

**Avaliação técnico-económica da alteração dos requisitos para
cumprimento da regulamentação de desempenho energético de
edifícios de habitação: REH 2013 vs RCCTE 2006**

José Carlos da Rocha Moreira

Dissertação do MIEM

Orientador na FEUP: Professor Vítor Leal



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho de 2014

Avaliação técnico-económica da alteração dos requisitos para cumprimento da regulamentação de desempenho energético de edifícios de habitação: REH 2013 vs RCCTE 2006

Aos meus pais e irmã

Lista de Acrónimos

<i>Sigla</i>	<i>Designação</i>
AQS	Águas Quentes Sanitárias
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comercio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RSECE	Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
VAL	Valor Atual Líquido

Simbologia Latina

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>	<i>Unidades</i>
A	Área	m ²
Aext	Área da envolvente exterior da fração com exigências térmicas	m ²
Aint	Área da envolvente interior da fração com exigências térmicas	m ²
Ap	Área útil de pavimento	m ²
a1	Coefficiente de perda linear	W/m ² /K
a2	Coefficiente de perda secundário	W/m ² /K ²
Esolar	Energia fornecida por um coletor solar	kWh
Eren	Energia produzida a partir de fontes de origem renovável	kWh/ano
FF	Fator de forma da fração	
fi	Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema	
fv	Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema	
fa	Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema	
Fpu	Fator de conversão de energia primária	kWh _{ep} /kWh
GD	Número de graus-dia de aquecimento	°C·dia
Gsul	Valor médio mensal de energia solar incidente numa superfície vertical orientada a Sul	kWh/ m ² ·mês
Na	Necessidades máximas admissíveis de águas quentes sanitárias	kWh/m ² ·ano
Nac	Necessidades nominais de águas quentes sanitárias	kWh/m ² ·ano
Ni	Necessidades máximas admissíveis (ou de referência) de aquecimento	kWh/m ² ·ano
Nic	Necessidades nominais de aquecimento	kWh/m ² ·ano
Nv	Necessidades máximas admissíveis (ou de referência) de	kWh/m ² ·ano

Avaliação técnico-económica da alteração dos requisitos para cumprimento da regulamentação de desempenho energético de edifícios de habitação: REH 2013 vs RCCTE 2006

	arrefecimento	
Nvc	Necessidades nominais de arrefecimento	kWh/m ² ·ano
Nt	Necessidades anuais máximas admissíveis (ou de referência) de energia primária equivalente	kgep/m ² ·ano (RCCTE) kWh _{ep} /m ² ·ano (REH)
Ntc	Necessidades anuais de energia primária equivalente	kgep/m ² ·ano (RCCTE) kWh _{ep} /m ² ·ano (REH)
Pd	Pé-direito médio da fração autónoma	m
Qa	Necessidades de energia útil para preparação de AQS	kWh/ano
Qg	Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento	kWh
Qgu	Ganhos totais uteis	kWh/ano
Qgu, ref	Ganhos totais uteis de referência	kWh/ano
Qt	Transferência de calor por transmissão através da envolvente	kWh
Qt, ref	Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência	kWh
Qv	Transferência de calor por ventilação	kWh
Qv, ref	Transferência de calor por ventilação de referência	kWh
Rph	Taxa de renovação de ar	h ⁻¹
<i>spf</i>	<i>Specific fan power</i>	kW/m ³ ·s
U	Coefficiente de transferência térmico	W/m ² ·°C
Uglobal	Coefficiente de transferência térmico global	W/°C
Wvm	Energia elétrica necessária para funcionamento de ventiladores	kWh/ano
V	Volume interior da fração	m ³

Simbologia Grega

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>	<i>Unidades</i>
Δ	Variação	
η	Rendimento	
η _i	Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de aquecimento	
η _{inv}	Rendimento do equipamento utilizado para aquecimento	
η _{ref}	Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência	
η _v	Rendimento do equipamento utilizado para arrefecimento	

Avaliação técnico-económica da alteração dos requisitos para cumprimento da regulamentação de desempenho energético de edifícios de habitação: REH 2013 vs RCCTE 2006

η_a	Rendimento do equipamento utilizado para águas quentes sanitárias
$\eta_{e,ref}$	Valor do rendimento de referência
η_o	Rendimento óptico de um coletor solar

Resumo

Este trabalho pretende avaliar técnico-economicamente a alteração dos requisitos para cumprimento do novo regulamento em vigor para edifícios de habitação (REH) em relação ao regulamento antigo (RCCTE), e numa outra fase para a obtenção de etiqueta energética A+. Para isso, considerou-se um caso de estudo em 7 diferentes localizações geográficas específicas do país.

Numa primeira fase propôs-se o cumprimento regulamentar tangencial pelo RCCTE, incorporar as características construtivas deste no novo regulamento em vigor (REH) e caso não o cumpra, estudar o conjunto de soluções construtivas para que a fração cumpra o REH. Numa segunda fase, efetua-se a obtenção da classe energética A+ pelo RCCTE e vai-se ao encontro da metodologia de análise efetuada na primeira fase, isto é, considera-se as características do edifício A+ pelo RCCTE e aplicam-se ao REH. Se não se verificar a mesma classificação, procura-se um conjunto de soluções construtivas para essa obtenção. Por último, efetuou-se a análise económica das alterações construtivas realizadas para cada caso de apresentado.

Com os resultados demonstra-se que em alguns casos as características que antes cumpriam o RCCTE não cumprem o REH, mas que se consegue o cumprimento com relativa facilidade, alterando apenas ligeiramente os vãos envidraçado. No que diz respeito à obtenção de etiqueta energética de topo (A+), na passagem do RCCTE para o REH, não é possível em nenhuma das zonas a obtenção de classe superior sem efetuar alterações construtivas. Na análise económica conclui-se para cumprir só é necessária alterar vãos envidraçados, mas com custos pouco elevados. Já na procura de obter classe A+, denota-se que a via que mais compensa é a de um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor em conjunto com uma bomba de calor de elevada eficiência que supre as necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS.

Technical and economic assessment of the change of regulatory compliance requirements for the energy performance of residential buildings: REH 2013 vs RCCTE 2006

Abstract

This work aims to evaluate the technical and economic changes of the requirements for compliance with the new regulation to residential buildings (REH) and in another phase getting energy label A +. For this, we considered a case study in 7 different geographic specific locations of the country.

A first step it was proposed a tangential regulatory compliance by RCCTE, incorporate the constructive characteristics of the new regulation (REH) and if it fails to comply, study the set of constructive solutions to the fraction that meets the REH. In second phase, carried out to obtain the energy class A + by RCCTE and goes to meet the methodology of analysis in the first step, ie, we consider the characteristics of building A + by RCCTE and apply to REH. If not check the same classification, aiming for a set of constructive solutions to achieve this.

The results showed that in some cases the characteristics that complied before the RCCTE not meet the REH, but it achieves compliance with relative ease, changing only slightly the glazing. When tried to obtaining the top energy label (A +) RCCTE for the passage of the REH is not possible in any of the areas getting higher class without performing constructive modifications. The economic analysis it is concluded that to obtain approval, only needs to change glazed areas, but with a little cost. Already in looking for to obtain class A+, denotes that the route that most lacks is a mechanical ventilation system with heat recovery in conjunction with a heat pump of high efficiency that feeds the needs of heating, cooling and DHW.

Agradecimentos

Aproveito este momento para homenagear e agradecer às pessoas e instituição que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração desta dissertação.

Ao meu orientador, Professor Vítor Leal, pelos ensinamentos, motivação, apoio e também pelo amigo que mostrou ser.

Ao Doutor Vasco Granadeiro e Engenheiro Filipe Barbosa pela ajuda, simpatia, dedicação e apoio profissional por se terem disponibilizado na obtenção dos custos necessários.

A todos os colegas e amigos, pelo apoio e amizade nas horas mais difíceis ao longo da vida académica.

Aos meus pais, a minha irmã e a Rafaela Fonseca pelo apoio que contribuiu de forma decisiva na minha educação e realização pessoal e profissional e pelo apoio incondicional e incentivo.

A todos que não foram mencionados, mas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, o autor agradece.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
2	Caso de estudo: fração de habitação multifamiliar	5
3	Comparação de necessidades na estação de aquecimento	9
3.1	Comparação segundo cada metodologia	9
3.2	Comparação em igualdade de graus-dia de aquecimento	13
4	Comparação REH/RCCTE numa perspetiva de cumprimento mínimo	17
5	Comparação REH/RCCTE numa perspetiva de classe A+	23
5.1	Descrição da solução A+	23
5.2	Alterações necessárias para a obtenção de classe A+ pelo REH	27
Via A:	Ventilação Natural com 0,9 rph	29
Via B:	Ventilação Mecânica com 0,5 rph na estação de aquecimento	32
Via C:	Ventilação Natural de 0,9 rph mas com a utilização de biomassa como combustível	36
Via D:	Ventilação Mecânica de 0,9 rph com recuperação de calor	39
Desagregação	do efeito de medidas	43
6	Análise económica	47
6.1	Análise na perspetiva de cumprimento mínimo	47
6.2	Análise na perspetiva de classe A+	48
7	Conclusões	53
	Referências Bibliográficas	56
ANEXO A:	Parâmetros Térmicos da fração autónoma	57
ANEXO B:	Fatores Solares dos vãos envidraçados	62
ANEXO C:	Taxa de renovação de ar utilizada	64
ANEXO D:	Potências dos equipamentos	66

Índice de figuras

Figura 1 - Fachada Nordeste. (Camelo, Dos Santos, Ramalho, Horta, Gonçalves, & Maldonado, 2006).....	6
Figura 2 - Fachada Sudoeste. (Camelo, Dos Santos, Ramalho, Horta, Gonçalves, & Maldonado, 2006).....	6
Figura 3 - Representação da fração a analisar.	6
Figura 4 - Classe de exposição do edifício. (RCCTE, 2006)	64
Figura 5 - Taxa de renovação nominal. (RCCTE, 2006).....	65

Índice de tabelas

Tabela 1 - Características construtivas da fração autónoma.....	7
Tabela 2 – Resultados detalhados das necessidades nominais de aquecimento (Nic)	13
Tabela 3 - Resultados detalhados das necessidades máximas admissíveis de aquecimento (Ni)	13
Tabela 4 - Resultados detalhados das necessidades nominais de aquecimento (Nic).....	15
Tabela 5 - Resultados detalhados das necessidades máximas admissíveis de aquecimento (Ni)	16
Tabela 6 - Aplicação regulamentar de RCCTE e REH na perspetiva de cumprimento	17
Tabela 7 - Conjunto de caraterísticas para cumprimento do RCCTE à tangente (Config A) e alterações necessárias para cumprimento mínimo do REH (Config B)	18
Tabela 8 - Conjunto de caraterísticas para cumprimento do RCCTE à tangente (Config A) e alterações necessárias para cumprimento mínimo do REH (Config B) (continuação)	19
Tabela 9 - Características do edifício com classe A+ à tangente, segundo o RCCTE	23
Tabela 10 – Comparação RCCTE/REH na perspetiva de classe A+	25
Tabela 11 - Aplicação RCCTE e REH na perspetiva A+ com VN, sRC	29
Tabela 12 - Conjunto de caraterísticas para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VN, sRC	30
Tabela 13 - Conjunto de caraterísticas para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VN, sRC (continuação)	31

Tabela 14 - Aplicação RCCTE e REH na perspetiva A+ com VM, sRC	32
Tabela 15 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VM, sRC.....	33
Tabela 16 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VM, sRC (continuação)....	34
Tabela 17 - Aplicação RCCTE e REH na perspetiva A+ com VN, sRC (Biomassa).....	36
Tabela 18 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VN, sRC (Biomassa)	37
Tabela 19 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VN, sRC (Biomassa) (continuação)	38
Tabela 20 - Aplicação RCCTE e REH na perspetiva A+ com VM, cRC	39
Tabela 21 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VM, cRC.....	40
Tabela 22 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VM, cRC (continuação)....	41
Tabela 23 - Análise de retorno realizado na perspetiva de cumprimento	47
Tabela 24 - Custo das alterações de envidraçados e isolamentos.....	48
Tabela 25 - Total de custo inicial para cada caso de estudo.....	48
Tabela 26 – Análise de retorno realizada à via A.....	49
Tabela 27 – Análise de retorno realizada à via B.....	49
Tabela 28 - Análise de retorno realizada à via C.....	50
Tabela 29 - Análise de retorno realizada à via D.	50
Tabela 30 - Constituição da Parede exterior.....	57
Tabela 31 - Constituição da Cobertura.....	58
Tabela 32 - Constituição da Parede interior 1	58
Tabela 33 - Constituição da Parede interior 2	59
Tabela 34 - Constituição do Pavimento.....	59

Tabela 35 - Constituição dos Pilares	60
Tabela 36 - Pontes térmicas lineares existentes.....	60
Tabela 37 - Quantificação da Inércia térmica.....	61
Tabela 38 - Ângulos solares para o envidraçado VJ-1	62
Tabela 39 - Ângulos solares para o envidraçado VP-SE.....	63
Tabela 40 – Potências necessárias para os equipamentos.	66

Índice de gráficos

Gráfico 1 - Necessidades nominais de aquecimento para cada localidade.....	10
Gráfico 2 - Necessidades máximas admissíveis para cada localidade.	11
Gráfico 3 - Comparação REH/RCCTE em igualdade metodológica.	12
Gráfico 4 - Necessidades nominais de aquecimento, com igualdade de graus-dia por localidade.....	14
Gráfico 5 - Necessidades máximas admissíveis de aquecimento, com igualdade de graus-dia por localidade.	14
Gráfico 6 - Comparação RCCTE/REH em igualdade de graus-dia.	15
Gráfico 7 – Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para Lisboa.....	20
Gráfico 8 - Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para a Guarda.....	21
Gráfico 9 – Comparação das necessidades anuais de energia primária RCCTE/ REH.	25
Gráfico 10 - Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para Lisboa na perspetiva A+ segundo a via B.....	43
Gráfico 11 - Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para Guarda na perspetiva A+, segundo a via D.....	44
Gráfico 12 - Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para Lisboa na perspetiva A+, segundo a via C.....	44
Gráfico 13 - Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para Guarda na perspetiva A+, segundo a via C.....	45

1 Introdução

Com a necessidade de melhorar o compromisso entre conforto térmico e utilização de energia, surgiu em Portugal o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º40/90. Este regulamento impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações, de forma a garantir o conforto térmico dos edifícios sem a necessidade de excessivas necessidades de Inverno e de Verão, garantindo também a minimização dos efeitos patológicos na construção provenientes de condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente, requisitos que foram depois atualizados em 2006 (RCCTE, 2006).

No que diz respeito à União Europeia, aprovou-se em 2002 a Diretiva n.º 2002/91/CE relativa ao Desempenho Energético de Edifícios (EPBD), onde se estabeleceu que os estados membros da União Europeia teriam de criar um sistema de certificação energética para que os consumidores pudessem estar informados sobre as características e qualidades térmicas do edifício, para edifícios de habitação ou serviços, sejam estes novos ou remodelados. Então em 2006 esta diretiva foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º78/2006, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), Decreto-Lei n.º79/2006 que aprovou o Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Decreto-Lei 80/2006 que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Anos mais tarde, em 2010, a publicação da Diretiva n.º2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, reformulou a diretiva anterior com o objetivo de clarificar alguns dos princípios e introduzir novas disposições que reforcem o quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios. Ao transpor esta Diretiva para o direito jurídico nacional possibilitou-se melhorar a sistematização e a aplicação do sistema de sistematização energética e seus respetivos regulamentos num único diploma. Este diploma inclui o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comercio e

Serviços (RECS), sendo que os dois últimos vieram substituir o antigo RCCTE e RSECE (ITECons, 2013).

Neste trabalho foi abordada a comparação entre o regulamento antigo (RCCTE) e o novo (REH). Esta comparação foi efetuada ao nível das necessidades nominais de aquecimento (Nic), necessidades máximas admissíveis ou de referência de aquecimento (Ni), necessidades nominais de arrefecimento (Nvc), necessidades máximas admissíveis ou de referência de arrefecimento (Nv), necessidades anuais de energia primária (Ntc) e necessidades anuais máximas admissíveis de energia primária (Nt). Para além das necessidades, também foi feita uma comparação entre os dois regulamentos numa perspetiva de cumprimento mínimo e de obtenção de classificação A+. Para isso, foi utilizado um caso de estudo, sendo este um exemplo apresentado no manual de aplicação do RCCTE (Camelo, Dos Santos, Ramalho, Horta, Gonçalves, & Maldonado, 2006), sendo que o edifício é uma fração de habitação multifamiliar.

