

WORKSHOPS TRANSIÇÃO CLIMÁTICA

SOLUÇÕES DE CUSTO-ÓTIMO PARA A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA



1. Enquadramento
2. As medidas para a transformação
3. Barreiras e Desafios
4. Avaliação Económica
5. LCCA e nZEB
6. Cálculo de Custo ótimo
7. Exemplos de aplicação

1

Enquadramento

A Eficiência Energética é uma prioridade europeia

- **Segurança Energética** – em 2030, numa abordagem “business as usual”, a UE terá uma dependência de energia importada de cerca de 70%.
- **Proteção ambiental** – a produção e o uso de energia são responsáveis por cerca de 90% das emissões de carbono.
- **Falta de recursos energéticos suficientes** – UE não pode aumentar a oferta de recursos energéticos, mas pode reduzir a procura de energia.

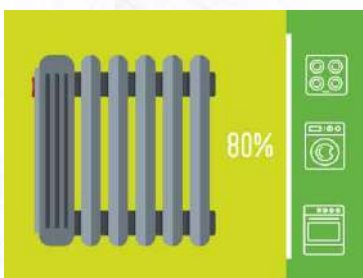


“O primeiro combustível”

Agência Internacional de Energia

“ (...)uma das formas mais rápidas e custo-eficientes para mitigar o dióxido de carbono”

- Os edifícios representam, na Europa, cerca de **40% do consumo de energia final**.
- O parque imobiliário é assim o **maior consumidor de energia na Europa** e é responsável por uma parte muito significativa **das emissões de carbono associadas à produção e utilização da energia**.



A "inércia" dos edifícios existentes.

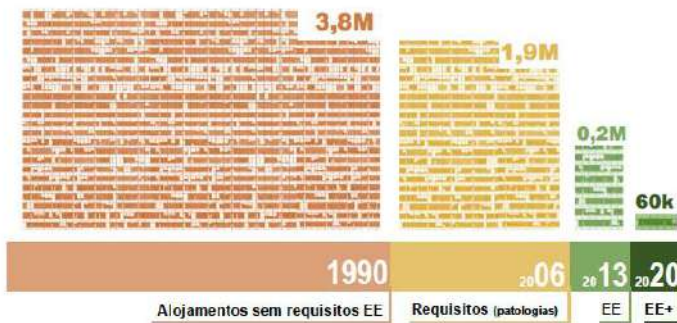


Figura 2 - Requisitos de eficiência e alojamentos construídos (INE, 2015)⁶

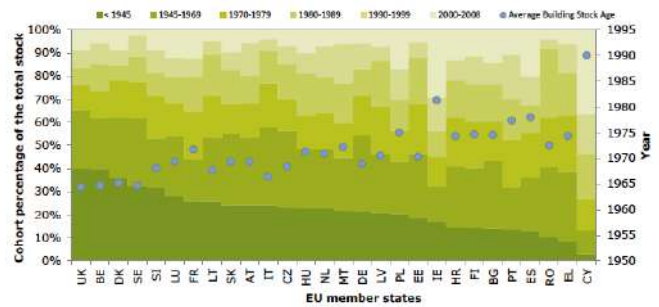


Figure 1 EU dwelling stock age cohorts (source: ENTRANZE, <http://www.entranze.eu/>)

Cerca de 80% dos edifícios existentes hoje continuarão em uso em 2050.

Portanto, alcançar a neutralidade climática dependerá principalmente da renovação do património existente, em vez de depender apenas de novas construções

A renovação energética pode trazer vários benefícios:

- Redução do consumo de energia e das emissões de gases com efeito de estufa
- Custos de energia mais baixos para agregados familiares e proprietários de edifícios
- Melhoria do conforto térmico e da qualidade do ar interior
- Redução da vulnerabilidade à pobreza energética
- Maior durabilidade e resiliência dos edifícios às alterações climáticas

Além disso, a renovação pode aumentar o valor das propriedades e estimular a atividade económica no setor da construção, contribuindo para a criação de emprego e o desenvolvimento económico local.

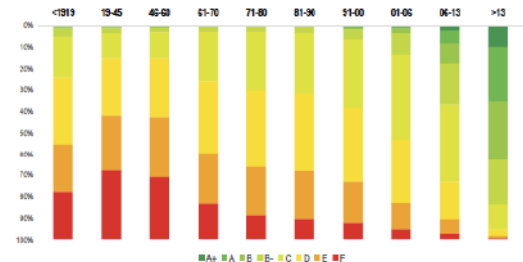


Figure 5 - Desempenho energético por época construtiva (ADENE)

Qual é a visão para o futuro?



A Lei Europeia do Clima (ECL) de 2021 estabelece o objetivo de uma UE com impacto neutro no clima até 2050



A União Europeia introduziu várias políticas para acelerar a descarbonização do setor da construção.

A **Diretiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD)** estabelece o principal quadro regulatório para melhorar o desempenho energético dos edifícios e alcançar um património edificado totalmente descarbonizado até 2050.

Os principais objetivos incluem:

Edifícios de emissões zero para edifícios públicos até 2028

Requisitos de zero emissões para todos os novos edifícios até 2030

Redução do consumo de energia primária no setor residencial em 16% até 2030 e 20–22% até 2035

A **Estratégia da Onda de Renovação**, lançada em 2020, complementa este quadro promovendo:

Duplicar a taxa anual de renovação até 2030

Renovações energéticas profundas

Integração de energias renováveis e tecnologias inteligentes

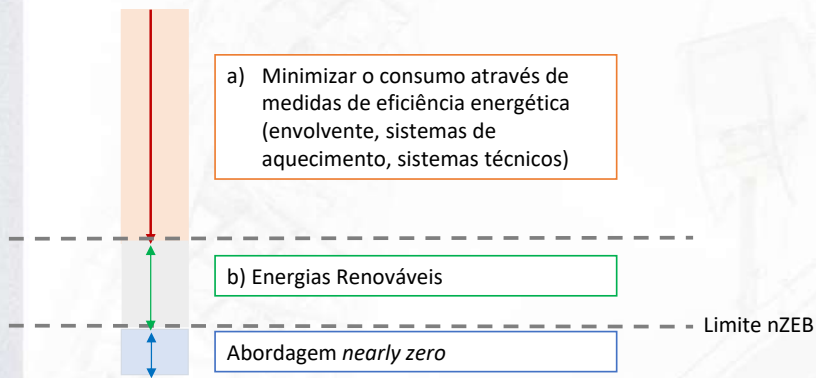
Em conjunto, estas políticas visam acelerar a renovação e colocar o parque imobiliário europeu num caminho credível rumo à neutralidade climática.



A evolução da EPBD

Dimensão	2002	2010	2018	2024
Norma de referência	Certificação energética A–G	nZEB (novos edifícios)	nZEB (alargado a renovações)	ZEB (emissões nulas)
Prazo para novos edifícios	Sem metas específicas	nZEB até 2020 (públicos 2018)	nZEB mantido	ZEB: públicos 2028, todos 2030
Edifícios existentes	Inspeção de caldeiras/AC	Requisitos em grandes renovações	Estratégias nacionais de longo prazo	MEPS obrigatórios com metas quantificadas
Meta de redução energética (residencial)	—	—	—	–16% até 2030; –20–22% até 2035
Carbono incorporado	Não	Não	Não	Sim (ciclo de vida completo)
Horizonte de planeamento	—	—	Milestones 2030/2040/2050	Planos nacionais de renovação (cada 5 anos)
Pobreza energética	Não abordada	Não abordada	Introduzida nas estratégias	Reforçada

nZEB como norma



Segundo a Diretiva 2010/31/U (EPBD-recast) um nZEB (*nearly-zero energy building*) é:

- Edifício de balanço energético quase nulo: “é um edifício com um **desempenho energético muito elevado**”, tal como exposto no Anexo I (da EPBD-recast).
- A quantidade de energia requerida deve ser “quase zero” ou muito baixa e deve ser obtida **em grande parte** a partir da utilização de fontes de **energia renováveis**, incluindo energia obtida a partir de fontes renováveis produzida no local ou nas suas proximidades.

O conceito nZEB é associado à aplicação de um conjunto otimizado de soluções e não só à aplicação de uma medida isolada

13

nZEB como norma



As estratégias passivas devem sempre vir em primeiro lugar porque:

- São mais baratas;
- Utilizam menos recursos para serem construídas e mantidas.

Contudo, as estratégias passivas podem não ser suficientes para reduzir o consumo energético ao nível nZEB



Nestes casos, as estratégias ativas devem ser consideradas e conjugadas com as passivas de forma a atingir os melhores resultados.

14

Edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB) em Portugal

6. Edifícios de habitação de necessidades quase nulas de energia

6.1. Necessidades energéticas

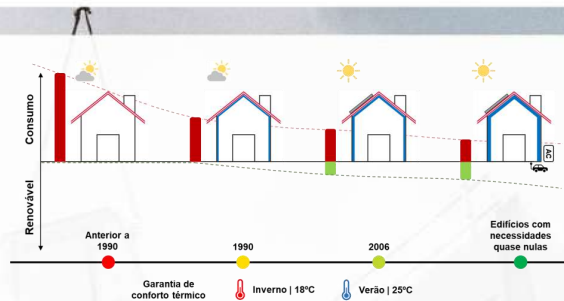
1 — O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{he}) para edifícios de necessidades quase nulas de energia deve ser inferior ou igual a 75 % do seu valor máximo ($N_{h,max}$).

2 — O valor das necessidades energéticas nominais de energia primária (N_{pe}) para edifícios de necessidades quase nulas de energia deve ser inferior ou igual a 50 % do seu valor máximo ($N_{p,max}$).

3 — Para a zona climática II, caso a relação $N_{he}/N_{h,max}$ seja inferior ou igual a 0,6 e o fator solar máximo ($g_{T,max}$) dos vãos envidraçados a que se refere o n.º 2.3 do presente anexo seja inferior ou igual a 0,15, considera-se que o edifício tem apenas necessidades de aquecimento efetivas pontuais, pelo que o valor de N_{he} no cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária é nulo.

