

REABILITAÇÃO DO PONTO DE VISTA TÉRMICO DE COBERTURAS INCLINADAS, NO CENTRO HISTÓRICO DO PORTO

JAIME MIGUEL FERREIRA DA SILVA ROCHA

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Vítor Carlos Trindade Abrantes Almeida

JULHO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais, Irmã, e à Melanie

O maior património do Homem é o saber

Jaime da Silva Rocha

AGRADECIMENTOS

Com o término deste trabalho, quero que fique registado o sincero agradecimento aos que mais contribuíram para a sua execução:

Ao Professor Vítor Abrantes, pelo aconselhamento e indicações fundamentais a seguir no trabalho.

À Engenheira Ana Vaz Sá, pela ajuda na informação técnica e organização do trabalho.

Aos meus Pais e Irmã, pelos conselhos de vida.

À Melanie, a quem devo muito pelo meu percurso académico.

Ao Daniel, pela paciência e ajuda, na formatação do trabalho.

A todos os meus amigos, especialmente ao Pedro e Tiago, pela companhia, nas agradáveis tardes de risadas e trabalho.

RESUMO

As coberturas dos edifícios do Centro Histórico do Porto são tipicamente inclinadas. Estas coberturas evoluíram até aos dias de hoje, e apresentam agora novas técnicas construtivas, bem como novos materiais, devido ao aumento das exigências na construção, das coberturas, nomeadamente no conforto térmico e acústico das habitações.

Este trabalho debruça-se sobre o estudo térmico na reabilitação de coberturas inclinadas. A utilização de novos materiais e isolantes térmicos implica:

- Um aumento de conforto térmico das habitações;
- Uma diminuição do consumo energia;
- Um desenvolvimento mais sustentável.

Estas coberturas, devido à idade avançada, estão de uma forma geral degradadas, sofrendo diversas anomalias, que geram um enorme desconforto para os utentes dos edifícios. Uma vez que a zona em estudo tem um elevado valor patrimonial arquitectónico, a hipótese de demolição não se coloca, havendo, por isso, necessidade de recorrer à reabilitação.

De forma a abordar o tema deste trabalho, faz-se primeiramente uma caracterização do sector construção. Seguidamente de forma mais pormenorizada, fala-se das coberturas inclinadas, da sua evolução, anomalias e soluções de reabilitação, justificando a escolha mais acertada com uma avaliação técnico económica das soluções propostas.

A reabilitação de edifícios em Portugal, tem um peso muito baixo no sector construção, comparado com outros países da União Europeia. Devem-se fomentar as políticas de reabilitação de edifícios e desencorajar a construção nova, que se encontra com o mercado saturado. Pelo valor patrimonial arquitectónico, já referido, e por projectos que motivem o regresso à cidade das populações que a deixaram nas últimas décadas, a reabilitação do Centro Histórico do Porto é um dever dos políticos, proprietários e empresários para devolver vida ao centro da cidade.

PALAVRAS-CHAVE: coberturas inclinadas, reabilitação, anomalias, eficiência energética, isolamento térmico, sustentabilidade na construção.

ABSTRACT

The roof coverings of the buildings in the Porto Historic Centre are typically inclined and sloping.

These roof coverings have up to today undergone developments, and now exhibit new construction techniques, as well as new materials, due to the increased demands in the construction of these roof coverings, and in particular the thermal and sound proof comfort of these buildings.

This work focuses on the rehabilitation of these sloping roofs from a thermal comfort point of view. The use of new materials, and thermal insulation brings:

- an increase in the thermal comfort of homes;
- a decrease in energy consumption;
- a sustainable development.

These coverings, due to an advanced age, are in general degraded, and suffering various defects, which generate an enormous discomfort to the users of these buildings.

Since the area under study has a great patrimonial and architectural value the option is not to demolish but rather rehabilitate.

To enhance the theme of this work, we firstly characterize the construction sector. Thereafter in a more detailed manner talk of the sloping roofs, its evolution, anomalies and solution for the rehabilitation, justifying the most suitable choice, with a technical and economical evaluation of the proposed solutions.

