

METODOLOGIAS CONSTRUTIVAS ADEQUADAS A UM EDIFÍCIO MODULAR LEVE

José Américo Vieira dos Santos Henriques

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos
Coorientador: Engenheiro Sérgio Gonçalves de Almeida

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL Tel.

+351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por:

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias 4200-465

PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha mãe, Irmã e Namorada

Persue one great decisive aim with force and determination.

Carl von Clausewit

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de fazer um agradecimento ao meu orientador, Professor Dr. Nuno Manuel Monteiro Ramos, por toda a sua disponibilidade, paciência e objetividade na orientação e cujas perseverança e energia me motivaram ao longo desta dissertação, tendo-me auxiliado a chegar com sucesso ao final desta etapa.

À empresa Dreamdomus, agradeço o facto de me ter proporcionado um estudo de caso sobre construções modulares, assim como a disponibilização de material de ensaio e o voto de confiança, permitindo-me elevar o nível desta dissertação.

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto “H0ME ZERO”, com referência POCI-01-0247-FEDER-017840, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020) e do Portugal 2020.

Aos meus amigos e colegas de curso que, de forma mais ou menos relevante, fizeram parte do meu percurso académico nesta Faculdade e fizeram desta viagem os melhores anos da minha vida, endereço igualmente um sincero agradecimento. Obrigado por estarem presentes quando precisei, por toda a partilha e apoio- espero que os nossos caminhos continuem a cruzar-se ao longo da vida. Um especial obrigado para os amigos que trago do meu percurso enquanto voluntário, que me têm acompanhado nos últimos três anos e os quais espero levar para o resto do meu percurso, tanto a nível pessoal como cívico.

Um especial agradecimento também para a minha namorada Joana, por todo o amor que me deu bem como força de vontade para lutar contra as dificuldades até finalmente sair vencedor. E, acima de tudo, por acreditar em mim sempre, mesmo quando eu não acreditava mim próprio.

Por fim o maior agradecimento de todos irá para a minha mãe e irmã, por me terem acompanhado e acreditado em mim toda a minha vida, em particular nesta última etapa por elas tão aguardada, durante a qual seguraram a minha mão repetindo com confiança “está quase, só mais um esforço”.

Com a noção do enriquecimento que todos trouxeram ao meu caminho, reitero aqui o meu obrigado sentido.

Resumo

Esta dissertação tem o seu foco no conceito de construção modular, mais concretamente na sua performance energética e na estanquidade da sua fachada. Essas duas propriedades foram analisadas e integradas no estudo de caso no qual esta dissertação se apoia, o sistema modular da empresa Dreamdomus.

Inicialmente foi apresentado o conceito de NZEB, sendo este o ponto de performance energética que se pretende atingir. Seguidamente foram discutidas diversas opções de tecnologias (ativas e passivas) para tornar este tipo de habitações em NZEBs, com o intuito de se efetuar posteriormente uma comparação que permitisse perceber quais as mais adequadas ao conceito de casa modular.

De seguida foi apresentado em detalhe o conceito de construção modular, quais as suas características, vantagens e desvantagens assim como algumas tipologias passíveis de ser aplicadas na sua fachada. Adicionalmente, tendo em consideração o sistema Dreamdomus, foram expostas as metodologias de validação normativas que deveriam ser utilizadas tendo em conta as diferentes exigências que lhes são impostas.

No seguimento da análise deste sistema, sendo que uma das principais preocupações para se atingir uma boa performance neste tipo de fachada é a estanquidade, esta foi também alvo de discussão. Para tal, apresentaram-se e descreveram-se metodologias construtivas que contribuem para a estanquidade, bem como quais os ensaios normativos para a testar e os valores entre os quais os resultados se devem apresentar. Neste âmbito foi realizado um ensaio laboratorial de estanquidade em provetes que simulavam as possíveis constituições de fachada dentro do sistema em estudo. O ensaio foi realizado com recurso a tubos de Karsten e teve o objetivo de avaliar a estanquidade à água de diferentes opções de revestimento exterior.

Por fim, utilizando os conhecimentos e dados adquiridos, são sugeridos pormenores possivelmente utilizáveis na conceção de fachadas que irão proporcionar os valores de estanquidade desejados e acomodar as tecnologias que visam uma performance NZEB.

Palavras-chave: construção modular, NZEB, desempenho energético, estanquidade, pormenores construtivos.

Abstract

This dissertation focuses on the concept of modular construction, more specifically on its energy performance and the tightness of its façade. These two properties were analyzed and integrated in the case study on which this dissertation is based, the modular system of the company Dreamdomus.

Initially, the NZEB concept was presented, which is the energy performance point that is intended to be achieved. Next, several options of technologies (active and passive) to make this type of dwellings in NZEBs were discussed, with the purpose of making a comparison later to see which one is the most appropriate for the modular home concept.

Next, the concept of modular construction was presented in detail, what are its characteristics, advantages and disadvantages as well as some typologies that can be applied to its façade. In addition, taking into account the Dreamdomus system, the normative validation methodologies that should be used have been exposed taking into account the different requirements that are imposed on them.

Following the analysis of this system, being one of the main concerns to achieve a good performance in this type of façade is the tightness, this was also the subject of discussion. To that end, constructive methodologies have been presented and described that contribute to the tightness, as well as which normative tests to test and the values among which the results should be presented. In this context, a laboratory test of watertightness was carried out on specimens that simulated the possible facade constitutions within the system under study. The test was performed using Karsten tubes and had the objective of evaluating the watertightness of different exterior coating options.

Finally, using the knowledge and data acquired, possible details are suggested that can be used in the design of façades that will provide the desired sealing values and accommodate the technologies that aim at NZEB performance.

Key words: modular construction, NZEB, energy performance, tightness, constructive details.

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice Geral	vii
Índice de figuras	x
Índice de tabelas	xiii
Abreviaturas e símbolos	xv
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Organização e estrutura da dissertação	2
2. Estado da arte	3
2.1 Edifícios NZEB	3
2.1.1 Conceito	3
2.1.2 Metas e parâmetros	5
2.1.3 Tecnologias ativas.....	7
2.1.3.1 Energia solar	7
2.1.3.2 Energia geotérmica	11
2.1.4 Tecnologias passivas.....	13
2.1.4.1 Exemplos de reabilitação para a eficiência energética.....	16
2.2 Introdução à construção modular	20
2.2.1 Conceito	20
2.2.2 Tecnologias disponíveis	21
2.2.2.1 SIPs (Structured Insulated Panels).....	21
2.2.2.2 Kits com estrutura metálica.....	25
2.2.3 Painel sandwich	28
2.3 Enquadramento normativo	30
2.3.1 Regulamento de Produtos de Construção (RPC).....	30
2.3.2 European Technical Approval Guidelines (ETAG's)	32

3. Metodologia de validação do sistema construtivo	33
3.1 Estrutura geral	33
3.2 Resistência mecânica e estabilidade	35
3.3 Segurança contra incêndios	36
3.4 Higiene, saúde e ambiente	37
3.5 Segurança no uso	38
3.6 Proteção contra ruído	39
3.7 Eficiência energética e retenção de calor	40
3.8 Durabilidade e identificação	41
4. Estanquidade	43
4.1 Estanquidade	43
4.1.1 Estanquidade ao ar	43
4.1.2 Estanquidade à água	44
4.2 Requisitos de estanquidade	47
4.3 Como a estanquidade é testada?	49
4.5 Ensaio de permeabilidade à água líquida	53
5. Seleção de componentes e pormenores construtivos	61
5.1 Constituição da fachada	61
5.2 Painel sandwich	62
5.3 Adesivos	63
5.4 Juntas	65
5.4.1 Painel-Painel	65
5.4.2 Painel-Fundação	68
5.4.3 Painel-Laje.....	70
5.4.4 Painel-Janela e painel-porta.....	70
5.4.5 Painel-Teto.....	71
5.5 Revestimento interior e exterior	72
6. Conclusões	75
6.1 Conclusões gerais	76
6.2 Desenvolvimentos futuros	76
Referências Bibliográficas	77

Índice de figuras

Figura 1 - Valores máximos de energia gasta pelos NZEB	4
Figura 2 - Gráfico de valores acumulados de custos de cada renovação adaptado de Almeida (2016)	10
Figura 3 - Gráfico de valores de CO2 acumulados de cada renovação adaptado de Almeida (2016)	10
Figura 5 - Casa modular Dreamdomus (Dreamdomus, 2017).....	20
Figura 6 - Esquema de marcação CE	32
Figura 7 - Documentos relevantes para a validação do produto	33
Figura 8 - Esquema de resistência mecânica e estabilidade.....	35
Figura 9 Esquema de segurança contra incêndios.....	36
Figura 10 - Esquema de higiene, saúde e ambiente	37
Figura 11 - Esquema de segurança no uso	38
Figura 12 - Esquema de proteção contra ruído	39
Figura 13 - Esquema de eficiência energética e retenção de calor.....	40
Figura 14 - Esquema de durabilidade e identificação	41
Figura 15 - Comparação entre parede convencional e parede de painel sandwich adaptada de Lstiburek (2015).....	44
Figura 16 - Expulsão de água da chuva adaptada de Lstibure (2015)	45
Figura 17 - Forças que produzem a penetração de água de chuva adaptadas de GARDEN (1963)	45
Figura 18 - Precipitação anual acumulada adaptada de SNIRH (2016).....	46
Figura 19 - Revestimento ventilado e drenado adaptado de Lstiburek (2015).....	47
Figura 20 – Material de ensaio segundo a EN 12114.....	49
Figura 22 - Valores de ensaios e limites de estanquidade ao ar adaptados de AESIE (2010) ..	51
Figura 23 – Esquema de ensaio segundo a EN 12865 adaptado de AESIE (2010)	51
Figura 24 - Diferenças de pressão durante o ensaio adaptadas de AESIE (2010).....	52
Figura 25 - Tubos de Karsten.....	53
Figura 26 - Provetes de amostra I e II.....	54
Figura 27 - Posições de ensaio no provete I.....	55
Figura 28 - Posições de ensaio no provete II.....	55
Figura 29 - Procedimento de ensaio	56
Figura 30 – Água saindo pelo fundo do provete	56
Figura 31 - OSB molhado devido ao ensaio	57
Figura 32 - Gráfico de ensaio do ponto 1.1	57
Figura 33 - Gráfico de ensaio do ponto 1.2.....	58
Figura 34 - Gráfico de ensaio do ponto 1.2 com linha de tendência	58
Figura 35 - Sistema Dreamdomus adaptado de Dreamdomus (2017)	61
Figura 36 – Força de ligação interna de adesivos adaptada de Carvalho (2015)	64
Figura 37 - Legenda dos pormenores construtivos.....	65
Figura 38 - Esquema de ligação painel-painel.....	66
Figura 39 - Localização do vedante	66
Figura 41 - Ligação alternativa painel-painel	67
Figura 42 - Ligação alternativa painel-painel com duplo perfil de LSF	67
Figura 43 - Esquema de pregagem.....	68
Figura 44 - Esquema de junta de um canto	68
Figura 45 - Esquema de junta de parede com a fundação.....	69
Figura 46 - Esquema de junta de parede com pavimento	69

Figura 47 - Esquema de junta de parede com piso intermédio	70
Figura 48 – Ligação painel-janela	71
Figura 49 - Esquema de junta de parede com cobertura	71
Figura 50 - Esquema de junta de parede com cobertura em painel.....	72
Figura 51 – Revestimento drenado adaptado de Lstiburek (2015).....	73
Figura 52- Revestimento de estuque reforçado com arame adaptado de Lstiburek (2015)	73

Índice de tabelas

Tabela 1 - Resultados dos cálculos de clima e energia internos para os requisitos nacionais dos NZEB adaptados de Almeida (2016)	6
Tabela 2 - Tabela adaptada de materiais nas diferentes análises de Almeida (2016).....	9
Tabela 3 – Resultados da simulação anual adaptados de Fadejev (2016)	12
Tabela 4- Opções de isolamento adaptadas de Mendes (2012)	15
Tabela 5 - Edifício Jin Yu He Pan adaptado de Naiyuan Xiao (2014)	16
Tabela 6 - Edifício Shandong University adaptado de Naiyuan Xiao (2014)	17
Tabela 7 - Brogåden Alingsås adaptado de Naiyuan Xiao (2014).....	17
Tabela 8 - Edifício Villa malmborg adaptado de Naiyuan Xiao (2014)	18
Tabela 9 - Valores de energia segundo vários parâmetros adaptados de Ipbüker (2017).....	19
Tabela 10 - Tipologia SIP's	23
Tabela 11 – Tipologia Kit com estrutura metálica	26
Tabela 12 - Tipologia painel sandwich	29
Tabela 13 - Precipitação acumulada por distrito adaptada de SNIRH (2016).....	46
Tabela 14 - Requisitos nacionais de estanquidade ao ar adaptados de Langmans (2013).....	48
Tabela 15 - Intervalos de tempo e pressão do ensaio adaptados de AESIE (2010).....	52
Tabela 16 - Comparação entre painel de OSB e de magnésio	62
Tabela 17 - Usos e limitações dos adesivos adaptados de Wilczak (2014)	64
Tabela 18 - Comparação entre revestimentos	74

Abreviaturas

- AVAC – Água, Ventilação e Ar Condicionado
CE – Conformidade Europeia
CFC – Clorofluorcarboneto
CPF – Controlo de Produção em Fábrica
DND – Desempenho Não Determinado
EN – European Normative
EOTA – European Organisation for Technical Approvals
EPBD – Energy Performance of Buildings Directive
EPS – Poliestireno expandido
EPV – Energy Performance Value
ETA – European Technical Approval
ETAG – European Technical Approval Guidelines
ETI – Ensaio de tipo inicial
ETICS – External Thermal Insulation Composite System
FV – Fotovoltaicos
GWP – Global Warming Potencial
LSF – Light Steel Frame
NZEB – Nearly Zero Energy Buildings
OAT – Organismos de Avaliação Técnica
OSB – Oriented Strand Board
RPC – Regulamento dos Produtos de Construção
SCOP - Seasonal Coefficient of Performance
SIP – structural insulated panel
XPS – Poliestireno extrudido
ZEB – Zero Energy Buildings

Símbolos

- c – Capacidade térmica específica (J/(kg·K))
 C_A – Coeficiente de absorção de água (ml/min)
 q_{50} – Valor de estanquidade ao ar ($m^3/(h \cdot m^2)$)
 U – Condutibilidade térmica ($W/m^2 \cdot K$)
 μ – Fator de resistência à difusão do vapor de água
 ρ – Massa volúmica (kg/m^3)
 Ψ – Condutibilidade térmica linear ($W/m \cdot K$)

1

Introdução

1.1 Enquadramento

A construção modular representa apenas uma pequena parte da indústria de construção nacional. Não existem muitas empresas que sejam capazes de levar a cabo esta metodologia construtiva, no entanto o seu uso tem vindo a crescer progressivamente devido às vantagens que esta apresenta em contraposição à construção dita corrente. O facto de não existir, atualmente, muita difusão deste tipo de construção, acresce à sua execução algumas dificuldades provenientes do desconhecimento – sendo a fraca consciencialização nacional quanto aos seus detalhes e propriedades construtivas um exemplo. Este facto poderá levantar questões de performance (nomeadamente energética) e de carácter técnico (estanquidade, por exemplo).

Ainda, como são produzidas por assemblagem de elementos e não com elementos contínuos, se não existirem os cuidados devidos, esta característica poderá significar que a sua envolvente será pouco permeável, quer à água quer ao ar. É, por isso, importante o conhecimento sobre como garantir a devida estanquidade, sobretudo nos pontos mais críticos. Para tal devem ser adotadas metodologias construtivas que garantam o bom desempenho do edifício nestas duas componentes.

No caso do presente trabalho, a ideia será aplicar as metodologias construtivas supracitadas ao sistema Dreamdomus. Este sistema consiste no uso de painéis sandwich, com placas rígidas de OSB e EPS para a realização da fachada e de LSF para realização da estrutura.

Considerando que, no âmbito da decisão da Comissão Europeia que dita que a partir de 2020 todos os novos edifícios terão de ser NZEB, esta dissertação procura encontrar forma de proporcionar um bom desempenho energético para o sistema Dreamdomus, tendo como um dos objetivos traçados que este alcance os requisitos para ser considerado um NZEB.

1.2 Objetivos

Os principais objetivos desta dissertação são:

- Compreender o que é uma construção modular leve;
- Analisar o efeito que diferentes tecnologias têm no alcance do conceito NZEB e quais as mais adequadas para o sistema construtivo utilizado pela empresa;
- Fazer uma análise normativa para averiguar o que é aplicável ao sistema em estudo e os ensaios requeridos;
- Definir metodologias construtivas que garantam a estanquidade, ao ar e à água, ao longo de toda a fachada;

- Fazer ensaios, com recurso a tubos de Karsten, aplicados às metodologias construtivas estudadas a fim de as comparar e testar a sua estanquidade;
- Com base nos resultados obtidos nos ensaios propor alterações que melhorem o comportamento deste tipo de construção.

1.3 Organização e estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução

Neste capítulo é feita a apresentação da dissertação através do seu enquadramento, objetivos e estrutura.

- Capítulo 2 – Estado da arte

Inicia-se pela apresentação do conceito NZEB, seguido pelos parâmetros e metas que se pretendem atingir com a sua aplicação. As diferentes tecnologias e o seu contributo para o alcance das metas estabelecidas também são aqui discutidas, sejam elas ativas, apoiando-se em fontes de energia renováveis ou passivas, integradas na própria constituição do edifício. Por fim, o capítulo irá expor o conceito de construção modular, detalhes sobre as tecnologias recomendadas neste caso e o seu respetivo enquadramento normativo.

- Capítulo 3 – Metodologia de validação do sistema construtivo

Este capítulo é composto por diagramas que têm como objetivo orientar o processo de validação do sistema construtivo. São portanto apresentadas normas harmonizadas e ETAGs às quais o sistema tem de obedecer, bem como as respetivas normas de ensaio por elas apontadas para todas as sete características fundamentais da construção.

- Capítulo 4 – Estanquidade

O capítulo 4 foca-se na estanquidade da fachada do sistema em análise. A estanquidade, quer ao ar quer à água, é definida, comentada relativamente à sua importância e aos problemas que acarreta. São igualmente descritas metodologias construtivas para garantir esta mesma estanquidade. O capítulo fala ainda sobre a legislação aplicável ao sistema de construção modular relativamente à estanquidade, bem como sobre os respetivos ensaios definidos a fim de assegurar a mesma. É também realizado um ensaio laboratorial, utilizando provetes amostra representativos de dois diferentes revestimentos possíveis do sistema em estudo, com vista a testá-los relativamente à estanquidade à água.

- Capítulo 5 – Seleção de componentes e pormenores construtivos

Neste capítulo são apresentados diferentes pormenores construtivos possíveis de se utilizar no sistema em estudo, assim como possíveis alternativas de materiais que estes possam incorporar. Com este objetivo são apresentados os componentes básicos da parede (da sua constituição base e revestimentos), definidas alternativas para cada um e expostos desenhos de pormenor das partes mais cruciais deste tipo de construção, as juntas.

- Capítulo 6 – Conclusões

No capítulo final é apresentada uma síntese dos resultados obtidos, as conclusões alcançadas e possibilidades futuras de trabalho a desenvolver no seguimento deste tema.

2

Estado da arte

2.1 Edifícios NZEB

2.1.1 Conceito

O conceito NZEB (Nearly Zero Energy Buildings) tem vindo a ser debatido nos últimos anos não só a nível nacional, mas também a nível europeu. O que começou por ser um conceito que se auto explicava pelo nome “edifícios com gasto energético perto de zero”, acabou por ser um tópico debatido. Assim sendo, partindo do conceito base: “um edifício com um desempenho energético muito elevado no qual as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades.” (INESCTED, 2015). Conceito a partir do qual, cada um dos Estados-Membros da União Europeia ficou até 2017 com a responsabilidade de definir que valor representa o “quase nulas” e “nas proximidades”. O objetivo é que em 2018 todos os novos edifícios públicos sejam NZEB, o mesmo será válido em 2020 para todos os novos edifícios (Europeia, 2017).

Em 2015 Portugal avançou com uma definição nesse sentido, contudo incompleta, com a revisão do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, 2013. A definição está presente no Art.16 alínea 2 e diz: “São edifícios com necessidades quase nulas de energia os que tenham um elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulte em grande medida de energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades.” (MEE, 2013).

Apesar de Portugal ainda não ter definido estes valores alguns países já o fizeram, sendo os seus valores de energia máxima (Kw.h/m²) que pode ser gasta, por ano, por cada edifício NZEB residencial construído os representados na *Figura 1*.

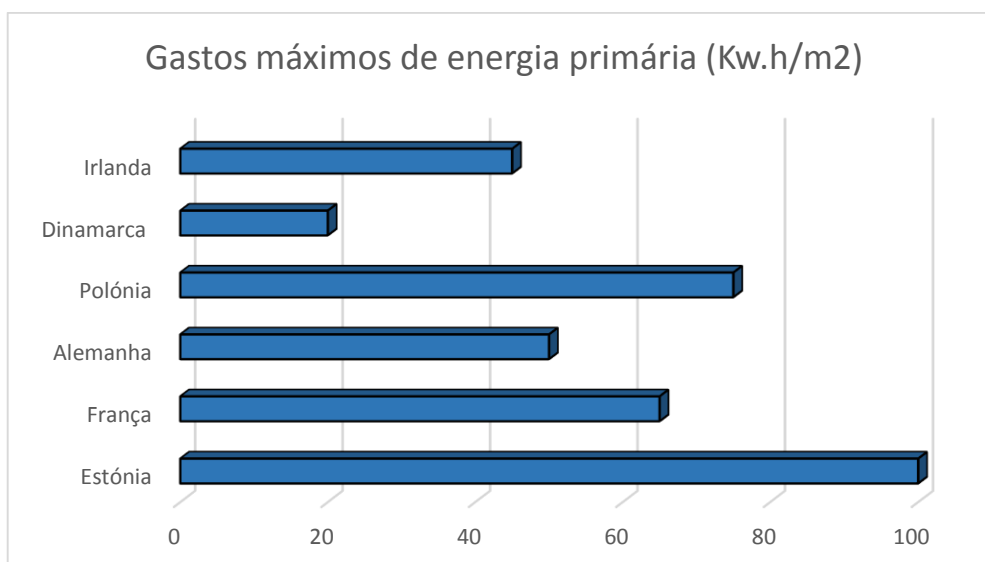


Figura 1 - Valores máximos de energia gasta pelos NZEB

Em Portugal, não só o valor concreto da energia que seria considerado perto de zero não foi definido, mas também o que é entendido por “local ou nas proximidades”. Esta questão pode ser muito limitativa quando se trata de converter um edifício em um NZEB, uma vez que certas fontes de energia renovável (por exemplo energia eólica e das marés) não estão propriamente próximas de todos os futuros NZEB. Isto fará com que a energia solar seja a mais popular para se atingirem as metas pretendidas (Europeia, 2017). A geotérmica também seria uma boa aposta e apresenta bons resultados energéticos. A sua instalação tem no entanto muito mais limitações do que as formas de aproveitamento de energia solar, o que não irá permitir que esta seja uma opção constante em território nacional (Ascenso, 2011).

É de salientar que esta obrigatoriedade de uso de fontes de energia renováveis faz com que os NZEB não sejam sinónimos de uma melhor rentabilidade económica. Apesar de pouparem muito o meio ambiente relativamente aos edifícios convencionais, necessitam de um investimento inicial elevado. Esse investimento pode compensar a longo prazo deste que, durante o seu ciclo de vida o edifício apresente níveis ótimos de rentabilidade (Casquiço, 2016).

Com o objetivo de saber quais as medidas que, ao longo do ciclo de vida de um edifício, resolvem problemas de nível funcional, para além de melhorarem o seu desempenho energético ao ponto deste ser chamado NZEB, Almeida (2016), realizou o estudo “Definição de nZEB em Portugal – Contributo com base em análises de custo de ciclo de vida”. Este trabalho utilizou edifícios de referência representativos do parque nacional português, os quais não têm o seu desempenho energético melhorado e comparou-os com situações em que estas medidas foram aplicadas. Deste modo seria possível saber qual a situação mais rentável e quais as medidas que conduzem à mesma. A análise visou sobretudo as medidas que conduzem a níveis ótimos de rentabilidade, sendo de seguida analisado o comportamento destas medidas em função da utilização de diferentes sistemas AVAC e de produção de água quente sanitária, em especial de sistemas que têm um contributo de energia com fonte renovável. Deste modo seria possível fazer uma análise à definição dos NZEB em dois pontos: por um lado, perceber quais as medidas de envolvente que providenciam alta rentabilidade; por outro, qual o contributo das energias renováveis.

O método utilizado para descobrir quais as melhores soluções, foi o uso de combinações de medidas que visam melhorar o desempenho da envolvente, juntamente com diferentes sistemas AVAC e de produção de água quente. Foram consideradas pelo menos seis combinações em cada

edifício, a partir das quais se obtiveram curvas de custos. Pela comparação das várias curvas pôde-se concluir que mesmo existindo diferenças nos custos globais a combinação que origina um menor custo é a mesma para todos os edifícios. Ou seja, é a que apresenta melhores valores de performance e rendimento nos sistemas AVAC e aquecimento de água.

Deste modo, seria possível concluir também que apenas as medidas da envolvente ou os sistemas com recurso às energias renováveis não são suficientes para se atingir os valores NZEB pretendidos. Teria portanto de existir uma cooperação entre ambos para que sejam reduzidas as necessidades de energia primária não renovável e as emissões de dióxido de carbono, ao ponto de justificar o investimento.

2.1.2 Metas e parâmetros

Segundo a reformulação do EPBD (2010), os edifícios são responsáveis pelo gasto de 40% do consumo de energia total da União Europeia. Para além disto, aproximadamente 30% do total de emissões de CO₂ na Europa é proveniente dos seus edifícios. (Barbosa, 2003).

Existem no entanto protocolos a cumprir que limitam os consumos energéticos e as emissões de gases nocivos. Com o aquecimento global em processo de agravamento os líderes mundiais tentam impor metas e implementar medidas a serem aplicadas por todos para o desacelerar. Essas medidas foram discutidas durante o acordo de Paris, no entanto não foram estabelecidos valores concretos para a redução das emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera. Apesar disso, há um consenso global em como a emissão destes têm de sofrer uma redução e como tal houve o compromisso de adotar medidas rápidas com recurso à melhor ciência possível (Globo, 2016) .

Estas medidas passam muito pelo crescente uso de energias limpas e renováveis e reduzir o consumo energético do sector. Foi no contexto desta necessidade que o conceito de NZEB, apresentado anteriormente, foi concebido. Construir edifícios com gasto energético perto de zero, capazes de produzir parte da sua própria energia com recurso apenas a fontes limpas e renováveis. Estes edifícios são a resposta ideal para os objetivos impostos a todos os Estados-Membros, no caso de Portugal estes estão inseridos no projeto Portugal 2020. O projeto Portugal 2020 é um acordo entre Portugal e a Comissão Europeia no qual se definem as políticas de desenvolvimento económico, social e territorial em Portugal entre 2014 e 2020. Para tal, até 2020, Portugal vai receber 25 mil milhões de euros para avançar com as políticas definidas. Particularizando, no sector da construção, incidem sobre a energia gasta, o uso de energias renováveis e a emissão de gases de efeito de estufa (DGEG, 2017). Mais concretamente os objetivos são até 2020:

- Redução da emissão de gases de efeito de estufa em 20%;
- Reduzir o uso de energia primária em 20%;
- Aumentar o uso de energias renováveis em 20%

Os valores acordados com a Comissão Europeia para o alcance dos NZEB variam muito entre os diferentes Estados-Membros. Apesar da definição base ser comum para todas as legislações, economia, recursos e clima nacionais influenciam muito os valores dos parâmetros a ser estabelecidos em cada país (Europe, 2015) .

Foi realizado um estudo com profissionais de várias nacionalidades que mostra quais os valores destes parâmetros que levam aos NZEB para seis países diferentes: Dinamarca, Estónia, Letónia, Portugal, Republica Checa e Holanda. Esses valores vão de encontro aos valores já definidos pelas definições NZEB de cada país, se já estipulados. O quadro resumo dos valores dos parâmetros calculados no estudo em questão, “What kind of heat loss requirements nzeb and deep

renovation sets for building envelope?" (Almeida, 2016) , podem ser consultados na *Tabela 1* retirada do mesmo.

