



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

# **Estratégias de Reabilitação Térmica e Energética em edifícios baseado no conceito *EnerPHit***

Relatório apresentado para cumprimento dos requisitos da unidade curricular  
“Dissertação em Reabilitação Não Estrutural I” do Curso de Mestrado em  
Reabilitação de Edifícios

**Autor**

**Yriberto de Jesus Nunes Simões Santos**

**Orientadores**

**Professor Doutor Romeu da Silva Vicente**

**Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva**

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

**Coimbra, 23 de julho**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, os meus agradecimentos ao Exmo. Sr. Professor Doutor Romeu da Silva Vicente por ter aceite, de imediato, o desafio de ser meu orientador na “Dissertação em Reabilitação Não Estrutural I” do Curso de Mestrado em Reabilitação de Edifícios e por todo o apoio, tempo disponibilizado e ensinamentos transmitidos.

Agradeço ao Exmo. Sr. Prof. Doutor José António Raimundo Mendes da Silva todo o apoio, conselhos e ensinamentos transmitidos ao longo do Curso de Mestrado. Muito Obrigado.

Agradeço também a todos os professores que lecionaram as unidades curriculares do Curso de Mestrado em Reabilitação de Edifícios 2015/2016, com quem tive a oportunidade de aprender, partilhar experiências e fortalecer laços de amizade.

Os meus agradecimentos extensivos a todos os colegas do Curso de Mestrado pelo companheirismo, amizade, incentivo e partilha de experiências profissionais.

Por último, à minha família um beijo do tamanho do mundo.

Bem-haja a todos.

*“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é  
alguém que acredite que ele possa ser realizado.”*

Roberto Shimyashiki

## ÍNDICE

1	ENQUADRAMENTO .....	1
1.1	Tendências e Normativas .....	1
1.2	Conceito <i>Passive House</i> (“ <i>Passivhaus</i> ”).....	6
1.3	Alguns casos de estudo   <i>Case Study</i> .....	9
1.4	Palavras-Chave .....	10
2	ABORDAGEM .....	11
2.1	Do Conceito <i>EnerPHit</i> à Reabilitação do Edificado Existente.....	11
2.2	Caso de Estudo: Metodologia e Objetivos.....	15
3	BALANÇO E MODULAÇÃO .....	18
3.1	Ferramenta de Cálculo/Simulação - Uso PHPP.9.....	18
3.2	Caso de Estudo: Monotorização e Validação Numérica.....	19
4	RESULTADOS .....	21
4.1	Avaliação Numérica de Benefícios Térmicos e Desempenho Energético.....	21
4.2	Avaliação Custo-Benefício .....	21
4.2.1	Análise do tempo de retorno de investimento .....	21
4.2.2	Análise do Ciclo de Carbono e Ciclo de Vida.....	22
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	23
5.1	Plano de Trabalhos.....	23
5.2	Conclusões .....	23
5.3	Perspetivas Futuras .....	24
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	25
	ANEXO I.....	I
	ANEXO II .....	II
	ANEXO III.....	III
	ANEXO IV .....	IV
	ANEXO V .....	V

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Conceito <i>Passive House</i> (nZEB e NZEB) .....	2
Figura 1.2 – Reabilitação na Europa [Euroconstruct, 2005] .....	4
Figura 1.3 – Enquadramento legislativo nacional - Desempenho Energético dos Edifícios.....	5
Figura 1.4 – Produção e tipo de energia .....	6
Figura 1.5 – A <i>Passivhaus</i> na Europa [iPHA, 2013].....	7
Figura 1.6 – Modiko <i>Passive House</i> – Casas Modulares Passivas.....	8
Figura 1.7 – Modiko <i>Passive House</i> – Perspetivas .....	9
Figura 2.1 – Conceito <i>EnerPHit</i> – Requisito nZEB .....	11
Figura 2.2 – Conceito <i>EnerPHit</i> – Requisito NZEB (Conceito PH).....	12
Figura 2.3 – <i>EnerPHit</i> na Europa .....	13
Figura 2.4 – Estratégias de intervenção <i>EnerPHit</i> - “ <i>step-by-step</i> ” .....	14
Figure 2.5 – Classe energética REH   <i>EnerPHit</i> “ <i>step-by-step</i> ” .....	15
Figura 3.1 – Ferramenta Informática PHPP.9 .....	18
Figura 3.2 – Esquema PHPP-9   Validação > Certificado PH.....	19
Figura 5.1. – Plano de trabalhos DISS.II   <i>EnerPHit</i> .....	23

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Critérios de Certificação   Requisitos <i>Passive House</i> e <i>EnerPHit</i> .....	12
--	----

## ACRÓNIMOS E SIGLAS

ACC – Análise do Ciclo-de-Carbono

ACV – Análise do Ciclo-de-Vida

AECOPS - Associação de Empresas de Construção Obras e Públicas do Sul

CE – Comunidade Europeia

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

DL – Decreto-Lei

EC – *European Community*

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

INE – Instituto Nacional de Estatísticas

ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção

ITIC - Instituto Técnico para a Indústria da Construção

nZEB - *nearly Zero Energy Buildings*

NZEB - *Net Zero Energy Buildings*

PH – *Passive House* ou “*PassiHaus*”

PHPP – *Passive House Planning Package*

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

UE – União Europeia

UK – *United Kingdom*

# 1 ENQUADRAMENTO

## 1.1 Tendências e Normativas

Atualmente os edifícios no continente europeu são responsáveis por 40% do total do consumo de energia e responsáveis por mais de 36% das emissões de CO<sub>2</sub>. A Comunidade Europeia (CE) estima que 75% dos edifícios existentes são ineficientes energeticamente motivando a criação de diretivas europeias, que por sua vez verterão em legislação dos diversos estado membros a dar prioridade ao paradigma da eficiência energética.[6]

Existindo mais de 200 milhões de edifícios na União Europeia (UE) a precisar de ações de reabilitação energética exige-se a implementação de medidas e estratégias de reabilitação capazes de atingir os objetivos estabelecidos pela União Europeia 2020, nomeadamente a mais ambiciosa dos nZEB (*nearly Zero Energy Buildings*).

Nos edifícios, o maior consumo de energia primária é associada à utilização de sistemas de climatização para assegurar o conforto em aquecimento e arrefecimento. Esta situação, também evidenciada em Portugal, tem direcionado os decisores políticos e técnicos para a necessidade de estabelecer e encontrar medidas que através da reabilitação dos edifícios, com a melhoria da envolvente externa e aplicação de técnicas e tecnologias mais eficientes e ainda com a incorporação de energia renovável, consigam colmatar e até suprir essa necessidade energética.

As estratégias e técnicas de melhoria da eficiência térmica e energética a aplicar na reabilitação, mais ou menos intrusiva, em implementação na União Europeia (UE) poderão ter por base o conceito da *Passive House* ou também designado por “*PassivHaus*”, cujas orientações técnicas e de princípio permitem que os edifícios obtenham condições de autossustentabilidade ( menor necessidade de consumo de energia ) o que vem no respeito das metas debatidas e acordadas nas Cimeiras Mundiais sobre a Sustentabilidade e Condições Climáticas (especificamente na redução das emissões de CO<sub>2</sub>), em que se destacam as mais

recentes pelos acordos de compromisso atingidos pelos países participantes: Cimeira de Quioto em 2009<sup>1</sup> e a Cimeira de Paris em Dezembro de 2015<sup>2</sup>.

O conceito *Passive House* deverá ser a premissa para conseguir atingir as ambicionadas metas uma vez que o cumprimento desta norma reduz 80% à necessidade energética de aquecimento e arrefecimento.

