para o ensaio expedito ao fogo foi utilizado o compósito P11. Na caracterização das propriedades térmicas, foram utilizadas uma placa de cortiça, lã de rocha, gesso cartonado (para comparação), P11S, P11S - SANDWICH, P11S – TECIDO e o suporte de cartão alveolar, todas com as mesmas dimensões (150x150mm) e de diferentes espessuras.



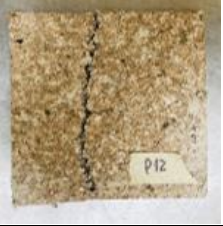



### 6.2. Avaliação qualitativa das misturas realizadas

Neste subcapítulo serão apresentadas todas as misturas realizadas, imagens e observações sobre as mesmas. O processo de execução que originou cada compósito está descrito no subcapítulo 5.3 e a avaliação de descarte ou consideração do compósito para ensaios.

Tabela 5 – Avaliação qualitativa dos compósitos realizados no estudo

Misturas	Materiais e processos	Observações/Avaliação	Imagem dos compósitos
P1	Resíduo têxtil não triturado; Resíduo de papel seco em estufa e triturado; Sem adição de gesso; Mistura triturada com varinha mágica.	Compósito frágil; Pouca homogeneidade entre os materiais; Demasiada quantidade de água; <b>Descartar.</b>	

P2	RT não triturado; RP seco em estufa e triturado; Sem adição de gesso; Mistura triturada com varinha mágica.	Compósito frágil; Pouca homogeneidade entre os materiais; Demasiada quantidade de água; <b>Descartar.</b>	
P3	RT não triturado; RP seco em estufa e triturado; Sem adição de gesso; Mistura triturada com varinha mágica.	Compósito com alguma fragilidade; Parte-se facilmente; Pouca homogeneidade entre os materiais; Demasiada quantidade de água; <b>Descartar</b>	
P4	RT não triturado; RP seco em estufa e triturado; Sem adição de gesso; Cola branca; Mistura triturada com varinha mágica.	Compósito frágil; Pouca homogeneidade entre os materiais; Demasiada quantidade de água; <b>Descartar.</b>	
P5	RT não triturado; RP seco em estufa e triturado; Sem adição de gesso; Cola branca; Bórax; Mistura triturada com varinha mágica.	Compósito apresenta alguma resistência; Ainda apresenta pouca homogeneidade entre os materiais devida ao RT não triturado; <b>Considerar para ensaios.</b>	
P6	RT não triturado; RP seco em estufa e triturado; Sem adição de gesso; Cola branca; Bórax; Mistura triturada com varinha mágica.	Compósito apresenta alguma resistência; Ainda apresenta pouca homogeneidade entre os materiais devida ao RT não triturado; <b>Considerar para ensaios.</b>	
P7	RT triturado; RP seco em estufa e triturado; Gesso; Bórax; Mistura manual.	Compósito frágil; Pouca homogeneidade entre os materiais; <b>Descartar.</b>	
P8	RT triturado; RP seco em estufa e triturado; Gesso; Bórax; Mistura manual.	Compósito frágil; Pouca homogeneidade entre os materiais; <b>Descartar.</b>	
P9	RT triturado; RP seco em estufa e triturado; Gesso; Bórax; Mistura manual.	Compósito frágil; Pouca homogeneidade entre os materiais; <b>Descartar.</b>	

P10	RT triturado; RP seco em estufa e triturado; Gesso; Bórax; Mistura manual.	Compósito frágil; <b>Descartar.</b>	
P11	RT triturado; RP seco em estufa e triturado; Gesso; Bórax; Mistura manual.	Compósito com a melhor resistência e homogeneidade dos materiais; <b>Considerar para ensaios.</b>	
P12	RT triturado; RP seco em estufa e triturado; Gesso; Bórax; Mistura manual.	Compósito frágil; <b>Descartar.</b>	
P14	RT triturado; RP seco em estufa e triturado; Gesso; Bórax; Mistura manual	Compósito frágil; <b>Descartar.</b>	
P13	RT triturado; RP seco em estufa e triturado; Gesso; Bórax; Mistura manual.	Compósito frágil; <b>Descartar.</b>	
P15	RT triturado; RP seco em estufa e triturado; Gesso; Bórax; Mistura manual.	Compósito com boa resistência; <b>Considerar para ensaios.</b>	

### 6.3. Ensaio da caracterização dos componentes do compósito

#### 6.3.1. Análise de resultados de Termogravimetria

Na Figura 6.1 é possível verificar o resultado obtido através do ensaio do resíduo de papel pela técnica de TGA. No ensaio foi possível observar as curvas TGA (curva termogravimetria) na cor azul e DTG (derivada da curva de TGA) na cor vermelha, sendo estas analisadas em conjunto. As curvas demonstram que existiu uma perda de massa ao longo ensaio com o aumento da temperatura, como também o momento de perda de água (água livre e água de impregnação) que

corresponde ao patamar da curva TGA, e a carbonização e degradação do material que ocorre aos 380°C.