O estudo comparativo efetuado iniciou-se com uma análise das características construtivas mínimas para cumprir o RCCTE. De seguida foi analisado o desempenho dessas soluções REH, e no caso de não cumprimento do último, estudou-se o conjunto de medidas a aplicar para que este cumpra o REH.

Numa segunda análise foi determinada, para cada localização de referência, uma solução de classificação A+ pelo RCCTE, e de seguida aplicaram-se estas características construtivas ao REH para verificar se houve ou não o cumprimento. Caso não se obtenha a classificação pretendida (A+), o objetivo foi estudar as soluções ou conjunto de soluções que o permitissem, por alterações ao nível de isolamentos, envidraçados, equipamentos para suprir as necessidades e até em alguns casos, a incorporação de sistemas de ventilação mecânica com ou sem recuperação de calor.

Por fim, pretendeu-se estudar o impacto económico da alteração do RCCTE 2006 para o REH 2013, no que toca ao cumprimento mínimo regulamentar e à obtenção de classificação A+. A análise económica terá uma base de *payback simples* com vista a perceber qual é o período de retorno do investimento inicial efetuado.

O presente relatório está dividido em 7 capítulos. Este primeiro diz respeito à introdução, onde será efetuada uma apresentação de trabalho a realizar. No segundo capítulo é apresentado o caso de estudo a analisar, no terceiro é efetuada uma comparação das necessidades entre o RCCTE e o REH segundo dois critérios, sendo estes dois subcapítulos,

um de igualdade de metodologias e outro de igualdade de graus-dia de aquecimento. No quarto capítulo será efetuada uma comparação RCCTE e REH numa perspetiva de cumprimento mínimo. No quinto capítulo é efetuado a comparação entre o RCCTE e o REH numa perspetiva de classe A+. Este capítulo está dividido em 2 subcapítulos, um com a descrição da solução A+ e outro que visa estudar o conjunto de soluções para obtenção de classificação A+ pelo REH. No sexto capítulo é efetuada a análise económica acima referida e por fim, o capítulo 7 apresentará as conclusões.

Avaliação técnico-económica da alteração dos requisitos para cumprimento da regulamentação de desempenho energético de edifícios de habitação: REH 2013 vs RCCTE 2006

2 Caso de estudo: fração de habitação multifamiliar

Com a introdução deste novo regulamento surgiram várias alterações metodológicas no que diz respeito ao cálculo das necessidades de aquecimento, arrefecimento e totais. Com vista a tentar perceber estas diferenças, foi proposto um caso de estudo, que foi sujeito a análise regulamentar pelo regulamento passado (RCCTE) e pelo presente (REH). Para efetuar essa análise, foi escolhido um caso de estudo, que está representado no manual de aplicação do RCCTE (Camelo, Dos Santos, Ramalho, Horta, Gonçalves, & Maldonado, 2006). O caso de estudo descrito abaixo, diz respeito a uma habitação multifamiliar.

Caracterização da fração autónoma

O edifício, localizado em Lisboa (zona climática I1, V2 sul), designa-se de Bloco F3 do lote F e surge como um dos exemplos que é apresentado no manual de aplicação do RCCTE (decreto de lei 80/2006 de 4 de Abril) (Camelo, Dos Santos, Ramalho, Horta, Gonçalves, & Maldonado, 2006). Este edifício, que está exclusivamente destinado a habitação, é constituído por 6 pisos (0 a 5), estando cada piso dividido por 4 frações autónomas (apartamentos), com as suas principais fachadas orientadas a Nordeste (Figura 1) e a Sudoeste (Figura 2), estando a primeira em contacto com o exterior e a segunda em contacto com um edifício adjacente.



Figura 1 - Fachada Nordeste. (Camelo, Dos Santos, Ramalho, Horta, Gonçalves, & Maldonado, 2006)



Figura 2 - Fachada Sudoeste. (Camelo, Dos Santos, Ramalho, Horta, Gonçalves, & Maldonado, 2006)

A fração autónoma em análise encontra-se no piso 0 e é designada por T1-A. Esta fração tem a sua fachada principal orientada a Nordeste e uma fachada secundária orientada a Sudeste. A fração é constituída por uma sala, um quarto, uma cozinha e instalações sanitárias, ilustradas na Figura 3.

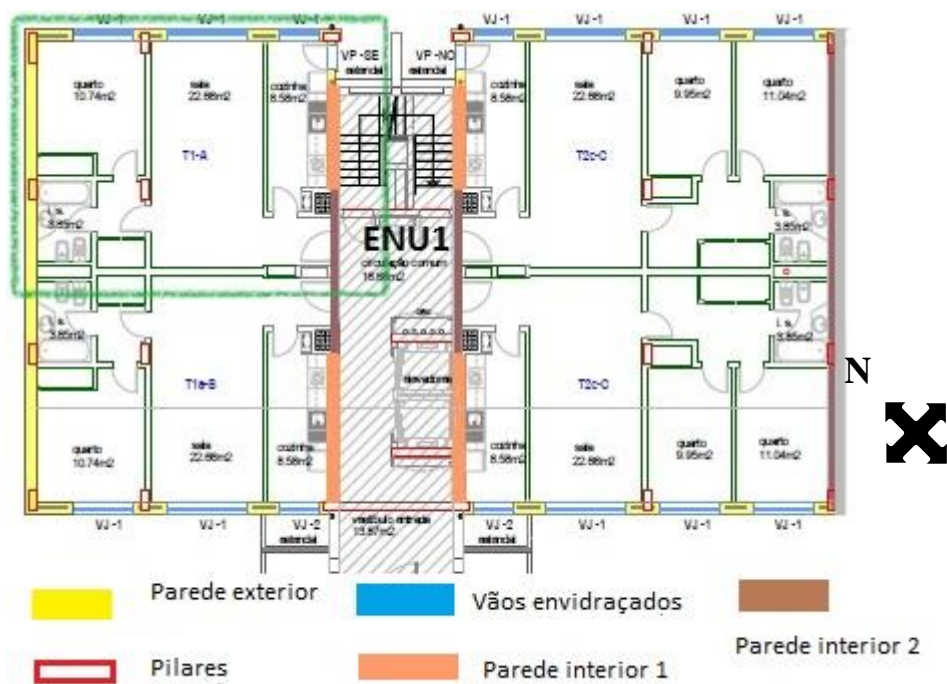


Figura 3 - Representação da fração a analisar.

As características construtivas da fração em análise estão apresentadas na tabela abaixo, Tabela 1.

Tabela 1 - Características construtivas da fração autónoma

<i>Designação</i>	<i>Característica</i>
Altura (Pd)	2,52 [m]
Área (Ap)	53,48[m ²]
Parede exterior	Parede simples de tijolo de 0,24 m com isolamento pelo interior de EPS (Poliestireno expandido) de 0,02 m de espessura e rebocadas pelo interior e exterior 0,02 m
Cobertura	Constituída por uma laje de betão com 0,3 m de espessura, 0,02 m de espessura de isolamento (EPS) e 0,1 m de reboco interior
Pilares	Caracterizam-se por 0,14 m de espessura de betão com 0,06 m de espessura de poliestireno expandido (EPS) e rebocado pelo interior e pelo exterior com uma espessura de 0,02 m cada.
Parede interior 1	Constituída por um pano de tijolo de 0,2 m, espessura de isolamento (EPS) de 0,02 m e reboco interior e exterior de 0,02 m;
Parede interior 2	Constituída por um pano de tijolo de 0,24 m, espessura de isolamento (EPS) de 0,02 m e reboco interior e exterior de 0,02 m
Pavimento	Constituído por uma laje maciça de betão de 0,3 m de espessura, 0,02 m de Poliestireno expandido, 0,015 m de betonilha e 0,02 m de cerâmica vidrada.
VJ-1	Vidro duplo incolor de 4 a 8mm+incolor 4mm, s/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 6mm de espessura de ar U=3,4 [W/m ² .C] (cortina opaca interior como dispositivo de oclusão noturna)
VP-SE	Vidro duplo incolor de 4 a 8mm+incolor 4mm, s/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 6mm de espessura de ar U=3,9 [W/m ² .C] (sem dispositivo de oclusão noturna)

Os parâmetros térmicos da fração autónoma e os fatores solares dos vãos envidraçados estão apresentados em anexo, nomeadamente, Anexo A e Anexo B, respetivamente.

3 Comparação de necessidades na estação de aquecimento

Com vista a perceber as diferenças das necessidades de aquecimento do RCCTE e REH, propôs-se dois estudos comparativos entre estes regulamentos.

O primeiro estudo diz respeito a uma comparação segundo cada metodologia. Este estudo consiste em a partir das soluções construtivas apresentadas no capítulo 2, analisar a fração segundo o RCCTE e segundo o REH, comparando-as de seguida.

O segundo estudo tem como base o primeiro, com a diferença que no RCCTE utiliza-se um número de graus-dia de aquecimento igual ao do REH, de forma a perceber o impacto da diminuição da temperatura interior de base de 20°C para 18°C.

A taxa de ventilação natural do edifício é de 0,9 renovações de ar por hora (rph) e é apresentada no anexo C.

3.1 Comparação segundo cada metodologia

Com vista a tentar perceber de que forma o novo regulamento e o antigo diferem, foi proposta a análise da fração autónoma pelo REH e pelo RCCTE. Para isso, aplicou-se o RCCTE à fração autónoma e de seguida aplicaram-se as mesmas características construtivas na metodologia do REH.

Uma das problemáticas a analisar foi o impacto que o número de graus-dia de aquecimento provocou ao alterar uma temperatura interior de base de 20°C para uma temperatura de 18°C.

Nas equações 1, está apresentada a fórmula de cálculo das necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) pelo RCCTE (RCCTE, 2006) e pelo REH (ITECons, 2013).

$$N_{ic} = \frac{Q_t + Q_v - Q_{gu}}{A_p} \quad (1)$$

Onde Q_t , Q_v e Q_{gu} são definidos para o RCCTE e REH pela equação 2, 3 e 4, respetivamente:

$$Q_t = 0,024 \times GD \times U_{global} \quad (2)$$

$$Q_v = 0,024 \times GD \times 0,34 \times R_{ph} \times A_p \times P_d \quad (3)$$

$$Q_{gu} = \eta_i \times Q_g \quad (4)$$

O gráfico abaixo, Gráfico 1, apresenta os cálculos destas necessidades de aquecimento com base nas equações 1, 2, 3 e 4 para todas as localidades em análise.

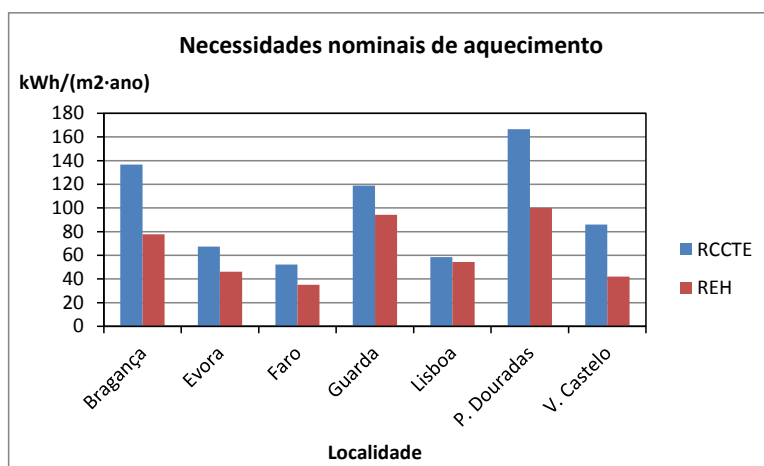


Gráfico 1 - Necessidades nominais de aquecimento para cada localidade.

Analisando o Gráfico 1, conclui-se que o cálculo das necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) é bastante superior no RCCTE em relação ao REH. Visto que a metodologia de cálculo é igual, esta superioridade advém do facto de no RCCTE o número de graus-dia de aquecimento ser superior ao utilizado no REH, visto que no RCCTE este número tem como base uma temperatura interior de 20°C, enquanto no REH este número tem por base uma temperatura de 18°C. Daí os resultados obtidos pelo RCCTE serem superiores aos do REH. É de notar ainda, o facto de as diferenças mais acentuadas das necessidades nominais de aquecimento serem nas zonas mais a norte do país. Estas alterações advêm também do facto da diminuição da duração da estação de aquecimento do RCCTE para o REH, nesta zona, com a exceção de Viana do Castelo. Esta diminuição interfere nesta necessidade, pois existem menos ganhos internos nesta estação, o que provocou o aumento das necessidades nominais de aquecimento no caso do RCCTE.

Nas equações 5, 6, 7 estão apresentadas as equações que serviram de base de cálculo para as necessidades máximas admissíveis (ou de referencia) na estação de aquecimento.

Pelo RCCTE (RCCTE, 2006):

$$\begin{aligned}
 &FF \leq 0,5; Ni = 4,5 + 0,0395 \times GD \\
 &0,5 \leq FF \leq 1; Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD \\
 &1 \leq FF \leq 1,5; Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD] \times (1,2 - 0,2 \times FF) \\
 &FF \geq 1,5; Ni = 4,05 + 0,06885 \times GD
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Onde FF é definido pela equação 6:

$$FF = \frac{[A_{ext} + \sum(\tau \times A_{int})i]}{V}
 \tag{6}$$

Pelo REH (ITECons, 2013):

$$Ni = \frac{Q_{t,ref} + Q_{v,ref} - Q_{gu,ref}}{A_p}
 \tag{7}$$

Os valores de $Q_{t,ref}$, $Q_{v,ref}$, $Q_{gu,ref}$ são calculados da mesma forma que nas equações 2, 3 e 4, respetivamente mas com coeficientes globais de transferência de calor de referencia e uma taxa de renovação de calor de referencia que deve ser a mesma que a da fração ou uma máximo de 0,6 rph (ITECons, 2013). Para o cálculo de $Q_{gu,ref}$ o fator de utilização de ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência η_{ref} toma o valor de 0,6 (ITECons, 2013).

No Gráfico 2 estão apresentados os resultados das necessidades máximas admissíveis (ou de referencia) de aquecimento (N_i) que foram calculadas com base nas equações 5, 6 e 7.

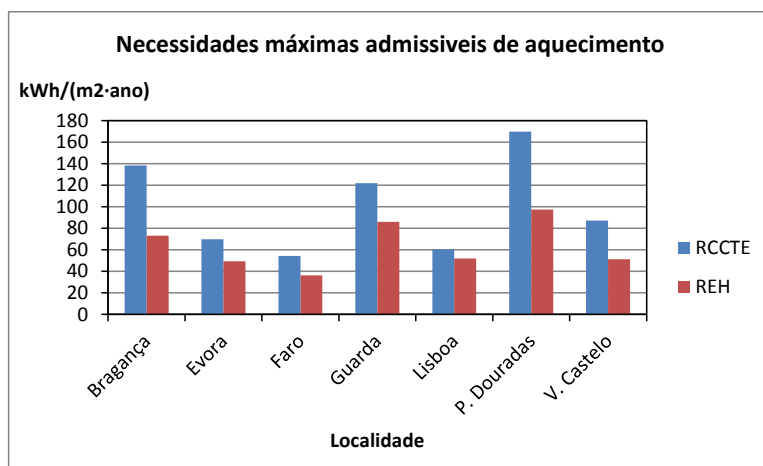


Gráfico 2 - Necessidades máximas admissíveis para cada localidade.

No Gráfico 2 está representado o valor das necessidades máximas de aquecimento. Com a análise deste, constatou-se que os valores das necessidades máximas admissíveis são mais elevadas no RCCTE do que no REH. Este facto acontece, mais uma vez devido à influência do número de graus-dia de aquecimento ser mais elevado do que no RCCTE. Outro facto também advém do cálculo destas necessidades no REH serem com base em coeficientes de transferência de calor de referência (ver equação 7), ao caso, que no RCCTE estas necessidades são calculadas de acordo com o valor do fator de forma da fração autónoma como apresentada na equação 5 e 6.

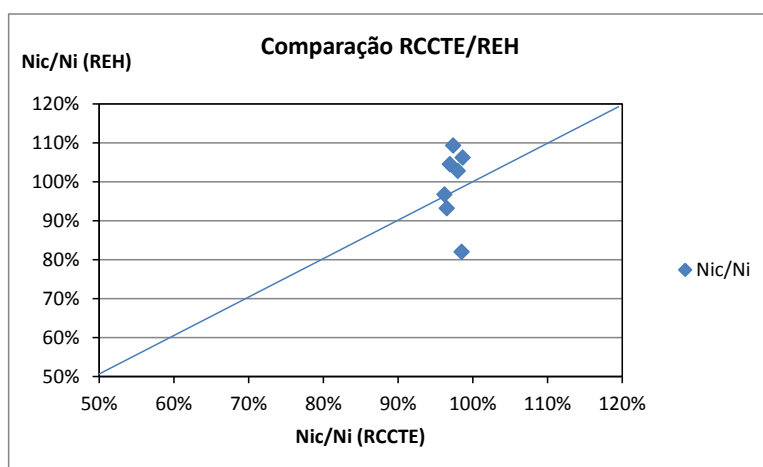


Gráfico 3 - Comparação REH/RCCTE em igualdade metodológica.

