

# **Produção de um novo conceito de painéis modulares para habitações baseado em sistemas compósitos reciclados**

*José Diogo Cardoso Coelho*

**Dissertação de Mestrado**

Orientadores na FEUP: Prof. António Torres Marques

Prof.<sup>a</sup> Bárbara Rangel



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Julho de 2016



## Resumo

O sistema atual de construção de habitações é ineficiente e insustentável e cada vez existe uma maior necessidade de encontrar soluções para este problema.

Numa altura em que é cada vez mais importante conservar os recursos naturais do planeta e em que o número de habitantes da Terra é maior que nunca, é de extrema importância otimizar o sistema de criação de habitações familiares, para que este setor de construção deixe de ser um dos mais poluentes. Para tal, é importante implementar um conceito que permita tornar a construção e vida nas habitações mais sustentável.

Neste trabalho, procura-se atingir esse objetivo através da reutilização de desperdícios como materiais de construção. O sistema que se pretende utilizar consiste na utilização de um painel *sandwich* com duas peles estruturais e um núcleo que funciona como isolamento, sendo que desta forma o desperdício durante a construção é reduzido e a casa será energeticamente mais eficiente.

Além do desenvolvimento do conceito, este trabalho encontra no desenvolvimento do processo de fabrico destes painéis o fator desafiante.

Durante este trabalho foi possível idealizar alguns processos de fabrico mas não foi possível recriar nenhum deles devido há falta de condições. Contudo, foi possível construir um protótipo que permite ter uma noção das dimensões reais do painel idealizado. Foi também possível realizar alguns ensaios experimentais, sendo que não foi possível realizar todos os que seriam desejados e/ou necessários.

O que se concluiu deste trabalho é que o conceito criado poderá ser aplicado na realidade, sendo que para tal terá ainda de ser mais trabalhado e otimizado de forma a poder cumprir todos os requisitos impostos para uma construção habitacional.

## Abstract

The current housing construction system is inefficient and unsustainable and now more than ever there is a greater need to find solutions for this problem.

In a time when the importance to conserve the natural resources of the planet is higher than ever and the number of earth's habitants is the greatest of all times, it is extremely important to optimize the system for creating family houses, so the construction sector stop being one of the most pollutants. For this to happen is important to implement a concept that make the construction and life in the houses more sustainable.

This work aims to achieve this goal through the reuse of waste as building materials. The system that will be used is a sandwich panel with two structural skins and a core that acts as insulation, this way the waste during construction is reduced and the home will be more energy efficient.

Besides the development of the concept, this work finds in the development of the manufacturing process one big challenge.

During this work it was possible to idealize some manufacturing processes but none of them could be recreated due to the lack of conditions. However, it was possible to build a prototype that allows a sense of the actual dimensions of the designed panel. It was also possible to carry out some experimental tests, although it was not possible to perform all that would be desired and/or required.

What we concluded from this work is that the concept created could be applied in reality, but for this it need to be tested and optimized in order to be able to meet all the building construction requirements.

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram para a realização desta Dissertação de Mestrado, nomeadamente:

- Ao Prof. António Torres Marques, orientador deste trabalho, pelo incentivo, disponibilidade e sugestões prestadas;
- Ao Prof. José Luís Esteves pela disponibilidade e pela ajuda prestada com os cálculos;
- Aos funcionários e professor que disponibilizaram o seu tempo para me ajudar na realização de ensaios, sendo eles João Rodrigues (INEGI), Eduardo Costa (DEC) e Prof. Szabolcs Varga;
- À empresa *Previnil* em pelo fornecimento do PVC e em especial ao Sr. Luís Alves pela disponibilidade e paciência que teve;
- Deixo também um agradecimento à FEUP e ao INEGI por partilharem as suas instalações;
- A toda a minha família por todo o acompanhamento e incentivo manifestado em especial aos meus pais e namorada por todo o apoio.

## Índice de Conteúdos

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Introdução .....   | 1  |
| 1.1   | Motivação e enquadramento do projeto .....                 | 1  |
| 1.2   | Objetivos do projeto .....                                 | 1  |
| 1.3   | Organização no projeto .....                               | 1  |
| 1.4   | Estrutura da dissertação .....                             | 2  |
| 2     | Estado da arte e conceitos principais .....                | 4  |
| 2.1   | Sistemas Compósitos e Desenvolvimento sustentável .....    | 4  |
| 2.1.1 | Sustentabilidade .....                                     | 4  |
| 2.1.2 | Desenvolvimento sustentável .....                          | 4  |
| 2.1.3 | Waste for Life.....  | 4  |
| 2.1.4 | Polímeros.....   | 5  |
| 2.1.5 | Compósitos.....  | 6  |
| 2.1.6 | Eco-compósitos .....                                       | 7  |
| 2.1.7 | Bio-compósitos .....                                       | 7  |
| 2.2   | Reciclagem .....   | 9  |
| 2.2.1 | Incineração .....  | 9  |
| 2.2.2 | Reciclagem mecânica.....                                   | 9  |
| 2.2.3 | Reciclagem por processos térmicos e/ou químicos .....      | 10 |
| 2.3   | Soluções Construtivas Atuais para Habitações.....          | 11 |
| 2.3.1 | Paredes de terra crua .....                                | 11 |
| 2.3.2 | Paredes de alvenaria de pedra.....                         | 11 |
| 2.3.3 | Paredes de madeira.....                                    | 12 |
| 2.3.4 | Paredes de alvenaria de tijolo de barro vermelho.....      | 13 |
| 2.3.5 | Paredes de alvenaria de blocos de betão.....               | 14 |
| 2.3.6 | Painéis pré-fabricados .....                               | 15 |
| 2.4   | Isolamento para Habitações.....                            | 17 |
| 2.4.1 | Isolamento Térmico .....                                   | 17 |
| 2.4.2 | Isolamento Acústico.....                                   | 18 |
| 2.5   | Resistência e Reação ao Fogo .....                         | 21 |
| 2.6   | Processos de Fabrico de Painéis.....                       | 23 |
| 2.6.1 | Painéis de betão pré-fabricados .....                      | 23 |
| 2.6.2 | Painéis de isolamento estruturais (SIP).....               | 24 |
| 2.6.3 | Painéis compósitos de isolamento estruturais (C-SIP) ..... | 26 |
| 3     | Objetivos e requisitos do sistema .....                    | 27 |
| 3.1   | Requisitos principais .....                                | 27 |
| 3.2   | Objetivos para o novo conceito.....                        | 29 |
| 4     | Apresentação da solução proposta.....                      | 30 |
| 4.1   | Design concetual do sistema compósito .....                | 30 |
| 4.2   | Construção da ideia .....                                  | 33 |
| 4.3   | Ensaio laboratoriais .....                                 | 38 |
| 4.3.1 | Single Flame Test.....                                     | 38 |
| 4.3.2 | Ensaio acústico.....                                       | 40 |
| 4.3.3 | Ensaio térmico .....                                       | 43 |
| 4.4   | Tecnologias de fabrico do sistema compósito.....           | 45 |
| 4.4.1 | Fabrico das peles de PVC com fibras.....                   | 45 |
| 4.4.2 | Fabrico do núcleo .....                                    | 47 |
| 4.4.3 | Fabrico do painel .....                                    | 49 |
| 4.4.4 | Montagem da casa .....                                     | 51 |
| 5     | Conclusões e trabalhos futuros.....                        | 53 |

|                   |    |
|-------------------|----|
| Referências ..... | 54 |
| Anexos.....       | 58 |
| Anexo 1 .....     | 59 |
| Anexo 2 .....     | 60 |
| Anexo 3 .....     | 61 |

## Lista de Siglas

A – Área

b – Largura

C – Capacidade térmica ou C-termo aplicado a  $R_w$

$C_r$  – C-termo aplicado a  $R_w$

C-SIP – *Composite structural insulated panels*

d – Distância

D – Difusividade

dB – Decibel

e – Espessura

E – Modulo de *Young*

EUA – Estados Unidos da América

EPS – *Expanded polystyrene*

F – Força

h – Altura

Hz – Hertz

I – Momento de Inércia

GIY – *Grow It Yourself*

K – *Kelvin*

k – Condutividade

kN – *Kilonewton*

L – Largura

mm – Milímetros

$M_f$  – Momento fletor

M.F. – *Myco Foam*

N – Esforço normal ou Newton

OSB – *Oriented strand board*

P – Pressão

Pa - Pascal

PUR – *Polyurethane*

PVC – *Polyvinyl chloride*

q – Carga distribuída

$Q_A$  – Fluxo de Calor

R – Resistência térmica

R-value – Resistência térmica quando aplicada a uma espessura

$R_a$  – Índice de redução de som

$R_w$  – Índice de redução sonora ponderado

$R'$  – Índice de redução de som *in situ*

s – Segundos

SI – Sistema Internacional de Unidades

SIP – *Structural insulated panels*

$S_n$  – Rácio da onda estacionária

U-value – Coeficiente de condutibilidade térmica

$Y_{\max}$  – Distância ao eixo

$|r|$  - Fator de reflexão sonora

$\alpha$  – Coeficiente de absorção sonora

$\sigma$  – Tensão

$\sigma_{\max}$  – Tensão máxima

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Exemplos de aplicações diárias de polímeros (Fogaça 2016).....   | 5  |
| Figura 2 Exemplos de aplicações dos compósitos (Misra 2013) .....   | 6  |
| Figura 3 <i>Myco Foam</i> aplicada em embalagem (Connections 2013) .....  | 7  |
| Figura 4 Valorização energética (Plástico 2016).....  | 9  |
| Figura 5 Esquema sobre a reciclagem mecânica (Plástico 2016).....   | 9  |
| Figura 6 Esquema sobre a reciclagem termoquímica (Plástico 2016).....   | 10 |
| Figura 7 Parede exterior em taipa (a) e parede exterior de adobe (b) (Abreu 2014, Flores-Colen et al. 2016) ..... | 11 |
| Figura 8 Construção local com paredes em alvenaria de pedra .....   | 12 |
| Figura 9 Representação de uma casa com construção em madeira (Diynetworks 2009).....                              | 13 |
| Figura 10 Construção local com paredes de alvenaria de tijolos .....  | 14 |
| Figura 11 Construção local em bloco de betão .....  | 14 |
| Figura 12 Ilustração de alguns tipos de pré-fabricados (Flores-Colen et al. 2016, Archives 2016) .....            | 15 |
| Figura 13 Esquema de um SIP (SIPA 2016) .....   | 16 |
| Figura 14 Representação das potenciais perdas e ganhos de calor (Mosher, McGee, and Clarke 2013).....             | 17 |
| Figura 15 Esquemática da ação do som num obstáculo (Info 2016) .....  | 19 |
| Figura 16 Esquemática do som incidente vs som transmitido (PAROC 2016).....                                       | 19 |
| Figura 17 Resistência ao fogo esquemática(SERC 2004) .....  | 21 |
| Figura 18 Esquema da classificação da reação ao fogo (SERC 2002).....   | 21 |
| Figura 19 Classificações da reação ao fogo segundo a solicitação(SERC 2002).....                                  | 22 |
| Figura 20 Início do vazamento de betão no molde armado (Channel 2015).....  | 23 |
| Figura 21 Colocação do isolamento no painel de betão (Channel 2015) .....   | 23 |
| Figura 22 Parede construída com painéis de betão (Channel 2015) .....   | 24 |
| Figura 23 Placa de OSB (Weeks 2013) .....   | 24 |
| Figura 24 Processo de fabrico de placas OSB (SBA 2005) .....  | 25 |
| Figura 25 Produto final SIP (SIPsEcoPanels 2013) .....  | 25 |
| Figura 26 Representação do processo de laminação contínua (Tarr 2009).....  | 26 |
| Figura 27 Construção com C-SIPs(CPBS 2016).....   | 26 |
| Figura 28 Solicitações genéricas para numa habitação (Munach 2016) .....  | 27 |
| Figura 29 Exemplo de isolamento extra utilizado para paredes de betão (capoto) (Ferreira 2016) .....              | 28 |
| Figura 30 Sistema de habitação temporária utilizado (Pauels 2014) .....   | 28 |
| Figura 31 Exemplo do desperdício num local de construção (Reardon and Fewster 2013) ....                          | 29 |
| Figura 32 Representação esquemática do sistema compósito .....  | 30 |
| Figura 33 Esquema do painel compósito com medidas .....   | 31 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 34 Representação da fixação do painel ao solo.....   | 31 |
| Figura 35 Representação da fixação entre painéis alinhados .....                                      | 32 |
| Figura 36 Representação da fixação entre painéis a 90°.....   | 32 |
| Figura 37 Esquema com dimensões da estrutura.....   | 33 |
| Figura 38 Esquema da estrutura com as solicitações esquematizadas .....                               | 34 |
| Figura 39 Esquematização das solicitações na parede critica .....                                     | 35 |
| Figura 40 Representação da parede como uma viga simplesmente apoiada para ambas as solicitações ..... | 35 |
| Figura 41 Representação do painel relativamente á sua constituição .....                              | 36 |
| Figura 42 Esquema do aparelho de ensaios para o <i>single flame test</i> (Sweden 2016).....           | 38 |
| Figura 43 Equipamento de ensaio com os tubos montados.....  | 40 |
| Figura 44 Provetes colocado nos dois tubos de ensaio com 100 e 30 mm.....                             | 40 |
| Figura 45 Onda estacionária no tubo de impedância. (ISO 1996).....                                    | 41 |
| Figura 46 Gráfico comparação de resultados acústicos.....   | 42 |
| Figura 47 Montagem utilizada no ensaio térmico .....  | 43 |
| Figura 48 Processo de fabrico de peles descontínuo .....  | 45 |
| Figura 49 Processo de fabrico baseado nos processos de extrusão e laminagem .....                     | 46 |
| Figura 50 Processo de fabrico baseado na laminagem a quente.....                                      | 46 |
| Figura 51 - Esquema da hidratação do Kit GIY (Ecovative 2014) .....                                   | 47 |
| Figura 52 Segunda fase do fabrico do núcleo (Ecovative 2014).....                                     | 48 |
| Figura 53 Aplicação de cola no núcleo .....   | 49 |
| Figura 54 Compressão do painel para garantir uma boa colagem.....                                     | 49 |
| Figura 55 Representação do processo de formação direta do painel.....                                 | 50 |
| Figura 56 Exemplo de fundações (Khalil 2015).....   | 51 |
| Figura 57 Fixação das calhas as fundações (Borson 2014).....  | 51 |
| Figura 58 Colocação do painel na calha (Borson 2014).....   | 52 |

## Índice de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 Diagrama de trabalhos ao longo da dissertação.....                           | 2  |
| Tabela 2 Coeficiente de absorção sonora de alguns materiais (Surfaces 2016).....      | 20 |
| Tabela 3 Propriedades da <i>Myco Foam (Ecovative 2016b)</i> .....                     | 30 |
| Tabela 4 Resultados obtidos após o <i>single flame test com M.F.</i> ....             | 39 |
| Tabela 5 Resultados obtidos após o <i>single flame test com PVC</i> .....             | 39 |
| Tabela 6 Resultados do ensaio acústico para a M.F. ....                               | 41 |
| Tabela 7 Resultados do ensaio acústico para o Betão liso .....                        | 42 |
| Tabela 8 Resultados médios obtidos apos o ensaio térmico.....                         | 43 |
| Tabela 9 Comparação do R-value obtido com os materiais mais comuns (Solla 2010) ..... | 44 |

## 1 Introdução

Este capítulo irá servir como apresentação do trabalho realizado no decorrer desta dissertação. Também serão apresentados: a motivação e os objetivos do projeto.

### 1.1 Motivação e enquadramento do projeto

A motivação para este tema surgiu quando foi apresentada a filosofia do “*waste for life*” e os programas desenvolvidos em torno da mesma. Assim decidiu-se que um ótimo desafio para a dissertação seria tentar desenvolver um projeto ligado a este tema, mas com um objetivo mais técnico e não social.

Este projeto aparece no âmbito dessa mesma filosofia e assenta numa preocupação cada vez maior em encontrar soluções sustentáveis para os problemas do dia-a-dia. Assim sendo, e partindo do tema geral proposto “*Composites for Life*”, o objetivo inicial seria esta dissertação ser o complemento de uma outra, tratando uma do *design* da estrutura e outra do seu processo de fabrico e adaptações necessárias para o mesmo ser viável. Os materiais constituintes já estariam pré definidos. Contudo, como seriam ambas iniciadas em simultâneo, esta complementaridade não se mostrou viável. Mantendo a mesmo fio condutor surgiu a ideia de desenvolver um painel compósito no qual se utilizam os materiais reciclados, prosseguindo deste modo a ideia e objetivo inicial.

### 1.2 Objetivos do projeto

Com esta dissertação é esperado que seja desenvolvido um novo conceito de painel para a construção de casas que permita, mesmo que de uma forma pequena, a redução do desperdício existente na construção e a incorporação de materiais que seriam considerados resíduos nas mesmas, fomentando a construção sustentável.

É esperado que ao longo do trabalho sejam realizados alguns ensaios práticos de forma a permitir comprovar a aplicabilidade ou não deste conceito, assim como permitir obter um ponto de partida para a comparação deste material com as opções já existentes

No final deste trabalho é esperado que exista uma conclusão fundamentada em ensaios práticos que permitam tirar conclusões sobre a aplicabilidade do conceito desenvolvido. É também esperado que exista um protótipo deste sistema, mesmo que não seja em escala real, e ainda um processo de fabrico e montagem dos mesmos, se possível que tenha sido aplicado à escala.

### 1.3 Organização no projeto

A Tabela 1 apresentada abaixo sumariza toda a organização do projeto, sendo que esta se encontra representada em semanas.

Os espaços apresentados em branco foram utilizados para a escrita deste documento.

| <b>Mês</b>       | <b>Semana 1</b>  | <b>Semana 2</b>   | <b>Semana 3</b>   | <b>Semana 4</b>                            |
|------------------|--|---|---|--|
| <b>Fevereiro</b> |  | Reunião para definição do subtema no tema geral<br><i>Composites for life</i> |   |  |
| <b>Março</b>     | Definição do tema final para a dissertação   | Encomenda do material referente ao núcleo                                     | Início das conversações com a <i>Previnil</i>             |  |
| <b>Abril</b>     |  | Encomenda do PVC  |   |  |
| <b>Mai</b>       | Receção do material referente ao núcleo  |   | Receção do PVC  |  |
| <b>Junho</b>     | Entrega do provete para a realização do ensaio acústico.<br><br>Realização do ensaio ao fogo | Marcação do dia para o fabrico da pele de PVC                                 | Ensaio térmico<br><br>Tentativa de fabrico da pele em PVC | Obtenção dos resultados do ensaio acústico |

Tabela 1 Diagrama de trabalhos ao longo da dissertação

Os tempos “livres” apresentados na tabela serviram para consolidar conceitos e escrever o estado da arte apresentado no capítulo 2.

#### 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação irá seguir uma estrutura simples e clara que permita a fácil localização dos tópicos para o leitor, sendo ela a seguinte:

- Estado da arte, onde são introduzidos os conceitos necessários para que um leitor não especializado consiga compreender sem grande esforço o restante trabalho. Neste mesmo capítulo são também apresentadas as soluções atuais existentes do problema que se pretende solucionar.
- Problema, onde será realçado com algum pormenor o problema para o qual se procura a solução, assim como os principais requisitos a cumprir para que a solução atingida seja válida.

- Solução proposta, onde se centram todos os conceitos novos, cálculos e atividades experimentais realizadas ao longo deste trabalho. É também neste capítulo que será feita toda a seleção de materiais e processos usados.
- Conclusões, que corresponde ao capítulo final, no qual são tiradas as conclusões finais sobre a aplicabilidade dos conceitos e a sobre o atingimento ou não dos objetivos. São também discutidas possíveis melhorias e trabalhos futuros.

## 2 Estado da arte e conceitos principais

Este capítulo apresenta uma pequena revisão bibliográfica sobre o tema estudado, para que o leitor possa melhor interpretar todo o trabalho consequente.

### 2.1 Sistemas Compósitos e Desenvolvimento sustentável

#### 2.1.1 Sustentabilidade

A sustentabilidade é apresentada de diferentes formas em diferentes locais, contudo o significado é bastante similar nas diversas fontes. Temos por exemplo que a *Wikipédia* apresenta este conceito como: “sustentabilidade é uma característica ou condição de um processo ou de um sistema que permite a sua permanência, em certo nível, por um determinado prazo” (Wikipédia 2013). Já no dicionário, sustentabilidade é definida por “a qualidade de não ser prejudicial para o ambiente ou esgotar os recursos naturais, apoiando assim o equilíbrio ecológico a longo prazo”. (Dictionary.com 2016)

A sustentabilidade é o que foi dito e muito mais, sendo que se pode dizer resumidamente que é a capacidade de viver o agora, sem comprometer o futuro (LandLearn 2016). Isto significa que as ações são feitas tendo em consideração o peso das suas consequências nas próximas gerações.

