

Reabilitação sustentável de edifícios antigos – Contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade

Rui J. G. Costa¹

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

Luís Bragança^{2†}, Ricardo Mateus³

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
Azurém, P - 4800-058 Guimarães, Portugal*

João Carlos Bezerra

*Gepep, Gestão, Planeamento e Projecto, Lda.
Ponte de Lima, P - 4990-114 Viana do Castelo, Portugal*

RESUMO

O aumento do consumo dos recursos energéticos não renováveis tornou-se num problema de grande relevo, tanto em termos económicos como ambientais. Para minimizar este problema foi publicada em 2002 uma diretiva europeia, a EPBD, cuja reformulação em 2010 obriga a que todos os edifícios novos e grandes reabilitações sejam caracterizados, a partir de 2020, por um balanço energético quase nulo.

Em Portugal, a transposição desta diretiva deu-se através da implementação dos Decreto-Lei n.º 78/2006 (SCE), Decreto-Lei n.º 79/2006 (RSECE) e Decreto-Lei n.º 80/2006 (RCCTE). Contudo, apesar de estes regulamentos terem contribuído para uma melhoria das condições do parque habitacional português, não foi verificada uma melhoria significativa, uma vez que a maioria do edificado é anterior à implementação destes. Torna-se assim indispensável pensar na reabilitação como estratégia fundamental para reduzir as necessidades energéticas no país.

No presente trabalho é efetuada a análise energética e de sustentabilidade de um caso de estudo através de três cenários de reabilitação diferentes, sendo eles, Reabilitação Básica, Reabilitação Energética e Reabilitação Sustentável. A análise energética foi realizada segundo o RCCTE com o apoio da ferramenta informática CYPE e a avaliação de sustentabilidade foi efetuada com recurso à metodologia SBTool^{PT}-H.

¹ Aluno do Mestrado Integrado em Engenharia Civil

² Professor Associado

³ Professor Auxiliar

† Autor para contacto (braganca@civil.uminho.pt)

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

Com a melhoria das condições de vida da sociedade, assistiu-se a um aumento do consumo de recursos naturais e principalmente um aumento do consumo dos recursos energéticos. Como a maioria dos estados membros da União Europeia se encontra dependente energeticamente de outros países, surgiram Diretivas Europeias que devem ser adotadas pelos estados membros com o objetivo de controlar as necessidades energéticas. Foi publicada em 2002 a EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*), sendo posteriormente atualizada em 2010. A EPBD foi transposta para a realidade portuguesa através da implementação do SCE - Decreto-Lei n.º 78/2006 - Sistema de Certificação Energética (SCE, 2006), RSECE - Decreto-Lei n.º 79/2006 – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE, 2006) e RCCTE - Decreto-Lei n.º 80/2006 – Regulamento das Características de Conforto Térmico de Edifícios (RCCTE, 2006).

Em dezembro de 2013 entrou em vigor o novo Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

A implementação destes regulamentos não levou a uma melhoria significativa do parque habitacional, em termos energéticos. Como a maioria do edificado português é anterior à implementação dos regulamentos térmicos, torna-se indispensável pensar na reabilitação como estratégia fundamental para reduzir as necessidades energéticas no país. A partir deste pressuposto foram criados programas de financiamento a nível nacional para apoio a reabilitações como o SOLARH, RECRIA, RECRIPH e o REHABITA que, embora em vigor, não estão a ser aplicados por falta de verbas. Estes programas de apoio foram substituídos por outros criados a nível municipal.

Embora os portugueses continuem a preferir a construção nova à reabilitada, assistiu-se, nos últimos anos, a um crescimento no setor da reabilitação. Este crescimento deve-se sobretudo à atual crise financeira mundial, que provocou um aumento dos preços da habitação nova e o aumento das taxas de juro, e também aos programas de incentivo à reabilitação.

Com a revisão da EPBD em 2010 (EPBD-recast, 2010) definiram-se novos objetivos nomeadamente o dos edifícios passarem a ser *nZEB* (*nearly Zero Energy Buildings* – Edifícios com necessidades energéticas quase nulas), ou seja edifícios de balanço energético nulo. A reabilitação passará então a ter requisitos muito mais exigentes, o que poderá levar a que a reabilitação sustentável adquira uma maior importância e aceitação por parte dos *stakeholders*.

O trilho para a Reabilitação Sustentável só é possível se, à reabilitação pura e simples, aliarem-se práticas sustentáveis, tais como medidas que reduzam, na fase de intervenção, os consumos de matérias-primas, energéticos, água e produção de resíduos e, na fase de utilização, os respetivos custos de utilização e manutenção sem nunca pôr em causa as naturais exigências de conforto.

Qualquer cidadão que invista numa reabilitação sustentável poderá ter um investimento inicial superior às reabilitações tradicionais, mas tal investimento pode ser recuperado, a maior parte das vezes, num curto período de tempo (Araújo et al., 2011). Para além disso tanto o construtor como o promotor serão diretamente beneficiados com o custo inicial superior.

Para o construtor que pretenda entrar e permanecer num mercado de reabilitação sustentável, terá de possuir mão-de-obra especializada e qualificada, recorrer e ser recetivo a

processos construtivos inovadores, com recurso a materiais certificados e homologados e equipamentos mais eficientes.

Num país com um vasto e rico património por reabilitar e com grande necessidade de dinâmica no mercado imobiliário, o setor da construção civil tem na reabilitação uma oportunidade de relançamento que não pode desperdiçar (Bezerra e Bragança, 2012).

1.2. Objetivos

Neste trabalho pretendem-se identificar medidas e soluções construtivas para a reabilitação de edifícios antigos, que conduzam a edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e a níveis de sustentabilidade otimizados, tendo em conta a melhor relação custo/benefício.

