

Tese apresentada para obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Civil pela Universidade da Beira Interior,  
sob orientação de:

**Prof. Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha**

Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil  
e Arquitectura da Universidade da Beira Interior



À minha família



## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contou directamente com a elaboração de diversas pessoas, sem as quais não teria sido possível elaborar esta dissertação. Desde já, o autor deseja expressar os seus sinceros agradecimentos:

- Ao Prof. Doutor João Carlos G. Lanzinha, orientador de mestrado pela disponibilidade e apoio técnico prestado, assim como a amizade e incentivo que foram muito importantes para a conclusão deste trabalho. Um agradecimento especial pelas oportunidades e confiança demonstradas que permitiram ultrapassar os obstáculos que surgiram durante este período.
- A todos os proprietários que disponibilizaram as informações necessárias que serviram de base ao desenvolvimento desta dissertação, assim como o tempo dispendido e o carinho com que fui recebida em todas as “visitas”.
- Às empresas que facultaram os orçamentos das intervenções propostas para a reabilitação das moradias.
- Aos meus professores, nomeadamente, a Prof. Cristina Fael, o Prof. Clemente Pinto e o Prof. Miguel Nepomuceno pela amizade e apoio demonstradas ao longo deste período de dissertação.
- Aos meus colegas e amigos, pela amizade e incentivo ao longo destes anos de estudo, que contribuíram de certa forma à conclusão e sucesso deste trabalho.
- Finalmente, às pessoas que mais amo: os meus pais, irmãos e avô, pelo seu apoio incondicional, incentivo e paciência nos momentos em que mais precisei de ajuda. Quero deixar um agradecimento especial à minha irmã por ter colaborado na revisão da dissertação e por os todos os conselhos que foram dados por familiares mais próximos.



## RESUMO

Ao longo do tempo as necessidades e os consumos de energia têm vindo a aumentar, de modo a acompanhar o ritmo e evolução da sociedade e as exigências de conforto dos utentes. A energia assume um papel preponderante no bem-estar económico e social, em especial no aquecimento dos edifícios no inverno e o seu arrefecimento no verão. De tal maneira dependemos dela para qualquer actividade no quotidiano, que com toda a certeza não estaríamos preparados para a sua escassez. Uma vez que o consumo de energia tem sofrido um aumento vertiginoso torna-se necessário a implementação de limites de consumo pelo que a eficiência energética surge assim como um dos vectores de desenvolvimento sustentável no sentido de garantir a optimização dos consumos de energias.

A utilização adequada de equipamentos e de soluções construtivas mais eficientes ao nível dos edifícios constituem uma forma de alcançar significativas poupanças de energia, manter o conforto e aumentar a produtividade das actividades dependentes de energia.

A qualificação dos elementos construtivos que constituem a envolvente de um edifício tem sido proposta por alguns especialistas sob a forma de atribuição de níveis de qualidade, uma vez que são estes que em termos construtivos condicionam a eficiência energética do edifício.

O objectivo deste estudo prende-se então com a avaliação da qualidade térmica dos edifícios existentes através de uma nova classificação dos seus elementos construtivos. Esta classificação permite diagnosticar a qualidade térmica da envolvente e avaliar os diferentes níveis de qualidade das soluções de reabilitação a propor. Para efeitos de validação da proposta da nova grelha de avaliação exigencial, aplicou-se a mesma a um conjunto de edifícios e efectuaram-se as principais conclusões que apontam para uma intervenção mais eficiente, uma vez que a reabilitação será efectuada apenas nos elementos que mais contribuem para as perdas de energia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade, Reabilitação, Envolvente, Térmica.

## **ABSTRACT**

Over the years, the needs and consumption of energy has been increasing, so as to keep pace and progress of society and the requirements for comfort of users. Energy plays an important role in economic social and welfare, particularly for heating buildings in winter and cooling them in summer. People are so dependent on it for any activity in daily life, that they would surely not be prepared for its scarcity. Since energy consumption has had a steep rise, it is required to implement limits on consumption, which makes energy efficiency a vector of sustainable development to ensure the optimization of energy consumption.