#### 2.1.2 Desenvolvimento sustentável

Segundo a *World Commission on Environment and Development*, desenvolvimento sustentável é aquele que “satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”. (WCED 1987)

Temos então que para que seja possível um desenvolvimento sustentável é necessário que haja uma harmonização entre o crescimento económico, a preservação do meio ambiente, a justiça social e a qualidade de vida.

#### 2.1.3 Waste for Life

*Waste For Life* é uma organização sem fins lucrativos, fundada por Caroline Baillie, que defende que o igual acesso a recursos da sociedade é o alicerce de uma sociedade justa. Como tal, assume uma missão de conseguir proporcionar o acesso ao conhecimento científico e à tecnologia, geralmente restrito às pessoas que vivem nas margens da sociedade.

Esta rede é sustentada por uma visão comum aos elementos constituintes, que trabalham em conjunto para desenvolver métodos de redução de pobreza baseados em problemas ambientais específicos.

O objetivo é duplo: reduzir o impacto ambiental de resíduos e desperdício enquanto simultaneamente se promove autonomia e segurança económica em locais específicos, onde a população depende, principalmente, dos produtos de desperdício para sobreviver. (Life 2016)

### 2.1.4 Polímeros

A palavra polímeros vem do grego *polumeres*, que significa “ter muitas partes”. Os polímeros são moléculas muito grandes constituídas pela repetição de pequenas e simples unidades químicas, denominadas de monómeros.

É enorme a quantidade de bens que nos cercam produzidos a partir de materiais poliméricos, uma vez que eles são utilizados em quase todas as áreas das atividades humanas, sendo esse foco especialmente notório nas indústrias automóvel, de embalagens, de revestimentos e de vestuário. Tal deve-se ao facto destes materiais terem vindo ao longo dos anos a conquistar muitos mercados através da substituição de outros materiais, como papel, madeira e metais. Alguns exemplos das aplicações para estes materiais são apresentados na Figura 1.



Figura 1 Exemplos de aplicações diárias de polímeros (Fogaça 2016)

Os polímeros podem dividir-se em três grupos:

- Os termoplásticos, mais conhecidos por plásticos, que representam a maior parte dos polímeros comerciais. A principal característica destes polímeros é poderem ser refundidos. Dependendo do tipo de plástico, estes também podem dissolver-se em vários solventes, o que torna a sua reciclagem possível. As propriedades mecânicas variam conforme o material e as condições a que estão sujeitos;
- Os termoendurecíveis são menos flexíveis, sendo muito estáveis a variações de temperatura. A reciclagem deste tipo de polímeros é complicada uma vez que não é possível proceder à sua fusão;
- Os elastómeros são polímeros que apresentam uma elevada elasticidade, sendo que na linguagem corrente são conhecidos como borrachas. Analogamente ao verificado para os termoendurecíveis, o processo de reciclagem é complicado devido à incapacidade de fusão. (Marques 2016b)

### 2.1.5 Compósitos

Compósitos são dois ou mais materiais com diferentes propriedades físicas e/ou químicas, classificados como " matriz " ou " reforço", combinados para que ajam em conjunto, permanecendo ainda separados e distintos em determinado nível, uma vez que não se fundem nem diluem um no outro. (ACMA 2016)

As propriedades dos compósitos dependem quer da natureza dos materiais usados quer do grau de ligação (interface). Existe uma sinergia entre o material que constitui a matriz e os materiais de reforço, que resulta num material compósito final com propriedades finais diferentes das existentes nos materiais constituintes individualmente. Os compósitos podem ser de matriz polimérica, matriz cerâmica ou matriz metálica.

- O material que serve de matriz é o que confere estrutura ao material compósito, preenchendo os espaços vazios entre os materiais de reforço e mantendo unidas as partículas ou fibras do mesmo.
- Os materiais que servem de reforço dispersam-se na matriz e são os que normalmente realçam as propriedades desejadas, desde mecânicas a químicas.

Devido à sua natureza, estes materiais são, no caso geral, anisotrópicos (no caso das propriedades mecânicas, isto significa que estas variam com a direção em que a força é aplicada), principalmente nos compósitos com fibras. Desta forma, os materiais compósitos apresentam a vantagem de permitirem, durante o seu fabrico, a obtenção de propriedades anisotrópicas para responder a uma solicitação específica segundo uma dada direção. (Marques 2016a)

Estes materiais têm por isso aplicações muito diversificadas como se pode comprovar pela Figura 2.



Figura 2 Exemplos de aplicações dos compósitos (Misra 2013)

### 2.1.6 *Eco-compósitos*

Os eco-compósitos são materiais compósitos com maiores vantagens ambientais que os compósitos clássicos. (Srebrenkoska, Bogoeva-Gaceva, and Dimeski 2014)

As matrizes mais utilizadas para este tipo de compósitos são os polímeros reciclados. Por sua vez, os reforços podem ser de vários tipos, desde fibras naturais a desperdícios industriais.

A principal vantagem destes materiais é a valorização de resíduos.

### 2.1.7 *Bio-compósitos*

Os bio-compósitos são compósitos que compreendem uma ou mais fases derivadas a partir de uma origem biológica.

Em termos do reforço, isto poderia incluir fibras vegetais, tais como o algodão, o linho, o cânhamo, fibras de madeira reciclada, resíduos de papel, ou mesmo subprodutos da produção de alimentos.

As matrizes podem ser polímeros, idealmente derivado de fontes renováveis, tais como óleos vegetais ou amidos. (Fowler, Hughes, and Elias 2006, Srebrenkoska, Bogoeva-Gaceva, and Dimeski 2014)

A principal característica procurada nestes materiais é a sua biodegradabilidade.

No caso particular deste trabalho será importante abordar um bio-compósito em particular: a *Myco Foam*.

Este material surgiu em 2007 depois de muitos anos de pesquisa por parte dos estudantes de engenharia Eben Bayer e Gavin McIntyre, que mais tarde abriram a empresa *Ecovative Design*, pioneira no processo de fabrico de um material plástico que usa como base o cogumelo. (Viajeaqui 2015)

Durante a procura para encontrar um material de baixo custo para isolamento que substituísse o plástico e embalagens, os investigadores chegaram ao micélio ou *mycelium*, uma rede de células de fungos filiformes que tornam possível vincular subproduto agrícolas. Em suma, é possível usar cogumelos e fungos para substituir plásticos desperdiçáveis e normalmente usados para proteger produtos durante o transporte. (EcoDesenvolvimento 2014)

Como exemplo temos a embalagem de transporte de garrafas apresentada na Figura 3.



Figura 3 *Myco Foam* aplicada em embalagem (Connections 2013)

No *website* da empresa, o processo é ligeiramente mais aprofundado: “*Ecovative* usa micélio ('raízes' de cogumelo) para unir subprodutos agrícolas, como espigas de milho, num material que pode substituir a espuma plástica. Esta mistura de cogumelos e subprodutos agrícolas cresce em moldes ao longo de alguns dias, formando uma vedação hermética”. (Ecovative 2016a)

A técnica desenvolvida pela equipa de investigadores e engenheiros tem baixo impacto ambiental, pois o material obtido é 100% reciclável e proveniente de desperdício agrícola, além de que em teoria o seu preço final é muito baixo (uma vez que a principal matéria prima são resíduos agrícolas).

## 2.2 Reciclagem

### 2.2.1 Incineração

A incineração trata-se do processo tecnológico de recuperação de energia de resíduos por incineração controlada. Este processo é eficaz somente para resíduos combustíveis, não apresentando vantagens para outros materiais como vidros e metais. (AFCAL 2010)

Este processo pode ser visto de forma simplificada na Figura 4.

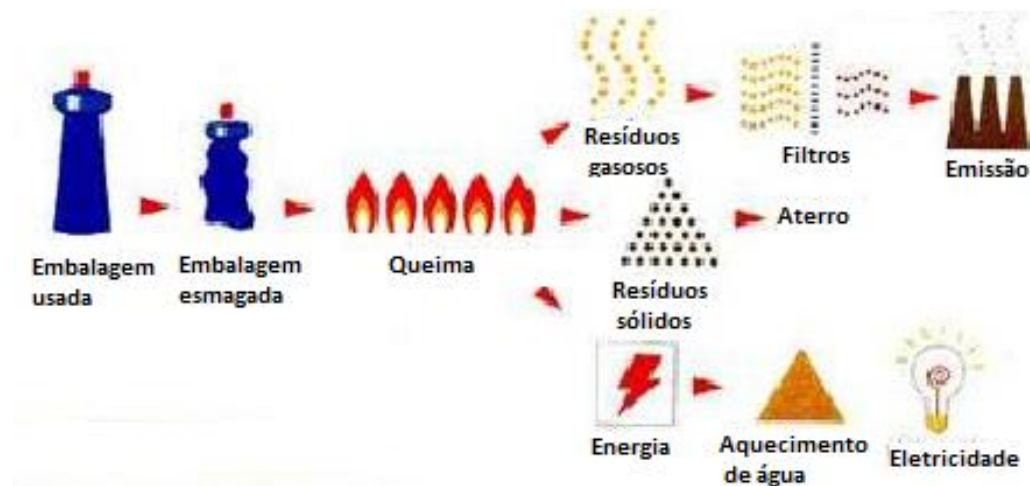


Figura 4 Valorização energética (Plástico 2016)

### 2.2.2 Reciclagem mecânica

Entre os principais tipos de reciclagem, a reciclagem mecânica é o processo mais conhecido. Esta consiste na transformação de desperdícios de origem industrial e do consumo da população em grânulos que podem ser reutilizados para a produção de novos produtos.

Neste processo, a qualidade do produto final depende principalmente da qualidade do produto a ser reciclado, ou seja, é influenciada pela qualidade dos resíduos encaminhados para a reciclagem. (Spinacé and Paoli 2005)

Este processo pode ser visto de forma simplificada na Figura 5.

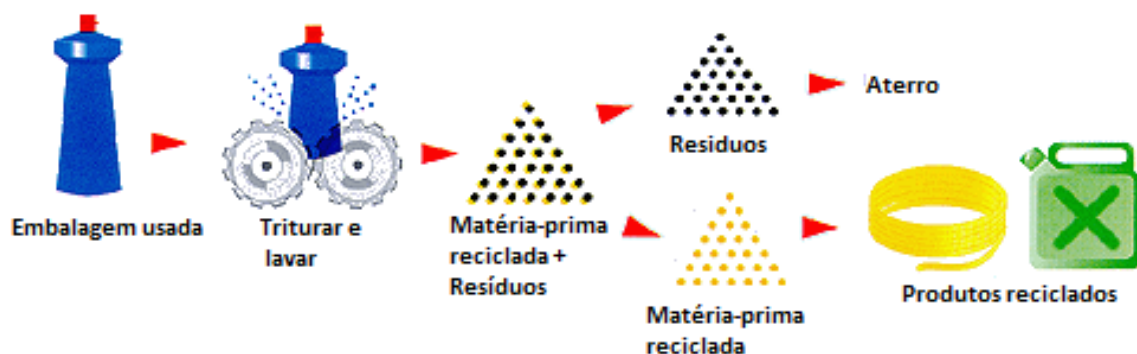


Figura 5 Esquema sobre a reciclagem mecânica (Plástico 2016)

### 2.2.3 Reciclagem por processos térmicos e/ou químicos

O processo tecnológico de produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos, por norma, poliméricos, denomina-se reciclagem termoquímica. Podemos ver um exemplo deste processo esquematizado na Figura 6. (Spinacé and Paoli 2005)

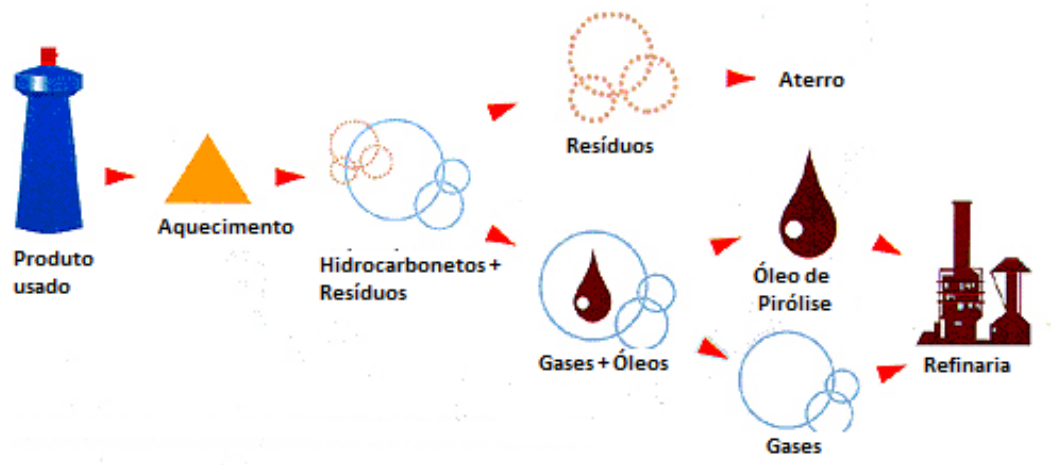


Figura 6 Esquema sobre a reciclagem termoquímica (Plástico 2016)

Entre os processos de reciclagem termoquímica existentes, destacam-se:

- Hidrogenação: As cadeias são quebradas mediante o tratamento com hidrogénio e calor, gerando produtos capazes de serem processados em refinarias.
- Gaseificação: Os plásticos são aquecidos com ar ou oxigénio, gerando-se gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogénio.
- Quimólise: Consiste na quebra parcial ou total dos polímeros em monómeros na presença de glicol ou metanol e água.
- Pirólise: É a quebra das moléculas pela ação do calor na ausência de oxigénio. Este processo gera frações de hidrocarbonetos capazes de serem processados em refinarias. (Planeta 2010)

## 2.3 Soluções Construtivas Atuais para Habitações

### 2.3.1 Paredes de terra crua

As paredes de terra crua estão normalmente divididas em dois tipos de construção: um que utiliza barro armado com madeira, conhecida como taipa que está exemplificada na Figura 7a, e outro utiliza tijolos feitos de terra e secos ao sol, conhecidos como adobes que é apresentada na Figura 7b.

Este tipo de construção tem como principais vantagens:

- Boas características térmicas;
- Abundância de matéria-prima;
- Baixo consumo energético no processo de transformação;
- Reciclável e reutilizável;
- Incombustível.

Contudo existem também diversas desvantagens como:

- Fraca resistência à tração;
- Impossibilidade de construir em altura em zonas sísmicas;
- Sensível à presença de água. (Flores-Colen et al. 2016)

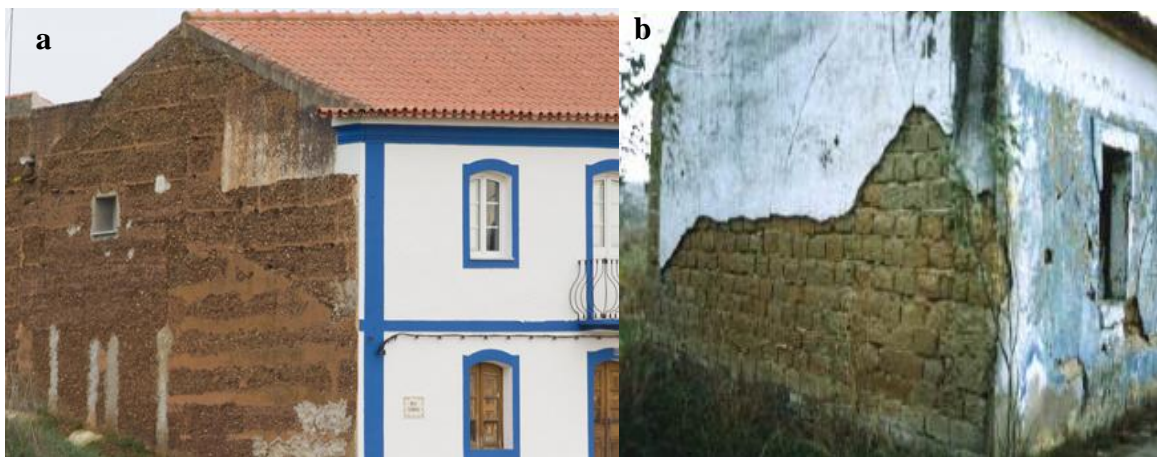


Figura 7 Parede exterior em taipa (a) e parede exterior de adobe (b) (Abreu 2014, Flores-Colen et al. 2016)

### 2.3.2 Paredes de alvenaria de pedra

As paredes de alvenaria de pedra são uma solução muito utilizada no passado e que pode utilizar diversos tipos de pedra, sendo que o seu aspeto e designação variam conforme a rocha e o aspeto da mesma. Um desses tipos de construção é apresentado na Figura 8.

As principais vantagens para este tipo de construção são:

- Elevado valor estético e cultural;
- Durabilidade potencialmente elevada;
- Bom isolamento aos ruídos aéreos

Contudo este modelo de construção traz inúmeras desvantagens:

- A elevada espessura das paredes reduz a possível área habitável;
- Elevado custo de mão-de-obra e do material;
- Execução morosa e com mão-de-obra especializada;
- Não cumpre os atuais parâmetros de habitabilidade, como acabamento interior, por ter uma superfície fria;
- Mau comportamento acústico, em termos de refração. (Flores-Colen et al. 2016)



Figura 8 Construção local com paredes em alvenaria de pedra

### **2.3.3 Paredes de madeira**

As paredes de madeira são uma das soluções mais utilizadas em países como os EUA, Japão e Canadá. Estas costumam apresentar uma estrutura semelhante á representada na Figura 9.

Apresenta como vantagens:

- Facilidade de trabalho;
- Excelente resistência específica;
- Facilidade de ligação;
- Elevada gama de qualidades;
- Bom isolamento acústico e térmico.

As principais desvantagens da construção em madeira são:

- Grande heterogeneidade e anisotropia;
- Reduzida durabilidade quando desprotegida;
- Combustível;
- Variação das dimensões com a humidade;
- Limitação das dimensões. (Flores-Colen et al. 2016, Arnold 2016)

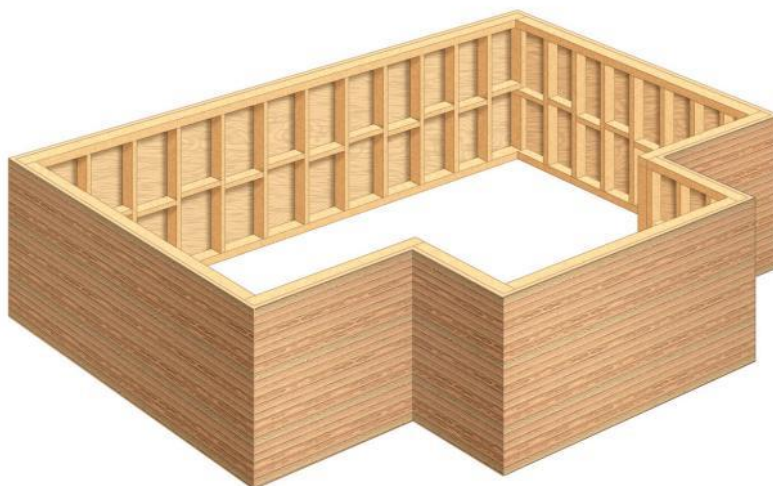


Figura 9 Representação de uma casa com construção em madeira (Diynetworks 2009)

#### **2.3.4 Paredes de alvenaria de tijolo de barro vermelho**

Outra solução bastante utilizada na construção corrente são as paredes de alvenaria de tijolo de barro vermelho como a apresentada na Figura 10, tendo como motivos:

- Economia de execução;
- Facilidade de assentamento;
- Espessura e pesos próprios razoáveis;
- Facilidade na abertura de cavidades, para a colocação de tubos;
- Incombustíveis;
- Cumpre as exigências mínimas de isolamento acústico.

As suas desvantagens são em menor número que as suas vantagens:

- Maior complexidade para construção de parede dupla;
- Mão-de-obra especializada;
- Dificuldade de integração e compatibilização dos vários elementos construtivos. (Flores-Colen et al. 2016)

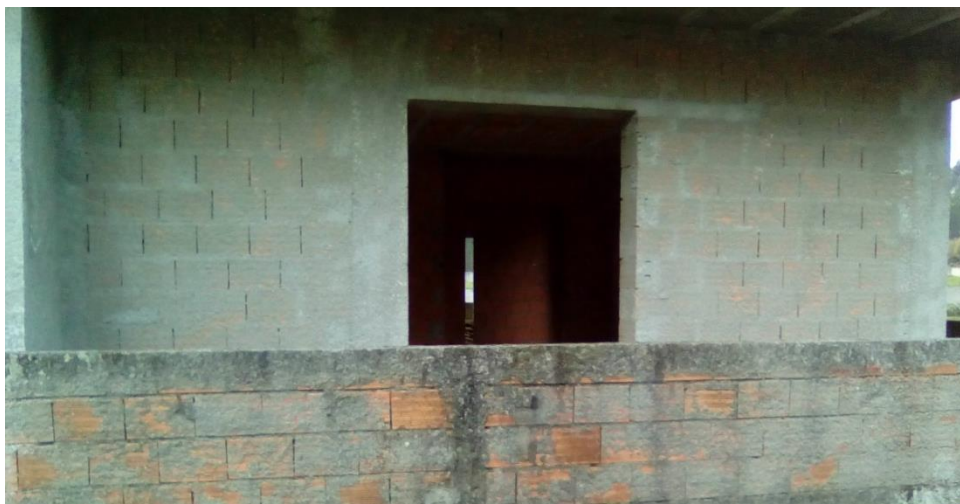


Figura 10 Construção local com paredes de alvenaria de tijolos

### **2.3.5 Paredes de alvenaria de blocos de betão**

Construções em paredes de alvenaria de blocos de betão são muito utilizadas em pavilhões industriais, garagens de edifícios correntes e também em construção corrente nas ilhas, onde não se fabricam tijolos por falta de matéria-prima. Na Figura 11 temos um exemplo duma construção que utiliza estes blocos.