Para se atingirem os objetivos pretendidos foram analisados diversos edifícios reabilitados, localizados no centro histórico da cidade de Viana do Castelo e construídos antes de 1951, em relação ao seu desempenho térmico e energético e de sustentabilidade.

Neste artigo são apresentados apenas os resultados de um caso de estudo que é representativo da análise efetuada para os restantes edifícios construídos antes de 1951, de modo a evitar repetições desnecessárias e a focar o estudo nos aspetos fundamentais que permitem que as soluções de reabilitação conduzam a edifícios de balanço energético nulo.

2. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE E DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

2.1. Metodologia de avaliação do desempenho energético

O presente estudo foi realizado com base em edifícios reais, reabilitados antes da entrada em vigor do novo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), pelo que foi utilizada como referência a legislação de 2006 relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Assim, o desempenho energético do caso de estudo foi realizado com a aplicação do RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril), com recurso ao *software* Cypeterm, sendo este certificado pela ADENE (Agência Para a Energia).

2.2. Metodologia de avaliação da sustentabilidade

As preocupações com os impactes ambientais relacionados com os edifícios têm aumentado ao longo dos últimos anos. Por este motivo, tem-se verificado uma procura crescente por práticas construtivas que permitam minimizar estes impactes (Cole, 1999). Por outro lado, tendo em conta a crescente preocupação com a implementação da construção sustentável, têm sido desenvolvidas uma série de metodologias de avaliação da sustentabilidade que permitem analisar o nível de sustentabilidade de um edifício. Estas metodologias têm estabelecido práticas de referência e contribuído para a implementação do desenvolvimento sustentável no setor da construção (Ding, 2008).

Uma dessas metodologias é a ferramenta SBTool^{pt}-H, que é uma metodologia adaptada ao contexto nacional português e que tem por base a metodologia internacional SBTool. A SBTool^{pt}-H tem como objetivos apoiar as equipas de projeto desde as etapas mais preliminares de conceção de edifícios de habitação sustentáveis e permitir a avaliação e certificação da sustentabilidade de edifícios existentes, novos e renovados, situados principalmente em zonas urbanas (Bragança e Mateus, 2009).

Este método baseia-se num sistema constituído por 25 parâmetros agrupados em 9 categorias, as quais se agrupam nas três dimensões da construção sustentável, a dimensão ambiental, social e económica, conforme a

Tabela 2. Esta metodologia possui um sistema de pesos através do qual é possível agregar o desempenho do edifício ao nível dos diferentes parâmetros, categorias e dimensões numa classificação final única (Mateus e Bragança, 2011). Cada parâmetro possui um método de cálculo específico através do qual é obtido o desempenho do edifício ao nível do impacte em avaliação nesse parâmetro. Esse desempenho é normalizado para que diferentes impactes, analisados em diferentes parâmetros possam ser comparados entre si. No processo de normalização é utilizada a equação de Diaz-Balteiro (equação 1).

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{i*}}{P_i^* - P_{i*}} \quad (1)$$

Nesta equação, \bar{P}_i é o resultado da normalização do parâmetro i , P_i é o valor resultante da quantificação e P_i^* e P_{i*} são os *benchmarks* do parâmetro i , representando respetivamente os níveis de melhor prática e prática convencional.

Após a normalização, a classificação de cada parâmetro é obtida através de uma escala quantitativa dividida em classes desde o E ao A+, como se pode ver na Tabela 1.

Tabela 1 – Equivalências utilizadas na conversão do valor normalizado de cada parâmetro numa escala de avaliação qualitativa (Fonte: Mateus e Bragança, 2009)

Escala qualitativa	Valor normalizado
A+	$\bar{P} > 1.00$
A	$0.70 < \bar{P} \leq 1.00$
B	$0.40 < \bar{P} \leq 0.70$
C	$0.10 < \bar{P} \leq 0.40$
D	$0.00 \leq \bar{P} \leq 0.10$
E	$\bar{P} < 0.00$

Tabela 2 – Indicadores, Parâmetros, Categorias e Dimensões da metodologia SBTool^{pt} – H (reproduzido de Bragança e Mateus, 2009)

Dimensões	Categorias	Indicadores	Parâmetros	ID	
Ambiental	C1 – Alterações climáticas e qualidade do ar exterior	Impacte ambiental associado ao ciclo de vida dos edifícios	Valor agregado das categorias de impacte ambiental de ciclo de vida do edifício por m ² de área útil de pavimento e por ano	P1	
			Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível	P2	
	C2 – Uso do solo e biodiversidade		Densidade urbana	Índice de impermeabilização	P3
			Reutilização de solo previamente edificado ou contaminado	Percentagem de área de intervenção previamente contaminada ou edificada	P4
			Uso de plantas autóctones	Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones	P5
			Efeito de ilha de calor	Percentagem de área em planta com refletância igual ou superior a 60%	P6
	C3 – Energia		Energia primária não renovável	Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização	P7
			Energia produzida localmente a partir de fontes renováveis	Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis	P8
	C4 – Materiais e resíduos sólidos		Reutilização de materiais	Percentagem em custo de materiais reutilizados	P9
			Utilização de materiais reciclados	Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício	P10
			Recurso a materiais certificados	Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados	P11
			Uso de substitutos do cimento no betão	Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão	P12

		Condições de armazenamento de resíduos sólidos durante a fase de utilização do edifício	Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos	P13
	C5 – Água	Consumo de água	Volume anual de água consumida per capita no interior do edifício	P14
		Reutilização e utilização de água não potável	Percentagem de redução do consumo de água potável	P15
Social	C6 – Conforto e saúde dos ocupantes	Eficiência da ventilação natural em espaços interiores	Potencial de ventilação natural	P16
		Toxicidade dos materiais de acabamento	Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo em COV	P17
		Conforto térmico	Nível de conforto térmico médio anual	P18
		Conforto visual	Média do Fator de Luz do Dia Médio	P19
		Conforto acústico	Nível médio de isolamento acústico	P20
	C7 – Acessibilidade	Acessibilidade a transportes públicos	Índice de acessibilidade a transportes públicos	P21
		Acessibilidade a amenidades	Índice de acessibilidade a amenidades	P22
	C8 – Sensibilização e educação para a sustentabilidade	Formação dos ocupantes	Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício	P23
Económica	C9 – Custos de ciclo de vida	Custo do investimento inicial	Valor do custo do Investimento inicial por m ² de área útil	P24
		Custos de utilização	Valor atual dos custos de utilização por m ² de área útil	P25

2.3. Níveis de Reabilitação do Edifício

De modo a facilitar a análise de diferentes medidas, foram definidos três níveis de Reabilitação nos edifícios - Reabilitação Básica, Reabilitação Energética e Reabilitação Sustentável.