Na figura 1.1 apresenta-se de forma esquemática o conceito nZEB. É ainda possível ver pelo esquema que o conceito PH conduz a uma redução das necessidades energéticas e consequentemente da necessidade de produção de energia para as suprir.

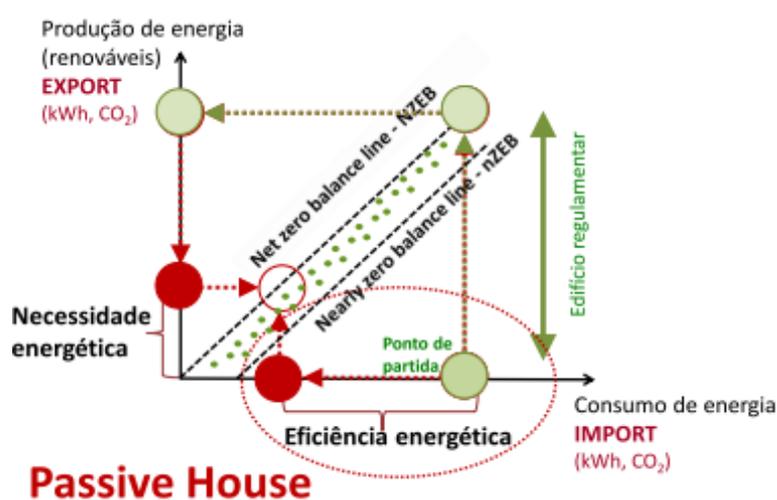


Figura 1.1 – Conceito *Passive House* (nZEB e NZEB)

Atualmente existem no mercado português milhares de habitações, novas e usadas, para venda muitas das quais a precisar de intervenções de reabilitação para melhorar as condições mínimas de habitabilidade e conforto, sem considerarmos qualquer intervenção de reabilitação energética que impunha ações muito mais intrusivas. Em 2010, segundo dados da AECOPS existiam cerca de 550 mil casas devolutas em Portugal, o que já representava cerca de 10% de todo o mercado habitacional [10], situação que se agravou até 2014 em que se previa existir quase 1500 mil de casas devolutas em Portugal [11].

A maior dificuldade coloca-se na reabilitação e melhoria das condições de conforto térmico e energético dos edifícios antigos existente, construídos a partir do final do século XIX, que são atualmente cada vez mais apreciados, valorizados do ponto de vista patrimonial. Foi

1 O Protocolo de Quioto foi o primeiro, e até à data o único, tratado jurídico

2 Cimeira de Paris aprova acordo histórico para conter o aquecimento global

abandonada a mentalidade, quase generalizada nos meados do século XX, de total demolição dos edificadados antigos independentemente do seu estado de conservação para se executar a construção de edifícios novos.

Os fatores culturais, sociais, patrimoniais e mesmo económicos, quando ponderados os benefícios fiscais, apoios comunitários, e mesmo regulamentação de salvaguarda em regime excecional (mesmo que transitório), têm influenciado de forma forte e positiva na promoção e no aumento da reabilitação dos edifícios existentes, antigos e recentes, em detrimento da massiva construção nova, especialmente no “centros” urbanos.

No entanto, as dificuldades de execução nas ações de melhorias do desempenho térmico e energético nestes edifícios, mesmo nos mais recentes, devido a fatores ou características da própria construção (como a localização, orientação geográfica, condicionantes arquitetónicas ou patrimoniais) podem impedir que se efetue eficientemente o tratamento das envolventes opacas, dos vãos envidraçados, da ventilação natural ou mecânica, entre outros, condicionando possivelmente que se atinjam as metas pretendidas para o bom desempenho energético do edifício.

Contudo pretende-se, avaliando caso a caso, que as ações consigam capacitar o edifício de condições de NZEB (*Net Zero Energy Buildings*), no qual o balanço térmico e de conforto são conseguidos pelo equilíbrio entre as necessidades e os ganhos energéticos, que consequentemente reduz a emissão de CO<sub>2</sub>, atingindo-se colateralmente o objetivo de edifícios com emissão de Carbono Zero.

A PH em divulgação pela Europa, após casos registados de implementação anteriores nos Estados Unidos, é hoje também caso de estudo e de grande interesse em países com condições de climas mais quentes (sem invernos frios) como é o caso do Brasil, México e outros países com climas quentes, que procuram uma redução dos consumos energéticos de energia primária consumida em arrefecimento. Ainda têm um longo caminho a percorrer, o que não é menos verdade na Europa apesar de quase três décadas de estudo e aplicabilidade.

A partir do conceito *Passive House* surge, adaptada às condicionantes da reabilitação de edifícios existentes, o conceito *EnerPHit*, que segue as mesmas orientações, soluções e técnicas da PH pretendendo, ajustadamente à reabilitação, obter resultados eficazes de ganhos energéticos para que o edifício atinja condições dos nZEB.

Para a reabilitação térmica e energética de edifícios existentes, que pretendemos aprofundar e analisar na unidade curricular Dissertação II, há que implementar cada vez mais novas metodologias de acordo com conceito *EnerPHit*, norma da PH para a reabilitação do edificado existente, que procura de forma efetiva adaptar os conceitos, técnicas e objetivos da

---

*Passive House* na reabilitação de edifícios existentes. A adequação das metas estabelecidas no conceito *EnerPHit* para a reabilitação de edifícios existentes deverá ser cuidadosamente e criteriosamente efetuada pelas dificuldades que as soluções convencionais, mesmo aplicadas na PH, poderão ter de aplicação e/ou sucesso neste tipo de intervenção.

Esta possível dificuldade tornar-se-á mais um desafio que obriga a encontrar estratégias que permitam atingir as metas pretendidas.

Em Portugal a reabilitação ainda se encontra abaixo da média da UE, apesar de se ter verificado um aumento significativo nos últimos anos comparativamente aos valores expressos pela EUROCONSTUCT - Portugal no último relatório disponível de agosto de 2005<sup>3</sup>, (ver figura 1.2), em que apresentava nessa data um investimento em reabilitação de aproximadamente 23% versus os 44,8% da média dos países da Comunidade Europeia.

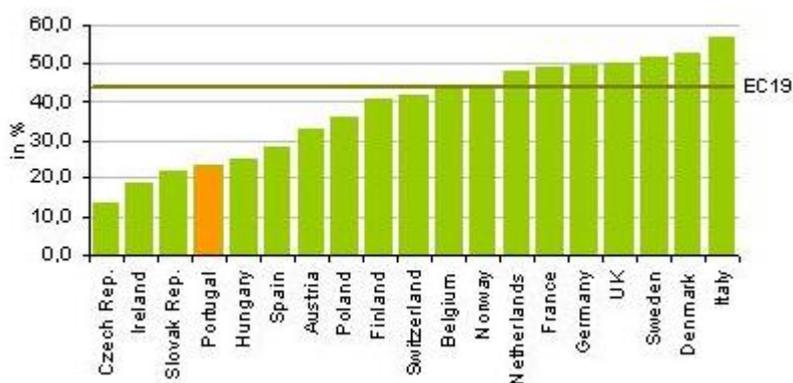


Figura 1.2 – Reabilitação na Europa [Euroconstruct, 2005]

Em Portugal as primeiras políticas para o desempenho energético dos edifícios surgiram em 1990, pela obrigatoriedade comunitária de transcrição de diretivas europeias, já em vigor, as quais têm vindo a sofrer adaptações, alterações ou mesmo a completa remodelação ou substituição como é descrito de seguida.