Analisado o Gráfico 3, concluiu-se que duas das sete localidades estudadas apresentaram um rácio das necessidades de aquecimento inferior ao que apresentavam pelo RCCTE, pois estas situam-se abaixo da linha azul que indica a igualdade do RCCTE e REH. Estas duas localidades são Viana do Castelo e Évora. Já Faro é o caso que apresenta o rácio mais próximo nos dois regulamentos situando-se sobre a linha azul apresentada no gráfico. Por outro lado, as restantes localidades apresentam rácios superiores na aplicação do REH em comparação com os do RCCTE. Isto implicou que na maioria dos casos, o facto de se utilizar valores de coeficientes de transferência de calor de referência (REH) para o cálculo das necessidades nominais de referência na estação de aquecimento (Ni) em detrimento de um valor que depende do fator de forma da fração autónoma, inflaciona este rácio de necessidades de aquecimento (Nic/Ni).

Com vista justificativa, foi estudado o caso de Évora de forma a perceber estas diferenças. Nas Tabela 2 e Tabela 3 está apresentado o cálculo detalhado efetuado com base nas equações de 1 a 7 para as necessidades nominais de aquecimento (Nic) e máximas admissíveis, ou de referência, (Ni) para o RCCTE e REH.

Tabela 2 – Resultados detalhados das necessidades nominais de aquecimento (Nic)

Parâmetro de análise	RCCTE	REH
Coeficiente de perda pela envolvente [W/°C]	118,4	118,32
Renovação de ar [W/°C]	41,24	41,24
Número de graus-dia [°C·dia]	1390	1171
Ganhos totais úteis [kWh/ano]	1718,87	2018,5
Nic [kWh/m²·ano]	67,44	46,11

Analisando a Tabela 2 verifica-se que são número de graus-dia menores e o facto de os ganhos totais úteis terem aumentado no REH que determinam a diminuição das necessidades nominais de aquecimento (Nic), como já foi referido anteriormente

Tabela 3 - Resultados detalhados das necessidades máximas admissíveis de aquecimento (Ni)

Parâmetro de análise	RCCTE	REH
Coeficiente de perda pela envolvente [W/°C]	-	90,47
Renovação de ar [W/°C]	-	27,49
Número de graus-dia [°C·dia]	1390	1171
Ganhos totais úteis [kWh/ano]	-	668,5
FF	0,70	-
Ni [kWh/m²·ano]	69,69	49,49

A partir da Tabela 3 conclui-se que a utilização do fator de forma da fração para cálculo das necessidades máximas admissíveis (Ni) no RCCTE provoca o aumento destas necessidades quando comparadas com o REH.

3.2 Comparação em igualdade de graus-dia de aquecimento

Partindo da análise efetuada no subcapítulo 3.1 e por forma a verificar o impacto que o número de graus-dia de aquecimento tinha sobre o REH, foi efetuada uma análise de aplicação do RCCTE com o número de graus-dia de aquecimento igual ao presente no REH. Nos Gráfico 4, Gráfico 5 e Gráfico 6, apresentam-se os resultados obtidos a partir desta análise mencionada anteriormente.

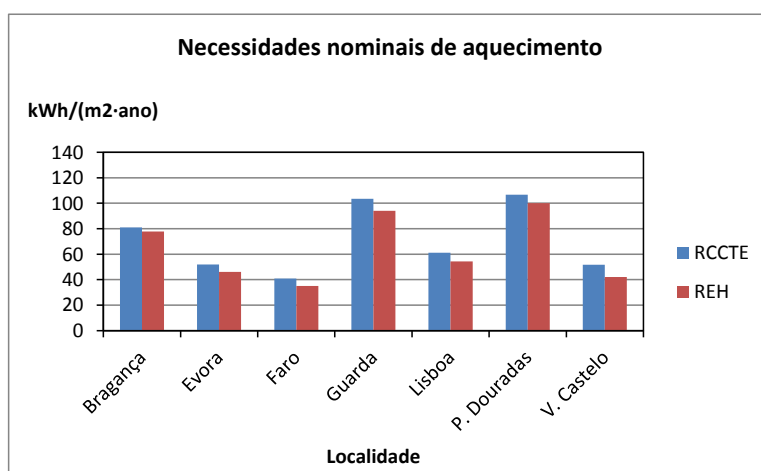


Gráfico 4 - Necessidades nominais de aquecimento, com igualdade de graus-dia por localidade.

Analisando o Gráfico 4, conclui-se que os resultados são muito semelhantes, embora as necessidades de aquecimento sejam ainda menores no REH. Verificou-se que os ganhos solares pelos vãos envidraçados no REH são maiores do que no RCCTE, pois o valor da radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul (G_{sul}) passou de 95 [kWh/m²·mês] (RCCTE) para 130 [kWh/m²·mês] (REH) no caso de Viana do Castelo. Desta forma, há uma menor necessidade de aquecimento pois estes ganhos entram para reduzir estas necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}).

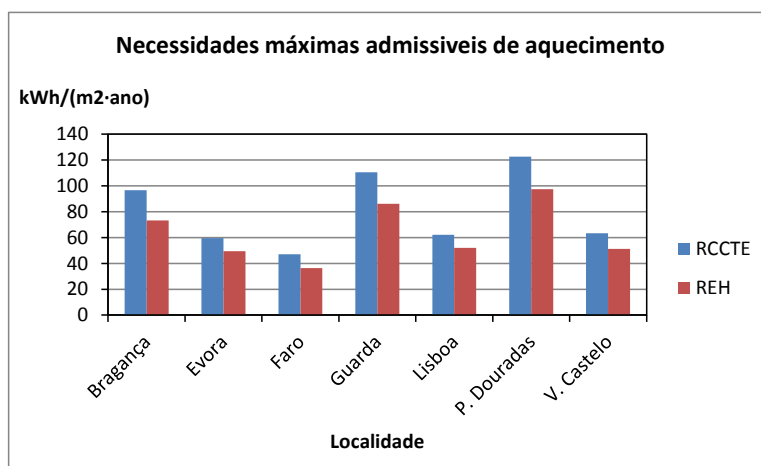


Gráfico 5 - Necessidades máximas admissíveis de aquecimento, com igualdade de graus-dia por localidade.

Analisando o Gráfico 5, concluiu-se que os valores das necessidades máximas admissíveis na estação de aquecimento são mais elevadas no RCCTE em relação ao REH, tendo maior incidência nas localidades de maior altitude como Bragança, Guarda e Penhas Douradas. Pode-se concluir que, como já foi dito anteriormente, o facto da utilização de valores de coeficientes de transferência de calor de referência diminui o valor das necessidades em

detrimento da utilização do fator de forma para determinar estas necessidades máximas admissíveis ou de referência.

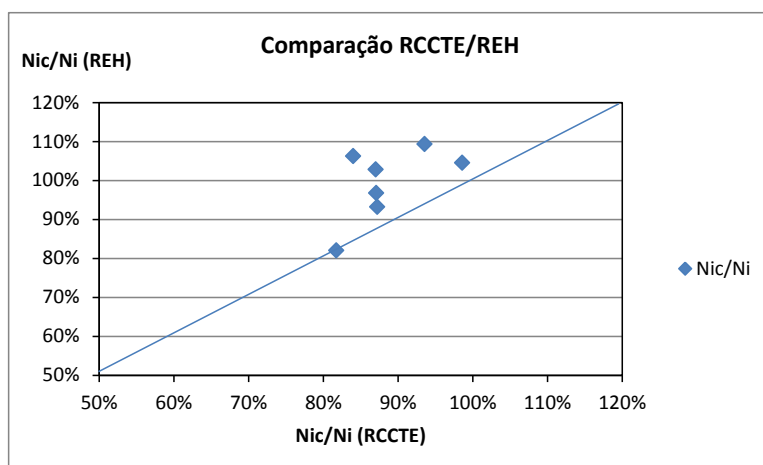


Gráfico 6 - Comparação RCCTE/REH em igualdade de graus-dia.

Por último, verificou-se que apenas um caso (Viana do Castelo) apresenta o mesmo rácio de necessidades de aquecimento (Nic/Ni) considerando o mesmo número de graus-dia de aquecimento pois situa-se sobre a linha azul que apresenta a igualdade do rácio destas necessidades do RCCTE e REH. Nos outros casos, denota-se que todos os rácios de REH são sempre superiores ao de RCCTE, como já era esperado visto nos gráficos anteriores (Gráfico 4 e Gráfico 5) sendo as necessidades nominais bastante próximas e as máximas admissíveis mais elevadas no RCCTE, os rácios de REH iriam ser os mais elevados.

Com vista justificativa, foi estudado o caso de Viana do Castelo de forma a perceber estas diferenças. Nas Tabela 4 e Tabela 5 está apresentado o cálculo detalhado efetuado com base nas equações de 1 a 7 para as necessidades nominais de aquecimento (Nic) e máximas admissíveis, ou de referência, (Ni) para o RCCTE e REH.

Tabela 4 - Resultados detalhados das necessidades nominais de aquecimento (Nic)

Parâmetro de análise	RCCTE	REH
Coeficiente de perda pela envolvente [W/°C]	109,56	113,24
Renovação de ar [W/°C]	41,24	41,24
Número de graus-dia [°C·dia]	1250	1250
Ganhos totais úteis [kWh/ano]	1758,9	2383,1
Nic [kWh/m²·ano]	51,7	42,09

Analisando a Tabela 4, verifica-se que os valores de Nic são muito próximos, ainda que menores no REH, como já foi dito anteriormente. Esta diferença deve-se ao facto de os ganhos totais úteis (solares + internos) serem mais elevados no REH quando comparado com

o RCCTE. Isto deve-se ao facto do aumento da radiação solar média como já foi dito anteriormente.

Tabela 5 - Resultados detalhados das necessidades máximas admissíveis de aquecimento (Ni)

Parâmetro de análise	RCCTE	REH
Coeficiente de perda pela envolvente [W/°C]	-	90,47
Renovação de ar [W/°C]	-	27,49
Número de graus-dia [°C·dia]	1250	1250
Ganhos totais úteis [kWh/ano]	-	793,84
FF	0,7	-
Ni [kWh/m²·ano]	63,125	51,32685

A partir da Tabela 5, verifica-se que os valores de Ni são mais baixos no REH quando comparados com o RCCTE. Isto verifica-se devido por um lado à não consideração dos ganhos totais uteis pelo RCCTE e à utilização de um valor de Ni que depende do fator de forma da fração. A par que no REH utiliza-se coeficientes de transferência de calor de referência para este cálculo.

Em suma, após estas duas análises efetuadas acima em 3.1 e 3.2, o facto da temperatura interior de base diminuir de 20°C para 18°C, e conseqüente diminuição do número de graus-dia de aquecimento, provocou uma diminuição acentuada nos valores das necessidades nominais de aquecimento. No que diz respeito às diferenças nas necessidades máximas admissíveis ou de referência, denota-se que, a metodologia de cálculo do RCCTE e do REH são diferentes, pois no REH considera-se coeficientes de transferência de calor de referência sendo que no RCCTE considera-se um valor que depende do fator de forma de fração para determinar as necessidades de máximas admissíveis. Esta diferença provocou uma diminuição das necessidades máximas admissíveis no REH em relação ao RCCTE.

4 Comparação REH/RCCTE numa perspetiva de cumprimento mínimo

Com vista a tentar perceber de que forma um edifício que cumpra o RCCTE à tangente comportar-se-ia com aplicação do novo regulamento (REH), efetuou-se uma análise de comparação entre o REH e o RCCTE. Nesta análise comparativa dos dois regulamentos (RCCTE e REH) foi efetuada a execução do RCCTE, aplicação das características construtivas ao REH, e no caso de não cumprimento regulamentar, estudar a solução ou conjunto de soluções a serem tomadas.

Na Tabela 6 está representado os resultados para as diversas localidades em análise, onde “Config A” corresponde a cumprir o RCCTE à tangente e por sua vez, “Config B” corresponde a cumprir o REH à tangente.

Tabela 6 - Aplicação regulamentar de RCCTE e REH na perspetiva de cumprimento

Localidade	Config A pelo RCCTE				Config A pelo REH				Config B pelo REH			
	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Bragança	98,7%	12,1%	40,1%	39,2%	106,2%	100,8%	37,7%	92,5%	98,1%	99,0%	37,7%	86,5%
Évora	96,6%	40,2%	35,1%	30,9%	93,2%	98,2%	30,2%	84,6%	99,3%	96,9%	30,2%	84,6%
Faro	96,3%	22,9%	35,0%	28,5%	96,7%	102,2%	29,9%	81,6%	96,7%	97,6%	29,9%	80,2%
Guarda	97,4%	11,3%	41,0%	38,2%	109,3%	78,8%	38,5%	94,3%	99,0%	91,6%	38,5%	87,1%
Lisboa	97,0%	7,0%	36,9%	29,5%	104,5%	65,8%	32,9%	82,8%	97,7%	72,0%	32,9%	78,9%
P. Douradas	98,0%	13,2%	42,0%	42,7%	102,7%	89,2%	39,4%	90,7%	97,6%	97,6%	39,4%	86,8%
V. do Castelo	98,5%	12,5%	42,0%	35,7%	82,0%	86,4%	41,1%	72,6%	82,0%	86,4%	41,1%	72,6%

Partindo da análise da Tabela 6, verificou-se que nem sempre são cumpridos os requisitos regulamentares analisados (Nic/Ni, Nvc/Nv e Ntc/Nt), mais concretamente nas necessidades de Inverno e de Verão, atingindo com maior incidência as necessidades da estação de aquecimento.

O facto de as necessidades nominais máximas admissíveis serem determinadas com base em valores de referência poderá inflacionar estes rácios, na medida em que estas necessidades máximas admissíveis adquirem valores mais baixos, tornando assim os rácios mais elevados.

As Tabela 7 e Tabela 8 apresentam as alterações que conduziram aos resultados expostos na Tabela 6. Estas alterações foram efetuadas ao nível dos vãos envidraçados com o intuito de reduzir o coeficiente de transferência de calor (U) destes para verificar o cumprimento

Avaliação técnico-económica da alteração dos requisitos para cumprimento da regulamentação de desempenho energético de edifícios de habitação: REH 2013 vs RCCTE 2006

regulamentar das necessidades de Inverno. No que toca ao não cumprimento das necessidades de arrefecimento, foram alteradas as proteções solares com o objetivo de reduzir estas necessidades.