A Reabilitação Básica assegura apenas a estabilidade estrutural e salubridade do edifício. Trata-se assim de uma manutenção com intuito de conferir condições de habitabilidade em todas as frações, repondo-se a funcionalidade da situação original e sem ter qualquer pretensão a uma melhoria do desempenho do edifício.

A Reabilitação Energética resulta da introdução de medidas de modo a obterem-se melhores resultados na avaliação do desempenho energético do que na Reabilitação Básica, e de modo a que se cumpram todos os requisitos regulamentares impostos pelo RCCTE.

A Reabilitação Sustentável resulta da introdução de medidas de melhoria na Reabilitação Energética, de modo a que todos os edifícios se tornem num edifício nZEB e que obtenham um bom nível de sustentabilidade, classe A+, A ou B.

3. DESEMPENHOS ENERGÉTICOS E DE SUSTENTABILIDADE

3.1. Caracterização do caso de estudo

O edifício em análise, segundo o Inquérito e Análise do Centro Histórico de Viana do Castelo, data a sua construção no século XIX. Situa-se no centro histórico de Viana do Castelo, como se depreende da Figura 1.



Figura 1 – Localização do caso de estudo

O edifício tem dois pisos e é constituído por uma unidade de ocupação com tipologia T2. Trata-se de um edifício que apresentava um sistema construtivo tradicional com paredes em alvenaria de granito autoportantes, estrutura de madeira na laje de piso e cobertura inclinada revestida a telha cerâmica, com um desvão executado em gesso cartonado. As paredes interiores são constituídas por taipa de fasquio. Os vãos envidraçados são constituídos por caixilharias em madeira, vidros simples e portadas em madeira opacas colocadas pelo interior. Na Figura 2 são apresentadas as plantas referentes ao edifício.



Figura 2 – Planta do edifício

3.2. Soluções Construtivas e Equipamentos – Reabilitação Básica e Energética

Como o edifício está integrado no centro histórico foram mantidas as soluções construtivas iniciais. Na Reabilitação Básica não foi considerado qualquer isolamento térmico e foram considerados os equipamentos definidos por defeito no RCCTE.

Na Reabilitação Energética foram considerados os materiais de isolamento térmico e os equipamentos necessários para o cumprimento regulamentar. No que respeita ao RCCTE, os equipamentos e os elementos construtivos da fachada (embora com uma importância muito inferior) são dos parâmetros que mais influenciam o desempenho energético (Araújo et. Al, 2013). Apresenta-se de seguida a descrição dos elementos construtivos e dos equipamentos utilizados:

1. Paredes de fachada – Pano de alvenaria de granito com 53 cm de espessura, argamassa de reboco tradicional com 2 cm de espessura. Isolamento térmico colocado pelo interior em lã de rocha com 5 cm de espessura e placa de gesso cartonado de 1.2 cm;
2. Paredes interiores em contacto com espaço não útil – Parede de dois panos em tabique de gesso cartonado com 5 cm de lã de rocha no interior;
3. Paredes interiores em contacto com edifícios adjacentes – Pano de alvenaria de granito com acabamento em argamassa de reboco tradicional com 2 cm de

- espessura. Isolamento térmico colocado pelo interior em lã de rocha com 5 cm de espessura e placa de gesso cartonado de 1.2 cm;
4. Cobertura interior (teto sob espaço não útil) – Lã de Rocha com 5 cm de espessura e placa de gesso cartonado de 1.2 cm;
 5. Envidraçados – Caixilharias em madeira, com vidro duplo com 6 mm de lâmina de ar e portadas em madeira opacas colocadas pelo interior;
 6. Todos os equipamentos foram definidos tendo em conta os equipamentos definidos por defeito no RCCTE;
 7. Sistema de aquecimento – Resistência elétrica com rendimento 1. Sistema de arrefecimento – Máquina frigorífica com eficiência (COP) de 3. Preparação de Águas Quentes Sanitárias – Painéis solares com apoio a esquentador a gás com rendimento 0.75. Tubagens de água não isoladas;
 8. Ventilação Natural – sem dispositivos de admissão de ar na fachada, nem aberturas autorreguladas, sendo o valor das Renovações de ar por hora de 0.9.

Na Tabela 3 apresentam-se os coeficientes de transmissão térmica para cada nível de reabilitação e para cada elemento construtivo.

Tabela 3 – Comparação dos coeficientes de transmissão térmica (U (W/m².°C))

	Reabilitação Básica	Reabilitação Energética
Paredes de Fachada	2.56	0.60
Paredes de Espaço Não Útil	1.79	0.61
Paredes adjacentes	2.54	0.60
Cobertura interior	4.03	0.67
Envidraçados	3.90	2.80

3.3. Soluções Construtivas e Equipamentos – Reabilitação Sustentável

Para se realizar a Reabilitação Sustentável foram introduzidas medidas de melhoria na Reabilitação Energética de modo a que se eleve o nível de sustentabilidade do edifício e a que este se torne num nZEB.