Algumas das vantagens desta opção com betão normal são:

- Bom comportamento à compressão;
- Elevada resistência ao fogo;
- Bom isolamento acústico;
- Facilidade de assentamento.

Estas paredes apresentam algumas desvantagens como:

- Elevado peso próprio;
- Elevada absorção de humidade;
- Reduzido isolamento térmico;
- Dificuldade de abertura de roços. (Flores-Colen et al. 2016)



Figura 11 Construção local em bloco de betão

### 2.3.6 Painéis pré-fabricados

A pré-fabricação é concebida de forma totalmente integrada em que as operações a realizar em fábrica estão perfeitamente definidas, permitindo que partes inteiras da construção sejam produzidas fora do local de implementação. É nesta medida que a pré-fabricação ganha terreno face à construção convencional, que necessita de estaleiros de obra prolongados no local de construção. (Branco 2013)

As casas modulares são normalmente construções que se apoiam em materiais e elementos pré-fabricados com capacidade modular. Esta metodologia permite que todo o processo de construção seja estandardizado, através de uma racionalização das dimensões dos componentes, otimizando o processo de construção desde a fase de conceção até à montagem final. Deste modo estamos perante uma otimização do trabalho que conseqüentemente resulta numa diminuição de custos em detrimento da personalização habitacional. (Branco 2013, Jr and Almarwae 2014)

Os painéis pré-fabricados existem numa enorme variedade, sendo que a informação apresentada será a de um caso geral.

As principais vantagens dos painéis pré-fabricados são:

- Menor tempo de montagem;
- Menor custo de mão-de-obra;
- Maior controlo da qualidade;
- Menor dependência das condições atmosféricas.

Quanto às desvantagens temos:

- Locais de armazenamento e fabrico com elevadas áreas;
- Cuidados especiais no fabrico, transporte e montagem;
- Necessidade de bons acessos ao local de montagem;
- Necessidade de produção de elevadas quantidades. (Flores-Colen et al. 2016)

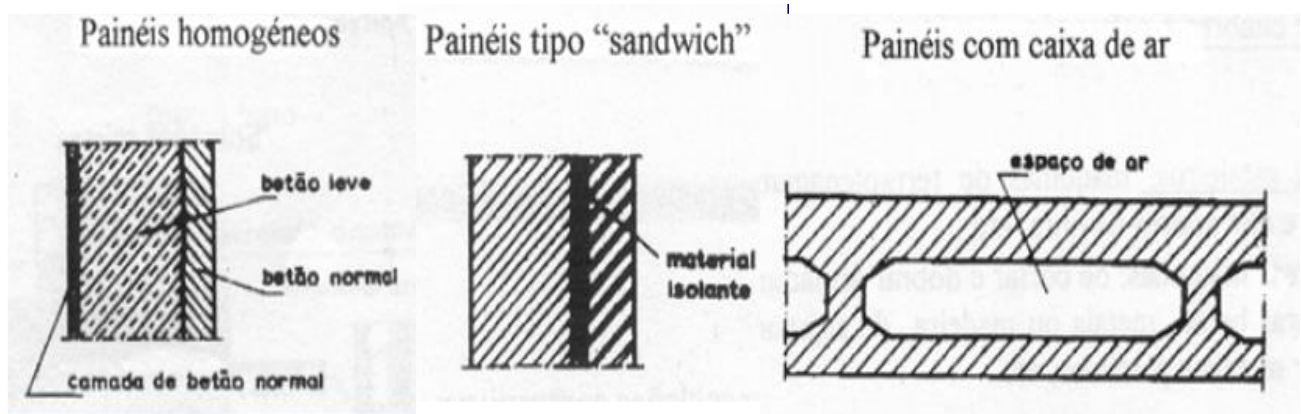


Figura 12 Ilustração de alguns tipos de pré-fabricados (Flores-Colen et al. 2016, Archives 2016)

Para este trabalho será importante aprofundar um determinado tipo de pré-fabricados: os painéis de isolamento estruturais, conhecidos como SIP. Estes painéis são constituídos por um núcleo feito de espuma rígida, que funciona como isolamento, colocado entre duas peles estruturais, sendo que as mais utilizadas são os aglomerados de partículas de madeira longas e orientadas conhecidos por OSB. (SIPA 2016)

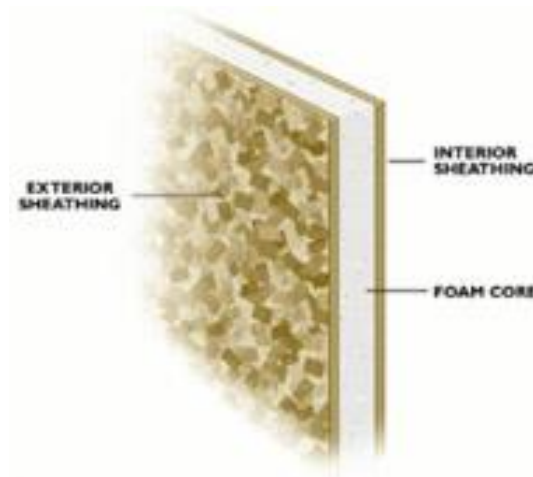


Figura 13 Esquema de um SIP (SIPA 2016)

## 2.4 Isolamento para Habitações

### 2.4.1 Isolamento Térmico

Isolamento térmico é o processo pelo qual, utilizando materiais adequados, se dificulta a dissipação de calor de um corpo ou de um ambiente.

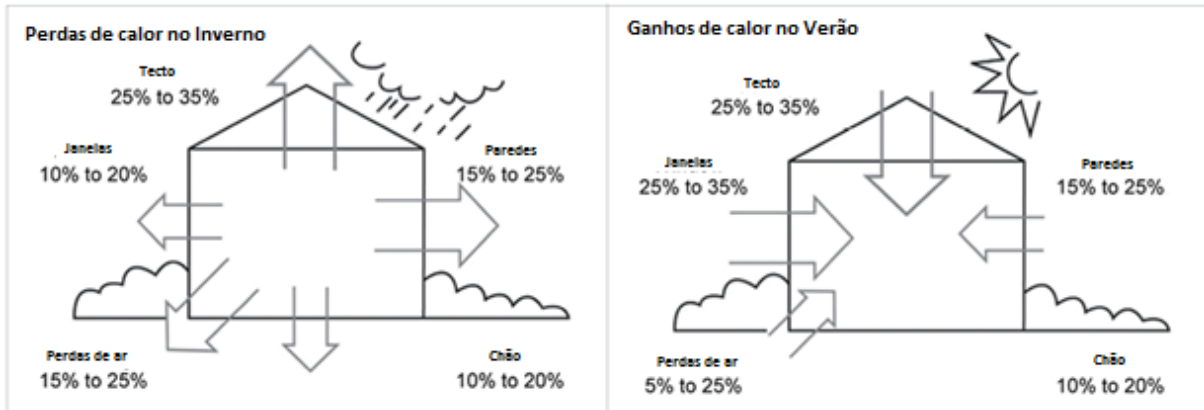


Figura 14 Representação das potenciais perdas e ganhos de calor (Mosher, McGee, and Clarke 2013)

As principais propriedades necessárias para que um material seja considerado um bom isolante térmico são: baixa condutividade térmica, baixa massa específica, baixa difusividade térmica e alto calor específico. (Torreira 1980)

Contudo, na indústria da construção os valores de isolamento térmico são normalmente representados pelo R-value, que se traduz numa medida para a resistência térmica. Sob condições uniformes este fator é a razão entre a diferença de temperatura através do isolador ( $\Delta T$ ) e o fluxo de calor (transferência de calor por unidade de área por unidade de tempo,  $\dot{Q}_A$ ) através do mesmo. (Desjarlais 2008)

$$R_{value} = \frac{\Delta T}{\dot{Q}_A} \quad (1)$$

A unidade SI para o R-value é  $m^2 \cdot K/W$ .

O R-value é o recíproco do U-value (coeficiente condutibilidade térmica) que pode ser utilizado alternativamente, ainda que menos comum.

$$U_{value} = \frac{1}{R_{value}} \quad (2)$$

A condutividade térmica ( $k$  ou  $\lambda$ ) quantifica a capacidade de os materiais conduzirem energia térmica e esta é apresentada em  $W/m \cdot K$ . Estruturas feitas com materiais de alta condutividade térmica conduzem energia térmica de forma mais rápida e eficiente que estruturas análogas feitas de materiais com baixa condutividade térmica. Desta maneira, materiais com alta condutividade térmica são utilizados em dissipadores térmicos e materiais de baixa condutividade térmica são utilizados na confecção de objetos que visam a prover isolamentos térmicos. (Green and Perry 1997)

A condutividade térmica é uma característica específica de cada material e depende fortemente tanto da pureza como da própria temperatura na qual esse se encontra, contudo no isolamento dos edifícios esta é considerada constante.

A condutividade térmica de uma unidade de material é o recíproco da resistência térmica da unidade.

$$R = \frac{1}{k} \quad (3)$$

Temos também que:

$$R_{value} = \frac{e}{k} \quad (4)$$

Sendo

$e$  - é a espessura do material em m

Quanto maior o valor de R-value, melhor será a eficácia teórica do ponto de vista do isolamento para o edifício.

Temos também que o R-value apresentado nos EUA é diferente do R-value em unidades SI, sendo que abaixo se apresenta a conversão:

$$Rvalue_{SI} = Rvalue_{EUA} * 0.1761101838 \quad (5)$$

No caso de um sistema constituído por diversos painéis, o R-value é acumulativo. (ASHRAE 2009)

$$Rvalue_{Total} = Rvalue_1 + Rvalue_2 + \dots + Rvalue_x \quad (6)$$

#### 2.4.2 Isolamento Acústico

Isolamento acústico descreve a redução de som que passa entre dois espaços separados por um elemento de divisão, isto é, uma divisória, teto ou chão. Partições são normalmente necessárias para proporcionar isolamento acústico, que inclui sons como a fala, ruídos gerais de escritório, instrumentos musicais e outros. Além do som transmitido no ar, os pisos são muitas vezes obrigados a resistir à transmissão de sons de impacto, como passos pesados e movimentação de mobiliário. (FIS 2015)

O índice de redução sonora  $R_a$ , no qual o índice  $a$  serve para distinguir do fator  $R$  térmico, é uma medida da eficácia de uma divisória à passagem de som. A redução sonora varia com a frequência e a perda é geralmente maior para frequências mais altas. A unidade de medida de perda de transmissão de som é o decibel (dB). Quanto maior for a perda de transmissão de uma parede, melhor funciona como barreira para a passagem de ruído indesejado.

Quando uma onda de som incide numa partição entre dois espaços, uma parte é refletida, outra absorvida e uma terceira parte é transmitida através da divisória. (PAROC 2016)

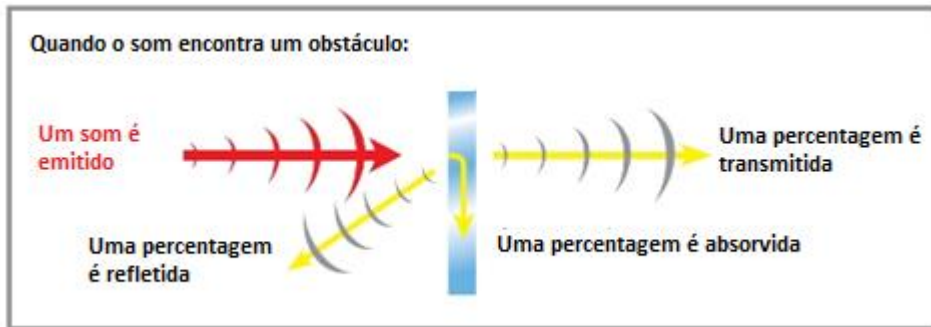
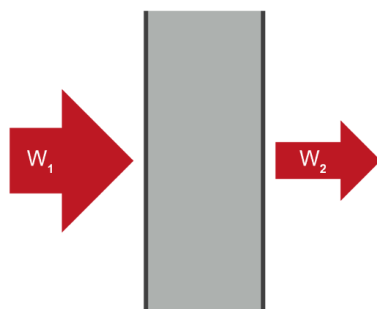


Figura 15 Esquemática da ação do som num obstáculo (Info 2016)

O cálculo do índice de redução de som  $R_a$  baseia-se em resultados obtidos em diferentes frequências. Os resultados são comparados com a curva de referência entre 100 Hz e 3150 Hz em intervalos de 1/3 de oitava. Se as medições forem efetuadas *in situ* (numa construção real) os valores são indicados como  $R'$ . O procedimento de teste padrão é definido na norma EN ISO 140, onde os métodos convencionais são dados para ambas as medições de laboratório e de campo. (PAROC 2016)



$$R_a = 10 \log \frac{W_1}{W_2} \text{ dB} \quad (7)$$

Com:

$W_1$  – Som incidente em dB

$W_2$  - Som transmitido em dB

Figura 16 Esquemática do som incidente vs som transmitido (PAROC 2016)

Se uma partição consiste em diferentes tipos de elementos - por exemplo, uma parede com janelas e portas que têm diferentes características de transmissão de som - o índice global de redução de ruído deve ser calculado.

O índice de redução de som para buracos e fendas é quase igual a 0 dB. A influência de buracos e fendas pode, portanto, ser importante.

Ao especificar o desempenho acústico de uma partição de uma forma mais geral, pode ser útil descrever o isolamento de som com um único número. O índice de redução sonora ponderado,  $R_w$ , é um método de classificação dado na EN ISO 717-1.

EN ISO 717-1 apresenta um método de avaliação onde o valor  $R_w$  é complementado por dois C-termos que são aplicados a dois modelos de espectros de ruído para vários tipos de ruído. Estes dois termos,  $R_w + C$  e  $R_w + C_{tr}$ , também incluem a gama de frequências de 100-3150 Hz, mas pode ser alargada a 50-5000 Hz. Como o ruído industrial e tráfego muitas vezes têm elevados níveis de som, que são também abaixo de 100 Hz, recomenda-se que a área de frequência prolongada seja usada. (PAROC 2016)

Outra propriedade acústica dos materiais muito utilizada é o coeficiente de absorção sonora  $\alpha$ .

O coeficiente de absorção sonora não é mais do que de o coeficiente entre a energia absorvida e a energia incidente normalmente medido nas seguintes frequências 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz,

1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz (ToolBox 2016, França 2004). O coeficiente de absorção pode ser expressa como:

$$\alpha = \frac{I_a}{I_i} \quad (8)$$

Onde

$I_a$  = intensidade sonora absorvida ( $W/m^2$ )

$I_i$  = intensidade sonora incidente ( $W/m^2$ )

Este coeficiente e uma forma da sua medição serão mais aprofundados no capítulo 4.2.3, sendo que são apresentados na Tabela 2 os valores deste coeficiente para alguns materiais utilizados na construção.

| <b>Material</b>            | <b>125 Hz</b> | <b>250 Hz</b> | <b>500 Hz</b> | <b>1000 Hz</b> | <b>2000 Hz</b> | <b>4000 Hz</b> |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Tijolo</b>              | 0.03          | 0.03          | 0.03          | 0.04           | 0.05           | 0.07           |
| <b>Gesso<br/>Cartonado</b> | 0.29          | 0.10          | 0.05          | 0.04           | 0.07           | 0.09           |
| <b>Contraplacado</b>       | 0.28          | 0.22          | 0.17          | 0.09           | 0.10           | 0.11           |

Tabela 2 Coeficiente de absorção sonora de alguns materiais (Surfaces 2016)

## 2.5 Resistência e Reação ao Fogo

A resistência e reação ao fogo são parâmetros de extrema importância, especialmente nas novas soluções construtivas. No caso da resistência ao fogo procuramos saber como a estrutura responde na presença de fogo (por exemplo se mantém a sua capacidade de suportar carga), já no caso da reação ao fogo pretende-se saber como o material reage quando na presença de fogo (por exemplo, se é combustível ou não).

As Euroclasses de resistência ao fogo referem-se a cenários de fogo e critérios de desempenho para a função (estrutural, compartimentação, desenfumagem e continuidade de serviço).

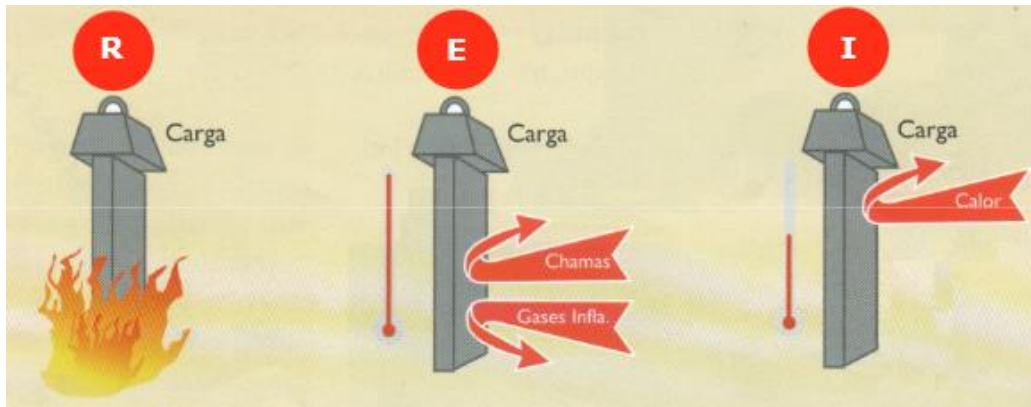


Figura 17 Resistência ao fogo esquemática (SERC 2004)

Os desempenhos são expressidos através de quatro critérios principais de classificação. Três dos quais: R (Capacidade de suporte de carga), E (Estanquidade a chamas e gases inflamáveis) e I (Isolamento térmico), são aplicáveis à maioria dos elementos de construção que devem satisfazer a uma exigência de resistência ao fogo. O quarto, W (radiação), é requerido em apenas certos estados membros. (SERC 2004)

Nas Euroclasses de reação ao fogo os produtos de construção estão separados em duas grandes famílias: os revestimentos de pavimentos e os outros produtos. Para cada uma dessas famílias, três níveis de solicitação são retidos, desde a iniciação de uma pequena chama até a fase deconflagração generalizada.

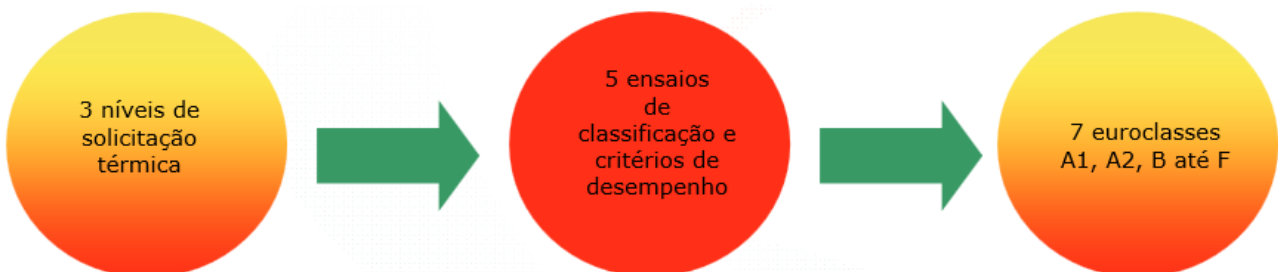


Figura 18 Esquema da classificação da reação ao fogo (SERC 2002)

Nas extremidades da classificação, encontram-se:

- por um lado, os produtos com fraca ou muito fraca fração orgânica, que são de facto pouco ou muito pouco combustíveis, e entram assim nas “ classes A1 ” (ou A1<sub>FL</sub> para os pavimentos) e A2 ;
- por outro lado, os produtos combustíveis que contribuem de maneira importante à deconflagração generalizada: produtos respondendo ao critério mínimo para ser posto no mercado alemão (classe E) e produtos não classificados ou tendo reprovado no teste menos severo (classe F).