6.2. Aproveitamento de fontes de energia renovável

Os sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável dos edifícios de necessidades energéticas quase nulas devem suprir pelo menos 50 % das necessidades anuais de energia primária.



edifícios novos

Tipo de requisito	Zona climática		
	I1	I2	I3
Conforto térmico			
Necessidades de aquecimento	$N_{ic}/N_i \leq 0,75$	$N_{ic}/N_i \leq 0,85$	$N_{ic}/N_i \leq 0,90$
Necessidades de arrefecimento	$N_{vc}/N_v \leq 1,00$		
Desempenho energético			
Classe energética	Igual ou superior a A		
Energia primária total (NZEB20)	$R_{NT} \leq 0,40$		
Energia primária renovável	$Ren_{Hab} \geq 0,50$		

Despacho n 6476-
E/2021

Edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB) em Portugal

6. Edifícios de habitação de necessidades quase nulas de energia

6.1. Necessidades energéticas

1 — O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{he}) para edifícios de necessidades quase nulas de energia deve ser inferior ou igual a 75 % do seu valor máximo ($N_{h,max}$).

2 — O valor das necessidades energéticas nominais de energia primária (N_{pe}) para edifícios de necessidades quase nulas de energia deve ser inferior ou igual a 50 % do seu valor máximo ($N_{p,max}$).

3 — Para a zona climática II, caso a relação $N_{he}/N_{h,max}$ seja inferior ou igual a 0,6 e o fator solar máximo ($g_{T,max}$) dos vãos envidraçados a que se refere o n.º 2.3 do presente anexo seja inferior ou igual a 0,15, considera-se que o edifício tem apenas necessidades de aquecimento efetivas pontuais, pelo que o valor de N_{he} no cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária é nulo.

6.2. Aproveitamento de fontes de energia renovável

Os sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável dos edifícios de necessidades energéticas quase nulas devem suprir pelo menos 50 % das necessidades anuais de energia primária.

edifícios sujeitos a grande renovação

Tipo de requisito	Ano de construção (A)		
	A < 1960	1960 ≤ A ≤ 1990	1990 < A
Conforto térmico			
Necessidades de aquecimento	Não aplicável	$N_{he}/N_{h,max} \leq 1,25$	$N_{he}/N_{h,max} \leq 1,15$
Necessidades de arrefecimento	Não aplicável	$N_{ve}/N_v \leq 1,25$	$N_{ve}/N_v \leq 1,15$
Desempenho energético			
Classe energética	Igual ou superior a C		
Energia primária total	$R_{NT} \leq 1,50$		
Energia primária renovável	$Ren_{Hab} \geq 0,50$ (*)		

(*) Apenas aplicável quando renovados, cumulativamente, a rede de distribuição e o sistema produtor de Águas Quentes Sanitárias (AQS).

Despacho n 6476-
E/2021

ESTRATÉGIA NACIONAL DE LONGO PRAZO PARA O COMBATE À POBREZA ENERGÉTICA

ELPRE - ESTRATÉGIA DE LONGO PRAZO PARA A RENOVAÇÃO DOS EDIFÍCIOS



Evolução da intensidade energética:

2010 a 2015 – 2,1%

2015 a 2020 – 1,4%

2020 e 2021 – 1%

Para cumprir RNC e neutralidade carbónica em 2050 – 4% entre 2020 e 2030

É urgente atuar!

Os edifícios terão de usar menos 50% de energia para aquecer (ou arrefecer) até 2030, em comparação com 2020, segundo a Agência Internacional de Energia (AIE).

2

As medidas para a transformação

Alcançar um parque de construção com emissões zero exige estratégias abrangentes de renovação que melhorem significativamente o desempenho energético global dos edifícios.

As renovações energéticas profundas normalmente envolvem uma combinação de medidas, incluindo:

Envelopes de edifícios de alto desempenho, como isolamento melhorado, estanquicidade e janelas energeticamente eficientes

Sistemas eficientes de aquecimento e arrefecimento, incluindo tecnologias como bombas de calor

Integração de fontes de energia renovável, como sistemas fotovoltaicos solares (FV)

Sistemas energéticos inteligentes e monitorização digital, que otimizam o consumo de energia e melhoram a gestão do edifício

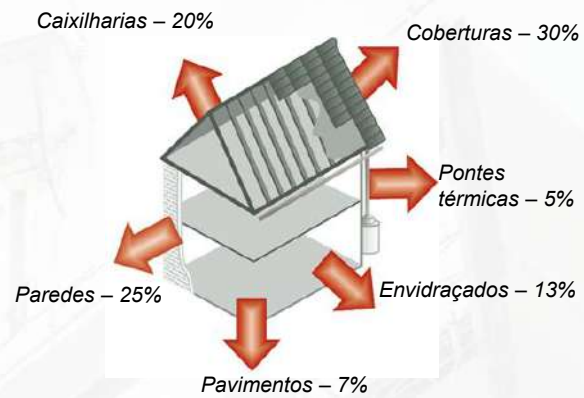
A renovação profunda foca-se em melhorias sistémicas no edifício, em vez de medidas isoladas.

Portanto, alcançar as metas climáticas de longo prazo da UE exige ir além de melhorias superficiais ou incrementais e adotar estratégias integradas de renovação.

A envolvente

- Atua como uma **barreira às perdas e ganhos de calor** nas coberturas, pavimentos, paredes e envidraçados;
- Em muitos casos, é a forma mais prática e economicamente viável de melhorar a eficiência energética do edifício;
- **Melhoria da eficiência energética nas estações de aquecimento e arrefecimento.**

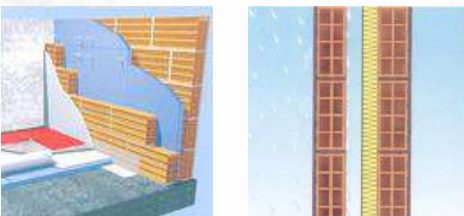
O isolamento pode reduzir significativamente as perdas de calor através de coberturas, paredes e pavimentos.



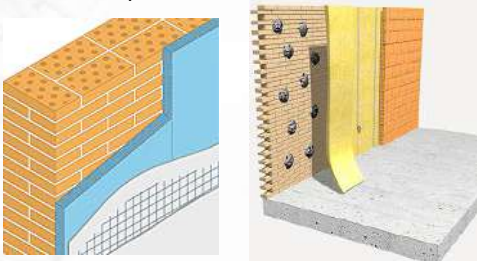
http://www.aipex.es/eficiencia_po.php?s=2

A envolvente e o isolamento

Isolamento em Caixa de ar



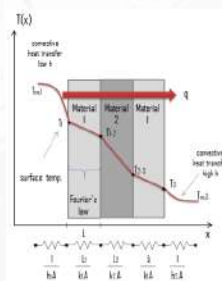
Isolamento pelo Interior



Sistema ETICS



Fachada ventilada



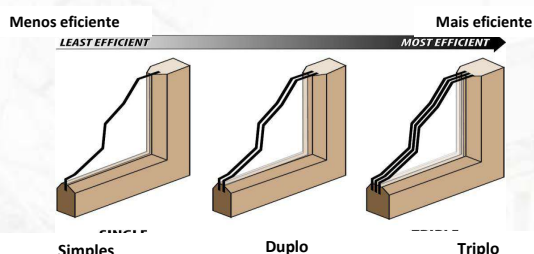
A envolvente e o isolamento



- Fracamente isolado
- Muitas pontes térmicas
- Elevada permeabilidade ao ar
- Vidros simples correntes

- Bem isolado ($U \text{ parede} \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Pontes térmicas reduzidas
- Muito estanque ($1 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$)
- Vidro duplo ou triplo ($U \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$)

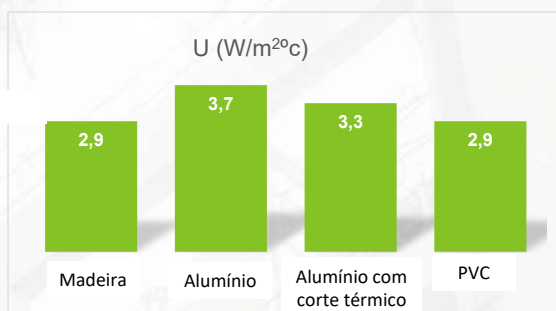
A envolvente e o isolamento



Fonte: Winder Glass

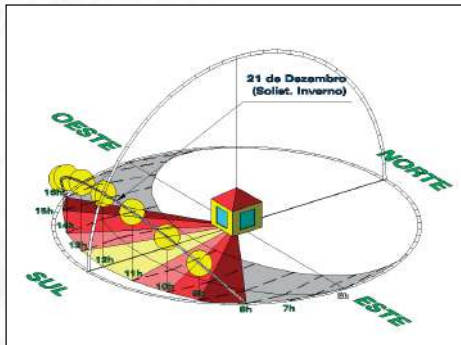
Caixilharias

- Alumínio com ou sem corte térmico
- PVC
- Madeira



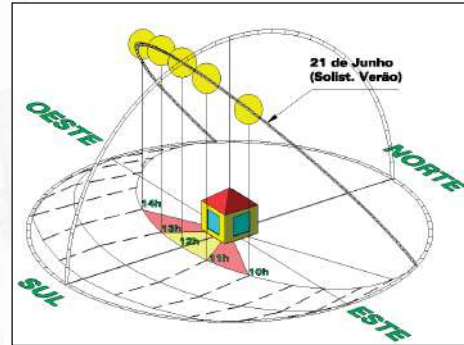
Vidro duplo, espessura da caixa de ar - 6 mm

A envolvente e o sombreamento



No Inverno é necessário aquecer os edifícios. Sendo o percurso do Sol, durante o período da manhã e princípio da tarde, perto da perpendicular aos envidraçados verticais de uma fachada orientada a Sul, possibilita uma maior entrada de radiação para o edifício.

