

# Avaliação dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação de edifícios

**Diana Santos**

Universidade do Minho  
a68423@alunos.uminho.pt

**Joana Andrade, PhD**

Universidade do Minho  
joana.andrade@civil.uminho.pt

**Luís Bragança, PhD**

Universidade do Minho  
bragança@civil.uminho.pt

## RESUMO

*O bem-estar do ser humano, é fundamental para promover a sua qualidade de vida, melhorar o seu rendimento no trabalho e a interação saudável com outros. Este artigo foca o conforto térmico, que é um dos principais fatores que influenciam esse bem-estar. Os sistemas técnicos de climatização – aquecimento, arrefecimento e ventilação – e de água quente sanitária são uma mais-valia na melhoria do clima interior, no entanto, o seu uso excessivo levou ao aumento do consumo da energia final – que em parte se deve à falta de conhecimento dos projetistas e dos utilizadores – espelhando-se no aumento do consumo energético dos edifícios. Foi estudado um edifício típico português com baixa classificação energética, com recurso à Plataforma para a Eficiência Energética de Edifícios do IteCons, o que permitiu avaliar o comportamento térmico típico das habitações. Procedeu-se à reabilitação do edifício primando pelas soluções passivas e em seguida, implementando sistemas ativos de acordo com as necessidades do edifício. Após esta análise, foram estudadas soluções que apresentavam maior potencial de melhoria. Assim, conseguiu-se concluir acerca da importância que as medidas de melhoria têm, e de que forma promovem o aumento da eficiência energética de um edifício. Realizou-se também a análise económica de cada solução, para avaliar a relação custo/benefício. O desenvolvimento deste trabalho pretende criar formas de auxiliar o projeto, construção ou reabilitação de um edifício, apresentando os benefícios e desvantagens quer dos vários sistemas ativos quer passivos.*

## INTRODUÇÃO

A população mundial aumentou mais de duas vezes desde 1950, que originou carências habitacionais que obrigaram a uma aceleração da construção de novos alojamentos (Loureiro & Mateus 2015). Paralelamente a este acontecimento, a economia global quintuplicou (UNDP 1998). Sendo esta evolução acompanhada pela melhoria das condições de vida das populações, especialmente dos países desenvolvidos (Almeida 2010). Os sistemas de climatização, passaram mais amplamente utilizados, o que tornou o ambiente mais confortável, diminuindo os problemas de saúde associados à qualidade do ar (Chenari et al. 2016). Por outro lado, e de forma menos positiva, resultou num aumento excessivo dos consumos energéticos (Pinheiro 2006), espelhando-se nas emissões de gases com efeito de estufa. Em Portugal, o setor dos edifícios é o segundo maior consumidor de energia, sendo o parque habitacional maioritariamente composto por edifícios com mais de vinte anos, que apresentam baixos desempenhos energéticos (Almeida et al. 2015). O consumo de energia nos edifícios residenciais está maioritariamente associado ao aquecimento e arrefecimento do ambiente interior, para alcançar maior conforto dos ocupantes (Pinheiro et al. 2016). Posto isto, verifica-se que a intervenção nestes edifícios é um alvo

potencial para a redução dos consumos de energia (Araújo et al. 2015) e consequente redução das emissões de CO<sub>2</sub> (Almeida et al. 2015; Bezerra & Bragança 2012). A nova diretiva *EPBD Recast* estipula que após 2020 todos os edifícios novos da União Europeia, deverão apresentar um consumo energético e emissões de carbono quase nulos. No entanto, é impossível atingir esse objetivo se não se atuar nos edifícios existentes, uma vez que a taxa de renovação do edificado é cerca de 1 a 2% por ano. Como tal, é fulcral encontrar meios para reabilitar edifícios de forma eficiente e rentável do ponto de vista económico (Almeida 2012). As normas para que a redução das emissões se verifique, devem promover a intervenção inteligente de soluções passivas e sistemas ativos. A combinação destes dois grandes campos de atuação é a melhor forma de garantir que as reduções no uso de energia e nas emissões (Almeida & Ferreira 2016). Pretende-se assim, com este artigo, numa primeira abordagem e com o auxílio da plataforma do *IteCons*, aplicar soluções passivas e de seguida, efetuar simulações ao nível dos sistemas técnicos, para assim verificar as melhores combinações que promovem uma maior eficiência. Este artigo, pretende estabelecer linhas orientadoras para a reabilitação de habitações unifamiliares, recorrendo a métodos que promovam maior eficiência energética, efetuando paralelamente, uma análise económica de cada solução, para assim verificar a relação custo/benefício, que em algumas situações, a nível nacional, ainda é desfavorável (Almeida 2012).