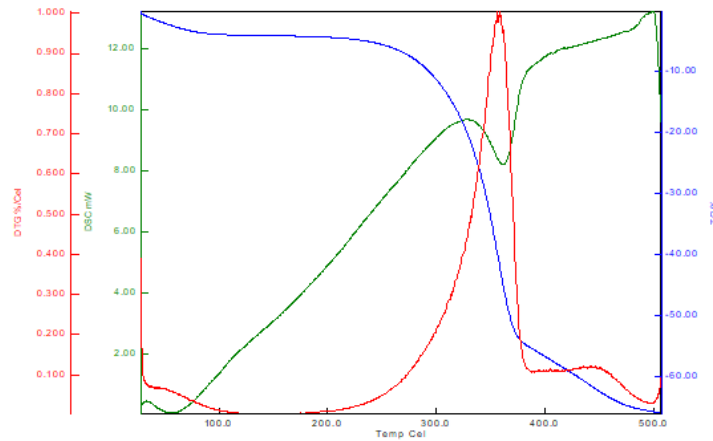


Figura 6.1 – Ensaio TGA – Resíduo de papel

Na Figura 6.2 verificou-se que o resultado do ensaio ao resíduo têxtil, em que TGA (curva termogravimetria) na cor azul e DTG (derivada da curva de TGA) na cor vermelha, demonstram uma perda de massa aproximadamente entre os 200 e os 360°C.

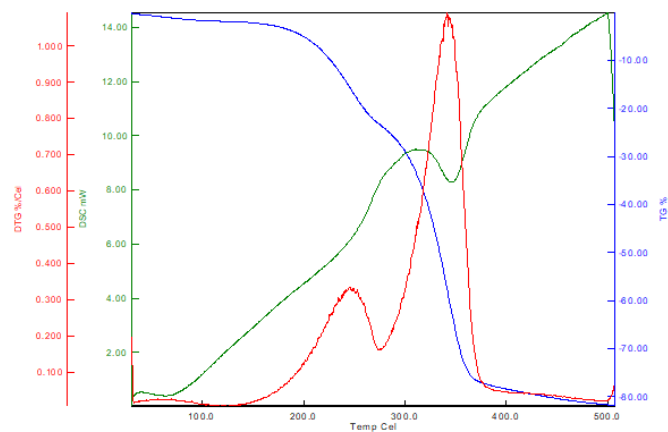


Figura 6.2 – Ensaio TGA – Resíduo têxtil

### 6.3.2. Análise de resultados da Calorimetria Diferencial de Varrimento

Na análise obtida do ensaio DSC para o resíduo de papel (Figura 6.3), é possível verificar no primeiro pico que se encontra a 90,6°C, uma reação endotérmica (perda de energia), uma perda

de massa da amostra por evaporação da água livre e da água de impregnação que ocorre a cerca de 140°C. O segundo pico que se encontra a 369,93°C, uma reação exotérmica (ganho de energia) onde pode ter ocorrido uma destas seguintes reações: cristalização, reações de polimerização, oxidação, degradação oxidativa, cura ou adsorção de algum composto volátil. E o terceiro pico que se encontra a 477,89°C, uma reação endotérmica por ocorrência de perda de massa da amostra e carbonização (nas madeiras costuma ocorrer a cerca de 400°C) [46]. O ensaio ocorreu num intervalo de temperatura entre os 0°C e os 500°C, a uma velocidade de 10°C/min.

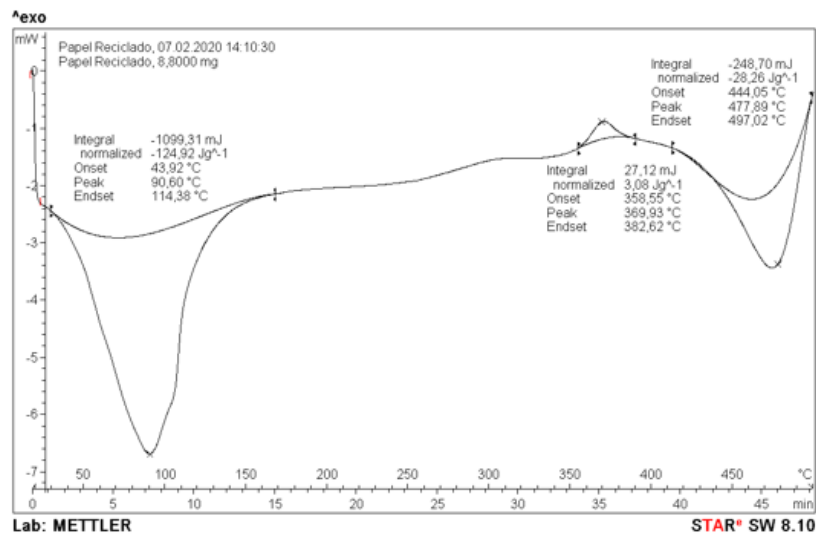


Figura 6.3 – Ensaio DSC – Resíduo de papel

Na análise obtida do ensaio DSC para o resíduo têxtil (Figura 6.4), é possível observar uma reação endotérmica com absorção e energia inicial com pico nos 100°C, que corresponderá a perda de água por evaporação (secagem do material) e uma reação exotérmica aos 360°C que poderá estar relacionada com a decomposição ou degradação do material que ocorre em duas etapas segundo a curva DTG com dois picos, um a 250°C e outro a 350°C. O ensaio ocorreu num intervalo de temperatura entre os 0°C e os 500°C, a uma velocidade de 10°C/min.