A regulamentação em vigor em Portugal no âmbito do conforto térmico e energético é regida pelo Decreto-Lei n. 251/2015 (25/11), que transpôs a Diretiva nº 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio de 2010. Este DL é a 3ª alteração ao Decreto-Lei nº 118/2013 que tinha aprovado o REH e o RECS, e que já tinha sofrido outras alterações por

3 Próximo Congresso agendado para 24-25 novembro 2016, em Barcelona Espanha.

imposição dos DL n.68-A/2015 (1ª alteração do DL118/2013) e pelo DL n.194/2015 (2ª alteração do DL118/2013).

Em vigor encontra-se ainda a Lei nº 58/2013 que regulamenta os requisitos de acesso e exercício da atividade de peritos qualificados.

Assim temos na figura 1.3 o enquadramento legislativo nacional que representam as políticas energéticas desenvolvidas em Portugal:

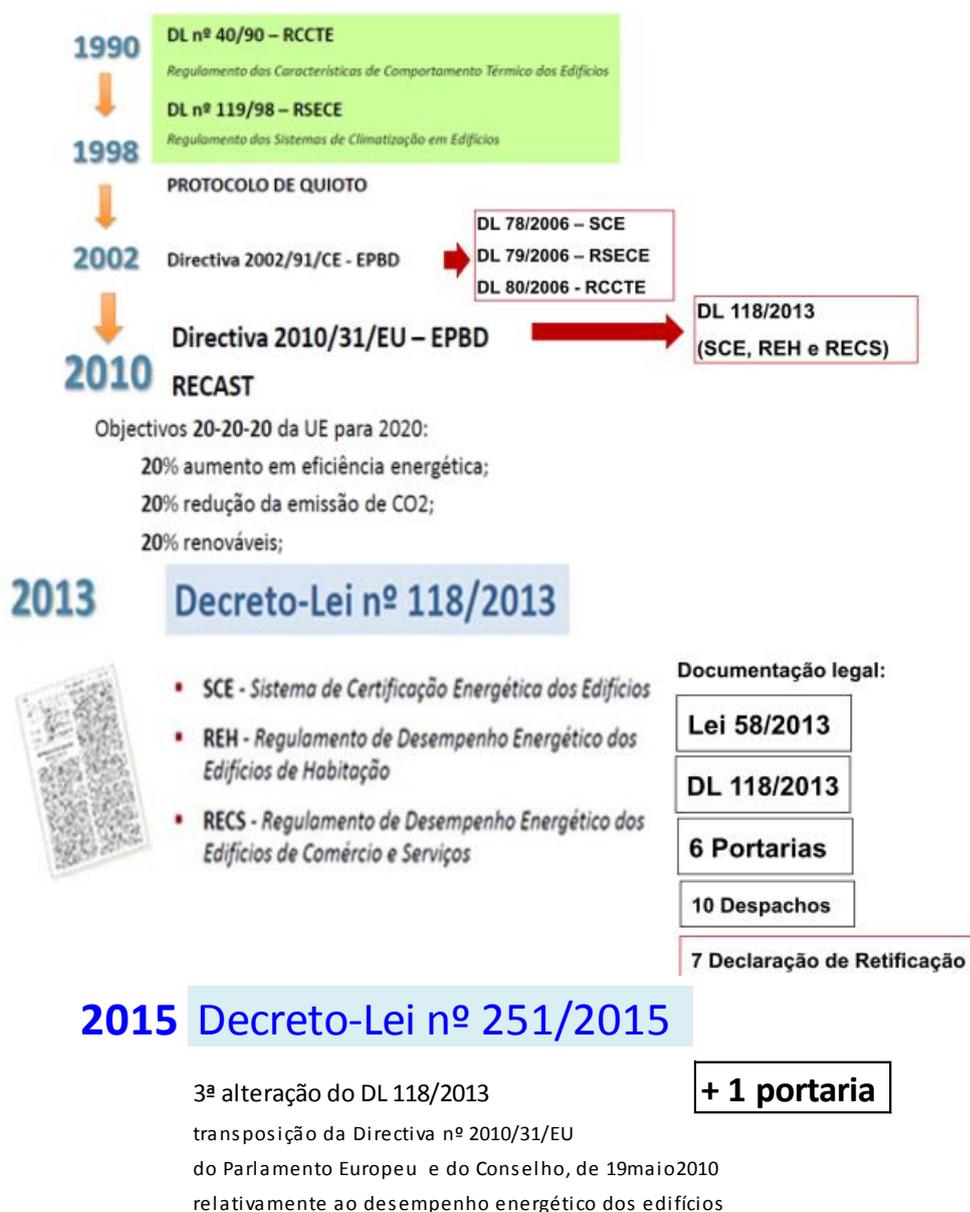


Figura 1.3 – Enquadramento legislativo nacional - Desempenho Energético dos Edifícios

## 1.2 Conceito *Passive House* (“*Passivhaus*”).

A designação de "Casas passivas" pretende caracterizar edifícios que, no clima da Europa Central, têm baixa exigência de energia de aquecimento sem necessidade de aquecimento ativo, mantendo-se assim aquecidas "passivamente" só com recurso às fontes de calor internas resultantes da energia solar captada pela envolvente translúcida, pelo aquecimento decorrente das cargas internas e pela supressão de infiltrações de ar fresco.

A figura 1.4 representa as fontes de produção e o tipo de energia primária que influenciam o balanço energético das casa passivas.

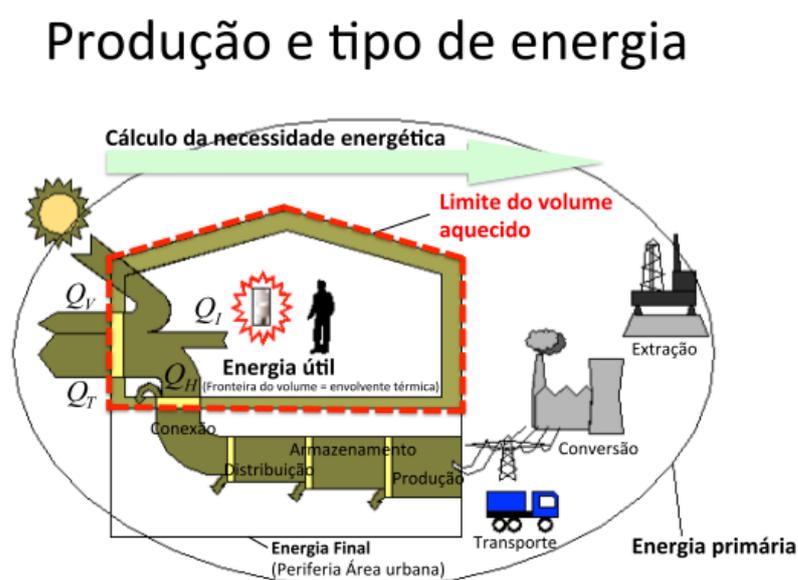


Figura 1.4 – Produção e tipo de energia

Existem referências de “Edifícios de Energia Zero” [1], conceito do NZEB, desde 1975 na Dinamarca, em que o edifício de referência se destinava a ser um edifício residencial, que foi construído no âmbito de pesquisa da Universidade Técnica da Dinamarca, que o repetiu em outras localidades (ESBENSEN; KORSGAARD, 1977; SEIFERT, 2008). Supõem-se que estes edifícios foram os pioneiros deste conceito, no entanto como se limitaram ao controlo da energia de climatização tem tornado discutível, segundo outros autores e investigadores, a aceitação destes edifícios como representativos de “Edifícios de Energia Zero”.