## MÉTODOS

Para analisar e compreender o efeito da melhoria de sistemas ativos e passivos para o desempenho energético de uma habitação, procedeu-se à simulação de uma ação de reabilitação analisando o edifício existente e algumas soluções de melhoria, com recurso à plataforma do *IteCons* (ITeCons 2017)

Esta plataforma, permite avaliar o comportamento térmico dos edifícios, através da introdução das soluções construtivas dos mesmos. Com base nesses dados, o programa apresenta a classificação energética do edifício. Pretendeu-se assim, analisar uma ação de reabilitação a um edifício antigo, implementado em Leiria, que apresentava soluções construtivas pouco otimizadas. Tratava-se de uma habitação unifamiliar, de tipologia T4, com grandes necessidades de aquecimento e que não apresentava qualquer tipo de sistema de climatização nem produção de águas quentes sanitárias (AQS). A realização da simulação consistiu nos passos apresentados de seguida.

### Introdução das Soluções de Base

O processo foi iniciado com a introdução das soluções dos elementos construtivos, na plataforma, agrupadas de acordo com a envolvente a que pertencem e respetivo coeficiente de transmissão térmica (U) como apresentado nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1. Descrição das Soluções de Base dos Elementos Opacos do Edifício em Estudo**

Elemento	Solução	U [W/m <sup>2</sup> C°]
Parede Exterior	Alvenaria de tijolo furado revestida exteriormente a reboco tradicional de cor clara e interiormente a estuque de gesso e areia, com uma espessura total de 34 cm.	1,10
Parede Interior 1	Alvenaria de tijolo furado revestida exteriormente a reboco tradicional de cor clara e interiormente a estuque de gesso e areia, com uma espessura total da parede de 18 cm.	1,47
Parede Interior 2	Alvenaria de tijolo furado revestida exteriormente a reboco tradicional de cor clara e interiormente a estuque de gesso e areia, com uma espessura total da parede de 34 cm.	1,00
Coberturas	Cobertura interior pesada horizontal, em laje aligeirada de vigas pré-esforçadas e abobadilhas, revestida inferiormente a estuque de gesso e areia.	2,25
Pavimentos	Pavimento interior pesado, em laje aligeirada de vigas pré-esforçadas e abobadilhas, revestida inferiormente a estuque de gesso a areia.	2,21

**Tabela 2. Descrição das Soluções dos Vãos Envidraçados do Edifício em Estudo**

Elemento	Solução	Fator solar vidro	Fator solar global	U [W/m <sup>2</sup> C°]
Envidraçado 1	Caixilharia metálica sem corte térmico; de abrir; vão simples; sem quadrícula, vidro simples; com proteção solar.	0,85	0,07	3,90
Envidraçado 2	Caixilharia de madeira fixo; vão simples; sem quadrícula; vidro simples; sem proteção solar.	0,85	0,85	5,10

### Introdução das Soluções Passivas

Após a introdução dos dados, a plataforma *IteCons* apresentou uma tabela com os valores necessários à interpretação da classe de eficiência energética. A partir deste momento pode iniciar-se o projeto de reabilitação. Tal como referido, o processo começou pelo estudo de medidas de melhoria das soluções construtivas, como se apresenta na Tabela 3.

**Tabela 3. Introdução das Soluções Passivas**

Medidas	Solução	U [W/m <sup>2</sup> C°]
Medida 1	<b>Cobertura exterior: Aplicação de teto falso com isolamento térmico</b> Aplicação de isolamento térmico em lã de rocha com 5 cm de espessura e gesso cartonado de 13mm de espessura. Aplicado sob a laje horizontal interior com caixa-de-ar de 10 cm.	U <sub>asc</sub> = 0,52
		U <sub>desc</sub> = 0,51
Medida 2	<b>Paredes exteriores – Aplicação ETICS</b> - Aplicação de isolamento térmico em poliestireno expandido (EPS) tipo capoto com 5 cm de espessura a aplicar pelo exterior das paredes de fachada.	0,46
Medida 3	<b>Pavimento interior – Aplicação de isolamento sob a laje de pavimento</b> - Aplicação de isolamento térmico em espuma de poliuretano projetado de 5cm de espessura a aplicar sob a laje aligeirada.	0,61
Medida 4	<b>Vãos envidraçados – Substituição por novos vãos com melhor desempenho energético.</b> Aplicação de caixilharia de PVC, sem classificação, com vidro de 16 mm de caixa-de-ar e mantendo os dispositivos de baixa permeabilidade.	Tipo 1 U=2,10
		Tipo 2 U=2,70

### Verificação do cumprimento dos requisitos mínimos de ventilação

O edifício em estudo não apresentava sistema de ventilação, pelo que esta apenas ocorre por ventilação natural. No entanto, verificou-se que a habitação não cumpria o requisito mínimo de renovações de ar ( $R_{ph}^{-1}=0,6$ ). Optou-se assim, por analisar duas possíveis soluções: aberturas de admissão autorreguláveis e ventilação mecânica com recuperador de calor. Estas medidas foram aplicadas, recorrendo ao método de cálculo, de acordo com a *EN 15242* e *Despacho 15793-K*, que se encontra incorporado na plataforma do *IteCons*.