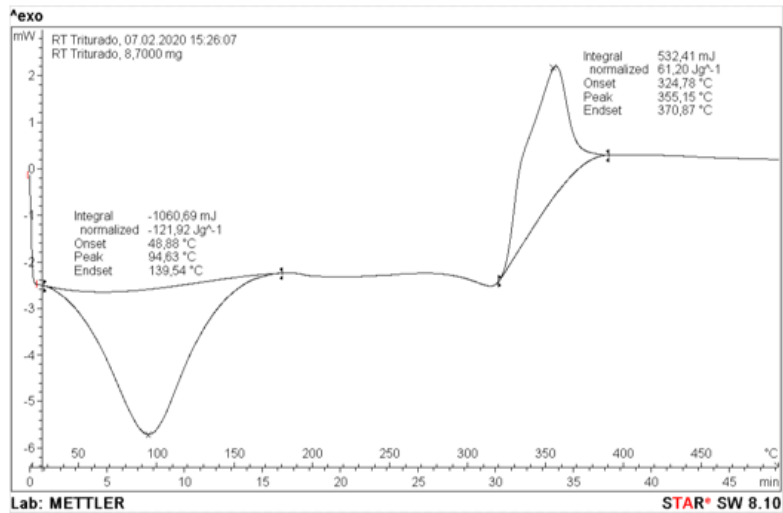


Figura 6.4 – Ensaio DSC – Resíduo têxtil

### 6.3.3. Análise de resultados da Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

Na Figura 6.5 é possível analisar os compostos químicos do resíduo de papel através de linhas auxiliares, onde é possível determinar a codificação espectral da amostra, como está indicado na Tabela 6.

Os restantes picos são referentes a pigmentos orgânicos ou inorgânicos e impurezas presentes nos resíduos de papel, de forma que, sua identificação não tem relevância para este estudo.

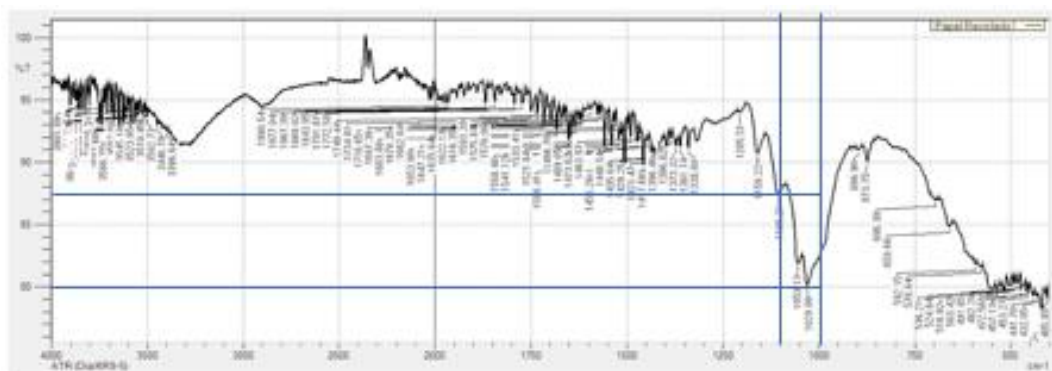


Figura 6.5 – Ensaio FTIR – Resíduo de papel

Na Tabela 6 estão representados todos os valores da codificação espectral, assim como os valores correspondentes da amostra.

Tabela 6 – Codificação espectral – Resíduo de papel

Codificação espectral	Picos da amostra (%)
Celulose - Estiramento O-H: 3700-3600	93.5 a 96.5
Celulose - Estiramento C=O: 1830-1650	95.5 a 96.0
Sílica: 1100-1000	80.0 a 88.5
Calcite: 1492-1429, 879, 706	90.0 a 94.0
Gesso: 3500-3400, 1700-1600, 1150-1100, 700-600	82.5 a 94.0
Caulim: 3700-3200, 1100-1000, 910-830	80.0 a 96.0
Óxido de zinco: 400 a 500	78.0 a 81.5

Através da Figura 6.6 é possível observar os compostos químicos do resíduo de têxtil através de linhas auxiliares, onde foi possível determinar a codificação espectral da amostra.

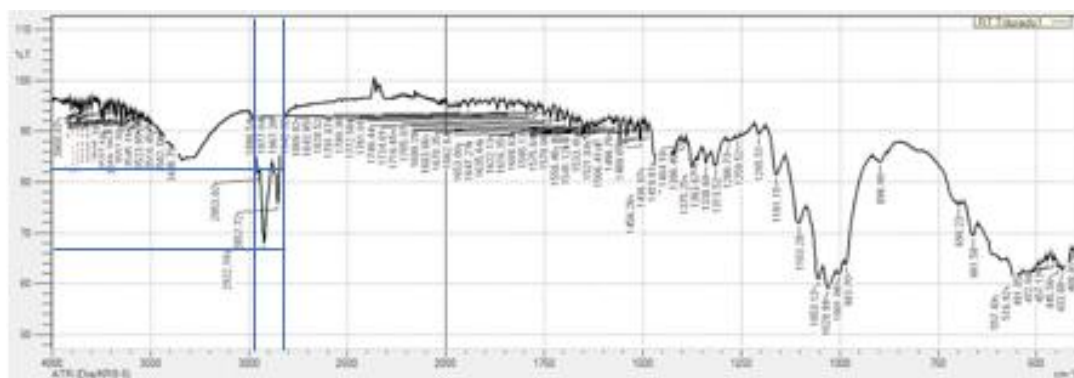


Figura 6.6 – Ensaio FTIR – Resíduo têxtil

Os espectros de infravermelho do algodão mostram picos em  $3300\text{cm}^{-1}$  característicos dos grupos hidroxila da celulose e da água de hidratação das fibras. Os picos a cerca de  $2900\text{cm}^{-1}$  são característicos da vibração de estiramento, vibração simétrica e assimétrica de CH alifáticos presentes. As bandas na ordem dos  $1600\text{cm}^{-1}$  podem ser da presença de água nas fibras ou reações de oxidação. As bandas em  $1400\text{cm}^{-1}$  caracterizam deformação angular de C-H. Os picos a  $1050\text{cm}^{-1}$  estão relacionados a estiramentos CO e OH na celulose. Por fim, os picos a  $900\text{cm}^{-1}$  são formados devido a ligações  $\beta$  glicosídicas entre os monossacarídeos. As bandas encontradas são típicas da celulose [47].