Nos sistemas construtivos apenas foram alterados os vãos envidraçados, trocando a caixilharia de madeira sem classe por uma de classe 3 e introduzindo um vidro duplo com 16 mm de lâmina de ar, reduzindo assim as Renovações de ar por hora para 0.75. As proteções solares não foram alteradas devido à categoria do imóvel, mas a sua disposição pôde ser alterada. Assim foi possível colocar as portadas de madeira pelo exterior.

Equipamentos:

1. Sistema de aquecimento – Recuperador a Pellets com rendimento 0.91 e potência 14kW, proporcionando 100% das necessidades energéticas de aquecimento;
2. Sistema de arrefecimento – Máquina frigorífica com eficiência (COP) de 3, fornecido a 100% por energia proveniente de telhas fotovoltaicas (colocadas nas pendentes da cobertura orientadas a Este e a Oeste);
3. Preparação de Águas Quentes Sanitárias – Painéis solares (colocados na pendente da cobertura orientada a sul) com apoio a esquentador a gás com rendimento 1.01. Tubagens de água isoladas.

A quantidade de energia produzida pelas telhas fotovoltaicas e pelos painéis solares foi estimada tendo em conta a orientação, a geometria da cobertura e o sombreamento provocado pelos edifícios vizinhos. De notar que a aplicação de painéis solares e fotovoltaicos não é permitida em todos os centros históricos, sendo Viana do Castelo uma das exceções.

3.4. Desempenho Energético – Reabilitação Básica e Energética

Apresentam-se na Tabela 4 os resultados obtidos pela avaliação energética para cada nível de reabilitação. Nesta tabela são apresentados os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do caso de estudo (Nic), das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (Nvc), das necessidades nominais anuais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (Nac), das necessidades globais de energia primária (Ntc) e os respetivos valores limite regulamentares (Ni, Nv, Na e Nt).

Tabela 4 – Comparação do desempenho energético entre a Reabilitação Básica e a Reabilitação Energética

	kWh/m ² .ano						kgep/m ² .ano	
	Nic	Ni	Nvc	Nv	Nac	Na	Ntc	Nt
R. Básica	259.15	87.04	2.74	16.00	64.75	50.10	13.11	7.69
R. Energética	87.24	87.70	3.90	16.00	26.34	51.39	4.83	7.87
Varição da R. Energética em relação à R. Básica	66.34%		-42.34%		59.32%		63.16%	

Da Reabilitação Básica para a Reabilitação Energética os indicadores Ni, Na e Nt aumentaram os seus valores. Esta diferença deve-se à alteração dos parâmetros geométricos pela colocação do isolamento térmico pelo interior. Com a diminuição da área útil de pavimento o valor de Na irá aumentar. O Ni também se altera devido à alteração do valor do fator de forma do edifício. O Nt como depende diretamente destes indicadores também irá aumentar o seu valor.

Através dos resultados obtidos verifica-se que na Reabilitação Básica apenas o indicador Nvc cumpre os requisitos regulamentares, enquanto na Reabilitação Energética todos os indicadores são cumpridos.

3.5. Desempenho Energético – Reabilitação Sustentável

Apresentam-se na Tabela 5 os resultados obtidos pela avaliação energética para cada nível de reabilitação.

Tabela 5 – Comparação do desempenho energético entre todos os níveis de Reabilitação

	kWh/m ² .ano						kgep/m ² .ano	
	Nic	Ni	Nvc	Nv	Nac	Na	Ntc	Nt
R. Básica	259.15	87.04	2.74	16.00	64.75	50.10	13.11	7.69
R. Energética	87.24	87.70	3.90	16.00	26.34	51.39	4.83	7.87
R. Sustentável	79.50	87.70	3.19	16.00	0.00	51.39	0.00	7.87
Varição da R. Sustentável em relação à R. Energética	8.87%		18.21%		100%		100%	

Através dos resultados obtidos verifica-se que as necessidades globais de energia primária são nulas na Reabilitação Sustentável. Isto deve-se sobretudo à utilização de equipamentos que produzem energia através de fontes renováveis. As necessidades nominais de energia útil para aquecimento são colmatadas pelo recuperador a pellets. Enquanto as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento e para preparação de águas quentes sanitárias são colmatadas pela energia fornecida pelas telhas fotovoltaicas. Assim obtiveram-se necessidades globais de energia nulas devido ao balanço entre a energia que o edifício consome para climatização e a produção de energia renovável.

A quantidade de telhas fotovoltaicas foi calculada de modo a fornecer a totalidade da energia para o sistema de arrefecimento e a colmatar o défice provocado pela utilização do esquentador. Assim, para que o valor do Ntc do caso em estudo fosse 0, a energia produzida pelas telhas fotovoltaicas terá de ser igual à soma das necessidades energéticas no Verão e das necessidades para preparação de AQS, uma vez que as necessidades de aquecimento foram já anuladas com o recuperador a pellets. Para se determinar a energia produzida por uma telha fotovoltaica, foi necessário recorrer ao programa “sunbird” (do Joint Research Centre - JRC). Este programa contabiliza a energia em função das obstruções existentes, do ângulo da pendente e da sua orientação.