The proper use of equipment and more efficient constructive solutions on buildings is one way to achieve significant energy savings, keeping the comfort and increasing the productivity of energy-dependent activities.

The qualification of the constructive elements that constitute the building envelope has been proposed by some experts by conferring quality levels, since they condition the energy efficiency of the building in what concerns to constructive aspects.

The aim of this study is to evaluate of the thermal quality of existing buildings through a new classification of their constructive elements. This classification permits to diagnose the quality of thermal environment and assess the different levels of quality of rehabilitation to propose solutions. For the validation of the proposed new scale of assessment it has been applied to a number of buildings. It is concluded that more efficient intervention is needed, since only on the elements that contribute most to the loss of energy will be rehabilitated.

**KEY-WORDS** – Quality, Rehabilitation, Envelope, Thermal.

**ÍNDICE GERAL****CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO**

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. ENQUADRAMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. OBJECTIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....</b>	<b>4</b>

**CAPÍTULO 2 – CONCEITOS GERAIS RELATIVOS A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS**

<b>2. CONCEITOS GERAIS RELATIVOS A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS..</b>	<b>7</b>
<b>2.2. DEFINIÇÕES .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3. RECURSOS DISPONÍVEIS.....</b>	<b>8</b>
2.2.1. FONTES NÃO RENOVÁVEIS .....	8
2.2.1.1. Carvão .....	8
2.2.1.2. Petróleo .....	8
2.2.1.3. Gás natural .....	9
2.2.1.4. Urânio .....	9
2.2.2. FONTES RENOVÁVEIS .....	9
2.2.1.5. Biomassa.....	9
2.2.1.6. Eólica.....	10
2.2.1.7. Hídrica .....	10
2.2.1.8. Geotérmica.....	10
2.2.1.9. Marés.....	11
2.2.1.10. Ondas.....	11
2.2.1.11. Solar .....	11
<b>2.4. EVOLUÇÃO DOS CONSUMOS.....</b>	<b>11</b>

## **CAPÍTULO 3 – PRINCIPAL REGULAMENTAÇÃO EXISTENTE E SUA IMPLEMENTAÇÃO A NÍVEL EUROPEU**

<b>3. PRINCIPAL REGULAMENTAÇÃO EXISTENTE E SUA IMPLEMENTAÇÃO A NÍVEL EUROPEU.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2. DIRECTIVA EUROPEIA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3. REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA.....ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.</b>	
3.3.1. ESQUEMA DE CERTIFICAÇÃO PROPOSTO NO SCE ... ERRO! MARCADOR NÃO DEFINIDO.	

## **CAPÍTULO 4 – DEFINIÇÃO DO CONCEITO DE AVALIAÇÃO EXIGENCIAL E DE NÍVEIS DE QUALIDADE TÉRMICA**

<b>4. DEFINIÇÃO DO CONCEITO DE AVALIAÇÃO EXIGENCIAL E DE NÍVEIS DE QUALIDADE TÉRMICA .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1. AVALIAÇÃO EXIGENCIAL.....</b>	<b>29</b>
<b>4.2. NÍVEIS DE QUALIDADE TÉRMICA.....</b>	<b>31</b>

## **CAPÍTULO 5 – TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA DOS ELEMENTOS DA ENVOLVENTE**

<b>5. TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA DOS ELEMENTOS DA ENVOLVENTE .....</b>	<b>39</b>
<b>5.1. PAREDES.....</b>	<b>39</b>
5.1.1. REABILITAÇÃO TÉRMICA PELO EXTERIOR .....	39
5.1.2. REABILITAÇÃO TÉRMICA PELO INTERIOR.....	40
<b>5.2. LAJE DE ESTEIRA .....</b>	<b>41</b>
5.2.1. REABILITAÇÃO TÉRMICA NA FACE SUPERIOR.....	41
5.2.2. REABILITAÇÃO TÉRMICA NA FACE INFERIOR .....	42
<b>5.3. COBERTURA .....</b>	<b>42</b>
5.3.1. REABILITAÇÃO TÉRMICA NA FACE SUPERIOR .....	42
5.3.2. REABILITAÇÃO TÉRMICA NA FACE INFERIOR .....	43
<b>5.4. ENVIDRAÇADOS .....</b>	<b>43</b>