Tabela 1 - Resultados dos cálculos de clima e energia internos para os requisitos nacionais dos NZEB adaptados de Almeida (2016)

Propriedades do edifício	Países onde foram usados os métodos nacionais de cálculo energético					
	Dinamarca	Estónia	Letónia	Republica Checa	Portugal	Holanda
Necessidades dos edifícios (uso bruto (sem as perdas dos sistemas técnicos), kWh/(m ² .a))						
Aquecimento	2.2-7	11.7	11.8	37	16.1	22.7
Arrefecimento				-	3.2	9.4
Ventilação	Aquecimento	5.6	15.5	Aquecimento	15	Aquecimento
Água quente	14	30	56	20.7	29.3	21.4
Aparelhos, iluminação	-	29.5	16.7	8.2	-	12.8
Ventoinhas, bombas	1.59	6.2	10.8	-	-	1.91
Calor e eletricidade produzidos no local, kWh/(m ² .a)						
Coletor solar	0	21	21	0	10.4	Em DHW
Painéis FV	0	5.5	0	0	0	56.9
Bomba de calor	0	0	0	0	25.8	0
Coletores (m ²)	0	180	200	0	69	4
Painéis FV (m ²)	0	150	0	0	0	26
Uso primário de energia, kWh/(m ² .a)						
Desempenho energético	20	91	85	92	35	11.4
Envolvente do edifício						
U_{parede} (W/m ² .K)/ $\Psi_{parede/parede}$	0.14/n.a	0.11/0.15	0.19/0.1	0.25	0.47/0.50	0.16
U_{tecto} (W/m ² .K)/ $\Psi_{tecto/parede}$	0.11/n.a	0.08/0.17	0.16/0.1	0.2	0.32/1.00	0.16
$U_{chão}$ (W/m ² .K)/ $\Psi_{chão/parede}$	0.34/0.3	0.22/0.02	0.19/0.05	0.4	0.86/0.50	0.16
U_{janela} (W/m ² .K)/ $\Psi_{janela/parede}$	0.7/0.1	0.8/0.02	1.2/0.03	1.1	2.40/0.25	1.1
U_{porta} (W/m ² .K)/ $\Psi_{porta/parede}$	0.7/0.1	1.0/0.02	1.2/0.03	1.1	2.40/0.25	1.1
q_{50} (m ³ /(h.m ²))	2.4	3.0	1.5	1.5	8	1.5

Os requisitos para se atingir os NZEB variam de país para país. Isto é devido às grandes diferenças que o sector apresenta em cada um deles, dos regulamentos nacionais e do próprio clima que a região apresenta. A maioria dos países refere-se à energia gasta em cada edifício como a energia primária desse mesmo edifício. Esses países definem então um valor fixo de energia primária que o edifício deve atingir para ser reconhecido como NZEB. Outros países optam por uma abordagem diferente, como é o caso de Portugal que não têm valores concreto, mas que define que as soluções NZEB como as correspondentes às soluções de renovação de custo ótimo da envolvente (Manuela Almeida, 2016) .

Como se pode ver pela Tabela 1 as diferenças entre climas e regulações nacionais também originam requisitos diferentes para ventilação, perdas de calor, uso de energias renováveis, transferência térmica e estanquidade. Países próximos como a Estónia e a Letónia que partilham o tipo de clima apresentam valores semelhantes, mas não iguais. Do mesmo modo, requisitos rígidos de gastos energéticos na Dinamarca fazem com que os valores de transferência térmica pela envolvente dos seus edifícios sejam mais exigentes do que os requeridos na República Checa. Por sua vez Portugal, sendo o país mais quente dos analisados, apresenta os valores mais elevados para a envolvente.

Para dar vida aos NZEB, que por sua vez vão dar resposta aos objetivos nacionais é necessário adotar diferentes tecnologias que garantam os valores requeridos dos parâmetros. Tecnologias essas que podem ser ativas ou passivas.

2.1.3 Tecnologias ativas

Para atingir o conceito NZEB é essencial adotar equipamentos eficientes e que promovam a produção de energia a partir de fontes renováveis. Como já vimos anteriormente as energias renováveis obrigam a um grande investimento inicial, mas ao longo do ciclo de vida do edifício acabam por compensar relativamente ao uso de energia convencional. Para fazer uso desse tipo de energia é necessário conhecer quais as suas fontes, os principais métodos de captação e conversão e quais os mais adequados para as diferentes situações.

Energia renovável é a energia proveniente de recursos naturais, capazes de se regenerarem num curto espaço de tempo e de um modo sustentável. O calor da terra, biomassa, o movimento das marés, o vento e o sol são exemplos de fontes renováveis de energia. A energia dessas fontes é transformada em energia que pode ser usada por nós com recurso a tecnologias como barragens, ventoinhas eólicas, painéis solares, entre outras (Renováveis, 2017) .

Aplicando estes métodos de produção de energia à construção temos as chamadas tecnologias ativas. Tecnologias ativas diferem das passivas no sentido em que requerem ativação e controlo mesmo após a sua instalação, ao contrário das passivas que atuam constantemente após aplicadas.

2.1.3.1 Energia solar

Uma das principais áreas a explorar para se atingir o conceito NZEB é a energia solar. O sol é uma fonte de energia renovável e pode ser aproveitada sem quaisquer malefícios para o meio ambiente. Para além destas vantagens, o aproveitamento de energia solar, apesar de ter um custo de instalação elevado a sua utilização pode traduzir-se numa poupança de água e gás até 80% numa habitação particular, (Solius, 2017). Isto leva a que cada vez seja uma opção mais procurada, quer a nível residencial quer industrial, para aquecimento de águas e do interior.

No caso de Portugal, temos uma das maiores incidências de radiação solar da Europa devido à nossa posição geográfica. Posição essa que não tem sido bem aproveitada. A Alemanha é o país europeu líder na conversão de energia solar e tem aproximadamente metade das horas de sol que

Portugal tem ao longo do ano. Isto prova o quanto temos negligenciado este recurso e a grande potencialidade que a energia solar ostenta em território nacional (Alternativas, 2017).

Como todos os tipos de energia renovável existem vantagens e desvantagens na sua utilização (Energia, 2016):

Vantagens:

- Não é um tipo de energia que produza qualquer poluente, quer no seu uso quer no seu armazenamento;
- Os sistemas que a utilizam requerem muito pouca manutenção uma vez instalados;
- A sua instalação é fácil e pode ser aplicada em áreas relativamente pequenas;
- É uma energia viável em praticamente todo o mundo, sendo as regiões com mais incidência de radiação solar as que tiram maior partido da sua utilização.

Desvantagens:

- Depende muito do tipo de clima e por isso pode não ser aplicada cegamente, é necessário fazer uma análise antes da sua instalação para determinar se é uma boa opção;
- Os painéis atuais podem ver o seu rendimento melhorado;
- Não são fáceis de armazenar totalmente, ao contrário dos combustíveis fósseis.

Como já foi mencionado, a energia renovável proveniente do sol faz parte das mudanças necessárias para se atingir os NZEB. O quanto a captação e uso dessa fonte de energia de facto influencia os gastos energéticos ao longo do ano, assim como as emissões de dióxido de carbono podem ser entendidos pela consulta do estudo “Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB designconcept in Portugal – Energy, economics and environmental life cycle analysis” (Almeida, 2016).

O objetivo do estudo em questão foi, comparando vários métodos de renovação de um edifício, descobrir o quanto a inclusão de sistemas solares influenciaria o desempenho energético do edifício ao longo do seu ciclo de vida e o dinheiro total necessário para o fazer. Depois de obtidos os resultados a viabilidade destes sistemas poderá ser discutida e a importância da sua instalação em um edifício que se queira categorizar como NZEB.

O edifício que foi utilizado para o estudo foi um multifamiliar localizado nos subúrbios do Porto. Foi escolhido por representar com precisão cerca de 41% dos edifícios multifamiliares em território português, devido à sua zona climática, geometria e desempenho energético. As suas principais fachadas estavam orientadas a nordeste e a sudoeste, tinha três andares e uma área de implantação de 600 m². A estrutura era feita em betão armado sem isolamento na envolvente.

A metodologia utilizada visou abranger vários parâmetros, sendo que os mais relevantes no âmbito desta dissertação são a energia primária gasta anualmente, o custo do ciclo de vida e emissões de gases de estufa durante esse mesmo ciclo. O cálculo do uso de energia primária não renovável foi feito subtraindo o total de energia renovável proveniente pelos sistemas solar térmico e fotovoltaico ao total de energia primária utilizada. Para fins de comparação foram considerados os valores de quatro situações diferentes:

- Antes da renovação – situação já existente, que servirá como referência aos restantes cenários;
- Renovação básica – garante os mínimos regulamentares nacionais;
- NZEB nacional – corresponde à opção de custo ótimo equivalente a uma redução de 80% de energia primária em comparação com o caso de referência.

- ZEB – toda a energia para eletricidade, aquecimento e arrefecimento é proveniente das fontes renováveis.

É importante ressaltar que a energia solar térmica e a fotovoltaica têm a mesma fonte de energia, no entanto não são iguais. Os painéis solares térmicos captam a energia solar e transferem-na para o fluido presente nos tubos do sistema sobre a forma de energia calorífica (Fotovoltaicos, 2012). Painéis fotovoltaicos tem como função transformar a radiação solar em energia elétrica. Esta conversão é feita por intermédio de materiais semicondutores que são configurados nas células fotovoltaicas. Quando os painéis são expostos à radiação solar os fotões contidos na luz transmitem a sua energia aos materiais semicondutores que libertam eletrões para o circuito exterior, produzindo assim corrente elétrica (Silva, 2006).

O estudo separou ainda a sua análise em quatro etapas: aquisição de produtos, instalação e construção, uso e final do ciclo de vida. Como para esta dissertação o ponto fulcral são sobretudo as medidas adotadas e os resultados finais o conteúdo da primeira etapa será o apresentado na *Tabela 2*.

Tabela 2 - Tabela adaptada de materiais nas diferentes análises de Almeida (2016)

Materiais			
Antes da renovação	Renovação Básica	NZEB	ZEB
Tinta usada nas paredes exteriores	Tinta usada nas paredes exteriores	Tinta usada nas paredes exteriores	Tinta usada nas paredes exteriores
	Sistema composto de isolamento térmico externo (ETICS) nas paredes externas com 3 cm de EPS	Sistema composto de isolamento térmico externo (ETICS) nas paredes externas com 4 cm de EPS	Sistema composto de isolamento térmico externo (ETICS) nas paredes externas
	Janelas de alumínio novas com vidros duplos	Novas janelas de PVC com vidros duplos	Novas janelas de PVC com vidros duplos
	5 cm de lã mineral no telhado	9 cm de lã mineral no telhado	10 cm de lã mineral no telhado
	2 cm de EPS no primeiro andar	10 cm de EPS no primeiro andar	11 cm de EPS no primeiro andar
	Sistema Solar coletor, cobrindo 60% das necessidades de água quente doméstica	Sistema Solar coletor, cobrindo 60% das necessidades de água quente doméstica	Sistema Solar coletor, cobrindo 60% das necessidades de água quente doméstica
			Sistema fotovoltaico que cobre 100% da energia restante entregue para aquecimento, refrigeração e preparação de água quente sanitária

Alguns dos resultados finais podem ser consultados nas figuras seguintes, *Figura 2* e *Figura 3*.

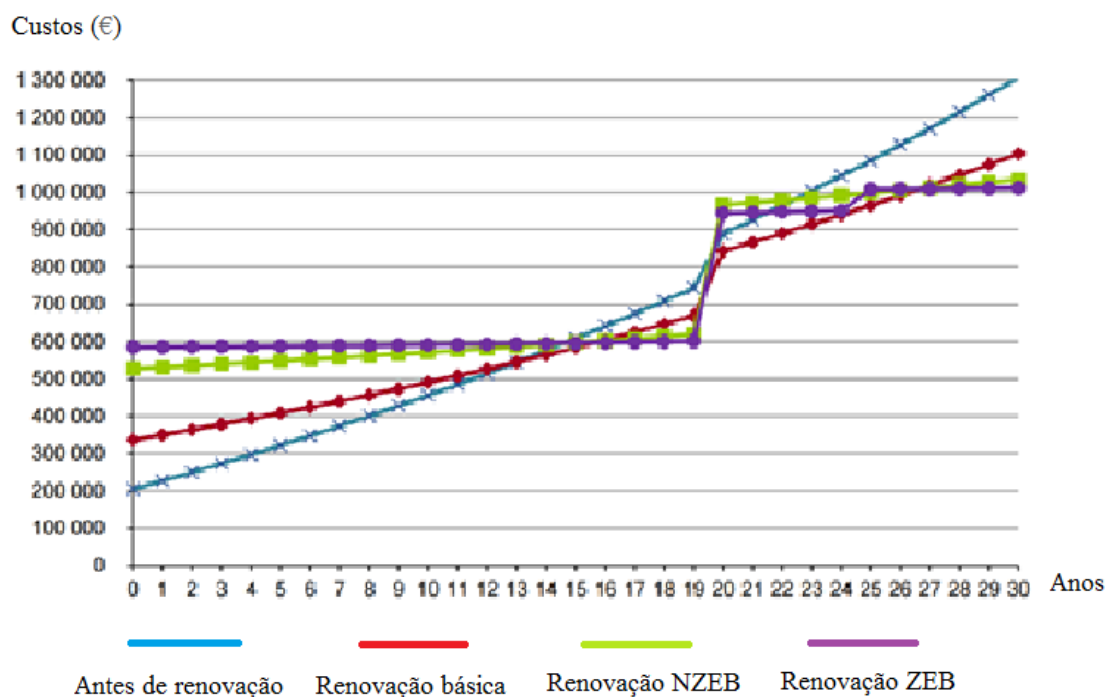


Figura 2 - Gráfico de valores acumulados de custos de cada renovação adaptado de Almeida (2016)

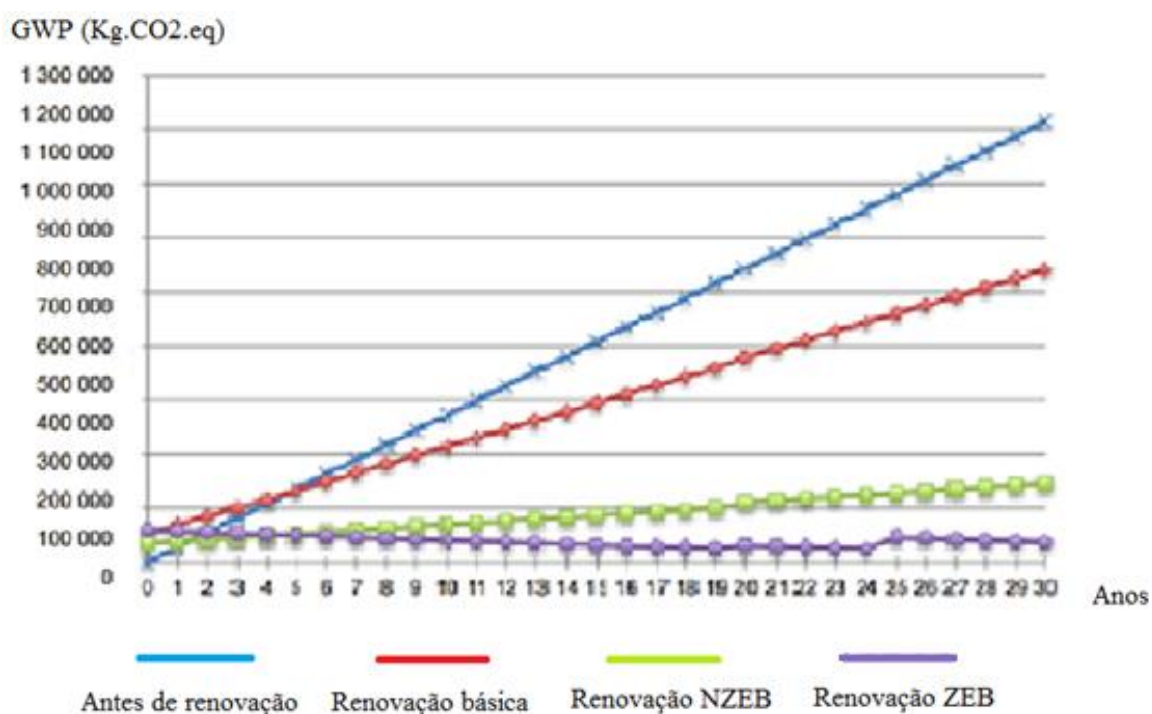


Figura 3 - Gráfico de valores de CO2 acumulados de cada renovação adaptado de Almeida (2016)

Como seria expetável os custos iniciais das renovações NZEB e ZEB têm um maior investimento inicial, mas este é compensado ao longo do ciclo de vida do edifício. Do mesmo modo as emissões de dióxido de carbono sofreram um decréscimo drástico relativamente à renovação básica. Isto

pode não estar diretamente relacionado com a instalação dos sistemas solares, uma vez que no estudo a renovação básica já incluía um destes sistemas e difere da renovação NZEB sobretudo pelo isolamento da envolvente. No entanto, para se alcançarem os melhores valores de desempenhos energéticos, os menores gastos ao fim do ciclo de vida e os menores impactos ambientais (resumidamente para se atingir os NZEB), os sistemas solares são visivelmente um valioso contributo. Devido à sombra provocada por edifícios vizinhos ou por área de instalação demasiado pequena estes poderão não ser a melhor escolha. Não sendo os únicos sistemas capazes de captar e aproveitar energia renovável existem alternativas dignas de consideração, tal como a energia geotérmica.

2.1.3.2 Energia geotérmica

A energia geotérmica é a energia armazenada na forma de calor de baixo da superfície da terra. O calor gerado no interior da terra é transportado por água até à superfície que é então captada, normalmente através de um furo, e utilizada para aquecimento. Na construção civil a instalação dos sistemas de aquecimento que usam energia geotérmica podem ser de três tipos: utilização direta, bomba de calor geotérmica e central geotérmica (Rio, 2011).

Ter um destes sistemas instalado requer algumas exigências que nem todos os edifícios são capazes de providenciar. Por exemplo, é necessária uma certa quantidade de solo quer em área superficial quer em profundidade consoante o tipo de captação a ser instalada. A captação pode ser classificada como sendo por sistema aberto ou por sistema fechado (Rio, 2011).

Como todos os outros tipos de energia renovável tem vantagens e desvantagens (Energia, 2010):

Vantagens:

- Não provoca danos colaterais ao ambiente, uma vez que não necessita de criar barreiras a cursos de água, não implica o uso de cabos de minas ou túneis e não causa derramamentos;
- As centrais podem ser construções modulares, o que lhes permite acrescentar área caso as necessidades energéticas aumentem;
- As centrais têm capacidade de trabalhar durante todo o dia ao longo de todo o ano. Situam-se diretamente por cima da sua fonte e dificilmente necessitam de parar mesmo perante catástrofes climáticas.

Desvantagens:

- Tem um custo de instalação bastante elevado;
- Nas zonas mais frias são aplicados produtos no sistema para impedir congelamentos que contêm substâncias nocivas ao ambiente, como por exemplo CFC's;
- A manutenção da canalização das bombas de calor é de custo elevado.

Do mesmo modo que se avaliou a influência dos sistemas solares no alcance dos NZEB, também será discutida essa mesma influência para os sistemas geotérmicos. Para isso será retirada informação de um estudo realizado com esse propósito “Geothermal heat pump plant performance in a nearly zero-energy building” (Fadejev, 2016).

O objetivo deste estudo numérico foi investigar o impacto que uma bomba de calor, associada a combinações de coletores geotérmicos e opções de armazenamento, tem no desempenho dos sistemas de aquecimento e arrefecimento com vista ao alcance dos NZEB. Foi inclusive construído um edifício comercial na Finlândia baseado neste estudo.

Este trabalho foi feito com recurso ao software IDA ICE, no qual se fizeram catorze simulações diferentes com a duração de cinco anos. Desses catorze, uma é um caso de aquecimento de referência e treze são combinações diferentes de funcionamento da bomba de calor.

Os resultados obtidos estão apresentados na *Tabela 3*, são valores que correspondem à média de simulações realizadas com duração de cinco anos. O valor mais interessante da tabela é o valor de desempenho energético (EPV). Isto porque a Finlândia na altura do estudo não possuía valores exatos ou quaisquer requisitos que definissem os NZEB. Portanto, para efeitos de análise, considerou-se que a sua definição dos NZEB seria a mesma do seu país vizinho, a Estónia. Um edifício na Estónia é considerado NZEB se o seu EPV for inferior a 90 Kwh/m²a, o que corresponde a um edifício de classe energética A.

Tabela 3 – Resultados da simulação anual adaptados de Fadejev (2016)

Caso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Unidades	Energia específica anual consumida por área de planta kWh/(m ² .a)													
Aquecimento	45.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eletricidade de aquecimento	-	34.6	16.4	25.2	9.6	27.7	28.5	24.1	9.4	10.1	7.2	12.6	4.6	2.8
Bomba de calor	-	27	6.7	4.6	8.4	4.1	3.9	4.9	8	8	8.6	7.5	9.1	9.2
Eletricidade de arrefecimento	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventoinhas	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
Eletricidade	0.1	0.3	0.9	0.7	0.8	0.4	0.4	0.5	1.6	1.3	1.7	1.2	1.2	2
Iluminação	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Água quente	4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Valor de desempenho energético (EPV)	74	104	81	92	72	95	96	90	73	73	70	77	66	64
Unidades	Coeficiente sazonal de desempenho energético (SCOP)													
Bomba de calor SCOP	-	4.5	4.61	4.6	4.48	4.47	4.5	4.5	4.61	4.6	4.62	4.6	4.6	4.68
Instalação SCOP	-	1.24	1.98	1.52	2.52	1.43	1.41	1.56	2.42	2.42	2.68	2.2	3.11	3.27

Como se pode ver dos treze que tinham uma instalação geotérmica, nove cumpriram o requisito para se tornarem NZEB. Apesar de algumas combinações não terem dado origem a resultados com valores dentro do pretendido, a grande maioria conseguiu de facto cumprir os requisitos e o

edifício final acabou por ser NZEB devido à energia geotérmica adquirida pela combinação escolhida para a bomba de calor.

2.1.4 Tecnologias passivas

Tecnologias construtivas passivas são as soluções que estão intrínsecas na própria construção e *design* do edifício. Por outras palavras, que são integradas na constituição do edifício e por conseguinte, ao contrário das tecnologias ativas, não necessitam de instalação posterior ou de ativação, funcionam de forma constante e automática. A ideia por trás deste tipo de tecnologias é o controlo dos fluxos naturais de energia, em forma de condução, radiação solar, convecção e ação do vento. Se tal for efetuado com sucesso as necessidades de iluminação artificial durante as horas de exposição solar de aquecimento e arrefecimento, que exigem grandes gastos de energia, vão diminuir (Baiona, 2014).

Um dos objetivos primários de uma projeção avançada de edifícios é maior redução a redução possível da necessidade de sistemas de aquecimento e arrefecimento. Em regiões com temperaturas extremas é muito difícil proporcionar esta opção, mas mesmo nesses locais os sistemas instalados são escolhidos com este pensamento sempre presente. Por exemplo, as necessidades de aquecimento podem ser grandemente reduzidas, com a ajuda de software de simulação, criando várias hipóteses de orientação das fachadas principais, da forma do edifício e sombras para otimização da radiação solar (IEA, 2013).

Estas tecnologias passivas podem tornar-se redundantes se os ocupantes da habitação fizerem um mau uso destas. Situações como abrir as janelas em momentos que certamente vão alterar a temperatura interior, alterar a temperatura de em vigor ou não fazer a correta manutenção destes sistemas (Lidamente, 2011). Este problema gera uma dualidade no sentido em que é resolvido com facilidade providenciando as informações necessárias de uso aos utentes, mas por outro lado estes podem não estar interessados em saber ou simplesmente não aplicarem o que lhes foi transmitido. Apesar desta negligência é na mesma essencial a introdução de tecnologias passivas nos edifícios sobretudo se forem NZEB.

Vão ser apresentadas e comentadas algumas soluções construtivas passivas, utilizando como base o trabalho “A design strategy to reach nZEB standards integrating energy efficiency measures and passive energy use” (Barbolinia, 2016) . Este trabalho teve como objetivos propor soluções de integração de ventilação mecânica e natural num edifício NZEB em diferentes alturas do ano, ultrapassando problemas de estagnidade ao ar e de conforto térmico.

O primeiro passo diz respeito ao desenho do edifício em si que, como já foi referido, tem um papel importante num bom aproveitamento da luz solar. No âmbito do trabalho mencionado as estratégias escolhidas seriam aplicadas à renovação de um complexo de habitação social antigo da cidade de Modena. Algumas das medidas passivas adotadas na sua renovação foram:

- Otimização da forma do edifício com um novo ângulo do telhado e análise de sombra;
- Manter as superfícies das fachadas expostas;
- Aproveitar ao máximo os ganhos solares com o uso de estufas;
- Arrefecimento passivo através de ventilação cruzada para todos os apartamentos e construção de novos eixos internos para ventilação adicional na estação quente;
- Aumento do número de superfícies verdes;
- Janelas estanques ao ar;
- Uso de bons materiais isolantes.

Passando em seguida para a ventilação, o conceito NZEB, diferente dos edifícios ZEB, não impõem que a utilização de energia proveniente de fontes não renováveis seja zero. Como tal, desde que não excessiva, pode ser gasta alguma energia no sistema de ventilação. A ventilação mecânica não é uma tecnologia passiva ao contrário da ventilação natural. No entanto, é quando ambos os sistemas trabalham em conjunto que se obtêm os melhores desempenhos energéticos. O conceito implica que a ventilação natural seja utilizada durante a época quente e a ventilação mecânica durante a época fria. Esta é a opção de utilização aconselhada mesmo para alguns tipos de fachadas leves com vista a alcançar os NZEB, como vamos ver mais à frente, e é inclusive a escolha dos autores do trabalho mencionado.

Focando na ventilação natural esta corresponde à renovação do ar interior, causada por fatores ambientais como a temperatura exterior e o vento. Esta garante de uma forma controlada o escoamento do ar entre aberturas de admissão de ar exterior, as janelas e as grelhas, e a sua extração através das condutas (PTnZEB, 2016).

Para os edifícios obterem uma adequada ventilação natural devem ser projetados de modo a que o ar siga um fluxo, dos espaços principais para os espaços de serviço e que saia pelas condutas. As grelhas e as janelas tem a função de deixar o ar entrar, sendo que as grelhas também podem ser instaladas no interior para conduzir o fluxo de ar desde que entra até à sua saída pela chaminé. A ventilação natural não recorre a quaisquer meios mecânicos o que faz dela uma boa opção do ponto de vista energético, pois apesar de não ser suficiente sozinha nas épocas frias, não gasta energia (ADENE, 2016).

Por fim também podemos considerar o isolamento como sendo uma tecnologia passiva que, dependendo da sua aplicação, pode trazer melhorias significativas ao desempenho energético de um edifício. Fazendo referência ao trabalho discutido relativamente aos benefícios que a energia solar trazia aos NZEB podemos ver a importância do isolamento. A

Tabela 2 mostra as diferenças entre a considerada renovação básica e uma renovação com vista a alcançar o conceito NZEB, para além da colocação de janelas de PVC duplas, é a colocação de isolamento mais espesso nas paredes, no telhado e no primeiro andar. Pode então ser concluído que um isolamento adequado é um fator importante para um edifício NZEB. A expõem várias opções de isolamento juntamente com as suas respetivas descrições.

Tabela 4- Opções de isolamento adaptadas de Mendes (2012)

Isolamento	Descrição
Fibra de coco	Pode ser utilizada como isolamento térmico e acústico, onde apresenta uma elevada eficácia, especialmente combinada com o aglomerado de cortiça expandida. É um produto ecológico que trás várias vantagens a nível ambiental.
Cortiça	Pode ser utilizada como isolamento térmico e acústico. Apresenta-se em forma de placas e granulados, e é feita sem recurso a nenhum elemento químico.
Placas de fibras de madeira	Podem ser utilizadas como isolamento térmico e acústico. São obtidas pela mistura de fibras de madeira selecionadas com um ligante hidráulico, em geral cimento, magnesite ou uma mistura de cimento e de cal.
Fibras celulósicas	Podem ser utilizadas como isolamento térmico e acústico. Estes aditivos tornam o comportamento das fibras mais resistentes ao fogo e a ataques de agentes biológicos.
EPS e XPS	O EPS (poliestireno expandido) e o XPS (poliestireno extrudido) são dois dos mais utilizados isolamentos em território nacional. São ambos muito resistentes à água e tem uma condutibilidade térmica muito baixa. Nenhum deles tem uma boa resistência ao fogo, mas o XPS apresenta uma melhor resistência mecânica.
PUR e PIR	As espumas rígidas de poliuretano (PUR) e poli-isocianurato (PIR) são polímeros não são recicláveis e não são reutilizáveis. Apresentam uma condutibilidade térmica muito baixa e uma boa resistência ao fogo. Comparando os dois o PIR tem maior resistência térmica a altas temperaturas.
Espuma de ureia formaldeído	Tem valores de emissão de formaldeído superior a qualquer outro isolamento. É utilizado em paredes e desvãos não habitados.
Espuma rígida fenólica	É um material pouco usado na construção em geral, mas muito usado em painéis sandwich. O seu grande conteúdo em formaldeído pode ser restringir a sua utilização.
PVC	Espumas rígidas de cloreto de polivinilo (PVC) podem ser utilizadas como isolamento térmico e acústico, são boas devido aos seus valores de condutibilidade térmica e permeabilidade muito baixos.
Lã mineral	Podem ser de fibra de vidro ou lã rocha. Fibra de vidro é desenvolvida especificamente para melhorar o desempenho térmico e acústico do edifício. Lã rocha pode ser revestida numa das suas faces com uma folha de alumínio impermeável, proporcionando uma barreira contra a condensação superficial e a penetração de humidade no interior do isolante.