The rehabilitation of buildings in Portugal has a very low weight in the construction sector, compared with the other European Union countries.

There should be more focus on the rehabilitation of buildings rather than on new constructions, of which there is a saturated market.

For the patrimonial and architectural value, previously mentioned, and for projects that motivate the return to the city, of the people who have left in recent decades, the rehabilitation of the Historic Centre of Porto is the only way to follow.

KEYWORDS: sloping roofs, rehabilitation, anomalies, energy efficiency, thermal isolation, sustainability in construction.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. PRINCIPAIS OBJECTIVOS, MOTIVAÇÕES.....	1
1.1. INTRODUÇÃO/OBJECTIVOS	1
1.2. MOTIVAÇÃO	1
1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	2
2. ESTADO DA ARTE – O SECTOR DA CONSTRUÇÃO.....	3
2.1.INTRODUÇÃO.....	3
2.2. IDADE DA CONSTRUÇÃO.....	3
2.3. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS.....	6
2.4. CONSUMOS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	8
3.COBERTURAS.....	13
3.1. INTRODUÇÃO.....	13
3.2. COBERTURAS INCLINADAS	13
3.2.1. INTRODUÇÃO.....	13
3.2.2. EVOLUÇÃO DE COBERTURAS INCLINADAS.....	15
3.2.3. PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS DAS COBERTURAS INCLINADAS.....	18
3.2.4. EXIGÊNCIA DE CONFORTO TÉRMICO – O PORQUÊ DE ISOLAR COBERTURAS INCLINADAS.....	19
3.2.5. PORMENORES E CONSELHOS DE CONCEPÇÃO CONSTRUTIVOS DE COBERTURAS INCLINADAS.....	20
3.2.5.1. Introdução.....	20
3.2.5.2. Inclinação.....	20
3.2.5.3. Preparação do ripado	21
3.2.5.4. Cálculo do afastamento entre ripas.....	22
3.2.5.5. Assentamento das telhas.....	23
3.2.5.6. Ventilação adequada.....	24
3.2.5.7 Argamassas para fixações de pontos singulares.....	26
3.2.5.8. Execução de cumeeiras e rincões.....	26

3.2.5.9. Execução de beiras e beirados.....	27
3.2.5.10. Aplicações de caleiras e rufos.....	29
3.3. ANOMALIAS EM COBERTURAS INCLINADAS.....	31
3.3.1. ANOMALIAS CORRENTES	31
3.3.2. ANOMALIAS ESTRUTURAIS	33
3.3.3 ANOMALIAS EM COBERTURAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS.....	35
3.4. ERROS CORRENTES NA CONCEPÇÃO DE COBERTURAS INCLINADAS.....	38
3.4.1. INTRODUÇÃO.....	38
3.4.2. INCLINAÇÃO INSUFICIENTE.....	38
3.4.3. MATERIAIS DE ISOLAMENTO APLICADOS SEM CAIXA-DE-AR ENTRE ESTES E A TELHA.....	39
3.4.4. APLICAÇÃO DO ISOLANTE TÉRMICO DIRECTAMENTE NA LAJE, SEM DEIXAR QUE ESTA SEQUE PRIMEIRO.....	40
3.4.5. EXCESSO DE ARGAMASSA APLICADA NAS CUMEEIRAS.....	40
3.4.6. NÃO USAR REMATES NAS CUMEEIRAS POR RAZÕES ECONÓMICAS.....	41
3.4.7. APLICAÇÃO DE LÍQUIDOS IMPERMEABILIZANTES SOBRE AS TELHAS.....	41
3.4.8. DEFICIÊNCIA DE APOIO DE ALVENARIA, NUMA COBERTURA CORRENTE DE TELHA CERÂMICA.....	42