Tabela 7 - Conjunto de características para cumprimento do RCCTE à tangente (Config A) e alterações necessárias para cumprimento mínimo do REH (Config B)

Localidade	Envidraçados		Isolamento		Proteção solar	
	Config A	Config B	Config A	Config B	Config A	Config B
Bragança	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/corte térmico de caixilharia de plástico de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=2,9[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade ao ar) e $U=3,2[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 50 mm e pavimento 50 mm	sem alteração	persiana de reguas metálicas ou plástica clara, cortina opaca interior	sem alteração
Évora	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metálica de janela de correr com 6mm de espessura de ar $U=3,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=4,5[W/m^2.C]$	sem alteração	paredes interiores e exteriores com isolamento de 40 mm	sem alteração	persiana de reguas metálicas ou plástica clara, cortina opaca interior	sem alteração
Faro	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	sem alteração	paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm	sem alteração	persiana de reguas metálicas ou plástica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metálicas ou plástica clara
Guarda	Vidro duplo c/corte térmico de caixilharia plástico com 6mm de espessura de ar $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,2[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte térmico caixilharia plástico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade) e $U=2,3[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 50 mm e pavimento, sem isolamento parede edif adjacente	sem alteração	persiana de reguas metálicas ou plástica clara, cortina opaca interior	sem alteração
Lisboa	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo s/ corte térmico caixilharia plástico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,9[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade) e $U=3,1[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm	sem alteração	persiana de reguas metálicas ou plástica clara, cortina opaca interior	sem alteração
P. Douradas	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade ao ar) $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior)	Vidro duplo c/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 16mm de espessura de ar $U=2,8[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade ao ar) e espaçamento de 6mm de ar $U=3,3[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior)	Isolamento de 60 mm na parede em contacto com edifício adjacente e restantes paredes interiores e exteriores e 60 mm no pavimento	sem alteração	persiana de reguas metálicas ou plástica clara, cortina opaca interior	sem alteração
V. do Castelo	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,2[W/m^2.C]$ (disp com elevada permeabilidade ao ar), $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior)	sem alteração	Isolamento de 30 mm paredes interiores, exteriores e pavimento	sem alteração	persiana de reguas metálicas ou plástica clara, cortina opaca interior	sem alteração

Tabela 8 - Conjunto de características para cumprimento do RCCTE à tangente (Config A) e alterações necessárias para cumprimento mínimo do REH (Config B) (continuação)

Equipamentos		Sistema AQS		Esolar	
Config A	Config B	Config A	Config B	Config A	Config B
Caldeira mural a combustível gasoso $\eta=0,87$ e máquina frigorífica (ciclo de compressão) EER=3	sem alteração	$\eta_0=0,69$; $a_1=7,5$; $a_2=0,69$; A=2 (2 coletores de 1m ²)	$\eta_0=0,73$; $a_1=4,12$; $a_2=0,73$; A=1,3 (2 coletores de 0,65m ²)	805	761
Caldeira mural a combustível gasoso $\eta=0,87$ e máquina frigorífica (ciclo de compressão) EER=3	sem alteração	$\eta_0=0,69$; $a_1=7,5$; $a_2=0,69$; A=2 (2 coletores de 1m ²)	$\eta_0=0,73$; $a_1=4,12$; $a_2=0,73$; A=1,3 (2 coletores de 0,65m ²)	959	881
Caldeira mural a combustível gasoso $\eta=0,87$ e máquina frigorífica (ciclo de compressão) EER=3	sem alteração	$\eta_0=0,69$; $a_1=7,5$; $a_2=0,69$; A=2 (2 coletores de 1m ²)	$\eta_0=0,73$; $a_1=4,12$; $a_2=0,73$; A=1,3 (2 coletores de 0,65m ²)	975	898
Caldeira mural a combustível gasoso $\eta=0,87$ e máquina frigorífica (ciclo de compressão) EER=3	sem alteração	$\eta_0=0,69$; $a_1=7,5$; $a_2=0,69$; A=2 (2 coletores de 1m ²)	$\eta_0=0,73$; $a_1=4,12$; $a_2=0,73$; A=1,3 (2 coletores de 0,65m ²)	793	752
Caldeira mural a combustível gasoso $\eta=0,87$ e máquina frigorífica (ciclo de compressão) EER=3	sem alteração	$\eta_0=0,69$; $a_1=7,5$; $a_2=0,69$; A=2 (2 coletores de 1m ²)	$\eta_0=0,73$; $a_1=4,12$; $a_2=0,73$; A=1,3 (2 coletores de 0,65m ²)	923	852
Caldeira mural a combustível gasoso $\eta=0,87$ e máquina frigorífica (ciclo de compressão) EER=3	sem alteração	$\eta_0=0,69$; $a_1=7,5$; $a_2=0,69$; A=2 (2 coletores de 1m ²)	$\eta_0=0,73$; $a_1=4,12$; $a_2=0,73$; A=1,3 (2 coletores de 0,65m ²)	768	737
Caldeira mural a combustível gasoso $\eta=0,87$ e máquina frigorífica (ciclo de compressão) EER=3	sem alteração	$\eta_0=0,69$; $a_1=7,5$; $a_2=0,69$; A=2 (2 coletores de 1m ²)	$\eta_0=0,73$; $a_1=4,12$; $a_2=0,73$; A=1,3 (2 coletores de 0,65m ²)	793	746

A partir da análise das Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8, concluiu-se que basta uma ligeira alteração dos vãos envidraçados para que a fração cumpra tangencialmente o REH, no caso do rácio das necessidades de aquecimento. Nos casos de não cumprimento do rácio das necessidades de arrefecimento, apenas foi alterada a proteção solar do vão envidraçado VP-SE para persiana de régua plástica clara. No sistema solar de apoio a águas quentes sanitárias (AQS) foram utilizados dois coletores padrão com as características definidas no RCCTE e REH.

No capítulo 6 foi efetuado uma análise económica às modificações necessárias para o cumprimento do REH em relação ao RCCTE.

Com vista a perceber os impactos produzidos pelas alterações efetuadas numa perspetiva de cumprimento, foram estudados dois exemplos, apresentados abaixo, como nas localidades de Lisboa e Guarda. Nos gráficos que se seguem, Gráfico 7 e Gráfico 8, apresentam o impacto da alteração dos vãos envidraçados para dois exemplos de localidades distintas como são Lisboa e Guarda.

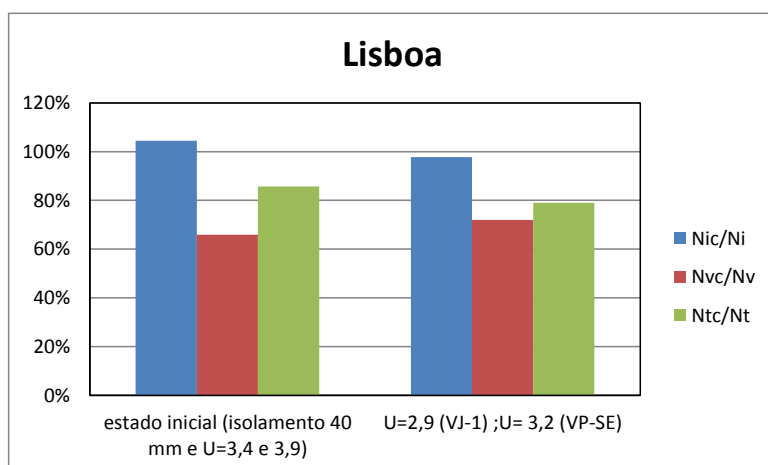


Gráfico 7 – Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para Lisboa.

A partir do Gráfico 7 pode-se concluir que com uma ligeira alteração nos vãos envidraçados conseguiu-se diminuir o rácio das necessidades de aquecimento (Nic/Ni) de maneira a cumprir o REH, pois com esta alteração a fração perde menos calor para o exterior o que provoca a redução das necessidades nominais de aquecimento. Por outro lado, o rácio das necessidades de arrefecimento vão aumentar ligeiramente, pois no Verão, como no Inverno, essa alteração provocou uma diminuição de perda de calor para o exterior, aumentando assim as necessidades de arrefecimento interior. O rácio necessidades anuais de energia primária diminuiu ligeiramente devendo ao facto ao nosso tipo de clima as necessidades de aquecimento sendo as principais causas destas necessidades anuais.

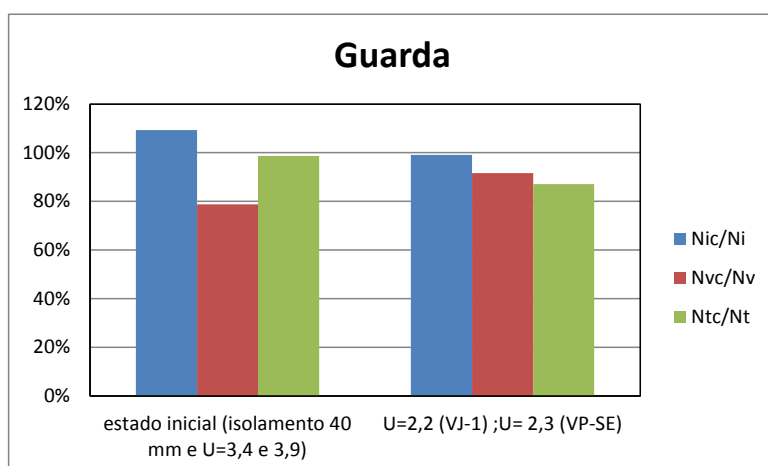


Gráfico 8 - Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para a Guarda.

Analisando o Gráfico 8, concluiu-se que é necessário a alteração para vãos envidraçados de características térmicas bastantes exigentes, baixando drasticamente o valor do coeficiente de transferência de calor (U), sendo assim possível o cumprimento do novo regulamento. Esta alteração baixou o rácio das necessidades de aquecimento em cerca de 10%, visto que limitou-se a perda de calor para o exterior com a diminuição do coeficiente de transferência de calor (U). Por outro lado, o rácio de necessidades de arrefecimento aumentou devido a essa menor perda de calor no Verão (como no caso de Lisboa). Já o rácio de necessidades anuais de energia primária também baixou ligeiramente apesar do aumento no rácio das necessidades de arrefecimento, mas como já foi dito anteriormente, as necessidades de aquecimento é a principal causa destas necessidades anuais.

Avaliação técnico-económica da alteração dos requisitos para cumprimento da regulamentação de desempenho energético de edifícios de habitação: REH 2013 vs RCCTE 2006

5 Comparação REH/RCCTE numa perspetiva de classe A+

Numa segunda fase, com vista a diminuir as necessidades anuais de energia primária do edifício, tornando-o energeticamente eficiente, foi proposto a obtenção de uma etiqueta energética A+. Para isso caracterizou-se uma solução que obtivesse a etiqueta energética A+ a partir do RCCTE e transpôs-se de seguida para o REH. Esta caracterização encontra-se descrita no subcapítulo abaixo, 5.1.

5.1 Descrição da solução A+

Com o intuito obter a etiqueta energética A+ pelo RCCTE, foram efetuadas alterações nas características construtivas definidas anteriormente, no capítulo 2. Essas alterações foram efetuadas ao nível de aumento das espessuras de isolamentos, a escolha de outro tipo de envidraçados, equipamentos e sistemas solares mais eficientes. Na Tabela 9, estão apresentadas todas as características anteriormente referidas com o objetivo da obtenção de classe A+.

Tabela 9 - Características do edifício com classe A+ à tangente, segundo o RCCTE

<i>Localidade</i>	<i>Envidraçados</i>	<i>Isolamento</i>	<i>Proteções Solares</i>	<i>Equipamentos</i>	<i>Sistema Solar</i>
Bragança	Vidro duplo c/corte térmico de caixilharia plástico de baixa emissividade com 6 mm de espessura de ar $U=2,7[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade ao ar), $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) .	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares	Persiana de réguas metalizadas ou plástica clara, cortina opaca interior	Bomba de calor EER=4; Chiller com EER=3	$\eta_0=0,802$ $a_1=0,383$ $a_2=0,015$ $A=2,44$ m^2
Évora	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metálica de janela de correr com 6mm de espessura de ar $U=3,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=4,5[W/m^2.C]$	Paredes interiores e exteriores com isolamento de 40 mm e 60mm de isolamento nos pilares	Persiana de réguas metalizadas ou plástica clara, cortina opaca interior	Caldeira mural rendimento 0,87; Chiller EER=3	$\eta_0=0,802$ $a_1=0,383$ $a_2=0,015$ $A=2,44$ m^2

Faro	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm	Persiana de réguas metalizadas ou plástica clara, cortina opaca interior	Caldeira mural rendimento 0,87; Chiller EER=3	$\eta_0=0,802$ $a_1=0,383$ $a_2=0,015$ $A=2,44$ m^2
Guarda	Vidro duplo c/corte térmico de caixilharia plástico com 6mm de espessura de ar $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,2[W/m^2.C]$	Isolamento de 50 mm em todas as paredes e pilares com isolamento de 60mm	Persiana de réguas metalizadas ou plástica clara, cortina opaca interior	Caldeira mural rendimento 0,87; Chiller EER=3	$\eta_0=0,802$ $a_1=0,383$ $a_2=0,015$ $A=2,44$ m^2
Lisboa	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm e 60mm de isolamento nos pilares	Persiana de réguas metalizadas ou plástica clara, cortina opaca interior	Caldeira mural rendimento 0,87; Chiller EER=3	$\eta_0=0,802$ $a_1=0,383$ $a_2=0,015$ $A=2,44$ m^2
Penhas Douradas	Vidro duplo c/ corte térmico caixilharia plástico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 70 mm de espessura e com 70 mm de isolamento em pilares	Persiana de réguas metalizadas ou plástica clara	Caldeira mural rendimento 0,87; Chiller EER=3	$\eta_0=0,802$ $a_1=0,383$ $a_2=0,015$ $A=2,44$ m^2
Viana do Castelo	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metálica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares	Persiana de réguas metalizadas ou plástica clara, cortina opaca interior	Caldeira mural rendimento 0,87; Chiller EER=3	$\eta_0=0,802$ $a_1=0,383$ $a_2=0,015$ $A=2,44$ m^2

Nota: Na definição dos vãos envidraçados o primeiro valor de coeficiente de transferência de calor, U, caracteriza o envidraçado VJ-1 e o segundo envidraçado VP-SE. No caso de só referir um valor de U implica que são os dois iguais.

Definido o edifício, aplicou-se o RCCTE à fração com as características construtivas acima referidas e transportou-se as mesmas características para o REH. A Tabela 10 apresenta a comparação entre o edifício que obtinha classificação energética A+ pelo RCCTE e que passou a ser regulamentado pelo REH.

Tabela 10 – Comparação RCCTE/REH na perspetiva de classe A+

Localidade	Config A+ pelo RCCTE				Config A+ pelo REH			
	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Bragança	97,0%	13,6%	17,9%	22,7%	105,8%	92,8%	6,9%	68,5%
Évora	96,6%	40,2%	13,9%	19,2%	93,2%	98,2%	1,8%	77,4%
Faro	96,3%	22,9%	13,9%	16,4%	96,7%	102,2%	2,2%	72,1%
Guarda	89,3%	12,8%	17,1%	24,2%	103,1%	78,8%	5,2%	83,0%
Lisboa	97,0%	7,0%	14,9%	17,2%	104,5%	65,8%	2,6%	74,3%
P. Douradas	80,3%	13,2%	16,9%	24,5%	88,1%	73,8%	4,9%	72,4%
V. do Castelo	93,7%	11,7%	18,8%	22,4%	75,8%	91,7%	6,7%	59,5%

Como se pode verificar na Tabela 10, no que diz respeito à tentativa de cumprimento, em alguns dos casos em que se verifica o cumprimento Nic/Ni a tangente no RCCTE não se obteve o mesmo cumprimento no novo regulamento (REH). No caso do parâmetro regulamentar Nvc/Nv na localidade de Faro não se apresenta em conformidade, devendo-se ao facto de as necessidades nominais serem mais elevadas provocados por ganhos solares mais elevados no REH em comparação ao RCCTE, e consequência também do facto das necessidades máximas admissíveis serem mais baixas no REH em relação ao RCCTE, devido à utilização de coeficientes de transferência de calor de referencia.

É de salientar ainda a diferença de rácios de necessidades energéticas no que toca a águas quentes sanitárias (Nac/Na) entre os dois regulamentos. Esta diferença verifica-se pois há um decréscimo da variação de aquecimento de 10° C, sendo assim, no RCCTE era necessário um aquecimento da água até à temperatura de 60° C, sendo que no REH essa temperatura de utilização é de 50° C.

No Gráfico 9, está apresentado a comparação dos rácios das necessidades anuais entre o RCCTE e o REH.

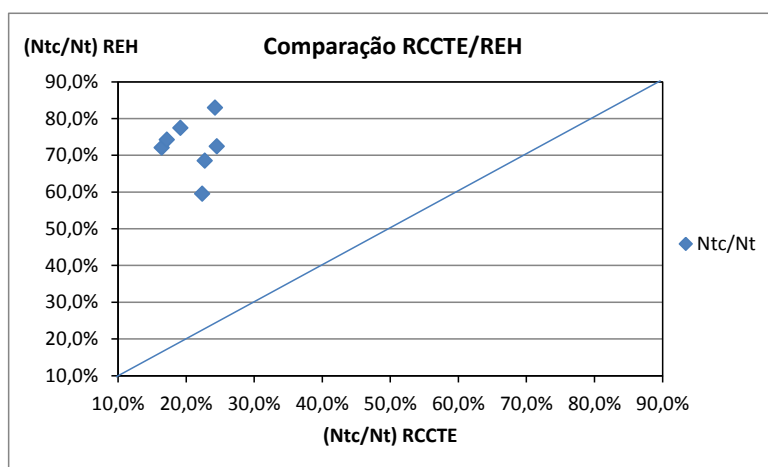


Gráfico 9 – Comparação das necessidades anuais de energia primária RCCTE/ REH.

Analisando o Gráfico 9, concluiu-se que o rácio de necessidades anuais de energia primária no REH foi muito superior ao do RCCTE. Com esta análise constatou-se a não obtenção da classificação energética pretendida (A+), pois em nenhum dos casos o valor do rácio N_{tc}/N_t é inferior a 26%, levando para valores de classe energética bastante inferiores. Assim, pode-se concluir que este novo regulamento é muito mais exigente no que diz respeito à obtenção de classificação energética de topo.

Para verificar a diferença entre o REH e o RCCTE no que diz respeito ao requisito de determina a classe A+ (N_{tc}/N_t), foi efetuada uma comparação da formulação que determina este rácio.