Princípios Bioclimáticos (Prof. Hélder Gonçalves, 2004)

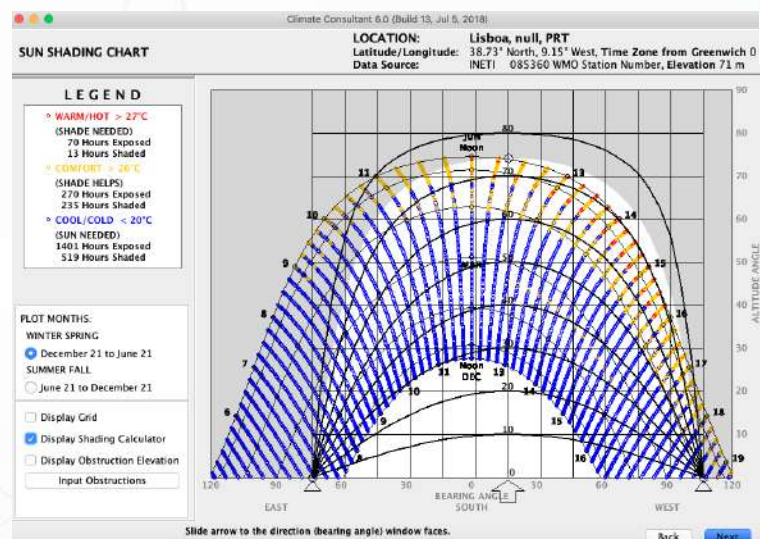
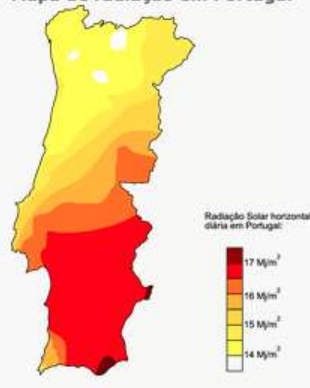


No Verão torna-se necessário minimizar os ganhos solares de radiação. Sendo o percurso do Sol mais próximo do zénite, a sua incidência, em envidraçados verticais orientados a Sul, faz-se com grandes ângulos, o que reduz os ganhos solares. A existência de uma pala de reduzidas dimensões pode atenuar totalmente a incidência de radiação direta.

27

A envolvente e o sombreamento

Mapa de radiação em Portugal



Os sistemas

Figura 14 - Distribuição do consumo (tep) e despesa (€) no alojamento por fonte de energia - Portugal, 2020

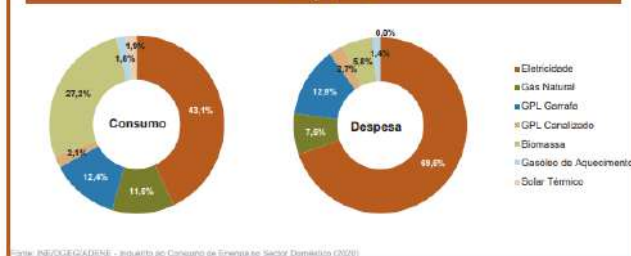
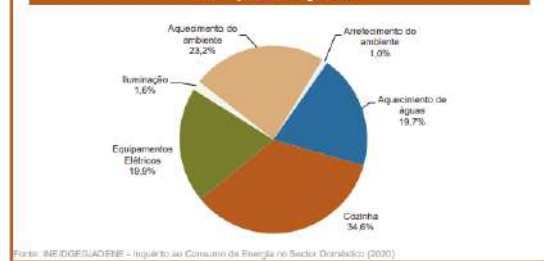


Figura 19 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização - Portugal, 2020



Os sistemas

Figura 39 - Alojamentos por tipo de equipamento utilizado para aquecimento de águas e número médio de equipamentos por alojamento - Portugal, 2020



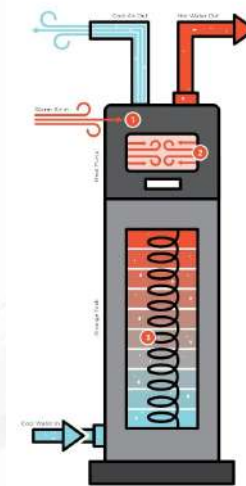
Figura 35 - Alojamentos por tipo de equipamento utilizado para aquecimento do ambiente e número médio de equipamentos por alojamento - Portugal, 2020



Os sistemas



Daikin



HOW DO HEAT PUMPS WORK?

By transferring heat rather than creating it, heat pumps deliver hot water **3-4 times more efficiently** than conventional water heaters.

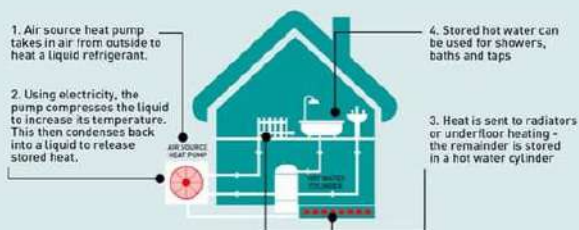
- 1 Heat pump pulls warmth from the air.
- 2 Warm air is compressed, increasing its temperature.
- 3 Condenser coils transfer heat to the water.



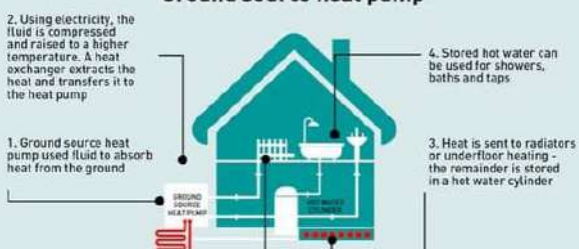
Os sistemas

L.H. Cook Plumbing & Heating Ltd

Air source heat pump



Ground source heat pump



Equipamento	Eficiência Média
Bomba de Calor	até 500 %
Ar Condicionado	300 % - 450 %
Caldeira a Gás (condensação)	92 % - 98 %
Recuperador de Calor	70 % - 90 %
Radiadores Eléctricos	100 %
Aquecedores a Gás	80 % - 90 %

Nota: Eficiências acima de 100 % referem-se ao SCOP/COP (Coeficiente de Performance).

Os sistemas



Integração energia renovável – solar térmico

No caso de energia solar térmica, a energia solar é captada através do recurso a coletores solares, e é utilizada atualmente, na maioria dos casos para aquecimento de águas sanitárias ou apoio aquecimento ambiente.



Circulação em termosifão



Circulação forçada

Integração energia renovável – solar térmico



Sistema de termosifão



Sistema solar térmico integrado na “pele do edifício” à semelhança de uma janela tipo “Velux”

Exemplo de direccionamento para potenciar exposição solar



Integração energia renovável – solar fotovoltaico

• No caso da **energia solar fotovoltaica**, a conversão de energia solar em electricidade ocorre em células fotovoltaicas, usualmente constituídas por silício, e outros materiais semi-condutores.

• Para a geração de electricidade, os sistemas fotovoltaicos precisam de **luz, não de sol**, embora a sua presença represente claramente uma maior produção de energia, pois a luz directa do sol é mais intensa. Em Portugal, a electricidade produzida pode ser consumida na habitação e/ou vendida à rede pública de distribuição de energia, o que se reflecte na criação de três cenários possíveis de utilização de energia:

- - consumo da electricidade produzida, com armazenamento ou não a electricidade excedente;
- - consumo da electricidade produzida e venda do excedente à rede eléctrica;
- - venda de toda a electricidade que produz à rede eléctrica, consumindo toda a electricidade que necessita da rede de distribuição.



Integração energia renovável – solar fotovoltaico



Edifício Solar XXI - INETI
Pedro Cabrito e Isabel Diniz, Arquitectos



Integração energia renovável – eólica

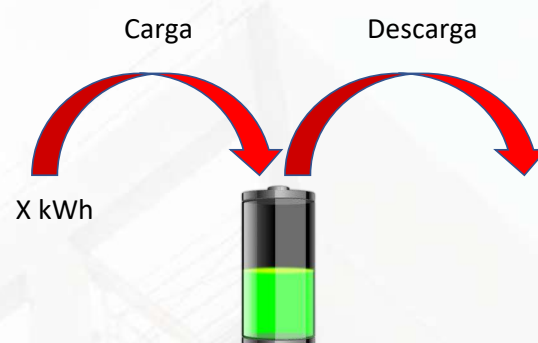
- É possível criar energia eléctrica através da utilização de um aerogerador.
- Os aerogeradores mais comuns são os que têm que ser colocados no terreno, no entanto, causam perda de espaço utilizável. Para que não seja necessário abdicar de terreno na implementação de um aerogerador, têm vindo a ser desenvolvidos modelos que podem ser colocados no topo das habitações.
- A velocidade do vento é muito importante para determinar a energia que pode produzir com o aerogerador. No entanto, tem havido um desenvolvimento nestes equipamentos para que consigam aproveitar velocidades baixas do vento para produzir electricidade, aumentando assim a sua capacidade de produção.



Bahrain World
Trade Center
Shaun Killa

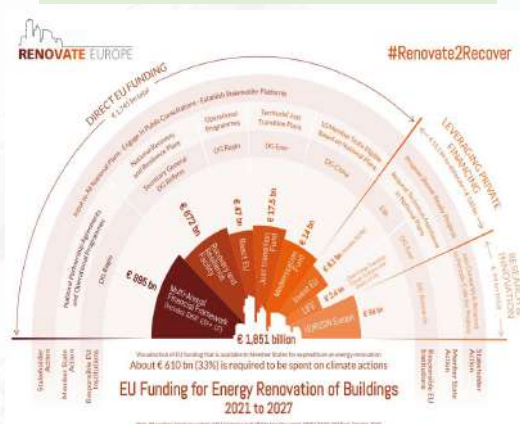
Principais tipos de baterias associadas ao FV

Aplicação	Tecnologia recomendada
Pequenos sistemas isolados de baixo custo	Chumbo-ácido inundada ou AGM
Sistemas residenciais com autoconsumo	LiFePO ₄ (LFP)
Sistemas comerciais e industriais	LiFePO ₄ (LFP) ou NMC
Armazenamento estacionário de grande escala	Baterias de fluxo ou LiFePO ₄
Aplicações com elevada exigência de segurança e durabilidade	LiFePO ₄



3

Barreiras e desafios



Barreiras e Desafios

Se investimento privado é essencial:

Uma renovação energética deve tomar em conta o custo-ótimo (i.e. alcançar o menor custo possível ao longo do ciclo de vida económico do edifício- normalmente 20 a 30 anos).