4.REABILITAÇÃO E MANUTENÇÃO DE COBERTURAS INCLINADAS.....45

4.1. INTRODUÇÃO.....	45
4.2. TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO EM COBERTURAS INCLINADAS.....	45
4.2.1. INTRODUÇÃO.....	45
4.2.2. MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE PROTECÇÃO DAS COBERTURAS CONTRA A HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO.....	45
4.2.3. REPARAÇÃO.....	46
4.2.4. SUBSTITUIÇÃO.....	48
4.2.5. MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO DA COBERTURA.....	48
4.2.6. ASPECTOS NÃO RECOMENDÁVEIS NA EXECUÇÃO DAS OPERAÇÕES DE REABILITAÇÃO.....	48
4.3. SOLUÇÕES PROPOSTAS PARA REABILITAÇÃO DE COBERTURAS INCLINADAS.....	49
4.3.1. REABILITAÇÃO DE TELHADOS APLICANDO SUBTELHA.....	49
4.3.2. REABILITAÇÃO DE TELHADOS EM FIBROCIMENTO.....	51
4.3.3. REABILITAÇÃO DE COBERTURAS COM O SISTEMA <i>ROOFZIP</i>	53
4.3.3.1. Introdução.....	53
4.3.3.2. Método construtivo.....	55

4.3.3.3. Soluções de aplicação do sistema <i>Roofzip</i>	57
4.3.3.4. Exemplos de montagem do sistema <i>Roofzip</i>	57
4.4. AVALIAÇÃO GERAL DAS DIFERENTES SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO	59
4.5. MANUTENÇÃO DAS COBERTURAS	59

5. ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS.....61

5.1. INTRODUÇÃO.....	61
5.2. NÍVEIS DE QUALIDADE	61
5.3. ESTUDO DE PROJECTOS DE COBERTURAS DE EDIFÍCIOS TÍPICOS DO CENTRO HISTÓRICO DO PORTO.....	62
5.4. ISOLAMENTOS TÉRMICOS E SUAS CARACTERÍSTICAS E CLASSIFICAÇÃO ACERMI.....	63
5.4.1. PRINCIPAIS ISOLANTES TÉRMICOS UTILIZADOS EM COBERTURAS INCLINADAS.....	63
5.4.2. REQUISITOS DE UM ISOLAMENTO TÉRMICO PARA COBERTURAS INCLINADAS.....	63
5.4.3. SELECÇÃO EXIGÊNCIAL DOS ISOLANTES – CLASSIFICAÇÃO ACERMI.....	64
5.5. CARACTERIZAÇÃO DO PONTO DE VISTA TÉRMICO DE CADA UMA DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DE COBERTURAS INCLINADAS.....	65
5.5.1. CARACTERIZAÇÃO DO PONTO DE VISTA TÉRMICO DA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO COM SUBTELHA.....	65
5.5.1.1. Avaliação genérica dos valores do coeficiente de transmissão térmica na reabilitação com subtelha.....	65
5.5.1.2. Utilização de painéis sanduíche, na reabilitação de coberturas em telha ou fibrocimento.....	67
5.5.1.3. Exemplo de avaliação dos coeficientes de transmissão térmica (U), em coberturas inclinadas, utilizando como isolante térmico o EPS.....	70
5.5.2. CARACTERIZAÇÃO DO PONTO DE VISTA TÉRMICO DA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO ATRAVÉS DO SISTEMA ROOFZIP.....	73
5.6. AVALIAÇÃO TÉCNICO ECONÓMICA DAS COBERTURAS INCLINADAS – COLOCAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO NAS VERTENTES	75
5.6.1. CASO EM QUE A REABILITAÇÃO DO TELHADO É INEVITÁVEL	75
5.6.2. CASO EM QUE SE REABILITA APENAS PARA COLOCAÇÃO DO ISOLAMENTO.....	79

6. CONCLUSÕES.....85

7. BIBLIOGRAFIA.....89

A1. APRESENTAÇÃO DAS TABELAS DA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA.....	91
A 1.1. GENERALIDADES.....	91
A 1.2. TABELAS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO TÉCNICO ECONÓMICA DE COBERTURAS INCLINADAS – COLOCAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO – CASO EM QUE A REABILITAÇÃO DO TELHADO É INEVITÁVEL	91
A 1.3. TABELAS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO TÉCNICO ECONÓMICA DAS COBERTURAS INCLINADAS - COLOCAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO – CASO EM QUE SE REABILITA APENAS PARA COLOCAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