Nas equações 8 a 11 estão apresentadas as metodologias de cálculo de N_{tc} e N_t para os dois regulamentos em análise (RCCTE e REH).

Pelo RCCTE (RCCTE, 2006):

$$N_{tc} = 0,1 \times \frac{N_{ic}}{\eta_{inv}} \times F_{pui} + 0,1 \times \frac{N_{vc}}{\eta_v} \times F_{puv} + N_{ac} \times F_{pua} \quad (8)$$

$$N_t = 0,9 \times (0,01 \times N_i + 0,01 \times N_v + 0,15 \times N_a) \quad (9)$$

Pelo REH (ITECons, 2013):

$$N_{tc} = \frac{f_i \times N_{ic}}{\eta_{inv}} \times F_{pu} + \frac{f_v \times N_{vc} \times \delta}{\eta_v} \times F_{pu} + \frac{Q_a}{A_p} \times \frac{f_a}{\eta_a} \times F_{pu} + \frac{W_{vm}}{A_p} \times F_{pu} - \frac{E_{ren}}{A_p} \times F_{pu} \quad (10)$$

$$N_t = \frac{f_i \times N_c}{\eta_{e,ref}} \times F_{pu} + \frac{f_v \times N_c}{\eta_{e,ref}} \times F_{pu} + \frac{Q_a}{A_p} \times \frac{f_a}{\eta_{e,ref}} \times F_{pu} \quad (11)$$

Analisando as equações 8 e 10, verifica-se que a formulação para o cálculo das necessidades anuais de energia primária equivalente (N_{tc}) sofreu várias alterações. Uma destas alterações efetuou-se ao nível de cada parcela das necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS, com a introdução do f_i , f_v e f_a . Estes parâmetros é geralmente igual a 1 e significa que são consideradas a totalidade das necessidades que são supridas pelo sistema. Já na equação 8, verifica-se que apenas são consideradas 10% das necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS para o cálculo das necessidades anuais de energia primária equivalente. Esta consideração produz valores de N_{tc} mais baixos.

Comparando agora as necessidades anuais máximas admissíveis de energia primária equivalente, equações 9 e 11, verifica-se que no REH é considerado a totalidade das

necessidades máximas admissíveis de aquecimento, arrefecimento e AQS, utilizando ainda um rendimento do sistema de referência que no caso de o sistema utilize a gás natural tem um rendimento de 0,86 e no caso de utilizar eletricidade possui uma eficiência nominal de referência de 4,25 (ITECons, 2013). Por outro lado, no RCCTE o N_t é calculado através de uma ponderação dos valores de N_i , N_v e N_a .

Por fim, pode-se concluir que o facto de se considerar a totalidade das necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS provoca um aumento do rácio das necessidades anuais de energia primária equivalente, provocando a não obtenção de classe A+ quando se transpõe um edifício A+ pelo RCCTE para o REH.

Nos resultados que se seguem, é de notar que os valores de E_{solar} , obtidos pelo programa SOLTERM, são diferentes nos dois regulamentos, pois as necessidades destes são diferentes, na medida em que a variação de temperatura de aquecimento no RCCTE é 10°C mais elevada em relação ao REH.

5.2 Alterações necessárias para a obtenção de classe A+ pelo REH

Como se verificou anteriormente, quando um edifício que era considerado classe A+ pelo RCCTE não era a mesma classe no REH, tendo até casos onde a sua classificação energética era B⁻. Com vista a tentar obter a classificação pretendida pelo REH (A+), foram propostas quatro vias para esta classificação:

- **Via A:** Ventilação natural provocada por infiltrações com uma taxa de renovação de ar de 0,9 rph em conjunto com bomba de calor de elevada eficiência para suprir as necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS (VN, sRC);
- **Via B:** Ventilação mecânica na estação de aquecimento com uma taxa de renovação de ar de 0,5 rph em conjunto com bomba de calor de elevada eficiência para suprir as necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS (VM, sRC);
- **Via C:** Ventilação natural provocada por infiltrações com uma taxa de renovação de ar de 0,9 rph em conjunto com uma caldeira de queima de biomassa para suprir as necessidades de aquecimento (VN, sRC, Biomassa);
- **Via D:** Ventilação mecânica com uma taxa de renovação de ar de 0,9 rph com recuperação de calor na estação de aquecimento, em conjunto com bomba de calor de elevada eficiência para suprir as necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS (VM, cRC).

Nos próximos 4 sub-subcapítulos, serão apresentados os resultados das quatro análises acima referidas.

Nas tabelas que apresentam as alterações efetuadas, **“Config A+” diz respeito à classificação A+ pelo RCCTE, “Config B +” diz respeito a classificação A+ pelo REH.**

Via A: Ventilação Natural com 0,9 rph

Numa primeira tentativa de obtenção da etiqueta energética A+, utilizou-se uma bomba de calor eficiente, aplicável para as necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS. Para isso, foi escolhido um modelo com um COP=4,74 e EER=3,45. Já o sistema solar para apoio a águas quentes sanitárias foi utilizado um coletor bastante eficiente. A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos da aplicação regulamentar realizada com os parâmetros acima referidos.

Tabela 11 - Aplicação RCCTE e REH na perspetiva A+ com VN, sRC

Localidade	Config A+ pelo RCCTE				Config A+ pelo REH				Config B pelo REH			
	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Bragança	97,0%	13,6%	17,9%	22,7%	105,8%	92,8%	6,9%	68,5%	70,2%	75,8%	2,6%	41,2%
Évora	96,6%	40,2%	13,9%	19,2%	93,2%	98,2%	1,8%	77,4%	64,3%	49,3%	1,0%	34,5%
Faro	96,3%	22,9%	13,9%	16,4%	96,7%	102,2%	2,2%	72,1%	41,5%	77,1%	1,4%	30,4%
Guarda	89,3%	12,8%	17,1%	24,2%	103,1%	78,8%	5,2%	83,0%	74,3%	59,2%	2,0%	42,1%
Lisboa	97,0%	7,0%	14,9%	17,2%	104,5%	65,8%	2,6%	74,3%	44,5%	83,3%	1,4%	26,5%
P. Douradas	80,3%	13,2%	16,9%	24,5%	88,1%	73,8%	4,9%	72,4%	77,8%	66,0%	1,9%	42,9%
V. do Castelo	93,7%	11,7%	18,8%	22,4%	75,8%	91,7%	6,7%	59,5%	51,9%	62,7%	2,9%	25,4%

Com a análise da Tabela 11, pode-se concluir que apenas em Viana do Castelo é possível a obtenção da classificação pretendida (A+) e a cidade de Lisboa próxima desta classificação, sendo que a restante classificação obtida é a A (Ntc/Nt <50%). As Tabela 12 e Tabela 13 apresentam o conjunto de alterações efetuadas para a obtenção de “Config B+ pelo REH” da Tabela 11.

Tabela 12 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VN, sRC

	Envidraçados		Isolamento	
	Config A+	Config B+	Config A+	Config B+
Bragança	Vidro duplo c/corte termico de caixilharia plastico de baixa emissividade com 6 mm de espessura de ar $U=2,7[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade ao ar), $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) .	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Evora	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela de correr com 6mm de espessura de ar $U=3,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=4,5[W/m^2.C]$	Vidro duplo, refletante colorido na massa 4 a 5mm + incolor 4 a 8mm, c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 40 mm e 60mm de isolamento nos pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Faro	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Guarda	Vidro duplo c/corte térmico de caixilharia plastico com 6mm de espessura de ar $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,2[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	Isolamento de 50 mm em todas as paredes e pilares com isolamento de 60mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Lisboa	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm e 60mm de isolamento nos pilares	Isolamento de 100 mm em todas as paredes e pilares isolamento 100mm
P. Douradas	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	sem alteração	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 70 mm de espessura e com 70 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
V. Castelo	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade), colorido na massa 4mm+incolor 4 a 8mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 60 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares

Tabela 13 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VN, sRC (continuação)

Proteção solar		Equipamentos		Sistema AQS	Esolar	
Config A+	Config B+	Config A+	Config B+	Caracterização	Config A+	Config B+
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal 45° Vj-1	Bomba de calor EER=4 e chiller com EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m ²	1191	991
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal 60° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m ²	1340	1090
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal 60° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m ²	1340	1090
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara pala horizontal 45° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m ²	1195	1005
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara pala horizontal 45° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m ²	1296	1076
persiana de reguas metalizas ou plastica clara	persiana de reguas metalizas ou plastica clara pala horizontal 30° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m ²	1185	1001
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal 60° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m ²	1186	999

Analisando as Tabela 12 e Tabela 13, em conjunto com a Tabela 11, concluiu-se que só em Viana é possível obter classificação energética A+, sendo que nas restantes zonas, com exceção de Lisboa, encontram-se bastante longe do objetivo proposto apesar das características de isolamentos e envidraçados serem de rigorosas, encontrando-se apenas pela classe A.

Salienta-se ainda a utilização de palas horizontais no vão envidraçado VJ-1, como medida para auxiliar ao cumprimento do rácio das necessidades nominais de arrefecimento.

Via B: Ventilação Mecânica com 0,5 rph na estação de aquecimento

Numa outra perspetiva de tentar que o edifício fosse energeticamente eficiente (classe A+), reduziu-se a taxa de ventilação para 0,5 rph na estação de aquecimento com a insuflação (ventilação mecânica) na fração autónoma. O caudal insuflado na fração é definido pela equação 12:

$$\dot{V} = rph \times Pd \times A \quad (12)$$

Onde Pd é o pé-direito e A é a área da fração autónoma.

Sendo assim, é necessário a existência de um sistema de ventilação bastante eficiente, com um *specific fan power* baixo. Sendo que o *specific fan power* (*sfp*) é definido como a energia despendida para deslocar 1 m³/s de ar e é expressa em kW/(m³/s). Este sistema deve ser o mais eficiente quanto possível, pois é necessário diminuir o consumo dos ventiladores, pois este consumo acresce ao valor das necessidades anuais de energia primária equivalente.

A Tabela 14 demonstrou os resultados obtidos a partir desta análise. As Tabela 15 e Tabela 16 apresentam as alterações e características que levaram aos resultados da tabela abaixo, Tabela 14.

Tabela 14 - Aplicação RCCTE e REH na perspetiva A+ com VM, sRC

Localidade	Config A+ pelo RCCTE				Config A+ pelo REH				Config B pelo REH			
	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Bragança	97,0%	13,6%	17,9%	22,7%	105,8%	92,8%	6,9%	68,5%	51,9%	75,8%	3,9%	34,7%
Évora	96,6%	40,2%	13,9%	19,2%	93,2%	98,2%	1,8%	77,4%	48,0%	49,3%	1,8%	30,7%
Faro	96,3%	22,9%	13,9%	16,4%	96,7%	102,2%	2,2%	72,1%	26,9%	77,1%	1,3%	27,9%
Guarda	89,3%	12,8%	17,1%	24,2%	103,1%	78,8%	5,2%	83,0%	56,6%	59,2%	2,4%	34,7%
Lisboa	97,0%	7,0%	14,9%	17,2%	104,5%	65,8%	2,6%	74,3%	29,8%	83,3%	1,5%	24,4%
P. Douradas	80,3%	13,2%	16,9%	24,5%	88,1%	73,8%	4,9%	72,4%	60,3%	66,0%	2,9%	35,3%
V. do Castelo	93,7%	11,7%	18,8%	22,4%	75,8%	91,7%	6,7%	59,5%	36,9%	62,7%	4,0%	25,3%

Tabela 15 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VM, sRC

	Envidraçados		Isolamento	
	Config A+	Config B+	Config A+	Config B+
Bragança	Vidro duplo c/corte termico de caixilharia plastico de baixa emissividade com 6 mm de espessura de ar $U=2,7[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade ao ar), $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) .	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Évora	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela de correr com 6mm de espessura de ar $U=3,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=4,5[W/m^2.C]$	Vidro duplo, refletante colorido na massa 4 a 5mm + incolor 4 a 8mm, c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 40 mm e 60mm de isolamento nos pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Faro	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Guarda	Vidro duplo c/corte térmico de caixilharia plastico com 6mm de espessura de ar $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,2[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	Isolamento de 50 mm em todas as paredes e pilares com isolamento de 60mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Lisboa	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm e 60mm de isolamento nos pilares	Isolamento de 100 mm em todas as paredes e pilares isolamento 100mm
P. Douradas	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	sem alteração	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 70 mm de espessura e com 70 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
V. Castelo	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade), colorido na massa 4mm+incolor 4 a 8mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 60 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares

Tabela 16 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VM, sRC (continuação)

Proteção solar		Equipamentos		Sistema AQS	Esolar	
Config A+	Config B+	Config A+	Config B+	Caracterização	Config A+	Config B+
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal 45° Vj-1	Bomba de calor EER=4 e chiller com EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45; ventilador sfp=0,1	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$;A=2,44 m3	1191	991
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal 60° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45; ventilador sfp=0,1	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$;A=2,44 m4	1340	1090
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal 60° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45; ventilador sfp=0,1	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$;A=2,44 m5	1340	1090
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara pala horizontal 45°	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45; ventilador sfp=0,1	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$;A=2,44 m6	1195	1005
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara pala horizontal 45°	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45; ventilador sfp=0,2	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$;A=2,44 m7	1296	1076
persiana de reguas metalizas ou plastica clara	persiana de reguas metalizas ou plastica clara pala horizontal 30° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45; ventilador sfp=0,1	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$;A=2,44 m8	1185	1001
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal 60° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45; ventilador sfp=0,1	$\eta_o=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$;A=2,44 m2	1186	999

Dos resultados das Tabela 14, Tabela 15 e Tabela 16, pode-se afirmar que se obteve dois caso que correspondem à classificação energética pretendida, como é o caso de Lisboa e Viana do Castelo, sendo que estas são duas regiões pertencentes a zona litoral do país. O facto de reduzir a taxa de ventilação do sistema, provocou uma redução das necessidades nominais de aquecimento, pois o coeficiente de transferência de calor por ventilação diminui, diminuindo também assim as necessidades. Como estas são as principais responsáveis pelas necessidades anuais de energia primária equivalente, foi possível obter uma redução significativa das necessidades anuais. Por outro lado, ao inserir ventilação mecânica é necessário acrescentar o

consumo dos ventiladores as necessidades anuais, sendo assim necessário sistemas de ventilação de elevada eficiência energética com baixos valores de *specific fan power (sfp)*, na ordem dos 0,1 e 0,2, como demonstra a Tabela 16.

Via C: Ventilação Natural de 0,9 rph mas com a utilização de biomassa como combustível

Com vista a diminuir as necessidades anuais de energia primária equivalente para obtenção da etiqueta energética pretendida (A+), analisou-se a possível utilização de outras formas de energia provenientes de energias renováveis. Para isso utilizou-se uma caldeira de combustível sólido (a Biomassa) para suprir as necessidades de aquecimento da fração autónoma. Para colmatar as necessidades de arrefecimento utilizou-se um Chiller ar-agua com EER=3, sendo que para o sistema de águas quentes sanitárias (AQS) foi utilizado um esquentador a gás natural com um rendimento de 0,82.

Na Tabela 17 estão representados os resultados obtidos da análise efetuada.

Tabela 17 - Aplicação RCCTE e REH na perspetiva A+ com VN, sRC (Biomassa)

Localidade	Config A+ pelo RCCTE				Config A+ pelo REH				Config B pelo REH			
	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Bragança	97,0%	13,6%	17,9%	22,7%	105,8%	92,8%	6,9%	68,5%	92,2%	85,2%	6,9%	8,6%
Évora	96,6%	40,2%	13,9%	19,2%	93,2%	98,2%	1,8%	77,4%	93,0%	56,7%	1,9%	14,7%
Faro	96,3%	22,9%	13,9%	16,4%	96,7%	102,2%	2,2%	72,1%	68,4%	93,8%	2,4%	19,5%
Guarda	89,3%	12,8%	17,1%	24,2%	103,1%	78,8%	5,2%	83,0%	93,6%	84,2%	5,5%	4,8%
Lisboa	97,0%	7,0%	14,9%	17,2%	104,5%	65,8%	2,6%	74,3%	85,7%	83,7%	2,7%	7,6%
P. Douradas	80,3%	13,2%	16,9%	24,5%	88,1%	73,8%	4,9%	72,4%	93,8%	66,7%	5,2%	2,6%
V. do Castelo	93,7%	11,7%	18,8%	22,4%	75,8%	91,7%	6,7%	59,5%	82,9%	72,9%	7,1%	9,1%

Como se pode verificar pela Tabela 17, atingiu-se a classificação pretendida com muita facilidade (A+) em todas as zonas analisadas. O facto de a energia produzida partir de outras formas de energia renovável (Biomassa), contribuiu para que as necessidades anuais de energia primária baixem pois estas vão ser deduzidas no cálculo final destas necessidades.