2.1.4.1 Exemplos de reabilitação para a eficiência energética

Foi realizado um estudo de caso no âmbito de uma tese realizada por Naiyuan Xiao, pela Universidade Gavle em 2014 sobre o tema “Energy-efficiency building envelope technologies”. Este estudo consistiu em analisar dois edifícios diferentes na China e na Suécia com diferentes tecnologias utilizadas na fachada e avaliar o valor de U e consumo de energia. Os quadros seguintes mostram os edifícios em questão, descrevem a envolvente, proporcionam o seu valor de U e a energia poupada após a aplicação das alterações.

Tabela 5 - Edifício Jin Yu He Pan adaptado de Naiyuan Xiao (2014)


Edifício - Jin Yu He Pan	Descrição	U (W/m ² K)	Eficiência energética	Imagem
Parede	Isolamento térmico parede externa, placa de espuma de poliestireno 40 milímetros em todo o exterior do muro de betão exterior, paredes do eixo do elevador e ponte térmica de escada.	0.94	A resultante energética de cada apartamento com a descrição apresentada é de 62 kWh/m ² . Se fosse um edifício normal o seu gasto seria de 131 kWh/m ² . É de salientar que estes valores incluem uma análise à cobertura	
Janela	O material das caixilharias é liga de alumínio e a janela é vidro duplo com camada do vácuo.	3.5		
Porta	Porta adotou os materiais com isolamento, prevenção de incêndio e espuma de poliuretano retardadora de chama	2.5		

Tabela 6 - Edifício Shandong University adaptado de *Naiyuan Xiao (2014)*


Edifício - Shandong building University	Descrição	U (W/m ² K)	Eficiência energética	Imagem
Parede	A parede usa sistema de isolamento externo e o material escolhido foi poliestireno com 50 mm	1.83	Neste caso a energia gasta por ano desceu cerca de 72%. É de salientar que estes valores incluem uma análise à cobertura	
Janela	Todas as janelas dispõem de vidro duplo com camada de vácuo	1.2		

Tabela 7 - Brogåden Alingsås adaptado de *Naiyuan Xiao (2014)*



Edifício - Brogåden Alingsås	Descrição	U (W/m ² K)	Eficiência energética	Imagem
Parede	Gesso, lã de 120mm min + BEAM, folha plástica, plástico celular 150mm, lã 120mm min + BEAM, lã min 45mm + BEAM. O quadro de parede é feito de madeira	0.095	A resultante energética de cada apartamento com a descrição apresentada é de 95 kWh/m ² . Se fosse um edifício normal o seu gasto seria de 204 kWh/m ² . É de salientar que estes valores incluem uma análise à cobertura	
Janela	Na Suécia o valor de R deveria de ser 0.85, mas como isso é um valor difícil de reproduzir o considerado foi 0.94	0.94		
Porta		0.6		

Tabela 8 - Edifício Villa malmborg adaptado de *Naiyuan Xiao (2014)*

Edifício - Villa malmborg	Descrição	U (W/m ² K)	Eficiência energética	Imagem
Parede	A parede exterior feita de moldura de madeira com lã mineral. Igualmente tem um entreferro com placa do vento como a barreira do vapor. E o material de isolamento é a placa EPS	0,09	A resultante energética de cada apartamento com a descrição apresentada é de 62 kWh/m ² .	
Janela	As janelas com um valor U total de 0,71 W / m ² K para as janelas fixas e 0,85 W / (m ² K) para as janelas operáveis. O vidro, a distância entre os painéis e o gás nas aberturas foram os mesmos em ambos os tipos de janela	0.85	Se fosse um edifício normal o seu gasto seria de 131 kWh/m ² . É de salientar que estes valores incluem uma análise à cobertura	
Porta		1		

Como provado em todos os casos a aplicação de tecnologias recomendadas para poupança de energia tiveram uma influência muito significativa no desempenho geral do edifício. É importante mencionar que estes edifícios não se podem considerar NZEB, sobretudo devido à ausência do uso de fontes de energia renovável. Esta pesquisa têm o propósito de mostrar novamente o quanto a aplicação das tecnologias corretas pode gerar um grande impacto no desempenho energético do edifício e aproxima-lo da definição NZEB que se pretende atingir.

Num âmbito mais relacionado com a estanquidade da envolvente, que é uma propriedade importante para se atingir níveis de consumo energético baixos e por consequência atingir o conceito NZEB, Ipbüker (2017) realizou o estudo “Case Study of Multiple Regression as Evaluation Tool for the Study of Relationships between Energy Demand, Air Tightness, and Associated Factors” a fim de relacionar a energia gasta por um edifício com a sua estanquidade ao ar e a outros fatores. Se pensarmos particularmente na estanquidade ao ar esta está diretamente ligada à energia gasta no aquecimento que corresponde à maior quantidade de energia gasta pela população. Este trabalho foi realizado na Estónia, usando o modelo estatístico de regressão múltipla para averiguar quais os valores de estanquidade e de outros fatores associados em edifícios considerados energeticamente eficientes. Foram abrangidos dezoito edifícios neste estudo, dentro dos quais se destacam duas casas modulares e um edifício Net-Zero. Enquanto os Nearly Zero Energy Buildings apresentam gastos energéticos próximos de zero e usam energias renováveis para produzir parte da energia usada os edifícios Net-Zero tem um saldo nulo de consumo de energia. A energia medida ao longo do estudo foi sempre a energia necessária para aquecer um metro quadrado de espaço interior por hora ao longo de um ano (kWh/m².year). O parâmetro da estanquidade foi medido para o edifício como um todo com uma diferença de pressão de 50 Pa ao longo do edifício em renovações de ar por hora com recurso ao teste de Blower Door. Este teste, como mencionado anteriormente, consiste num forte ventilador colocado no quadro da porta exterior que permite calcular as renovações por hora do ar interior, todo o

procedimento foi realizado segundo o imposto na norma EN 13829. Os restantes parâmetros que foram calculados para análise foram o grau de compactação dos edifícios apresentado em m^2/m^3 , a sua relação janela-parede e a sua idade. Os resultados deste estudo estão disposto na *Tabela 9*.

Tabela 9 - Valores de energia segundo vários parâmetros adaptados de Ipbüker (2017)

Edifício	Demanda de aquecimento kWh/(m ² .a)	Renovações de ar (h ⁻¹)	Idade (anos)	Compacidade (m ² /m ³)	Rácio janela-parede
1	14.5	0.25	0.83	1.14	0.13
2	14.61	0.36	2	0.49	0.17
3	14.9	0.33	0.4	1.14	0.13
4	15	0.42	1	1.2	0.18
5	15	0.3	0.4	1	0.2
6	21	0.42	0.3	1.1	0.11
7	22	0.34	3	0.97	0.18
8	24	0.39	1	1.36	0.32
9	30	0.8	0	0.96	0.22
10	40	0.96	0	1.13	0.15
11	45	2.5	4	1.08	0.27
12	53	4.4	10	0.97	0.17
13	66	3.6	5	0.68	0.17
14	67.5	0.95	4	0.82	0.46
15	68	0.79	4	1.08	0.18
16	75	1.4	4	1.16	0.2
17	90	1.3	7	0.74	0.27
18	117	0.6	3	1.18	0.17

Como se pode observar nos resultados obtidos, a não ser que os restantes parâmetros sejam muito desfavoráveis, quanto menores forem as renovações por hora menos energia é necessária gastar para aquecer o ar interior. É importante destacar que o edifício número um é o net-zero que esteve presente no estudo. É portanto o que tem um gasto energético menor de 14.50 kWh/(m².year) e o que possui menos renovações de ar por hora, 0.25 h⁻¹. Podemos então concluir o quanto é importante ter bons valores de estanquidade quando o nosso objetivo é alcançar um bom desempenho energético.

2.2 Introdução à construção modular

2.2.1 Conceito

A ideologia por trás das casas modulares é a racionalização de processos e de materiais, ou seja, com recurso a metodologias aplicáveis de modo o mais abrangente possível utilizando apenas a matéria-prima indispensável. Apesar de não serem um tipo de construção muito difundido a nível nacional, têm aumentado a sua presença de ano para ano. É frequentemente associado à pré-fabricação, ou seja, os seus componentes são construídos em fábrica, transportados para obra e ensamblados no local (Portilame, 2015). São edifícios que exigem portanto um grande rigor e controlo desde a manufatura dos seus constituintes até à sua montagem em obra. A sua construção é geralmente de curta duração podendo demorar uns dias ou uns meses, sendo que no fim é muito difícil de distinguir de uma casa “normal” (Branco, 2013). O conceito acarreta algumas vantagens: o preço geralmente inferior, o tempo de construção reduzido, a possibilidade de acrescentar novos módulos, o processo de construção e de utilização são menos poluentes e acarretam menos desperdícios e logística. No entanto, é preciso considerar o grande custo de transporte das peças pré-fabricadas ao local e a limitação a nível estrutural que este método construtivo apresenta (Construção, 2011). Dentro das diferentes maneiras de construir este tipo de edifícios podemos destacar (Freitas, 2014):

- Construção com uso de elementos pré-fabricados;
- Construção por encaixes sucessivos;
- Construção da componente estrutural por normas e padrões.

A seguir temos um exemplo de uma casa modular realizada pela empresa Dreamdomus na *Figura 4*.



Figura 4 - Casa modular Dreamdomus (Dreamdomus, 2017)

Existem ainda diferentes classificações de sistemas de construção modular, são elas (Freitas, 2014):

- Sistemas fechados

São caracterizados pelo seu elevado grau de pré-fabricação e pelo seu espaço interior praticamente imutável. Mesmo o seu exterior não é suscetível a muitas alterações, no entanto pode ser ensamblados de várias maneiras proporcionando uma versatilidade arquitetónica considerável.

- Sistemas parcialmente abertos

Os sistemas fechados possuem módulos associados uns aos outros, mas isolados entre si. Nos sistemas parcialmente abertos isto não se verifica, sendo que os módulos interligados possibilitando ampliações e ainda mais opções arquitetônicas que o sistema fechado.

- Sistemas abertos

Podem ser parcialmente ou totalmente abertos, sendo que na segunda opção consiste basicamente em módulos com pilares, cobertura e laje.

- Sistemas de elementos modulares

Os sistemas anteriores eram sobretudo construídos na base da pré-fabricação. Este sistema por outro lado apoia-se mais na construção por encaixes sucessivos. Ou seja, os diferentes componentes são encaixados no local e fixados entre si por ligações definidas em projeto.

- Sistemas mistos

Não se apoiam totalmente em nenhum dos sistemas descritos anteriormente, em vez disso utiliza mais do que um deles para construir diferentes partes do edifício.

São edifícios que se encaixam muito bem na ideologia NZEB uma vez que têm um processo construtivo e que facilmente incorpora as tecnologias passivas e ativas já mencionadas. As tecnologias referidas anteriormente eram no entanto gerais e não específicas de casas modulares. Existem portanto, dentro das casas modulares, tecnologias construtivas que se podem adotar na busca pelos objetivos NZEB.

2.2.2 Tecnologias disponíveis

Para a construção de fachadas em casas modulares, sendo que estas são um tipo de construção leve, existem métodos e tecnologias construtivas mais adequados que tendem a divergir do que é comum numa casa corrente. Essas tecnologias específicas apresentam exigências que tem de ser cumpridas, para o seu bom desempenho. Nos subcapítulos seguintes apresentam-se alguns exemplos de soluções tecnológicas disponíveis no mercado europeu e americano.

2.2.2.1 SIPs (Structured Insulated Panels)

O sistema SIPs consiste na utilização de painéis SIP (Structured Insulated Panel) para a construção de edifícios residenciais e de edifícios comerciais leves. Este sistema é integrado na pré-fabricação uma vez que são fabricados previamente com as dimensões requeridas antes de serem montados no local da obra. Os painéis SIP são constituídos por um núcleo de isolante térmico entre duas placas rígidas, geralmente estes são EPS (poliestireno expandido) e duas placas de OSB respetivamente. Estes materiais podem ser substituídos por outros dependendo das exigências que se pretendem atingir, que por sua vez são determinadas segundo as necessidades de cada construção. O OSB pode ainda ser substituído por placas de cimento e de fibras de vidro. Por sua vez o EPS pode ser trocado por poliuretano ou poliisocianurato quando se pretende um melhor desempenho de isolamento. As vantagens e desvantagens destes painéis são (Energy, 2016):

Vantagens:


- Elevado isolamento que providencia uma gestão energética eficaz;
- Elevados níveis de estanquidade ao ar e à água;
- Baixos custos;
- Apresentam um bom desempenho em situações sísmicas.

Desvantagens:

- OSB é suscetível a humidades;
- Danificações podem implicar a substituição de todo o painel;
- Por serem muito pouco permeáveis ao ar o edifício deve ter um bom sistema de ventilação.

A *Tabela 10* apresenta a estratégia de validação tipicamente seguida pelos fabricantes americanos deste tipo de solução.

Tabela 10 - Tipologia SIP's

Tipologia - Sips	Exigências	Enquadramento	Parâmetros	Elementos de construção mais importantes	Ensaios
	Resistência mecânica	A parede deve ser resistente o suficiente para aguentar o seu peso próprio, cargas constantes, dinâmicas e resistir a sismos. - ANSI/APA 610.1, 2013	Tensão axial, Tensão transversal, Resistência à fissuração, Força de união	OSB, metal, contraplacado	ASTM E1803 - Teste de tensão axial ASTM E1803 - Teste de tensão transversal ASTM E1803 - Teste de resistência à fissuração ASTM D7446 - Teste de força de união
	Segurança contra incêndio	As paredes exteriores não devem ter um índice de propagação de fogo superior a 200. - U.S. HUD, 2017	Índice de propagação de fogo	Fibrocimento, placa de magnésio, placa de vidro ou de gesso	ASTM E84 - Método de teste padrão para queima superficial
	Condições ambientais	O painel deve ter resistência a ataques de térmitas e limitar a sua produção de formaldeído a 0,20 ppm. - U.S. HUD, 2017	Ataque de térmitas, Produção de formaldeído	Placa de magnésio, placa de fibras de vidro ou de gesso, painel de revestimento estrutural composto, OSB	ASTM E1333 - Método da câmara
	Isolamento acústico	A classe de transmissão de som é usada para medir a capacidade do material de absorver som. É usada para absorver o ruído de paredes externas e paredes internas em estruturas únicas e	Classe de transmissão de som	Fibrocimento, placa de vidro ou de gesso, EPS, XPS, PUR	ASTM E413 – Teste de classificação de transmissão do som

	multifamiliares. - U.S. HUD, 2017				
Isolamento térmico	Quanto maior o valor de U0 maior a quantidade de calor que atravessa a parede, o seu valor varia de zona para zona. - U.S. HUD, 2017	Valor de U0	EPS, XPS, PUR		Calculado por métodos numéricos
Durabilidade	Os revestimentos exteriores devem ser feitos de materiais resistentes a agentes erosivos, fixados com materiais resistentes à corrosão para resistir ao vento, à neve e à chuva - U.S. HUD, 2017	Tensão axial, Tensão transversal, Resistência à fissuração	Fibrocimento, painel de revestimento composto	painel de estrutural	ASTM E72 - Teste padrão de realização de testes de força de painéis ASTM E1803 - Teste de tensão axial ASTM E1803 - Teste de tensão transversal ASTM E1803 - Teste de resistência à fissuração realizados com diferentes valores de humidade

2.2.2.2 Kits com estrutura metálica

Este sistema construtivo usa como estrutura resistente uma solução de perfis de LSF (Light Steel Frame) consiste em utilizar aço galvanizado para executar os principais elementos estruturais. Tal como o nome indica é um tipo de construção leve que pode ou não recorrer à pré-fabricação. A grande maioria das empresas utilizadoras deste sistema associam placas de OSB à estrutura metálica, isto é feito quer devido a razões estruturais, quer por razões decorativas. Por sua vez as fundações são feitas com recurso a betão. Em particular o sistema usado pela empresa Modiko é constituído (de dentro para fora) por: OSB, estrutura de aço galvanizado, chapa em aço galvanizado, cola de poliuretano, EPS, rede em fibra de vidro, argamassa final e revestimento final.

As vantagens e desvantagens deste sistema são (Diária, 2015):

Vantagens:

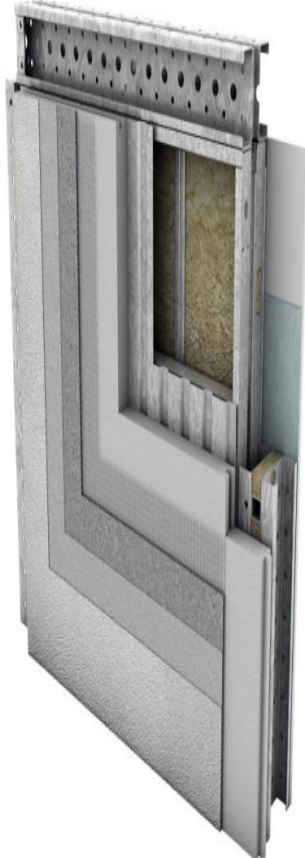
- Oferece uma grande resistência mecânica;
- Integra soluções sustentáveis facilmente;

Desvantagens:

- A inércia térmica é fraca;
- Custos de reparações elevados;
- Custo de construção elevado.

A *Tabela 11* apresenta a estratégia de validação do sistema frequentemente seguida pelos fabricantes.

Tabela 11 – Tipologia Kit com estrutura metálica

Tipologia – Kit com estrutura metálica	Exigências	Enquadramento	Parâmetros	Elementos de construção mais importantes	Ensaio
	Resistência mecânica	A construção deve ser capaz de suportar as cargas especificadas com segurança adequada contra o colapso estrutural e deformações inadmissíveis. - ETAG 025, 2006	Resistência à flexão Resistência ao impacto	à OSB, estrutura de aço galvanizado	Testes e design a seguir segundo a norma EN 1090 Calculado por métodos numéricos segundo a norma EN 1993
	Segurança contra incêndio	O comportamento ao fogo de qualquer produto não depende apenas das suas propriedades intrínsecas e da natureza do ataque térmico, mas também da situação quando incorporada em trabalhos. - ETAG 025, 2006	Classificação da reação ao fogo	Argamassa base, chapa em aço galvanizado	Ensaia conforme a norma EN 13501 e EN 319
	Condições ambientais	Deve ser apresentada uma declaração por escrito indicando se o produto contém ou não substâncias perigosas de acordo com as regulamentações europeias	Produção de formaldeído	de OSB	Ensaia conforme a norma EN ISO 12572 e EN 120

	e nacionais e lista-las. - ETAG 025, 2006			
Isolamento acústico	O invólucro externo deve proporcionar o isolamento acústico necessário à utilização prevista do edifício no que diz respeito ao ruído aéreo proveniente do exterior. - ETAG 025, 2006	Ruído aéreo Ruído de impacto	EPS	Ensaiai quanto ao ruído aéreo e ao ruído de impacto conforme a norma EN ISO 140-3 e EN ISO 717-2
Isolamento térmico	O invólucro externo deve fornecer o isolamento térmico necessário que seja aplicável ao uso pretendido do edifício. Pontes térmicas devem ser evitadas. - ETAG 025, 2006	Resistência térmica e inercia térmica	EPS	Ensaiai conforme a norma EN 12664 e EN 12939
Durabilidade	A duração de vida estimada deverá ser determinada principalmente examinando os detalhes do edifício e ter em conta as condições climáticas. ETAG 025, 2006	Ocorrência de condensação, corrosão do metal	Revestimento exterior, cola de poliuretano, estrutura de aço galvanizado	Ensaiai conforme a norma EN 321 e EN 1604

2.2.3 Painel sandwich

Adicionalmente, tem-se o painel sandwich. Este não constitui um sistema construtivo por si só, sendo mais limitado no seu âmbito, constituindo desta forma apenas um elemento de construção. Este é utilizado nas fachadas (na generalidade) e na cobertura (ocasionalmente) do sistema Dreamdomus, daí ser considerado no contexto deste trabalho como um possível elemento recomendado.

Um painel sanduíche é um material compósito composto por três camadas essenciais, duas lâminas finas e resistentes de material rígido e a camada que as separa de um material de baixa densidade muito menos rígido e resistente do que as lâminas. As diferentes tipologias e formas estruturais dos painéis sanduíche são obtidas pelas diferentes combinações que podem ser feitas alterando o material quer das lâminas quer do material de núcleo. Já existe uma vasta gama de painéis sandwich padrão a serem comercializados, no entanto ainda há espaço para inovação e como tal ainda se fazem pesquisas e testes à procura de novas possíveis combinações com diferentes propriedades e usos. Particularizando o painel sandwich da empresa Fábrica da Barca PF 1000 é constituído por duas chapas metálicas de 0,5 mm de espessura a envolver um isolamento de lã rocha.

As vantagens e desvantagens deste painel são (Almeida, 2009):


Vantagens:

- Bom isolamento térmico;
- Peso próprio reduzido;
- Capacidade de dissipação de tensões;
- Facilidade de aplicação;
- Durabilidade.

Desvantagens:

- Dependendo do material de isolamento pode ser necessária proteção contra a humidade;
- Impossibilidade de reutilização ou reciclagem;
- Deformações excessivas quando exposto a altas temperaturas;
- Fraco isolamento acústico.

Tabela 12 - Tipologia painel sandwich

Elemento – Painel Sandwich FTB	Exigências	Enquadramento	Parâmetros	Elementos de construção mais importantes	Ensaaios
	Resistência mecânica	Um vão de dois metros aguenta uma carga máxima de 4,95 kN/m ²	Resistência mecânica Resistência à flexão a meio vão	Chapas metálicas	Ensaiar conforme a norma EN 14509
	Segurança contra incêndio	As classes de resistência ao fogo do painel são EI 45 e EI 120	Classe de resistência ao fogo	Chapas metálicas	Ensaiar conforme a norma EN 13501-1
	Condições ambientais	Nenhum material do painel sugere que sejam libertados gases nocivos ou que haja vulnerabilidade a agentes biológicos	Emissão de gases nocivos Resistência a bolores, térmitas, etc.	Adesivo, lã rocha	
	Isolamento acústico	O valor de isolamento sonoro é de 43dB	Isolamento Sonoro (RW)	Lã rocha	Ensaiar conforme a norma EN 14509
	Isolamento térmico	Resistência térmica tem o valor de 2,38 m ² .K/W e o valor do coeficiente de condutibilidade térmica é de 0,39 W/m ² .K	Resistência térmica R Coeficiente de condutibilidade térmica U	Lã rocha	Ensaiar conforme a norma EN 14509
	Durabilidade	As placas têm de ser resistentes à corrosão para o isolamento interior não ser comprometido	Resistência à corrosão	Chapas metálicas, adesivo	Ensaiar conforme a norma EN 14509

2.3 Enquadramento normativo

2.3.1 Regulamento de Produtos de Construção (RPC)

O Regulamento dos Produtos de Construção (RPC) consiste no Regulamento (EU) nº305/2011, o qual estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção e que revoga a Diretiva 89/106/CEE do Conselho (Instituto Português de Qualidade). Para efetuar um melhor estudo deste documento vou analisá-lo capítulo a capítulo, mencionando os principais pontos por eles definidos.

- Cap. I – Disposições gerais

Neste capítulo é apresentado o objetivo do RPC, ou seja, estabelecer regras harmonizadas para expressar o desempenho dos produtos da construção e sobre a utilização da marcação CE nesses mesmos produtos. Neste capítulo aparecem também definições importantes, como por exemplo, produto de construção, características essenciais e acreditação. Em seguida procede a definir quais são as tais características essenciais de construção, sendo elas:

1. Resistência mecânica e estabilidade
2. Segurança contra incêndio
3. Higiene, saúde e ambiente
4. Segurança e acessibilidade na utilização
5. Proteção contra o ruído
6. Economia de energia e isolamento térmico
7. Aspetos de durabilidade, serviço e identificação

- Cap. II – Declaração de desempenho e marcação CE

Antes da análise do capítulo é importante mencionar que uma marcação CE é uma prova que um produto está de acordo com as Diretivas Europeias que lhe são aplicadas. É portanto um símbolo de qualidade europeu, obrigatório para alguns produtos, que permite uma livre circulação entre os Estados-Membros.

Começando agora a comentar o capítulo, este impõem que quando um produto é posto no mercado, se este estiver abrangido por uma norma harmonizada ou estiver conforme com uma European Technical Approval (ETA), o fabricante deve emitir uma declaração de desempenho. O formato da declaração de desempenho também é definido e é o que garante a marcação CE. Esta declaração não será necessária apenas em três situações:

1. O produto em questão for fabricado não em série exclusivamente para aquela obra;
2. For fabricado em estaleiro, sobre a responsabilidade do encarregado de segurança, segundo a legislação nacional;
3. O produto foi elaborado com um processo tradicional com fins de reabilitação de património.

É definida uma obrigação de cada Estado-Membro de criar “Pontos de contacto para produtos do sector da construção”, com o objetivo de dar aos fabricantes e utilizadores informação sobre as disposições nacionais que abrangem os produtos de construção de acordo com o Regulamento nº 764/2008.

- Cap. III – Deveres dos operadores económicos

Neste capítulo apenas são definidas as obrigações dos fabricantes, dos seus mandatários, dos importadores de países terceiros e dos distribuidores de produtos da construção.

- Cap. IV – Especificações técnicas harmonizadas

Fala de como proceder em caso de objeções contra alguma norma harmonizada ou ETA, assim como os procedimentos para a sua avaliação.

- Cap. V – Organismos de Avaliação Técnica

Neste capítulo é especificado o que são e como são avaliados os Organismos de Avaliação Técnica (OAT), assim como em que gama podem atuar. É mencionado como estes devem ser geridos e organizados de modo a que todos os Estados-Membros atuem com coordenação. Alguns artigos mencionam também como estes devem ser geridos a nível financeiro.

- Cap. VI – Procedimentos simplificados

É mencionado quando é permitido substituir ensaios ou cálculos previstos nas normas harmonizadas por utilização técnica adequada, utilização de procedimentos simplificados por microempresas e outros procedimentos simplificados.

- Cap. VII – Autoridades notificadoras e organismos notificados

Define que os Estados-Membros devem informar a Comissão e os restantes Estados-Membros de quais os organismos autorizados, enquanto terceiros, a agir no processo de avaliação e verificação da regularidade do desempenho. É imposto também os requisitos que estes devem ter e a forma de como estes devem operar.

- Cap. VIII – Fiscalização do mercado e procedimentos de salvaguarda

Aqui é estabelecido que caso algum Estados-Membro tenha motivos suficientes para duvidar que um produto de construção atinge o desempenho declarado, pode proceder à avaliação do produto em causa seguindo sempre os impostos pelo regulamento. Caso exista alguma objeção de um Estados-Membro a Comissão deve iniciar imediatamente consultas com os Estados-Membros e com o/os operador/es económicos interessados e avaliar a medida nacional. É definido também o procedimento caso um produto esteja de acordo com as conformidades impostas, mas seja na mesma um perigo à saúde e segurança.

- Cap. IX – Disposições finais

São mencionadas as disposições resultantes da aplicação do RPC e quais os artigos que já estavam em vigor.

A *Figura 5* mostra um esquema de documentos a seguir e apresentar para se alcançar a marcação CE de um produto.