2. ESTADO DA ARTE – O SECTOR DA CONSTRUÇÃO	3
Figura 2.1 – Evolução do sector da construção [1].....	3
Figura 2.2 – Evolução da produção no sector da construção de edifícios residenciais [1].....	4
Figura 2.3 – Idade do parque habitacional [2].....	4
Figura 2.4 – Estado de conservação dos fogos - época de construção [3].....	5
Figura 2.5 – Situação habitacional do Grande Porto na década de 90 [2].....	5
Figura 2.6 – Investimento em reabilitação na Europa e Portugal – ano 2000 [3].....	6
Figura 2.7 – Peso dos segmentos do sector da construção em Portugal [4].....	6
Figura 2.8 – Consumo de energia nos edifícios, em Portugal, em 1999 [3].....	8
Figura 2.9 – Consumo de energia dos edifícios, em Portugal, em 2004 [3].....	8
Figura 2.10 – Repartição energética pelos principais sectores de actividade, no Concelho do Porto [5].....	9
Figura 2.11 – Repartição da oferta energética no subsector residencial no concelho do Porto [5].....	9
Figura 2.12 – Repartição energética do subsector residencial pelas diversas utilizações, no concelho do Porto [5].....	10
3. COBERTURAS	13
Figura 3.1 -Cobertura inclinada com desvão não habitável – Isolamento térmico na esteira horizontal [7].....	15
Figura 3.2 – Cobertura inclinada com desvão habitável – Isolamento térmico nas vertentes [8]	15
Figura 3.3 – Evolução das coberturas inclinadas, nas suas primeiras aplicações [9].....	16
Figura 3.4 – Evolução das coberturas inclinadas – utilização de asnas em ferro [9].....	16
Figura 3.5 – Evolução das coberturas inclinadas – uso de chapas em fibrocimento [9].....	17
Figura 3.6 – Evolução das coberturas inclinadas – uso de painéis sanduíche [9].....	17
Figura 3.7 – Evolução das coberturas inclinadas – os sistemas autoportantes [9].....	18
Figura 3.8 – Coberturas inclinadas com isolamento térmico [10].....	19
Figura 3.9 – Exemplo de uma estrutura descontínua [12].....	21
Figura 3.10 – Tipos de ripado em estruturas contínuas [12].....	22
Figura 3.11 – Colocação das telhas em fiadas ascendentes e paralelas [13].....	23
Figura 3.12 – Esquema de correcta e incorrecta colocação das telhas [13].....	23
Figura 3.13 – Esquema de ventilação sob as telhas [12].....	24
Figura 3.14 – Interposição de contra-ripas para circulação do ar [12].....	24

Figura 3.15 – A minimização da argamassa necessária para fixar as peças de cumeeira facilita a circulação de ar através desta [12].....	25
Figura 3.16 – Efeito pretendido com a colocação de telhas de ventilação ao longo de uma cobertura [13].....	25
Figura 3.17 – Ventilação no topo da cobertura – cumeeira.....	25
Fig.3.18 – Ventilação entre a telha e a subtelha.....	26
Figura 3.19 – Colocação de argamassa na linha de cumeeira [12].....	27
Figura 3.20 – Remate correcto de uma cobertura de pendente única [12].....	27
Figura 3.21 – Espaçamento lateral da telha [13].....	28
Figura 3.22 – Exemplos de beirado à portuguesa [13].....	28
Figura 3.23 – Exemplo de beirado à portuguesa com inclinação de 8% e cerca de 1/3 do seu comprimento sobreposto à cornija [13].....	29
Figura 3.24 – Remate de parede emergente [13]	29
Figura 3.25 – Remate com parede na base da pendente [13].....	30
Figura 3.26 – Remate de borda [13].....	30
Figura 3.27 – Esquema de pormenor de drenagem de águas em telhados [12].....	30
Figura 3.28 – Apodrecimento da estrutura de madeira da cobertura.....	32
Figura 3.29 – Telhas canudo degradadas [15].....	32
Figura 3.30 – Aspecto geral das coberturas típicas do Centro Histórico do Porto.....	37
Figura 3.31 – Anomalias em dois edifícios vizinhos com coberturas inclinadas.....	37
Figura 3.32 – Anomalias em telhados na zona do Centro Histórico do Porto.....	37