## 6.4. Ensaio de resistência à flexão

### 6.4.1. Análise de resultados

Na Tabela 7, apresenta-se os valores obtidos do ensaio à flexão.

Tabela 7 – Valores mecânicos da resistência à flexão das diferentes placas

Materiais	Força de flexão (N)	Tensão de flexão (MPa)	Gesso (%)
P5S	450.53	0.20	0
P6S	707.24	0.31	10
P11S	433.72	0.19	30
P11S - SANDWICH	862.45	0.38	30
P15S	406.53	0.18	50
PGC	1842.67	0.82	-

Na Figura 6.7, é possível observar o comportamento dos diversos materiais que foram submetidos aos ensaios à flexão.

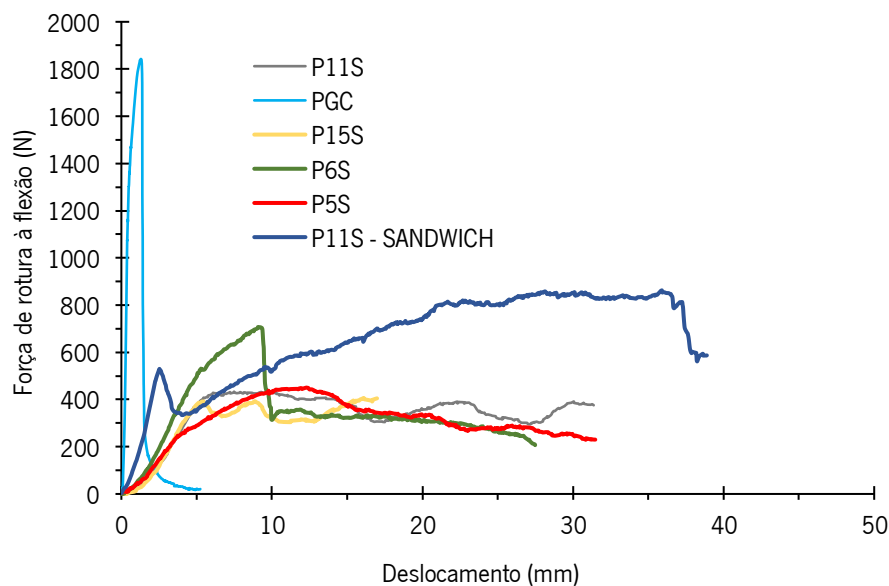


Figura 6.7 – Apresentação dos dados à flexão das diferentes placas

Em análise aos resultados do ensaio à flexão, pode concluir-se que a adição de gesso nas misturas para a realização das placas, confere alguma resistência, mas não a suficiente comparativamente a placa de gesso cartonado (PGC). Examinando a Tabela 7 e a Figura 6.7, verifica-se na P6S que

a força de rotura à flexão de 707.24 N, deve-se a sua constituição em que um dos elementos é cola branca, conferindo assim alguma coesão no compósito. Na P11S - SANDWICH observam-se valores altos à máxima força de rotura de flexão, por esta, ser constituída por dois elementos de cartão alveolar, compósito P11 e revestida com gesso. Como o objetivo deste estudo é realizar placas que contenham o mínimo de elementos químicos, escolheu-se a P11 para os seguintes ensaios pois contém a menor quantidade de gesso, a mínima necessária para conferir alguma resistência, e sem cola.

Na Figura 6.8, demonstra o ensaio a flexão realizado as placas em estudo.



Figura 6.8 – Realização ensaio à flexão P11S - SANDWICH

Na Figura 6.9, estão apresentadas todas as placas após a rotura à flexão.

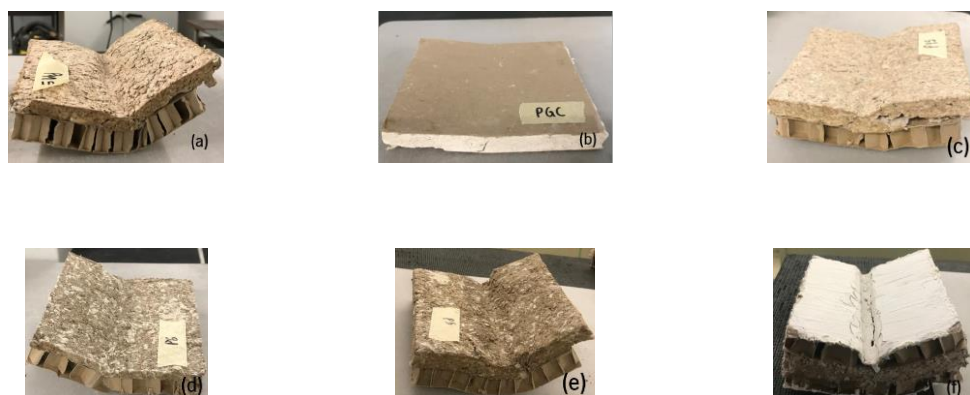


Figura 6.9 – Placas após rotura: (a) P11S; (b) PGC; (c) P15S; (d) P6S; (e) P5S; (f) P11S - SANDWICH

## 6.5. Ensaio da caracterização das propriedades térmicas

### 6.5.1. Análise de resultados

Na Tabela 8, apresenta-se os valores obtidos do ensaio das propriedades térmicas.