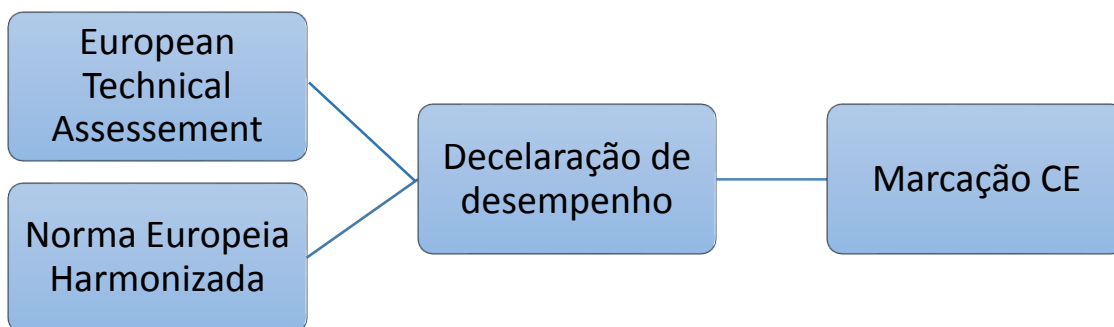


Figura 5 - Esquema de marcação CE

2.3.2 European Technical Approval Guidelines (ETAG's)

De modo a possibilitar a aprovação de marcações CE de produtos não abrangidos ou apenas parcialmente abrangidos pela norma europeia normalizada, foram criadas as European Technical Assessment Guidelines (ETA's) (EOTA, 2013).

As normas abrangem um grande campo e são muito gerais, as ETA's são aplicáveis em âmbitos muito mais específicos e particulares. São também vocacionadas para o avanço tecnológico para responder a necessidades específicas dos mercados. As European Technical Approval Guidelines (ETAG's) são os guias para aplicação das ETA's.

As ETAG's apoiam-se sobretudo nas sete características essenciais da construção definidos pelo RPC:

1. Resistência mecânica e estabilidade
2. Segurança contra incêndio
3. Higiene, saúde e ambiente
4. Segurança e acessibilidade na utilização
5. Proteção contra o ruído
6. Economia de energia e isolamento térmico
7. Aspetos de durabilidade, serviço e identificação

Cada ETAG tem de dizer qual o seu âmbito de aplicação e, usando as sete características essenciais, definir requisitos básicos para cada uma e os respetivos ensaios para os verificar. Descreve também como verificar se estão aptos a uso e os pressupostos prévios sobre os quais se apoiam.

3

Metodologia de validação do sistema construtivo

3.1 Estrutura geral

Como já foi referido anteriormente, a marcação CE é necessária para um produto ter livre circulação no mercado Europeu. Para aquisição desta classificação, é precisa a obtenção de uma declaração de desempenho que mostre que o produto está de acordo com a respetiva norma harmonizada, ou ETAG que lhe é aplicável. Quer as normas harmonizadas, quer as ETAGs definem ensaios a serem executados cujas classificações/resultados devem estar presentes na declaração de desempenho. Tudo isto está delineado no regulamento RPC, tendo sido já discutido no capítulo anterior. Neste momento, o objetivo será aplicar este conhecimento a um produto real e concreto. Para tal serão analisados os documentos necessários para alcançar uma metodologia de validação do produto e descrever as medidas de ensaios por eles impostas. A estrutura geral a ser seguida pode ser consultada no esquema seguinte.

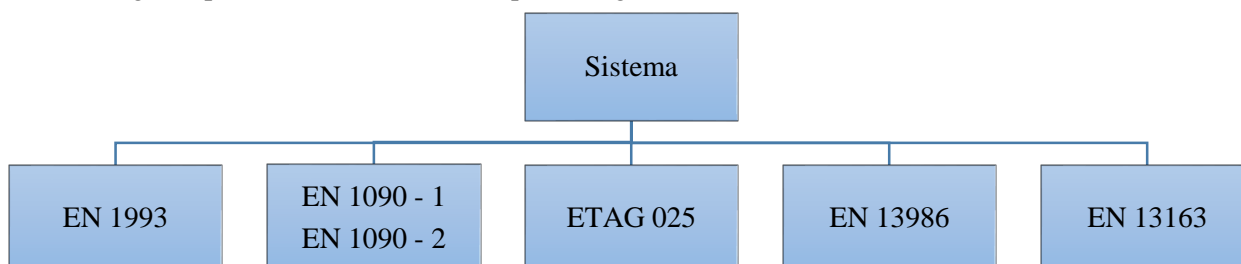


Figura 6 - Documentos relevantes para a validação do produto

O sistema Dreamdomus é composto por painel sandwich, constituído por duas placas rígidas de OSB e núcleo de EPS, associado a uma estrutura de LSF (Dreamdomus, 2017). Para cada um destes componentes existe um ou mais documentos que descrevem as suas exigências de desempenho e que apontam para normas de ensaio. Estas normas de ensaio descrevem e explicam em pormenor ensaios aos quais os diferentes componentes do sistema devem ser submetidos, por orientação das normas harmonizadas ou ETAG's correspondentes. Para cada uma das características fundamentais da construção definidas no RPC, mencionadas em 2.3.1, os documentos relevantes apontam para diferentes normas de ensaio que ditam a performance do componente na característica em questão.

Apesar de cada característica ter de obedecer a diferentes normas e ensaios, alguns procedimentos são comuns quer para a estrutura de LSF quer para o painel sandwich. Nomeadamente, ensaios em momentos específicos a que todos os componentes têm de ser submetidos. O primeiro é o ETI (Ensaio de Tipo Inicial), que consiste numa série de ensaios e procedimentos para determinar o desempenho de amostras de produtos representativas do tipo de produto. Isto é feito para confirmar se o produtor tem capacidade ou não de fazer um produto em conformidade com a norma em questão. De seguida temos o CPF (Controlo de Produção em Fábrica), que é

estabelecido pelo fabricante para garantir que os produtos colocados no mercado estão todos dentro das condições de conformidade. Este controlo deve abranger o pessoal, o equipamento, o produto e o processo de concessão. O procedimento consiste em inspeções regulares, ensaios e avaliações cujos dados e valores serão registados. Se estes dados e valores não estiverem dentro da gama pretendida, devem ser mantidos na mesma até ao fim do período definido do CPF.

As normas e ETAG apresentadas e os diferentes componentes a que dizem respeito são:

- LSF - No caso do LSF temos o EN 1993 – “Eurocódigo 3 Projeto de Estruturas de Aço” (CEN, 2005). Os Eurocódigos são um conjunto de normas Europeias que definem critérios e métodos de cálculo para o dimensionamento de estruturas. No caso do Eurocódigo 3 isto é direcionado a estruturas de aço como é o caso do LSF. Existe uma norma especificamente dedicada à atribuição CE de estruturas de aço e alumínio, é ela a EN 1090 – “Execução de estruturas de aço e de estruturas de alumínio” (CEN, 2008). Esta norma está dividida em três partes, a primeira parte fala de especificações gerais, a segunda é específica do aço e a terceira do alumínio. Para o LSF são precisas as primeiras duas partes.
- Kit - Para o painel sandwich tipo SIP, discutido no Capítulo 2, é necessário utilizar a ETAG 19 – “Prefabricated wood-based loadbearing stressed skin panels”. No entanto, o sistema em análise, ao contrário do sistema SIPs, utiliza estruturas em aço leve em oposição e não de madeira. Como tal a ETAG necessária é a ETAG 025 – “Metal Frame Building Kits”. As ETAG’s como já foi referido servem para cobrir produtos que não são abrangidos ou apenas parcialmente abrangidos pelas normas harmonizadas. A ETAG em questão abrange sistemas de armação metálicos preparados industrialmente, comercializados como *kits*, que são constituídos por componentes com design pré-definido e pré-fabricados destinados à produção em série.
- OSB - Quanto ao OSB, este deve seguir o imposto na norma EN 13986 – “Wood-based panels for use in construction – Characteristics, evaluation of conformity and marking” (CEN, 2004), onde é descrito como alcançar a marcação CE em todas as sete características essenciais.
- EPS - De modo semelhante ao OSB, a marcação CE para o isolamento EPS é definida por uma norma única, a EN 13163 – “Thermal insulation products for buildings. Factory made expanded polystyrene (EPS) products. Specification” (CEN, 2012).

Os esquemas seguintes que irão ser apresentados têm como objetivo, mostrar o caminho para se atingir os pontos necessários a fim de se alcançar a verificação do produto, em cada uma das características fundamentais da construção. Para tal, cada uma das normas harmonizadas ou ETAG mencionadas no esquema geral estão associadas às normas de ensaio, por elas mencionadas, necessárias seguir para esse efeito.

3.2 Resistência mecânica e estabilidade

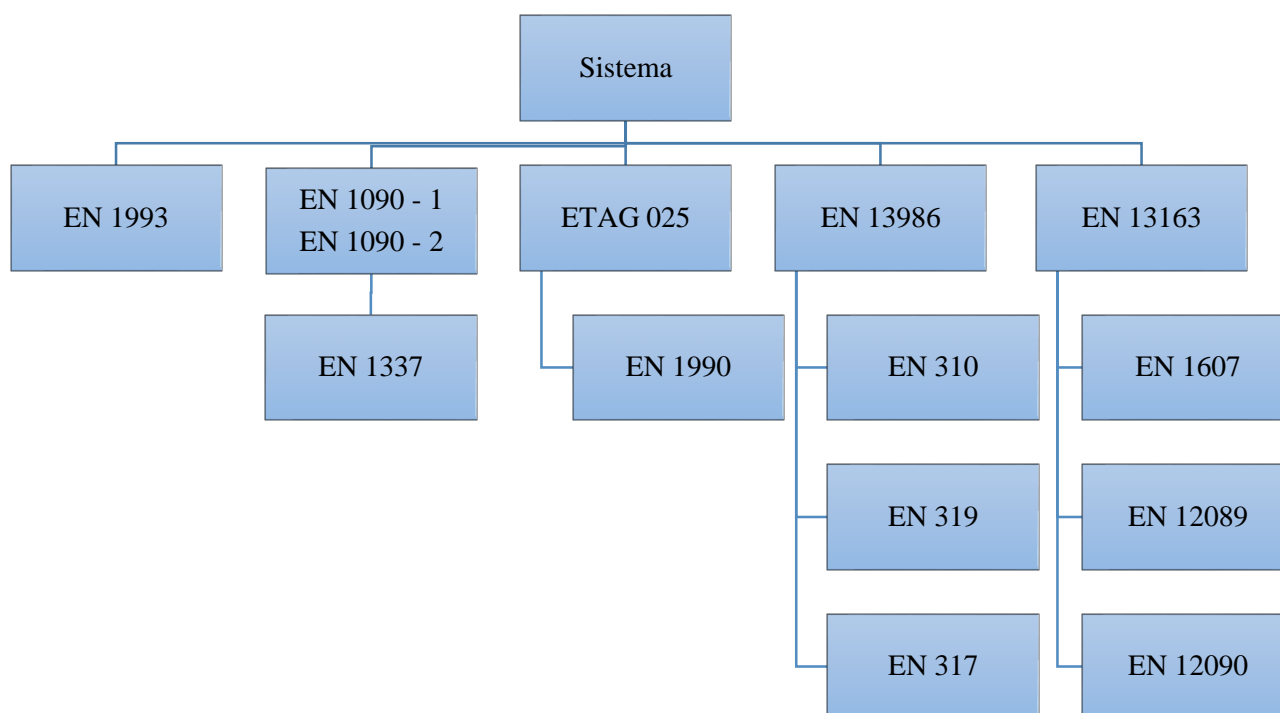


Figura 7 - Esquema de resistência mecânica e estabilidade

Para garantir a estabilidade da estrutura esta tem de estar dentro de uma geometria delimitada que pode ser consultada no EN 1090 – 2 Anexo D. Da mesma forma para a estrutura ficar estável tem de ser bem soldada, para a soldabilidade estar em conformidade é necessário consultar as normas que dizem respeito aos materiais constituintes. A soldabilidade no entanto não é uma informação obrigatória pelo que pode ser apenas descrita como DND (desempenho não determinado). A resistência à carga deve ser desenhada segundo o requerido pelo EN 1990 – “Basis of Structural Design” (CEN, 2002), que por sua vez é acompanhado por cálculos do EN 1993, EN 1994 e EN 1999.

Para testar o LSF quanto à resistência mecânica e estabilidade são precisas as normas:

- Todas as partes relevantes e aplicáveis da norma EN 1337 – “Structural bearings”.

A capacidade de resistência mecânica e estabilidade dos kits deve ser definida ou por cálculos ou por ensaios. Os cálculos para este efeito devem ser feitos segundo a norma EN 1993 – “Eurocódigo 3 Projeto de Estruturas de Aço”.

O kit deve ser capaz de suportar as cargas especificadas com segurança adequada contra colapso estrutural, deformações inadmissíveis e, se for o caso, colapso desproporcional. As ações relevantes a serem consideradas normalmente incluem peso próprio e cargas impostas assim como cargas causadas pelo vento, pela neve e, se forem aplicáveis, por sismos.

Para testar o kit quanto à resistência mecânica e estabilidade é precisa a norma:

- EN 1990 – “Eurocode: Basis of Structural Design”.

Para testar o OSB quanto à resistência mecânica e estabilidade são precisas as normas:

- EN 310 – “Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength”;

- EN 317 – “Particleboards and fibreboards. Determination of swelling in thickness after immersion in water”;
- EN 317 – “Particleboards and fibreboards. Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board”;

Para testar o EPS quanto à resistência mecânica e estabilidade são precisas as normas:

- EN 1607 – “Determination of tensile strength perpendicular to faces of Thermal Insulation Products”;
- EN 12090 – “Determination of Shear Behavior of Thermal Insulation Products”.

3.3 Segurança contra incêndios

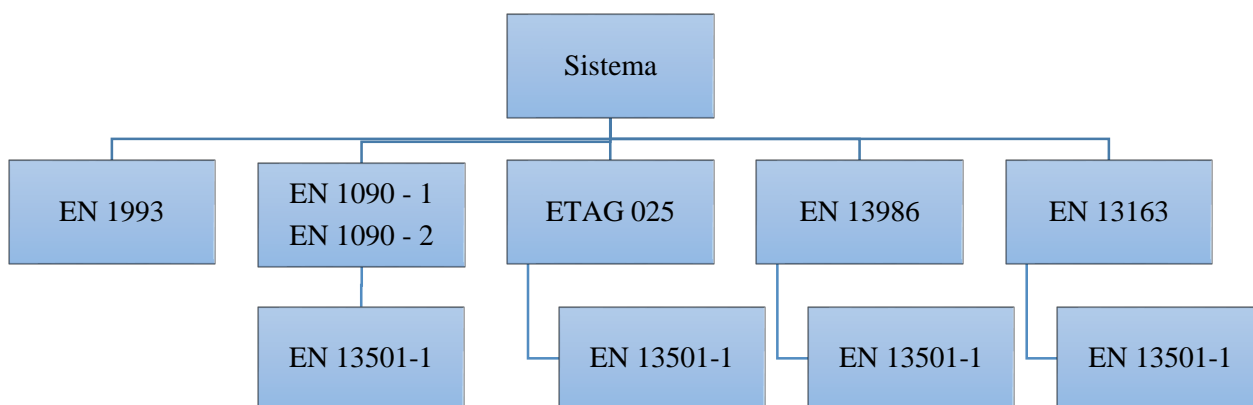


Figura 8 Esquema de segurança contra incêndios

Relativamente à segurança contra incêndios podemos destacar resistência ao fogo e reação ao fogo. Quanto à reação ao fogo o sistema tem de ser classificado e testado segundo a norma EN 13501-1 – “Fire Test to Building Material. Classification” (CEN, 2007). A resistência ao fogo estar dentro da conformidade esta tem de ser testada segundo a norma EN 13501-2 – “Fire classification of construction products and building elements”(CEN, 2007), esta norma define a classificação a ser usada.

Para testar o LSF à segurança contra incêndios é precisa a norma:

- EN 13501 - 1: “Fire Test to Building Material. Classification”.

Para testar o kit à segurança contra incêndios são precisas as normas:

- EN 13501 - 1: “Fire Test to Building Material. Classification”.

Para testar o OSB à segurança contra incêndios é precisa a norma:

- EN 13501 - 1: “Fire Test to Building Material. Classification”.

Para testar o EPS à segurança contra incêndios é precisa a norma:

- EN 13501 - 1: “Fire Test to Building Material. Classification”.

3.4 Higiene, saúde e ambiente

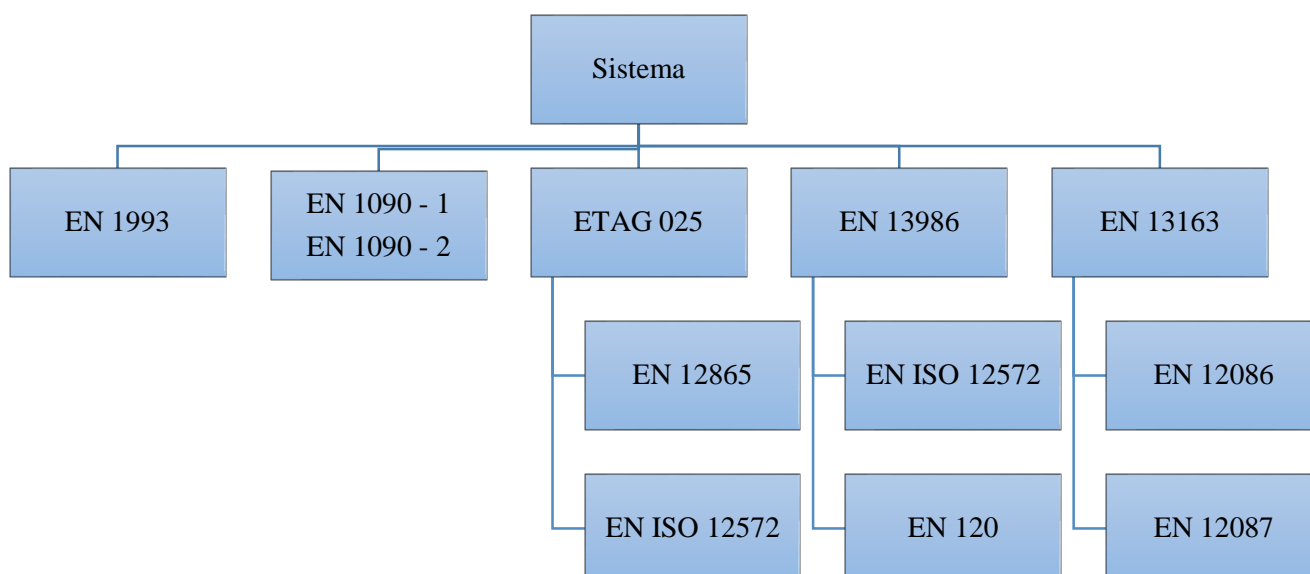


Figura 9 - Esquema de higiene, saúde e ambiente

No caso do LSF a preocupação com a higiene, a saúde e o ambiente ronda apenas à volta da emissão de radioatividade e libertação de cádmio. Não há ensaios a serem feitos para verificar se os valores de emissão. O controlo é considerado garantido simplesmente se o produto estiver dentro dos conformes da norma EN 1090-2. A única exceção, situação na qual ensaios são necessários, é quando são utilizados revestimentos de proteção que não são abrangidos pela norma.

O kit deve ter propriedades que o permitam evitar a aparição de níveis prejudiciais de humidade intersticial e superficial. O risco de condensação pode normalmente ser verificado segundo as com base nas características de higroscopicidade de cada componente construtivo, esses valores podem ser consultados na norma EN 12524 – “Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values” (CEN, 2000). Deve também impedir a entrada de água proveniente da chuva ou de neve derretida. Quando instalado deve ainda satisfazer os requisitos do Essential Requirements number 3 presente na Construction Products Directive. Em particular não deve causar emissões de substâncias nocivas, partículas perigosas, ou radiação quer para o interior do edifício quer para o meio ambiente (ar, solo ou água).

Para testar o kit à higiene, saúde e ambiente são precisas as normas:

- EN 12865 – “Hygrothermal performance of building components and building elements. Determination of the resistance of external wall systems to driving rain under pulsating air pressure”;
- EN ISO 12572 – “Hygrothermal performance of building materials and products -- Determination of water vapour transmission properties”.

Para testar o OSB à higiene, saúde e ambiente são precisas as normas:

- EN 120 – “Wood-based panels. Determination of formaldehyde content”;
- EN ISO 12572 – “Hygrothermal performance of building materials and products. Determination of water vapour transmission properties”.

Para testar o EPS à higiene, saúde e ambiente são precisas as normas:

- EN 12086 – “Determination of water vapour transmission properties”;

- EN 12087 – “Determination of long term water absorption by immersion”.

3.5 Segurança no uso

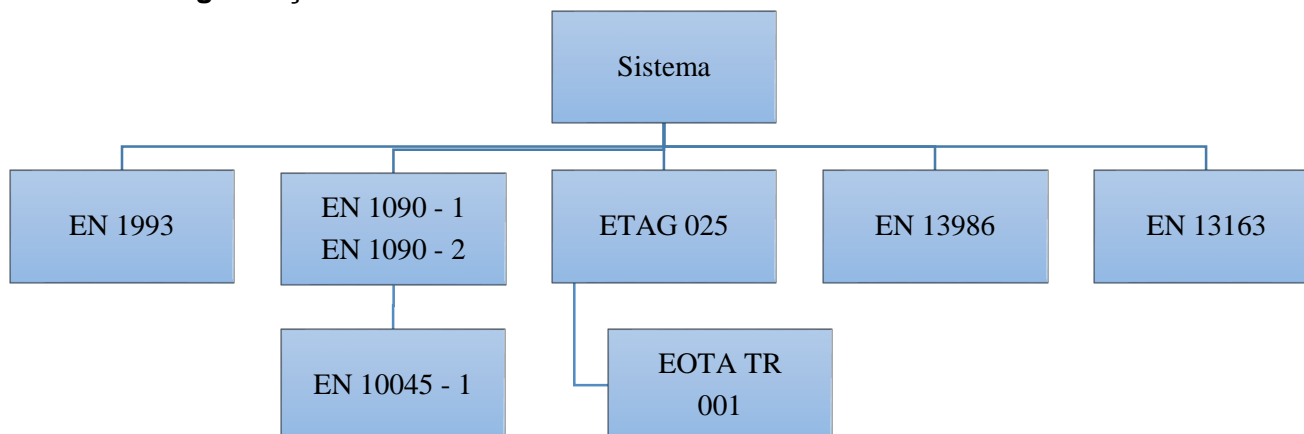


Figura 10 - Esquema de segurança no uso

A segurança no uso está ligada à tenacidade à fratura que pode ser avaliada pela resistência ao choque da estrutura.

Para testar o LSF à segurança no uso é precisa a norma:

- EN 10045-1 – “Charpy impact test on metallic materials. Test method”.

As disposições para avaliação dos resultados do ensaio estão na norma EN 1993-1 – “Tenacidade à fratura”.

Semelhante ao LSF para se atingir a conformidade na segurança durante o uso o critério fundamental nos kits é a resistência a cargas excêntricas, incluindo resistência ao choque. Quando a parede interna é feita de materiais conhecidos e comuns, como placas de gesso cartonado, placas de madeira e derivadas de madeira, geralmente é considerado que estas têm uma resistência ao impacto suficiente quando usadas para fins habitacionais ou de escritório. Quando estas condições não se verificam deve-se recorrer a ensaios para determinar a resistência ao impacto (CEN, 2002).

Para testar o kit à segurança no uso é precisa a:

- EOTA TR 001 – “Determination of Impact Resistance”.

O OSB caso não tenha funções estruturais não tem quaisquer requisitos de resistência ao choque. De modo semelhante o isolamento não necessita para fins de conformidade desse tipo de resistência.

3.6 Proteção contra ruído

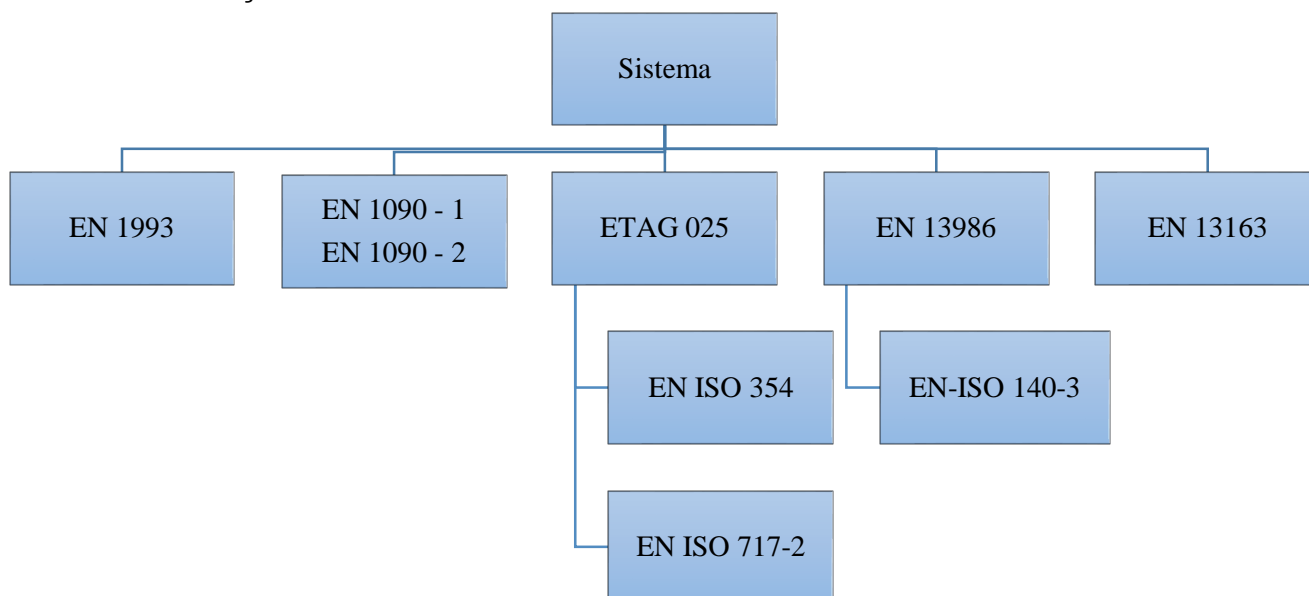


Figura 11 - Esquema de proteção contra ruído

Se o LSF, tal como na higiene, saúde e ambiente, não tem qualquer função relacionada com proteção contra o ruído. Por outro lado o kit tem normas a seguir para garantir o seu desempenho nesta característica. Pode ser dividido em duas componentes isolamento acústico e absorção de som.

Para testar o kit à proteção contra ruído são precisas as normas:

- EN ISO 354 – “Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room”;
- EN ISO 717-2 – “Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation”.

Para testar o OSB à proteção contra ruído é precisa a norma:

- EN ISO 140-3 – “Measurement of sound insulation in buildings and of building elements”.

O EPS também não requer qualquer ensaio nesta característica.

3.7 Eficiência energética e retenção de calor

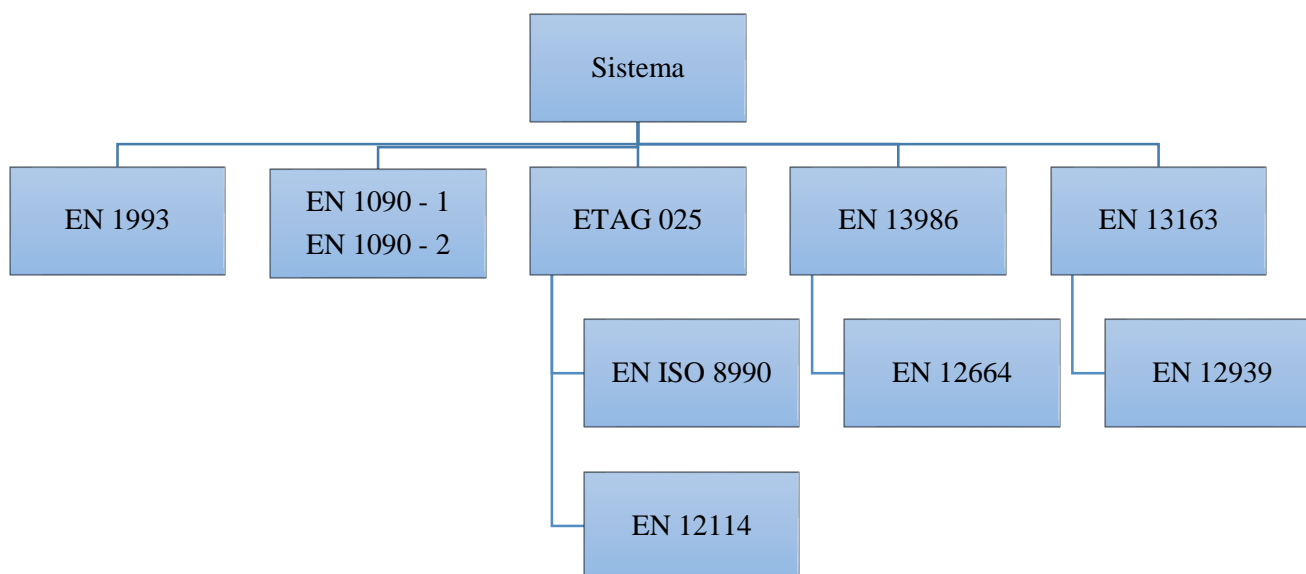


Figura 12 - Esquema de eficiência energética e retenção de calor

Novamente o LSF não tem quaisquer requerimentos ou funções relativamente a esta característica fundamental da construção. No entanto, é uma das principais funções do painel. Esta característica pode ser dividida em três: resistência térmica, permeabilidade ao ar e inércia térmica.