### Simulação dos sistemas ativos para preparação de águas quentes sanitárias

No âmbito dos sistemas de produção AQS, analisaram-se duas situações possíveis: a) utilização de um termossifão – contém uma resistência elétrica incorporada no depósito acumulador, que auxilia no aquecimento das águas, quando necessário; b) Sistema solar térmico, com o esquentador a gás natural como equipamento de apoio – solução mais utilizada em Portugal (Instituto Nacional 2010), para o aquecimento das águas sanitárias.

### Simulação dos sistemas ativos para aquecimento

O cumprimento dos requisitos legais de ventilação é fulcral para perceber as necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício. Como tal, esta fase só deve ser realizada após a verificação do cumprimento dos requisitos de ventilação. Analisando os resultados, verificou-se que as necessidades de aquecimento do edifício são cerca de 10 vezes superiores às necessidades de arrefecimento.

Estudaram-se assim, dois casos distintos: a) utilização da caldeira a gás natural para aquecimento central – equipamento mais solicitado a nível nacional para as necessidades de aquecimento (INE, 2010); b) Sistema Multi-Split (4x1) – dada a dimensão do edifício, simulam-se quatro unidades interiores para aquecer quatro divisões.

### Proposta de medidas de melhoria de eficiência energética

Até ao momento, as soluções abordadas para o edifício, foram ao nível de soluções passivas dos elementos construtivos, do cumprimento da ventilação – aberturas de admissão na envolvente-, das simulações de sistemas AQS – terrossifão - e aquecimento. Percebeu-se que em termos de aquecimento e arrefecimento, este edifício apresentava necessidades nominais de energia inferiores às de referência. No entanto, no âmbito das necessidades de aquecimento poderia existir algum potencial de melhoria. Simulou-se assim, três medidas de melhoria: a) Utilização combinada de equipamento elétrico – Sistema Multi-Split – e equipamento que produz energia elétrica – 6 painéis fotovoltaicos; b) Utilização de sistema combinado – sistema solar térmico e caldeira a gás natural; c) Utilização da salamandra a biomassa. Veja-se que, se invocaram três situações que até aqui não tinham sido referidas. A primeira situação utilizou a energia solar fotovoltaica, através de seis painéis. Esta medida, permitiu verificar se realmente, o custo de investimento em painéis fotovoltaicos valia o benefício da sua utilização. A segunda, diz respeito ao sistema combinado da caldeira com o sistema solar térmico, com as finalidades de produção AQS e aquecimento. Com esta medida, procurou-se perceber se é mais vantajosa a utilização do sistema combinado ou, segundo a preferência nacional, a caldeira é um equipamento mais eficiente, somente para aquecimento. A terceira, utilizou a biomassa como fonte de energia para aquecimento.

## RESULTADOS

Após a simulação na plataforma, foi possível realizar uma análise paralela entre a classe de eficiência resultante do conjunto de soluções e sistemas – passivos e/ou ativos – e uma análise económica das mesmas. Esta última, baseou-se nos custos de investimento e manutenção, na redução da fatura anual e no respetivo período de retorno. Para que fosse possível esta análise, para além da plataforma IteCons, recorreu-se também ao Gerador de Preços da Cype. É importante referir que, para o estudo da redução da fatura anual, foram consideradas para todas as componentes – AQS, aquecimento e arrefecimento – equipamentos a eletricidade como fonte de energia por defeito. Assim foi possível realizar uma analogia a partir dessa fonte de energia, e a redução da fatura obtida aquando da utilização de outras fontes. Os dados relativos ao custo de kWh, bem como os fatores de conversão das fontes de energia utilizadas no presente artigo, encontram-se disponíveis na Plataforma (ITeCons 2017).

As necessidades de aquecimento do edifício inicialmente eram excessivas e ultrapassavam o dobro das necessidades de um edifício de referência. Apenas com a alteração das soluções construtivas, através da aplicação das soluções passivas, resultou na diminuição das necessidades de aquecimento para mais de metade (Figura 1). As necessidades de arrefecimento também decresceram, contudo, estas são bastante inferiores às de aquecimento.