Este racional equilibra o investimento inicial com a poupança operacional, garantindo o máximo retorno do investimento, reduzindo significativamente as emissões de carbono e aumentando o valor das propriedades.

Reconhecimento de necessidade de consideração de custo eficácia nas intervenções EPBD

Figure 1: Implementation timeline for cost-optimality and nearly Zero-Energy Buildings' requirements of EPBD



BPIE, 2013

The Commission Cost-Optimality Delegated Regulation (EC, 2012a) establishes a comparative framework methodology to determine a cost-optimal level of minimum energy performance of buildings and building elements.

4

Avaliação económica e LCCA

Avaliação Económica

A **avaliação económica** é um processo sistemático que analisa e quantifica os custos e benefícios de uma ação, projeto ou empresa. O seu objetivo central é orientar a tomada de decisões, garantindo a eficiência na alocação de recursos escassos.



Avaliação Económica – Modelos e Indicadores Financeiros

Avaliar o desempenho económico das renovações de edifícios requer modelos robustos e indicadores financeiros.

Modelos de Avaliação:

Análise Custo-Benefício (CBA): Compara todos os custos e benefícios, incluindo os impactos sociais- monetização!!

Avaliação do Ciclo de Vida (LCA): Foca-se nos impactos ambientais, como emissões e utilização de recursos.

Análise de Custos do Ciclo de Vida (LCCA): Avalia todos os custos ao longo do ciclo de vida do edifício, incluindo investimento, operação, manutenção, substituição e fim de vida.

Indicadores Financeiros:

Valor Atual Líquido (VAL): Mede o valor económico global ao longo do tempo.

Taxa Interna de Retorno (IRR): Mostra o retorno financeiro em percentagem.

Período de Retorno: Tempo para recuperar o investimento inicial.

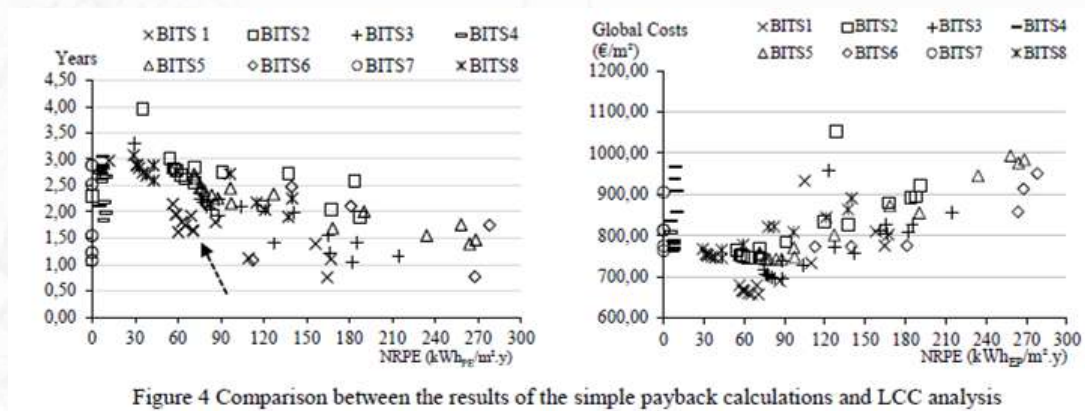
A utilização destes modelos e indicadores ajuda a identificar estratégias de renovação de longo prazo e rentáveis, alinhadas com os objetivos climáticos da UE.

Avaliação Económica

As avaliações económicas devem ter em conta a incerteza e os parâmetros financeiros de longo prazo.

- Métodos como a análise de sensibilidade e as simulações de Monte Carlo ajudam a avaliar a robustez dos investimentos em renovação.
- A taxa de desconto é um dos parâmetros mais influentes na avaliação económica.
- Taxas de desconto mais elevadas tendem a favorecer investimentos de retorno a curto prazo e a reduzir o valor das poupanças a longo prazo.
- Taxas de desconto social mais baixas, frequentemente utilizadas pelas autoridades públicas, consideram benefícios sociais mais amplos, como melhorias para a saúde e redução de emissões.

Análise de Período de retorno simples e VAL (LCCA)

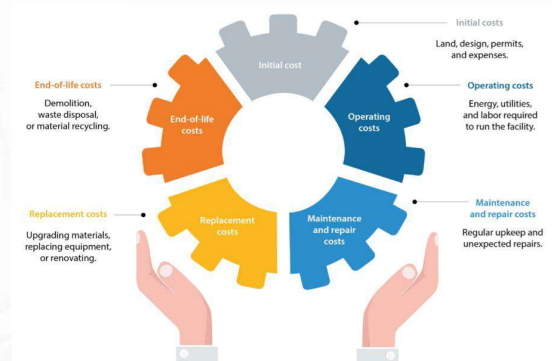


Avaliação Económica – A Análise de Custos de Ciclo de Vida (LCCA)

A Análise do Custo do Ciclo de Vida (LCCA) avalia o custo total de um ativo ao longo de toda a sua vida útil, incluindo investimento inicial, operação, consumo de energia, manutenção, substituição e eliminação. Ajuda a comparar alternativas e a identificar a opção com o menor custo a longo prazo, apoiando decisões mais inteligentes e sustentáveis em edifícios, sistemas energéticos e projetos industriais.

Alinha-se com:
Framework de EPBD para o custo óptimo
Normas ISO 15686-5

Pode ser integrada uma Avaliação do Ciclo de Vida para se focar também nos impactos ambientais (CO₂, emissões, materiais).



Avaliação Económica – A Análise de Custos de Ciclo de Vida (LCCA)



Importância da utilização da Análise de Custos do Ciclo de Vida em projetos de renovação

- Avalia os custos totais a longo prazo das opções de intervenção, não apenas o investimento inicial
- Ajuda a escolher a melhoria mais económica ao longo da vida útil do edifício
- Identifica poupanças de energia e reduções de custos operacionais
- Permite uma melhor comparação entre alternativas de renovação
- Melhora o planeamento de investimentos
- Reduz o risco de custos inesperados de manutenção ou substituição
- Incentiva melhorias na eficiência energética e sustentabilidade
- Aumenta o desempenho do edifício, a fiabilidade e o valor dos ativos

Avaliação Económica – Componentes Custo

1. **Custos Iniciais (C_n)** – Compra, design, instalação e comissionamento
2. **Custos de Energia (C_e)** – Eletricidade, combustível ou energia utilizada durante a operação
3. **Custos Operacionais (C_o)** – Mão-de-obra, consumíveis e operações diárias
4. Inclui monitorização, limpeza e consumíveis menores
5. **Custos de Manutenção e Reparação (C_m)** – Manutenção preventiva e corretiva
6. Manutenção programada e substituição de peças
7. **Custos de Substituição / Reabilitação (C_r)** – Grandes melhorias ou substituições de componentes
8. **Custos Ambientais (C_{env})** – Emissões, pegada de carbono, gestão de resíduos, conformidade regulamentar
9. **Custos de Eliminação / Fim de Vida (C_d)** – Descomissionamento, reciclagem ou remediação
10. **Tempo de Inatividade / Perda de Custos de Produção (C_s)** – Impacto financeiro do equipamento desligado (indústria)

Avaliação Económica – Passos para a avaliação

1. Definir Problema e Objetivos

Especificar o que está a ser analisado e os resultados desejados (por exemplo, adaptação de sistemas HVAC, telhados ou edifícios).

2. Identificar Alternativas

Listar todas as opções viáveis para investimento

3. Estabelecer parâmetros

Durabilidade dos ativos, taxa de desconto, inflação, período de estudo e as variáveis a analisar.

4. Estimar Custos

Calcular todos os custos de cada alternativa e o seu timing (inicial, operação, manutenção, substituição, eliminação, tempo de inatividade).

5. Descontar Custos Futuros

Converter custos futuros em valor presente usando o Valor Atual Líquido (VAL) ou custo anualizado.

Avaliação Económica – Passos para a avaliação

6. Compare Alternativas

Avaliar os custos totais do ciclo de vida e, opcionalmente, métricas financeiras adicionais:
e.g. Taxa Interna de Retorno (IRR); Retorno do Investimento (ROI)

7. Sensibilidade e Análise de Risco

Avaliar as incertezas e o impacto das suposições-chave.

8. Incluir Efeitos Intangíveis/Não Monetários

Conforto, produtividade, benefícios ambientais, sustentabilidade.

9. Recomendação Final

Baseado em considerações financeiras, ambientais e estratégicas.