Tabela 8 – Valores das propriedades térmicas das placas

Material	Fluxo de calor (W/m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> . °C)	$\lambda$ (W/m. °C)	Rt (m <sup>2</sup> . °C/W)	LNEC - $\lambda$ (W/m. °C)	Espessura (m)
Gesso Cartonado	35.48	3.259	0.322	0.047	0.400	0.015
Cortiça	10.55	0.750	0.037	1.074	0.050	0.040
Lã de Rocha	13.06	0.928	0.037	0.817	0.040	0.030
Cartão Alveolar	24.31	2.063	0.089	0.225	-	0.020
Placa 11S	20.04	1.585	0.094	0.371	-	0.035
Placa 11S - Sandwich	13.76	0.982	0.066	0.758	-	0.050
Placa 11S - Tecido	18.01	1.372	0.077	0.469	-	0.036

Na Tabela 8, está representado o fluxo de calor, o coeficiente de transmissão térmica (U), condutibilidade térmica ( $\lambda$ ), resistência térmica (Rt), os valores tabelados da condutibilidade térmica dos materiais existentes (LNEC) [45] e respectivas espessuras de todas as placas.

É possível verificar na Figura 6.10, a estabilização do fluxo de calor para cada placa no período de 1 hora.

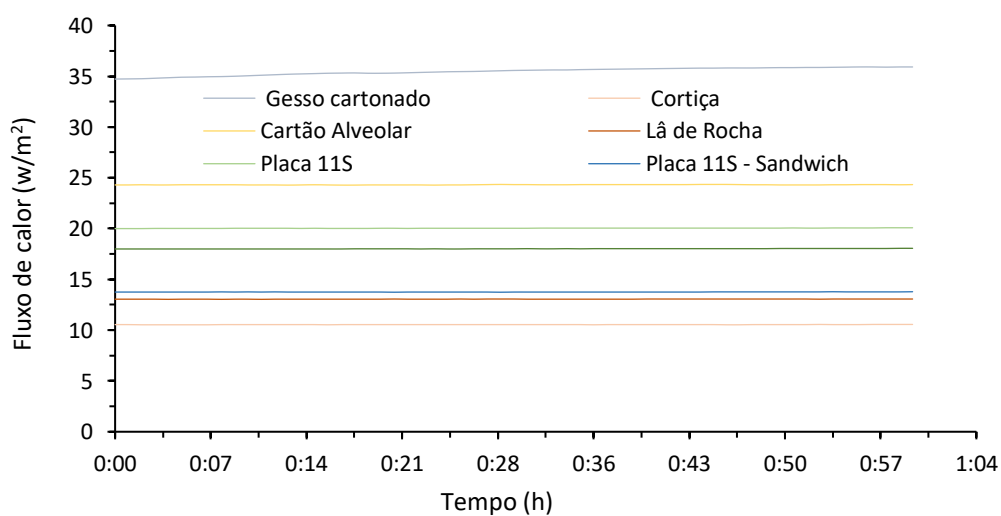


Figura 6.10 – Período de estabilização do fluxo de calor de cada placa

Na Figura 6.11, é possível observar os diferentes valores da condutibilidade térmica para cada placa.

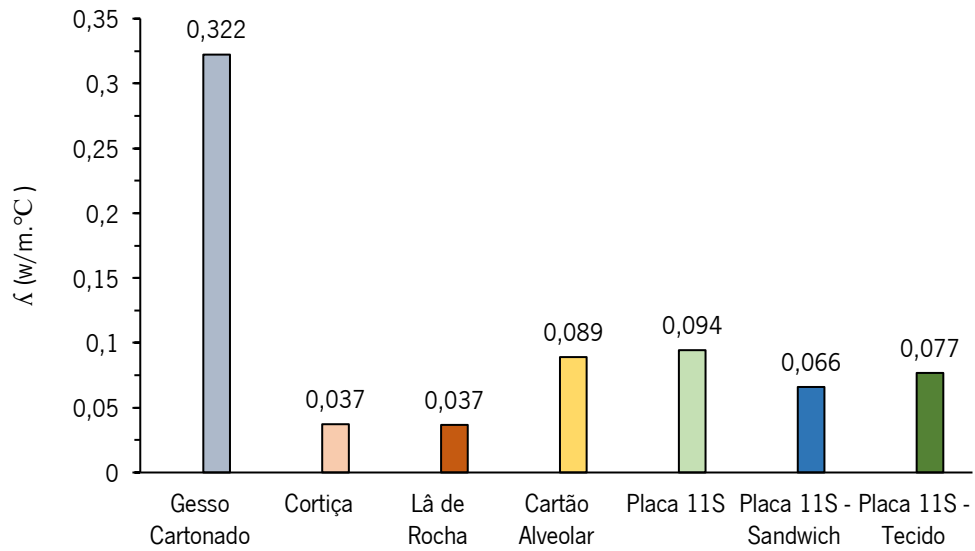


Figura 6.11 – Condutibilidade térmica das placas em estudo

Na Figura 6.12, é possível observar os diferentes valores da resistência térmica para cada placa.