Da análise da Tabela 17 concluiu-se que as zonas com rácio de necessidades anuais de energia primária equivalente (Ntc/Nt) maiores são as zonas com menor duração da estação de aquecimento (caso de Évora, Faro e Lisboa) e maior exposição solar (como é o caso de Bragança e Viana do Castelo) pois possuem necessidades de arrefecimento maiores. Por outro lado nas zonas de maior altitude, como é o caso de Guarda e Penhas Douradas, possuiu baixos rácios de necessidades anuais de energia primária equivalente pois possuem uma estação de aquecimento mais rigorosa em relação às outras zonas, o que implica maiores necessidades na estação de aquecimento que serão supridas pela caldeira de queima de Biomassa.

Por fim, verifica-se que este sistema é o sistema que com maior facilidade é possível obter classe A+.

Nas tabelas abaixo, Tabela 18 e Tabela 19, estão presentes as alterações efetuadas para a obtenção dos resultados apresentados na Tabela 17.

Tabela 18 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VN, sRC (Biomassa)

	Envidraçados		Isolamento	
	Config A+	Config B+	Config A+	Config B+
Bragança	Vidro duplo c/corte termico de caixilharia plastico de baixa emissividade com 6 mm de espessura de ar $U=2,7[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade ao ar), $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) .	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 50 mm de espessura e com 50 mm de isolamento em pilares
Evora	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela de correr com 6mm de espessura de ar $U=3,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=4,5[W/m^2.C]$	Vidro duplo, refletante colorido na massa 4 a 5mm + incolor 4 a 8mm, c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$	paredes interiores e exteriores com isolamento de 40 mm e 60mm de isolamento nos pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 40 mm de isolamento em pilares
Faro	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 40 mm de isolamento em pilares
Guarda	Vidro duplo c/corte térmico de caixilharia plastico com 6mm de espessura de ar $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,2[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	Isolamento de 50 mm em todas as paredes e pilares com isolamento de 60mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 50 mm de espessura e com 50 mm de isolamento em pilares
Lisboa	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de correr com 6mm de espessura de ar $U=3,6[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade ao ar) e $U=3,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm e 60mm de isolamento nos pilares	Isolamento de 40 mm em todas as paredes e pilares isolamento 40mm
P. Douradas	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	sem alteração	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 70 mm de espessura e com 70 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 60 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares
V. Castelo	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de correr com 6mm de espessura de ar $U=3,6[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade ao ar) e $U=3,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior)	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 40 mm de isolamento em pilares

Tabela 19 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VN, sRC (Biomassa) (continuação)

Proteção solar		Equipamentos		Sistema AQS	Esolar	
Config A+	Config B+	Config A+	Config B+	Caracterização	Config A+	Config B+
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara	Bomba de calor EER=4 e chiller com EER=3	Caldeira de combustivel solido (biomassa), chiller EER=3 e esquentador a gás AQS $\eta=0,82$	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m2	1191	991
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Caldeira de combustivel solido (biomassa), chiller EER=3 e esquentador a gás AQS $\eta=0,82$	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m2	1340	1090
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Caldeira de combustivel solido (biomassa), chiller EER=3 e esquentador a gás AQS $\eta=0,82$	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m2	1340	1090
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Caldeira de combustivel solido (biomassa), chiller EER=3 e esquentador a gás AQS $\eta=0,82$	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m2	1195	1005
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	sem alteração	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Caldeira de combustivel solido (biomassa), chiller EER=3 e esquentador a gás AQS $\eta=0,82$	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m2	1296	1076
persiana de reguas metalizas ou plastica clara	persiana de reguas metalizas ou plastica clara	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Caldeira de combustivel solido (biomassa), chiller EER=3 e esquentador a gás AQS $\eta=0,82$	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m2	1185	1001
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Caldeira de combustivel solido (biomassa), chiller EER=3 e esquentador a gás AQS $\eta=0,82$	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; $A=2,44$ m2	1186	999

Analisando as Tabela 18 e Tabela 19 pode-se concluir que não seria necessário uma envolvente de características térmicas muito exigentes para obter a etiqueta energética pretendida (A+), bastando apenas cumprir as necessidades de Verão e Inverno, como já foi referido anteriormente.

Via D: Ventilação Mecânica de 0,9 rph com recuperação de calor

Por último, foi analisado a existência de ventilação mecânica com recuperação de calor na estação de aquecimento com uma taxa de renovação de ar ($0,9 \text{ h}^{-1}$) igual à da ventilação natural a que a fração está exposta, para que os caudais de insuflação e extração estejam equilibrados. Este tipo de sistema possibilita uma poupança energética significativa devido à presença de um permutador de calor com um rendimento na ordem dos 90-95%, normalmente de fluxos cruzados, que possibilita a transferência de calor entre o ar interior quente (extração) e o ar exterior frio (admissão), pré-aquecendo o último até uma temperatura superior à admissão, poupando assim energia no aquecimento final e diminuindo o desperdício energético. O caudal de insuflação é definido pela equação 12 apresentada atrás na página 32.

Para esta análise, como sistema de aquecimento, arrefecimento e AQS, utilizou-se uma Bomba de Calor que suplementa estas três necessidades, com um COP de 4,74 e um EER de 3,45. Na Tabela 20 estão apresentados os resultados da análise regulamentar efetuada à fração autónoma.

Tabela 20 - Aplicação RCCTE e REH na perspetiva A+ com VM, cRC

Localidade	Config A+ pelo RCCTE				Config A+ pelo REH				Config B pelo REH			
	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt	Nic/Ni	Nvc/Nv	Nac/Na	Ntc/Nt
Bragança	97,0%	13,6%	17,9%	22,7%	105,8%	92,8%	6,9%	68,5%	26,9%	75,8%	3,9%	24,8%
Évora	96,6%	40,2%	13,9%	19,2%	93,2%	98,2%	1,8%	77,4%	27,6%	49,3%	1,8%	25,4%
Faro	96,3%	22,9%	13,9%	16,4%	96,7%	102,2%	2,2%	72,1%	12,4%	77,1%	1,3%	24,6%
Guarda	89,3%	12,8%	17,1%	24,2%	103,1%	78,8%	5,2%	83,0%	31,7%	59,2%	2,4%	24,4%
Lisboa	97,0%	7,0%	14,9%	17,2%	104,5%	65,8%	2,6%	74,3%	23,6%	68,0%	1,5%	23,7%
P. Douradas	80,3%	13,2%	16,9%	24,5%	88,1%	73,8%	4,9%	72,4%	35,1%	66,0%	2,9%	24,6%
V. do Castelo	93,7%	11,7%	18,8%	22,4%	75,8%	91,7%	6,7%	59,5%	20,4%	62,6%	4,0%	24,6%

Analisando a Tabela 20 é possível afirmar que o objetivo de obtenção de classificação energética A+ foi atingido pois os rácios de necessidades anuais de energia primária equivalente (Ntc/Nt) são inferiores a 26%. O facto de usar um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor na estação de aquecimento foi vantajoso, visto que provocou uma diminuição significativa do rácio necessidades de aquecimento da fração autónoma. Esta diminuição tem um impacto significativamente elevado pois na maioria dos casos analisados anteriormente, a não obtenção a classificação pretendida correspondeu a zonas com necessidades nominais de aquecimento relativamente elevadas em comparação com as de arrefecimento, o que levou a que fosse possível atingir a etiqueta energética pretendida.

Nas tabelas abaixo, Tabela 21 e Tabela 22 estão apresentadas o conjunto de alterações realizadas para a obtenção da Tabela 20.

Tabela 21 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VM, cRC

	Envidraçados		Isolamento	
	Config A+	Config B+	Config A+	Config B+
Bragança	Vidro duplo c/corte termico de caixilharia plastico de baixa emissividade com 6 mm de espessura de ar $U=2,7[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade ao ar), $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) .	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Evora	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela de correr com 6mm de espessura de ar $U=3,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=4,5[W/m^2.C]$	Vidro duplo, refletante colorido na massa 4 a 5mm + incolor 4 a 8mm, c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 40 mm e 60mm de isolamento nos pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Faro	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Guarda	Vidro duplo c/corte térmico de caixilharia plastico com 6mm de espessura de ar $U=2,9[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,2[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	Isolamento de 50 mm em todas as paredes e pilares com isolamento de 60mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
Lisboa	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	paredes interiores e exteriores com isolamento de 20 mm e 60mm de isolamento nos pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 60 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares
P. Douradas	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade)	sem alteração	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 70 mm de espessura e com 70 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 100 mm de espessura e com 100 mm de isolamento em pilares
V. Castelo	Vidro duplo s/corte térmico de caixilharia metalica de janela fixa com 6mm de espessura de ar $U=3,4[W/m^2.C]$ (cortina opaca interior) e $U=3,9[W/m^2.C]$	Vidro duplo c/ corte termico caixilharia plastico com 16 mm de espessura de ar, vidro de baixa emissividade $U=2,2[W/m^2.C]$ (dispositivo com elevada permeabilidade), colorido na massa 4mm+incolor 4 a 8mm	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 40 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares	Isolamento de paredes interiores, exteriores e pavimento com 60 mm de espessura e com 60 mm de isolamento em pilares

Tabela 22 - Conjunto de características para obtenção A+ pelo RCCTE (Config A+) e alterações necessárias para obtenção A+ pelo REH (Config B+), VM, cRC (continuação)

Proteção solar		Equipamentos		Sistema AQS	Esolar	
Config A+	Config B+	Config A+	Config B+	Caracterização	Config A+	Config B+
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal de 45° Vj-1	Bomba de calor EER=4 e chiller com EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45, e recuperador de calor com $\eta=0,95$ e ventilador com SFP=0,1	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; A=2,44 m ²	1191	991
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal de 60° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45, e recuperador de calor com $\eta=0,90$ e ventilador com SFP=0,1	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; A=2,44 m ²	1340	1090
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal de 30° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45, e recuperador de calor com $\eta=0,90$ e ventilador com SFP=0,1	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; A=2,44 m ²	1340	1090
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara pala horizontal de 45°	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45, e recuperador de calor com $\eta=0,90$ e ventilador com SFP=0,1	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; A=2,44 m ²	1195	1005
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara pala horizontal de 45° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45, e recuperador de calor com $\eta=0,90$ e ventilador com SFP=0,2	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; A=2,44 m ²	1296	1076
persiana de reguas metalizas ou plastica clara	persiana de reguas metalizas ou plastica clara pala horizontal de 30° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45, e recuperador de calor com $\eta=0,90$ e ventilador com SFP=0,1	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; A=2,44 m ²	1185	1001
persiana de reguas metalizas ou plastica clara, cortina opaca interior	persiana de reguas metalizas ou plastica clara, pala horizontal de 60° Vj-1	Caldeira mural rendimento 0,87 Chiller EER=3	Bomba de calor Cop=4,74 e EER=3,45, e recuperador de calor com $\eta=0,90$ e ventilador com SFP=0,1	$\eta_0=0,802$; $a_1=0,383$; $a_2=0,0,015$; A=2,44 m ²	1186	999

A partir das Tabela 21 e Tabela 22, em conjunto com a Tabela 20, é possível verificar que é necessário um sistema de ventilação com recuperação de calor muito exigente, pois o permutador (recuperador) de calor necessita de um rendimento (η) na ordem dos 90 a 95% e de um sistema de ventilação com um *specific fan power (sfp)* baixo (0,1 a 0,2 kW/(m³/s)) com vista a diminuir os consumos dos ventiladores e as necessidades de aquecimento, por forma a baixar o rácio de necessidades anuais de energia primaria equivalente para o valor pretendido de maneira a atingir classe A+.

Em suma, denota-se a dificuldade na obtenção da etiqueta energética de topo (A+) no REH em relação ao RCCTE. No entanto, como se pode verificar, o facto de utilizar outras formas de energia renováveis (Biomassa) como fonte de energia diminui drasticamente as necessidades anuais de energia primária equivalente. No que diz respeito a outras vias de atingir a classe A+ seriam preciso envolventes de excelentes características térmicas e equipamentos muito eficientes, em alguns casos até a necessidade de sistemas de ventilação muito eficientes com ou sem recuperação de calor.

Desagregação do efeito de medidas

Com vista a perceber os impactos provocados pelas alterações efetuadas com objetivo de obter A+, foram efetuados 4 exemplos, em Lisboa e Guarda, com dois exemplos cada. Nos Gráfico 10, Gráfico 11, Gráfico 12 e Gráfico 13, apresentam as alterações efetuadas.

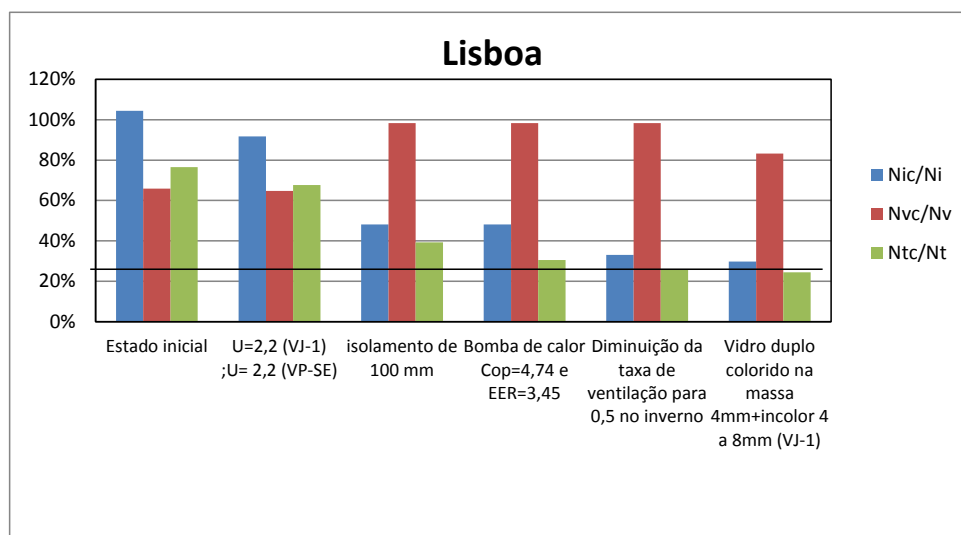


Gráfico 10 - Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para Lisboa na perspetiva A+ segundo a via B.

Como se verifica com análise do Gráfico 10 é necessário alterações significativas ao nível de isolamento, como vãos envidraçados, e uma utilização de uma bomba de calor muito eficiente. Denota-se que com a diminuição do coeficiente de transmissão térmica pelo aumento da espessura de isolamento e da alteração dos vãos envidraçados. No entanto, para obter o rácio das necessidades anuais pretendidas (menor que 26%) é necessário a redução da taxa de ventilação para 0,5 rph na estação de aquecimento utilizando um sistema de ventilação mecânica muito eficiente e a utilização de outro tipo de vidro que diminua as necessidades de arrefecimento (Nvc/Nv).

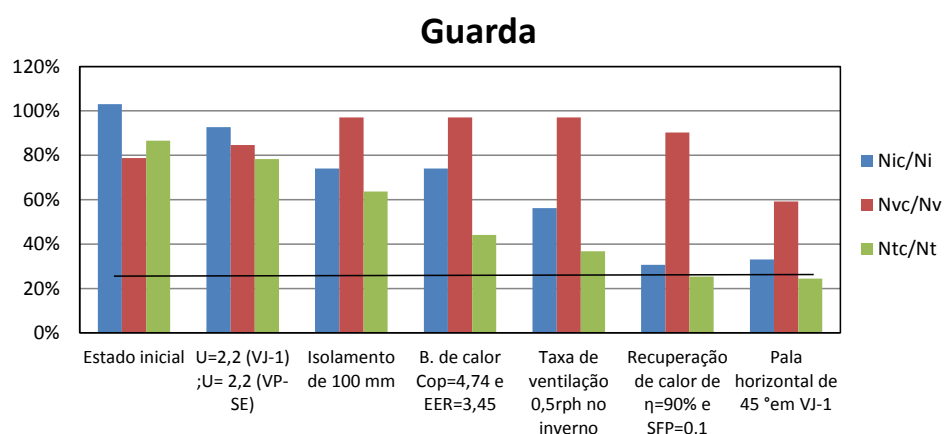


Gráfico 11 - Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para Guarda na perspetiva A+, segundo a via D.

Com o Gráfico 11, pode-se concluir que para além de utilização de vidros de características muito rigorosas e isolamento de cerca de 100mm é ainda assim necessário a utilização de um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor de muito eficiente para diminuir as necessidades de aquecimento (pois estas são as principais responsáveis pelas necessidades anuais) para obter a classificação energética de classe A+. A utilização de recuperação de calor é necessária pois esta é uma zona bastante fria facilitando o objetivo pretendido.