Desta forma, o conceito *Passive House* terá surgido nos anos 80, tendo o seu primeiro edifício sido concluído em 1990 na Alemanha (Darmstadt). O principal objetivo desta construção modelo era de reduzir a perda de calor no interior do edifício, como afirmou Wolfgang Feist

no documento “The best energy is less energy”. Na Alemanha o consumo de energia incide essencialmente no Inverno, para aquecimento, dado que as temperaturas exteriores mínimas podem atingir cerca de  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pretendendo-se o conforto interior com temperaturas de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , temperatura estabelecida de base no conceito Passivhaus – Casas Passivas.

Em 1995, Wolfgang Feist [7] [8] classificou os conceitos passivos adotados nas casas de Darmstadt, dando assim origem ao padrão Passivhaus, norteado essencialmente em três requisitos:

- um limite de energia (aquecimento e arrefecimento);
- um requisito de qualidade (conforto térmico); e
- um conjunto de sistemas passivos preferenciais, que permitam cumprir o limite energético e de qualidade sem um custo elevado.

Assim, segundo Feist (2005) [7] [8] [14], uma casa “Passivhaus” pode economizar mais de 50% do consumo total de energia primária, para o aquecimento, água quente sanitária, ventilação e todos os aparelhos elétricos.

Este conceito foi introduzido com sucesso na construção de edifícios residenciais na Alemanha, Áustria e Suíça, e provocou o desenvolvimento de componentes altamente eficientes de energia. Atualmente, este conceito é aplicado também em edifícios de escritórios, escolas e de outros usos e é cada vez mais aplicado na reabilitação de edifícios.

Recentemente há mais de 10.000 edifícios em todo o mundo certificados segundo a norma *PassivHaus*, desde casas individuais, edifícios de escritórios, escolas e lojas. A figura 1.5 assinala os locais na Europa onde já existem desses edifícios certificados.



Figura 1.5 – A *Passivhaus* na Europa [iPHA, 2013]

Para se atingir as metas impostas pela *Passive House* há que garantir que as construções novas cumpram os seguintes requisitos:

- Necessidade anual de aquecimento igual ou inferior a 15 kWh/(m<sup>2</sup>ano), para uma temperatura de conforto interior de 20°C e com uma carga de aquecimento igual ou inferior a 10 W/m<sup>2</sup>;
- Necessidade anual de arrefecimento igual ou inferior a 15 kWh/(m<sup>2</sup>ano), para uma temperatura de conforto interior de 20°C e com uma carga de arrefecimento igual ou inferior a 10 W/m<sup>2</sup>;
- Consumo de energia primária igual ou inferior a 120 kWh/(m<sup>2</sup>ano);
- Taxa de renovação do ar, à pressão (positiva e negativa) de 50 Pa (n50) igual ou inferior a 0,60 renovações de ar por hora

Em suma, as Casas Passivas são aquelas que atingem as condições interiores de conforto térmico sem assimetrias com:

- Consumo mínimo de energia – Eficiência Energética;
- Elevada qualidade do ar interior;
- Recurso a energias renováveis;
- Durabilidade (sem anomalias); e
- Qualidade da Construção

Ao nível nacional, existem exemplos da aplicação do conceito *Passive House* para construção nova, citando a título de exemplo a construção “Modiko *Passive House* – Casas Modulares Passivas”.

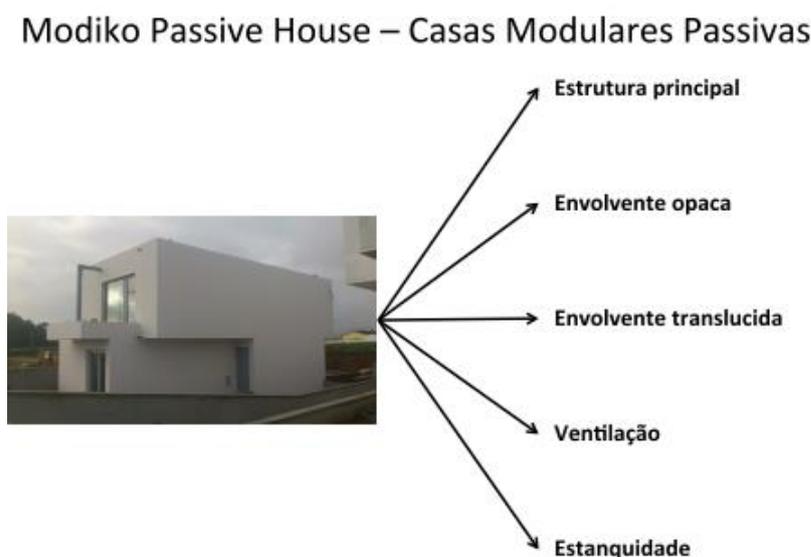


Figura 1.6 – Modiko *Passive House* – Casas Modulares Passivas

### Modiko Passive House



Figura 1.7 – Modiko *Passive House* – Perspetivas

### 1.3 Alguns casos de estudo | *Case Study*

Nesta secção apresentam-se alguns casos de estudo [12], exemplificativos para a tipologia residencial. De entre muitos, possíveis da aplicabilidade dos conceitos *Passive House* (Anexos I e II) e *EnerPHit* (Anexos III a V).

Caso de estudo 1 (Anexo I) – Carnegie Village é edifício novo destinado a residência universitária da *Leeds Metropolitan University - UK*, em que houve grande preocupação no tratamento e isolamento da cobertura e envolventes opacas, assim como na aplicação de técnicas inovadoras até ao nível da iluminação interior.

Caso de estudo 2 (Anexo II) – Crophorne Autonomous House é também um edifício novo onde foram aplicadas medidas não só de construção mas também ecológicas, como reaproveitamento de águas pluviais para uso sanitário, entre outras, apresentando uma alta eficiência dos materiais aplicados e do conceito PH com baixos consumos energéticos.

Caso de estudo 3 (Anexo III) – Grove Cottage, é um edifício existente que foi reabilitado o qual tinha uma cobertura verde, muito comum em construções da região onde se localizava – Hereford, *UK*, a qual se apresentava como uma condicionante e dificuldade para a aplicação de medidas de intervenção eficazes para atingir o cumprimento das regras impostas pela PH. No entanto metas menos severas, como as definidas pelo conceito *EnerPHit*, permitiram que a

execução de estratégias de intervenção idênticas às usadas na PH pudessem permitir que este edifício atingisse os requisitos definidos e pretendidos no âmbito da norma *EnerPHit*.

Caso de estudo 4 (Anexo IV) – Lena Gardens é uma construção de finais do século XIX (meados de 1870), que apesar das melhores técnicas de construção no uso da reabilitação não iria permitir que esse edifício cumprisse com os requisitos da *Passive House*. No entanto essas mesmas técnicas, ajustadas a realidade do edifício e da reabilitação pretendida, permitiram com adequado estudo que fossem atingidas as metas impostas pela norma *EnerPHit*.

No caso de estudo 5 (Anexo V) – Princedale Road é mais um bom exemplo de reabilitação no cumprimento da norma *EnerPHit*, caso semelhante ao anterior caso de estudo.

## 1.4 Palavras-Chave

Neste contexto os princípios que norteiam os conceitos da *Passive House* e a *EnerPHit* centram-se em “palavras-chave” que norteiam os princípios e os objetivos pretendidos, ajustados para cada um dos conceitos.