4.REABILITAÇÃO E MANUTENÇÃO DE COBERTURAS INCLINADAS.....45

Figura 4.1 – Destruição de coberturas deterioradas para substituição completa.....	47
Figura 4.2 – Exemplo de subtelha com telha canudo [19].....	49
Figura 4.3 – Exemplo de cobertura com subtelha transmissão do ar pelo interior das telhas [19].....	50
Figura 4.4 – Cobertura em telhado com sistema de subtelha [19].....	50
Figura 4.5 – Cobertura inclinada com subtelha [19].....	51
Figura 4.6 – Esquema de correcta colocação das placas de subtelha.....	51
Figura 4.7 – Coberturas em fibrocimento [20].....	52
Figura 4.8 – Reabilitação de coberturas em fibrocimento sem remoção da cobertura existente – naturocimento [8].....	53
Figura 4.9 – Aplicação do sistema <i>Roofzip</i> sobre uma cobertura já existente [21].....	55

Figura 4.10 – Pormenor do isolamento térmico do sistema <i>Roofzip</i> sobre uma cobertura existente [21].....	55
Figura 4.11 – Encaixes longitudinais das coberturas com sistema <i>Roofzip</i> [21].....	55
Figura 4.12 – Constituição da solução <i>Roofzip Thermic</i> [21].....	57
Figura 4.13 – Constituição da solução <i>Roofzip Thermic Plus</i> [21]	57
Figura 4.14 – Montagem do sistema <i>Roofzip</i> sobre asnas [21]	57
Figura 4.15 – Montagem do sistema <i>Roofzip</i> sobre madres [21]	58
Figura 4.16 – Montagem do sistema <i>Roofzip</i> sobre viga de madeira [21]	58
Figura 4.17 – Montagem do sistema <i>Roofzip</i> sobre base de betão [21]	58
Figura 4.18 – Estrutura de uma cobertura inclinada com boa madeira de boa qualidade.....	60

5. ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS.....61

Figura 5.1 – Isolamento térmico em reabilitação de coberturas inclinadas [19]	65
Figura 5.2 – Análise dos vários coeficientes de transmissão térmica consoante o tipo de cobertura e isolante aplicado [24]	66
Figura 5.3 – Pannel sanduíche da Onduline [8]	67
Figura 5.4 – Isolamento contínuo com pannel sanduíche [25]	68
Figura 5.5 – Revestimento interior do pannel sanduíche [25]	68
Figura 5.6 – Pannel sanduíche – estrutura simples e leve [25]	70
Figura 5.7 – Aplicação do pannel sanduíche em estrutura metálica [25]	70
Figura 5.8 – Aplicação do pannel sanduíche em estrutura de madeira.....	70
Figura 5.9 – Cobertura inclinada com desvão útil e isolamento sobre laje da vertente [26]	71
Figura 5.10 – Cobertura inclinada com desvão útil e isolamento sob a telha [26]	71
Figura 5.11 – Cobertura inclinada com desvão não útil e isolamento sobre laje de esteira horizontal [26]	72
Figura 5.12 – Constituição da solução <i>Roofzip Thermic</i> [21]	73
Figura 5.13 – Constituição da solução <i>Roofzip Thermic Plus</i> [21]	74
Figura 5.14 – Cobertura inclinada com desvão habitável, sem isolamento térmico [27]	75
Figura 5.15 – Cobertura inclinada com desvão útil e isolamento na vertente inclinada [27]	76
Figura 5.16 – Evolução do preço de aquisição de energia eléctrica.....	77
Figura 5.17 – Evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável com ou sem isolamento.....	78
Figura 5.18 – Evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável com várias soluções de isolamento ou sem o mesmo.....	82

A 1. APRESENTAÇÃO DAS TABELAS E GRÁFICOS DA ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICA.....91

Figura A.1 – Evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável, com várias soluções de isolamento (varias espessuras das placas de XPS) ou sem o mesmo, até 25 anos após a instalação do isolamento.....96