Entre estas extremidades, estão dispostos produtos combustíveis cuja contribuição à deconflagração generalizada é muito limitada (classe B), limitada (classe C) ou significativa (classe D). (SERC 2002)

Os três níveis de solicitação térmica são:

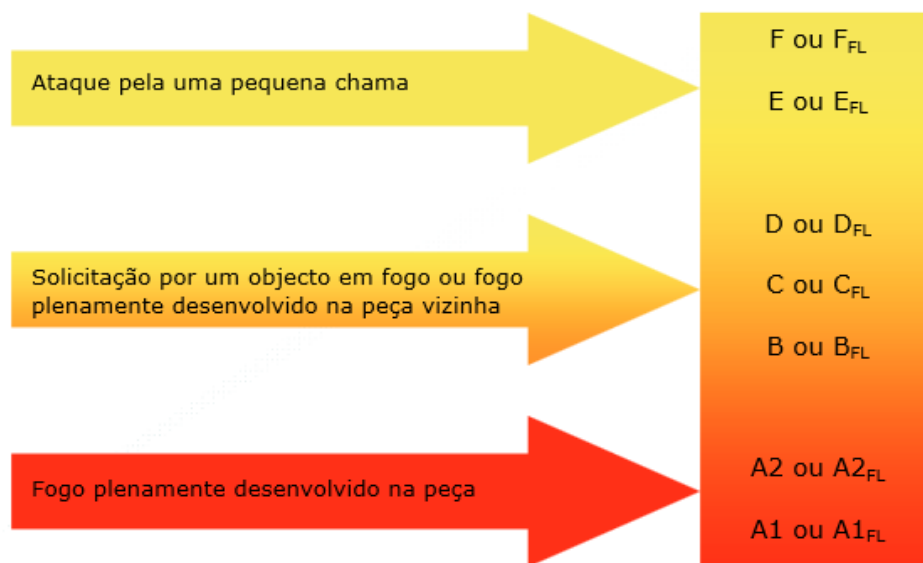


Figura 19 Classificações da reação ao fogo segundo a solicitação(SERC 2002)

Dentro da reação ao fogo existem ainda as classificações quanto aos fumos, classificada numa escala conhecida por “s”, e a classificação quanto à produção de gotículas “d”.

## 2.6 Processos de Fabrico de Painéis

### 2.6.1 Painéis de betão pré-fabricados

O processo de fabrico deste tipo de painel é na sua maioria semelhante à construção de uma parede de betão armado.

Após a criação do molde com a forma desejada, é colocada uma solução que facilita a desmoldagem do betão. Nesta fase são colocados cabos de aço pré-tencionados seguidos de gaiolas feitas de verguinhas nos topos do molde. Por fim, é colocada uma malha de arame e vertido o betão, que assim forma a camada exterior como pode ser visto na Figura 20.



Figura 20 Início do vazamento de betão no molde armado (Channel 2015)

Numa segunda fase, são colocadas placas de espuma para isolamento, tendo estas diversas saliências para facilitar a fixação ao betão como se pode observar na Figura 21.

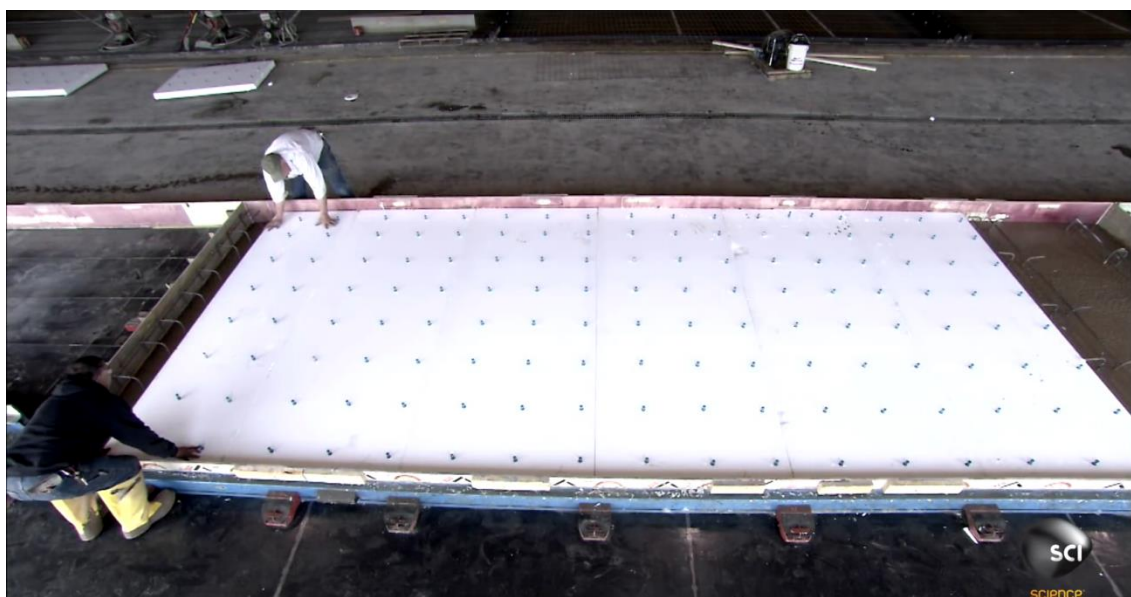


Figura 21 Colocação do isolamento no painel de betão (Channel 2015)

Na última fase é colocada de novo malha de arame e cabos de aço pré-tensionados e vertido o restante betão de forma a completar o molde. Estes painéis podem então ser retirados do molde e manejados após 3 horas do final da última fase, sendo que apenas estão curados ao fim de 3 dias. (Channel 2015) Podemos ver esses painéis já prontos na Figura 22.



Figura 22 Parede construída com painéis de betão (Channel 2015)

### 2.6.2 Painéis de isolamento estruturais (SIP)

Este tipo de painel não é mais do que um painel *sandwich*, sendo que por norma as peles deste são placas de OSB e o seu núcleo uma placa de espuma rígidas. As espumas mais comuns são as de poliestireno expandida (EPS), de espuma de poliuretano (PUR) ou poliestireno extrudido (XPS).

As placas de OSB, como já foi falado no capítulo 2.3.6, são placas de aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas e são semelhantes à apresentada na Figura 23.



Figura 23 Placa de OSB (Weeks 2013)

O seu processo de fabrico consiste na trituração de troncos de madeira, sem casca, em partículas com comprimentos entre os 75-150 mm, 25 mm de largura e 0,5mm de espessura que depois de secas são misturadas com uma série de resinas cuja composição varia conforme o construtor. De seguida a mistura é prensada com a forma final das placas. (Weeks 2013)

Este processo encontra-se ilustrado na Figura 24.

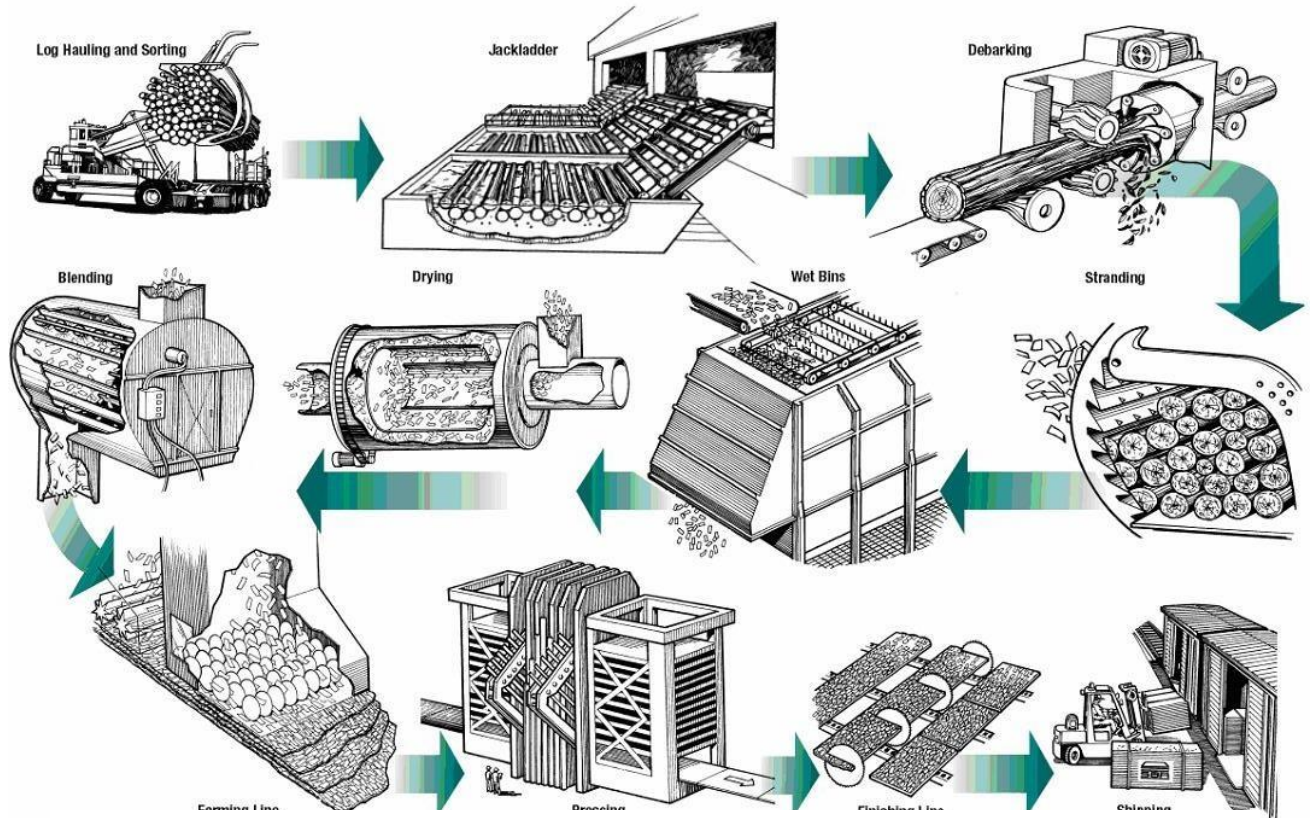


Figura 24 Processo de fabrico de placas OSB (SBA 2005)

O processo de fabrico dos SIPs consiste apenas na colagem das peles ao núcleo, seguida de prensagem. No final deste processo os painéis são maquinados de forma a cumprirem os requisitos do cliente e o seu aspeto final é semelhante ao da Figura 25. (SIPsEcoPanels 2013)



Figura 25 Produto final SIP (SIPsEcoPanels 2013)

### 2.6.3 Painéis compósitos de isolamento estruturais (C-SIP)

Os Painéis compósitos de isolamento estruturais são em tudo semelhantes aos SIPs apresentados anteriormente, sendo que a grande diferença se encontra na constituição das peles. Nos C-SIPs as peles do painel são constituídas, normalmente, por um compósito de fibra de vidro com uma matriz termoendurecível.

O processo de fabrico destas peles não é especificado pelos fabricantes, sendo que vários métodos podem ser utilizados, sendo um deles a laminação contínua apresentada na Figura 26.

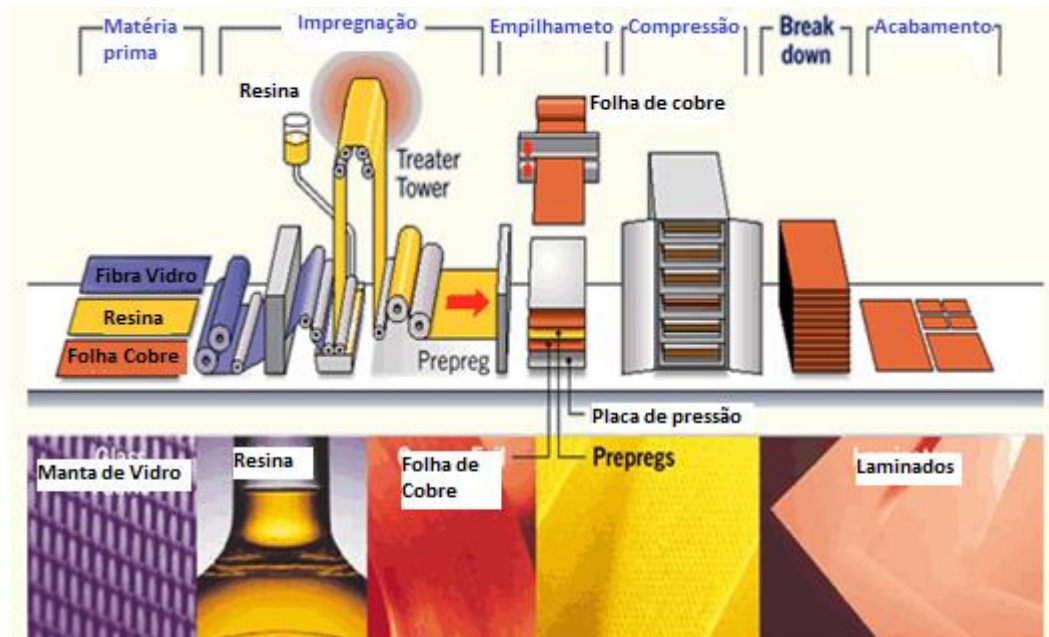


Figura 26 Representação do processo de laminação contínua (Tarr 2009)

O processo de fabrico dos painéis pode ser feito da mesma forma dos SIPs, apresentado no capítulo 2.6.2, que consiste na colagem das peles ao núcleo. Atualmente a empresa *Composite Panel Building Systems* (CPBS, Corpus Christi, Texas, USA) desenvolveu um novo método que permite a ligação química das peles ao núcleo em poliuretano, sendo que neste caso o poliuretano é expandido na cavidade formada entre as duas peles. (CPBS 2016, CompositesWorld 2014)



Figura 27 Construção com C-SIPs (CPBS 2016)

### 3 Objetivos e requisitos do sistema

Neste capítulo irão ser inumerados e representados alguns dos requisitos e objetivos a cumprir com este sistema compósito.

#### 3.1 Requisitos principais

Para a apresentação dos requisitos será mais fácil enumerar e justificar os mesmos. Assim sendo temos:

- Capacidade de suporte de uma carga distribuída de cerca de  $5 \text{ kN/m}^2$  (valor baseado no Eurocódigo 1), assim como forças laterais provenientes do vento. Esta carga é considerada de maneira a que a estrutura se mantenha segura mesmo quando solicitada a cargas como neve, chuva ou mesmo a necessidade de instalação de equipamentos adicionais na parte superior.

Na Figura 28 são apresentadas algumas solicitações a que uma habitação está sujeita;

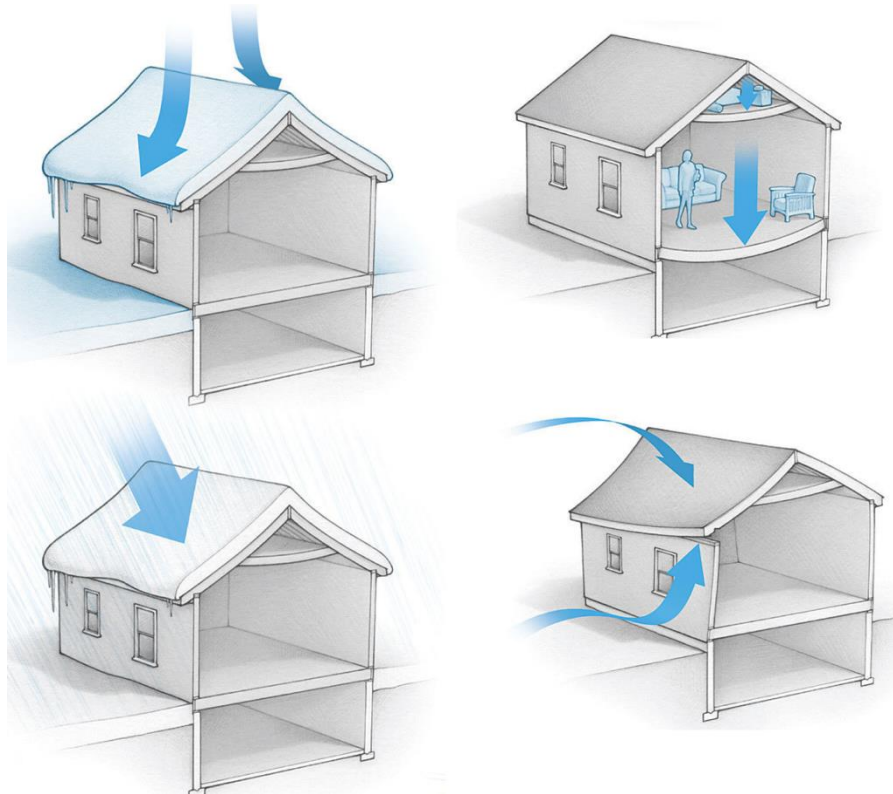


Figura 28 Solicitações genéricas para numa habitação (Munach 2016)

- Impermeável e de difícil degradação na presença de água, de forma a poder ser utilizado em locais diversos;
- Conferir isolamento térmico e acústico. Isto significa que o sistema terá de conseguir criar uma barreira significativa para que seja possível criar um ambiente no interior da estrutura que seja independente do exterior em termos acústicos e térmicos. Tal deve ser possível sem a necessidade de nenhum isolamento adicional como por exemplo o capoto apresentado na Figura 29;

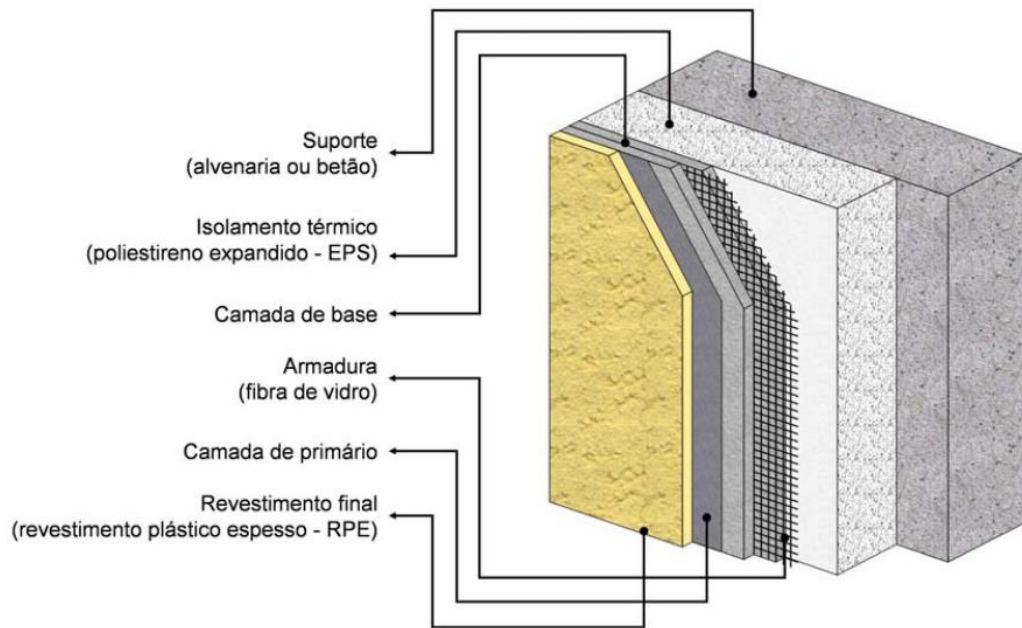


Figura 29 Exemplo de isolamento extra utilizado para paredes de betão (capoto) (Ferreira 2016)

- Resistência ao fogo. A estrutura deve conseguir manter a sua forma na presença de calor direto ou chamas de curta duração;
- Não tóxico, isto é, os painéis não devem libertar produtos tóxicos em condições normais de utilização;
- Aplicação como habitação temporária. Isto implica que o conceito tenha de ser fácil e rápido de fabricar e montar semelhante às tendas utilizadas atualmente como a apresentada na Figura 30;



Figura 30 Sistema de habitação temporária utilizado (Pauels 2014)

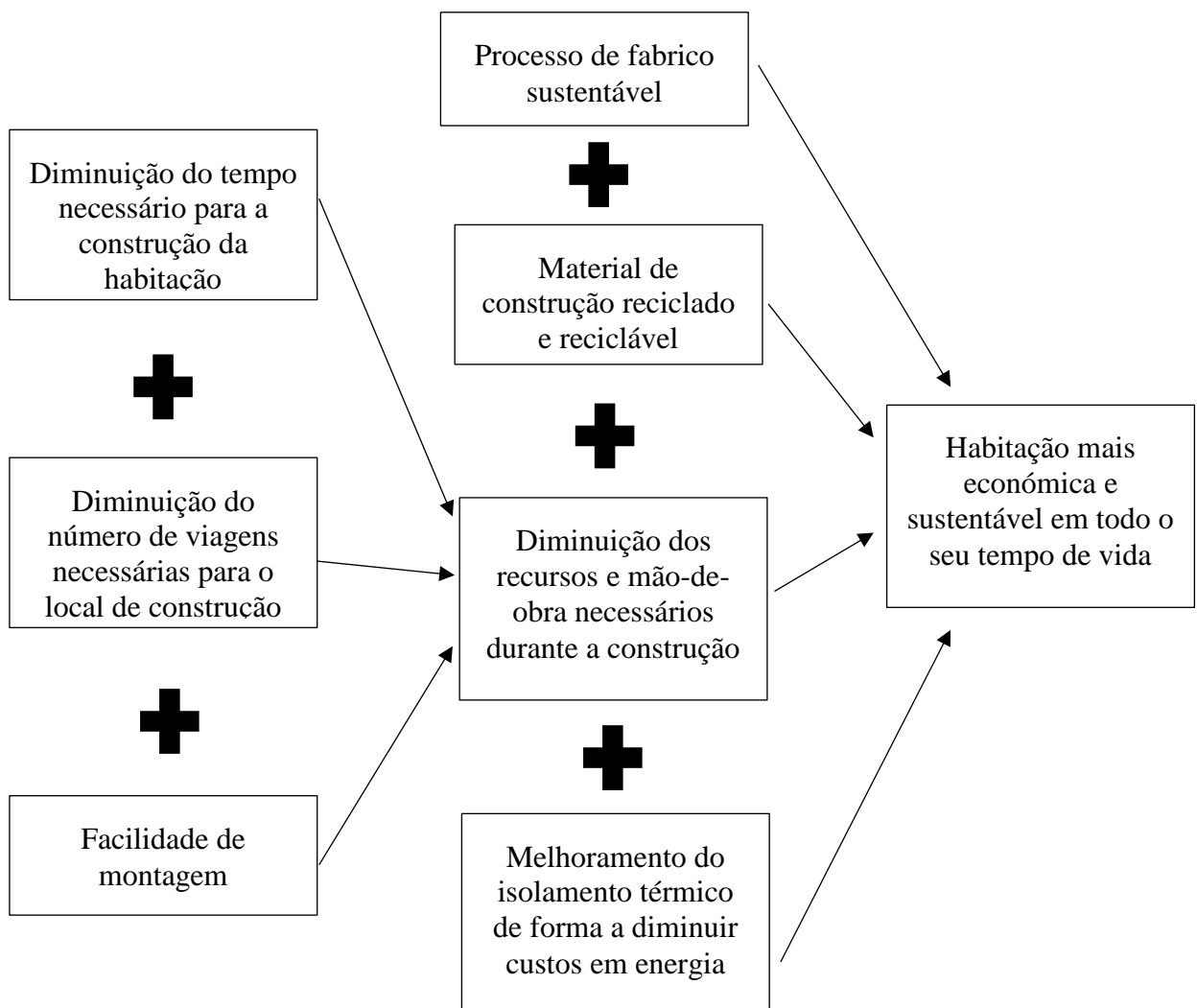
- Diminuição dos desperdícios gerados até à construção da habitação. A Figura 31 demonstra o desperdício existente num local de construção;



Figura 31 Exemplo do desperdício num local de construção (Reardon and Fewster 2013)

- Custo total igual ou inferior aos SIPs atuais.