Assim temos algumas palavras-chave importantes:

- ✓ Casa Passiva
- ✓ Sustentabilidade,
- ✓ Reabilitação,
- ✓ Eficiência energética,
- ✓ Conforto térmico,
- ✓ Edifícios de Energia Zero ( NZEB)
- ✓ Carbono Zero
- ✓ *Step-by-step*

## 2 ABORDAGEM

### 2.1 Do Conceito *EnerPHit* à Reabilitação do Edifício Existente

O conceito *EnerPHit* deriva do conceito *Passive House*, mas adaptado para a reabilitação do edifício construído existente.

Dada a dificuldade de implementação das estratégias de reabilitação nos edifícios existentes, devido aos condicionalismos que estes possuem, para se atingir as metas pretendidas no conceito *EnerPHit*, obriga que as estratégias de reabilitação sejam ajustadas ao existente, sem negligenciar os objetivos e metas pretendidas, mas sempre com uma visão responsável quanto ao que é possível fazer.

Desta forma o objectivo-base pretendido com a implementação do conceito *EnerPHit* é potenciar no edifício melhorias e ganhos energéticos efetivos de autossustentabilidade, posicionando-o o mais possível no intervalo definido entre o nZEB e NZEB, como se observa na figura 2.1. A reabilitação de um edifício deve à partida conferir-lhe, se possível, condições para que atinja, nem que seja de por etapas, o requisito nZEB (*nearly Zero Energy Buildings*), linha acima da qual quaisquer melhorias adicionais executáveis lhe irão conferir maiores condições de conforto térmico, já adquiridas até aí, e mais ganhos para compensar os consumos energéticos.

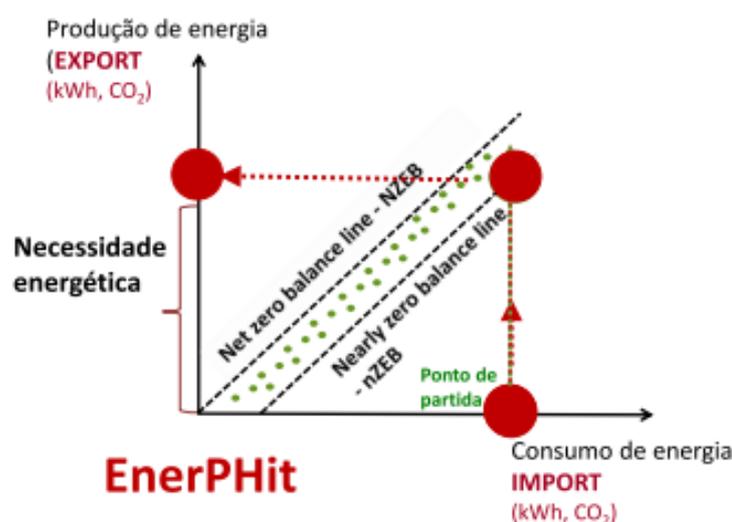


Figura 2.1 – Conceito *EnerPHit* – Requisito nZEB

Dependente das condicionantes do edificado (localização, aspetos geográficos, orientação solar, dimensões e geometria do edifício, materiais, etc.) e das estratégias de reabilitação que sejam possíveis implementar, sem desvirtuar os valores patrimoniais ou outros a ponderar para cada situação, poder-se-á atingir, mesmo para o edificado construído existente, as condições de um edifício NZEB, como se observa na figura 2.2, cumprindo assim todos os requisitos *Passive House* (PH) e conseqüente autossustentabilidade.

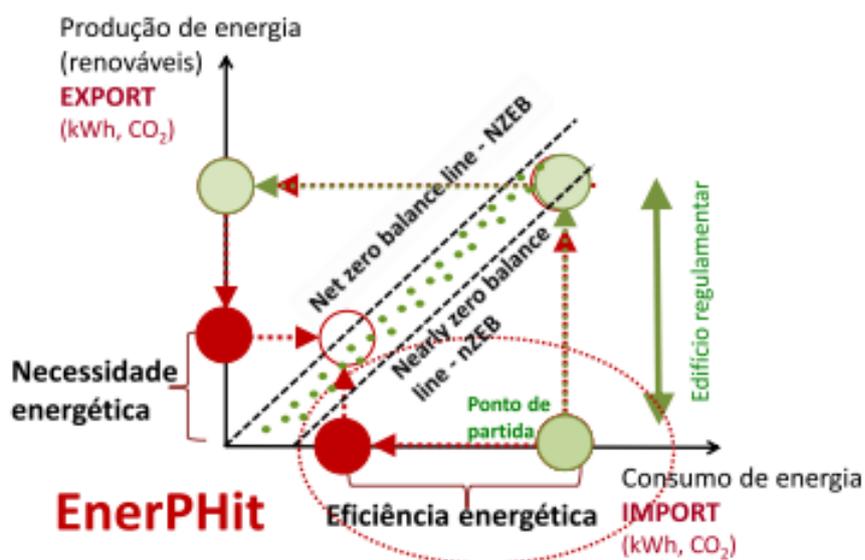


Figura 2.2 – Conceito *EnerPHit* – Requisito NZEB (Conceito PH)

Resume-se no quadro 2.1 a comparação entre as metas pretendidas em cada um dos conceitos, e que evidencia as menores exigências do conceito *EnerPHit*, face ao tipo de intervenção que abraça mas com o mesmo rigor que o estabelecido para o conceito “*PassivHaus*”.

Critérios Certificação	PassivHaus	EnerPHit
Necessidade de aquecimento	« 15 kWh/m <sup>2</sup> .a	« 25 kWh/m <sup>2</sup> .a
Necessidade de arrefecimento	« 15 kWh/m <sup>2</sup> .a	« 25 kWh/m <sup>2</sup> .a
Consumo de Energia Primária	« 120 kWh/m <sup>2</sup> .a	« 120 kWh/m <sup>2</sup> .a <sup>(i)</sup>
Taxa de Renovação de Ar <sup>(ii)</sup>	n50 « 0,6 <sup>-1</sup>	n50 « 1,0 <sup>-1</sup>

<sup>(i)</sup> PE « « 120 kWh/m<sup>2</sup>.a + ((SHD - 15 kWh/m<sup>2</sup>.a)x1,2)

<sup>(ii)</sup> número de renovações de ar hora

Quadro 2.1 – Critérios de Certificação | Requisitos *Passive House* e *EnerPHit*

Atualmente o conceito *EnerPHit* já se encontra divulgado e aplicado na Europa como se representa na figura a seguir.



Figura 2.3 – *EnerPHit* na Europa

Com base nos resultados que foram obtidos no estudo efetuado a um edifício existente do século XIX [14] localizado em Aveiro-Portugal, os quais foram parametrizados para simular os efeitos e resultados da aplicação do conceito *EnerPHit* em edifícios localizados noutras cidades portuguesas (Bragança, Vila Real, Braga, Viana do Castelo, Viseu e Guarda), concluí esse estudo que é possível atingir em cada caso um edifício passivo segundo os requisitos *EnerPHit* [14]. Exceção verificada nesta investigação foi para a Guarda, que não foi possível atingir os requisitos indicados pela *EnerPHit* [14], mas foi notória as melhorias resultantes em termos de ganhos energéticos comparativamente aos consumos.

Tem-se verificado recentemente que as normativas de regime excecional e transitório que o governo português aprovou em 2014, com intuito de incentivar e “facilitar” a reabilitação do edificado construído antigo com mais de 30 anos e localizados em áreas de reabilitação urbana com afetação total ou predominantemente ao uso habitacional, veio colocar um entrave no avanço e implementação do conceito *EnerPHit* em Portugal. O futuro confirmará as consequências e repercussões que esta medida terá na sustentabilidade energética e na própria durabilidade da reabilitação efetuada em comparação com o investimento e reabilitação física entretanto efetuado ao abrigo desta norma.