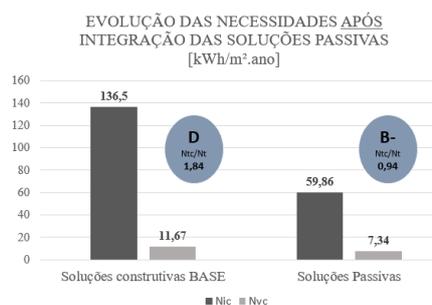


Figura 1. Evolução das necessidades após introdução das soluções passivas

Paralelamente ao decréscimo verificado ao nível do aquecimento, também a classe energética subiu para B-. Verificou-se assim que o isolamento dos elementos construtivos opacos permite a redução dos ganhos e perdas térmicas. As melhorias refletem-se diretamente no conforto e também nas necessidades de energia. O isolamento térmico ao nível das paredes exteriores, também elimina as pontes térmicas que possam existir, sendo que, são locais propícios ao fluxo de calor para o exterior. Para além da adoção destas medidas passivas contribuirão para o aumento da classe de eficiência, também promovem a redução da fatura energética anualmente. A Tabela 4 apresenta a análise económica das soluções passivas. Verificou-se que resultou num investimento perto dos 19 000€. É na cobertura e paredes exteriores que se verificaram maiores percentagens de redução das necessidades de energia úteis. Aquela que menos contribui para a redução é o pavimento interior - área mais pequena, face às restantes. Relativamente à fatura energética anual, espera-se uma redução de cerca de 2 770€.

**Tabela 4. Análise económica das soluções passivas**

Solução Passiva	Custo investimento (€)	Contribuição na redução da fatura (%)	Redução da fatura anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
Cobertura	5 455,00	28,6 %	<b>Aquecimento</b> 2 719,63 €/ano	
Paredes exteriores	4 745,00	13,3%		
Pavimentos interiores	3 275,00	3,4%		
Vãos envidraçados	5 485,00	5,4%	<b>Arrefecimento</b> 51,20 €/ano	6,84
<b>Total</b>	<b>18 960,00</b>	<b>50,7%</b>	<b>2 770,83</b>	

#### Satisfação das necessidades de ventilação

O presente caso de estudo, permitiu verificar uma situação interessante. Dois dos seis princípios básicos fundamentais na construção Passivhaus (Barreiro 2016) são o isolamento otimizado e a estanqueidade. Inicialmente procedeu-se à introdução de melhorias passivas, implementando o isolamento, para evitar as perdas térmicas e assim reduzir as necessidades de aquecimento. Contudo, o isolamento das paredes exteriores, deixou a envolvente totalmente estanque. A estanqueidade da envolvente de um edifício que não possui qualquer tipo de sistema de ventilação resulta na má qualidade do ar interior e excesso de humidade (Barreiro 2016). Como tal é fundamental a existência de ventilação no edifício.

O programa incorporado no IteCons, verifica automaticamente o caudal mínimo necessário para o cumprimento dos requisitos. Para a solução de aberturas de admissão autorreguláveis na envolvente e tendo em conta a diferença média de pressões na fachada, considerou-se que a solução que melhor se adequa é a abertura autorregulável a 2 Pa, com um caudal de 427,4 m<sup>3</sup>/h. Com a aplicação desta solução, as necessidades de aquecimento subiram e excederam ligeiramente as necessidades do edifício de referência e consecutivamente a classe de eficiência desceu para a classe C. Como tal, de forma a diminuir a necessidade de aquecimento, optou-se por melhorar novamente as soluções construtivas. Para implementar esta solução no edifício, recorre-se a aberturas nos caixilhos – posição horizontal – e a aberturas na parede envolvente. Cada abertura, permitia no máximo a admissão de 45 m<sup>3</sup>/h do caudal, como tal, optou-se por colocar seis aberturas nos caixilhos e quatro aberturas na parede – duas numa parede e as outras duas na parede oposta, permitindo a ventilação cruzada.

Para a solução em que se considerou a ventilação mecânica com recuperador de calor, admitiu-se a exaustão ou insuflação por meios mecânicos. Para que verificasse os requisitos mínimos da taxa de renovação horária, foi necessário um caudal de 215 m<sup>3</sup>/h para cada tipo de escoamento. Relativamente ao recuperador de calor, admitiu-se que este atinge 95% do seu rendimento. Para além disso, o sistema é constituído pelo sistema *by-pass* - é responsável pelo arrefecimento passivo nas noites de verão.