Fixed system: inclination=23 deg., orientation=-28 deg.					Fixed system: inclination=23 deg., orientation=62 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm	Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	0.02	0.563	2.67	82.8	Jan	0.02	0.472	2.26	69.9
Feb	0.03	0.724	3.86	108	Feb	0.02	0.633	3.38	94.5
Mar	0.03	1.03	5.10	158	Mar	0.03	0.940	4.67	145
Apr	0.04	1.15	6.03	181	Apr	0.04	1.10	5.77	173
May	0.04	1.30	6.69	207	May	0.04	1.28	6.58	204
Jun	0.04	1.34	7.22	216	Jun	0.04	1.34	7.20	216
Jul	0.04	1.39	7.25	225	Jul	0.04	1.37	7.17	222
Aug	0.04	1.32	6.94	215	Aug	0.04	1.28	6.88	207
Sep	0.04	1.12	5.94	178	Sep	0.03	1.04	5.48	164
Oct	0.03	0.851	4.24	131	Oct	0.02	0.758	3.76	117
Nov	0.02	0.609	3.03	90.8	Nov	0.02	0.516	2.57	77.2
Dec	0.02	0.521	2.46	76.4	Dec	0.01	0.432	2.06	63.9
Year	0.03	0.994	5.12	156	Year	0.03	0.930	4.80	146
Total for year		12		1870	Total for year		11		1750

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Figura 3 – Energia produzida por uma telha fotovoltaica ao longo do ano.

Foram seleccionadas as vertentes dos telhados com a melhor orientação e foram também consideradas as deduções das áreas dos painéis solares. Como se vê na Figura 3 o telhado melhor orientado será o que tem vertente a Este, uma vez que uma telha fotovoltaica produz aproximadamente 12 kWh, enquanto uma telha fotovoltaica colocada na vertente Oeste produz aproximadamente 11 kWh. Com a energia necessária já estimada, fez-se o cálculo do número de telhas, bem como a área necessária para igualar as necessidades energéticas. Encontram-se na Tabela 6 os resultados obtidos para um esquentador com rendimento 1.01.

Tabela 6 – Cálculo das características do sistema fotovoltaico para um esquentador com rendimento 1.01

Telhas Fotovoltaicas		
Orientação	Este	Oeste
Área de cada painel por telha m ²	0.0784	
Energia necessária kW	781.83	21.22
Área necessária m ²	5.14	0.15
Nº de telhas	65.60	1.90
Área ocupada pelas telhas m ²	12.67	0.37
Área de telhado considerada m ²	12.33	1.00
Nº de telhas	64	5
Eren kW	760.61	57.77
Eren total kW	818.37	

No documento das perguntas e respostas da ADENE, sobre o RCCTE, aconselha-se a contabilização das energias renováveis no indicador Nac. Assim a energia que “sobra” da

utilização do sistema de arrefecimento é contabilizada para reduzir o indicador Nac. A energia obtida com o sistema fotovoltaico, e porque se trata de uma fonte de energia renovável permite, para além de anular a totalidade das necessidades de arrefecimento, anula o Nac tal como se mostra pela equação 2 (RCCTE).

$$Nac = \frac{\left(\frac{Qa}{\eta a}\right) - E_{solar} - E_{ren}}{A_p} \quad (2)$$

3.6. Avaliação da Sustentabilidade – Reabilitação Básica e Energética

Além das soluções construtivas apresentadas anteriormente, foram considerados outros elementos existentes no local para fazer a avaliação da sustentabilidade. De seguida enumeram-se alguns dos elementos que se consideram mais importantes, tendo em conta o desempenho de sustentabilidade obtido:

- Preexistência de edificado;
- Materiais reutilizados – paredes de alvenaria;
- Existência de um ecoponto a 290 metros do edifício;
- Inexistência de condições para o armazenamento de resíduos sólidos;
- Aparelhos de utilização de água com características semelhantes aos aparelhos convencionais;
- Os painéis de *Oriented Strand Board* (OSB) utilizados na cobertura e nos pavimentos interiores apresentam baixo teor em compostos orgânicos voláteis;
- O edifício é servido por um vasto conjunto de amenidades, tais como cafés, restaurantes, multibancos, escolas e por transportes públicos.

Estas características conduziram aos resultados apresentados na Tabela 7, na Tabela 8 e na

Tabela 9 para a avaliação da sustentabilidade da Reabilitação Básica e da Reabilitação Energética. As diferenças entre a reabilitação básica e energética são as apresentadas no capítulo 3.2. Todos os indicadores e parâmetros relevantes para a avaliação da sustentabilidade estão descritos na

Tabela 2.

Tabela 7 – Desempenho do edifício ao nível de cada categoria para a reabilitação básica e energética

Dimensão	Categoria	Básica	Nível	Energética	Nível
Ambiental	C1 - Alterações climáticas e qualidade do ar exterior	1.187	A+	0.963	A
	C2– Uso do solo e biodiversidade	0.789	A	0.789	A
	C3– Energia	-0.200	E	0.365	C
	C4– Materiais e resíduos sólidos	0.300	C	0.275	C
	C5– Água	-0.084	E	-0.084	E
Social	C6– Conforto e saúde dos ocupantes	0.246	C	0.418	B
	C7– Acessibilidade	0.455	B	0.455	B
	C8– Sensibilização e educação para a sustentabilidade	-0.200	E	-0.200	E
Económica	C9– Custos de ciclo de vida	0.550	B	0.565	B

Tabela 8 – Desempenho do edifício ao nível de cada parâmetro para a reabilitação básica e energética

Parâmetro	Básica	Nível	Energética	Nível
P1 – Valor agregado das categorias de impacte ambiental de ciclo de vida do edifício por m ² de área útil de pavimento e por ano	1.187	A+	0.963	A
P2 – Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível	1.200	A+	1.200	A+
P3 – Índice de impermeabilização	-0.200	E	-0.200	E