### 3.2 Objetivos para o novo conceito



## 4 Apresentação da solução proposta

Neste capítulo irá ser apresentada de uma forma mais explícita a solução proposta, o procedimento para a obtenção da mesma e ainda quais os processos de fabrico necessários até à obtenção do produto final.

### 4.1 Design concetual do sistema composto

O tipo de sistema que se pretende utilizar para a aplicação referida anteriormente é um sistema *sandwich* com 200 mm de espessura total em que a maioria dos seus constituintes sejam materiais reciclados ou reutilizados. Este sistema encontra-se representado na Figura 32.

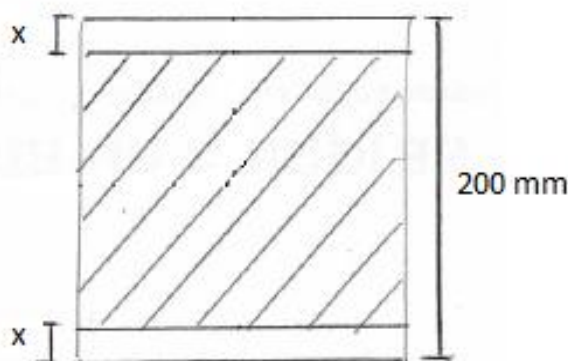


Figura 32 Representação esquemática do sistema composto

Numa primeira fase o objetivo será desenvolver um painel *sandwich* em que o seu núcleo seja constituído por *Myco Foam*, que é um material semelhante ao poliestireno expandido mas proveniente de origem natural. Este material utiliza um fungo e matéria vegetal para formar o produto final (este processo será aprofundado no capítulo 4.3). Algumas das suas propriedades são apresentadas na Tabela 3. (Ecovative 2016c).

| <i>Myco Foam</i>           |                    |
|----------------------------|--------------------|
| <b>Densidade</b>           | 80-130 g/L         |
| <b>Resistência térmica</b> | R 3.6 por polegada |
| <b>Flamabilidade</b>       | Estável até 340°C  |
| <b>Resistência ao fogo</b> | Classe A           |
| <b>Absorção de água</b>    | 7%                 |

Tabela 3 Propriedades da *Myco Foam* (Ecovative 2016b)

Por sua vez, as peles serão constituídas por um composto de PVC reciclado e fibras naturais preferencialmente sejam desperdício de algum processo.

Contudo, um dos objetivos é que este conceito seja o mais versátil possível e possa ser utilizado e fabricado em qualquer local. Para tal, serão dadas margens nos cálculos que permitam que este painel funcione mesmo utilizando um PVC com baixa resistência.

Falando agora do painel idealizado, o núcleo não será de *Myco Foam* mas de um material baseado neste uma vez que apresenta a vantagem de poder ser criado através da utilização de matéria vegetal que até aqui seria desperdício como por exemplo produtos resultantes de

limpezas florestais ou restos das explorações agrícolas. Tal é possível utilizando o mesmo fungo presente na *Myco Foam* ou um semelhante sendo que o substrato será diferente em cada local de fabrico.

No caso deste trabalho apenas será utilizada a *Myco Foam* devido às limitações temporais.

Os painéis terão 2 m de largura e 2,5 m de altura, sendo que será possível uni-los até um máximo de 3 painéis sem a necessidade de qualquer reforço, como por exemplo uma parede perpendicular no interior.

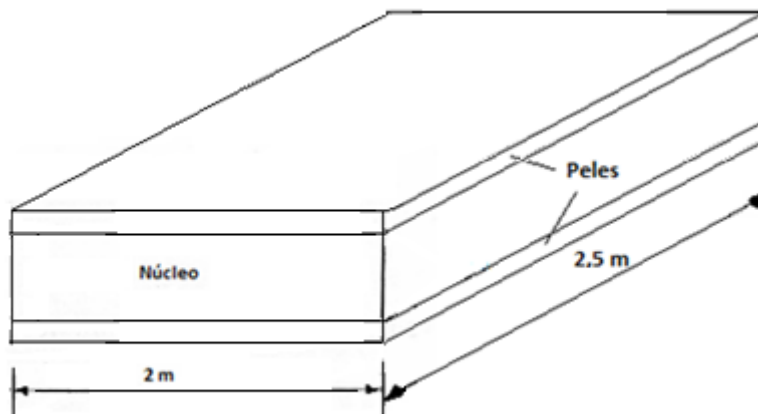


Figura 33 Esquema do painel composto com medidas

O sistema de união e montagem dos painéis será semelhante ao já utilizado nos atuais SIPs.

O sistema de ligação ao solo, consiste na colocação do painel numa calha de madeira que existe pré fixada ao chão (Figura 34).

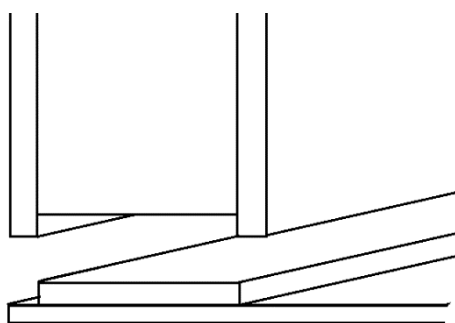


Figura 34 Representação da fixação do painel ao solo

Para a ligação entre painéis colineares, é utilizada uma peça extra que não é mais do que um painel igual aos já utilizados mas com uma espessura total de 160 mm que permite que fique colocado entre os dois painéis a ligar. Esta peça de ligação é colada aos dois painéis existentes e á calha existente no chão (Figura 35).

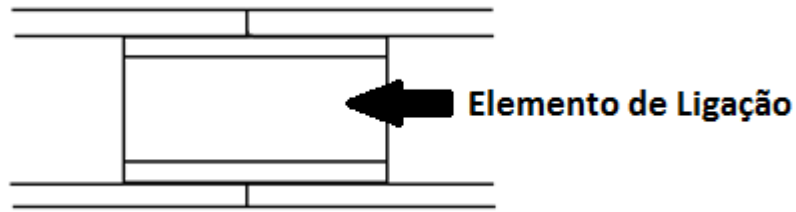


Figura 35 Representação da fixação entre painéis alinhados

Para uma ligação entre painéis a 90° é utilizado o mesmo tipo de painel que constitui as paredes mas com uma disposição diferente. Sendo que este elemento de ligação teria o aspeto apresentado na Figura 36.

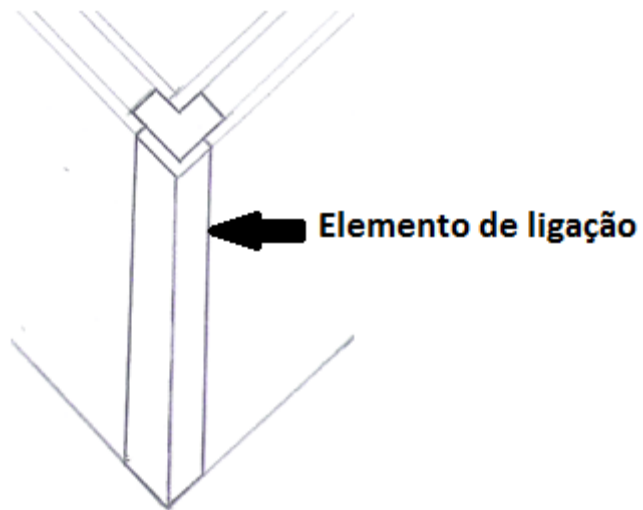


Figura 36 Representação da fixação entre painéis a 90°

## 4.2 Construção da ideia

O primeiro passo a dar nesta fase é definir qual o tipo e tamanho da estrutura em questão. Assim sendo, decidiu-se que a mesma seria uma habitação com apenas um piso e 24 m<sup>2</sup> de área com a forma e dimensões apresentadas na figura 37.

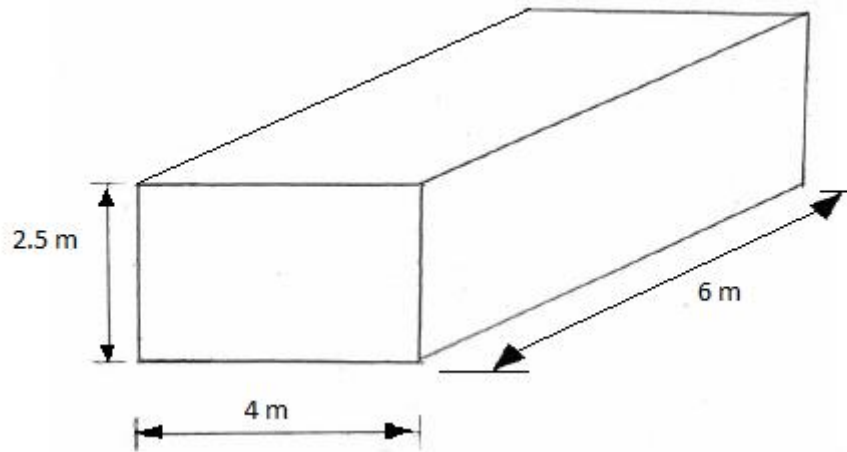


Figura 37 Esquema com dimensões da estrutura

Numa primeira fase optou-se pelo caminho mais simples, no qual o único requisito seria a rigidez ( $K$ ) da pele em PVC ser igual à rigidez da pele em OSB, esta com 22 mm de espessura.

Temos então que:

$$K_{OSB} = K_{PVC} \quad (9)$$

$$\frac{A \cdot E_{OSB}}{L} = \frac{A \cdot E_{PVC}}{L}, \text{ com } A = e \cdot L \quad (10)$$

$$e_{PVC} = \frac{E_{OSB}}{E_{PVC}} \cdot e_{OSB}, \text{ com } E_{OSB} = 5,5 \text{ GPa e } E_{PVC} = 2,5 \text{ GPa} \quad (11)$$

$$e_{PVC} = 48,4 \text{ mm} \quad (12)$$

Com:

A – área da pele

e - espessura da pele

L – largura da pele

E – módulo de Young

O valor obtido de 48,4 mm é demasiado elevado para poder ser aplicado a um nível industrial. Além do enorme peso do painel que uma espessura deste tipo implica, este tipo de espessura causaria grandes problemas no desenvolvimento do processo de fabrico.

Numa segunda fase avançou-se com um processo um pouco mais complexo no qual se definem as cargas aplicadas às paredes em questão e se arbitra uma espessura para averiguar se a mesma é capaz de cumprir os requisitos estruturais. Assim sendo, e seguindo sempre o pior caso possível, foi considerado que a cobertura da estrutura irá estar exposta a uma pressão de

5kN/m<sup>2</sup>, (valor baseado no Eurocódigo 1: Ações em Estruturas, Parte 1-1 Ações Gerais (Pesos Volúmicos, pesos próprios e sobrecargas em edifícios)).

Por sua vez, as paredes irão estar sujeitas a uma pressão de cerca de 1 kN/m<sup>2</sup> proveniente da força do vento (valor baseado no Eurocódigo 1: Ações em Estruturas, Parte 1-4 Ações Gerais (Ações do vento)).

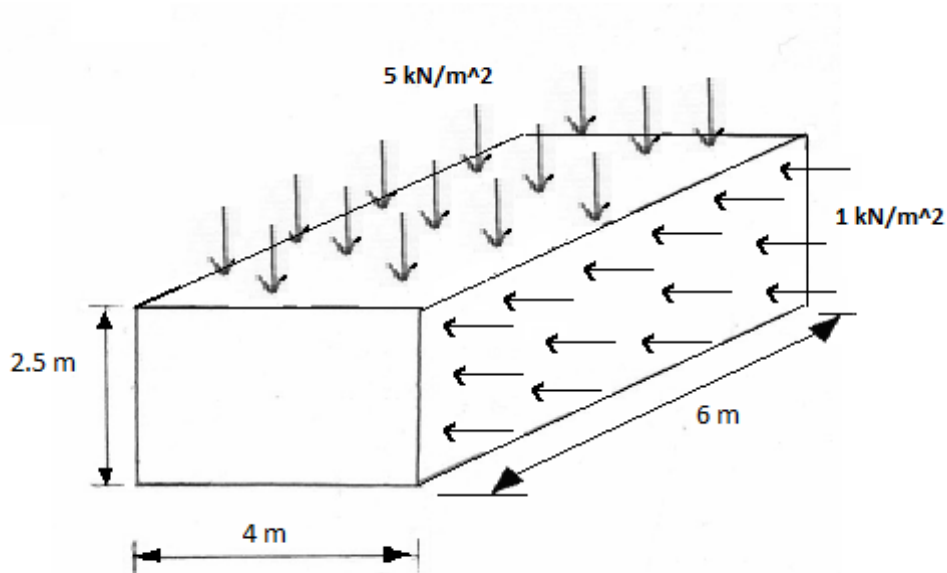
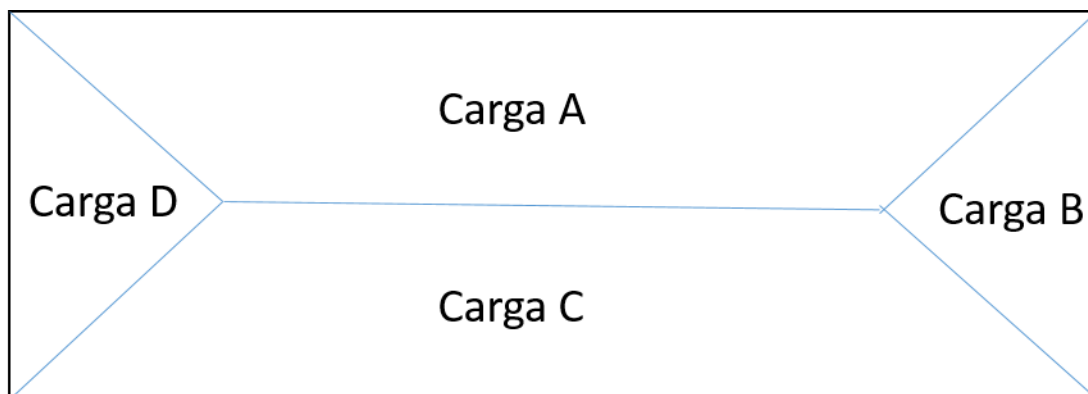


Figura 38 Esquema da estrutura com as solicitações esquematizadas

Para o caso da carga vertical aplicada, as áreas de influência relativamente a cada uma das paredes, como a base é retangular, seguem a regra dos trapézios.



De forma a simplificar os cálculos serão feitos para o caso mais gravoso: isto é, para a parede com 6 m de comprimento.

Neste caso a área de influência é de 8 m<sup>2</sup>, portanto a carga que se encontra a descarregar sobre cada uma das paredes laterais de 6m é de:

$$F_{vertical} = \frac{Pressão \cdot Área}{Comprimento} = \frac{5 \cdot 8}{6} = 6,67 \text{ kN/m} \quad (13)$$

Para o caso das forças do vento podemos considerar, simplificada, a parede como uma viga, e temos que:

$$F_{horizontal} = \frac{Pressão \cdot Área}{Comprimento} = \frac{1 \cdot (6 \cdot 2,5)}{17} = 2,5 \text{ kN/m} \quad (14)$$

Sendo:

F – Força aplicada

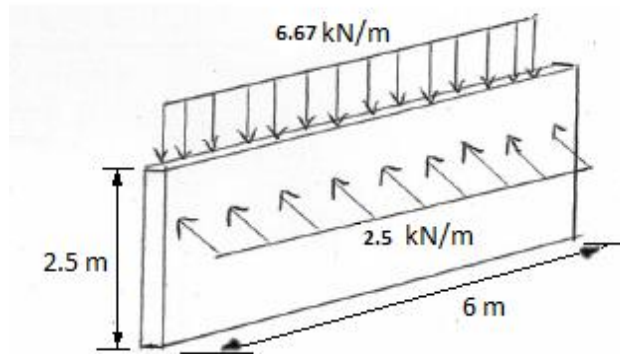


Figura 39 Esquematização das solicitações na parede crítica

Após a definição do valor das cargas, considerou-se que os esforços sofridos pela parede iriam ser semelhantes a uma viga simplesmente apoiada carregada por uma carga distribuída.

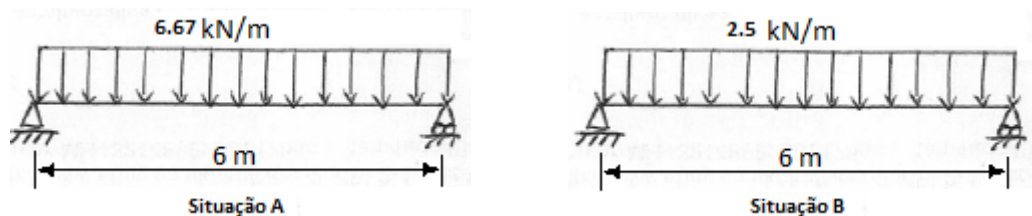


Figura 40 Representação da parede como uma viga simplesmente apoiada para ambas as solicitações

Assim sendo, e uma vez que a flexão pode ocorrer segundo duas faces, decidiu-se fazer cálculos para ambas, sendo que a crítica será possivelmente a face que representa a altura da parede.

$$M_{fmax} = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad (15)$$

Com:

$M_{fmax}$  – momento fletor máximo

q - carga distribuída aplicada

l – comprimento do local onde a carga é aplicada

Temos também que:

$$\sigma_{Max} = \frac{M_f}{W} + \frac{N}{A}, \text{ com } W = \frac{I}{Y_{max}} \quad (16)$$

Com:

$\sigma_{Max}$  – Tensão máxima suportada

$M_f$  – momento fletor aplicado

$N$  – esforço normal

$A$  – área da secção onde o esforço é aplicado

$Y_{max}$  – distância ao eixo neutro

$I$  – Momento de inércia do painel segundo o eixo

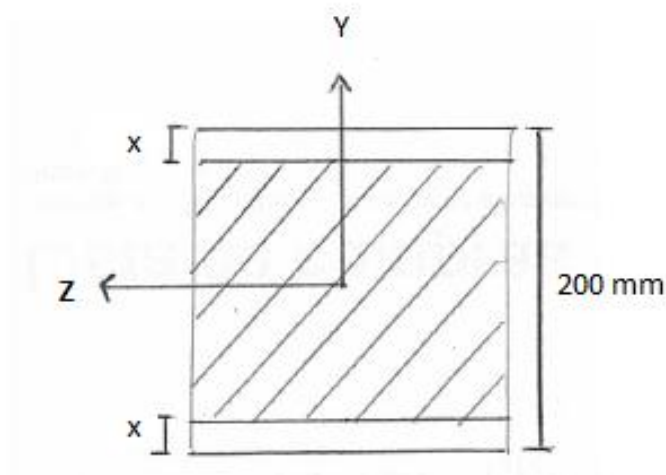


Figura 41 Representação do painel relativamente á sua constituição

Neste processo irão apenas ser consideradas as áreas das peles, sendo que o valor de  $x$  terá de ser arbitrado.

$$I_Z = 2 * (I_G + A * d^2), \text{ com } I_G = \frac{b * h^3}{12} \quad (17)$$

$$I_Y = \frac{b * h^3}{12} \quad (18)$$

Sendo:

$d$  – distância entre o centro de massa da pele e o centro de massa do painel

$I_G$  – Momento de inércia da pele

$b$  – comprimento da pele

$h$  – espessura da pele

Neste caso considera-se  $x=20$  mm uma vez que é uma espessura semelhante à utilizada nos painéis de OSB e a mesma já existe à venda.