Avaliação Económica – Integração com LCA

Definição de Objetivo e Âmbito

Definir objetivos do estudo, função, unidade funcional e limites do sistema

Exemplos de limites:

Porta a porta: apenas produção; Do Berço ao Túmulo: desde a extração de matérias-primas até ao fim da vida útil

O foco pode estar na fase de utilização ou em todo o ciclo de vida

Inventário do Ciclo de Vida (LCI)

Recolher dados quantitativos sobre:

Inputs: matérias-primas, energia, consumíveis

Outputs: emissões, resíduos para o ar, água, solo

Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (LCIA)

Quantificar os impactos ambientais usando bases de dados (por exemplo, EcolInvent, Agribalyse) e software (OpenLCA, SimaPro, One Click LCA)

Avaliar várias categorias de impacto: pegada de carbono / emissões de GEE; Utilização de recursos: combustíveis fósseis, água, minerais; Emissões para o ar, água e solo

Interpretação dos Resultados e integração

Identificar pontos críticos ambientais; Sugerir medidas de melhoria; Apoiar decisões para alternativas de retrofit mais sustentáveis

A integração do LCA com o LCCA permite avaliar tanto os impactos económicos como ambientais, possibilitando decisões de retrofit sustentáveis e rentáveis



Avaliação Económica – Erros e boas práticas comuns

Armadilhas correntes:

- Focando-se apenas nos custos iniciais, ignorando despesas a longo prazo
- Definição deficientes da fronteira do sistema
- Âmbito mal definido ou metodologia inconsistente
- Utilização de dados não verificados ou irrealistas
- Erros em unidades, conversões ou conjuntos de dados
- Falta de revisão e documentação

Garantia de Qualidade

Realizar análises de sensibilidade e risco para testar pressupostos chave (por exemplo, preços da energia, vida útil)

Documentar todas as suposições, dados e cálculos para transparência

Realizar revisão por pares ou consulta com peritos

Comunique os resultados de forma clara, incluindo limitações e incertezas

Avaliação Económica e LCCA – Conclusões

- A Análise de Custos do Ciclo de Vida (LCCA) é uma ferramenta chave para a tomada de decisão para avaliar investimentos de retrofit, considerando todos os custos ao longo do ciclo de vida do ativo, não apenas o investimento inicial.
- Ao incluir os custos de instalação, operação, manutenção, substituição e fim de vida, a LCCA proporciona uma comparação mais precisa das alternativas.
- A utilização de ferramentas financeiras como o Valor Presente Líquido (VPL) e o custo anualizado permite converter custos futuros em valor presente, garantindo uma avaliação justa.
- Quando combinada com a Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), a LCCA apoia decisões que equilibram eficiência económica, sustentabilidade ambiental e desempenho a longo prazo.
- No geral, aplicar o LCCA em projetos de adaptação ajuda as organizações a otimizar investimentos, reduzir custos a longo prazo, melhorar a eficiência energética e apoiar a gestão sustentável de edifícios.

5

LCCA e nZEB

Metodologia de custo ótimo

❖ Requisito da Diretiva 2010/31/EU – EPBD recast

- Artigo 4.º: **Estabelecimento de requisitos mínimos de desempenho energético**

“Os Estados-Membros tomam as medidas necessárias para assegurar que sejam estabelecidos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios ou das frações autónomas a fim de alcançar níveis ótimos de rentabilidade.”

- Artigo 5.º: **Cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético**

“Até 30 de Junho de 2011, a Comissão estabelece, por meio de atos delegados ao abrigo dos artigos 23.º, 24.º e 25.º, um quadro para uma metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e dos componentes de edifícios.”

Metodologia de custo ótimo

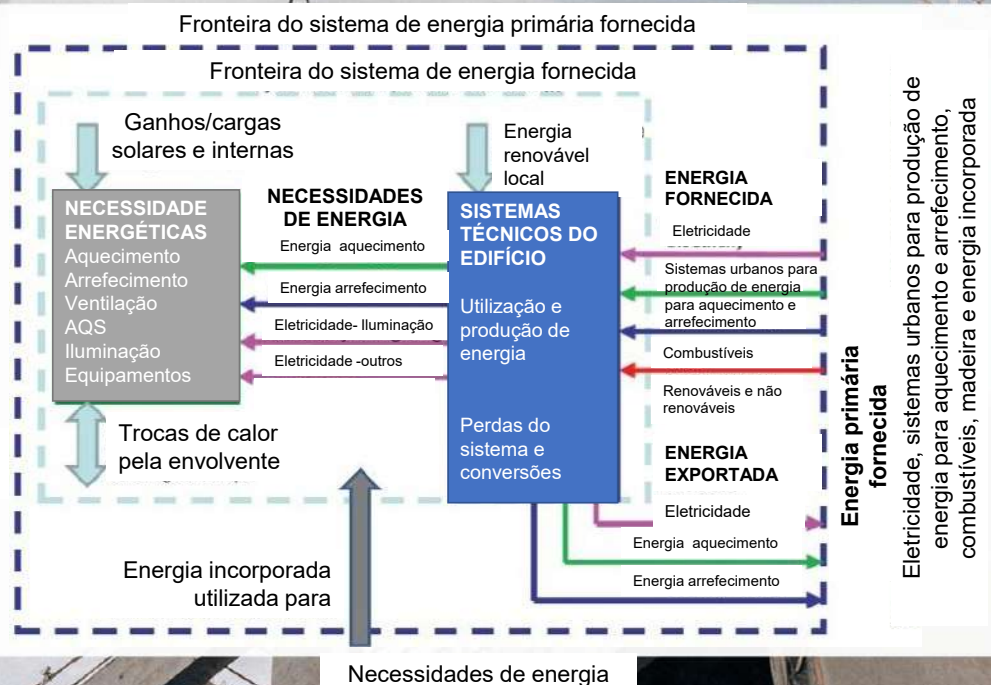
❖ **Regulamento Delegado da Comissão (EU) n.º 244/2012** (que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios, através do estabelecimento de um quadro metodológico comparativo para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios)

• Artigo 1.º: **Objeto e âmbito**

“Em conformidade com o artigo 5.º, o anexo I e o anexo III da Diretiva 2010/31/UE, o presente regulamento estabelece o quadro metodológico comparativo a utilizar pelos Estados-Membros para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios novos e existentes, bem como dos componentes de edifícios.”

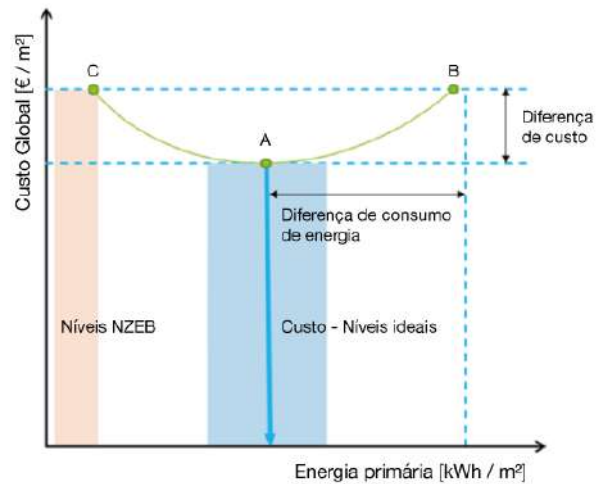
O nZEB

- De forma a definir uma solução nZEB, as fronteiras do sistemas têm que ser definidas *à priori*.
- No caso de uma solução de balanço energético nulo durante a utilização, a energia consumida pelo edifício tem que ser produzida por fontes de energias renováveis (RES).



Solução nZEB e solução custo ótimo

- Níveis nZEB comparados com níveis de custo-ótimo podem apresentar uma diferença significativa
- Existem dois caminhos possíveis para contrabalançar esta diferença:
 - Fornecer subsídios que cubram os custos adicionais necessários para atingir os níveis nZEB.
 - Definir os parâmetros que afetam o modelo de avaliação financeira a favor dos nZEB



Ações que Influenciam os Parâmetros Essenciais

- Ações do Governo promotoras dos nZEB:
 - Subsídios que reduzam o custo do investimento inicial;
 - Regular taxas de juro baixas para nZEBs resultará em taxa de desconto inferior;
 - Aumento das taxas nos preços da energia resultará em maiores fluxos de caixa das poupanças energéticas.
- Ações de Mercado promotoras dos nZEB :
 - Avanços tecnológicos podem resultar em equipamentos mais baratos e mais eficientes, resultando em custos de investimento inicial menores e em maiores poupanças energéticas;
 - Avanços tecnológicos respeitantes à qualidade e tempo de vida útil das soluções/equipamentos/produtos disponíveis, podem resultar em menores incertezas de investimento e logo numa menor taxa de desconto.

6

Cálculo de Custo ótimo

Cf metodologia comparativa

Metodologia de Custo-ótimo

- ❖ Definição dos Edifícios de Referência
 - Edifícios unifamiliares;
 - Blocos de apartamentos e edifícios multifamiliares;
 - Edifícios de escritórios.
- ❖ Identificação de medidas de eficiência energética, medidas baseadas em fontes de energia renovável e/ou pacotes e variantes destas medidas para cada edifício de referência.
- ❖ Cálculo das necessidades de energia primária resultantes da aplicação destas medidas e pacotes de medidas aos edifícios de referência.

Estrutura da Metodologia de Custo-ótimo

- ❖ Cálculo dos custos globais em termos de Valor Atual Líquido / *Net Present Value (NPV)* para cada edifício de referência:
 - Perspetiva macroeconómica e social (ao nível do estado);
 - Perspetiva microeconómica e privada (ao nível privado/do cliente).
- ❖ Realização de uma análise de sensibilidade para os custos, incluindo preços de energia.
- ❖ Determinação do nível de custo-ótimo de desempenho energético para cada edifício

Cálculo do Consumo de Energia Primária

- ❖ O cálculo do consumo de energia primária é efetuado de acordo com o quadro metodológico comum fornecido no Anexo I da Diretiva 2010/31/EU (EPBD).
- ❖ Os Estados-Membros são obrigados a desenvolver e implementar uma Metodologia Nacional para avaliação do desempenho energético de edifícios que:
 - Utilize todas as normas CEN relevantes para o cálculo do desempenho energético;
 - Esteja de acordo com o Artigo 2.º(4) e com o Anexo I da Diretiva 2010/31/EU.

Categorias de Custos

- ❖ Custos de investimento iniciais;
- ❖ Custos de utilização (que devem incluir os custos com a substituição periódica de componentes do edifício);
- ❖ Custos de energia (devem refletir o custo global da energia, incluindo o preço, as tarifas de capacidade e as tarifas de rede)
- ❖ Custos de eliminação/deposição, se relevante.
- ❖ Custos das emissões de gases com efeito de estufa (aplicáveis apenas para cálculos ao nível macroeconómico).