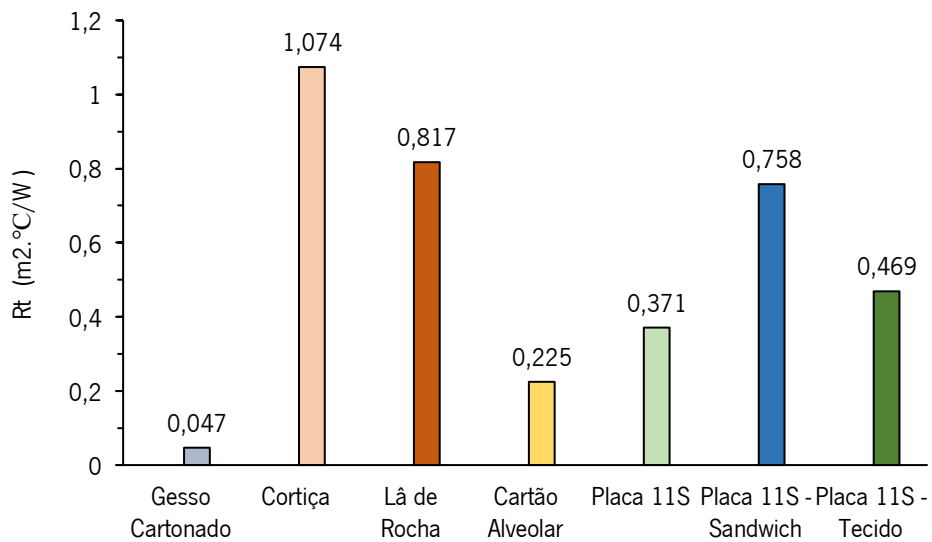


Figura 6.12 – Resistência térmica das placas em estudo

Após uma análise cuidadosa aos resultados obtidos e apresentados na Figura 6.11 e Figura 6.12, é possível verificar que os materiais existentes no mercado, especificamente o gesso cartonado, cortiça e lã de rocha, com valores tabelados no ITE 50 [45], em comparação com as placas desenvolvidas, apresentam melhores valores.

Para poder considerar isolantes térmicos, os materiais e produtos tem que apresentar uma condutibilidade térmica inferior a  $0.065 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$  e uma resistência térmica superior a  $0.030 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$  [45]. Verificou-se que relativamente à condutibilidade térmica nenhuma das placas realizadas está dentro destes parâmetros para ser considerado um isolante térmico. Apesar de não cumprirem com os requisitos para isolamentos, estas apresentam uma boa resistência térmica, equiparada com a nossa referência para divisórias interiores, a PGC. Sendo assim, prevê-se que ao aumentar as espessuras das placas (com maior espessura de material compósito e maior espessura de cartão alveolar), estas poderão ter um bom desempenho térmico, considerando o verificado na P11S – SANDWICH, com uma espessura de 0.005 m.

Relativamente à análise para paredes divisórias interiores, apesar de alguma fragilidade do compósito, e este ser colado a estrutura de cartão alveolar, para garantir alguma resistência, verificou-se que as placas estudadas apresentam melhores valores quanto a condutibilidade térmica e resistência térmica, comparados aos valores da PGC. A P11S – SANDWICH, por apresentar uma boa resistência relativamente as restantes placas realizadas em laboratório e pelo seu revestimento em gesso, poderá ser um bom substituto do gesso cartonado, quanto à sua condutibilidade e resistência térmica.

Comparando os resultados obtidos com materiais com matérias-primas semelhantes (Tabela 9) verifica-se que o compósito desenvolvido tem melhor desempenho que o betão de papel e que as placas de gesso com reforço de resíduos de papel. No entanto, como seria de esperar apresenta menos isolamento quando comparado com os materiais com maior quantidade de vazios como o isolamento de resíduos de papel com resíduos têxteis (fibras de poliéster) e isolamento de resíduos de papel.

Tabela 9 – Comparação térmica de materiais existentes com compósito estudado

Compósito	Condutibilidade térmica (valores médios) (W/m.°C)
Betão de papel "Papercrete" (resíduos de papel e cimento) [18]	0.8
Placas de gesso e resíduos de papel "Fermacell" [16]	0.32
Compósito estudado – placa P11S	0.09
Compósito estudado – placa P11S SANDWICH	0.07
Isolamento de resíduos de papel com resíduos têxteis (fibras de poliéster) "Isonat CELFLEX" [17]	0.039
Isolamento de resíduos de papel [14][15]	0.035

## 6.6. Ensaio expedito ao fogo

### 6.6.1. Análise de resultados

Na Figura 6.13, observou-se que a amostra 1, constituída pelos elementos do compósito P11, e após a colocação da chama de um isqueiro diretamente no compósito, durante 4 minutos, verificou-se que não houve degradação total do material, indicando ser um material que não tem propriedades de combustão rápida, parecendo ser auto-extinguível (a chama apaga-se quando se apaga o isqueiro).

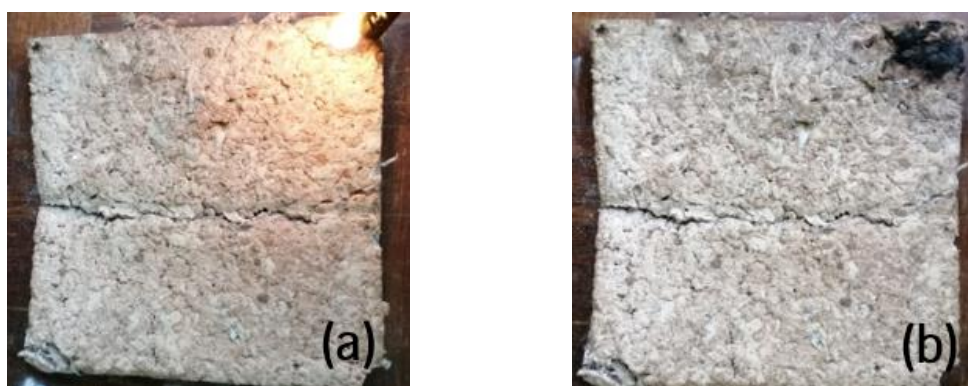


Figura 6.13 – (a) Amostra 1; (b) Amostra 1 após 4 minutos

Na figura 6.14, observou-se que a amostra 2, também constituída pelos elementos do compósito P11, e com a colocação de álcool etílico. Verificou-se a degradação instantânea do material, logo após a colocação da chama em contacto com o mesmo. Concluindo, este compósito ao adicionar algum tipo de reagente ao fogo, apresenta um comportamento de combustão elevado.