A resistência térmica do kit, e o seu correspondente valor de condutibilidade térmica, deve ser calculada com recurso aos valores de condutibilidade térmica dos materiais dispostos na norma EN 12524 – “Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values” (CEN, 2000). Alternativamente pode ser determinada com recurso a ensaio.

A avaliação da permeabilidade deve ter em conta os gastos energéticos, devido a fugas de ar, correntes de ar frio e condensação de vapor de água no interior do edifício.

A verificação da inércia térmica é feita segundo os valores que os principais constituintes dos edifícios apresentam em certas propriedades. Estes podem ser consultados nas normas EN 12524 – “Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values (CEN, 2000)” e EN 1991-2-1 – “Basis of design and actions on structures. Actions on structures. Densities, self-weight and imposed loads” (CEN, 2002).

Para testar o kit à eficiência energética e retenção de calor são precisas as normas:

- EN ISO 8990 – “Determination of steady-state thermal transmission properties”;
- EN 12114 – “Thermal performance of buildings. Air permeability of building components and building elements. Laboratory test methods”.

Para testar o OSB à eficiência energética e retenção de calor é precisa a norma:

- EN 12664 – “Thermal performance of building materials and products”.

Para testar o EPS à eficiência energética e retenção de calor é precisa a norma:

- EN 12939 – “Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Thick products of high and medium thermal resistance”.

3.8 Durabilidade e identificação

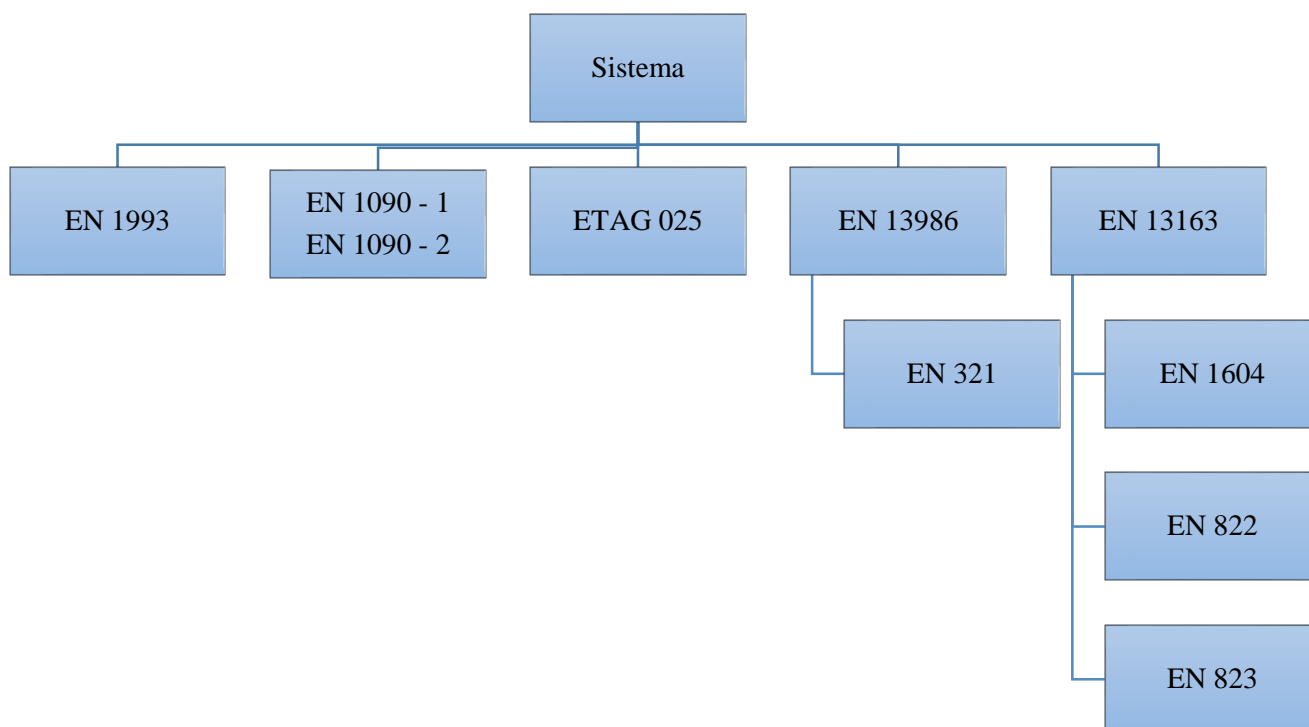


Figura 13 - Esquema de durabilidade e identificação

A identificação é apenas um conjunto de dados que a declaração de conformidade tem obrigatoriamente de ter, são eles: nome ou marca de identificação e endereço da sede social do fabricante, dois últimos dígitos do ano de aposição da marcação, número de certificado CE, descrição do produto, informação sobre o produto e sobre as características regulamentadas.

A durabilidade do LSF não tem um controlo direto, é assegurada pela proteção adequada à sua classe de exposição para evitar o aparecimento de corrosão. É assumido que seguindo todas as indicações relativas à preparação da superfície da norma EN 1090-2. Quando necessário devem ser aplicados revestimentos que garantam a durabilidade da estrutura. A mesma norma define as classes de execução EXC1, EXC2, EXC3 e EXC4, que podem ser atribuídas a toda a estrutura ou apenas a uma porção desta. Quanto mais exigente é a execução maior será a sua classe de execução, os requisitos para cada classe podem ser consultados na Tabela A.3 da referida norma. Se não for especificada nenhuma classe a considerada é a EXC2 (CEN, 2002).

A identificação do sistema deve ser feita com recurso a parâmetros que tornem claras as propriedades do produto. Como tal as especificações do produto devem fazer referência a uma das seguintes opções: norma harmonizada, normas não harmonizadas europeias ou internacionais de produtos padrão uma ETA baseada numa ETAG ou identificação dos materiais do kit em questão.

A durabilidade do kit normalmente deve ser estimada pelo órgão de aprovação, com base na experiência e conhecimento geral, e principalmente examinando os detalhes do edifício que fazem parte do kit. A EOTA Guidance document 003 (Assessment of working life of products) pode ser usada para consultar os fatores de degradação climáticos ao longo da Europa que interferem com a durabilidade. O aspeto mais importante na durabilidade dos kits é a corrosão da estrutura, é portanto importante identificar a sua classe de exposição definida pela norma EN ISO 12944 –

“Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems” (CEN, 2007).

A norma EN 300 – “Oriented Strand Boards (OSB) – Definitions, classification and specifications” (CEN, 2006) é a responsável pela identificação das placas de OSB. Nela são descritas quatro categorias dentro das quais as placas se podem inserir: OSB 1, OSB 2, OSB 3 e OSB 4.

Para testar o OSB quanto à durabilidade e identificação é precisa a norma:

- EN 321 – “Wood-based panels. Determination of moisture resistance under cyclic test conditions”;

Para testar o EPS quanto à durabilidade e identificação são precisas as normas:

- EN 1604 – “Thermal insulating products for building applications. Determination of dimensional stability under specified temperature and humidity conditions”;
- EN 822 – “Thermal insulating products for building applications. Determination of length and width”;
- EN 823 – “Thermal insulating products for building applications. Determination of thickness”.

4

Estanquidade

4.1 Estanquidade

4.1.1 Estanquidade ao ar

Define-se como estanquidade a propriedade hermética da envolvente do edifício que determina a sua capacidade, ou não, de ser ultrapassado por um fluido proveniente do interior ou do exterior, através de orifícios acidentais ou aberturas na envolvente do edifício (Civil, 2017). Esta propriedade é de elevada importância para a engenharia civil, uma vez que se a envolvente dos edifícios não for suficientemente estanque podem ocorrer vários problemas, que irão ser discutidos no seguimento do presente trabalho.

Os fluidos a considerar neste contexto e com os quais se tem de ter atenção, são o ar e a água. A estanquidade é referente a toda a envolvente do edifício e é tanto maior quanto menor a permeabilidade dos seus componentes.

Particularizando sobre a estanquidade ao ar, esta é um requisito importante na conceção de edifícios com necessidades energéticas baixas como os NZEB. A verdade é que a estanquidade ao ar da envolvente é crucial para se atingir bons níveis energéticos, uma vez que esta pode ser responsável pela perda de cerca de 40% do calor interior (HUB, 2013). O tema possui tal importância que os dados de estanquidade ao ar são incluídos nas declarações de desempenho (Rosenheim, 2016).

Dito isto, as fachadas dos edifícios têm de ser minimamente estanques. No entanto, é quase inevitável a existência, ao longo destas, de aberturas, fendas ou outros pontos de penetração de ar. A título de exemplo, por estas aberturas é potenciada a entrada de uma grande quantidade de vapor de água (causando este humidade), sobretudo se estas se encontrarem associadas a diferenciais de pressão. Estes diferenciais são causados pela combinação de ações do vento, da flutuabilidade do ar quente e dos sistemas mecânicos. As barreiras ao ar devem portanto ser contínuas, sendo que isto implica que os pontos menos estanques, as juntas (que serão discutidas em pormenor adiante), devem receber o tratamento devido para que se evite a passagem de ar e perdas associadas ao fenómeno.

O movimento do ar como mecanismo de transporte de humidade chega a ser tipicamente mais preocupante do que difusão de vapor, na maioria das situações. Na maior parte dos climas, se o movimento de ar, incidente numa parede com uma grande concentração de humidade for eliminado, não será o movimento da humidade por difusão de vapor que irá ser significativo. As únicas exceções são paredes que sejam atingidas pela queda de chuva ou que ainda estejam a ser montadas (Lstiburek, 2015).

Particularizando agora para o painel sandwich, este pode ser considerado estanque ao ar, uma vez que o núcleo de EPS não o faz ter tendência para o aparecimento de condensações devido a fugas de ar. Não só o núcleo, mas também as placas rígidas de OSB podem ser consideradas estanques ao ar. Na verdade, todo o painel é uniformemente estanque devido ao valor aproximado de permeabilidade ao ar que as espessuras normalmente utilizadas de OSB e EPS lhe conferem, ou seja $5.72135 \times 10^{-11} \text{ kg/Pa/s/m}^2$ (Lstiburek, 2015).

Esta elevada estanquidade ao ar do painel sandwich representa uma grande vantagem que as paredes por ele constituídas têm relativamente às paredes com uma constituição mais típica. Este especto está representado na Figura 14.

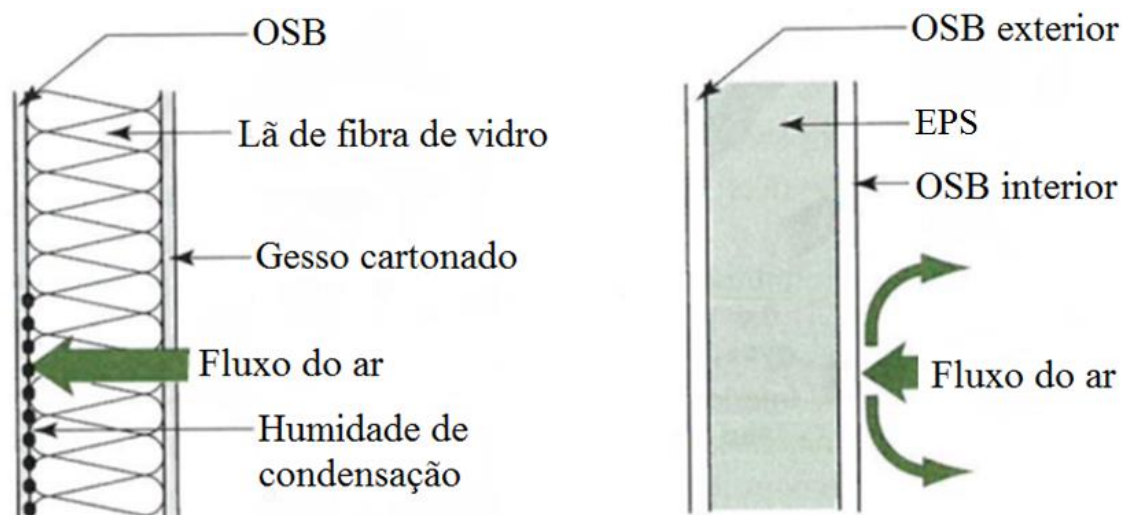


Figura 14 - Comparação entre parede convencional e parede de painel sandwich adaptada de Lstiburek (2015)

Como se pode ver à esquerda na imagem, o ar carregado com vapor de água proveniente do interior, atravessa o gesso cartonado e o isolamento em fibra de vidro da parede leve convencional, atingindo o OSB e provocando a condensação do vapor de água no interior da parede. Por outro lado, à direita, na parede de painel sandwich, a face interior de OSB do painel não se deixa ultrapassar pelo ar, o que não permite o aparecimento de condensações.

4.1.2 Estanquidade à água

Uma das principais funções da envolvente de um edifício é garantir a proteção devida contra penetração de água proveniente da chuva, da neve, ou de gelo. A água é a principal responsável pela degradação de um edifício, age individualmente ou em conjunto com outros agentes que se servem desta como o seu meio de transporte para o interior das construções. O primeiro passo para evitar a entrada de água da chuva é o posicionamento do edifício. Este deve ser orientado de modo a que os ventos mais forte empurrem o mínimo de chuva possível contra as paredes. Deve-se também ter o cuidado de providenciar detalhes arquitetónicos, como saliências do telhado, que protejam a fachada o mais possível (Lstiburek, 2015). A ideia é que a água seja conduzida de cima para baixo ao longo do edifício e que tenha o mínimo contacto possível com a parede.

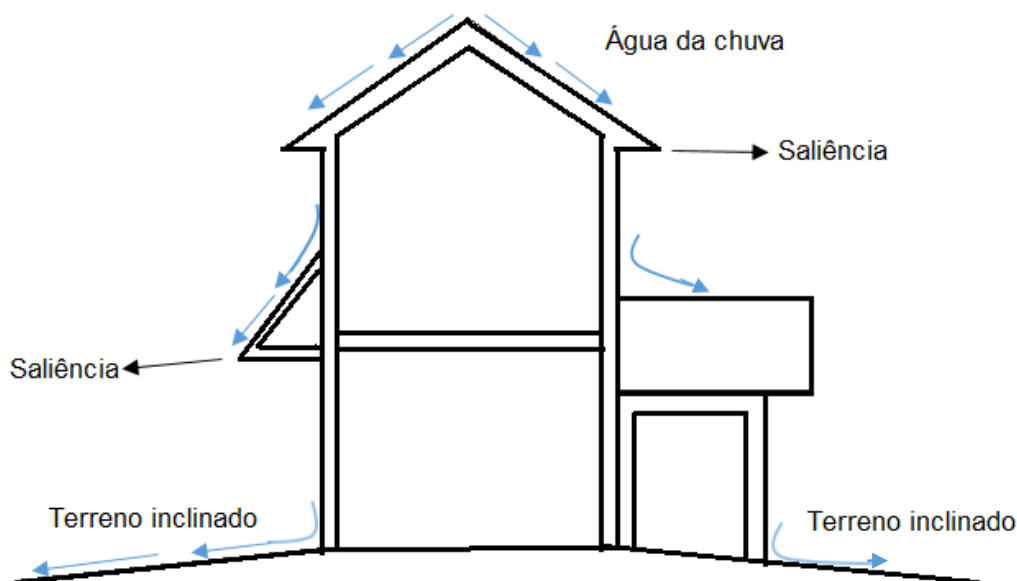


Figura 15 - Expulsão de água da chuva adaptada de Lstibure (2015)

É inevitável que alguma água acabe nas paredes, portanto também é necessário perceber que forças estão envolvidas na penetração de água e como as controlar. Estas forças são a energia cinética, a tensão de superficial, a gravidade, a ação capilar e a diferença de pressão do ar através da parede.

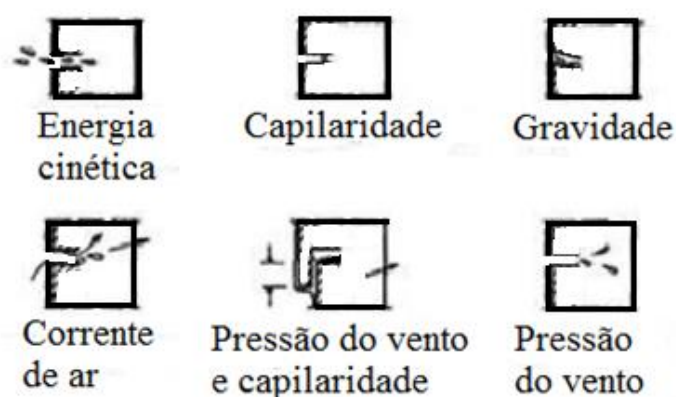


Figura 16 - Forças que produzem a penetração de água de chuva adaptadas de GARDEN (1963)

Dentro destas as mais significativas são as últimas três: a gravidade, a ação capilar e a diferença de pressão do ar através da parede. No caso da água da chuva a diferença de pressão do ar através da parede é o principal motor para a infiltração de água. A diferença de pressão é causada sobretudo devido à ação do vento, mas para que ocorram infiltrações é necessária obviamente a existência de aberturas na fachada. Dependendo do tipo de revestimento, após a queda de chuva ou de neve que posteriormente derrete, pode-se formar uma película superficial de água no exterior que facilmente penetra nas aberturas que possam existir. Uma vez que costumam ser bastante numerosas podem considerar-se um problema. Aparecem sobre a forma de poros dos próprios materiais, interfaces e juntas na ligação entre elementos e componentes que não sejam feitas devidamente ou que não tenham tido o tratamento adequado.

Assim sendo, caso a água consiga penetrar dentro do revestimento, deve ser drenada de modo a que não atinja o painel. Esta é uma preocupação sobretudo em climas chuvosos, uma vez que é necessário adotar medidas caso a precipitação anual da localidade em questão seja superior a 500 mm (Lstiburek, 2015). A precipitação anual acumulada em Portugal é mostrada na *Figura 17* e os valores por distrito são mostrados na *Tabela 13*. Os valores apresentados são para o ano hídrico de 2015/2016.

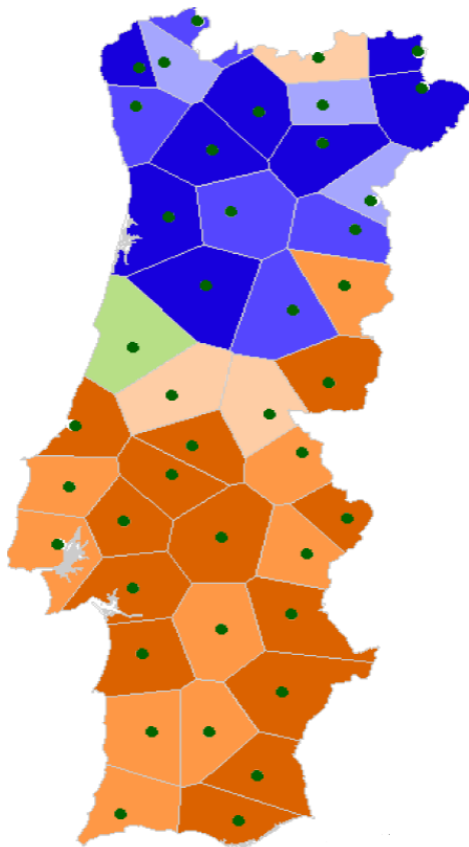


Figura 17 - Precipitação anual acumulada adaptada de SNIRH (2016)

Tabela 13 - Precipitação acumulada por distrito adaptada de SNIRH (2016)

Distrito	Viana do Castelo	Bragança	Porto	Castelo Branco	Lisboa	Beja	Faro
Precipitação (mm)	1416,8	971	1265,2	840,5	632,4	345,7	475,7

Como podemos ver pela *Figura 17* e a *Tabela 13* há distritos como Beja e Faro, e mesmo pontos em diferentes distritos como Leiria, que anualmente apresentam uma pluviosidade inferior a 500 mm. Significa que não requerem o uso de revestimento ventilado e drenado, cujo exemplo pode ser visto na *Figura 18*. O revestimento para além de ventilado, caso a precipitação assim o exija, deve ser sempre drenado.

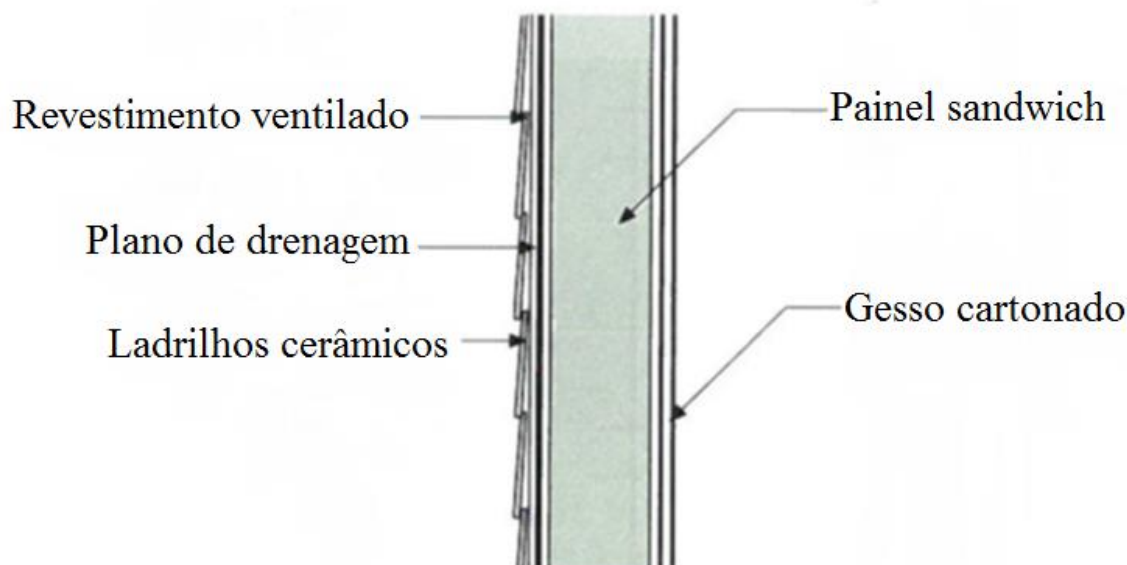


Figura 18 - Revestimento ventilado e drenado adaptado de Lstiburek (2015)

O revestimento utilizado é variado e pode ser constituído, por exemplo, em chapas ou placas de madeira, que podem estar pregadas ou a ripas ou mesmo ao próprio painel, que por sua vez não estão totalmente encostadas à parede. Existe um espaço de ar entre parte do revestimento e a parede o que faz com que este seja ventilado. O objetivo desta disposição do revestimento é a proteção contra a água da chuva que tem maior dificuldade em infiltrar-se. No entanto, é impossível prevenir totalmente a infiltração da água da chuva, água essa que deve ser drenada. Entre o revestimento e o painel sandwich existe um espaço de ar e membrana impermeável colada ao painel que formam o plano de drenagem. Assim que a água se infiltra através do revestimento encontra-se no espaço de ar e a tele impermeável impede que esta atinja o painel. A água é então conduzida ao longo do plano de drenagem e expelida por uma abertura desenhada para o efeito.

4.2 Requisitos de estanquidade

A estanquidade à água da envolvente exterior deve ser tal que evite a infiltração de água da chuva ou de neve derretida. Medições quanto à resistência a estas infiltrações devem ser feitas quer para os painéis quer para as juntas. Caso os painéis façam parte do revestimento exterior a sua estanquidade à água pode ser determinada através de referência aos padrões de produtos relevantes. A performance destes painéis vai ser declarada em termos qualitativos relativamente ao uso que lhe será destinado, como zonas climáticas em que poderá ser utilizado, aspetos de durabilidade e os requisitos mencionados anteriormente.

Relativamente à estanquidade ao ar, os regulamentos nacionais de vários países da União Europeia dizem respeito ao edifício como um todo e não apenas a um componente como são os painéis. A avaliação da permeabilidade ao ar é normalmente feita com base no conhecimento e experiência tendo em consideração os detalhes construtivos, o clima exterior e os objetivos para o clima interior. Devem também apresentar valores que limitem as perdas desnecessárias de energia, evitar correntes de ar frio que possam por em causa a saúde dos ocupantes assim como ter em conta os riscos de humidade de condensação dentro da construção. No entanto, quando as juntas são realizadas de um modo pouco comum ou se os responsáveis acharem necessário estas devem ser testadas. Alguns países europeus tem nas suas normas nacionais requisitos e valores

mínimos de estanquidade ao ar que podem ser consultados na figura seguinte requisitos nacionais de estanquidade ao ar (Langmans, 2013).

Tabela 14 - Requisitos nacionais de estanquidade ao ar adaptados de Langmans (2013)

País	Requisitos de estanquidade ao ar a 50 Pa	
	Ventilação natural	Ventilação mecânica
Republica Checa	4.51/h	Sem recuperação de calor 1.51/h Com recuperação de calor 1.01/h
Dinamarca	5.4 m ³ /(m ² h)	
França	0.6 m ³ /(m ² h) a 4 Pa (área da envolvente)	
Holanda	Habitação: 720m ³ /h Não residencial: 1.41/h	
Reino Unido	Edifícios > 500m ² : 10m ³ / (m ² h)	
Alemanha	3.01/h 3 m ³ /(m ² h) (área da envolvente)	1.51/h 3 m ³ /(m ² h) (área da envolvente)
Estónia	3 m ³ /(m ² h)	

Como se pode ver a estanquidade ao ar varia de país para país em valor e mesmo em unidades que usa para a definir. No entanto, todos apresentam o seu valor correspondente a uma pressão de 50 Pa. Isto porque a norma aplicada que descreve o ensaio a ser feito à estanquidade ao ar, EN 12114 – “Desempenho térmico dos edifícios. Permeabilidade ao ar de componentes de construção e elementos de construção. Método de ensaio laboratorial” que será discutido posteriormente, impõem que o ensaio seja feito com variações de pressão de 50 Pa. Alguns países como a Republica Checa fazem distinção entre os valores de ventilação térmica e ventilação mecânica, outros como a Dinamarca, consideram um valor único que tem de ser atingido pela performance combinada pelos dois tipos de ventilação.

Por seu lado a indústria americana têm também os seus requisitos relativamente à estanquidade ao ar, que são apresentados de uma forma diferente dos Europeus. Ou seja, cada componente e conjunto de componentes da barreira de ar tem um valor de permeabilidade mínimo. Portanto, cada material que compõe os sistemas de barreiras ao ar tem de ter um valor de mínimo de permeabilidade. Um conjunto de materiais assemblados por sua vez também tem um valor mínimo, estes quando conectados foram as barreiras propriamente ditas que têm o seu valor mínimo de permeabilidade ao ar regulamentado. Os valores são os apresentados a seguir (Lstiburek, 2015):

- Materiais – 0.02 l/ (sm²)
- Materiais assemblados – 0.2 l/ (sm²)
- Barreira ao ar – 2 l/ (sm²)

Os Estados Unidos determinam a quantidade de ar que passa na envolvente do edifício com recurso a dois parâmetros que lhe estão diretamente relacionados, a área de aberturas e as

diferenças de pressão nessas mesmas aberturas. Estes podem ser relacionados matematicamente, ou seja, apenas com a obtenção de dois deles é possível determinar o terceiro. Aproximadamente para um fluxo de ar de $1700 \text{ m}^3/\text{h}$ que passa numa abertura com um diferencial de pressão de 50 Pa essa abertura terá uma área de 1 m^2 . O teste propriamente dito é realizado com recurso ao ensaio Blower Door. Para o realizar é colocado um ventilador no espaço de uma das portas de saída que pode introduzir ar dentro do edifício, o que aumenta a sua pressão, ou retirar o que tem o efeito oposto. Quando o ventilador é usado para retirar ar de dentro do edifício a pressão negativa que se gera dentro deste vai fazer com que ar exterior entre pelas aberturas na envolvente. Se o ar retirado for suficiente para se sobrepor a quaisquer pressões naturais que ocorram a quantidade de ar retirado pode ser igual ao ar que está a entrar pela envolvente. Neste ponto pode-se ler o valor expresso no ventilador para se saber qual a quantidade de ar que entra pelas aberturas. Segundo o departamento de energia americano o requerimento de estanquidade ao ar em edifícios residenciais é de $1.65 \text{ l}/(\text{sm}^2)$ (Lstiburek, 2015).