Cálculo dos Custos

Os custos globais respeitantes aos edifícios e seus componentes são calculados pela soma dos vários tipos de custos, aos quais se deve aplicar a taxa de desconto através de um fator de desconto, para que sejam expressos em termos do valor no ano inicial, acrescidos do valor residual descontado:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \sum_{i=1}^{\tau} \left(\frac{C_{a,i}(j)}{(1+r)^p} - V_{f,\tau}(j) \right)$$

$C_g(\tau)$ - Custo global das medidas de eficiência energética (relativo ao ano inicial τ_0) no período de cálculo;

τ - Período de cálculo;

C_I - Custos de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas j ;

$C_{a,i}(j)$ - Custo anual, no ano i , para a medida ou conjunto de medidas j ;

$V_{f,\tau}(j)$ - Valor residual da medida ou conjunto de medidas j no final do período de cálculo (em relação ao ano inicial τ_0);

r - Taxa de desconto;

p - Número de anos desde o ano base para o período de cálculo.

Parâmetros Críticos

- ❖ Período de cálculo τ (reflete o tempo de vida útil do edifício).
- ❖ Taxa de desconto r .
- ❖ Taxa de inflação para cada medida de eficiência energética (importante de modo a determinar de forma precisa os custos decorrentes de uma medida de eficiência energética que possui um ciclo de vida inferior ao período de cálculo).

CrITÉrios de Soluções de Custo-ótimo

- Os cálculos são efetuados numa perspetiva microeconómica (com base no cliente). Isto é, o critério isolado é a maximização do desempenho económico da medida de eficiência proposta.
- Se se estiver a desenhar uma política ou medida abrangente, pode-se utilizar a perspetiva macroeconómica que considera impactos sociais.
- Critérios:
 - **Valor Atual Líquido (VAL) / Net Present Value (NPV):** da teoria financeira da economia, vale a pena investir em qualquer projeto com um $VAL \geq 0$

Critérios de Soluções de Custo-ótimo

- O NPV ou Valor Atual Líquido (VAL), também conhecido como Valor Presente Líquido (VPL), é uma métrica financeira que calcula a diferença entre o valor atual dos fluxos de caixa futuros de um investimento e o montante de capital investido inicialmente. Ele traz os ganhos futuros para o presente, mostrando se um projeto gera riqueza.

Como funciona

- O VAL permite comparar o valor do dinheiro no tempo. Uma quantia recebida hoje vale mais do que a mesma quantia recebida no futuro. Para calcular isso, utiliza-se uma taxa de desconto (taxa de atualização) que representa o custo de capital ou o retorno mínimo exigido pelo investidor.

Interpretação dos Resultados

- **VAL > 0 (Positivo):** O investimento é rentável. O projeto gera mais valor do que o custo do capital.
- **VAL = 0 (Nulo):** O projeto cobre exatamente o custo do capital. O investidor não perde nem ganha dinheiro.
- **VAL < 0 (Negativo):** O projeto não é rentável e deve ser rejeitado

Critérios de Soluções de Custo-ótimo

$$NPV = \sum_{i=1}^{\tau} \frac{I_i}{(1+r)^n} + \sum_{n=1}^{\tau} \frac{CF_n}{(1+r)^n}$$

τ - ciclo de vida do projeto.

I_i - custo de investimento de uma medida j . No ano base ($n=0$) este corresponde ao valor total do investimento inicial. Para medidas com um ciclo de vida inferior ao do projeto (no caso dos edifícios isto corresponde ao ciclo de vida do edifício) o custo I_i ocorre novamente no ano k (k é o período de vida útil da medida j em anos) e em cada k anos até ao ano τ .

Critérios de Soluções de Custo-ótimo

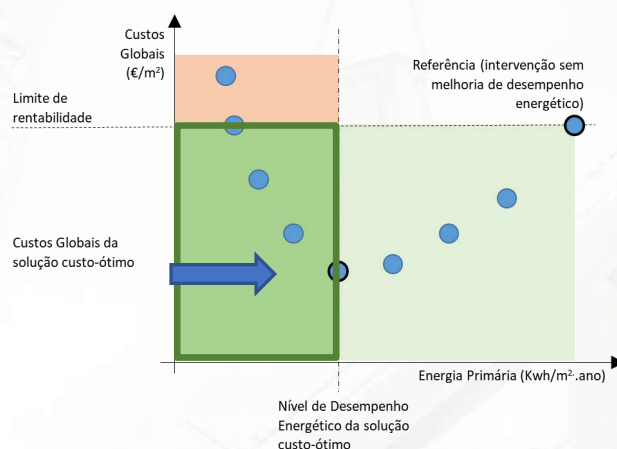
$$NPV = \sum_i \sum_{n=1}^{\tau} \frac{I_i}{(1+r)^n} + \sum_{n=1}^{\tau} \frac{CF_n}{(1+r)^n}$$

r - taxa de desconto (representa o custo do capital de investimento e incorpora o risco do investimento – quanto menor o risco, menor o valor de r).

CF_n - o fluxo de caixa proveniente de poupança de energia devido à aplicação de uma medida de eficiência energética no ano n (poupança económica devido às poupanças energéticas são consideradas como fluxos de caixa positivos).

* Para uma série de fluxos de caixa, o NPV pode ser calculado facilmente no *excel* utilizando a função NPV

Rentabilidade e Ponto de Custo-ótimo



Decisão Resultante da Rentabilidade Económica

- Espessura do isolamento em paredes;
- Espessura do isolamento em coberturas;
- Coeficiente de transmissão térmica (U) de envidraçados;
- Rendimento (COP e EER - η) dos sistemas AVAC;
- Nível de automação:
 - Iluminação;
 - Sistemas AVAC;
 - Sistemas de sombreamento;
- Instalação de sistemas de energias renováveis;
- etc..

Outras considerações recomendadas

- Todas as medidas de eficiência energética examinadas com um NPV positivo são rentáveis e podem ser consideradas.
- Em caso de restrições orçamentais, as medidas de eficiência com o **maior valor de TR** devem ser implementadas até se atingir o orçamento disponível.
- Em caso de restrições regulamentares (ex. requisitos para obtenção de uma classe energética mínima) as medidas de eficiência energética com a **maior TR devem ser implementadas (mesmo que apresentem um valor de NPV negativo)** até que os requisitos regulamentares estejam cumpridos.

Parâmetros que Afetam o Desempenho Financeiro

- Tempo do ciclo de vida do edifício - τ .
- Tempo de vida da medida individual - k .
- Taxa de desconto - r .
- Tecnologia disponível & custos de aquisição.
- Preços de energia e a sua evolução.
- Procura por um grau de renovação mínimo.
- Subsídios do estado e outros incentivos.

Reabilitação Simples Vs Reabilitação Energética

Este edifício precisa
de ser reabilitado

“Reabilitação de
referência”

Novos
revestimentos

Nova
pintura

Substituição do
sistema de
aquecimento

Novos revestimentos e
isolamento da cobertura

Nova pintura +
isolamento de
fachadas

Bomba de calor

Reabilitação energética - com
energias renováveis para
aquecimento em comparação
com a referência

O custo de reparação simples da envolvente pode ser deduzido do custo de investimento inicial da reabilitação energética, uma vez que seria gasto de qualquer forma, contando assim de forma positiva para o desempenho financeiro da reabilitação energética.



7

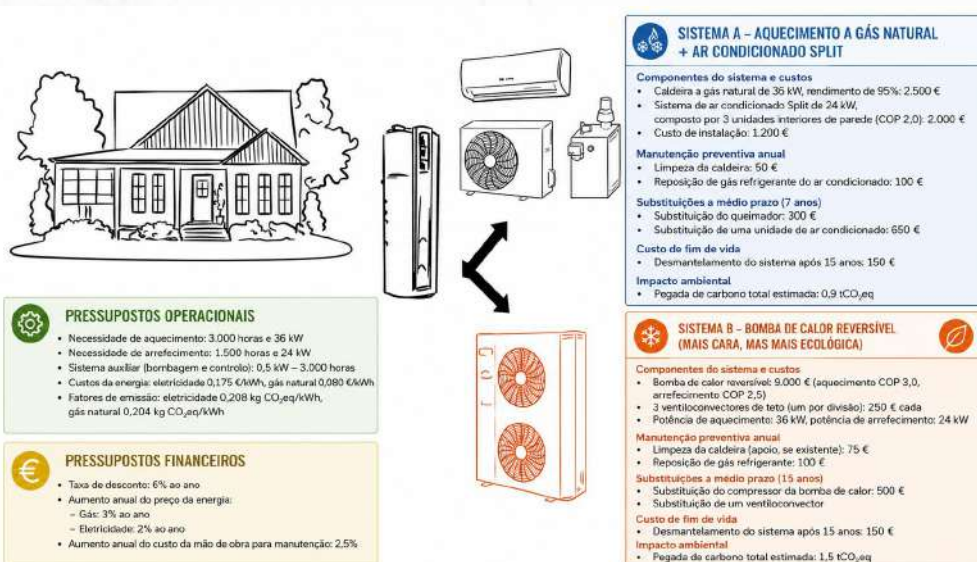
Exemplos de aplicação

7.1

Soluções Equipamento

(mais detalhado- comparação simples)

Opções equipamento



Custos

Investimento Inicial

Sistema A: €2.500 (caldeira a gás) + €2.000 (unidades AC divididas) + €1.200 de instalação.

Sistema B: €9.000 (bomba de calor) + €750 (unidades AC divididas) + €1.500 de instalação.