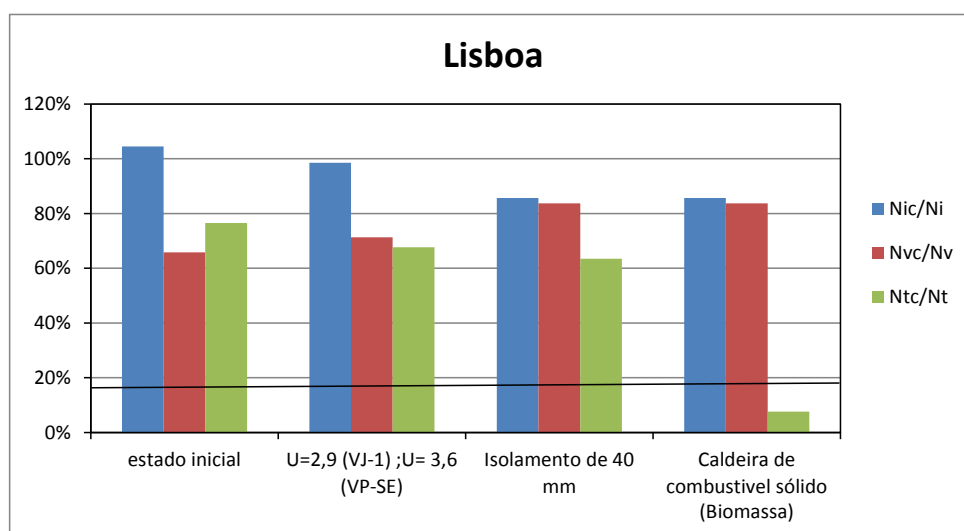


Gráfico 12 - Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para Lisboa na perspetiva A+, segundo a via C.

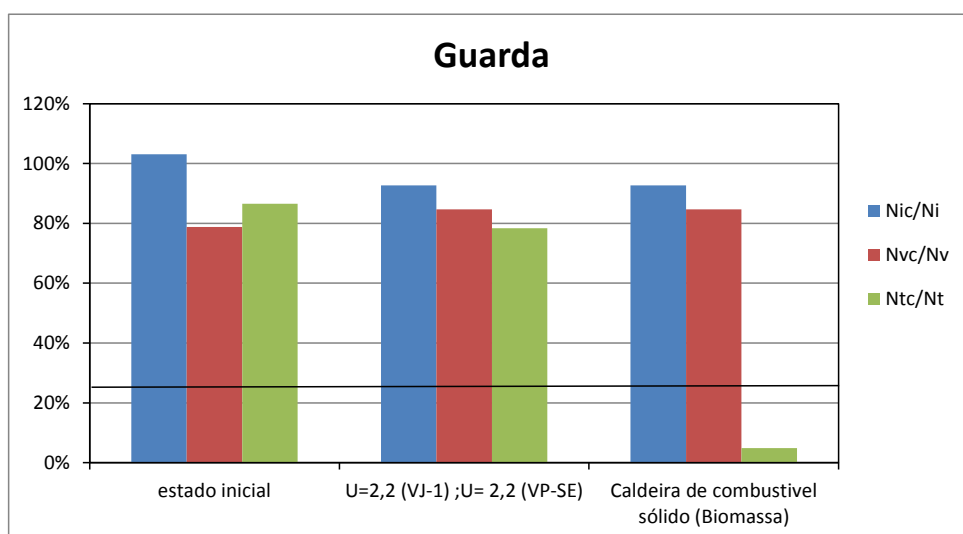


Gráfico 13 - Variação dos parâmetros regulamentares com as alterações para Guarda na perspetiva A+, segundo a via C.

Analisando o Gráfico 12 e o Gráfico 13, concluiu-se que atingiu-se a classificação A+ com bastante mais facilidade do que nos casos anteriores. Sendo que só é necessário cumprir as necessidades de aquecimento e arrefecimento e com a utilização de uma caldeira de queima de biomassa atinge-se esta meta com facilidade. Isto é possível porque a biomassa é uma fonte de energia renovável, e provoca a redução do rácio das necessidades anuais de energia primária equivalente.

Avaliação técnico-económica da alteração dos requisitos para cumprimento da regulamentação de desempenho energético de edifícios de habitação: REH 2013 vs RCCTE 2006

6 Análise económica

Depois de analisado regulamentarmente todos os casos, é necessário a análise económica do conjunto de medidas aplicadas a cada caso. Para isso, foram tidos em conta o custo dos isolamentos, vão envidraçados e equipamentos.

Os custos dos isolamentos foram determinados com base no livro Informação sobre custos (Manso, 2013). Contudo, os custos dos vãos envidraçados foram obtidos a partir do website <http://www.geradordeprecos.info> (Gerador de preços para construção civil. Portugal. CYPE Ingenieros, S.A., 2014).

6.1 Análise na perspetiva de cumprimento mínimo

Para perceber qual é o período de retorno do investimento inicial, foi efetuado uma análise económica do tipo *payback simples* e valor atual líquido (VAL) para determinar em quantos anos é possível obter o retorno do investimento inicial e qual é o retorno ao fim de 30 anos. Na Tabela 23, está presente a análise acima descrita.

Tabela 23 - Análise de retorno realizado na perspetiva de cumprimento

<i>Localidade</i>	<i>ΔInvestimento inicial</i>	<i>Poupança anual</i>	<i>Período de retorno (anos)</i>	<i>VAL (a 30 anos)</i>
Bragança	332 €	29 €	11,3	538 €
Évora	- €	- €	-	-
Faro	50€	2,13€	23,7	13,90 €
Guarda	932 €	40 €	22,9	268 €
Lisboa	34 €	16€	2,2	446 €
P. Douradas	975 €	24 €	41	- 255 €
V. Castelo	- €	- €	-	-

Analisando a Tabela 23, pode-se concluir que o investimento inicial e período de retorno em Penhas Douradas são mais elevados em comparação com as outras localidades, devido ao seu clima rigoroso na estação de aquecimento. Nota-se ainda que as regiões de mais altitude são as que apresentam maiores investimentos iniciais com períodos de retorno elevados.

6.2 Análise na perspetiva de classe A+

Na Tabela 24 apresenta o custo relativo a envidraçados e isolamentos.

Tabela 24 - Custo das alterações de envidraçados e isolamentos

<i>Localidade</i>	<i>VN, sRC</i>	<i>VM, sRC</i>	<i>VN, sRC (biomassa)</i>	<i>VN, cRC</i>
Bragança	2 560 €	2 560 €	2 047 €	2 560 €
Évora	3 429 €	3 428 €	933 €	3 428 €
Faro	5 748 €	5 748 €	3 185 €	5 748 €
Guarda	3 457 €	3 457 €	963 €	3 457 €
Lisboa	5 732 €	5 732 €	2 023 €	5 732 €
P. Douradas	2 404 €	2 404 €	41 €	2 404 €
V. Castelo	3 160 €	3 160 €	41 €	3 160 €

Na Tabela 24, denota-se que os custos mais elevados foram os das regiões mais quentes, como é o caso de Lisboa e Faro, pois o incremento da alteração efetuada era muito elevado.

Os custos dos equipamentos foram obtidos a partir de catálogo. No Anexo D, está apresentado o cálculo das potências necessárias nos equipamentos para seja possível a sua escolha.

Na Tabela 25 estão apresentados os custos totais iniciais (*) para as alterações efetuadas para cada caso analisado anteriormente, e reflete os custos de envidraçados, isolamentos e equipamentos.

Tabela 25 - Total de custo inicial para cada caso de estudo

<i>Localidade</i>	<i>VN, sRC</i>	<i>VM,sRC</i>	<i>VN, sRC (Biomassa)</i>	<i>VN, cRC</i>
Bragança	- 877 €	1 123 €	1 801 €	3 123 €
Évora	2 894 €	4 893 €	3 588 €	6 893 €
Faro	5 213 €	7 213 €	5 840 €	9 213 €
Guarda	2 922 €	4 922 €	3 618 €	6 922 €
Lisboa	5 196 €	7 196 €	4 678 €	9 196 €
Penhas Douradas	1 869 €	3 869 €	2 696 €	5 869 €
Viana do Castelo	2 625 €	4 625 €	2 696 €	6 625 €

(*) Nota: Todos os valores negativos implicam uma poupança de gastos na alteração efetuada em relação às características iniciais caso, sendo que os positivos implicam acréscimo destes.

A partir da Tabela 25, concluiu-se que a utilização de um sistema com caldeira de combustível sólido (biomassa) foi o sistema que se tornou mais rentável pois o impacto dos

envidraçados e da espessura de isolamento não se faz notar, contando apenas com o custo de equipamentos.

Na Tabela 26, apresenta-se o custo inicial e o período de retorno (*payback simples*) para o sistema apresentado na via A.

Tabela 26 – Análise de retorno realizada à via A.

<i>Localidade</i>	<i>ΔInvestimento inicial</i>	<i>Poupança anual</i>	<i>Período de retorno (anos)</i>	<i>VAL (a 30 anos)</i>
Bragança	- 877 €	151 €	0	5407 €
Évora	2 894 €	290 €	10	5806 €
Faro	5 213 €	238 €	22	1927 €
Guarda	2 922 €	317 €	9,2	6588 €
Lisboa	5 196 €	300 €	17,3	3804 €
Penhas Douradas	1 869 €	375 €	5	9381
Viana do Castelo	2 625 €	231 €	11,3	4305 €

Analisando a Tabela 26, concluiu-se em Bragança o investimento inicial é mais barato, pois substituiu-se uma bomba de calor de aquecimento e um Chiller por um sistema bomba de calor reversível que produz o mesmo efeito. Nas zonas de maior altitude verificou-se que o período de retorno é inferior a 10 anos, o que tendo em conta o tempo de vida dos equipamentos, é rentável ainda esta opção nestas zonas.

Na Tabela 27, apresenta-se o custo inicial e o período de retorno (*payback simples*) para o sistema apresentado na via B.

Tabela 27 – Análise de retorno realizada à via B.

<i>Localidade</i>	<i>ΔInvestimento inicial</i>	<i>Poupança anual</i>	<i>Período de retorno (anos)</i>	<i>VAL (a 30 anos)</i>
Bragança	1 123 €	168 €	6,7	3917 €
Évora	4 893 €	300 €	16,3	4107 €
Faro	7 213 €	242 €	29,7	47 €
Guarda	4 922 €	338 €	14,6	5218 €
Lisboa	7 196 €	304 €	23,7	1924 €
Penhas Douradas	3 869 €	400 €	9,7	8131 €
Viana do Castelo	4 625 €	239 €	19,4	2545 €

A partir da Tabela 27, mostrou mais uma vez que as zonas de maior altitude possuem o período de retorno mais baixo e rentável (com períodos de retorno inferiores a 10 anos), em comparação com as outras zonas.

Na Tabela 28, apresenta-se o custo inicial e o período de retorno (*payback simples*) para o sistema apresentado na via C.

Tabela 28 - Análise de retorno realizada à via C.

<i>Localidade</i>	<i>ΔInvestimento inicial</i>	<i>Poupança anual</i>	<i>Período de retorno (anos)</i>	<i>VAL (a 30 anos)</i>
Bragança	1 801 €	- 53 €	Não tem	-3391 €
Évora	3 588 €	117 €	30,6	-78 €
Faro	5 840 €	100 €	58,4	-2840 €
Guarda	3 618 €	92 €	39,3	-858 €
Lisboa	4 678 €	123 €	38	-988 €
Penhas Douradas	2 696 €	139 €	19,3	1474 €
Viana do Castelo	2 696 €	63 €	42,6	-806 €

Segundo a Tabela 28, concluiu-se que esta via com menor investimento inicial no que diz respeito á obtenção de classe A+, mas que possui a poupança anual mais baixa, com períodos de retorno mais elevados. Por outras palavras é a maneira mais fácil e menos vantajosa para a obtenção de classificação A+. Por outro lado, em Bragança apresenta um prejuízo anual de 53,14 €, o que não compensa a obtenção deste tipo de sistema.

Na Tabela 29, apresenta-se o custo inicial e o período de retorno (*payback simples*) para o sistema apresentado na via D.

Tabela 29 - Análise de retorno realizada à via D.

<i>Localidade</i>	<i>ΔInvestimento inicial</i>	<i>Poupança anual</i>	<i>Período de retorno (anos)</i>	<i>VAL (a 30 anos)</i>
Bragança	3 123 €	189 €	16,6	2547 €
Évora	6 893 €	310 €	22,2	2407 €
Faro	9 213 €	239 €	38,5	-2043 €
Guarda	6 922 €	360 €	19,2	3878 €
Lisboa	9 196 €	302 €	30,5	-136 €
Penhas Douradas	5 869 €	429 €	13,7	7001 €

Viana do Castelo	6 625 €	246 €	27	755 €
-------------------------	---------	-------	----	-------

Da análise da Tabela 29, verificou-se que este sistema apesar do impacto inicial apresenta poupanças anuais consideráveis, com períodos de retorno relativamente elevados em função do tempo de vida dos equipamentos. Nota-se que os períodos de retorno mais baixo são os das zonas de maior altitude.

Em suma, pode-se concluir que o tipo de sistema em que se obtenha a classe A+ depende da localização geográfica do edifício, ainda assim a escolha remete com maior ênfase na via D.

7 Conclusões

Este trabalho visou estudar as diferenças entre a nova regulamentação (REH) e a antiga (RCCTE) a nível técnico-económico.

O facto de os graus-dia de aquecimento terem diminuído de 20°C para 18°C provocou uma diminuição acentuada nos valores das necessidades nominais de aquecimento (Nic). No que diz respeito às diferenças nas necessidades máximas admissíveis ou de referência, nota-se que a consideração de coeficientes de transferência de calor de referência em vez da consideração do fator de forma de fração para determinar estas necessidades provocou uma diminuição das necessidades máximas admissíveis no REH em relação ao RCCTE.

Quando se estudou o que acontece quando se “transpõe” um edifício que cumpre o RCCTE para o REH, verificou-se que a solução que cumpria o RCCTE à tangente também cumpriu o REH em Viana do Castelo e Évora, falhando por pouco o cumprimento nas restantes localizações (até 10% de excesso no Nic). Estes rácios mais elevados tiveram por base, anteriormente, as necessidades de aquecimento máximas admissíveis dependerem do fator de forma da fração, dependem agora de coeficientes de referência presentes no REH que diminuem o valor destas necessidades de referência. Verificou-se também que para cumprir o novo regulamento não foram necessárias grandes alterações, sendo apenas alterados ligeiramente os vãos envidraçados, ainda que na Guarda e em Penhas Douradas fossem necessários vãos envidraçados de excelentes características térmicas.

Numa segunda fase, onde o objetivo era obter a etiqueta energética A+, quando se transitou do RCCTE para o REH verificou-se que alguns casos que eram A+ pelo RCCTE não cumpriam o requisito ($Nic < Ni$) no REH, e sobretudo que em nenhum dos casos foi possível a manutenção da mesma etiqueta A+ que se obtinha no RCCTE (passariam todos a B ou B- pelo REH).

Na identificação de soluções / alterações necessárias para obter A+ pelo REH, consideraram-se 4 cenários/vias: (i) ventilação natural, em conjunto com uma bomba de calor de elevada eficiência para aquecimento, arrefecimento e AQS (VN, sRC); (ii) ventilação mecânica com taxa de renovação de 0,5 rph em conjunto com uma bomba de calor de elevada eficiência para aquecimento, arrefecimento e AQS (VM, sRC); (iii) ventilação natural utilizando para aquecimento ambiente uma caldeira de queima de combustível sólido, nomeadamente biomassa (VN, sRC, Biomassa) e por último (iv) ventilação mecânica com taxa de renovação de 0,9 rph com recuperação de calor e utilizando uma bomba de calor de elevada eficiência para aquecimento, arrefecimento e AQS (VM, cRC).