P4 – Percentagem de área de intervenção previamente contaminada ou edificada	1.110	A+	1.110	A+
P5 – Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones	-0.200	E	-0.200	E
P6 – Percentagem de área em planta com refletância igual ou superior a 60%	1.200	A+	1.200	A+
P7 – Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização	-0.200	E	0.515	B
P8 – Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis	-0.200	E	0.215	C
P9 – Percentagem em custo de materiais reutilizados	1.200	A+	1.100	A+
P10 – Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício	0.000	D	0.000	D
P11 – Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados	0.000	D	0.000	D
P12 – Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão	0.000	D	0.000	D
P13 – Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos	0.000	D	0.000	D
P14 – Volume anual de água consumida per capita no interior do edifício	-0.132	E	-0.132	E
P15 – Percentagem de redução do consumo de água potável	0.000	D	0.000	D
P16 – Potencial de ventilação natural	0.333	C	0.333	C
P17 – Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo em COV	0.063	D	0.063	D
P19 – Média do Fator de Luz do Dia Médio	0.040	D	0.040	D
P20 – Nível médio de isolamento acústico	0.580	B	1.200	A+
P21 – Índice de acessibilidade a transportes públicos	-0.150	E	-0.150	E
P22 – Índice de acessibilidade a amenidades	1.200	A+	1.200	A+
P23 – Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício	-0.200	E	-0.200	E
P24 – Valor do custo do Investimento inicial por m ² de área útil	0.712	A	0.237	C
P25 – Valor atual dos custos de utilização por m ² de área útil	0.390	C	0.890	A

Tabela 9 – Desempenho do edifício ao nível das três dimensões da sustentabilidade para a reabilitação básica e energética

Dimensão	Básica	Nível	Energética	Nível
Ambiental	0.274	C	0.461	B
Social	0.264	C	0.367	C
Económica	0.550	B	0.565	B
Nível de Sustentabilidade	0.354	C	0.464	B

O valor do parâmetro P1 diminui em relação à Reabilitação Básica devido à inclusão de novo material, nomeadamente isolamento térmico e gesso cartonado. O valor do parâmetro P9 diminui devido ao aumento do investimento em relação à Reabilitação Básica. O parâmetro P20 melhora o seu nível devido à aplicação de lã de rocha nas paredes e nas lajes, melhorando o isolamento acústico. Os parâmetros referentes à economia também se alteram, diminuindo o valor do parâmetro P24 devido ao aumento do investimento e aumentando o valor do parâmetro P25 devido à diminuição do valor dos custos de utilização.

3.7. Avaliação da Sustentabilidade – Reabilitação Sustentável

O peso relativo de cada parâmetro na avaliação global da metodologia SBTool^{PT}-H varia com a importância do impacto avaliado nesse parâmetro. A Figura 4 mostra quais os parâmetros que apresentam um maior peso relativo. Tendo em conta esse peso, será mais compensatório, em termos de desempenho sustentável, investir em soluções que melhorem o desempenho ao nível dos parâmetros mais influentes.

Através da Figura 4 percebe-se que os parâmetros referentes à energia (P7 e P8) apresentam um elevado peso relativo, tendo também os parâmetros económicos (P24 e P25) um elevado contributo na nota sustentável global.

O estudo efetuado também permitiu constatar que existem parâmetros que podem ser melhorados sem agravar muito o investimento, sendo eles os parâmetros P11, P13, P14, P17 e o P23.

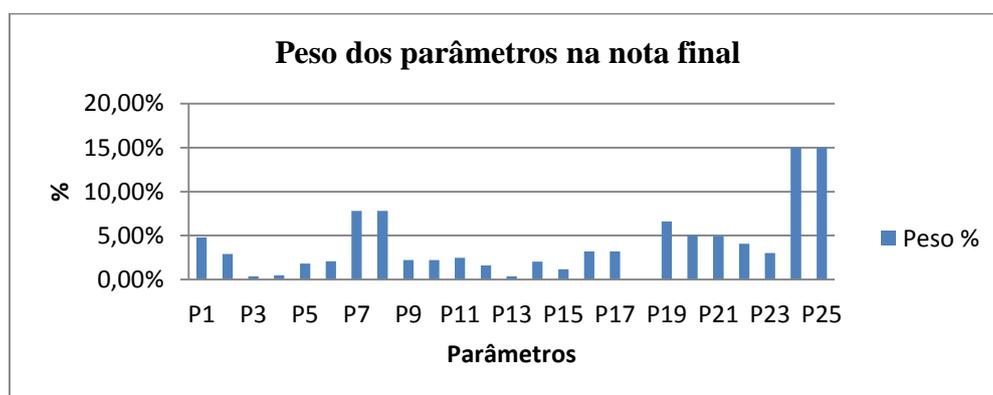


Figura 4 – Peso dos parâmetros na nota final de sustentabilidade

Para a reabilitação sustentável foram consideradas as soluções construtivas mencionadas anteriormente. Além disso foram introduzidas novas medidas de melhoria para aumentar o nível de sustentabilidade:

- Alteração dos materiais que compõem a laje de piso interior da habitação. Em vez de serem construídos por madeiras não certificadas, foi considerado que seriam construídos por materiais com certificados ambientais;
- Colocação de contentores de resíduos recicláveis com existência de pilhão;
- Aplicação de redutores de caudal nos aparelhos de utilização sanitária, máquinas de baixo consumo e bacia de retrete com dupla descarga de 4/2 l;
- Aplicação de materiais com baixo teor em compostos orgânicos voláteis;
- Disponibilização do Manual do Utilizador do Edifício.

Estas características conduziram aos resultados apresentados na Tabela 10, na Tabela 11 e na Tabela 12.

A diminuição das necessidades energéticas, a aplicação de energias de fontes renováveis, a aplicação de materiais certificados, a colocação de ecopontos domésticos, a seleção de materiais com menor consumo de água, a aplicação de materiais com baixos teores em COV, a aplicação de isolamento acústico e a realização do manual do utilizador, contribuem assim para uma melhor nota sustentável. Com todas as melhorias introduzidas, a avaliação da sustentabilidade passou do nível B na Reabilitação Energética para o nível A na Reabilitação Sustentável.