- **Situação A:** Solicitação derivada da ação da sobrecarga na Cobertura:

$$M_{fmax} = \frac{6,67 \cdot 6^2}{8} = 30 \text{ kNm} \quad (19)$$

$$I_Y = 2 * \left( \frac{0,02 \cdot 2,5^3}{12} \right) = 5,21 * 10^{-2} \text{ mm}^4 \quad (20)$$

$$\sigma_{Max} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 1,25}{5,21 \cdot 10^{-2}} * 10^{-6} = 0,720 \text{ MPa} \quad (21)$$

- **Situação B:** Solicitação derivada da ação do vento nas paredes:

$$M_{fmax} = \frac{2,5 \cdot 6^2}{8} = 11,25 \text{ kNm} \quad (22)$$

$$I_z = 2 * \left( \frac{2,5 \cdot 0,02^3}{12} + 2,5 * 0,02 * 0,09^2 \right) = 8,133 * 10^{-4} \text{ mm}^4 \quad (23)$$

$$\sigma_{Max} = \frac{11,25 \cdot 10^3 \cdot 0,1}{8,133 \cdot 10^{-4}} * 10^{-6} = 1,384 \text{ MPa} \quad (24)$$

Temos como previsto que o maior valor da tensão máxima é inferior a 2 MPa. Este valor é inferior ao pior valor de tensão limite elástico de um PVC flexível (que é o pior caso possível dentro do PVC) que anda perto dos 7 Mpa.

Desta forma comprova-se teoricamente que é possível utilizar peles de PVC com espessuras de 20 mm para um painel com 200 mm de espessura sujeito as solicitações referidas mesmo utilizando um dos tipos de PVC com pior tensão limite elástico.

Para um painel destas dimensões e considerando um PVC com uma densidade de 1,4 g/cm<sup>3</sup> podemos esperar pesos de 140 kg por pele, o que significa pesos superiores a 300 kg por painel.

### 4.3 Ensaios laboratoriais

Neste capítulo irão ser apresentados com algum detalhe os procedimentos assim como os resultados obtidos nos testes efetuados.

#### 4.3.1 Single Flame Test

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Fumo e Fogo do INEGI e para a realização do mesmo foi utilizada a norma EN ISO 11925:2010 e o aparelho de ensaio semelhante ao da Figura 42.

Para a realização do ensaio completo são necessários 18 provetes e para os ensaios simples são necessários 4 provetes com 250 x 90 mm sendo que metade será testada na posição de utilização e a outra metade na perpendicular a essa direção. (Sweden 2016)

Materiais que tenham na sua forma de aplicação espessuras inferiores a 60 mm podem ser utilizados nessa forma. Se a sua espessura for superior a 60 mm esta deve ser reduzida até este tamanho.

Se o produto não é essencialmente plano, as amostras podem ser testadas sob a forma final de utilização.

Os provetes são condicionados antes do ensaio com massa constante à temperatura de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e humidade relativa de  $50 \pm 5\%$ . (Services 2012)

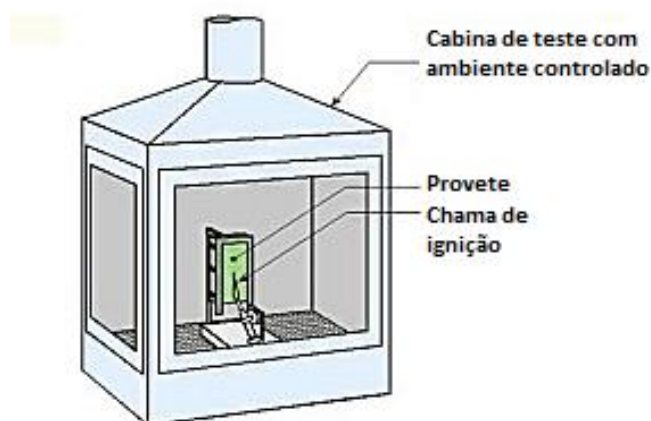


Figura 42 Esquema do aparelho de ensaios para o *single flame test* (Sweden 2016)

O relatório de ensaio contém informações sobre os testes e resultados dos testes. As seguintes informações são dadas no relatório de ensaio:

- o tempo de exposição utilizado no teste (15 ou 30 s) ;
- o modo de exposição (bordo/superfície/ lateral) ;
- se a ponta de chama atinge e/ou passa a marca dos 150 mm acima do ponto de aplicação da chama, e o momento em que isso ocorreu ;
- se foram observadas gotas ardentes, que inflamou o filtro de papel num tabuleiro por baixo da amostra de teste. (Sweden 2016, ISO 2014)

Após o ensaio realizado obtiveram-se os resultados obtidos na tabela 4 (a folha original pode ser encontrada no anexo 1).

|                                   | <b>Resultados</b> |
|-----------------------------------|-------------------|
| <b>Exposição</b>                  | Bordo             |
| <b>Aplicação do queimador (s)</b> | 30                |
| <b>Ignição (s)</b>                | 2                 |
| <b>Comprimento destruído (mm)</b> | 70                |
| <b>Tempo atingir 150 mm (s)</b>   | Não atinge        |
| <b>Extinção (s)</b>               | 30                |
| <b>Queda de gotas</b>             | Não               |
| <b>Inflamação papel de filtro</b> | Não               |

Tabela 4 Resultados obtidos após o *single flame test* com M.F.

Os resultados obtidos não foram conclusivos nem podem ser utilizados com 100% de certeza, uma vez que devido a problemas de logística e limitações de material apenas foi possível ensaiar um provete e o mesmo não passou pelo condicionamento necessário.

Mesmo assim é possível limitar a gama entre o D, C ou B sendo que o A anunciado pelo fornecedor dificilmente seria atingido.

Considerando mesmo a pior classificação, conseguiu-se comprovar que este material cumpre um dos requisitos de fumo e fogo.

Contudo, como o painel é constituído por dois materiais diferentes, a sua classificação deve ser baseada na pior classificação desses dois.

Como não foi possível criar os provetes necessários com a mistura de PVC que se pretendia optou-se por utilizar os resultados obtidos pela colega Diana Lobão Pais com os seus provetes de PVC 100% reciclado considerando que este seria o pior caso possível.

Obtiveram-se os resultados médios apresentados na tabela 5 (a folha original pode ser encontrada no anexo 2):

|                                   | <b>Resultados</b> |
|-----------------------------------|-------------------|
| <b>Exposição</b>                  | Bordo             |
| <b>Aplicação do queimador (s)</b> | 30                |
| <b>Ignição (s)</b>                | 4                 |
| <b>Comprimento destruído (mm)</b> | 28                |
| <b>Tempo atingir 150 mm (s)</b>   | Não atinge        |
| <b>Extinção (s)</b>               | 31                |
| <b>Queda de gotas</b>             | Não               |
| <b>Inflamação papel de filtro</b> | Não               |

Tabela 5 Resultados obtidos após o *single flame test* com PVC

Após três ensaios foi possível limitar o PVC às mesmas três categorias anteriores D, C ou B, sendo que podemos concluir que na pior das hipóteses o nosso painel será uma categoria D e na melhor uma B.

Com a pior classificação poderá ser necessário a utilização de um revestimento para que seja possível cumprir as legislações nalguns países.

#### 4.3.2 Ensaio acústico

A determinação dos coeficientes de absorção sonora foi realizada através da medição dos níveis de pressão sonora máxima ( $L_n, Máx.$ ) e mínima ( $L_n, Mín.$ ) utilizando o Tubo de Ondas Estacionárias (Brüel & Kjaer - 4002) para as diversas frequências de cada amostra em estudo. Este ensaio foi realizado no Departamento de Acústica da FEUP.

O equipamento utilizado e o modo de proceder, sempre que aplicável, estiveram de acordo com as especificações internas ou constantes da normalização aplicável nomeadamente ISO 10534-1:1996.

Para este ensaio foram utilizados os equipamentos:

- Gerador de sinal marca Brüel & Kjaer modelo 1024 (nº de série 299575);
- Tubo de ondas estacionárias, marca Brüel & Kjaer modelo 4002 (nº de série 383904);
- Sonómetro de precisão, marca Brüel & Kjaer modelo 2231 (nº de série 934499 - verificado no ISQ - certificado de verificação – Cert. nº 4578);
- Conjunto de filtros de 1/1 oitava, marca Brüel & Kjaer modelo 1613.



Figura 43 Equipamento de ensaio com os tubos montados

“O tubo de ondas estacionárias consiste num tubo metálico, onde se coloca numa das extremidades uma amostra do material em estudo e na outra extremidade existe um pequeno altifalante com um orifício por onde passa uma vareta com um microfone na ponta, a qual está ligada a um carrinho que desliza sobre rodas nuns carris. Liga-se então o gerador de sinal que faz com que seja emitida uma onda sonora sinusoidal a partir do altifalante. A sobreposição da onda sonora emitida com a onda sonora refletida na amostra em estudo dá origem à formação de uma onda estacionária dentro do tubo”. (Rodrigues 2008)



Figura 44 Provetes colocado nos dois tubos de ensaio com 100 e 30 mm

“Com o auxílio de um sonómetro, determina-se as pressões máximas ( $p_{m\acute{a}x}$ ) e mínimas ( $p_{m\acute{i}n}$ ) da onda estacionária e regista-se ainda a distância a que a primeira pressão mínima ocorre da amostra ( $x_{m\acute{i}n,1}$ ,” visível na Fig. 45. (Rodrigues 2008)

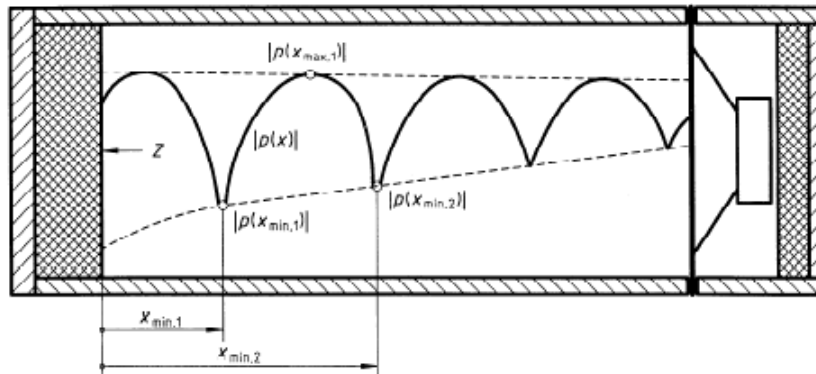


Figura 45 Onda estacionária no tubo de impedância. (ISO 1996)

“Após se colocar a amostra em estudo no tubo de impedância, registam-se para as frequências emitidas pelo gerador de sinal, os valores da pressão mínima,  $p_{m\acute{i}n, n}$ , a distância para o qual este ocorre,  $x_{m\acute{i}n}$  e, por ultimo, o valor da pressão máxima,  $p_{m\acute{a}x, n}$ . No caso dos valores do tubo de impedância serem medidos numa escala logarítmica, (em dB), é possível determinar a variação de pressão entre o máximo e o mínimo registado  $\Delta L$ , em dB, bem como o rácio da onda estacionária,  $S_n$ , a qual permite obter a magnitude do fator de reflexão,  $|r|$ ”. (Rodrigues 2008)

$$S_n = 10^{\Delta L/20} \quad (25)$$

$$|r| = e^{2k_0 x_{m\acute{i}n,n}} \frac{S_n - e^{k_0 \lambda / 4}}{S_n + e^{k_0 \lambda / 4}} \quad (26)$$

$$\alpha_n = 1 - |r|^2 \quad (27)$$

Após a realização do ensaio obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 6:

| Frequência (Hz) | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| $\alpha$        | 0,17 | 0,25 | 0,34 | 0,29 | 0,32 | 0,47 |

Tabela 6 Resultados do ensaio acústico para a M.F.

Estes resultados não podem ser generalizados ao painel, uma vez que apenas são verificados quando o material que se encontra diretamente exposto ao som é neste caso o núcleo.

Neste caso, este ensaio foi apenas realizado para caracterizar a *Myco Foam* e não o painel idealizado.

De forma a facilitar a análise dos resultados estes irão ser comparados com os valores existentes para o betão liso presentes na Tabela 7:

| Frequência (Hz) | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| $\alpha$        | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |

Tabela 7 Resultados do ensaio acústico para o Betão liso

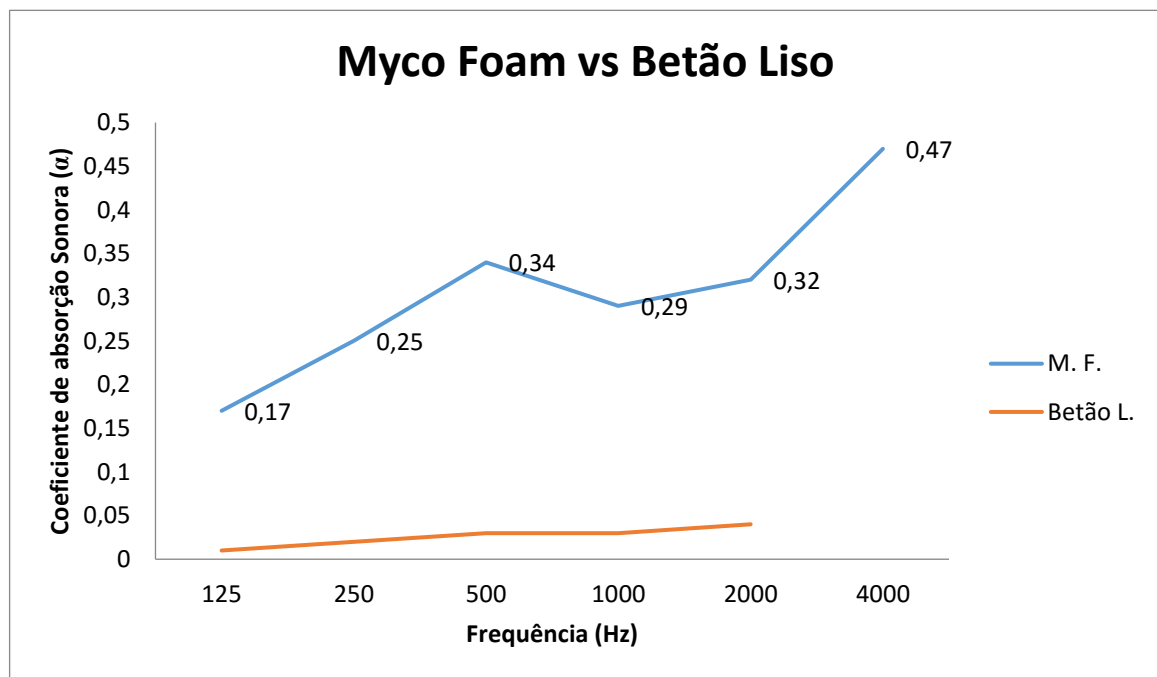


Figura 46 Gráfico comparação de resultados acústicos

O que facilmente se conclui através da análise da Figura 46 é que a *Myco Foam* é um absorvedor de som muito mais eficaz que o betão liso. Assim sendo, este material segundo os resultados obtidos seria um revestimento com boas propriedades acústicas.

### 4.3.3 Ensaio térmico

Este ensaio foi realizado utilizando o aparelho KD2 Pro que utiliza uma sonda constituída por uma agulha com um aquecedor e um sensor de temperatura interior. A montagem utilizada foi a apresentada na Figura 47.



Figura 47 Montagem utilizada no ensaio térmico

Uma corrente, atravessa o aquecedor e a temperatura da sonda é monitorizada ao longo do tempo. Uma análise da temperatura da sonda é utilizada para determinar a condutividade térmica.

No caso do sensor SH-1 com sonda dupla, o aquecedor e sensor de temperatura encontram-se em agulhas diferentes. Na sonda dupla, a análise da relação temperatura/tempo permite ainda obter informações da difusividade ( $D$ ) e da capacidade térmica ( $C$ ), bem como da condutividade.

Para realizar o ensaio são necessários provetes que permitam obter um mínimo de 1.5 cm entre os limites da sonda e o exterior, sendo que a sonda têm de estar toda ela dentro do material a testar. (Decagon Devices 2012)

No caso do material a testar, a *Myco Foam*, a placa obtida com uma espessura de 4,5 cm permitiu cumprir estes requisitos com facilidade. Para realizar o teste foi necessário perfurar a amostra com a broca incluída no aparelho e realizar varias medições em locais diferentes do provete.

Após os diversos ensaios feitos e trabalho dos mesmos foram obtidos os resultados presentes no anexo 2 sendo que são apresentados os valores médios em baixo:

| Sensor | Temperatura (°C) | k (W/m.K) | R (m.K/W) | C (MJ/m³K)    | D (m²/s) |
|--------|------------------|-----------|-----------|---------------|----------|
| KS-1   | 26,095           | 0,0402    | 24,942    | Não aplicável |          |
| TR-1   | 26,893           | 0,054167  | 19,18833  |               |          |
| SH-1   | 25,670           | 0,091     | 11,01     | 0,5745        | 0,1585   |

Tabela 8 Resultados médios obtidos apos o ensaio térmico

Como com cada um dos sensores se obtiveram valores diferentes da condutibilidade e resistividade optou-se por considerar os valores do sensor KS-1 que é o mais aconselhado para medições em materiais destinados a isolamento.

Os valores da difusividade e da condutividade térmica obtidos não poderão ser utilizados devido á disparidade de resultados obtidos para na medição da condutividade com as diferentes sondas.

Assim sendo e considerando as propriedades cumulativas do R-value e os valores comuns da condutividade do PVC temos:

$$Rvalue_{PVC} = \frac{e}{k_{PVC}} = \frac{0,02}{0,19} = 0,11 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (28)$$

$$Rvalue_{M.F.} = \frac{e}{k_{M.F.}} = \frac{0,16}{0,040} = 4 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (29)$$

$$Rvalue_{Painel} = Rvalue_{M.F.} + 2 * Rvalue_{PVC} \quad (30)$$

$$Rvalue_{Painel} = 4 + 2 * 0,11 = 4,22 \text{ m}^2\text{K/W} \quad (31)$$

Após obtidos os resultados podemos agora proceder á comparação destes com os valores conhecidos de alguns materiais utilizados na construção através da análise da Tabela 9:

| <b>Material</b>                              | <b>R-value<br/>(m<sup>2</sup>K/W)</b> |
|--|---------------------------------------|
| <b>Protótipo (teórico)</b>                   | 4,2                                   |
| <b>SIP (210 mm)</b>                          | 5,8                                   |
| <b>Parede de bloco</b>                       | 0,4                                   |
| <b>Paredes de madeira com fibra de vidro</b> | 2,5                                   |

Tabela 9 Comparação do R-value obtido com os materiais mais comuns (Solla 2010)

Podemos, então, comprovar que este novo painel pode oferecer uma melhoria significativa a nível de isolamento térmico relativamente às opções de construção mais comuns. Contudo, este valor ficou, como esperado, abaixo dos valores obtidos pelos SIPs atuais. Tal é explicado pelo enorme investimento e otimização dos mesmos.

#### 4.4 Tecnologias de fabrico do sistema compósito

Neste capítulo irão ser apresentados todos os processos de fabrico desenvolvidos para a construção do painel *sandwich* idealizado.

Estes processos foram idealizados pensando numa forma de fabrico contínua.

Será também apresentado o sistema de montagem final para o qual este painel foi idealizado.

##### 4.4.1 Fabrico das peles de PVC com fibras

O objetivo é desenvolver um processo de fabrico tecnológico que permita a criação destes painéis de forma contínua. Devido a limitações técnicas não foi possível testar nenhum dos métodos seguintes, sendo que assim não foi possível definir quais os parâmetros para o funcionamento dos mesmos. Apesar do referido anteriormente foi possível idealizar os seguintes processos:

1. Criação das peles de forma descontínua utilizando um conceito semelhante ao existente na prensa de pratos quentes.

Neste processo são colocados o granulado de PVC e as fibras na parte inferior do molde. Em seguida este molde é aquecido até uma temperatura otimizada perto da temperatura de fusão do PVC e depois é compactado pela parte superior.

Quando arrefecido obtemos a pele final.

Este processo é esquematizado na Figura 48.