## **CAPÍTULO 6 – APLICAÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO E ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS DE QUALIDADE TÉRMICA A EDIFÍCIOS EXISTENTES**

<b>6. APLICAÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO E ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS DE QUALIDADE TÉRMICA A EDIFÍCIOS EXISTENTES .....</b>	<b>47</b>
<b>6.1. DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS.....</b>	<b>48</b>
<b>6.2. CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DA ENVOLVENTE E ATRIBUIÇÃO DE NÍVEIS DE QUALIDADE.....</b>	<b>56</b>
<b>6.3. APLICAÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO EXISTENTE .....</b>	<b>67</b>
<b>6.4. REABILITAÇÃO ENERGÉTICA ATENDENDO A NÍVEIS DE QUALIDADE TÉRMICA .....</b>	<b>69</b>
6.4.1. SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO A ADOPTADAS .....	70
6.4.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	82
6.4.3. ESTUDO ECONÓMICO DE SOLUÇÕES.....	85
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Evolução do consumo da energia total Mundial <sup>[16]</sup> .....	12
<b>Figura 2</b> – Evolução do consumo da energia total Mundial, em percentagem <sup>[16]</sup> .....	12
<b>Figura 3</b> – Evolução do consumo da energia total Europeu <sup>[16]</sup> .....	13
<b>Figura 4</b> – Evolução do consumo da energia total Europeu, em percentagem <sup>[16]</sup> .....	13
<b>Figura 5</b> – Evolução do consumo da energia total em Portugal <sup>[16]</sup> .....	15
<b>Figura 6</b> – Balanço energético a nível nacional, em 2006 <sup>[18]</sup> .....	15
<b>Figura 7</b> – Classe energética <sup>[10]</sup> .....	25
<b>Figura 8</b> – Classe energética dos edifícios <sup>[10]</sup> .....	26
<b>Figura 9</b> – Isolamento pelo exterior <sup>[15]</sup> .....	40
<b>Figura 10</b> – Sistema de isolamento pelo interior <sup>[15]</sup> .....	41
<b>Figura 11</b> – Sistema de isolamento na face superior <sup>[15]</sup> .....	42
<b>Figura 12</b> – Sistema de isolamento na face superior <sup>[15]</sup> .....	43
<b>Figura 13</b> – Sistema de isolamento na face superior <sup>[15]</sup> .....	43
<b>Figura 14</b> – Exemplo de caixilharia em alumínio sem corte térmico antes da reabilitação <sup>[15]</sup> .....	44
<b>Figura 15</b> – Exemplo de caixilharia em madeira depois da reabilitação <sup>[15]</sup> .....	44
<b>Figura 16</b> – Levantamento dimensional do Edifício A.....	48
<b>Figura 17</b> – Planta de distribuição, projecto de estabilidade do Edifício B.....	47
<b>Figura 18 e 19</b> – Planta de distribuição do R/C e 1º Andar, projecto de estabilidade do Edifício C.....	48
<b>Figura 20 e 21</b> – Planta de do R/C, 1º Andar, projecto de arquitectura do Edifício D.....	49
<b>Figura 22</b> – Alçado Principal, projecto de arquitectura do Edifício D .....	49
<b>Figura 23 e 24</b> – Planta do 1º Andar e Corte, projecto de arquitectura do Edifício E .....	50
<b>Figura 25</b> – Planta de do R/C, projecto de arquitectura do Edifício F .....	51
<b>Figura 26</b> – Corte, projecto de arquitectura do Edifício F .....	51
<b>Figura 27 e 28</b> – Planta de do R/C e 1º Andar, projecto de arquitectura do Edifício G .....	52
<b>Figura 29</b> – Corte, projecto de arquitectura do Edifício G.....	52
<b>Figura 30 e 31</b> – Planta de do 1º Andar e Sótão, projecto de arquitectura do Edifício H .....	53
<b>Figura 32</b> – Corte, projecto de arquitectura do Edifício H.....	53
<b>Figura 33 e 34</b> – Planta de do R/C e 1º Andar, projecto de arquitectura do Edifício I .....	54
<b>Figura 35</b> – Corte, projecto de arquitectura do Edifício I.....	54
<b>Figura 36 e 37</b> – Planta de do R/C e 1º Andar, projecto de arquitectura do Edifício J .....	55
<b>Figura 38</b> – Corte, projecto de arquitectura do Edifício J.....	55