Tabela 10 – Desempenho do edifício ao nível de cada parâmetro para a reabilitação sustentável

Parâmetro	R. Sustentável	Nível
P1 – Valor agregado das categorias de impacte ambiental de ciclo de vida do edifício por m ² de área útil de pavimento e por ano	0.963	A
P2 – Percentagem utilizada do índice de utilização líquido disponível	1.200	A+
P3 – Índice de impermeabilização	-0.200	E
P4 – Percentagem de área de intervenção previamente contaminada ou edificada	1.110	A+
P5 – Percentagem de áreas verdes ocupadas por plantas autóctones	-0.200	E
P6 – Percentagem de área em planta com refletância igual ou superior a 60%	1.200	A+
P7 – Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização	1.200	A+
P8 – Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis	1.200	A+
P9 – Percentagem em custo de materiais reutilizados	0.980	A
P10 – Percentagem em peso do conteúdo reciclado do edifício	0.000	D
P11 – Percentagem em custo de produtos de base orgânica que são certificados	1.200	A+
P12 – Percentagem em massa de materiais substitutos do cimento no betão	0.000	D
P13 – Potencial das condições do edifício para a promoção da separação de resíduos sólidos	0.875	A
P14 – Volume anual de água consumida per capita no interior do edifício	1.069	A+
P15 – Percentagem de redução do consumo de água potável	0.000	D
P16 – Potencial de ventilação natural	0.333	C
P17 – Percentagem em peso de materiais de acabamento com baixo conteúdo em COV	1.111	A+
P19 – Média do Fator de Luz do Dia Médio	0.040	D
P20 – Nível médio de isolamento acústico	1.200	A+
P21 – Índice de acessibilidade a transportes públicos	-0.150	E
P22 – Índice de acessibilidade a amenidades	1.200	A+
P23 – Disponibilidade e conteúdo do Manual do Utilizador do Edifício	1.200	A+
P24 – Valor do custo do Investimento inicial por m ² de área útil	-0.200	E
P25 – Valor atual dos custos de utilização por m ² de área útil	1.200	A+

Tabela 11 – Desempenho do edifício ao nível de cada categoria para a reabilitação sustentável

Categoria	R. Sustentável	Nível
C1 - Alterações climáticas e qualidade do ar exterior	0.963	A
C2- Uso do solo e biodiversidade	0.789	A
C3- Energia	1.200	A+
C4- Materiais e resíduos sólidos	0.615	B
C5- Água	0.684	B
C6- Conforto e saúde dos ocupantes	0.603	B
C7- Acessibilidade	0.455	B
C8- Sensibilização e educação para a sustentabilidade	1.200	A+
C9- Custos de ciclo de vida	0.500	B

Tabela 12 – Desempenho do edifício ao nível das três dimensões da sustentabilidade para a reabilitação sustentável

Dimensão	R. Sustentável	Nível
Ambiental	0.923	A
Social	0.618	B
Económica	0.500	B
Nível de Sustentabilidade	0.705	A

3.8. Análise Económica

Na Tabela 13 são apresentados os custos de investimento estimados e a respetiva variação do investimento em relação à Reabilitação Básica. Também são apresentados na mesma tabela os resultados dos custos de ciclo de vida referentes ao gasto de energia e água na fase de utilização do edifício.

Tabela 13 – Estudo económico

	Investimento Inicial (€)	Variação (%)	Energia (€/ano)	Variação (%)	Água (€/ano)	Variação (%)	Custos de utilização (€/ano)	Variação (%)
R. Básica	59879.77		785.99		153.66		939.65	
R. Energética	65256.55	8.98%	290.53	-63.04%	153.20	-0.30%	443.73	-52.78%
R. Sustentável	73506.00	22.76%	34.51	-95.61%	66.94	-56.44%	101.44	-89.20%

As medidas impostas na Reabilitação Sustentável representam um agravamento no investimento de 22.76% em relação à Reabilitação Básica, significando no entanto uma redução de 95.61% nos custos de ciclo de vida.

Os custos considerados para a energia e água estão apresentados na Tabela 14 e na Tabela 15.

Tabela 14 – Custo de várias fontes de energia

Custos de energia	
Fonte de energia	Custo €/kWh
Eletricidade	0.178
Gás natural	0.100
Gás propano	2.160
Gasóleo	0.1478
Pellets	0.0567

Tabela 15 – Tarifas da água para Viana do Castelo

Custo da água	
Águas	Custo €
T _{AP}	0.4474
T _{RS}	0.1958

Através da análise da Figura 5 verifica-se facilmente que o período de retorno do investimento na Reabilitação Sustentável em relação ao investimento na Reabilitação Básica é de 16 anos. Já entre a Reabilitação Sustentável e a Reabilitação Energética, o período de retorno desse investimento é de 25 anos.

Por outro lado a Reabilitação Energética apresenta um retorno do investimento mais curto fixando-se nos 11 anos em relação à Reabilitação Básica.

Verifica-se assim que tendo em conta as medidas selecionadas, a reabilitação energética é aquela que permite obter um período de retorno mais curto. A reabilitação sustentável por sua vez apresenta um período de retorno maior uma vez que também apresenta um valor superior em termos de investimento inicial.

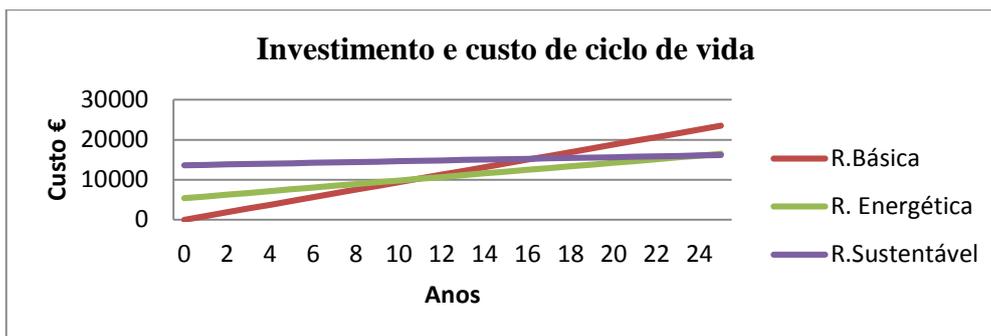


Figura 5 – Cálculo do período de retorno

4. CONCLUSÕES

A maioria dos edifícios mais antigos localizados nos centros históricos não se adequam às exigências contemporâneas, devido à falta de conforto proporcionada designadamente em termos de conforto térmico. No entanto, a conservação do património e a reabilitação urbana são setores estratégicos para o futuro das cidades.