O conceito *EnerPHit*, como já referido, tem por base a intervenção em cinco componentes integrantes da construção para a melhoria das suas capacidades de isolamento, estanquidade e ventilação. Estas melhorias em edifícios existentes podem ser estudadas e aplicadas isoladamente e de forma sequencial “*step-by-step*”, ou seja passo a passo (ver Figura 2.4), permitindo encontrar quais as soluções mais eficazes em termos térmicos e energéticos e também mais económicas, e uma maior facilidade de aplicação/execução e decisão.



Partindo do Edifício Existente (BASE):

- i) Tratamento das superfícies opacas (Isolamento)
- ii) Tratamento dos envidraçados
- iii) Melhorias da estanquidade |
- iv) Incremento de sistemas auxiliares de renovação e tratamento do ar, com aproveitamento energético e térmico

Figura 2.4 – Estratégias de intervenção *EnerPHit* - “*step-by-step*”

Este processo “*step-by-step*” permite ir atingindo melhorias sucessivas, por ações sucessivas, o que permite a tomada de uma decisão, por cada patamar, com base no rácio conseguido em cada fase entre a redução do consumo energético (com aumento do conforto térmico) e o custo associado à intervenção efetuada.

Esta metodologia “*step-by-step*” tem ainda maior importância perante as condicionantes a encontrar na execução da reabilitação de edifícios existentes.

Com base no REH [3] [4], podemos afirmar que a aplicação das melhorias em “*step-by-step*” incrementa também, pelo referido anteriormente, um aumento da classe de desempenho energético do edifício como representado na Figura 2.5.

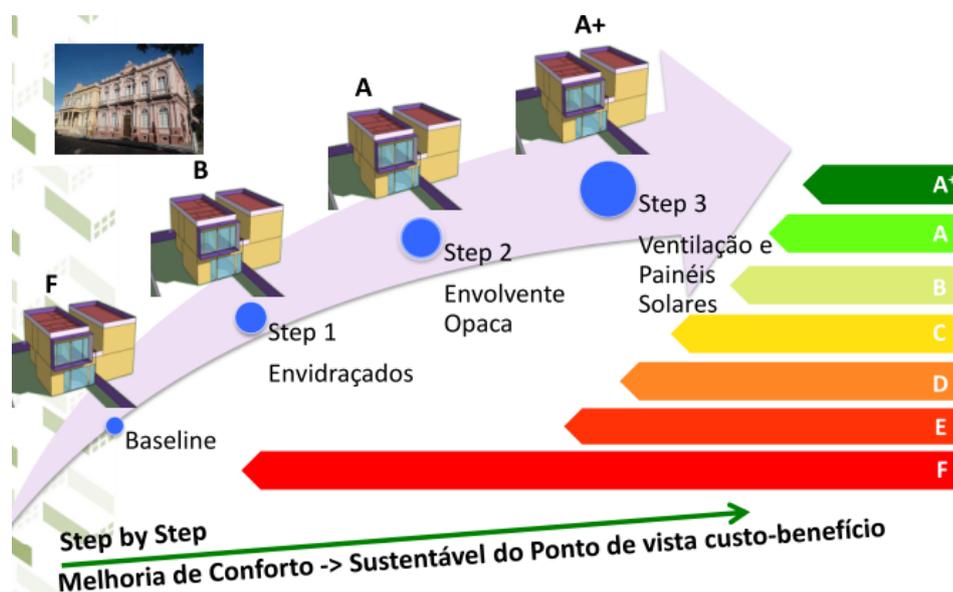


Figure 2.5 – Classe energética REH | *EnerPHit* “step-by-step”

## 2.2 Caso de Estudo: Metodologia e Objetivos

Pretende-se, como objetivo principal, avaliar estratégias de reabilitação térmica e energética aplicável na reabilitação de edifícios existentes de construção recente. Partindo deste objetivo será escolhido um edifício de referência construído entre os anos 70 e 80 no distrito de Coimbra, exemplo potencialmente para o mercado da reabilitação imobiliária deste distrito, o qual passará a ser o caso de estudo a partir do qual, após sua caracterização geográfica, arquitetónica e construtiva, se efetuará com recurso de uma ferramenta informática o balanço térmico e estudos paramétricos de estratégias de intervenção possíveis, e necessárias, para atingir os requisitos impostos pelo conceito *EnerPHit* de forma a assegurar a certificação desse edifício segundo o referido conceito.

A escolha do referido edifício de referência para o caso de estudo terá em conta a possibilidade de autorização e acesso exterior e interior para a obtenção de toda a informação necessária, assim como para a execução de ensaios de temperatura, exteriores e interiores, relacionados com o conforto térmico. Em simultâneo será efetuada a caracterização arquitetónica e construtiva do edifício com o reconhecimento dos materiais aplicados e sistemas construtivos, informação que é fundamental para a modulação informática do modelo correspondente ao caso de estudo.

Salientar que o prazo para realização do estudo e elaboração do relatório, (Dissertação II), permitirá apenas fazer registos de temperatura e humidade interior e exterior por um período de 6 meses, no entanto, a parte da estação de verão e inverno serão monitorizadas. Far-se-á o possível para calendarizar um mapa de leituras que permitam identificar o edifício em termos de conforto para a situação real.

Após a recolha e tratamento dos registos obtidos de temperatura e humidade, passar-se-á ao estudo paramétrico, como referido, com recurso à ferramenta informática (ver Figura 3.1) que será disponibilizada para efeitos académicos, pretendendo-se:

1. Efetuar a modulação do edifício em estudo;
2. Validar o modelo algorítmico;
3. Simular estratégias de intervenção por patamares de intervenção;
4. Obter resultados e análise de alternativas;
5. Repetir os pontos 3 e 4 para as diferentes ações de intervenção cumulativas, de acordo com o conceito *EnerPHit*:
  - i. Alteração das envolventes opacas (Isolamento);
  - ii. Alteração das soluções envidraçadas;
  - iii. Melhoria da estanquicidade;
  - iv. Incremento de sistemas auxiliares de renovação e tratamento do ar com aproveitamento energético e térmico.

Obs: A ordem de intervenção destes passos pode ser alterada com base nas condicionantes do próprio edifício.

Tratando-se de um estudo de reabilitação de um edifício existente e de acordo com o conceito *EnerPHit*, as estratégias de intervenção são efetuadas por patamares de intervenção, conhecido como “*step-by-step*”, já descrito anteriormente a partir do qual se obtêm resultados que nos permitirão, se possível, determinar e concluir quais os acréscimos de ganho entre cada patamar e solução, por forma a determinar para o caso em estudo quais as intervenções necessárias para atingir os requisitos impostos pelo conceito *EnerPHit* e que permitissem a certificação do referido edifício, ou quais as intervenções e passos que num rácio com o custo da intervenção efetuada permita obter o maior ganho energético e conseqüente maior conforto como menor custo. Este último fator é importante para determinar o sucesso de aplicabilidade do conceito na reabilitação de edifícios reais.

Este estudo poderá complementar o já efetuado para edifícios antigos século XIX [14], podendo permitir obter mais algumas conclusões.

Em conclusão, podemos afirmar que se pretende com esta dissertação identificar, com base no conceito *EnerPHit*, Estratégias de Reabilitação Térmica e Energética do caso de estudo representativo dos anos 70 / 80.

## 3 BALANÇO E MODULAÇÃO

### 3.1 Ferramenta de Cálculo/Simulação - Uso PHPP.9

A Figura 3.1 apresenta a ferramenta de balanço térmico que será utilizada para o estudo paramétrico será o PHPP-9 (*Passive House Planning Package versão 09*).