Manutenção Preventiva (anual)

Sistema A: 50 € limpeza da caldeira + 100 € recarga R-gas

Sistema B: 75 € limpeza do filtro da bomba de calor + 100 € recarga de R-gas

Manutenção Corretiva

Intervenções que se espera que mantenham o desempenho do sistema todas as intervenções ocorrerão no 7.º ano

Sistema A: substituição do queimador (€300) + possível substituição da unidade dividida

Sistema B: substituição do compressor (€500) + possível substituição da ventoinha (€200)

Descomissionamento / Eliminação

Custos de eliminação ou desativação (150)

Custos

Sistema A – Caldeira a Gás+ AC Split

Aquecimento: caldeira de 36 kW, 3.000 h/ano, eficiência 0,95 → 108.000 kWh térmica

Arrefecimento: 25 kW AC dividido, 1.500 h/ano, COP 2,0 → 40.500 kWh térmico, 20.250 kWh eletricidade

Unidade de controlo: 0,5 kW × 3.000 h/ano → 1.500 kWh; eficiência 1

Operating conditions of System A (Year 0) Eq.A1						
	Electric power	Thermal Power	Working Hours / year	COPEER or η	Annual Electricity Consumption	Total Delivered Power
	kW	kW	hours		kWh	kWh
Heating	0.0	36.0	3000.0	0.95	0	108,000
Cooling	13.5	27.0	1500.0	2.0	20,250	40,500
Auxiliary systems	0.5	0.0	3000.0	1.0	1,500	
Total					21,750	148,500

Sistema B – Bomba de calor

Aquecimento: 36 kW, COP 3,0 → 108.000 kWh térmico, 36.000 kWh eletricidade

Arrefecimento: 27 kW, COP 2,5 → 40.500 kWh térmico, 16.200 kWh eletricidade

Unidade de controlo: 0,5 kW × 3.000 h/ano → 1.500 kWh; eficiência 1

Operating conditions of System B (Year 0) Eq.B1						
	Electric power	Thermal Power	Working Hours / year	COPEER or η	Annual Electricity Consumption	Total Delivered Power
	kW	kW	hours		kWh	kWh
Heating	12.0	36.0	3000.0	3.00	36,000	108,000
Cooling	10.8	27.0	1500.0	2.5	16,200	40,500
Auxiliary systems	0.5	0.0	3000.0	1.0	1,500	
Total					53,700	148,500

Nota: Ambos os sistemas satisfazem a mesma necessidade de aquecimento e arrefecimento

Custos

Preços da Energia: Gás Natural: €0,08/kWh

Eletricidade: €0,185/kWh

Sistema A – Caldeira a Gás + Separação AC

Aquecimento: 113.684 kWh gás → 9.094,74 €/ano

Arrefecimento: 20.250 kWh de eletricidade →
€3.746,25/ano

Unidade de controlo: 1.500 kWh → 277 €/ano

Energy Costs of System A / Eq.A1				
	Annual Energy Consumption kWh	Energy Vector	Energy Prices €	Costs with Energy €
Heating	113,684	Natural gas	0.080 €	9,094.74 €
Cooling	20,250	Electricity	0.185 €	3,746.25 €
Auxiliary systems	1,500	Electricity	0.185 €	277.50 €
Total				13,118.49 €

Sistema B – Bomba de Calor Reversível

Aquecimento: 36.000 kWh eletricidade → €6.660,00/ano

Arrefecimento: 16.200 kWh de eletricidade →
€2.997,00/ano

Unidade de controlo: 1.500 kWh → 277 €/ano

Energy Costs of System / Eq.B1				
	Annual Energy Consumption kWh	Energy Vector	Energy Prices €	Costs with Energy €
Heating	36,000	Electricity	0.185 €	6,660.00 €
Cooling	16,200	Electricity	0.185 €	2,997.00 €
Auxiliary systems	1,500	Electricity	0.185 €	277.50 €
Total				9,934.50 €

Nota: Os custos energéticos são inputs críticos para o cálculo do LCCA

Custos

Pressupostos Financeiras:

Preço do Gás Natural: +3%/ano

Preço da eletricidade: +2%/ano

Custo de Manutenção Preventiva: +2,5%/ano

Taxa de Desconto: 6%/ano

Fatores de Emissão:

Eletricidade: 0,208 kgCO₂/kWh

Gás Natural: 0,204 kgCO₂/kWh

Emissões de Carbono:

Sistema A: 0,9 tCO₂eq

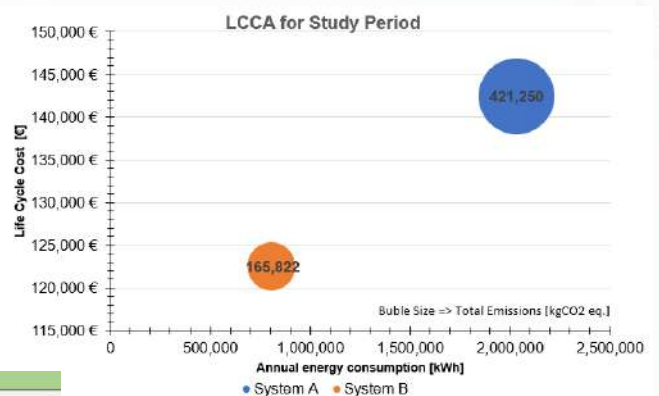
Sistema B: 1,5 tCO₂eq

		Eq.A1	Eq.A2
Emissions Equipment Production [tCO ₂ eq]		0.9	0
Natural gas	Tiered rate [y]	3.00%	
Electricity	Tiered rate [y]	2.00%	
None	Tiered rate [z]	0.00%	
Maintenance tiered rate [m]		2.50%	
Discount tiered rate [r]		6.00%	

		Eq.B1	Eq.B2
Emissions Equipment Production [tCO ₂ eq]		1.5	0
Natural gas	Emission factor [kgCO ₂ eq./kWh]	0.204	
Electricity	Emission factor [kgCO ₂ eq./kWh]	0.208	
None	Emission factor [kgCO ₂ eq./kWh]	0	

Note: Emission factors depend on energy source and project location.

Custos Totais do Ciclo de Vida (LCC)
Sistema A: €142.483
Sistema B: €122.510



Apesar do custo inicial mais elevado, a Solução B é vantajosa tanto financeiramente como ambientalmente.

Life Cycle Cost Analysis							
	System A			System B			DIFFERENCE
	Natural gas	Electricity	None	Natural gas	Electricity	None	
Emission factor [kgCO2 eq./kWh]	0.208	0.204	0	0.208	0	0	
Annual energy consumption [kWh]	113,064	53,700	0	0	0	0	
Total Energy Consumption [kWh]		2,031,513			805,509		1,226,013
Emissions energy vector [kgCO2 eq.]	304,695	164,322	0	0	0	0	
Total Project Emissions - LCA [kgCO2 eq.]		421,250			165,822		255,428
Life Cycle Carbon Footprint [kg CO2-e]			142,482.65 €			122,509.63 €	19,973.02 €

LCCA Plot

7.2

Soluções reabilitação edifícios

Arquétipos e soluções inovadoras

Soluções de Reabilitação de Custo-ótimo- Portugal

Portugal

EPBD 2010 - Artigo 5º

“Os Estados-Membros calculam os níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético utilizando o quadro para a metodologia comparativa estabelecido”

De forma a lidar com esta imposição a metodologia de custo ótimo foi aplicada.

Foram testadas **cerca de 100 variantes** (soluções para envoltente + sistemas de climatização e AQS).

Edifícios unifamiliares:

9 localizações

Antes de 1960

1961 - 1990

3 épocas:

1991 - 2012

Edifícios multifamiliares:

3 localizações

Antes de 1960

1961 - 1990

3 épocas:

1991 - 2012

Soluções de Reabilitação de Custo-ótimo- Portugal

Portugal

- Não existe uma única solução de custo-ótimo.
- A solução de custo-ótimo depende das características do edifícios e das variantes selecionadas.

Estudo Português

Os edifícios testados são edifícios virtuais (arquétipos) mas que incluem os aspetos mais comuns relativos a cada parâmetro energético (área; U; área de envidraçados, sistemas AVAC, etc.)

As variantes selecionadas incluem:

- Soluções de envolvente (diferentes espessuras de isolamento, desempenho térmico dos envidraçados, controlo dos ganhos solares e ventilação natural);
- Sistemas climatização e AQS disponíveis no Mercado;
- Sistemas de energias renováveis.

Soluções de Reabilitação de Custo-ótimo- Portugal

Portugal – Soluções de custo ótimo para edifícios unifamiliares

As soluções diferem para as diferentes zonas climáticas

Zona Climática I1 (a mais amena no Inverno)

A solução de custo ótimo encontrada é muito semelhante para as 3 épocas em estudo. Porém, o valor de U varia, porque a solução inicial é diferente de época para época.

Elemento da envolvente	Solução
Parede	ETICS com 4 cm de EPS ($U=0,67 - 0,48 \text{ W/m}^2\text{°C}$)
Cobertura	Isolamento sobre a laje de esteira: Lã de rocha com espessura entre 8 e 6cm ($U=0,42 - 0,31 \text{ W/m}^2\text{°C}$)
Pavimento	Isolamento pelo interior: 4 cm de Lã de rocha ($U=0,62 - 0,42 \text{ W/m}^2\text{°C}$)
Envidraçado	Caixilharia em PVC, Vidro duplo (4:6:6) ($U=2,4 \text{ W/m}^2\text{°C}$)

Zona Climática I2

Elemento da envolvente	Solução
Parede	ETICS com uma espessura de EPS entre 4 e 5 cm ($U=0,67 - 0,48 \text{ W/m}^2\text{°C}$)
Cobertura	Isolamento pelo interior: Entre 6 e 10 cm de Lã de rocha ($U=0,42 - 0,34 \text{ W/m}^2\text{°C}$)
Pavimento	Isolamento pelo interior: Entre 4 e 6 cm de Lã de rocha ($U=0,62 - 0,34 \text{ W/m}^2\text{°C}$)
Envidraçado	Caixilharia de alumínio, Vidro duplo (4:6:6) ($U=2,4 \text{ W/m}^2\text{°C}$)

Soluções de Reabilitação de Custo-ótimo- Portugal

Portugal – Soluções de custo ótimo – sistemas de climatização

Os mesmos sistemas de climatização conduzem à solução de custo-ótimo para todas as tipologias, épocas e localizações.