Na análise energética ficou provado que:

- A escolha de proteções solares exteriores em vez das interiores, fazem diminuir consideravelmente as necessidades energéticas na estação de arrefecimento, uma vez que o controlo da radiação que entra pelo envidraçado é mais eficaz;

- A escolha dos equipamentos de climatização e de AQS é a que mais influencia o valor das necessidades globais de energia. A opção deve privilegiar a seleção de equipamentos que apresentem um fator de conversão para energia primária baixo e de sistemas de energias renováveis que apresentem fatores de conversão igual a 0;

- A obtenção de edifícios de balanço energético nulo implica a opção por equipamentos com fontes de energia renováveis.

No estudo da sustentabilidade ficou provado que:

- Em termos ambientais, a reutilização do solo, a reutilização e a escolha criteriosa de materiais garantem um bom nível nesta dimensão;

- A redução das necessidades energéticas faz aumentar a sustentabilidade do edifício, devido à redução do custo de ciclo de vida e à redução do consumo de energia primária não renovável;

- A localização do edifício influencia o seu desempenho na sustentabilidade. Edifícios que se situam em centros históricos das cidades possuem acesso facilitado a um vasto conjunto de amenidades, bem como uma malha mais densa de transportes públicos;

- Apesar de a Reabilitação Sustentável necessitar na maioria das vezes de um acréscimo no investimento inicial, a redução substancial dos custos de utilização fazem com que se obtenha retorno do investimento a médio prazo. Além disso o conforto obtido por este tipo de reabilitação melhora a qualidade de vida dos seus utilizadores.

Em todos os treze casos de estudo analisados no decorrer deste trabalho foi possível reabilitar edifícios antigos de forma sustentável e com necessidades quase nulas de energia, sendo tudo isto possível sem investimentos muito excessivos.

5. REFERÊNCIAS

- ADENE (2011). *“Perguntas e Respostas sobre o RCCTE”*. Lisboa: ADENE.
- Araújo, Catarina; Almeida, Manuela; Bragança, Luís; *“Evaluation of the impact of some Portuguese thermal regulation parameters on the buildings energy performance”* – International Conference COST C25, p463;
- Araújo, Catarina; Almeida, Manuela; Bragança, Luís; *“Analysis of some Portuguese thermal regulation parameters”*, Energy and Buildings, Volume 58, March 2013, Pages 141-150, ISSN 0378-7788, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.024>.
- Bezerra, J. C.; Bragança, L. (2012). *“Reabilitação de edifícios de habitação – Desempenhos energético e de sustentabilidade”*. Guimarães: Universidade do Minho.
- Bragança, L.; Mateus, R. (2009). *“Guia de Avaliação SBToolPT – H”*. Guimarães: iiSBE Portugal.
- Câmara Municipal de Viana do Castelo (2008). *“Plano Director Municipal de Viana do Castelo”*. Viana do Castelo: Câmara Municipal de Viana do Castelo.
- Cole, R. J. (1999). *“Building environmental assessment methods: clarifying intentions.”* Building Research & Information 27(4-5): 230-246.
- Ding, G. K. C. (2008). *“Sustainable construction - “The role of environmental assessment tools.”* Journal of Environmental Management 86(3): 451-464.
- Figueiredo, C. (2009). *“Aumentar a Sustentabilidade na Reabilitação: Caso de uma Habitação Unifamiliar de Custos Controlados”*. Guimarães: Universidade do Minho.
- iiSBE – international initiative for a sustainable built environment. Disponível em: <http://www.iisbe.org/>. Consultado a 22/02/2013
- Instituto Nacional de Estatística (2011). *“Estatísticas da Construção e Habitação”*. 2nd ed. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- Lima, F. ; Bragança, L.; Mateus, R. (2012). *“Edifícios antigos – reabilitação sustentável low cost”*. Guimarães: Universidade do Minho.
- M.L.E. *“Caldeiras e salamandras a pellets”*. Obtido de: <http://www.mle.pt/categoria/extraflame-aquecimento-central/caldeiras-a-pellets/>. Consultado em Julho 2013
- Mateus, R. (2004). *“Novas Tecnologias Construtivas com Vista à Sustentabilidade da Construção”*. Guimarães: Universidade do Minho.
- Mateus, R. and L. Bragança (2011). *“Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBToolPT-H.”* Building and Environment 46(10): 1962-1971.
- SCE (2006). *Decreto-lei n.º 78/2006 de 4 de Abril. “Sistema de Certificação Energética”*.
- RSECE (2006). *Decreto-lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. “Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios”*.
- RCCTE (2006c). *Decreto-lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. “Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios”*.
- Rodrigues, A. (2011). *“Reabilitação energética dos edifícios: caracterização em termos energéticos dos edifícios existentes e elaboração de proposta de reabilitação numa perspetiva custo/benefício”*. Guimarães: Universidade do Minho.
- Silva, S. M. *“Conservação e Reabilitação das Construções”*. Guimarães: Universidade do Minho.
- Tirone, L.; Nunes, K. (2008). *“Construção Sustentável”*. 2nd ed. Sintra: Tirone Nunes, SA.
- Vasco da Cunha, estudos e projetos. (2005). *“Carta educativa intermunicipal da Valimar COMURB”*. Viana do Castelo: Valimar.