4.3 Como a estanquidade é testada?

A permeabilidade ao ar dos painéis sandwich é a norma de ensaio EN 12114 – “Desempenho térmico dos edifícios. Permeabilidade ao ar de componentes de construção e elementos de construção. Método de ensaio laboratorial”. Antes de mais é importante explicar qual o princípio básico do ensaio. São aplicadas diferentes pressões (positivas e/ou negativas) no painel de amostra e a cada passo é medida a taxa de fluxo de ar que o atravessa. Os resultados medidos são então corrigidos para condições de referência e é feito um gráfico que relaciona a diferença de pressão com a taxa de ar que atravessou o painel de amostra. Os valores apresentados no gráfico têm de estar abaixo daqueles que são considerados os valores limite regulamentados.

O esquema do ensaio estabelecido pela norma EN 12114 para cálculo da permeabilidade ao ar é o apresentado na Figura 19. Os principais componentes do ensaio são uma camara estanque, onde se coloca o painel amostra, uma unidade que provoca as diferenças de pressão e uma unidade de controlo de fluxo. Primeiramente é imperativo dispor do equipamento necessário para segurar o painel durante o procedimento, meios de aplicação das diferenças de pressão sobre este que possam ser variadas rapidamente controladas dentro de certos limites, um manómetro que meça as diferenças de pressão com uma precisão de $\pm 5\%$ e fita adesiva ou uma membrana impermeável para selar as juntas da amostra (EASIE, 2010).



Figura 19 – Material de ensaio segundo a EN 12114

O painel amostra tem de ter pelo menos 1,2m por 2,4m e as suas juntas tem de ter o mesmo comprimento por m² que no painel real. O ensaio consiste em aplicar três choques de pressão que são precedidos de sete intervalos iguais de tempo, nos quais é aplicada uma pressão constante que é aumentada de intervalo para intervalo. Relativamente ao painel de amostra este deve ser obviamente representativo do componente construtivo que se quer testar. Se a sua aplicação incluir juntas ou outro caminho de fuga de ar estas devem estar presentes na amostra na mesma proporção que se encontrariam na aplicação do componente testado. Este deve ter resistência suficiente para aguentar as pressões a que vai ser sujeito durante o ensaio, além de ter de ser fixo, liso e quadrado sem quaisquer deformações introduzidas pela sua fixação. Caso o painel possua blocos, suportes, vedação ou revestimento protetor devem ser retirados, as suas faces devem ser depois lavadas e secas. Qualquer abertura com o propósito de ventilação deverá ser selada de acordo com os objetivos do ensaio. Por último, antes de começar o ensaio é necessário verificar se a pressão, a temperatura e a humidade relativa do ar com elevada precisão e garantir que estes valores se mantêm durante todo o procedimento. A temperatura tem de estar entre 15°C e 30°C enquanto a humidade relativa tem de estar entre os 25% e os 75%. Estes valores devem ser estabelecidos e mantidos um certo tempo antes de iniciar o ensaio para garantir o equilíbrio dos mesmos. A gama de variação de pressão deve ser estabelecida segundo o definido no Anexo A da norma. O procedimento propriamente dito é feito com variações positivas de pressão e apenas se necessário com diferenças negativas. Se o equipamento for estanque ao ar o procedimento é diferente. É considerado estanque quando a sua taxa de fluxo de ar é menos do que 5% do fluxo mínimo a ser medido. Caso seja não estanque é aconselhável medirem-se as taxas de fluxo de ar residual para diferenças de pressões negativas logo após medir para as positivas. Considerando o equipamento estanque o ensaio começa emitindo três impulsos cada um com uma duração de três segundos. A duração do incremento de pressão deve ser pelo menos um segundo, sendo que cada um tem de impor um incremento de 10% a 12% do valor determinado como variação de pressão máxima anteriormente através do anexo A. Este anexo é novamente necessário para determinar as diferenças de pressão do ar aplicadas ao painel de amostra após os três impulsos iniciais. Estas diferenças devem ser possíveis de calcular com uma certeza de 5%. Os valores de fluxo do ar e das diferenças de pressão são registadas e tratadas posteriormente. Se o equipamento não for estanque o procedimento é dividido em duas partes, uma residual na qual todas juntas são seladas, seguida de uma global em que estas estão sem qualquer tipo de impermeabilização. Em ambas são aplicados os mesmos três impulsos e registados os mesmos valores que no procedimento com equipamento estanque. Depois realizado o ensaio as taxas de fluxo de ar, os coeficientes de fuga e o rigor devem ser calculados a partir dos valores obtidos durante o ensaio segundo o definido na norma.

Os resultados são apresentados normalmente em m³/m.h e são medidos quando a diferença de pressão apresentada no manómetro é de 50 Pa. Com os dados resultantes é possível desenhar uma linha de regressão que mostra a relação entre a diferença de pressão e o fluxo de ar. A *Figura 20* mostra um exemplo de vários pontos, que quando ligados formam a linha de regressão, de vários produtores. Podemos observar que todos estão abaixo da linha estabelecida pelo DIN 4108-2 como limite máximo dos valores permitidos.

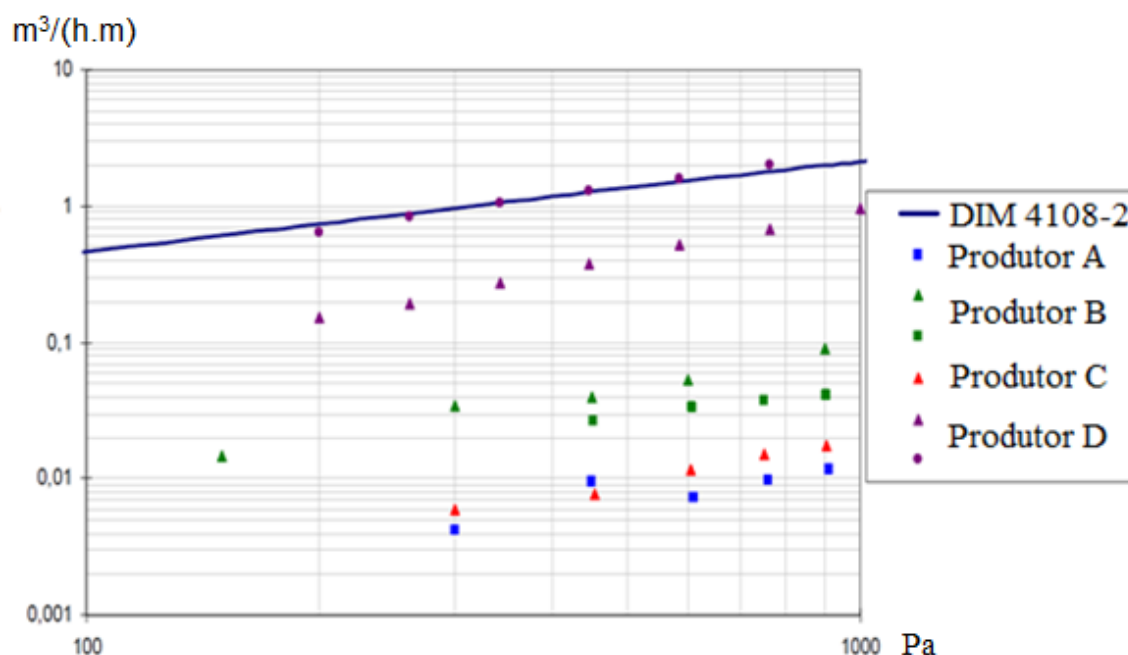


Figura 20 - Valores de ensaios e limites de estanquidade ao ar adaptados de AESIE (2010)

Para o cálculo da permeabilidade à água destes painéis a norma utilizada é a EN 12865 – “Desempenho higrotérmico de componentes de construção e elementos de construção. Determinação da resistência de sistemas de parede externa à chuva sob pressão pulsante”. O esquema do ensaio estabelecido pela norma EN 12865 para cálculo da permeabilidade à água é o apresentado na *Figura 21*. Os principais componentes do ensaio são uma câmara de ensaio, onde as amostras de teste são colocadas, uma unidade para causar várias diferenças de pressão e o pulverizador que atingirá as amostras com uma quantidade de água definida (EASIE, 2010).

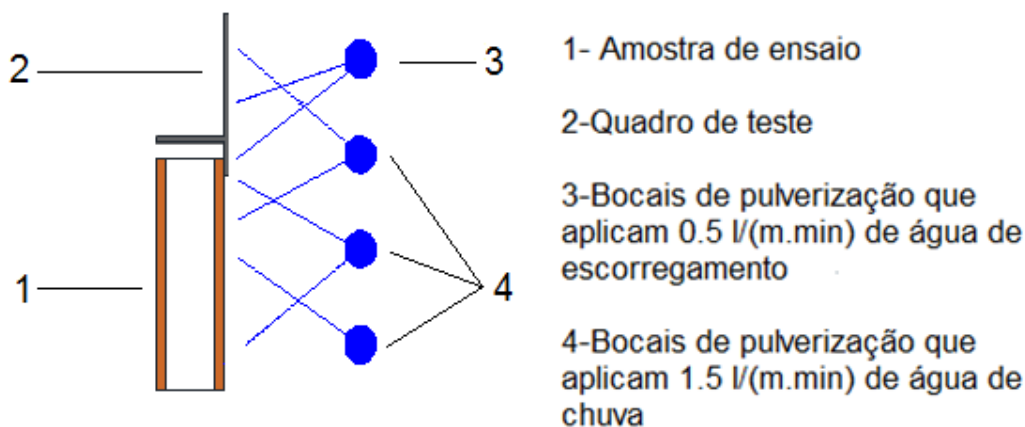


Figura 21 – Esquema de ensaio segundo a EN 12865 adaptado de AESIE (2010)

A área dos painéis testados tem de ter pelo menos 1,2m por 2,4m e as suas juntas tem de ter o mesmo comprimento por m^2 que no painel real. O ensaio é realizado com a constante rega das amostras a uma pressão que varia entre 0 Pa e múltiplos de 150 Pa. Os primeiros 20 minutos são realizados a 0 Pa e a cada dez minutos seguintes a variação de pressão é incrementada em 150 Pa. Este procedimento está esquematizado na *Figura 22* e na *Tabela 15*.

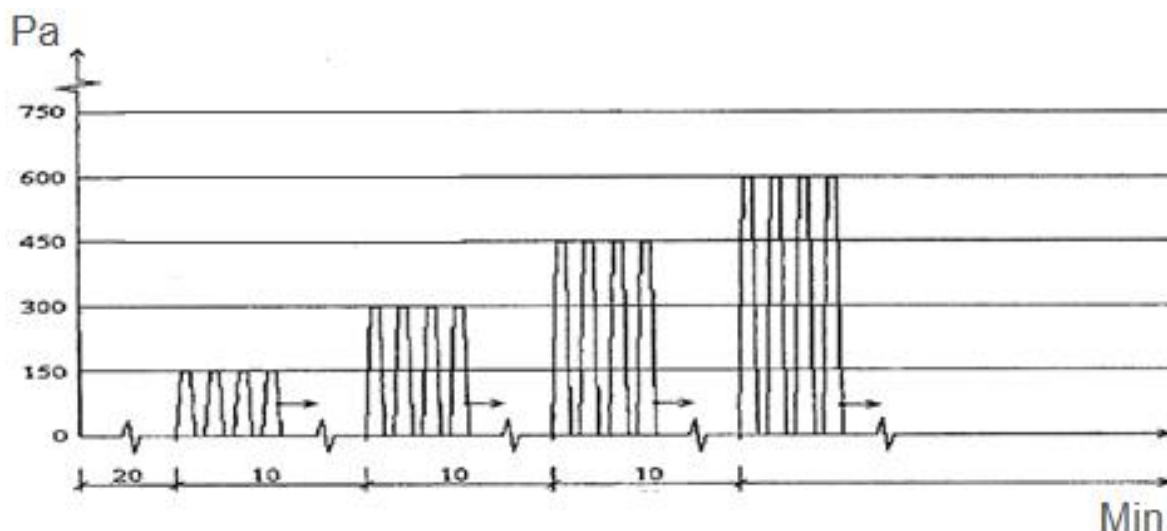


Figura 22 - Diferenças de pressão durante o ensaio adaptadas de AESIE (2010)

Tabela 15 - Intervalos de tempo e pressão do ensaio adaptados de AESIE (2010)

Diferença em pressão Pa	Procedimento de teste A	
	Intervalo (min)	Tempo total
0	20	20
0 - 150	10	30
0 - 300	10	40
0 - 450	10	50
0 - 600	10	60
$600 + i \times 150$ $i=1,2,3,4,5\dots n$	10	$60+i \times 10$

Durante o ensaio as amostras são observadas e é registada a diferença de pressão em que se verificou infiltração de água. Após a realização do ensaio os painéis podem cair em três categorias:

- Classe A: Impermeável até 1200 Pa, para aplicações sobre chuvas e ventos fortes.
- Classe B: Impermeável até 600 Pa, para aplicações normais.
- Classe C: Impermeável até 300 Pa, para aplicações com baixos requisitos.

4.5 Ensaio de permeabilidade à água líquida

O método de ensaio que vai ser utilizado para testar o coeficiente de absorção de painéis da fachada Dreamdomus, é o ensaio com recurso a tubos de Karsten. Estes tubos são utensílios graduados entre 0 cm³ e 4 cm³, com uma parte inferior cilíndrica mais alargada, sendo o restante tubo consideravelmente mais fino (ver *Figura 23*). Podem ser utilizados quer em superfícies verticais quer em superfícies horizontais, sendo que a sua utilização dependerá da forma do próprio tubo. A extremidade cilíndrica mais alargada é a que se coloca contra a superfície que se pretende ensaiar, sendo posteriormente colada com um material plástico e vedante, como por exemplo, plasticina, silicone poliuretano, entre outros. Depois de colado o tubo, este é então cheio de água até à marca dos 0 cm³, sendo que a mesma irá descer, resultado da absorção pela superfície em estudo. Os valores que a água for marcando no tubo de Karsten ao longo do tempo serão observados e posteriormente colocados num gráfico expresso em ml/min.



Figura 23 - Tubos de Karsten

Este método possui diversas aplicações, nomeadamente:

- Determinar a permeabilidade à água de todo o tipo de revestimentos;
- Prever o nível de degradação de revestimentos e avaliar as suas futuras alterações perante a ação da água;
- Comparar diferentes resultados em diferentes superfícies para avaliar a importância do revestimento e qual o melhor a aplicar;
- Determinar a durabilidade de uma superfície com ou sem tratamento hidrófugo.

Neste caso, os tubos serão utilizados para testar a permeabilidade de dois provetes de parede de fachada enviados pela empresa Dreamdomus. Porém, é necessário ter consciência prévia de quais as vantagens e desvantagens da utilização deste método. Dentro das vantagens temos os custos reduzidos, a possibilidade de ensaios *in situ* e a não exigência de fonte de energia externa. Como desvantagens os tubos de Karsten não são um bom método para avaliar superfícies muito absorventes e a alta probabilidade de ficarem resíduos (do material vedante) no material e na superfície.

Os dois provetes são de painéis sandwich, que variam no seu revestimento. Desta forma, o painel I tem revestimento de magnésio e o painel II tem revestimento cimentício.



Figura 24 - Provetes de amostra I e II

Os ensaios com os tubos de Karsten foram efetuados em várias áreas diferentes dos provetes. Estas áreas foram divididas em:

- Área 1 – parte de revestimento lateral não pintado;
- Área 2 – parte de revestimento central não pintado;
- Área 3 – parte de revestimento pintado.

Em cada um foram feitos vários ensaios, três no revestimento pintado, uma em cada junta entre de revestimento não pintado e duas em cada uma destas áreas.

Os esquemas de colocação dos tubos de Karsten, nos dois provetes, podem ser vistos na *Figura 25* e *Figura 26*.



Figura 25 - Posições de ensaio no provete I

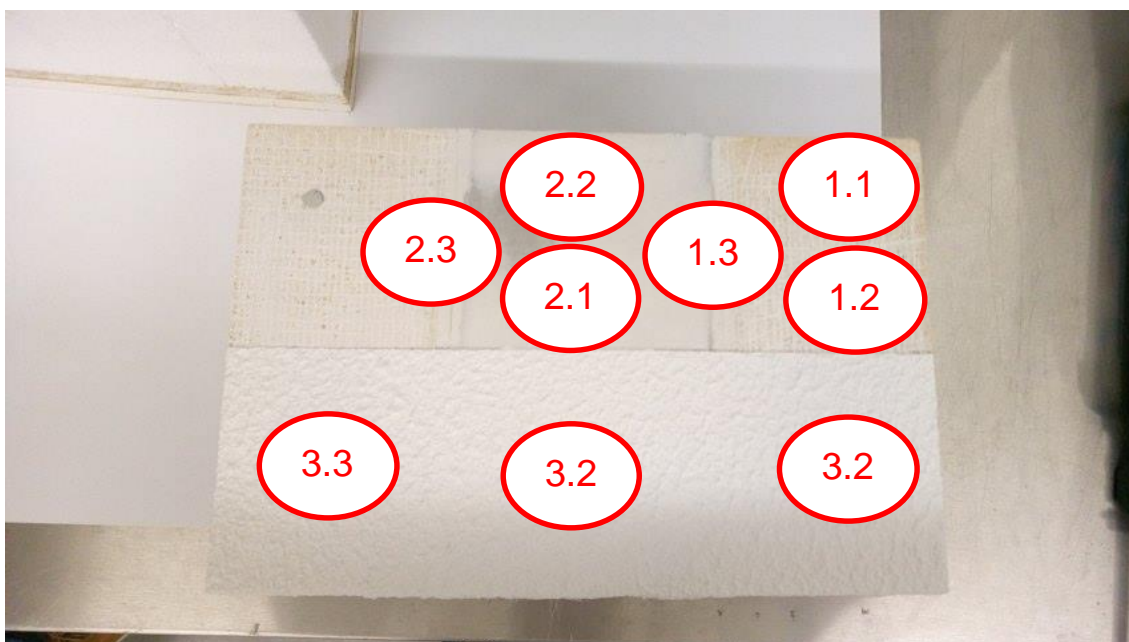


Figura 26 - Posições de ensaio no provete II

Os ensaios começavam com a colocação de silicone puro na base dos tubos para os fixar bem ao provete. Quando colocados eram bem pressionados contra o provete e após colocação eram aguardados dez minutos, para dar algum tempo do silicone secar e garantir a menor quantidade de fugas possíveis. Os ensaios propriamente ditos processavam-se enchendo os tubos até à marca zero com água destilada, cronometrar diferentes intervalos de tempo à medida que o ensaio ia progredindo, apontados os valores de descida da água no fim desses intervalos e voltando a encher com água destilada até à posição zero.

Podem distinguir-se três etapas diferentes:

- Primeira fase – onde se mediram os valores de minuto a minuto, com o objetivo de analisar a reação imediata à água;
- Segunda fase – os valores foram medidos de cinco em cinco minutos até se atingir uma hora total de ensaio;
- Terceira fase – os valores foram medidos de dez em dez minutos até se atingirem duas horas totais de ensaio.

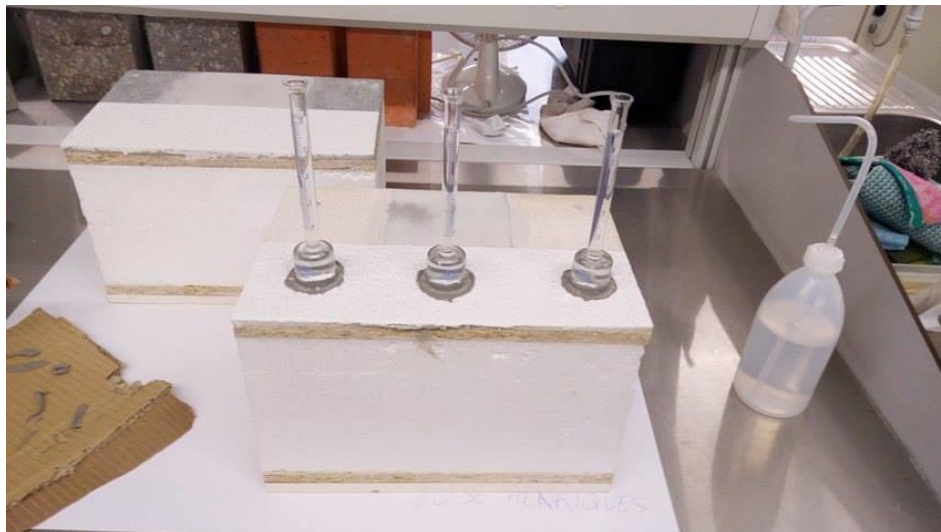


Figura 27 - Procedimento de ensaio

Os pontos de ensaio 1.3 e 2.3 feitos nas juntas não têm qualquer valor, porque depois de colocado o tubo de Karsten e de começar a por água, reparei que as juntas correspondentes a estes pontos eram grandes fissuras. Como consequência ao colocar a água no tubo ela saía imediatamente pela extensão da junta não coberta pelo tubo. O ponto mais interessante foi o ponto 1.1 sobre o parafuso que ligava todos os materiais constituintes do provete. Neste ponto os valores começaram semelhantes aos do ponto 1.2. Contudo, quanto a marca dos vinte minutos foi atingida reparei numa pequena quantidade de água que estava a aparecer de baixo do provete, como se pode ver na *Figura 28*.

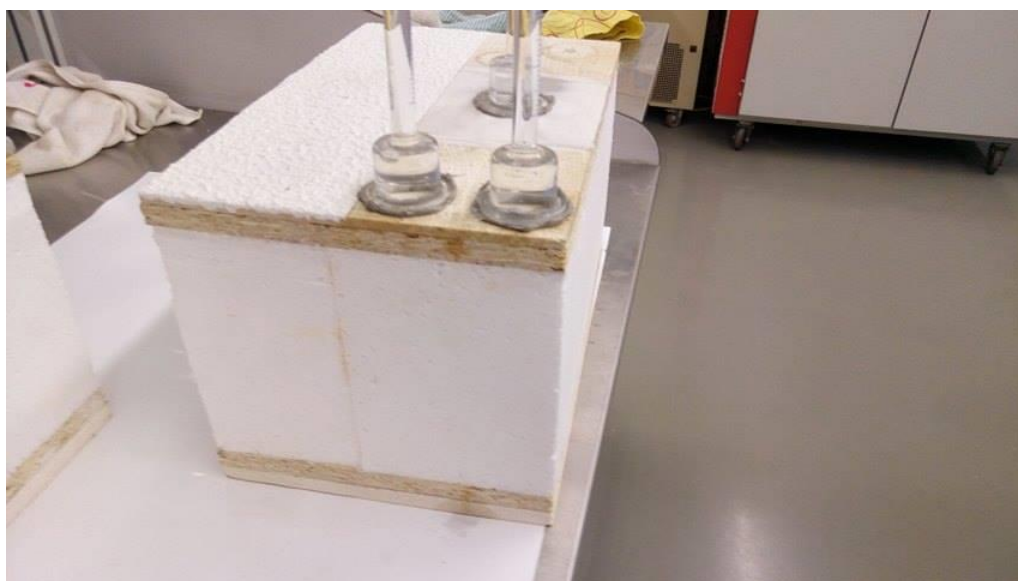


Figura 28 – Água saindo pelo fundo do provete

Deste momento em diante a quantidade de água que descia no tubo era significativamente maior, como se pode ver pela consulta do gráfico da *Figura 30*, e a quantidade de água que apareceu debaixo do provete também aumentou progressivamente. O parafuso é o provável culpado por esta situação. Depois de colocado não recebeu nenhum tratamento vedante e como causa a água conseguiu infiltrar-se e prosseguir pela abertura causada pelo parafuso, mas não totalmente preenchida por este. Devido a esta infiltração o próprio OSB começou a ser afetado e a apresentar manchas de humidade, como se pode ver na *Figura 29*.



Figura 29 - OSB molhado devido ao ensaio

Os valores resultantes dos ensaios ao provete II, nos pontos 1.1 e 1.2, podem ser consultados nos gráficos da *Figura 30* e *Figura 31* respetivamente. Os resultados do provete I não estão tabelados uma vez que todos foram zero, ou seja, não houve qualquer absorção de água pelo provete I. Do mesmo modo não houve qualquer absorção nos pontos 2.1, 2.2, 3.1 e 3.2 do provete II.

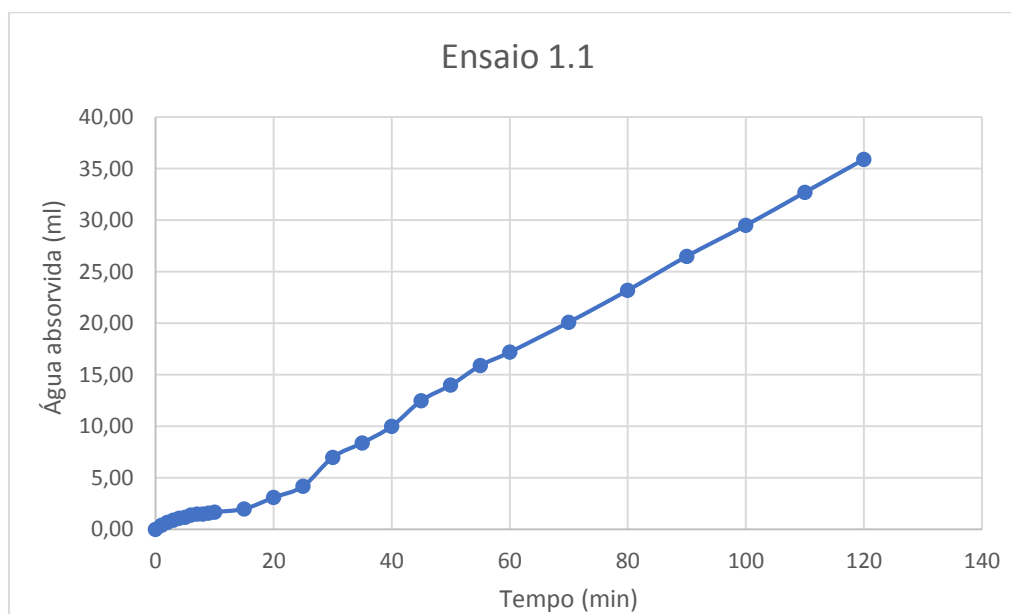


Figura 30 - Gráfico de ensaio do ponto 1.1

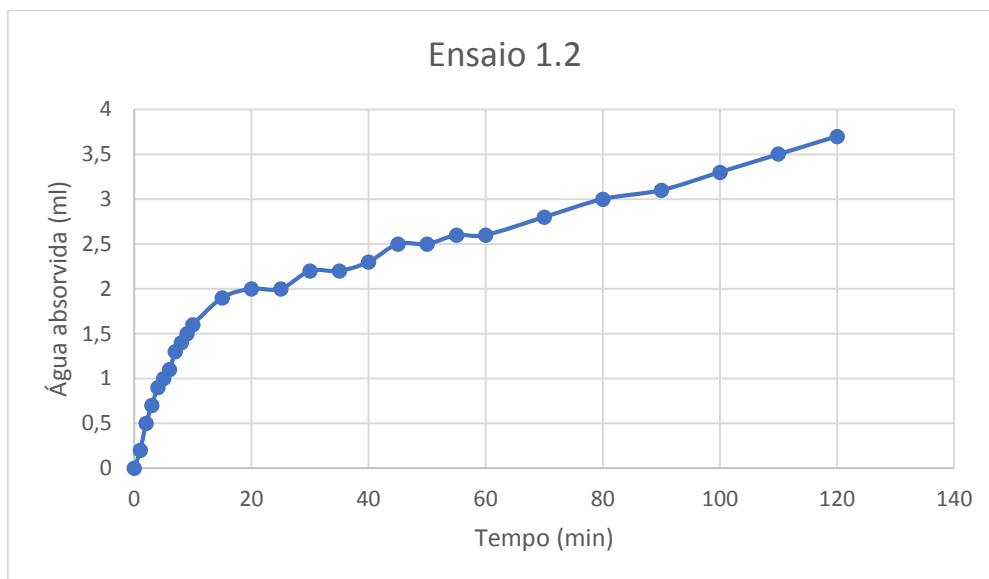


Figura 31 - Gráfico de ensaio do ponto 1.2

Não foi colocada linha de tendência no gráfico do ponto 1.1, porque este ponto absorveu imensa água, provavelmente devido à posição do parafuso. Portanto, a quantidade de água absorvida e consequentemente os dados do gráfico não representam de forma fidedigna a absorção de água pelo painel. Como o mesmo não é válido para o gráfico gerado pelos valores obtidos no ponto 1.2, foi colocada uma linha de tendência sobre o mesmo. Devido à grande absorção inicial que se pode ver na *Figura 32*, os valores iniciais de absorção não são adequados para gerar a linha de tendência. Por outro lado, os valores a partir do minuto 15 que geram uma absorção aproximadamente linear já podem ser usados para o efeito. Assim, a partir do declive da linha de tendência é possível obter o coeficiente de absorção, C_A .