#### Ferramenta - Balanço térmico



Figura 3.1 – Ferramenta Informática PHPP.9

Esta ferramenta informática permite calcular as necessidades energéticas, taxa de sobreaquecimento e energia primária, bem como efetuar estudos paramétricos previstos para o clima português.

Assim será avaliada a adaptabilidade a diferentes zonas, importante para simular o efeito das estratégias de intervenção em diferentes regiões de Portugal.

A Figura 3.2 apresenta os passos que a ferramenta informática PHPP-9 efetuar o cálculo anteriormente referido.

## Esquema PHPP

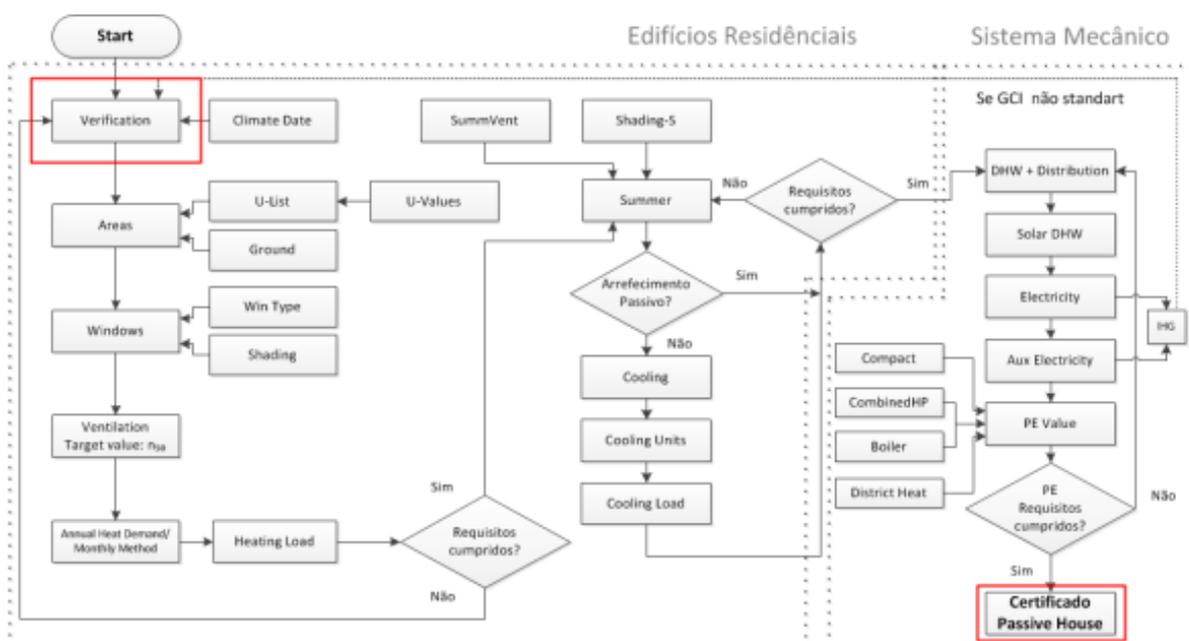


Figura 3.2 – Esquema PHPP-9 | Validação > Certificado PH

### 3.2 Caso de Estudo: Monitorização e Validação Numérica

O processo de monitorização e validação numérica já descrita anteriormente resume-se a:

Após a recolha e tratamento dos registos de temperaturas e humidade efetuados no edifício em estudo, com recurso do PHPP.9 efetua-se o estudo paramétrico obtendo-se valores para cada uma das simulações representativas das intervenções convencionadas para cada um dos passos de intervenção, de acordo com os seguintes passos:

1. Efetuar a modulação do edifício em estudo;
2. Validação do modelo;
3. Simulação das estratégias de intervenção por patamares de intervenção;
4. Obter resultados e análise de alternativas;
5. Repetir os pontos 3 e 4 para as diferentes ações de intervenção cumulativas, de acordo com o conceito *EnerPHit*:
  - i. Alteração das envolventes opacas (Isolamento);
  - ii. Alteração das soluções envidraçadas;

- iii. Melhoria da estanquicidade;
- iv. Incremento de sistemas auxiliares de renovação e tratamento do ar com aproveitamento energético e térmico.

Obs: A ordem de intervenção destes passos pode ser alterada com base nas condicionantes do próprio edifício.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Avaliação Numérica de Benefícios Térmicos e Desempenho Energético

De acordo com o anteriormente referido, será efetuada a análise de resultados por patamares de intervenção - “*step-by-step*” - e por estratégias de intervenção com simulações de alternativas, na procura de uma ou mais alternativas que aumente o rácio de benefício térmico e desempenho energético, comparando com o custo da realização dessa intervenção

É um ciclo que deverá ser cuidadosamente delimitado para evitar em determinada fase da análise não obter respostas redundantes e complicando e demorando desnecessariamente a análise pretendida.

### 4.2 Avaliação Custo-Benefício

Será efetuada a avaliação do custo-benefício para a solução de estratégia final, no entanto será também será efetuada esta avaliação nos passos intermédios por forma a ir direcionando as melhores escolhas de intervenção, que permitam não só a melhor solução final de intervenção com o cumprimento da norma e com os menores consumos energéticos (garantindo os maiores ganhos), mas também em termos económicos.

Para o sucesso de implementação do conceito e das estratégias de intervenção a custo de intervenção pesa fortemente na decisão, por isso a melhor solução de intervenção com o menor custo é a chave de sucesso. Apesar do custo, justificado com o benefício deve ser conseguido com soluções que não onerem ou inviabilizem a sua aplicação.

Torna-se importante encontrar a todo momento soluções de mercado inovadoras que consigam minorar o custo de execução e facilitar a reabilitação.

#### 4.2.1 Análise do tempo de retorno de investimento

Será efetuada a análise do tempo de retorno de investimento para a solução que represente a melhor solução de intervenção geral de reabilitação.

No entanto poderemos, com base nos resultados e estratégias em estudo, efetuar também essa análise para outra solução de estratégia para avaliar o grau de influência na melhor decisão.

#### **4.2.2 Análise do Ciclo de Carbono e Ciclo de Vida**

Ficará como objetivo adicional determinar, se possível, a análise do Ciclo-Carbono (ACC) do Ciclo de Vida (ACV) da solução de intervenção selecionada no final.



### 5.3 Perspetivas Futuras

O conceito *EnerPHit* se bem aplicado, com uma visão adequada às situações reais do mercado e do edificado existente, pode transformar-se numa ferramenta muito importante no desenvolvimento da reabilitação do edificado existente em Portugal.

Em Portugal, expandir este conceito por outros edifícios de utilização pública permitiria a melhoria das condições de utilização e de vida a todos que deles usufruem, como já é exemplo em casos na Europa. Esta implementação poderia ajudar, em muito, a divulgação do conceito, a da sua utilidade, importância e vantagens na reabilitação dos edifícios habitacionais em maior quantidade e piro estado de conservação, o que pode traria no imediato e a médio prazo repercussões positivas e de alento à continuidade.

O desafio da implementação do conceito com sucesso e maior abrangência a toda a construção e reabilitação parece um sonho difícil de se concretizar, mas reforçava o que expressa o pensamento presente no final da página dos agradecimentos.