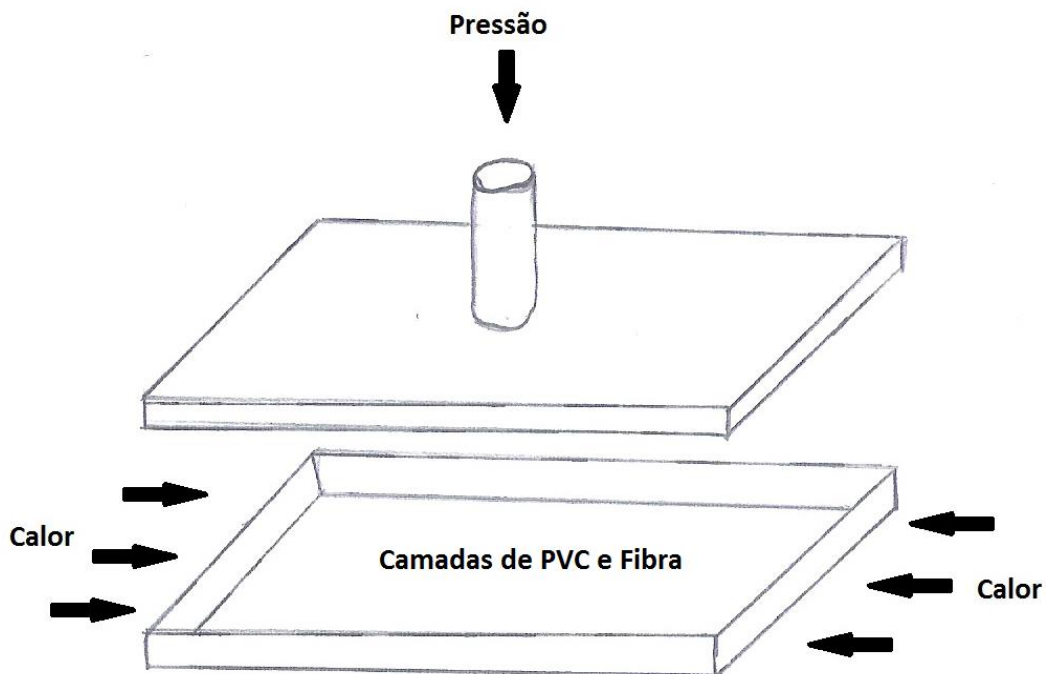


Figura 48 Processo de fabrico de peles descontínuo

2. Este processo consiste na combinação de dois processos: extrusão e laminagem. Numa primeira etapa o PVC segue para a extrusora onde será fundido e extrudido numa forma paralelepípedica, em simultâneo temos o desenrolamento da fibra devido ao movimento do tapete rolante. De seguida o PVC extrudido é coberto por uma segunda manta de fibra agora na parte superior, sendo que esta *sandwich* segue para um conjunto de rolos que irão prensar a mesma e permitir obter um painel compósito com a espessura desejada. Após o arrefecimento o painel contínuo pode ser cortado nas medidas desejadas. Este processo é esquematizado na Figura 49.

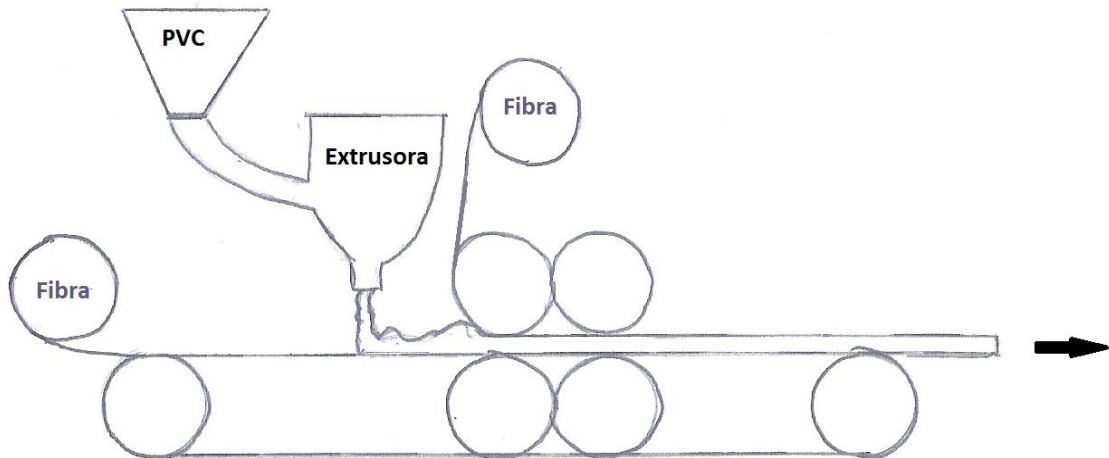


Figura 49 Processo de fabrico baseado nos processos de extrusão e laminagem

3. Este último processo é uma evolução do anterior, sendo que a principal diferença é a eliminação da extrusora e substituição por uma câmara de aquecimento. Numa primeira etapa o PVC é debitado sobre a fibra que por sua vez se encontra sobre o tapete rolante, estes seguem para a camara de aquecimento onde o PVC será fundido. De seguida o PVC fundido é coberto por uma segunda manta de fibra agora na parte superior, sendo que em seguida esta *sandwich* segue para um conjunto de rolos que irão prensar a mesma e permitir obter um painel compósito com a espessura desejada. Após o arrefecimento o painel contínuo pode ser cortado nas medidas desejadas. Este processo é esquematizado na Figura 50.

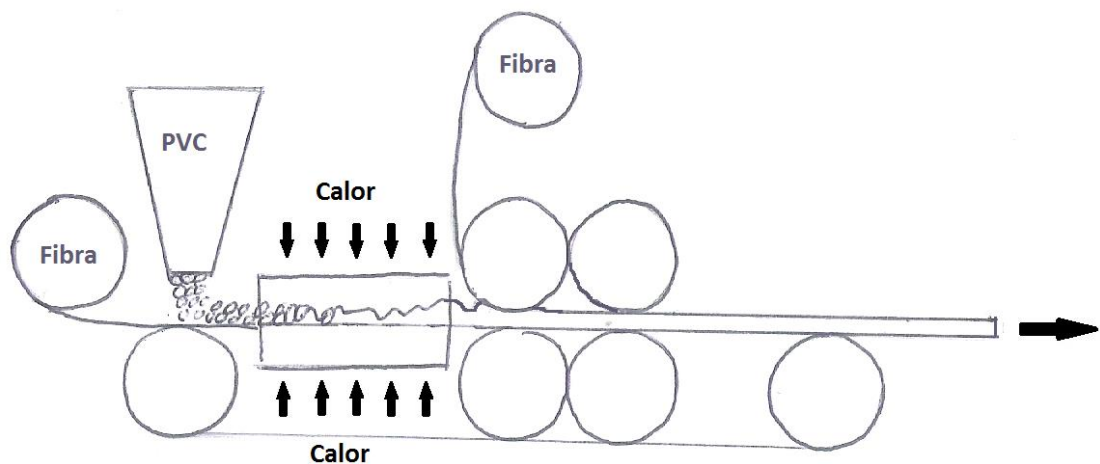


Figura 50 Processo de fabrico baseado na laminagem a quente

#### 4.4.2 Fabrico do núcleo

Para a obtenção do núcleo do nosso painel *sandwich* podemos proceder essencialmente de duas formas:

- Recorrer à empresa que criou este sistema, a *Ecovative*, e encomendar as placas já existentes. Unir as mesmas de forma a fabricar o painel com o tamanho desejado;
- Recorrer ao *Grow It Yourself* (GIY) também comercializado pela *Ecovative* e com este *kit* desenvolver um painel com a forma desejada.

Para este trabalho será mais interessante mostrar o processo por detrás da segunda opção e quais as vantagens que podem advir dessa escolha.

O processo de fabrico desde a obtenção do material desidratado até ao produto final demora cerca de 12 dias, sendo que após hidratado este processo apenas demora cerca de 6 dias.

Para a criação deste painel, além do *Kit GIY* e do molde serão necessários ingredientes correntes como água e farinha. (Ecovative 2014)

A primeira fase do processo demora cerca de 20 minutos e implica o processo representado na Figura 51:

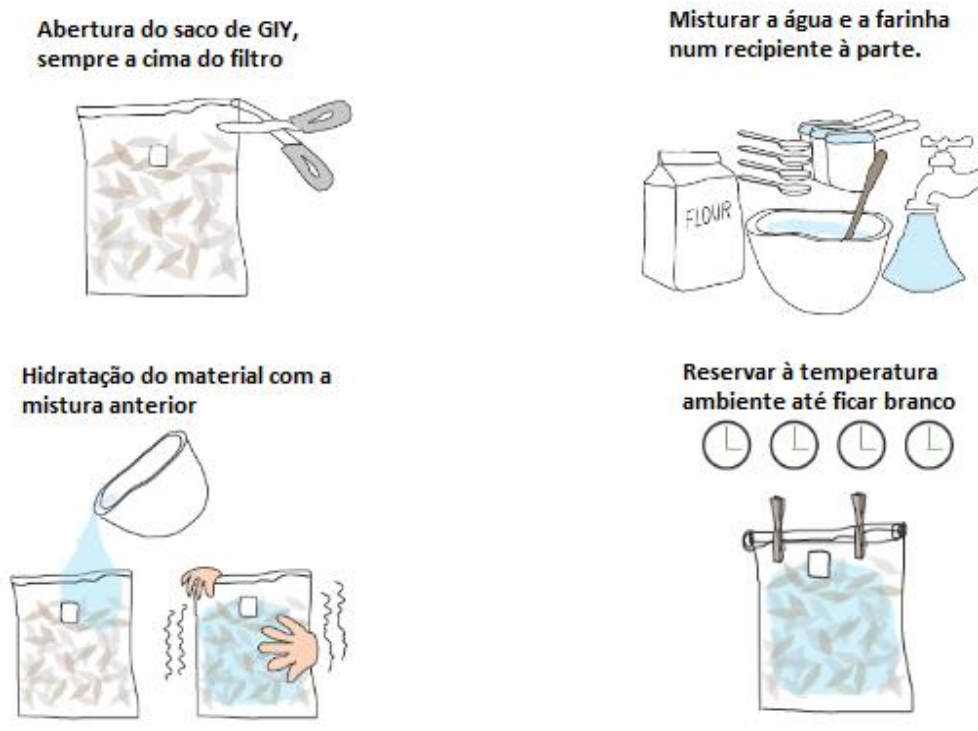


Figura 51 - Esquema da hidratação do Kit GIY (Ecovative 2014)

A primeira fase apenas serve para reavivar o fungo existente, sendo que poderá ser possível que esta fase apenas ocorra uma vez quando for dominada a técnica de criação de colónias.

A segunda fase do processo demora cerca de 1 hora e consiste no processo apresentado na Figura 52:

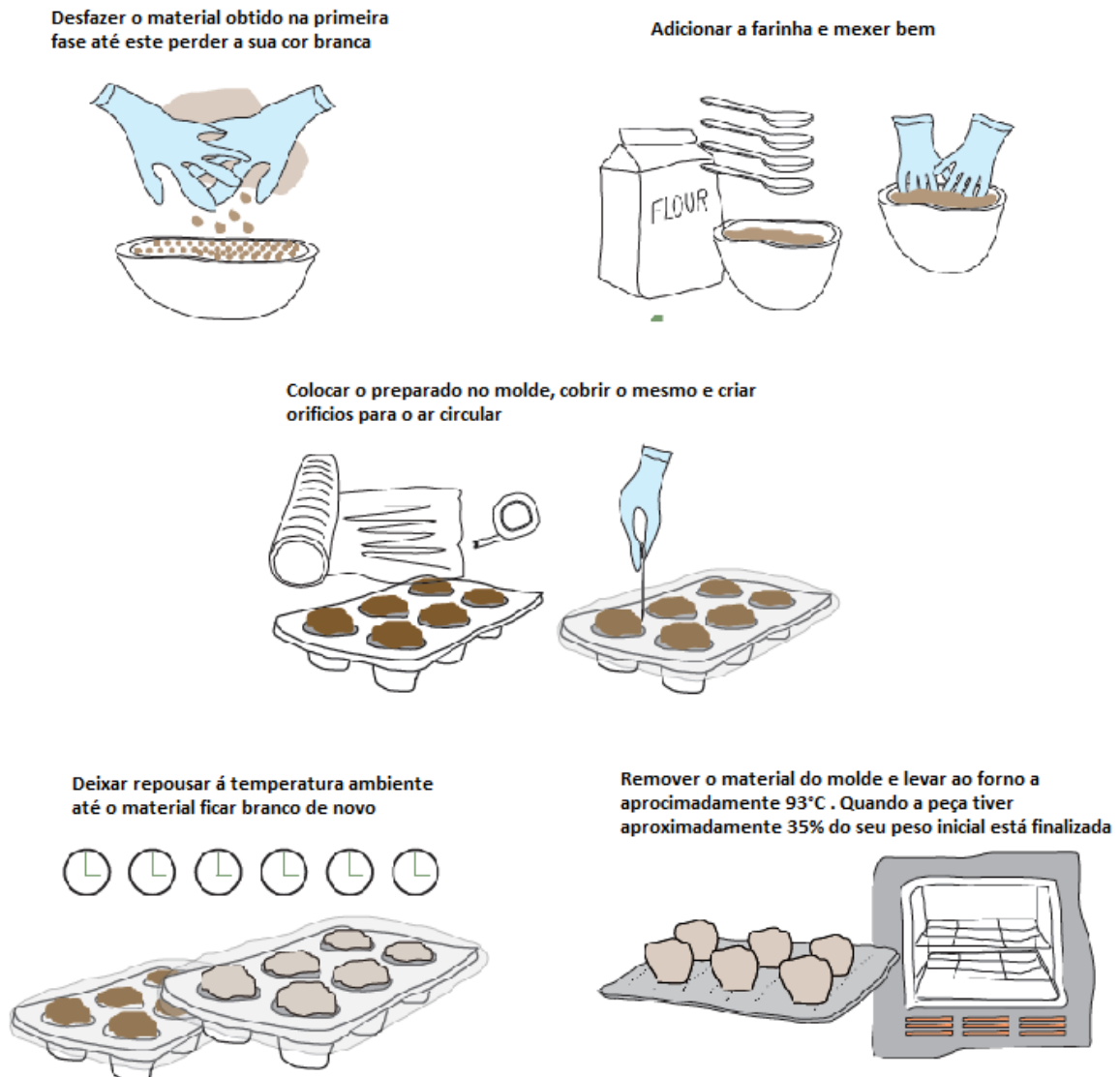


Figura 52 Segunda fase do fabrico do núcleo (Ecovative 2014)

No final deste processo obtemos a peça com a forma pretendida e com cor branca. Esta peça não deve ser cortada uma vez que o material se degrada mais facilmente.

No caso da construção dos painéis, o processo será em tudo semelhante ao apresentado anteriormente. Quando construídos em série, será possível substituir a primeira fase por uma que consiste no aumento e manutenção da colónia de fungos.

No decorrer desta fase do fabrico do protótipo, o que se revelou mais complicado foi a fase da secagem do material. Tal aconteceu porque o material nunca atingiu o valor teórico de 35% da sua massa inicial, sendo que na realidade pouco baixou dos seus 50%. A este fator alia-se o enorme tempo de espera até se obterem estes resultados, sendo que no caso prático foram necessárias quase 24h.

#### 4.4.3 *Fabrico do painel*

Esta fase do fabrico pode ser feita de duas formas distintas (sendo que apenas a primeira foi testada e a segunda não passa de uma hipótese):

1. Através da colagem das peles fabricadas anteriormente ao núcleo com uma cola preferencialmente termoplástica,

Este processo pode ser dividido em 3 fases:

- Aplicação da cola (Figura 53)

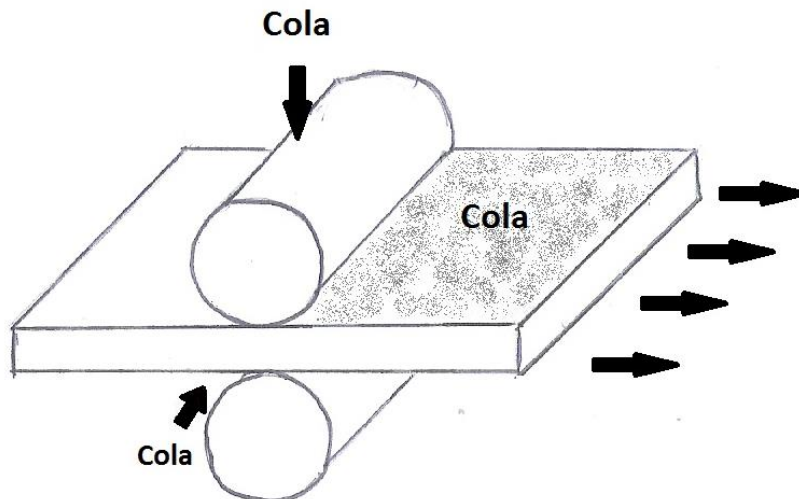


Figura 53 Aplicação de cola no núcleo

- Empilhamento das camadas
- Aplicação de pressão e se necessário temperatura (Figura 54)

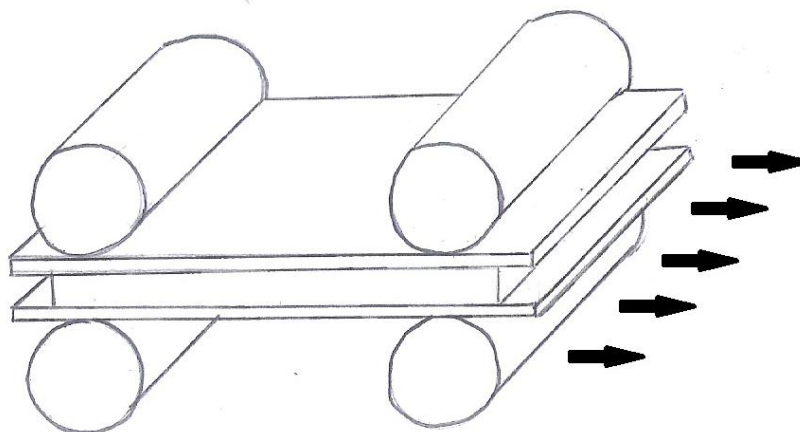


Figura 54 Compressão do painel para garantir uma boa colagem

2. Criação das peles diretamente sobre o núcleo, sendo que estas ficariam “coladas” devido à rugosidade do núcleo ser preenchida pelo polímero (Figura 55).

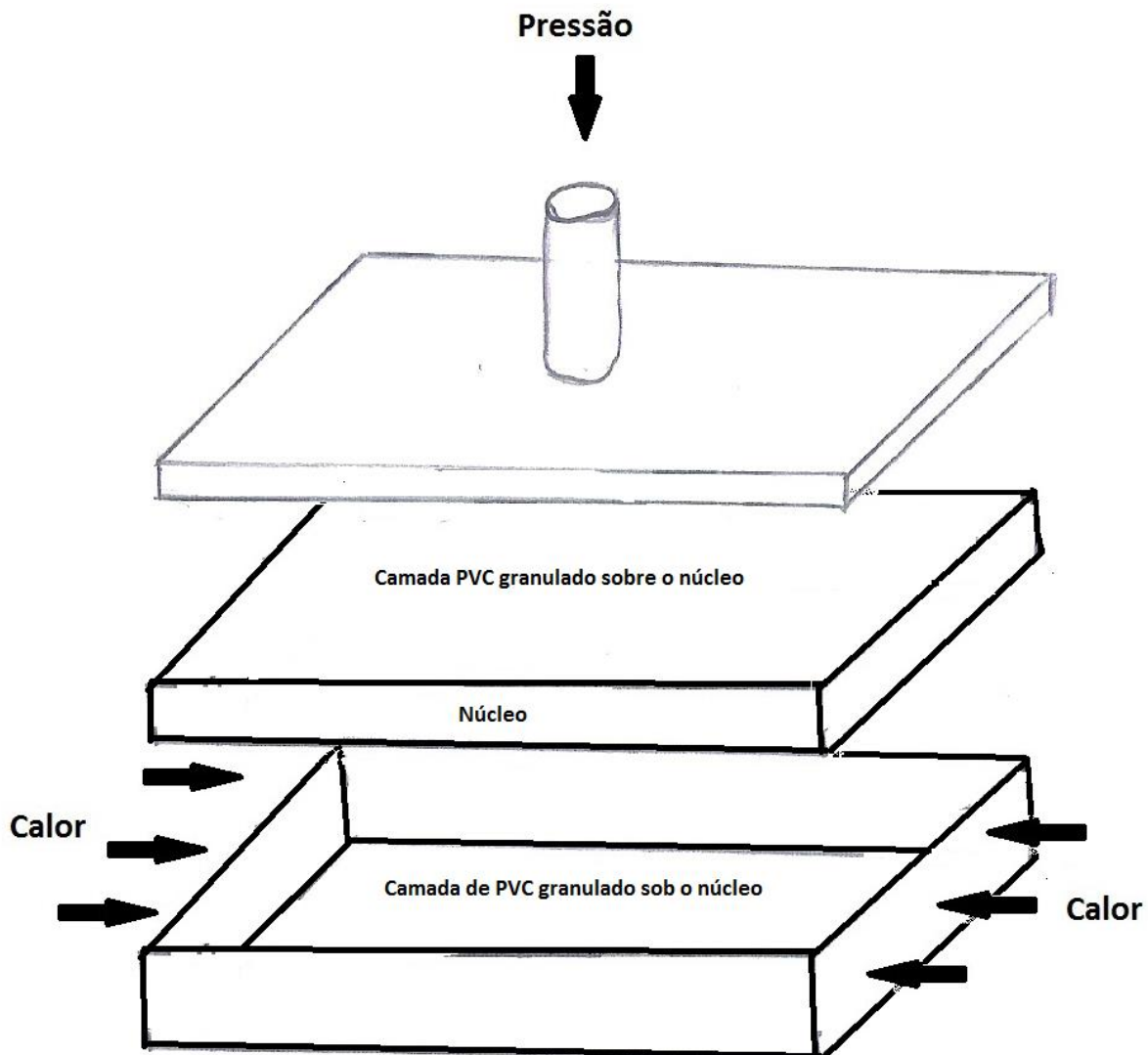


Figura 55 Representação do processo de formação direta do painel

Este processo pode trazer mais dificuldades e problemas a curto e longo prazo que o anterior, uma vez que não conhecemos a degradação da ligação criada com o tempo ou se esta união realmente acontece entre dois materiais tão distintos.