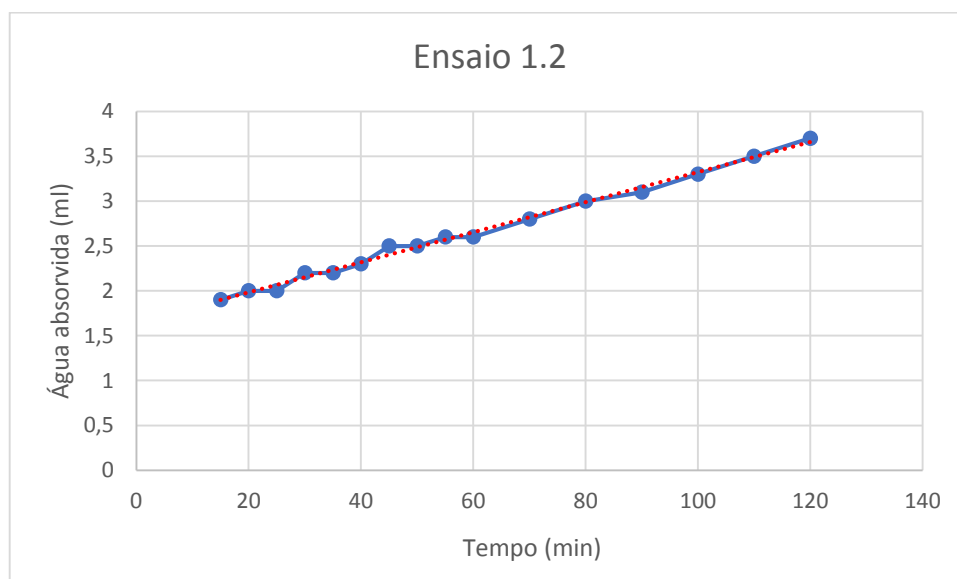


Figura 32 - Gráfico de ensaio do ponto 1.2 com linha de tendência

Segundo os valores de referência para este ensaio, este tipo de material deveria de ter um valor de C_A aproximado de 0.5 ml/min. Sendo que o valor aproximado de C_A dado pelo gráfico é de 0.017 ml/min o revestimento cimentício está dentro dos valores aceitáveis de permeabilidade.

5

Seleção de componentes e pormenores construtivos

5.1 Constituição da fachada

Como já foi mencionado, esta dissertação está a usar como estudo de caso o sistema utilizado pela empresa Dreamdomus. O objetivo da empresa é construir casas com alta durabilidade, sustentáveis e com o menor preço possível. A estrutura é feita em LSF, que já foi apresentado como sendo uma boa solução estrutural para casas modulares devido à sua grande durabilidade e boa resistência. Por motivos de estabilidade as fundações deste tipo de estrutura são realizadas com betão. São impermeabilizadas e isoladas para evitar o aparecimento de humidade que tenha entrado com recurso à capilaridade do material. É nesta fundação que a estrutura metálica em LSF vai assentar antes de receber as paredes. A base da estrutura é separada das fundações de betão por uma tela asfáltica que sela a junta entre as duas, a estrutura é então unida à base com recurso a buchas metálicas. As paredes são construídas com painel sandwich que contém duas placas de OSB e núcleo interior de EPS. Quanto aos revestimentos, pelo exterior são aplicados painéis cimentícios impermeabilizados que recebem depois uma pintura texturada. Pelo interior é usado gesso cartonado que é também pintado (Dreamdomus, 2017).



Figura 33 - Sistema Dreamdomus adaptado de Dreamdomus (2017)

5.2 Painel sandwich

Este elemento já foi apresentado anteriormente e irá agora ser explorado com maior detalhe. Um painel sandwich é, por definição, um elemento construtivo composto por placas semelhantes, (que são normalmente feitas de materiais rígidos e estanques) separadas por um material com elevadas propriedades isolantes, ao qual se dá o nome de núcleo (Almeida, 2009). As placas podem ser de vários materiais como chapa metálica, madeira ou derivados de madeira (como por exemplo OSB), placa de óxido de magnésio, entre outros. Quanto ao núcleo este também dispõe de várias alternativas como por exemplo: EPS, XPS, espuma de poliisocianurato e espuma de poliuretano. A função deste elemento é proporcionar estanquidade e resistência ao mesmo tempo que proporciona bons valores de isolamento térmico e acústico. Sendo que pode ser pré-fabricado é um elemento ideal para casas modulares com objetivos de poupança energética e pouco desgaste ambiental. Podem ser utilizados em paredes, e coberturas e podem ser combinados com elementos estruturais como vigas.

Um dos materiais mais utilizados para estes painéis é o OSB, normalmente acompanhado por poliestireno expandido ou poliestireno extrudido como núcleo. OSB é usado sobretudo devido a ser um material que pode facilmente ser moldado e aplicado em qualquer lado e receber vários tipos de revestimento (Jular, 2011). Uma alternativa fiável ao uso de placas OSB é o uso de placas de óxido de magnésio. Estas placas são à base de uma combinação de óxido de magnésio e cloreto de magnésio, são reforçadas com uma rede de fibra de vidro que lhes confere maior resistência aos ataques alcalinos. As faces destas placas não são iguais, sendo que uma é lisa, ideal para aplicação dos revestimentos e acabamentos, e a outra mais rugosa o que facilita a sua adesão ao núcleo. Este tipo de placas é fácil de cortar o que as torna facilmente adaptáveis às necessidades da construção. Além de que podem receber todos os tipos de revestimentos que são usados normalmente como cerâmicos, tinta e papel de parede. São bastante resistentes à corrosão e são bastante impermeáveis o que lhes confere grande durabilidade (Manalo, 2013).

Tabela 16 - Comparação entre painel de OSB e de magnésio

Propriedade	Painel magnésio	Painel OSB
Mas volúmica (kg/m ³)	2300	640
Condutibilidade térmica (W/m·K)	0,70	0,130
Resistência ao fogo	Alta	Baixa
Isolamento acústico (dB)	35-47	27-35
Teor de humidade (% de expansão após imersão durante 24h)	6-8	2-12
Capacidade térmica específica (J/(kg·K))	1000	1700
Permeabilidade ao vapor de água (μ)	15-35	30-50

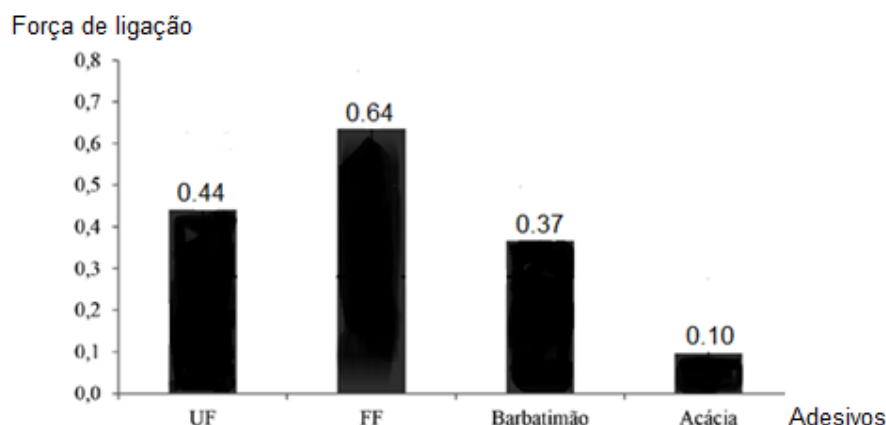
5.3 Adesivos

Um adesivo é definido como uma substância capaz de aumentar as forças de atração entre duas superfícies diferentes criando uma resistência que pode superar as forças coesivas dos próprios substratos, COSTA, T.G. (2016). No caso de produtos derivados da madeira, esta é a heterogeneidade e de natureza anisotrópica o que limita bastante o seu uso. Os adesivos são uma resposta para ultrapassar essas limitações, aumentando assim os pontos de utilização deste material. Ligações artificiais com adesivos tornam-se possíveis e com isso a possibilidade de criar elementos com propriedades novas e úteis para a construção, como por exemplo painéis sandwich. O adesivo é um componente caro e como tal deve ser utilizado com o máximo de eficácia possível para que não seja gasto excessivamente. Do mesmo modo é imperativo escolher o adesivo apropriado à sua utilização, sendo que estes são escolhidos segundo as suas diferentes propriedades.

Os adesivos podem ser naturais ou sintéticos, sendo que os sintéticos são os mais utilizados e classificados como termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são polímeros de cadeia longa que quando aquecem ficam mais moles e ao arrefecerem voltam a endurecer. Os mais utilizados são o polietileno, o poliestireno e a borracha sintética. Por sua vez os adesivos termofixos são caracterizados por sofrerem alterações químicas não reversíveis, que os tornam bastante resistentes e rígidos para suportar altas cargas estáticas ao longo do tempo, sem que haja o aparecimento de deformações. Alguns destes adesivos termofixos são a resorcina-formaldeído, a melamina-formaldeído, o fenol-formaldeído, o tanino-formaldeído e ureia-formaldeído. Falando particularmente de alguns destes adesivos e das suas propriedades, o termofixo fenol-formaldeído têm como principal característica a sua grande resistência à humidade, boa resistência ao calor e estabilidade dimensional. Isto faz com que seja ideal para utilizar em painéis de paredes exteriores, que teriam uma grande proteção contra possíveis condensações e contra a água da chuva. Por outro lado os adesivos à base de ureia-formaldeído possuem uma baixa resistência à água e têm altos níveis de emissão de formaldeído, que como já foi mencionado é uma substância nociva que têm valores de emissão muito restritos pelas normas europeias. Apesar de tudo é o normalmente mais utilizado devido ao seu baixo preço, facilidade de aplicação, resistência e disponibilidade (Costa, 2016).

Para se melhorarem as propriedades dos adesivos pode-se recorrer a aditivos para aumentar as suas propriedades tais como a resistência, a durabilidade, a proteção contra fungos, a resistência ao fogo e o seu endurecimento (Gower, 2001). A tecnologia tem evoluído, e hoje em dia existem aditivos com tamanho nanométrico. Estas partículas que se adicionam aos adesivos são partículas de sílica e alumínio que melhoram a capacidade resistente dos painéis. Para além, disto a adição de sílica em adesivos à base de ureia-formaldeído diminuiu a emissão de formaldeído, adicionada à melhoria da sua resistência.

A função dos adesivos não se limita a colagem de painéis, podem também ser utilizados para reforçar as forças de ligação de juntas. As juntas podem utilizar meios de ligação mecânicos como pregos, mas essa ligação pode tornar-se mais forte com o uso de adesivos que também oferecem proteções extra, contra a água e o fogo por exemplo. Existem imensos adesivos que podem preencher as juntas de painéis OSB uma vez que a grande maioria dos adesivos utilizados no mercado é compatível com estes. No entanto, como adesivos diferentes têm propriedades diferentes é importante escolher o mais adequado. O estudo, Desempenho de painéis OSB com adesivos comerciais e tânico de barbatimão (Carvalho, 2015), teve como objetivo comparar o desempenho de diferentes adesivos com OSB. Como o nome indica os adesivos usados no estudo foram à base de taninos de barbatimão e de acácia, assim como ureia-formaldeído e fenol-formaldeído. Foram comparadas muitas propriedades entre os diferentes adesivos neste estudo, sendo uma delas o valor da ligação interna dos painéis que pode ser vista na figura seguinte.

Figura 34 – Força de ligação interna de adesivos adaptada de *Carvalho (2015)*

Como se pode ver os adesivos comerciais superam os outros no que diz respeito à força das suas ligações internas. Também nos ensaios realizados quanto à absorção de água os mesmos adesivos apresentaram valores mais vantajosos. No entanto, o mesmo estudo revelou que estes adesivos não comerciais apresentavam valores muito próximos dos outros dois relativamente à elasticidade e ao aumento de volume dos painéis. Alguns adesivos comuns e as suas devidas aplicações seguem na *Tabela 17*.

Tabela 17 - Usos e limitações dos adesivos adaptados de *Wilczak (2014)*

Adesivos	Material	Uso	Limitações
Fenol-formaldeído	Resina termofixa	Compensados, aglomerados	Ambientes interiores, boa resistência mecânica
Ureia-formaldeído	Resina termofixa	Compensados, aglomerados	Ambientes interiores, boa resistência mecânica
Adesivo para construção	Elastômero	Compensados, aglomerado, madeira, etc.	Ambientes internos
Resorcinol	Resina termofixa	Compensados, madeira, estrutura, etc.	Interiores e exteriores, boa resistência mecânica
Poliuretano	Resina termofixa	Uso estrutural	Ambientes internos e externos, resistentes ao intemperismo e boa resistência mecânica
Epóxi	Resina termofixa	Reparos estruturais	Exteriores e interiores húmidos, boa resistência mecânica

5.4 Juntas

Para a realização das juntas irá ser considerado que as duas placas do painel são de OSB e que a estrutura é construída em LSF. Como já foi mencionado as juntas são um ponto crítico no que toca à construção com painéis sandwich. Isto porque apesar da boa performance que estes apresentam, relativamente à estanquidade à água e ao ar, e da sua considerável capacidade de isolamento térmico e acústico, as juntas podem comprometer todo o desempenho do edifício.

Para que se atinjam as metas desejadas são usadas metodologias de vedação de juntas que por sua vez podem ser de três tipos: madeira a madeira, isolamento a isolamento e isolamento a madeira. Entenda-se por madeira as placas de OSB que compõem os painéis. Esta ligação pode ser feita com outros componentes como placas e estruturas metálicas. As medidas de ação mais adequadas para os diferentes tipos de ligação são:

- Isolamento a isolamento: para esta situação o mais aconselhável é o uso de um vedante expansível. Materiais como derivados de mástique não são os melhores a usar neste tipo de juntas, uma vez que não são indicados para preencher os grandes espaços típicos destas conexões. Este é o ponto crítico quando se trata de vedar juntas, é se o espaço onde se vai colocar o vedante não é demasiado grande e se a elasticidade deste não é demasiado grande. A sua elasticidade ser excessiva é um problema porque com o tempo não irá permanecer uma conexão flexível e a ligação ao adesivo vai ceder e o material vai cair assim que seja atingido o seu limite de adesão.
- Madeira a madeira e isolamento a madeira: Por oposição estes tipos de ligação podem receber derivados de mástique, mas vedante extensível continua a ser uma boa opção. O que importa é adequar o vedante escolhido à situação, quanto maior for o espaço a preencher menor deve ser o seu módulo de elasticidade.

Em todos os casos o seu objetivo é providenciar estanquidade ao ar necessária que perdure durante todo o ciclo de vida da construção. A vedação tem também de se manter intacta em caso de variações de volume da madeira causados por variações de humidade e temperatura, (INSULSPAN, 2012).

Os painéis sandwich instalados na parede são dispostos verticalmente e têm diversos métodos de conexão diferentes, que dependem de propriedades do próprio painel, da parede e do chão como espessura, altura e enquadramento.

5.4.1 Painel-Painel

A legenda para as figuras que se seguem neste capítulo é a apresentada na *Figura 35*:



Figura 35 - Legenda dos pormenores construtivos

As juntas de ligação entre painéis podem ser feitas de várias formas. Sendo uma o uso de duas tiras de OSB com isolamento entre elas formando um pequeno painel sandwich. O isolamento EPS ao longo da borda dos painéis a serem unidos é recesso aproximadamente metade da espessura do material de conexão. O esquema de concepção é apresentado na *Figura 36*.

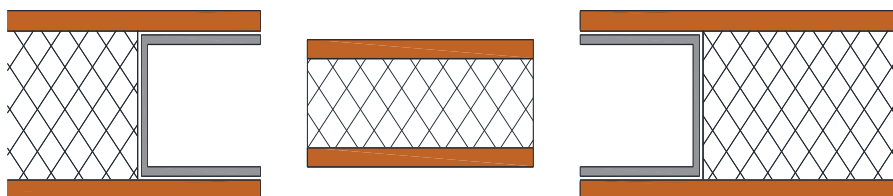


Figura 36 - Esquema de ligação painel-painel

Para selar a junta e garantir a sua estanquidade é colocado vedante nas localizações marcadas na *Figura 37*.

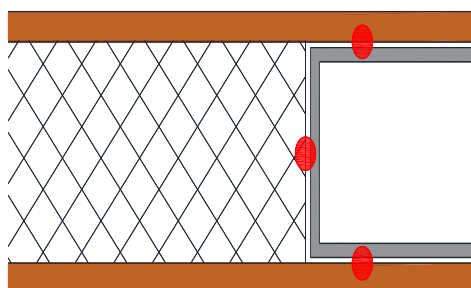


Figura 37 - Localização do vedante

Depois de os pontos estarem com o vedante a junta é montada e segura com pregagens que atravessam o OSB e seguram a junta. O cronograma de fixação é importante para se atingir os valores pretendidos de carga.

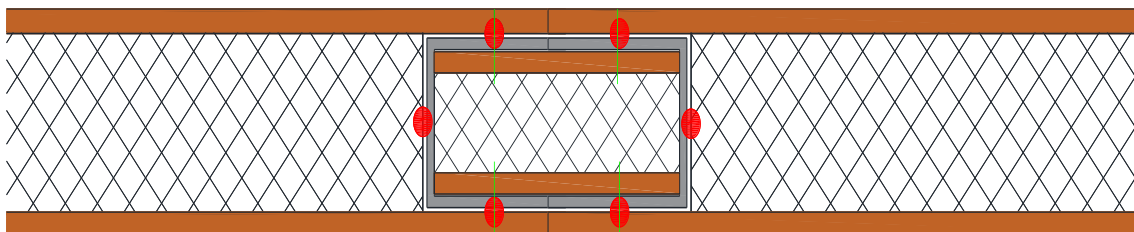


Figura 38 - Ligação painel-painel

Outra opção é o uso de um segmento estrutural de LSF para realizar a conexão entre os painéis. O isolamento EPS ao longo da borda dos painéis a serem unidos é recesso aproximadamente metade da espessura do material de conexão. À semelhança da junta anterior também se deve colocar vedante em pontos específicos, iguais aos apresentados na *Figura 37*.

Depois de os pontos estarem com o vedante, as semelhanças com a opção anterior mantêm-se, uma vez que, esta junta também é montada e segura com pregagens que atravessam o OSB e a seguram. O cronograma de fixação continua a ser importante para se atingir os valores pretendidos de carga. O resultado final é apresentado na *Figura 39*.

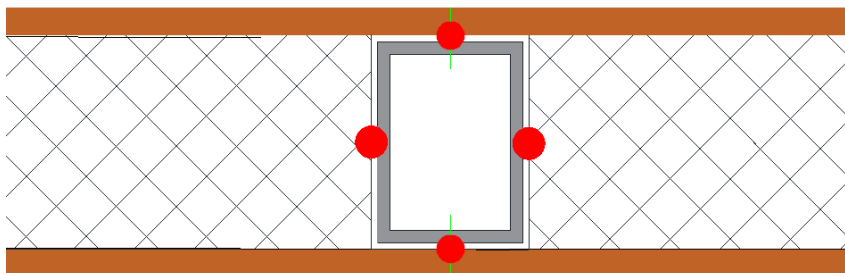


Figura 39 - Ligação alternativa painel-painel

Quando necessário pode-se duplicar a solução anterior e obter uma junta como a mostrada na *Figura 40*.

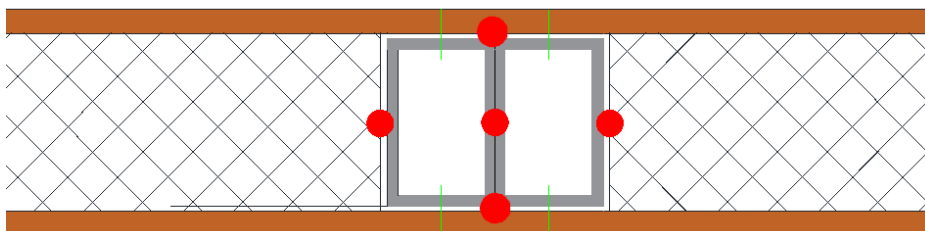


Figura 40 - Ligação alternativa painel-painel com duplo perfil de LSF

Antes de colocar os painéis que vão compor a parede no seu lugar devem ser procurados quaisquer detritos que possam estar nas ranhuras ou nas áreas embutidas nos painéis, além de verificar se o OSB não tem qualquer dano que possa comprometer o seu desempenho. A parede pode começar a ser feita após a colocação das placas de fundo, e é imperativo começar a construir a casa pelos cantos e a partir daí numa qualquer direção. O canto a partir do qual se começa a construir não é escolhido ao acaso, e é definido por vários factores, normalmente relacionados com a estrutura do local de trabalho como distância a um grua e organização espacial da obra. Seja qual for o canto escolhido, para se começar, este deve ser feito perfeitamente com ambos os painéis que o compõem totalmente verticais. Quanto à execução, esta deve ser feita com recurso à estrutura nos bordos dos dois painéis. Os painéis devem ser pregados às placas de fundo usando pregos nos dois lados do painel devidamente espaçados como se pode ver na *Figura 41*. A *Figura 42* mostra um exemplo destas juntas entre painéis num canto do edifício.

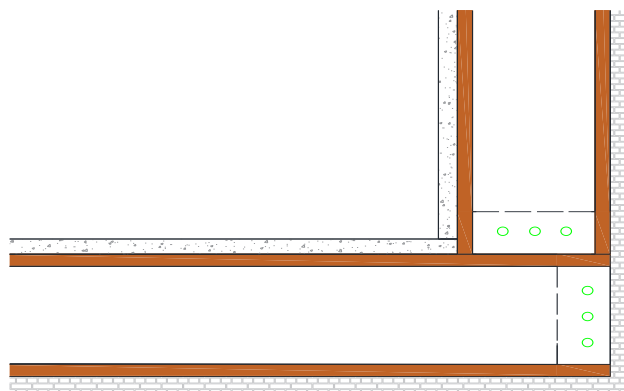


Figura 41 - Esquema de pregagem

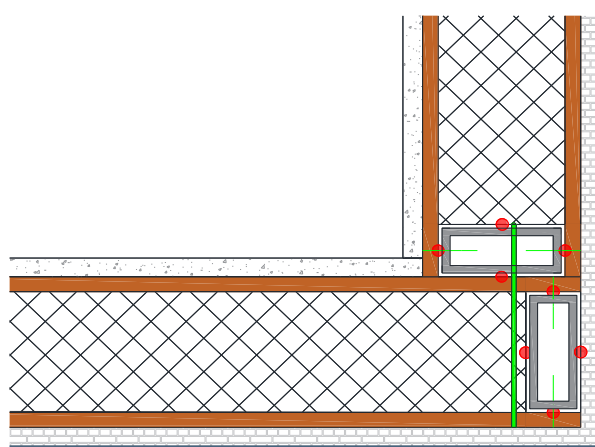


Figura 42 - Esquema de junta de um canto

5.4.2 Painel-Fundação

Uma boa fundação é essencial para garantir uma boa estabilidade do edifício e deve ser garantida independentemente do tipo de terreno. No caso da empresa Dreamdomus as bases de assentamento das construções são feitas de betão, onde é fixada toda a estrutura metálica por meio de buchas. Começar com uma fundação de dimensões corretas e plana é o primeiro passo para se obter uma boa conexão entre a fundação e a parede. Qualquer falha no dimensionamento e nivelamento da fundação deve ser tratado antes da instalação dos painéis, caso contrário ao longo da conceção da parede irão aparecer vários problemas que terão ser resolvidos ajustando o projeto da parede. A parte inferior do painel recebe uma ancoragem que o segura à base de assentamento. Por sua vez, o pavimento interior está assente sobre uma camada de betão leve. A *Figura 43* representa este tipo de juntas.

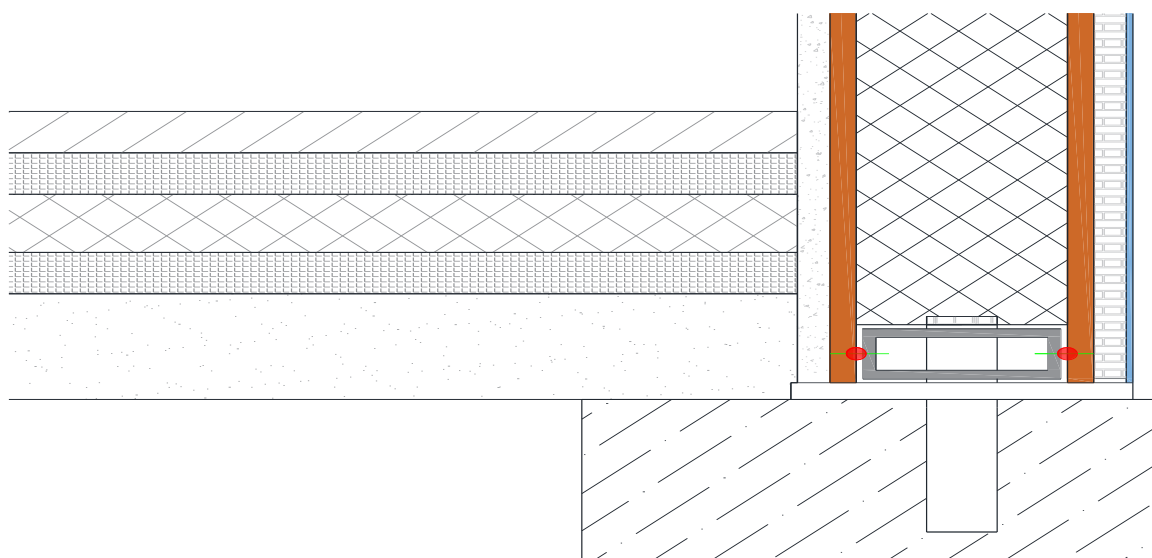


Figura 43 - Esquema de junta de parede com a fundação

Outra opção é iniciar a construção da parede a partir do pavimento e não a partir da fundação. A ligação com a fundação continua a ser feita através de um painel mais pequeno, que impede o aparecimento de uma ponte térmica entre o exterior e o pavimento. O seu esquema está representado na *Figura 44*.

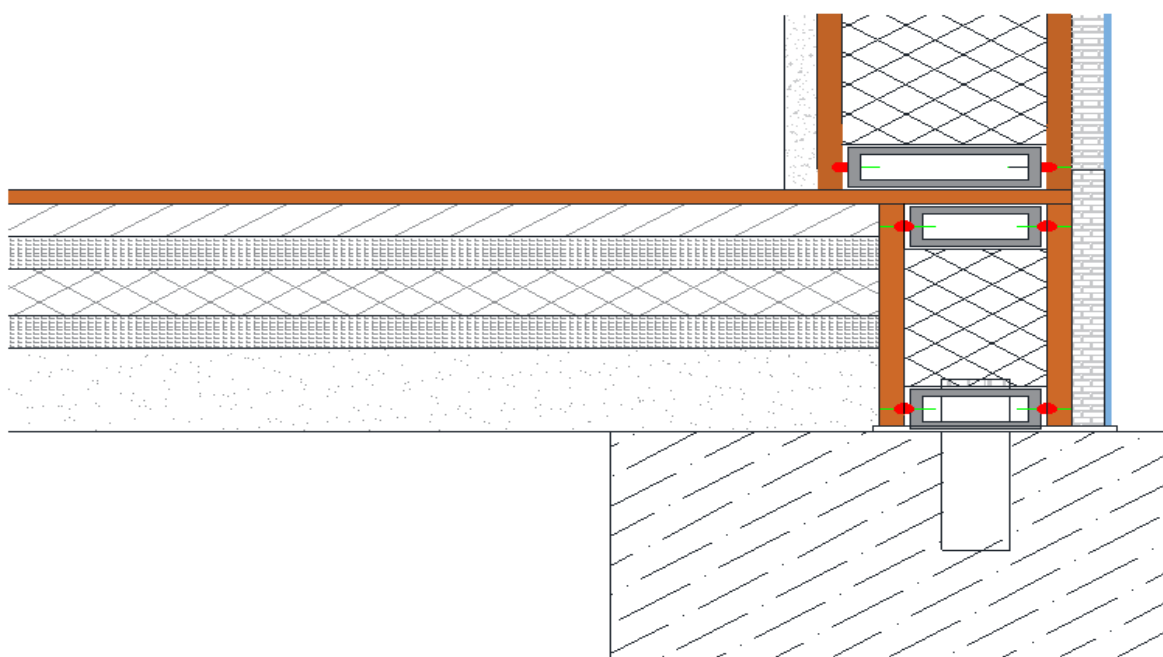


Figura 44 - Esquema de junta de parede com pavimento

Se requisitado pode ser colocada uma membrana protetora à volta do pavimento que o separa da fundação e do painel da parede.