## ÍNDICE DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Listagens das exigências de cada elemento da envolvente <sup>[4]</sup> .....	30
<b>Quadro 2</b> – Níveis de Qualidade Térmica da Envolvente Opaca <sup>[2]</sup> .....	32
<b>Quadro 3</b> – Exigência do isolamento térmico em paredes exteriores <sup>[4]</sup> .....	33
<b>Quadro 4</b> – Níveis de Qualidade Térmica para cada elemento opacos verticais e horizontais da envolvente .....	36
<b>Quadro 5</b> – Níveis de Qualidade Térmica para as pontes térmicas planas e vãos envidraçados .....	36
<b>Quadro 6</b> – Descrição do edifício A .....	48
<b>Quadro 7</b> – Descrição do edifício B .....	47
<b>Quadro 8</b> – Descrição do edifício C .....	48
<b>Quadro 9</b> – Descrição do edifício D .....	49
<b>Quadro 10</b> – Descrição do edifício E .....	50
<b>Quadro 11</b> – Descrição do edifício F .....	51
<b>Quadro 12</b> – Descrição do edifício G .....	52
<b>Quadro 13</b> – Descrição do edifício H .....	53
<b>Quadro 14</b> – Descrição do edifício I .....	54
<b>Quadro 15</b> – Descrição do edifício J .....	55
<b>Quadro 16</b> – Níveis de Qualidade obtidos para os elementos da envolvente dos edifícios .	56
<b>Quadro 17</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício A.....	57
<b>Quadro 18</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício B.....	58
<b>Quadro 19</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício C.....	59
<b>Quadro 20</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício D.....	60
<b>Quadro 21</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício E.....	61
<b>Quadro 22</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício F .....	62
<b>Quadro 23</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício G .....	63
<b>Quadro 24</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício H.....	64
<b>Quadro 25</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício I .....	65
<b>Quadro 26</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício J .....	66
<b>Quadro 27</b> – Comparação dos índices térmicos para a estação de aquecimento através das duas metodologias de cálculo .....	68
<b>Quadro 28</b> – Razão entre as necessidades nominais anuais globais e energia primária (Ntc) e o valor máximo admissível (Nt), assim como a respectiva classe energética.....	69

<b>Quadro 29</b> – Intervenções a efectuar nos edifícios.....	70
<b>Quadro 30</b> – Níveis de Qualidade térmica para os elementos da envolvente dos edifícios após a reabilitação.....	71
<b>Quadro 31</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício A.....	72
<b>Quadro 32</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício B.....	73
<b>Quadro 33</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício C.....	74
<b>Quadro 34</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício D.....	75
<b>Quadro 35</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício E.....	76
<b>Quadro 36</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício F.....	77
<b>Quadro 37</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício G.....	78
<b>Quadro 38</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício H.....	79
<b>Quadro 39</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício I.....	80
<b>Quadro 40</b> – Níveis de Qualidade dos Elementos da Envolvente do Edifício J.....	81
<b>Quadro 41</b> – Índices térmicos e respectiva classe energética relativos à intervenção proposta.....	82
<b>Quadro 42</b> – Síntese dos valores obtidos para as diferentes situações.....	83
<b>Quadro 43</b> – Índices térmicos relativos às necessidades de aquecimento.....	83
<b>Quadro 44</b> – Índices térmicos relativos às necessidades de aquecimento.....	84
<b>Quadro 45</b> – Custos das intervenções aos elementos da envolvente.....	85
<b>Quadro 46</b> – Período de retorno dos custos das intervenções aos elementos da envolvente.....	85