Verifica-se através da Figura 2, que a solução que proporciona uma classe de maior eficiência, para o edifício em questão, foram as aberturas de admissão na envolvente. No entanto, as classes de eficiência das soluções, apesar de serem distintas, a diferença das necessidades úteis, em termos numéricos, não foi assim tão notória – cerca de 1 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

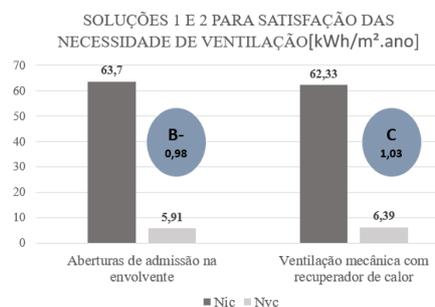


Figura 2. Soluções 1 e 2 para satisfação das necessidades de ventilação

A análise económica das duas soluções, permitiu verificar que a primeira solução é cerca de metade do custo da segunda (Tabela 5). O custo de manutenção a cada 10 anos, é muito maior na segunda solução, uma vez que se trata de um sistema mecânico e como tal requer uma manutenção frequente. Para além disso, a segunda solução possui ventiladores que requerem energia elétrica, que se vai repercutir na fatura energética. Na redução da fatura anual, verificou-se que a diferença entre as duas soluções não é notória – cerca de 16,92€/ano e 11,24€/ano na primeira e segunda solução, respetivamente. Estas reduções ocorreram, devido à descida verificada das necessidades de arrefecimento nas duas soluções. No entanto, as reduções ao nível do arrefecimento são imediatamente compensadas pelo aumento das necessidades de aquecimento. Como tal, esta abordagem de redução da fatura, torna-se irrelevante. A primeira solução tornou-se assim aquela que é considerada a melhor a adotar, por se tratar de um sistema híbrido, que privilegia a ventilação natural e que quando esta não é satisfatória, as aberturas autorreguláveis passam a cumprir a sua função.

**Tabela 5. Análise económica das soluções 1 e 2 para satisfação das necessidades de ventilação**

Solução	Custo investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos
<b>Solução 1 - 6 Caixilhos – posição horizontal</b>	76,8	3,84
4 Aberturas na parede	402,72	20,12
<b>Total</b>	<b>479,52</b>	<b>23,96</b>
<b>Solução 2 - Recuperador de Calor</b>	<b>816,21</b>	<b>138,76</b>

### Simulação de sistemas ativos para AQS

Como forma de verificar o sistema para produção de AQS mais eficiente, simularam-se duas situações possíveis. A primeira apresentava o equipamento de apoio incorporado no sistema solar térmico. A segunda, por sua vez, apresentava dois equipamentos separados, para a mesma função. Para a Solução 1 – Termossifão – dimensionou-se o volume de armazenamento, assumindo que habitam 5 pessoas no edifício e que o consumo médio diário por ocupante são 40 litros. Obteve-se assim, um depósito de 200 litros. Em seguida, calculou-se a área necessária de abertura do painel, sendo que um coletor aquece em média 75 a 100 litros de água. Chegou-se assim a uma área de abertura de 2 a 2,7 m<sup>2</sup> de área de abertura do painel. A introdução deste sistema no edifício, permitiu que se produzissem 2166 kWh/ano de energia a partir de fontes renováveis para produção AQS.

A Solução 2 consistiu num sistema solar térmico com um esquentador a gás natural, como equipamento de apoio. O esquentador é um equipamento que deve ser solicitado sempre que as condições atmosféricas não permitam o funcionamento eficaz do sistema solar térmico, e como tal, atua como um sistema de apoio, que estará apto para servir, sempre que preciso, durante todo o ano. Por estas razões, o sistema solar térmico deve contribuir com 80% do seu funcionamento, sendo o restante colocado pelo equipamento de apoio. O dimensionamento do sistema solar foi o mesmo da Solução 1. No entanto, neste caso, utilizou-se um sistema de circulação forçada, pelo que é necessário a adoção de um depósito acumulador.

Verificou-se que a Solução 1 apresenta cerca de 433 kWh/ano de energia produzida, a partir de fontes renováveis para a produção AQS, a mais que a Solução 2. A classe energética das duas soluções é a mesma, com uma diferença mínima (Figura 3). Isto acontece porque enquanto que na primeira solução, o apoio (resistência elétrica) está incorporado no sistema, e como tal, o sistema funciona como um todo na produção, o mesmo não acontece na segunda solução. Percebe-se através da Tabela 6 que a solução

com menores custos é o sistema Termossifão. Verificou-se também que em termos de redução energética esta é maior na segunda solução, embora se consiga amortizar o custo de investimento mais rapidamente quando se opta pela instalação de um termossifão. Optou-se assim pela primeira solução, como a mais eficiente para este edifício. A única desvantagem face à solução 2 está na redução energética anual, no entanto, a diferença relativamente às restantes características torna-se irrelevante.