5.4.3 Painel-Laje

Quando o edifício tem vários andares a interseção entre a parede e os pisos intermédios implica o corte da parte superior do painel paralelamente ao piso, a remoção de parte do isolamento e a sua associação à estrutura.

O método consiste em pousar o pavimento do piso intermédio no topo do painel da parede. Ambos os painéis de parede, o situado acima e em baixo da viga do piso, devem ser pregados firmemente à parte do piso intermédio que se encontra entre eles. Estas zonas devem ter vedante aplicado para selar a junta devidamente. Se a selagem da junta não for feita corretamente vapor de água poderá entrar e tornar a borda num ambiente propício ao aparecimento de condensações e dos problemas associados.

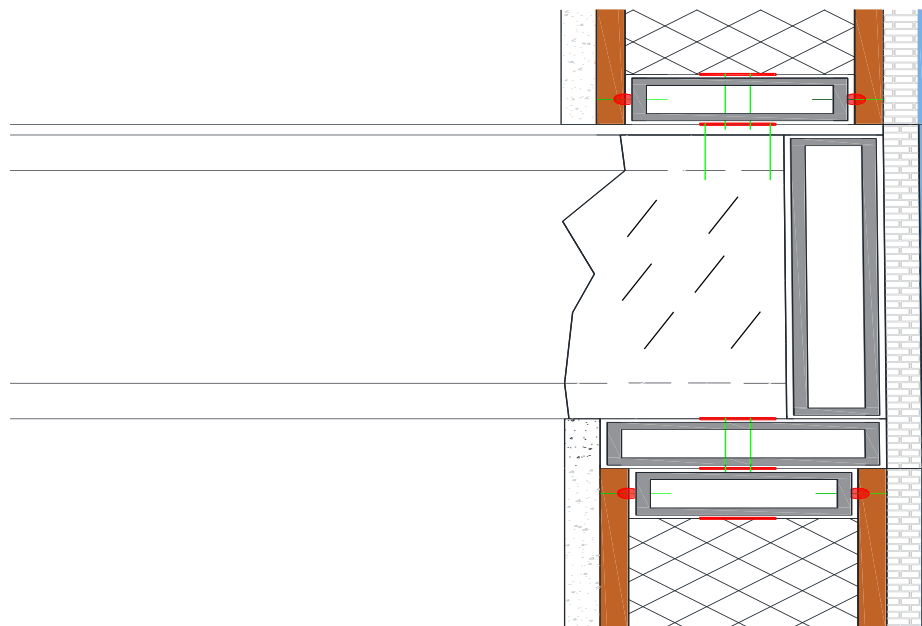


Figura 45 - Esquema de junta de parede com piso intermédio

5.4.4 Painel-Janela e painel-porta

As portas e janelas são elementos da fachada que têm de ser colocados entre painéis e como tal também implicam uma ligação com estes. Se esta assemblagem tiver de ser feita não na interseção entre painéis, mas ao longo de um painel, este tem de ser cortado e criada uma abertura para receber o elemento. Esta abertura é feita diferencialmente de janela para janela e de porta para porta, depende das especificações do seu fabricante. Todas as aberturas para janelas e portas são cortadas e recortadas previamente à instalação dos painéis. Estas são feitas em fábrica mas a sua assemblagem ocorre no local segundo as especificações devidas. São necessários cabeçalhos sobre as aberturas tanto de portas como de janelas com enquadramento estrutural de altura total, desde a placa inferior de inserção até a placa superior de entrada. A *Figura 46* representa um exemplo de ligação painel-janela.

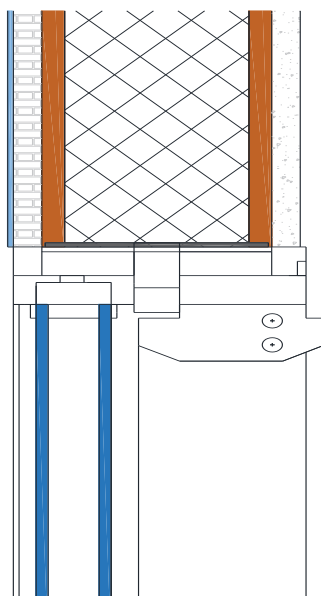


Figura 46 – Ligação painel-janela

5.4.5 Painel-Teto

Em todas as coberturas deve ser garantida a inclinação necessária para que a água, proveniente da chuva ou de limpeza, seja escoada para os pontos de descarga. As coberturas da Dreamdomus são impermeabilizadas com recurso a dois métodos distintos, com uso de painéis sandwich com isolamento ou com sobreposição de telas de impermeabilização sobre material de isolamento. A *Figura 47* mostra um exemplo de ligação do painel sandwich de parede ao isolamento que antecede as telas de impermeabilização.

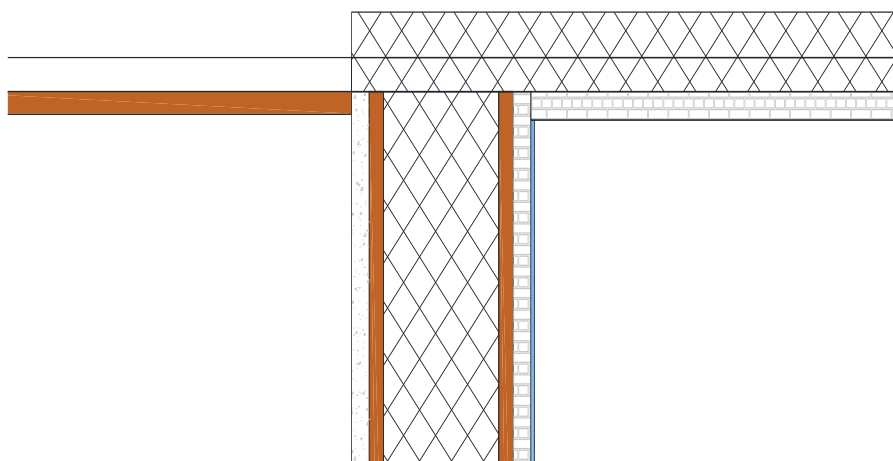


Figura 47 - Esquema de junta de parede com cobertura

Em alternativa a impermeabilização pode ser feita com recurso a painel sandwich. Nas zonas de junta entre os painéis da parede e os painéis da cobertura geralmente os painéis da parede são cortados de modo a assentarem no arremesso do telhado. A junta em si é feita cortando a parte de cima do painel de parede à qual é retirado uma porção do isolamento para receber um perfil LSF onde os painéis da cobertura vão assentar. A junta é então pregada e segura, assim como devidamente selada com a aplicação de vedante como se pode ver na *Figura 48*.

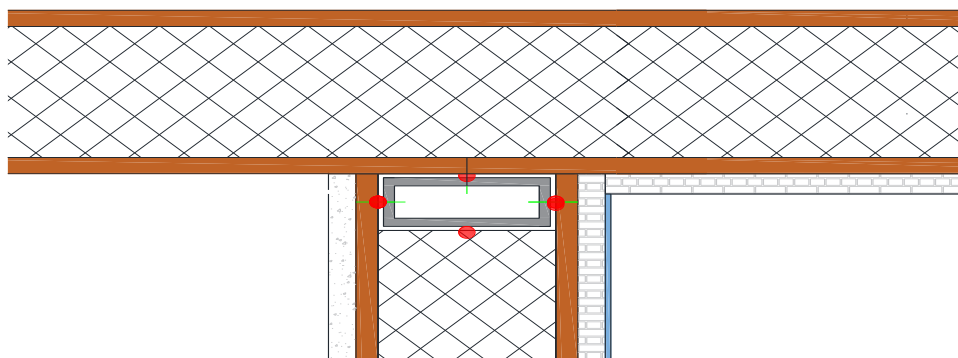


Figura 48 - Esquema de junta de parede com cobertura em painel

5.5 Revestimento interior e exterior

Iniciando a análise pelos revestimentos exteriores, importa referir que existem várias tipologias que divergem em termos de propriedades físicas, mecânicas ou estéticas e compatibilidades com o sistema construtivo. Seja qual for o revestimento escolhido para cada ocasião, este deve estar de acordo com o conceito geral da construção em causa e deve-lhe conferir as propriedades desejadas, sejam elas com propósito de estanquidade ou de estética. Na verdade, construção com paredes em painel sandwich pode receber qualquer tipo de revestimento, sejam ladrilhos cerâmicos, mosaicos, alvenaria, betão, entre outros. No caso concreto da construção modular Dreamdomus que se enquadre dentro do conceito NZEB, o revestimento ideal será constituído por elementos leves e estanques.

Qualquer que seja o revestimento exterior do edifício, deve sempre existir uma barreira resistente às agressões do meio ambiente, que pode ser papel alcatroado, pintura exterior impermeável (sistema Dreamdomus) ou uma membrana impermeável.

No caso de a escolha recair sobre uma membrana, a mesma deve ser instalada para que, caso alguma água da chuva penetre no revestimento exterior, esta seja devidamente drenada. Ainda, para que esta drenagem seja feita devidamente, deve ser deixado um espaço de ar mínimo que permita que água que ultrapasse o revestimento seja devolvida ao exterior e não cause patologias. Este espaço deve localizar-se entre o revestimento exterior e a membrana impermeável (adjacente ao painel sandwich) responsável pela drenagem. No caso de existência de uma janela, esta deve ser instalada de modo a impedir a entrada de água no interior. Esta membrana hidrófuga é utilizada em edificações, deste modo, com o objetivo de formar um obstáculo contra a água e impedir a proliferação de fungos. Em termos de estrutura, a membrana é composta por três camadas: uma lâmina técnica, uma camada de tecido impermeável e uma camada de tecido permeável. Para além disso permite a passagem de vapor de água, ou seja, expele eventuais condensações que ocorram no interior da parede em função da diferenciação de temperatura entre ambientes. Isto permite uma correta ventilação do espaço interior das paredes, o que evita aparecimento de humidades e microrganismos.

Revestimentos drenados, que já foram discutidos posteriormente, são uma das situações na qual se utiliza a membrana impermeável. Um exemplo de revestimento drenado, mas não ventilado, é representado na *Figura 49*. Se a escolha de revestimento não recair sobre esta opção, existem outras metodologias que pode ser utilizadas que não requerem espaço ventilado. Uma dessas alternativas está apresentada na *Figura 50*.

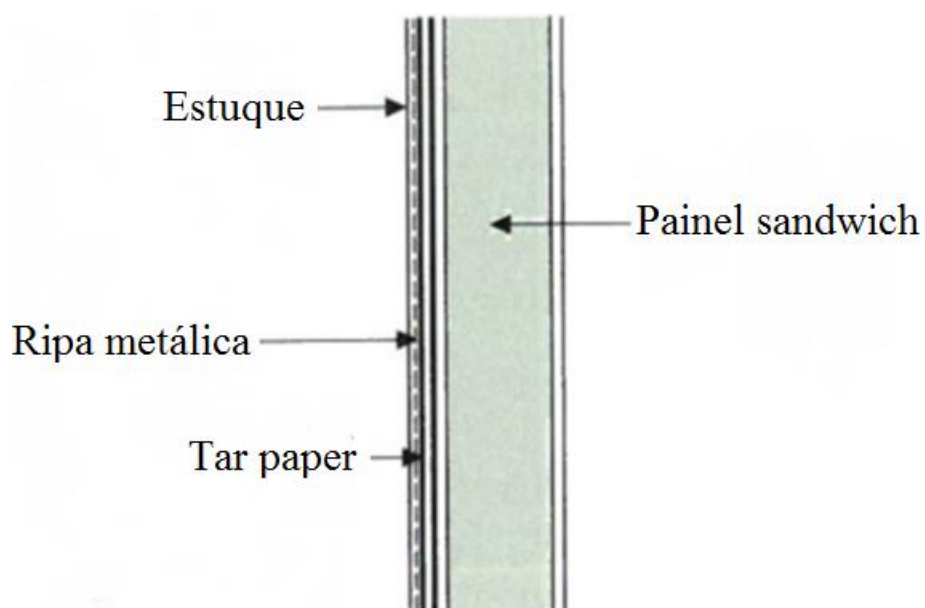


Figura 49 – Revestimento drenado adaptado de Lstiburek (2015)

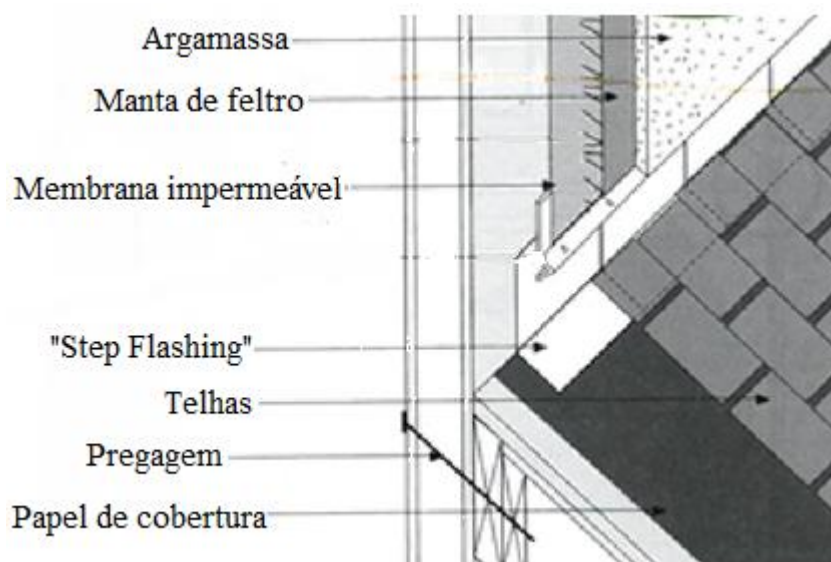


Figura 50- Revestimento de estuque reforçado com arame adaptado de Lstiburek (2015)

Por outro lado, o revestimento interior é feito à base de gesso cartonado ligado diretamente ao painel, que é posteriormente pintado. O gesso cartonado é produzido com recurso a gesso e papel de cartão e pode ser de três tipos: painel cinza, painel verde e painel rosa. O painel cinza é o mais utilizado, sendo que funciona particularmente bem em ambientes interiores; o painel verde é resistente à humidade e portanto muito utilizado em cozinhas e casas de banho; por fim, o painel rosa providencia uma proteção ao fogo superior à dos outros dois painéis, o que constitui uma vantagem em certas circunstâncias. O uso tão comum deste material deve-se ao seu diverso leque de vantagens:

- Facilmente moldável;
- Económico;

- Leve;
- Versátil;
- Resistente ao fogo;
- Compatível com a maioria dos projetos;
- Bom desempenho acústico e térmico.

Adicionalmente, o gesso cartonado pode ter várias aplicações no mesmo edifício: pode ser utilizado para fazer divisórias, tetos falsos ou mesmo como revestimento interior (como é usado no sistema em estudo).

Uma outra alternativa para o revestimento interior pode ser o hydropanel. Este consiste em placas cimentícias que podem ser aplicadas nas mesmas condições que o gesso cartonado e com os mesmos objetivos. As propriedades dos dois materiais são semelhantes, no entanto o hydropanel oferece melhores valores de resistência ao fogo e ao impacto, assim como uma resistência muito superior a humidades. Devido à sua grande composição em gesso a humidade é o ponto mais fraco do gesso cartonado, o que faz do hydropanel ideal para controlo de humidades.

As diferenças entre o gesso cartonado (Gyptec, 2014) e o hydropanel (Euronit, 2013) estão representadas na *Tabela 18*.

Tabela 18 - Comparação entre revestimentos

	Gesso cartonado	Hydropanel
Massa volúmica (kg/m ³)	726	1180
Coeficiente de transferência de calor W/(m.K)	0,25	0.19
Resistência ao fogo	A2	A2
Isolamento acústico (dB)	43	52
Resistência ao impacto (N.m)	250	300
Permeabilidade ao vapor de água (μ)	10	18
Resistência à flexão (N/mm)	17	23

6

Conclusões

6.1 Conclusões gerais

Com o término desta dissertação considero que os objetivos propostos foram atingidos. Todos os conhecimentos relativos ao tema foram adquiridos, os ensaios de caracterização foram efetuados e foram procuradas novas soluções construtivas que possam ser aplicadas no estudo de caso, a casa modular da empresa Dreamdomus.

As principais conclusões alcançadas após estas ações são:

- O conceito NZEB é possível atingir nacionalmente, mas que apenas medidas construtivas intrínsecas à envolvente, ou tecnologias que retiram proveito de energia proveniente de fontes renováveis, não são suficientes para o atingir. O melhor meio de o alcançar é portanto, com a combinação das tecnologias passivas da envolvente e das tecnologias ativas que se podem instalar no edifício. Apesar de serem um grande investimento inicial, o custo do seu ciclo de vida é inferior ao das construções que não utilizam fontes de energia renovável. Isto torna-se ainda mais significativo se, sempre que possível, o rendimento energético de todos os aparelhos e tecnologias instaladas seja o mais alto possível. É um conceito que num futuro próximo se tornará obrigatório para todos os novos edifícios dos Estados-Membros, sendo que cada país é que define qual é a sua definição que “quase zero” dependendo do seu clima e regulações nacionais;
- Relativamente às tecnologias passivas, todas elas devem ser devidamente utilizadas, pois revelaram ter contribuições essenciais para o alcance dos NZEB. A estrutura da envolvente também apresenta um papel muito importante que pode tirar partido da orientação do edifício para controlar, onde e a que horas se dão as incidências de luz solar ou de sombra;
- Para poder sugerir alterações ao sistema era necessário conhecimento do que a regulamentação aplicável ao sistema em questão, impõem a nível de limites e ensaios. Para tal foram feitos os esquemas do capítulo 3 que demonstram as normas que é necessário seguir, assim como os ensaios para os quais as mesmas orientam. Deste modo, os esquemas apresentam como fazer uma validação necessária do sistema aos olhos da legislação;
- Se pensarmos na estanquidade ao ar, neste tipo de construções os pontos mais críticos são as juntas. Isto porque o painel sandwich em si é bastante estanque ao ar devido às placas rígidas de OSB que não se permitem ser ultrapassadas por ar. No entanto, se as juntas não forem devidamente vedadas tornam-se propícias à entrada de ar, assim como outros possíveis pontos de entrada não planeados. Apesar de impossível impedir totalmente a entrada de ar, a aplicação de vedante nas juntas é essencial para que esta entrada não seja excessiva. O painel já não se pode considerar tão impermeável se estivermos a falar da

estanquidade à água. O melhor a fazer neste caso é impedir que esta chegue ao painel, para tal existem algumas hipóteses. Usar um revestimento exterior totalmente impermeável, por exemplo tinta impermeável, construir uma fachada exterior que conduza a água da chuva para que esta raramente alcance a parede e/ou adotar um revestimento drenado e, caso a região assim o exija, ventilado. O uso de uma fachada com uma anatomia que sirva de “guarda-chuva” às paredes é sempre aconselhada. Relativamente ao revestimento o uso de pintura impermeável é um risco, uma vez que se esta fissura deixa de ter qualquer efeito. Por conseguinte, o uso de revestimentos que tenham um plano de drenagem, com recurso a membrana impermeável, serão os mais adequados para zonas de pluviosidade intensa. Se esse não for o caso, um revestimento sem recurso a plano de drenagem é suficiente;

- Ainda no âmbito da estanquidade foram realizados ensaios com recurso a tubos de Karsten. Foram ensaiados dois provetes, um com revestimento cimentício e outro com revestimento de magnésio. Dentro dos dois provetes enviados apenas um não absorveu água em nenhum ponto, o provete de revestimento de magnésio. Por conseguinte, o revestimento à base de magnésio é a melhor opção dentro das alternativas submetidas a ensaio;
- O tratamento das juntas pode ser feito com recurso aos desenhos de pormenor apresentados no capítulo 5, que demonstram os seus pormenores construtivos e as localizações de vedante. Quanto aos materiais, o uso de painéis de óxido de magnésio é a melhor solução dentro das discutidas nesta dissertação. Uma vez que, apresenta boas propriedades de estanquidade e de resistência contra incêndios. Por sua vez, os melhores adesivos para ligar as placas rígidas ao isolamento são os feitos à base de formaldeído, ou seja, os de fenol-formaldeído e de ureia-formaldeído. Por fim, o revestimento interior de gesso cartonado é passível de ser substituído por hydropanel, devido às suas propriedades superiores de resistência e permeabilidade.

6.2 Desenvolvimentos futuros

No futuro e no seguimento deste trabalho seria interessante fazer os ensaios normativos EN 12114 – “Desempenho térmico dos edifícios. Permeabilidade ao ar de componentes de construção e elementos de construção. Método de ensaio laboratorial” e EN 12865 – “Desempenho higrotérmico de componentes de construção e elementos de construção. Determinação da resistência de sistemas de parede externa à chuva sob pressão pulsante” aplicados às juntas sugeridas nesta dissertação.

Mantendo o âmbito dos NZEB, poderia ser feito um estudo que englobasse vários edifícios modulares NZEB. Um estudo comparativo entre várias habitações construídas utilizando o sistema da empresa, mas com utilização de diferentes tecnologias. Isto iria permitir avaliar de forma mais detalhada e concreta quais as tecnologias mais adequadas para esta metodologia construtiva.

Referências Bibliográficas

- ADENE - 10 Soluções de Eficiência Energética. 2016. Disponível em WWW: <<http://www.adene.pt/sites/default/files/documentos/10see-05-sist-ventilacao.pdf>>.
- Almeida, Manuela - Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB design concept in Portugal – Energy, economics and environmental life cycle analysis. 2016a.
- Almeida, Manuela - WHAT KIND OF HEAT LOSS REQUIREMENTS NZEB AND DEEP RENOVATION SETS FOR BUILDING ENVELOPE? 2016.
- Almeida, Maria Inês Avó de - Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicações na indústria da construção. 2009.
- Almeida, Manuela - Definição de nZEB em Portugal – Contributo com base em análises de custo de ciclo de vida. Universidade do Minho 2016.
- Alternativas, Energias - Energia solar. Energias alternativas, 2017. Disponível em WWW: <<http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/energia-solar/>>.
- Ascenso, Rita - O que vai mudar com os NZEB. (2011).
- Baiona, Rui Miguel Santos - NZEB – Um desafio para a engenharia civil. 2014.
- Barbolinia, Fausto - A design strategy to reach nZEB standards integrating energy efficiency measures and passive energy use. 2016.
- Branco, Jorge M. - Casas de madeira. Da tradição aos novos desafios. 2013.
- Carvalho, Amelia - DESEMPENHO DE PAINÉIS OSB COM ADESIVOS COMERCIAIS E TÂNICO DE BARBATIMÃO. 2015.
- Civil, Engenharia - Estanquidade. EngenhariaCivil.com: 2017. Disponível em WWW: <<https://www.engenhariacivil.com/dicionario/estranquidade>>.
- Construção, Engenharia e - Casas modulares: vantagens e desvantagens. Engenharia e Construção, 2011. Disponível em WWW: <<http://www.engenhariaeconstrucao.com/2011/02/casas-modulares-vantagens-e.html>>.
- COSTA, TATTIANE GOMES - CARACTERIZAÇÃO DE ADESIVOS SINTÉTICOS COM ADIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE SÍLICA COMO CARGA DE REFORÇO. Universidade Federal de Lavras 2016.
- DGEG - Política Energética. 2017. Disponível em WWW: <<http://www.dgeg.pt/>>.
- Diária, Engenharia Cível - Vantagens e desvantagens do LSF. 2015. Disponível em WWW: <<https://engenhariacivildiaria.com/2015/02/18/vantagens-e-desvantagens-do-lsf/>>.
- Dreamdomus - Brochura Comercial. Dreamdomus, 2017. Disponível em WWW: <<https://www.dreamdomus.com/pt/o-que-fazemos/construcao-modular/>>.
- EASIE - Design guidelines for good panel joints and joints sealing openings focussing on air and water tightness. European Association for Panels and Profiles, 2010.
- Energia, Portal da - Vantagens e desvantagens da energia geotérmica. 2010. Disponível em WWW: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-geotermica/>>.
- Energia, Portal da - Vantagens e desvantagens da energia solar. 2016. Disponível em WWW: <<https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/>>.
- Energy, House - INSULATED PANELS FOR WALLS PROS AND CONS... 2016. Disponível em WWW: <<http://www.house-energy.com/Walls/SIP-Advantages.html>>.
- EOTA - ETAGs (used as EAD). 2013. Disponível em WWW: <<https://www.eota.eu/en-GB/content/etags-used-as-ead/26/>>.
- Euronite - Sistema hydropanel. 2013. Disponível em WWW: <http://www.euronit.es/descargas/Manual-T%C3%A9cnico-Hydropanel_635279036351384593.pdf>.
- Europe, Buildings Performance Institute - NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS DEFINITIONS ACROSS EUROPE. BPIE, 2015. Disponível em WWW:

- <http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf>.
- Europeia, Comissão - Nearly zero-energy buildings. Comissão Europeia, 2017. Disponível em WWW: <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings/nearly-zero-energy-buildings>>.
- Fadejev, Jevgeni - Geothermal heat pump plant performance in a nearly zero-energy building. 2016.
- Fotovoltaicos, Paineis Solares - Como funcionam os paineis solares térmicos. Paineis Solares Fotovoltaicos, 2012. Disponível em WWW: <<http://www.paineissolaresfotovoltaicos.com/como-funcionam-os-paineis-solares-termicos/>>.
- Freitas, Filipe Miguel Costa - CONSTRUÇÃO MODULAR SUSTENTÁVEL - Propostas de um projeto tipo. 2014.
- Globo - Países assinam acordo do clima de Paris nesta sexta, na sede da ONU. 2016. Disponível em WWW: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2016/04/paises-assinam-acordo-do-clima-de-paris-nesta-sexta-na-sede-da-onu.html>>.
- Gower, Bill Broughton e Mike - Preparation and Testing of Adhesive Joints. 2001.
- HUB, Zero Carbon - A practical guide to building airtight dwellings. Zero Carbon Hub, 2013. Disponível em WWW: <<http://www.zerocarbonhub.org/resources/reports/practical-guide-building-airtight-dwellings-nf16>>.
- Ibérica, Gyptec - Ficha Técnica. Gyptec Ibérica 2014. Disponível em WWW: <http://www.gyptec.eu/documentos/Ficha_Tecnica_Gyptec_A.pdf>.
- IEA - Energy efficient building envelopes. International Energy Agency, 2013. Disponível em WWW: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergyEfficientBuildingEnvelopes.pdf>>.
- INESCTED - FLEXIBILIDADE, A EVOLUÇÃO NATURAL DOS NZEB (EDIFÍCIOS E ENERGIA) 2015. Disponível em WWW: <<https://www.inesctec.pt/cpes/noticias-eventos/nos-na-imprensa/flexibilidade-a-evolucao-natural-dos-nzeb-edificios-e-energia/>>.
- INSULSPAN - SIP Details. 2012. Disponível em WWW: <http://www.insulspan.com/product_specs/sip_details.aspx>.
- Jular - OSB. 2011. Disponível em WWW: <<http://www.jular.pt/produtos/placas-e-paineis/osb>>.
- Langmans, Jelle - FEASIBILITY OF EXTERIOR AIR BARRIERS IN TIMBER FRAME CONSTRUCTION. 2013.
- Lstiburek, Joseph - Builder's Guide to Structural Insulated Panels (SIPs). 2015.
- Manalo, Allan - Structural behaviour of a prefabricated composite wall system made from rigid polyurethane foam and Magnesium Oxide board. 2013.
- MEE - Decreto-Lei n.º 118/2013. MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DO EMPREGO, 2013.
- Mendes, Pedro Filipe Sousa - Isolamentos Térmicos em Edifícios e seu Contributo para a Eficiência Energética. 2012.
- PTnZEB - Ventilação em nZEB. (2016). Disponível em WWW: <http://pt-nzeb.com/1/nzeb_ventilacao_1037361.html>.
- Renováveis, Portal das Energias - 2017. Disponível em WWW: <<http://energiasrenovaveis.com/index.asp>>.
- RIO, JOSÉ PEDRO TEIXEIRA ESPINHEIRA - GEOTERMIA E IMPLICAÇÕES NAS TECNOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO – ESTUDO DE CASOS. FEUP, 2011.
- Rosenheim - Evidence of Performance - air permeability, watertightness 2016.
- Silva, Miguel C. Brito e José A. - Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. *O Instalador*. (2006).
- Solius - Energia solar térmica 2017. Disponível em WWW: <https://solius.pt/docs/solar/libreto_solar.pdf>.

WILCZAK, LUANA - Avaliação do Comportamento Mecânico do Adesivo Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona Utilizado na Produção de Painéis Compensados. 2014.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2014. Disponível em WWW:
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2584/1/CT_EPC_2013_2_03.PDF>.