Sistemas de climatização	
Aquecimento	Sistema de ar condicionado multi-split com um COP de 4,1
Arrefecimento	Sistema de ar condicionado multi-split com um ERR de 3,5
AQS	Esquentador a gás com um rendimento de 87%

Soluções de Reabilitação de Custo-ótimo- Portugal

Edifícios existentes

Continente

Subcategoria 1 (até 60)

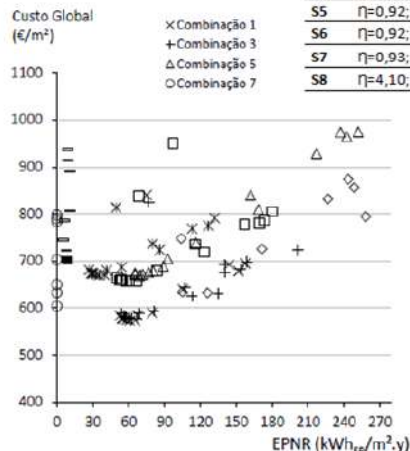
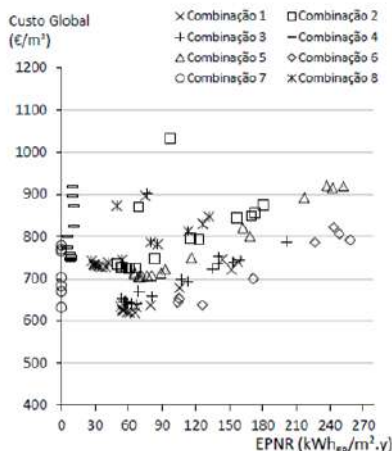


Figura 1. Análise de rentabilidade na perspectiva privada (esquerda) e social (direita)

Sistemas		
Aquecimento	Arrefecimento	AQS
S1 $\eta=4,10$; Multisplit	$\eta=3,50$; Multisplit	$\eta=0,87$; Esquentador a Gás natural
S2 $\eta=3,33$; Bomba de calor	$\eta=2,68$; Bomba de calor	$\eta=3,33$; Bomba de calor
S3 $\eta=4,10$; Multisplit	$\eta=3,50$; Multisplit	$\eta=0,80$; Termoacumulador elétrico
S4 $\eta=0,93$; Caldeira a biomassa	$\eta=3,50$; Multisplit	$\eta=0,93$; Caldeira a biomassa
S5 $\eta=0,92$; Caldeira a Gás natural	$\eta=3,50$; Multisplit	$\eta=0,92$; Caldeira a Gás natural
S6 $\eta=0,92$; Caldeira a Gás natural		$\eta=0,92$; Caldeira a Gás natural
S7 $\eta=0,93$; Caldeira a biomassa		$\eta=0,93$; Caldeira a biomassa
S8 $\eta=4,10$; Multisplit	$\eta=3,50$; Multisplit	$\eta=0,93$; Caldeira a biomassa

Soluções de Reabilitação de Custo-ótimo - Portugal

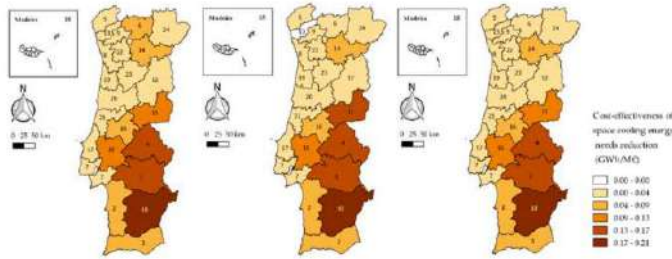


Fig. 10. Cost-Effectiveness of the RM packages in space cooling energy needs reduction, per NUTS3 regions of Portugal, for Scenario A (left), Scenario B (centre) and Scenario C (right).

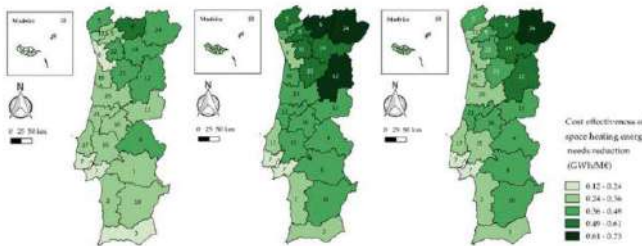


Fig. 9. Cost-Effectiveness of the RM packages in space heating energy needs reduction, per NUTS3 regions of Portugal, for Scenario A (left), Scenario B (centre) and Scenario C (right).

A renovação do parque habitacional segundo os padrões regulamentares custa no mínimo **€71.700 milhões**.

A renovação do telhado é a medida mais custo-eficaz para melhorar o desempenho térmico.

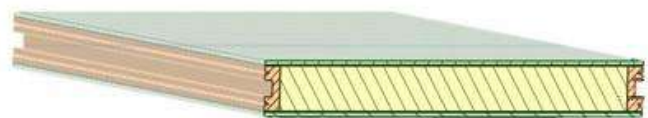
Pacotes de medidas de renovação resultam numa maior redução das necessidades totais de energia.

A renovação nas regiões do interior norte tem a maior relação custo-eficácia.

Os arquétipos de casas mais antigas têm mais potencial para uma renovação mais custo-eficaz que as mais recentes

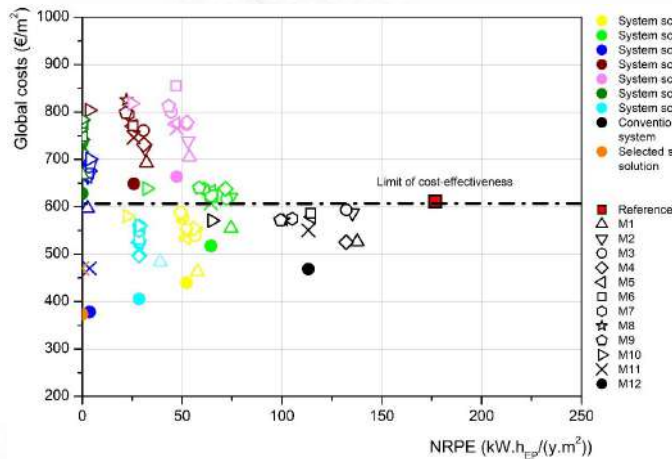
Pedro Palma, João Pedro Gouveia, Ricardo Barbosa, How much will it cost? An energy renovation analysis for the Portuguese dwelling stock, Sustainable Cities and Society, Volume 78, 2022, 103607, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103607>.

Solução de Reabilitação Modular em Habitação Social

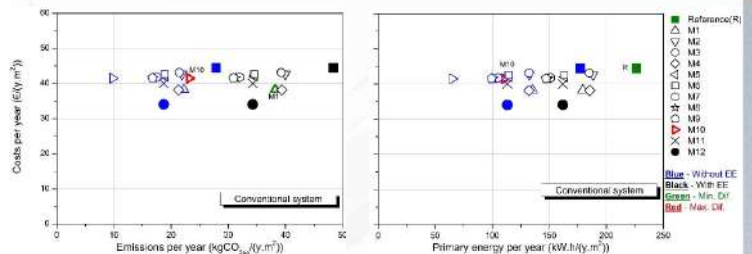


Prefabricated element for façade renovation: (1) Coretech® sheets, (2) Wood frame and (3) Polyurethane foam.

Solução de Reabilitação Modular em Habitação Social



Resultados rentabilidade para os pacotes de renovação analisados sem considerar a energia incorporada dos materiais usados na renovação.



Resultados rentabilidade para medidas de isolamento com e sem energia e emissões incorporadas

7.3

Soluções reabilitação bairros

Descarbonização de um bairro de habitação social em Braga



- 50 unidades de habitação
- 1767 m² área aquecida



Descarbonização de um bairro de habitação social em Braga

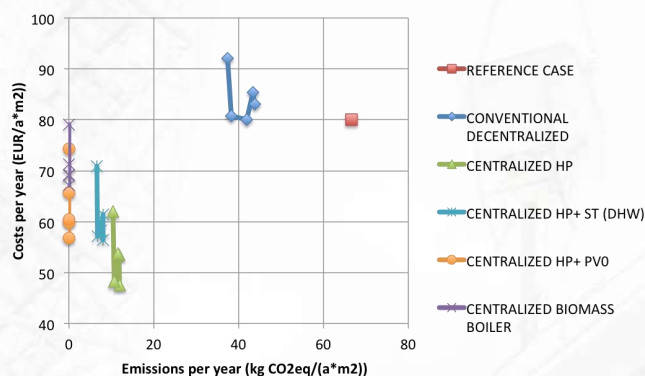
Renovation packages for improving the buildings' envelope			
Façade	Roof	Windows	
Renovation packages	P1	ETICS MW 80mm (F1* and F2**)	Sandwich panel PUR 30mm
	P2	ETICS EPS 80mm (F1* and F2**)	Sandwich Panel MW 30mm
	P3	ETICS EPS 80mm (F1* and F2**)	Sandwich panel PUR 30mm
	P4	ETICS EPS 80 (F1*)	Sandwich Panel MW 100mm
	P5	ETICS MW 160mm (F1*)	Sandwich Panel MW 100mm

ETICS – External Thermal Insulation Composite System; MW – Mineral Wool; EPS – Expanded Polystyrene; PUR – Polyurethane foam; PVC – Polyvinyl chloride; *F1 – Façade Type 1; **F2 – Façade Type 2

Energy supply system (ESS)	Heating	Cooling	DHW	RES
1: Conventional Decentralised	Electric Heater $\eta=1$	Multi-split EER=3	Natural Gas Heater $\eta=0,71$	-
2: Centralised Heat Pump	Heat Pump COP=4,06	Heat Pump EER=3,97	Heat Pump COP=4,10	-
3: Centralised Heat Pump +ST	Heat Pump COP=4,06	Heat Pump EER=3,97	Heat Pump COP=4,10	ST (DHW)
4: Centralised Heat Pump +PV	Heat Pump COP=4,06	Heat Pump EER=3,97	Heat Pump COP=4,10	PV (zero)
5: Centralised Biomass Boiler	Biomass Boiler $\eta=1,07$	(zero)	Biomass Boiler $\eta=1,07$	-

ST – Solar Thermal; PV – Photovoltaic system

Descarbonização de um bairro de habitação social em Braga



Terés-Zubiaga Term, J., Bolliger, R., Almeida, M. G., Barbosa, R., Rose, J., Thomsen, K. E., ... Briones-Llorente, R. (2020). Cost-effective building renovation at district level combining energy efficiency & renewables – Methodology assessment proposed in IEA-Annex 75 and a demonstration case study. *Energy and Buildings*, 110280. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110280>

Obrigado pela vossa atenção!