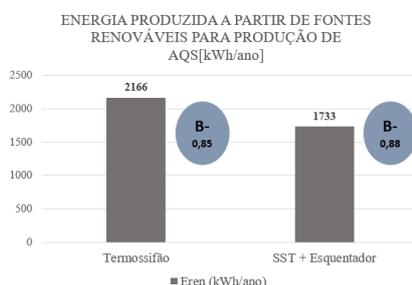


Figura 3 Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS

Tabela 6. Análise económica das soluções para produção de AQS

Solução	Custo investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Redução da fatura anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 1 - Termossifão</b>	<b>1 641,68</b>	<b>1 247,68</b>	387,60	4,24
<b>Solução 2 - Sistema solar térmico – circulação forçada (com depósito acumulador no kit)</b>	3 182,04	362,37	414,31	8,60
Esquentador	381,44	2 418,35		
<b>Total</b>	<b>3 563,48</b>	<b>2 780,72</b>		

### Simulação de sistemas ativos para aquecimento

O edifício apresentava uma grande necessidade de aquecimento. Assim, simularam-se dois sistemas que colmatam essa mesma necessidade. A primeira utilizava o gás natural como fonte de energia, enquanto que a segunda, utilizava a eletricidade. A Solução 1 – utilização da caldeira a gás natural para aquecimento central é a solução mais utilizada, em Portugal, (Instituto Nacional 2010), para suprimir as necessidades de aquecimento. É uma caldeira com uma única função: aquecer o ambiente. Através desta simulação pretendeu-se a verificação da sua eficiência enquanto equipamento exclusivo para aquecimento. Utilizou-se assim, uma caldeira com potência de 31 kW. A Solução 2 – Utilização do Sistema Multi-Split –é totalmente elétrica. Utilizou-se quatro unidades interiores, correspondendo a uma potência do sistema de 8,6 kW.

Tal como se observa na Figura 4, a Solução 1 é aquela que torna a classe energética do edifício mais alta. A caldeira para aquecimento central consegue colmatar uma maior quantidade das necessidades de aquecimento. De lembrar ainda, que as classes energéticas apresentadas na Figura 4, já englobam o sistema Termossifão para produção de AQS, anteriormente adotado.

Verifica-se na Tabela 7, que a Solução 2, por ser totalmente elétrica, não apresenta redução da fatura anual. Como tal, o investimento neste equipamento não envolve períodos de retorno. No entanto, é um equipamento versátil – permite aquecer e arrefecer as divisões-. Assim sendo, apesar deste sistema não reduzir a fatura anual, é sempre um equipamento apto para servir em qualquer tipo de ocasiões, dada a facilidade de programação da temperatura para a desejada. A caldeira a gás natural, para aquecimento, resulta numa redução da fatura anual em cerca de 1 000,00€. Assim, o período de retorno desta solução é de quase 2 anos. Verificou-se que, aquela que trará mais vantagens a nível económico e de eficiência é a caldeira para aquecimento.



Figura 4. Necessidades nominais anuais globais de energia primária das soluções de aquecimento

Tabela 7. Análise económica das soluções de aquecimento

Solução	Custo investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Redução da fatura anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 1 - Caldeira para aquecimento</b>	1 747,64	1 660,26		
Elementos de difusão: 6 radiadores	127,82	17,89	1 063,6	1,76
<b>Total</b>	<b>1 875,46</b>	<b>1 678,15</b>		
<b>Solução 2 - Sistema Multi-Split (4x1)</b>	<b>2 945,00</b>	<b>1 402,41</b>	-	-

#### Desempenho das medidas de melhoria de eficiência energética

Notou-se que, apesar das soluções passivas diminuírem efetivamente as necessidades de aquecimento, os sistemas ativos ainda poderiam apresentar algum potencial de melhoria. Assim, simularam-se três soluções que utilizam energia renovável elétrica, renovável térmica e também a biomassa. As soluções testadas foram as seguintes:

- **Solução 1 – Sistema Multi-Split e conjunto de 6 painéis fotovoltaicos** – Funcionamento a 100% pelo sistema Multi-Split, na estação de inverno; Utilização de 6 painéis fotovoltaicos para compensar parte do consumo da energia final. Procedeu-se ao dimensionamento do painel fotovoltaico, resultando em 6 painéis fotovoltaicos de 100W, que apresenta uma área de 8,6m<sup>2</sup>. O painel fotovoltaico produz energia elétrica para autoconsumo – cerca de 274kWh/ano – em que é injetado o excesso na rede pública (Eren ext) cerca de 592 kWh/ano-. Relativamente ao sistema Multi-Split, utilizou-se o mesmo equipamento e unidades interiores da solução 1 dos sistemas de aquecimento.