Outro problema que poderá existir é a degradação do núcleo devido às elevadas temperaturas aquando da criação das peles, sendo que o mesmo pode perder as suas propriedades ou até mesmo carbonizar.

#### 4.4.4 Montagem da casa

Este processo será em tudo semelhante ao já existente na montagem de casas utilizando os SIPS, uma vez que o sistema utilizado para este painel é em tudo semelhante ao utilizado nessas construções.

Numa primeira fase é necessário o fabrico dos painéis para que estes cumpram os requisitos existentes para a habitação como por exemplo a existência de aberturas para as janelas e porta.

Em seguida é necessário criar os alicerces que podem ser em madeira ou em betão (Figura 56) e podem inclusivamente permitir a existência de uma cave.

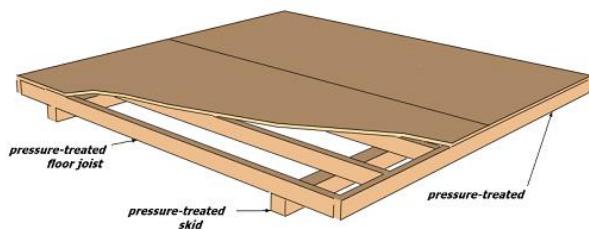


Figura 56 Exemplo de fundações (Khalil 2015)

A esta base é necessário fixar as calhas que irão ser os elementos de ligação dos painéis com os alicerces, um exemplo desse tipo de calha pode ser visto na Figura 57.



Figura 57 Fixação das calhas as fundações (Borson 2014)

A próxima fase é colocar o painel na calha e colar/aparafusá-lo a esta. Uma das formas de colocação dos painéis sobre a calha é o apresentado na Figura 58



Figura 58 Colocação do painel na calha (Borson 2014)

Este processo deve ser repetido para todos os painéis e entre cada repetição os painéis devem ser fixados ao seu adjacente.

Quando todos os painéis estiverem montados, basta apenas colocar o teto. Este pode ser feito de forma tradicional ou utilizando os mesmos painéis usados nas laterais (este caso não foi tido em consideração no dimensionamento dos mesmos, sendo que será aconselhável utilizar uma estrutura clássica por baixo dos mesmos).

## 5 Conclusões e trabalhos futuros

Durante a realização deste trabalho foi possível constatar que o atual sistema de construção “clássico” utilizado em Portugal, que recorre a paredes de alvenaria de blocos de betão ou tijolo de barro vermelho, é muito pouco eficiente termicamente, o que por sua vez leva a um aumento do consumo de energia para manter a temperatura interior da habitação.

Quanto ao sistema desenvolvido e respetivos processos de fabrico pode concluir-se que:

- Apesar de pouco conclusivos, os ensaios realizados mostraram a existência de um enorme potencial por parte do núcleo testado, uma vez que mostrou propriedades térmicas e acústicas interessantes utilizando um material 100% reciclado;
- O desenvolvimento de um processo de fabrico contínuo de painéis compósitos reforçados com fibras é de extrema importância, uma vez que estes painéis podem ser facilmente estampados e reciclados, em oposição aos atuais painéis que usam termoendurecíveis;
- O desenvolvimento de um processo de fabrico como o que foi ambicionado exige um conhecimento extenso e detalhado, seguido de um elevado número de experiências e verificações;
- O conceito desenvolvido mostrou condições para se tornar viável se desenvolvido a longo prazo. Apesar disso, este demonstrou ser mais denso e possivelmente mais caro que as opções existentes no mercado. A maior densidade justifica-se com o facto do PVC e a *Myco Foam* serem quase duas vezes mais densos que os materiais equivalentes usados nos SIP. Apesar de com as condições corretas a *Myco Foam* sair a custo 0, o custo do PVC necessário para o fabrico das peles é superior ao custo das matérias-primas para um SIP;
- O custo apenas da matéria-prima será superior a 80€ (tendo em consideração a aquisição do PVC reciclado a 0,30€/kg). Sendo que o preço final do painel deverá ascender a um valor pouco inferior a 150€ quando acrescentados custos de produção.

Como trabalhos futuros recomendaria:

- A verificação da aplicabilidade dos processos de fabrico propostos, além da definição das variáveis necessárias, como a velocidade de deslocamento, a temperatura de fusão, a temperatura de trabalho e o tempo de aquecimento;
- O fabrico de um painel de PVC com fibras naturais, uma vez que não foi possível realizar durante este trabalho;
- A repetição de todos os testes realizados, utilizando agora o painel idealizado e não apenas as suas partes;
- A realização de todos os ensaios de fogo, de forma a comprovar a aplicabilidade ou não deste painel como sendo uma parede estrutural;
- Cálculo do custo final real para o painel idealizado;
- Otimização das peles de forma a reduzir o seu peso.

## Referências

- Abreu, Pedro Alves. 2014. "Taipa em Portugal." <http://www.architecture-design-corse.com/wp-content/uploads/2014/01/taipa031.jpg>.
- ACMA, American Composites Manufactures Association. 2016. "What are composites?." <http://www.acmanet.org/composites/what-are-composites>.
- AFCAL, Associação dos Fabricantes de Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos. 2010. "DESTINO FINAL > Valorização Energética." [http://www.afcal.pt/destinoFinal\\_valorizacao.php](http://www.afcal.pt/destinoFinal_valorizacao.php).
- Archives, The Classic. 2016. "Deluxe Tree House Look Out Tower Plans." <http://www.theclassicarchives.com/how-to-guides/free-tree-house-lookout-tower-wood-plans>.
- Arnold, Chris. 2016. "Timber Construction."
- ASHRAE, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2009. *ASHRAE Handbook - Fundamentals*
- Borson, Bob. 2014. "Building with Structural Insulated Panels ... or SIPs." <http://www.lifeofanarchitect.com/building-with-structural-insulated-panels-or-sips/>.
- Branco, Jorge M. 2013. *Casas de madeira. Da tradição aos novos desafios, Seminário Casas de Madeira*.
- Channel, Science. 2015. *Pre-Cast Concrete Walls | How It's Made*.
- CompositesWorld. 2014. "Composite Panel Building Systems introduces composite structural insulated panels." <http://www.compositesworld.com/news/composite-panel-building-systems-introduces-composite-structural-insulated-panels>.
- Connections, Organic. 2013. "Growing a Natural Replacement for Styrofoam." <http://organicconnectmag.com/project/natural-replacement-styrofoam/>.
- CPBS, Composite Panel Building Systems. 2016. "Composite Structural Insulated Wall Panel (C-SIP)." <http://compositepanelbuildingsystems.com/products/composite-structural-insulated-wall-panels/>.
- Decagon Devices, Inc. 2012. "KD2 Pro Thermal Properties Analyzer - Operator's Manual."
- Desjarlais, André. 2008. "Which Kind Of Insulation Is Best?." [http://web.ornl.gov/sci/roofs+walls/insulation/ins\\_02.html](http://web.ornl.gov/sci/roofs+walls/insulation/ins_02.html).
- Dictionary.com. 2016. "Sustainability." <http://dictionary.reference.com/cite.html?qh=sustainability&ia=luna>.
- Diynetworks. 2009. "All About the Most Common Types of House Construction." <http://www.diynetwork.com/how-to/rooms-and-spaces/exterior/all-about-the-most-common-types-of-house-construction>.

- EcoDesenvolvimento, Instituto. 2014. "Para substituir plástico, empresa utiliza cogumelos como matéria-prima". EcoDesign. <http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2014/para-substituir-plastico-empresa-utiliza-cogumelos?tag=ecodesign>.
- Ecovative. 2014. "Grow It Yourself Myko Make." <http://giy.ecovatedesign.com/wp-content/uploads/2014/08/giy-instructions2.pdf>.
- Ecovative. 2016a. <http://www.ecovatedesign.com/about>.
- Ecovative. 2016b. "Grow It Yourself Myko Make - Material Specifications." <http://giy.ecovatedesign.com/material-specifications/>.
- Ecovative. 2016c. "Myco Foam." <http://www.ecovatedesign.com/myco-foam>.
- Ferreira, M. G. 2016. "Cappotto." <http://mgferreira.pt/pt/ms/ms/cappotto-etics-2425-274-carreira-lra/ms-90055508-p-3/>.
- FIS, Finishes and Interiors Sector. 2015. *A Guide to Office Acoustics*: FIS.
- Flores-Colen, Inês, Vítor Ferreira, Florindo Gaspar, Sandrina Santos, Fernanda Sá Oliveira, Ana Cravinho, João Gomes, Duarte Serrado, Sónia Cabaça, and Patrícia Lourenço. 2016. "Paredes."
- Fogaça, Jennifer Rocha Vargas. 2016. "Classificação dos polímeros sintéticos." <http://alunosonline.uol.com.br/quimica/classificacao-dos-polimeros-sinteticos.html>.
- Fowler, Paul A, J Mark Hughes, and Robert M Elias. 2006. "Review Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86:1181-9. doi: DOI: 10.1002/jsfa.2558.
- França, Nuno. 2004. "Determinação do coeficiente de absorção sonora."
- Green, Don W., and Robert H. Perry. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7th ed: McGraw-Hill.
- Info, Double Glazing. 2016. "Noise and thermal insulation." <http://www.double-glazing-info.com/Noise-and-thermal-insulation/How-does-it-work/Noise-insulation-with-acoustic-glass>.
- ISO, International Organization for Standardization. 1996. "ISO 10534-1:1996: "Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes -- Part 1: Method using standing wave ratio"." *ISO*.
- ISO, International Organization for Standardization. 2014. "EN ISO 11925-2:2010 - The Ignitability test".
- Jr, Tomas U. Ganiron, and Mohammed Almarwae. 2014. "Prefabricated Technology in a Modular House." *International Journal of Advanced Science and Technology* 73:51-74.
- Khalil, A. O. 2015. "Building the house foundation (základ)." <http://www.missingera.com/#!/Building-the-house-foundation-z%C3%A1klad/c1rfl/55cc78a30cf2a30475fbd2b5>.
- LandLearn. 2016. "What is sustainability?". <http://www.landlearnsw.org.au/sustainability/what-is-sustainability>.
- Life, Waste for. 2016. "Who We Are." [http://wasteforlife.org/?page\\_id=2](http://wasteforlife.org/?page_id=2).
- Marques, António Torres. 2016a. "Sistemas Compósitos UC 2015-2016."
- Marques, Luísa. 2016b. "O que são polímeros e porque são interessantes?"

- Misra, Rudradip. 2013. "Fibre and Fabric Reinforced Composites." <http://www.slideshare.net/ttkbal/fibre-and-fabric-reinforced-composites-21427458>.
- Mosher, Max, Caitlin McGee, and Dick Clarke. 2013. "Insulation." YourHome. <http://www.yourhome.gov.au/sites/prod.yourhome.gov.au/files/pdf/YOURHOME-PassiveDesign-Insulation.pdf>.
- Munach, Rob. 2016. "How it Works: Building Loads." *FineHomebuilding* (212).
- PAROC. 2016. "Sound Insulation." [http://www.paroc.com/knowhow/sound/sound-insulation?sc\\_lang=en](http://www.paroc.com/knowhow/sound/sound-insulation?sc_lang=en).
- Pauels, Markus. 2014. "Emergency shelter Iraq & Syria." Nanjing Sanchuan Pavilion Mfty. Co. Ltd. <http://www.system-tents.com/category/emergency-shelter-iraq-syria/>.
- Planeta, Reciclando o. 2010. "Reciclagem Química." <http://reciclandooplaneta.webnode.com.br/reciclagem/materiais-reciclaveis/plastico/tipos-de-reciclagem-do-plastico/reciclagem-quimica/>.
- Plástico, O Plástico - O Conhecimento do. 2016. "Reciclagem." <https://oplastico.wordpress.com/reciclagem/>.
- Reardon, Chris, and Emily Fewster. 2013. "Waste minimisation." YourHome. <http://www.yourhome.gov.au/materials/waste-minimisation>.
- Rodrigues, Pedro Sousa. 2008. "Interação Engenharia Civil/Acústica com Base na Validação Experimental de Modelos de Desempenho - Baffles Acústicos." Master, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- SBA, Structural Board Association. 2005. *OSB Performance by Design: Oriented Strand Board in Wood Frame Construction*.
- SERC. 2002. "Euroclasses de Reação ao Fogo." *SERC Group*.
- SERC. 2004. "Euroclasses de Resistência ao Fogo." *SERC Group*.
- Services, VTT Expert. 2012. "Determination of the ignitability according to EN ISO 11925-2:2010."
- SIPA, Structural Insulated Panel Association. 2016. "What Are SIPs?." <http://www.sips.org/about/what-are-sips>.
- SIPsEcoPanels. 2013. *The Life of a SIP Panel (How SIPs are made)*
- Solla, Ignacio Fernández. 2010. "U-value: a not so well-known concept ". *Façades Confidential*. <http://facadesconfidential.blogspot.pt/2010/08/u-and-g-values-unified-theory-of.html>.
- Spinacé, Márcia Aparecida da Silva, and Marco Aurelio De Paoli. 2005. "A tecnologia da reciclagem de polímeros." *Quím. Nova* 28 (1).
- Srebrenkoska, Vineta, Gordana Bogoeva-Gaceva, and Dimko Dimeski. 2014. "Biocomposites based on polylactic acid and their thermal behavior after recycling." *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 33 (2):277-85.
- Surfaces, Acoustic. 2016. "Sound Absorption Coefficients." [http://www.acousticalsurfaces.com/acoustic\\_IOI/101\\_13.htm](http://www.acousticalsurfaces.com/acoustic_IOI/101_13.htm).
- Sweden, SP Technical Research Institute of. 2016. "Information about EN ISO 11925-2." [https://www.sp.se/en/index/services/firetest\\_building/firetest\\_bu%C3%ADding/ENISO11952-2/Sidor/default.aspx](https://www.sp.se/en/index/services/firetest_building/firetest_bu%C3%ADding/ENISO11952-2/Sidor/default.aspx).
- Tarr, Martin. 2009. "Basic board materials." [http://www.mtarr.co.uk/courses/topics/0232\\_bbm/index.html](http://www.mtarr.co.uk/courses/topics/0232_bbm/index.html).

- ToolBox, The Engineering. 2016. "Sound Absorption Coefficients for some common Materials". [http://www.engineeringtoolbox.com/acoustic-sound-absorption-d\\_68.html](http://www.engineeringtoolbox.com/acoustic-sound-absorption-d_68.html).
- Torreira, R. P. 1980. *Isolamento Térmico*. São Paulo: Fulton Editora Técnica Ltda.
- Viajeaqui. 2015. "Material feito com cogumelos produz embalagens e objetos sustentáveis e biodegradáveis." <http://viajeaqui.abril.com.br/materias/materia-prima-feita-com-cogumelo-produz-embalagens-e-objetos-sustentaveis-e-biodegradaveis>.
- WCED, World Commission on Environment and Development. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.
- Weeks, Katie. 2013. "How It's Made: Oriented Strand Board." [http://www.ecobuildingpulse.com/projects/how-its-made-oriented-strand-board\\_o](http://www.ecobuildingpulse.com/projects/how-its-made-oriented-strand-board_o).
- Wikipédia. 2013. "Sustentabilidade." Last Modified Março de 2016. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sustentabilidade>.

**Anexos**

# Anexos



Anexo 2

**FOLHA DE ENSAIO DO SINGLE FLAME TEST  
(EN ISO 11925:2010)**

LFF  
Laboratório de Fumo e Fogo

Página: 1 de 1

Aprovado: *PD* Elaborado: *PD* Data: 2016/06/03

| REFERÊNCIA DE PROVETE | EXPOSIÇÃO (*) | ORIENTAÇÃO | APLICAÇÃO DO QUEIMADOR (s) | IGNIÇÃO (s) | COMPRIMENTO DESTRUÍDO (mm) | TEMPO ATINGIR 150 mm (s) | EXTINÇÃO (s) | QUEDA DE GOTAS | INFLAMAÇÃO PAPEL FILTRO |
|-----------------------|---------------|------------|----------------------------|-------------|----------------------------|--------------------------|--------------|----------------|-------------------------|
| PVC 1                 | B             | —          | 30                         | 4           | 28                         | N/ATINGE                 | 32           | N              | N                       |
| PVC 2                 | B             | —          | 30                         | 3           | 25                         | N/ATINGE                 | 31           | N              | N                       |
| PVC 3                 | B             | —          | 30                         | 4           | 30                         | N/ATINGE                 | 31           | N              | N                       |
| PVC CEL 25            | B             | —          | 30                         | 3           | 20                         | N/ATINGE                 | 31           | N              | N                       |
| PVC CEL 25            | B             | —          | 30                         | 5           | 22                         | N/ATINGE                 | 31           | N              | N                       |
| PVC CEL 25            | B             | —          | 30                         | 6           | 24                         | N/ATINGE                 | 31           | N              | N                       |
|                       |               |            |                            |             |                            |                          |              |                |                         |
|                       |               |            |                            |             |                            |                          |              |                |                         |
|                       |               |            |                            |             |                            |                          |              |                |                         |
|                       |               |            |                            |             |                            |                          |              |                |                         |


(\*) S - SUPERFICIAL B - BORDO L - LATERAL

V. EXTRACÇÃO (m/s) 0,71

12 DIAS CONDICIONAMENTOS

23 ± 2 °C 50 ± 5 %

CLASSIFICAÇÃO D, E, B



Reprodução Proibida

I.563.03

## Anexo 3

|             |  | <b>Temperatura<br/>(°C)</b> | <b>k (W/m.K)</b> | <b>R (m.K/W)</b> | <b>C (MJ/m³K)</b>    | <b>D (m²/s)</b> |          |
|-------------|--|-----------------------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------|----------|
| <b>KS-1</b> |  | 25,7                        | 0,038            | 26,21            | <b>Não Aplicável</b> |                 |          |
|             |  | 25,66                       | 0,041            | 24,33            |                      |                 |          |
|             |  | 25,66                       | 0,043            | 23,5             |                      |                 |          |
|             |  | 25,95                       | 0,042            | 23,64            |                      |                 |          |
|             |  | 25,93                       | 0,044            | 22,71            |                      |                 |          |
|             |  | 26,34                       | 0,039            | 25,77            |                      |                 |          |
|             |  | 26,44                       | 0,039            | 25,54            |                      |                 |          |
|             |  | 26,47                       | 0,038            | 26,23            |                      |                 |          |
|             |  | 26,38                       | 0,039            | 25,82            |                      |                 |          |
|             |  | 26,42                       | 0,039            | 25,67            |                      |                 |          |
|             |  | <b>Média</b>                | 26,095           | 0,0402           |                      | 24,942          |          |
|             |  | <b>Desvio P.</b>            | 0,34789          | 0,00215          |                      | 1,279833        |          |
| <b>TR-1</b> |  | 26,15                       | 0,034            | 29,03            |                      |                 |          |
|             |  | 26,96                       | 0,059            | 16,92            |                      |                 |          |
|             |  | 27,12                       | 0,058            | 17,21            |                      |                 |          |
|             |  | 27,05                       | 0,056            | 17,82            |                      |                 |          |
|             |  | 26,99                       | 0,061            | 16,46            |                      |                 |          |
|             |  | 27,09                       | 0,057            | 17,69            |                      |                 |          |
|             |  | <b>Média</b>                | 26,89333         | 0,054167         | 19,18833             |                 |          |
|             |  | <b>Desvio P.</b>            | 0,369035         | 0,010028         | 4,84724              |                 |          |
| <b>SH-1</b> |  | 25,95                       | 0,1              | 10,04            | 0,608                | 0,164           |          |
|             |  | 25,3                        | 0,09             | 11,06            | 0,57                 | 0,159           |          |
|             |  | 25,48                       | 0,089            | 11,19            | 0,567                | 0,157           |          |
|             |  | 25,95                       | 0,085            | 11,75            | 0,553                | 0,154           |          |
|             |  | <b>Média</b>                | 25,67            | 0,091            | 11,01                | 0,5745          | 0,1585   |
|             |  | <b>Desvio P.</b>            | 0,331562         | 0,006377         | 0,712601             | 0,02353         | 0,004203 |