No primeiro cenário (VN, sRC), só foi possível a obtenção de um caso com classe A+, em Viana do Castelo, pois esta é uma zona litoral a norte do país com um clima ameno. No caso de Lisboa consegue-se um rácio de necessidades anuais bastante próximo de A+ (zona Litoral). Em todos os outros casos não foi possível atingir a classe A+, ficando apenas pela classe A, apesar de estes já conterem um isolamento de espessura 100mm e os vãos envidraçados serem de características muito exigentes. No segundo caso, reduziu-se a taxa de ventilação para 0,5 rph na estação de aquecimento com a introdução de um sistema de ventilação mecânica em detrimento de ventilação natural. Esta redução permitiu a redução das necessidades nominais de aquecimento, permitindo assim obter outra zona de classe A+ que, no primeiro caso, era apenas próxima como é o caso de Lisboa, no entanto seria necessário a utilização de um sistema de ventilação muito eficiente com um *specific fan power* bastante baixo na ordem de 0,1 e 0,2 kW/(m³/s). No geral é de reparar que as necessidades diminuíram em relação ao caso de análise anterior. No terceiro caso, é possível a obtenção da classe pretendida em todos os casos, pois ao usufruir de uma caldeira com queima de biomassa estamos a contribuir para que se diminua drasticamente as necessidades anuais de energia primária equivalente. Isto acontece pois na metodologia do REH este tipo de sistema provém de outras fontes de energia renovável que irá descontar no valor do cálculo final das necessidades anuais de energia primária equivalente, diminuindo assim o rácio destas necessidades. Assim, apenas é preciso verificar os rácios das necessidades de aquecimento e arrefecimento, sem elevadas exigências na envolvente da fração como nos outros casos. Por último, estudou-se a utilização de um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor. Neste tipo de sistema foi possível a obtenção de classe A+ em todos os casos, pois o facto de existir a recuperação do calor provoca uma diminuição das necessidades de aquecimento. Como estas são as que mais influenciam as necessidades anuais de energia primária, haverá a diminuição do rácio de necessidades anuais. De notar ainda que para a

obtenção desta ainda é necessário uma envolvente do edifício muito rigorosa com isolamentos a poderem chegar aos 100mm, vãos envidraçados também de características térmicas muito exigentes e sistemas de ventilação muito eficientes com *specific fan power* bastantes baixos também para diminuir o consumo dos ventiladores. Em suma, o caso em que foi mais facilmente possível atingir a classificação energética pretendida (A+) foi na utilização da caldeira de queima de biomassa para suprir as necessidades de aquecimento. Nos outros casos, é necessária uma exigência de envolvente e sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação bastante elevada, e nem sempre chegando para obtenção de classe.

Analisando economicamente todas as alterações efetuadas para a obtenção da classe A+ pelo REH, pode-se concluir que o tipo de sistema que maior viabilidade económica é a utilização de um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor em conjunto com uma bomba de calor de elevada eficiência que colmate as necessidades de aquecimento, arrefecimento e AQS.

Numa outra fase seria interessante analisar outro tipo de edificio como uma moradia unifamiliar e verificar se os resultados iriam encontro aos deste caso de estudo.

Referências Bibliográficas

- (2014). Obtido de Gerador de preços para construção civil. Portugal. CYPE Ingenieros, S.A.: <http://www.geradordeprecos.info/>
- Camelo, S., Dos Santos, C., Ramalho, Á., Horta, C., Gonçalves, H., & Maldonado, E. (2006). *Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. Lisboa.
- ITECons. (2013). *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)*.
- Kapsalaki, M., Leal, V., & Santamouris, M. (2012). A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings. *Energy and Buildings*, 765-778.
- Manso, A. C. (2013). *Informação Sobre Custos Fichas de actualização - dez 2012*. Lisboa: LNEC.
- Matos, L., & Dos Santos, C. P. (2006). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios (ITE 50)*. Lisboa: LNEC.
- RCCTE. (2006). *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, DL n° 80/2006*.

ANEXO A: Parâmetros Térmicos da fração autónoma

Todos os parâmetros determinados neste anexo seguem com base no livro ITE 50 (Matos & Dos Santos, 2006).

Envolvente opaca exterior

Tabela 30 - Constituição da Parede exterior

Parede exterior Descrição	Esp. [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·°C)]	R [(m²·C)/W]
Reboco exterior	0,02	2000	1,3	0,02
Tijolo furado 0,24	0,24	1300	-	0,56
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,02	15	0,042	0,48
Reboco interior	0,02	2000	1,3	0,02
Resistência Térmica Exterior				0,04
Resistência Térmica Interior				0,13
Coefficiente de transmissão [W/(m²·C)]				0,81

Tabela 31 - Constituição da Cobertura

Cobertura Descrição	Esp. [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·°C)]	R [(m²·C)/W]
Laje de betão	0,3	2300	1,65	0,18
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,02	15	0,042	0,48
Reboco interior	0,1	2000	1,3	0,08
Resistência Térmica (ascendente)				0,1
Coefficiente de transmissão [W/(m²·C)]				0,93

Envolvente Opaca Interior

Tabela 32 - Constituição da Parede interior 1

Parede interior 1 Descrição	Esp. [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·°C)]	R [(m²·C)/W]
Reboco exterior	0,02	2000	1,3	0,02
Tijolo furado 0,20	0,2	1300	-	0,52
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,02	15	0,042	0,48
Reboco interior	0,02	2000	1,3	0,02
Resistência Térmica Interior				0,13
Resistência Térmica Interior				0,13
Coefficiente de transmissão [W/(m²·C)]				0,78

Tabela 33 - Constituição da Parede interior 2

Parede interior 2 Descrição	Esp. [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·°C)]	R [(m²·C)/W]
Reboco exterior	0,02	2000	1,3	0,02
Tijolo furado 0,24	0,24	1300	-	0,56
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,02	15	0,042	0,48
Reboco interior	0,02	2000	1,3	0,02
Resistência Térmica Interior				0,13
Resistência Térmica Interior				0,13
Coefficiente de transmissão [W/(m²·C)]				0,75

Tabela 34 - Constituição do Pavimento

Pavimento Descrição	Esp. [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·°C)]	R [(m²·C)/W]
Cerâmica vidrada	0,02	2300	1,3	0,02
Betonilha	0,015		1,65	0,01
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,02	15	0,042	0,48
Lage maciça de betão	0,3	2300	1,65	0,18
Resistência Térmica Interior				0,17
Resistência Térmica Interior				0,17
Coefficiente de transmissão [W/(m²·C)]				0,98

Tabela 35 - Constituição dos Pilares

Pilares (Pontes Térmicas Planas) Descrição	Esp. [m]	ρ [kg/m³]	λ [W/(m·°C)]	R [(m²·C)/W]
Reboco exterior	0,02	2000	1,3	0,02
Pilar de betão	0,14	2300	1,65	0,08
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,06	15	0,042	1,43
Reboco interior	0,02	2000	1,3	0,02
Resistência Térmica Exterior				0,04
Resistência Térmica Interior				0,13
Coefficiente de transmissão [W/(m²·C)]				0,75

Pontes Térmicas Lineares

Na Tabela 36 estão apresentadas as pontes térmicas lineares existentes na fração autónoma em análise com base na aplicação do RCCTE (RCCTE, 2006).

Tabela 36 - Pontes térmicas lineares existentes

Pontes térmicas lineares	ψ [W/m·°C]	Comp. B[m]
Fachada com pavimentos sobre locais não aquecidos	0,335	10,30
Fachada com pavimentos intermédios	0,45	10,30
Fachada com varanda	0,42	1,3
Duas paredes verticais	0,25	10,08
Fachada com padieira, ombreira e peitoril	0	6,80

Inercia Térmica

A inercia térmica interior de uma fração autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos de construção. (RCCTE, 2006)

Na Tabela 37 está apresentada a quantificação da inercia térmica da fração autónoma em análise. Os cálculos realizados tiveram como base o RCCTE 2006.

Tabela 37 - Quantificação da Inércia térmica

<i>Elemento</i>	<i>Msi</i> [Kg/m ²]	<i>Msi</i> [Kg/m ²]	<i>Si</i> [m ²]	<i>r</i>	<i>Msi.r.Si</i> [Kg]	<i>Ap</i> [m ²]	<i>It</i> [Kg/m ²]
Laje de teto	890,3	300	53,48	1	16044		
Laje de pavimento	736,3	150	53,48	1	8022		
Paredes exteriores	392,3	150	30,36	1	4554		
Paredes interiores ENU	340,3	150	9,07	1	1360,5	53,48	706,22
Paredes interiores 2	392,3	150	15,88	1	2382		
Paredes interiores à fração autónoma	392	150	36,04	1	5406		

ANEXO B: Fatores Solares dos vãos envidraçados

Os ângulos solares tem como base a descrição presente no manual de apoio para a aplicação do RCCTE (Camelo, Dos Santos, Ramalho, Horta, Gonçalves, & Maldonado, 2006) e estão apresentados na Tabela 38 e Tabela 39.

Nota: os valores intermédios de F_h , F_o e F_f são calculados por intermédio de uma interpolação.

Para o envidraçado VJ-1:

Tabela 38 - Ângulos solares para o envidraçado VJ-1

<i>Parâmetro</i>	<i>Inverno</i>	<i>Verão</i>
Ângulo de obstrução horizontal (F_h)	$\alpha = 35^\circ$ que no RCCTE toma o valor de 0,83	$\alpha = 35^\circ$ que no RCCTE toma o valor de 1
Ângulo de obstrução devido á presença de palas horizontais (F_o)	Não existem palas horizontais no inverno	Não existem palas horizontais no verão
Ângulo de obstrução devido á presença de palas verticais (F_f)	Não existem palas verticais no inverno	Não existem palas verticais no verão

De acordo com o RCCTE (Anexo IV, capítulo 4.3.3) no caso de não existirem palas verticais e horizontais que provoquem sombreamento, adota-se o valor de 0,9 para as duas estações para o produto de $F_o \cdot F_f$ provocado pelos vãos envidraçados. (RCCTE, 2006)
Então vem que F_s é definido por:

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$$

O fator de obstrução F_s toma o valor de:

- Inverno: $F_s = 0,83 \times 0,9 = 0,75$
- Verão: $F_s = 1 \times 0,9 = 0,9$

Para o cálculo destes fatores, no REH, requer apenas a inserção dos ângulos de obstrução.

Para o envidraçado VP-SE:

Tabela 39 - Ângulos solares para o envidraçado VP-SE

<i>Parâmetro</i>	<i>Inverno</i>	<i>Verão</i>
Ângulo de obstrução horizontal (F_h)	$\alpha = 42^\circ$ que no RCCTE toma o valor de 0,50	$\alpha = 42^\circ$ que no RCCTE toma o valor de 1
Ângulo de obstrução devido á presença de palas horizontais (F_0)	$\alpha = 48^\circ$ que no RCCTE toma o valor de 0,60	$\alpha = 42^\circ$ que no RCCTE toma o valor de 0,55
Ângulo de obstrução devido á presença de palas verticais (F_f)	$\alpha = 62^\circ$ que no RCCTE toma o valor de 0,79	$\alpha = 62^\circ$ que no RCCTE toma o valor de 0,77

O fator de obstrução F_s toma o valor de:

- Inverno: $F_s = 0,5 \times 0,6 \times 0,79 = 0,24$
- Verão: $F_s = 1 \times 0,55 \times 0,77 = 0,43$

Na estação de aquecimento o valor de $F_s = 0,14$, quando multiplicado pelo fator de orientação X_j , que neste caso toma o valor de 0,84 para esta orientação (SE), nunca pode ser inferior a 0,27. Quando tal acontecer, este produto toma o valor de 0,27 (RCCTE, capítulo 4.3.3).

Calculo do Fator solar do vão envidraçado:

De acordo com o RCCTE este cálculo é determinado pela soma de 70% dos dispositivos móveis ativados com 30% do fator solar do vidro.

$$g^\perp (\mathbf{VJ-1}) = 0,70 \times 0,04 + 0,30 \times 0,78 = 0,262$$

$$g^\perp (\mathbf{VP-SE}) = 0,70 \times 0,37 + 0,30 \times 0,78 = 0,493$$

ANEXO C: Taxa de renovação de ar utilizada

A taxa de renovação de ar para o REH foi a mesma para a aplicação do RCCTE, sendo esta de 0,9 rph (h^{-1}). De acordo com o RCCTE, a taxa de ventilação natural para edifícios de habitação pode ser determinada de acordo com a Figura 5 em conjunto com a Figura 4, que fazem parte integrante deste Decreto-Lei (RCCTE, 2006) e apresenta o quadro IV.1 deste regulamento.

A Figura 4 apresenta o quadro IV.2 que permite determinar a classe de exposição ao vento das fachadas do edifício.

QUADRO IV.2
Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
Menor que 10 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
De 10 m a 18 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
De 18 m a 28 m	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Superior a 28 m	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4

Notas

Região A — todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B.
 Região B — Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.
 Rugosidade I — edifícios situados no interior de uma zona urbana.
 Rugosidade II — edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.
 Rugosidade III — edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

Figura 4 - Classe de exposição do edifício. (RCCTE, 2006)

Neste caso, como a altura das fachadas é inferior a 10m, e a Rugosidade pertence ao tipo I, estamos na presença de classe de exposição 1, tanto para a Região A ou B.

Avaliação técnico-económica da alteração dos requisitos para cumprimento da regulamentação de desempenho energético de edifícios de habitação: REH 2013 vs RCCTE 2006

QUADRO IV.1

Valores convencionais de R_{ph} (em h^{-1}) para edifícios de habitação

Classe de exposição	Dispositivos de admissão na fachada	Permeabilidade ao ar das escahlerias (de acordo com a norma EN 12207)								Edifícios conformes com a NP 1037-1
		Sem classificação		Classe 1		Classe 2		Classe 3		
		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		
		Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	
1	Sim	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	0,75	0,65	0,60
	Não	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
2	Sim	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	
	Não	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
3	Sim	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
	Não	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	
4	Sim	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
	Não	1,15	1,05	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	

Notas

1 — Quando os dispositivos instalados para admissão de ar nas fachadas não garantirem que, para diferenças de pressão entre 20 Pa e 200 Pa, o caudal não varie mais de 1,5 vezes, os valores do quadro IV.1 devem ser agravados de 0,10.

2 — Quando a área de vãos envidraçados for superior a 15 % da área útil de pavimento, os valores do quadro IV.1 devem ser agravados de 0,10.

3 — Se todas as portas do edifício ou fracção autónoma forem bem vedadas por aplicação de borrachas ou equivalente em todo o seu perímetro, os valores indicados no quadro IV.1 para edifícios não conformes com a NP 1037-1 podem ser diminuídos de 0,05.

Figura 5 - Taxa de renovação nominal. (RCCTE, 2006)

A partir da Figura 5, verifica-se que a taxa de renovação adquire o valor de 0,8 (classe de exposição 1), mas como a área dos vãos envidraçados é superior a 15% da área de pavimento útil, aos valores do quadro IV.1 deve ser acrescido o valor de 0,10. Assim a taxa de renovação é de 0,9 rph.

ANEXO D: Potências dos equipamentos

Para determinar os custos dos equipamentos é necessário calcular as potências de aquecimento e arrefecimento que devem ser supridas. Para isso utilizaram-se as equações abaixo apresentadas, equação 13 e 14 (Kapsalaki, Leal, & Santamouris, 2012).

$$KW_{p_{aquec}} = \left[\left(\sum U \times A_{paredes e pavimento} + \sum \psi_i \times Li \right) + \sum U_{env} \times A_{env} + \frac{1,23 \times 10^3}{3600} \times V \times rph \right] \times \Delta T \quad (13)$$

$$KW_{p_{arref}} = 0,0593 + 0,5159 \times \left[\left(\sum U \times A_{paredes e pavimento} + \sum \psi_i \times Li \right) + \sum U_{env} \times A_{env} + \frac{1,23 \times 10^3}{3600} \times V \times rph \right] \times \Delta T_2 + qi \times A + F_g \times g_c \times S_r \times A_{env} \quad (14)$$

A Tabela 40 apresenta os resultados das potências necessárias para os equipamentos em função da localização para cada caso analisado.

Tabela 40 – Potências necessárias para os equipamentos.

Localidade	Função	Cumpre [W]	VN, sRC [W]	VM, sRC [W]	VN, sRC, (Biomassa) [W]	VN, cRC [W]
Bragança	Aquecimento	3173	2544	2117	3042	2544
	Arrefecimento	1171	930	930	1090	930
Évora	Aquecimento	2533	1897	1579	2407	1897
	Arrefecimento	1428	927	927	1138	927
Faro	Aquecimento	2650	1645	1369	2039	1645
	Arrefecimento	1290	868	868	1068	868
Guarda	Aquecimento	3193	2511	2090	3002	2511
	Arrefecimento	1046	940	822	1007	822
Lisboa	Aquecimento	2467	1590	1323	2272	1811
	Arrefecimento	1272	923	923	1226	982
P. Douradas	Aquecimento	3257	2687	2236	3060	2687
	Arrefecimento	986	789	789	875	789
V. Castelo	Aquecimento	3063	2398	2045	3078	2398
	Arrefecimento	1127	871	871	1077	872

Avaliação técnico-económica da alteração dos requisitos para cumprimento da regulamentação de desempenho energético de edifícios de habitação: REH 2013 vs RCCTE 2006