- **Solução 2 - Utilização de sistema combinado – sistema solar térmico e caldeira** – A caldeira para aquecimento central é o equipamento mais requisitado a nível nacional para as necessidades de aquecimento. No entanto, nesta medida de melhoria pretendeu-se verificar se a utilização de um sistema combinado do sistema solar por circulação forçada e uma caldeira para produção de AQS e aquecimento não poderia resultar numa melhoria da eficiência, bem como numa redução dos custos. Como tal, sugeriu-se para o efeito, uma caldeira com potências de aquecimento e AQS de 22 e 28 kW, respetivamente. O sistema solar térmico, foi dimensionado de forma semelhante ao dimensionamento do termossifão, que resultou numa área de abertura do painel de 2,33m<sup>2</sup>, utilizando-se assim um coletor. A introdução deste sistema no edifício, permitiu que se produzissem 2246 kWh/ano de energia a partir de fontes renováveis para a produção de AQS.

- **Solução 3 – Instalação de uma salamandra a biomassa – pellets** – Optou-se pela simulação de uma salamandra cujo combustível são pellets. Admitiu-se que a salamandra está 100% apta para cessar as necessidades de aquecimento. A salamandra utilizada apresentava uma potência de 7kW.

Note-se que, para as Soluções 1 e 3 se considerou o Termossifão como equipamento de produção AQS. Por sua vez, na Solução 2, dimensionou-se um sistema solar por circulação forçada. Verificou-se na Figura 5, que a medida de melhoria que eleva a classe de eficiência energética é a salamandra a biomassa, atingindo a classe máxima de eficiência. Veja-se agora as Soluções 1 e 2. A Solução 1, utilizou os painéis fotovoltaicos como forma de compensação dos custos da fatura da energia elétrica. Comparando esta solução com a Solução 2 dos sistemas para aquecimento, verificou-se que as necessidades não diminuíram sequer 1 kWh/m<sup>2</sup>.ano. A classe de eficiência energética nos dois casos, manteve-se B, com uma diferença mínima em termos numéricos. Portanto, apesar das necessidades globais descenderem minimamente e se utilize a renovável elétrica como fonte de energia, a diferença não é

assim tão notória que compense o investimento em painéis fotovoltaicos (Tabela 8), a curto prazo. Comparando-se a Solução 2 que utiliza o sistema combinado da renovável térmica com a caldeira para produção de AQS e aquecimento, com a Solução 1 dos sistemas de aquecimento, verificou-se que ambas apresentavam a classe de eficiência máxima (A+). A solução mais cara é a solução combinada, uma vez que necessita de um sistema de circulação forçada, no entanto, é aquela que apresenta maiores reduções anualmente. Tanto uma como outra solução são favoráveis. No entanto, pode depender de cada contexto. Se já existisse um Termossifão para produção de AQS, então, a solução mais adequada seria a aquisição de uma caldeira para aquecimento central. No entanto, se o edifício não apresentasse qualquer tipo de sistema para produção AQS, a adoção do sistema combinado, ao fim de cerca de três anos, seria mais vantajosa, na medida em que arrecada maiores reduções da fatura anualmente.

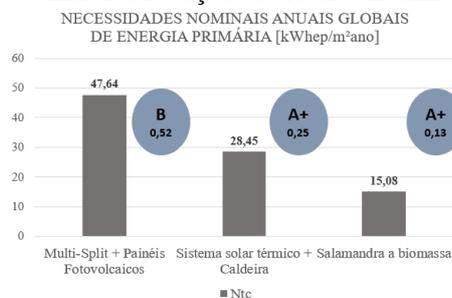


Figura 5. Necessidades nominais anuais globais de energia primária das medidas de melhoria

Tabela 8. Análise económica das medidas de melhoria

Solução	Custo investimento (€)	Custo manutenção (€) – 10 anos	Redução da fatura anual (€/ano)	Período de retorno (anos)
<b>Solução 1 - Sistema Multi-Split 4x1</b>	2 945,00	1 402,41		
<b>6 Painéis fotovoltaicos</b>	2 700,00	405,00	1 797,76	3,14
<b>Total</b>	<b>5 645,00</b>	<b>1 807,41</b>		
<b>Solução 2 - Caldeira</b>	1 479,69	1 400,96		
Sistema solar térmico com depósito	3 182,04	2 418,35	1 483,97	3,23
Elementos de difusão: 6 radiadores	127,82	17,89		
<b>Total</b>	<b>4 789,55</b>	<b>3 837,2</b>		
<b>Solução 3 - Salamandra a pellets</b>	<b>2 979,90</b>	<b>506,58</b>	1 595,67	1,87

## DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apenas com a implementação das melhorias passivas ao nível dos elementos construtivos do edifício, as necessidades de aquecimento desceram imediatamente para metade. Aqui verifica-se efetivamente o potencial de melhoria que existe, adotando, numa primeira abordagem de reabilitação, as soluções passivas. Ainda sobre a importância deste tipo de soluções, note-se que, também no cumprimento da ventilação, as soluções passivas foram invocadas. O esquentador é o mais utilizado a nível nacional como equipamento de apoio ao sistema solar térmico. Este estudo, permitiu verificar que esta pode ser uma boa solução, no entanto, a utilização do termossifão com resistência elétrica incorporada, apresenta mais vantagens, na medida em que, como se trata de um único equipamento este apresenta menores custos e proporciona um período de retorno mais curto. Para além disso, por funcionar como um só, produz cerca de 433 kWh/ano a mais do que a solução com o esquentador como equipamento de apoio. Para esta habitação de reabilitação, a instalação do sistema combinado da caldeira e sistema solar, assim como o termossifão e salamandra a biomassa, seriam opções credíveis e eficientes. No entanto, e pela simples razão de que a habitação não possui pré-instalação de aquecimento central, optou-se pela instalação de um termossifão para produção de AQS e por uma salamandra a pellets para aquecimento. Utilizou-se assim duas fontes de energia renovável, melhorando a eficiência da habitação e com reduções satisfatórias na fatura anual, que podem até, a longo prazo, auxiliar na recuperação do investimento total efetuado para a reabilitação da habitação. A realização deste estudo, permitiu perceber que as soluções passivas têm um grande peso no âmbito da climatização dos edifícios, e como tal, devem

ser bem ponderados no início de uma construção. Para além disso, percebeu-se que os sistemas ativos conseguem complementar as necessidades de energia de um edifício. Contudo, se não existisse possibilidade de adquirir algum dos sistemas acima mencionados, as necessidades nominais de energia útil do edifício, após a implementação das melhorias nas soluções construtivas, cumprimento da ventilação e instalação do termossifão, eram desde logo inferiores às necessidades de referência e a eficiência global subia duas classes. Como trabalhos futuros, a reabilitação das soluções existentes do mesmo edifício, dá lugar ao estudo das melhores soluções construtivas, para que assim, resulte, cada vez mais, numa menor necessidade de implementar sistemas de climatização. Para conseguir um maior leque de soluções, sugere-se que este edifício seja implementado num local, com necessidades de climatização diferentes deste caso de estudo.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, H.S., 2010. *Análise do conforto térmico de edifícios utilizando as abordagens analítica e adaptativa*. Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Almeida, M., Reabilitação Energética de Edifícios Perspetiva da Engenharia Civil. 12as Jornadas de climatização O AVAC na reabilitação nos setores residencial, serviços e indústria, Universidade do Minho, Lisboa, 25 de Outubro de 2012.
- Almeida, M. & Ferreira, M., 2016. *Contributos e recomendações para a revisão da regulamentação relativa à reabilitação do edificado tendo em vista os edifícios de energia quase-nula*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- Almeida, M., Ferreira, M. & Rodrigues, A., 2015. Soluções otimizadas de reabilitação de edifícios residenciais para atingir os nzeb.
- Araújo, C., Bragança, L. & Almeida, M., 2015. Análise da disponibilidade de investimento em projetos de reabilitação portugueses. In L. Bragança, A. Yuba, & C. Alvarez, eds. *Latin American and European Conference on Sustainable Buildings and Communities*. Guimarães.
- Barreiro, C., 2016. *Avaliação da integração de sistemas solares passivos em edifícios*. Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.
- Bezerra, J. & Bragança, L., 2012. Reabilitação de edifícios de habitação – Desempenhos energético e de sustentabilidade. In M. Almeida et al., eds. *Seminário Reabilitação Energética de Edifícios*. Guimarães, 28 de Setembro de 2012.
- Chenari, B., Carrilho, J. & Gameiro Da Silva, M., 2016. Towards sustainable, energy-efficient and healthy ventilation strategies in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, pp.1426–1447.
- Instituto Nacional de Estatística (INE) & Direção-Geral de Energia e Geologia, 2011. *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010* INE,I.P./D., Portugal.
- ITeCons, 2017. Plataforma para a Eficiência Energética de Edifícios. Disponível em: <http://www.itecons.uc.pt/p3e/> Consultado em Outubro de 2017.
- Loureiro, M. & Mateus, R., 2015. Moradias sobredimensionadas dos anos 70 - 90 na periferia de Braga : Processo de transformação. In L. Bragança, A. Yuba, & C. Alvarez, eds. *Latin American and European Conference on Sustainable Buildings and Communities*. Guimarães.
- Pinheiro, J., Araújo, C. & Bragança, L., Análise da aplicação de materiais de mudança de fase para armazenamento de energia em edifícios Portugueses. In *Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment*. Vitória, Brazil, 7-9 Setembro de 2016.
- Pinheiro, M.D., 2006. *Ambiente e Construção Sustentável (in Portuguese Environment and Sustainable Construction)*, Instituto do Ambiente Amadora.
- UNDP, 1998. *Humand development report 1998*, New York: United Nations Development Programme (UNDP).