*“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é  
alguém que acredite que ele possa ser realizado.”*

Roberto Shimyashiki

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CB3E- Pacheco. M, Ghisi E, Lamberts R (2013). “Proposição de estratégias para obtenção de Edifícios de Energia Zero”.
- [2] Diretiva Europeia 2010/31/EU. Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 sobre o desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, pp. 13–35, Bruxelas.
- [3] DL n. 251/2013. Decreto-Lei de 25 de novembro do gosto do Ministério da Economia e do Emprego”. Diário da República – I Série.
- [4] DL n.118/2013. Decreto-Lei de 20 de agosto do Ministério da Economia e do Emprego”. Diário da República – I Série, No. 159, pp. 4988–5005, Lisboa.
- [5] Euconstruct@ (2005), [http://www.euroconstruct.org/service/cotm/portugal08\\_05/countryotm3.php](http://www.euroconstruct.org/service/cotm/portugal08_05/countryotm3.php) .
- [6] EuroPHit@ (2016), <http://www.euophit.eu/> *Implementing deep energy step-by-step retrofits – EuroPHit: Increasing the European potential.*
- [7] Feist, Wolfgang (1993). *PassivHaus in Mitteleuropa; Dissertation, Universität Kassel.*
- [8] Feist, Wolfgang ; Jürgen Schnieders; Viktor Dorer; Anne Haas (2005). *Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. Energy and Building*, 37, 1186-1203. doi:10.1016/j.enbuild.2005.06.020.
- [9] ITeCons@ (2015a). <http://www.itecons.uc.pt/index.php?module=inst&id=7>. Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (<http://www.itecons.uc.pt>), Coimbra.
- [10] Jornal Económico (2010), Artigo do Jornal Económico.
- [11] Jornal Sol, (2014) Artigo do semanário Sol de 17 de setembro.
- [12] Kingspan (2012), “*Passivhaus” Buildings; Case Studies.*
- [13] Mateus D - MRE-ERAEE (2015/2016) Regulamentação de desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.
- [14] Parada, Marlene (2014) Reabilitação energética de um edifício antigo segundo os requisitos *EnerPHit*; Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – Universidade de Aveiro.
- [15] Vicente R, Oliveira R, (2015) Modulo II Conceito *Passive House* (Casa Passiva), apresentação em pdf.

## ANEXO I

# Case Study 1: Carnegie Village

Project Name: Carnegie Village

Building Type: New Build  
Location: Leeds  
Status: Certified  
Building Use: Student Residential  
Construction Time: 14 Months  
U-Value Performance of Roof: 0.06 W/m<sup>2</sup>·K  
U-Value Performance of External Walls: 0.15 W/m<sup>2</sup>·K  
U-Value Performance of Ground Floor: 0.12 W/m<sup>2</sup>·K  
Air Tightness: 0.5 m<sup>3</sup>/hr/m<sup>2</sup> at 50 Pa

Kingspan Products Used:  
*Kingspan **Kooltherm**® K7 Pitched Roof Board*  
*Kingspan **Thermawall**® TW55*  
*Kingspan **Kooltherm**® K3 Floorboard Insulation*  
Clients: Leeds Metropolitan University  
Building Services: Imtech G&H Ltd.  
Main Contractor: Shepherd Construction  
Architects: Goddard Wybor Architects



## ANEXO II

# Case Study 2: Crophorne Autonomous House

Project Name: Crophorne Autonomous House

Building Type: New Build	Air Tightness: 0.36 m <sup>3</sup> /hr/m <sup>2</sup> at 50 Pa
Location: Worcestershire	Kingspan Products Used: <i>Kingspan Kooltherm<sup>®</sup> K12 Framing Board</i>
Status: Under construction, Intending certification	Clients: Mike Coe and Lizzie Stoodley
Building Use: Private Residential	Main Contractors: Eco-DC
Construction Time: 26 months	Architects: Neill Lewis
U-Value Performance of Roof: 0.08 W/m <sup>2</sup> ·K	
U-Value Performance of External Walls: 0.09 W/m <sup>2</sup> ·K	
U-Value Performance of Ground Floor: 0.09 W/m <sup>2</sup> ·K	



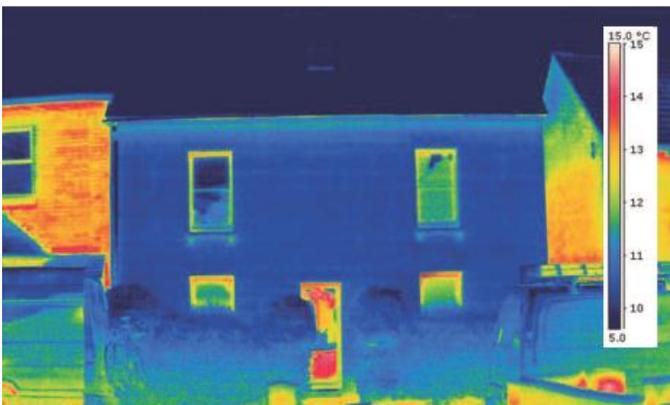
## ANEXO III

### Case Study 3: Grove Cottage

Project Name: Grove Cottage

Building Type: Retrofit  
Location: Hereford  
Status: Certified  
Building Use: Private Residential  
Construction Time: 8 Months  
U-Value Performance of Roof: 0.09 W/m<sup>2</sup>-K  
U-Value Performance of External Walls: 0.12 W/m<sup>2</sup>-K  
U-Value Performance of Ground Floor: 0.193 W/m<sup>2</sup>-K

Air Tightness: 0.82 m<sup>3</sup>/hr/m<sup>2</sup> at 50 Pa  
Kingspan Products Used:  
*Kingspan* **Kooltherm**<sup>®</sup> K3 Floorboard  
Building Owner, Architect & Developer:  
Simmonds Mills Architects  
Main Contractor: Eco-DC



## ANEXO IV

### Case Study 4: Lena Gardens

Project Name: Lena Gardens

Building Type: Retrofit  
Location: London  
Status: Certified  
Building Use: Private Residential  
Construction Time: 10 Months  
U-Value Performance of Roof: 0.14 W/m<sup>2</sup>-K  
U-Value Performance of External Walls: 0.10 W/m<sup>2</sup>-K  
U-Value Performance of Ground Floor: 0.11 W/m<sup>2</sup>-K  
Air Tightness: 0.49 m<sup>3</sup>/hr/m<sup>2</sup> at 50 Pa

Kingspan Products Used:  
*Kingspan **Kooltherm**® K7 Pitched Roof Board*  
*Kingspan **Kooltherm**® K12 Framing Board*  
*Kingspan **Thermafloor**® TF70*  
Clients: Mr & Mrs Pakenham  
Low Energy House Designers: Green Tomato Energy,  
Princedale Ecohaus Ltd  
Architects: Macmillan-Scott Practice



## ANEXO V

### Case Study 5: Princedale Road

Project Name: 100 Princedale Road

Building Type: Retrofit  
 Location: London  
 Status: Certified  
 Building Use: Private Residential  
 Construction Time: 7 Months  
 U-Value Performance of Roof: 0.15 W/m<sup>2</sup>·K  
 U-Value Performance of External Walls: 0.10 W/m<sup>2</sup>·K  
 U-Value Performance of Ground Floor: 0.14 W/m<sup>2</sup>·K  
 Air-Tightness: 0.5m<sup>3</sup>/hr/m<sup>2</sup> at 50 Pa

Kingspan Products Used:  
 Kingspan **Therma**wall® TW55  
 Kingspan **Therma**floor® TF70  
 Clients: Octavia Housing  
 Main Contractor: Princedale Ecohaus Ltd.  
 Architects: Paul Davis + Partners  
 Project Management: Greentomatoenergy  
 Sustainability Consultants: Eight Associates