Figura 6.14 – (a) Amostra 2; (b) Amostra 2 após 4 minutos

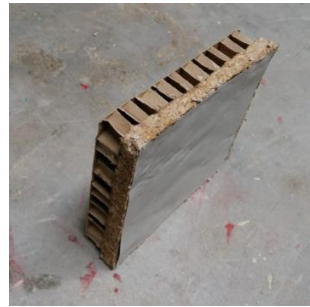
## 6.7. Produto final – Acabamentos

Na Figura 6.15, apresentam-se as placas finais, considerando o compósito com as melhores propriedades, relativamente às baixas quantidades de gesso, P11. A este compósito base foram coladas com cola branca as placas de cartão alveolar, como já referido anteriormente, e procedeu-se ao desenvolvimento de algumas técnicas de revestimentos, priorizando a sustentabilidade e o reaproveitamento dos resíduos.

Para os revestimentos em tecido, foram utilizadas sobras de tecidos provenientes das fábricas de confeção e coladas com cola branca. Para o revestimento em papelão, foram utilizadas sobras que já não tinham utilidade e coladas com cola branca. E por fim, para conferir uma maior capacidade de impacto e resistência, foi aplicado gesso estuque em ambas as faces da P11S – SANDWICH, podendo ser considerado um bom acabamento para a finalidade de divisória interior.



P11S



P11S – Revestidas com papelão



P11S - TECIDO



P11S – Sem revestimento



P11S – SANDWICH – Revestimento estuque

Figura 6.15 – Acabamentos – Produto final



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS

### 7.1. Considerações finais

O principal objetivo deste trabalho passou por avaliar o comportamento dos resíduos provenientes da indústria de papel e da indústria têxtil com a finalidade de serem utilizados para a realização de placas para paredes interiores. Sendo que estes resíduos não tem reaproveitamento, ao implementá-los nos materiais para a realização deste estudo, poderá ser uma das soluções para evitar a pegada ecológica. Como também a sua valorização e reaproveitamento. Os resultados obtidos levam à conclusão de que poderá ser viável a utilização destes desperdícios para a realização de uma placa com boas características térmicas. Tornando estes materiais mais sustentáveis e vantajosos, face aos existentes no mercado. No entanto, relativamente à resistência mecânica serão necessários mais ensaios, nomeadamente em placas mais espessas e de maiores dimensões para confirmação da viabilidade a este nível.

Através deste trabalho experimental foi possível concluir:

- Na avaliação qualitativa de todas as misturas efetuadas no laboratório, foi possível constatar que o resíduo têxtil permite que haja muitos vazios na amostra, tornando os compósitos com pouca homogeneidade entre os materiais, conferindo alguma fragilidade ao produto final.
- Com base nos ensaios efetuados à flexão, pode-se concluir que a adição de gesso nas misturas para a realização das placas, confere alguma resistência, mas não a suficiente comparativamente a PGC.
- Relativamente aos ensaios térmicos realizados, conclui-se que as placas realizadas podem vir a ser substitutos do gesso cartonado, conferindo valores elevados relativamente a resistência térmica, sendo consideradas placas com propriedades isolantes para divisórias interiores. Ao analisar os materiais existentes no mercado como indica na tabela 2, é possível concluir que o compósito desenvolvido teve um bom desempenho, mas pode ainda ser melhorado utilizando uma maior espessura de cartão alveolar, no sentido de aumentar os vazios e reduzir a condutibilidade térmica sem comprometer as resistências mecânicas.
- Com base no ensaio expedito ao fogo, podemos concluir que, apesar de os resíduos utilizados para a realização das placas, serem materiais de fácil combustão, o compósito

base e muito devido a incorporação do bórax, não teve o comportamento esperado, ou seja, devido aos resíduos serem de fácil combustão, o compósito apresentou um bom comportamento ao fogo.

Podemos concluir que os materiais utilizados na realização deste estudo, por serem desperdícios industriais, tornam-se economicamente mais baratos que qualquer tipo de material existente. O baixo peso das placas realizadas com os resíduos, que em comparação as placas de gesso cartonado (PGC) também trará benefícios a nível de custo de transporte e maior facilidade de aplicação em obra.

## 7.2. Perspetivas futuras

- Otimização da mistura garantindo uma melhor coesão e homogeneidade de todos os elementos, para garantir melhores comportamentos mecânicos.
- Eliminar a incorporação do gesso, de forma a criar uma placa mais sustentável.
- Estudo de outro tipo de estrutura para substituir o cartão alveolar.
- Estudo do aumento das espessuras dos materiais, de maneira a torná-los num material com características melhores que os isolamentos térmicos existentes no mercado.
- Execução das placas em tamanho real.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rainho Liliana, “A utilização de materiais reciclados na construção para melhoria do desempenho térmico e acústico,” 2013.
- [2] R. Eires, “Materiais não convencionais para uma construção sustentável utilizando cânhamo industrial, pasta de papel e cortiça,” 2004.
- [3] J. Alves, *Indústria da pasta e do papel em Portugal - O grupo Portucel*. 2001.
- [4] “CELPA - Associação da indústria papelreira, disponível em [www.celpta.pt](http://www.celpta.pt), acessado em janeiro de 2021.” .
- [5] “Recipac - Produção de papel, disponível em [www.recipac.pt](http://www.recipac.pt), acessado em maio de 2021.” .
- [6] P. Shenoy and P. S. Aithal, “A study on History of paper and possible paper free world,” *Int. J. Manag. IT Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 337–355, 2016.
- [7] J. Alves Fernandes, “A estruturação de um setor industrial - Pasta de papel,” *Revista da Faculdade de Letras*, pp. 153–182, 2000.
- [8] “The Navigator Company, disponível em [www.thenavigatorcompany.com](http://www.thenavigatorcompany.com), acessado em janeiro de 2021.” .
- [9] Oliveira Vânia, “Valorização de Resíduos da Indústria da Pasta de papel - Compostagem e Aplicação do composto no solo,” 2009.
- [10] H. Pereira, “Valorização de resíduos provenientes da indústria de produção de papel,” 2014.
- [11] Celpa, “Boletim Estatístico da CELPA,” 2020.
- [12] G. M. Scott, “Recovered Paper,” in *Waste*, 2011, pp. 137–149.
- [13] “Painéis acústicos e térmicos à base de celulose, disponível em [www.acousticalsurfaces.com](http://www.acousticalsurfaces.com), acessado em maio de 2021.” .
- [14] “Warmcel, disponível em [www.architectsjournal.co.uk](http://www.architectsjournal.co.uk), acessado em maio de 2021.” .
- [15] “Fibra de celulose ISOCELL, disponível em [www.architectsjournal.co.uk](http://www.architectsjournal.co.uk), acessado em maio de 2021.” .
- [16] “Painéis Fermacell, disponível em [www.jular.pt](http://www.jular.pt), acessado em janeiro 2021.” .
- [17] “Isonat CELFLEX, disponível em [www.ecobati.com](http://www.ecobati.com), acessado em janeiro de 2021.” .
- [18] “Papercrete, disponível em <https://constructionor.com>, acessado em janeiro de 2021.” .
- [19] D.-G. das A. E. DGAE, “Indústria Têxtil e Vestuário,” *Sinopse 2018*, p. 26, 2018.
- [20] “Produção têxtil da região Norte, disponível em [www.fashionrevolution.org](http://www.fashionrevolution.org), acessado em

- maio de 2021.” .
- [21] “Industria têxtil, disponível em [/www.industria-transformadora.info](http://www.industria-transformadora.info), acessido em abril de 2021.” .
- [22] M. Terada, “Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil,” 2009.
- [23] Siva Anabela, “Valorização de Resíduos Têxteis,” 2009.
- [24] P. T. Halil Murat Algin, “Cotton and limestone powder wastes as brick material,” *J. Constr. Build. Mater.*, 2007.
- [25] N. Avelar, “Potencial dos resíduos sólidos da indústria têxtil para fins energéticos,” 2012.
- [26] “Resíduos têxteis em Portugal, disponível em <https://noctula.pt/>, acessido em maio de 2021.” .
- [27] “RESET, disponível em [www.interregeurope.eu](http://www.interregeurope.eu), acessido em maio de 2021.” .
- [28] “Portugal têxtil - Ataque à reciclagem, disponível em [www.portugaltexil.com](http://www.portugaltexil.com), acessido em maio de 2021.” .
- [29] “Portugal têxtil, disponível em [www.portugaltexil.com](http://www.portugaltexil.com), acessido em maio de 2021.” .
- [30] S. J. e A. C. R. Eires, “Novos materiais de construção à base de gesso e desperdícios industriais.” 2007.
- [31] A. Peixoto *et al.*, “Argamassa de reboco reforçada com resíduos da indústria têxtil do tipo fio.” 2012.
- [32] Aspiras F. and Manalo, “Utilization of Textile Waste Cuttings as Building Material,” *J. Mater. Process. Technol.*
- [33] “DS SMITH, disponível em [www.dssmith.com](http://www.dssmith.com), acessido em janeiro de 2021.” .
- [34] “João António Lima Malhas, disponível em [www.jalimamalhas.pt](http://www.jalimamalhas.pt), acessido em janeiro de 2021.” .
- [35] S. Torgal, F.; Jalali, “Sustentabilidade dos Materiais de Construção,” *CM Materials*. 2010.
- [36] “Gesso, disponível em [www.infopedia.pt](http://www.infopedia.pt), acessido em maio de 2021.” .
- [37] Saint Gobain, “COLA BRANCA PVA EXTRA ARTESANATO,” 2021. [Online]. Available: <https://www.tekbond.com.br>. [Accessed: 29-Jul-2021].
- [38] “100 METROS, disponível em [www.100metros.pt](http://www.100metros.pt), acessido em janeiro de 2021.” .
- [39] “Termogravimetria TGA, disponível em [www.afinkopolimeros.com.br](http://www.afinkopolimeros.com.br), acessido em maio de 2021.” .
- [40] C. Carvalho, “Fibras têxteis não convencionais com propriedades de conforto melhoradas,” 2015.

- [41] “Differential Scanning Calorimetry (DSC).” .
- [42] “FTIR, disponível em [www.thermofisher.com](http://www.thermofisher.com), acessado em junho de 2021.” .
- [43] E. 1015-11, “Determination of flexural and compressive strengt,” 1999.
- [44] “CEN - European Committee for Standardization, ISO 9869.” ISO, p. 32, 1994.
- [45] C. Santos, “LNEC - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios.” 2006.
- [46] P. D. De Moraes, “Comportamento da madeira a temperaturas elevadas,” no. 48, pp. 157–174, 2009.
- [47] F. T. Félix, J. P. N. Marinho, S. N. Da Silva, and D. M. de F. S. Azevedo, “Síntese E Caracterização De Compósitos De Fosfato De Cálcio E Nanofibras De Celulose Visando Aplicação No Reparo De Tecidos Ósseos,” *J. Eng. Exact Sci.*, vol. 3, no. 8, pp. 1209–1226, 2017.