Figura A.2 – Evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável com várias soluções de isolamento (varias espessuras das placas de XPS) ou sem o mesmo – gráfico para mostrar o curto período de retorno – até 5 anos após a instalação do isolamento.....97

Figura A.3 – Evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável, com várias soluções de isolamento ou sem o mesmo, até 25 anos após a instalação do isolamento.....104

ÍNDICE DE QUADROS

2. ESTADO DA ARTE – O SECTOR DA CONSTRUÇÃO	3
Quadro 2.1 – Estado de conservação dos edifícios, por época de construção [2]	7
Quadro 2.2 – Número de fogos com e sem necessidade de reabilitação [3]	7
3. COBERTURAS	13
Quadro 3.1 – Soluções de isolamento térmico para coberturas inclinadas [6]	13
Quadro 3.2 – Tabela de inclinações mínimas recomendadas, na zona climática I2 (Porto) [12]	21
Quadro 3.3 – Resumo de anomalias estruturais [15]	34
Quadro 3.4 – Defeitos nas coberturas em edifícios históricos [17]	36
Quadro 3.5 – Ilustração de geometrias não adequada às soluções de telhado tradicionais [17]	39
Quadro 3.6 – Ilustração de defeitos em pontos singulares e zona corrente [17]	41
Quadro 3.7 – Aspecto de estrutura de apoio em alvenaria, sem condições de estabilidade [17]	43
Quadro 3.8 – Quadro de resumo das anomalias correntes em coberturas inclinadas [17]	44
4. REABILITAÇÃO E MANUTENÇÃO DE COBERTURAS INCLINADAS	45
Quadro 4.1 – Vantagens/propriedades da reabilitação com o sistema <i>Roofzip</i> [21]	54
Quadro 4.2 – Acessórios complementares para montagem com o sistema <i>Roofzip</i> [21]	56
5. ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS	61
Quadro 5.1 – Níveis de qualidade mediante o valor de U obtido para o elemento cobertura	61
Quadro 5.2 – Níveis mínimos de aptidão de utilização de isolantes térmicos em coberturas [23]	64
Quadro 5.3 – Coeficientes de transmissão térmica de referência e máximo segundo o RCCTE para coberturas [22]	65
Quadro 5.4 – Aglomerado hidrófugo e revestimentos interiores utilizados no painel sanduíche [8]	69
Quadro 5.5 – Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) para uma cobertura inclinada com desvão útil e isolamento sobre laje de esteira [26]	71
Quadro 5.6 – Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) para uma cobertura inclinada com desvão útil e isolamento na vertente, sob a telha [26]	72
Quadro 5.7 – Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) para uma cobertura inclinada com desvão não útil e isolamento sobre laje de esteira horizontal [26]	73

Quadro 5.8 – Valores de U para as várias hipóteses de aplicação do sistema <i>Roofzip Thermic</i> [21]..	74
Quadro 5.9 – Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) para as varias hipóteses de aplicação do sistema <i>Roofzip Thermic Plus</i> [21]	74
Quadro 5.10 – Especificações dos materiais de revestimento superficial possíveis de ser utilizados neste sistema [21]	75
Quadro 5.11 – Valores do coeficiente de transmissão térmica para uma cobertura inclinada de desvão útil, sem isolamento térmico e fluxo ascendente (Inverno) [27]	76
Quadro 5.12 – Valores do coeficiente de transmissão térmica para uma cobertura inclinada de desvão útil, com isolamento térmico e fluxo ascendente (Inverno) [27]	76
Quadro 5.13 – Algumas características de uma solução de isolamento com XPS, com várias espessuras.....	77
Quadro 5.14 – Período de retorno para as várias espessuras de isolamento em relação à solução sem isolamento.....	78
Quadro 5.15 – Resumo das 3 soluções para isolar termicamente as coberturas inclinadas.....	79
Quadro 5.16 – Orçamento para reabilitação de telhado com solução placas de poliestireno extrudido (XPS)	80
Quadro 5.17 – Orçamento para reabilitação de telhado com solução de painel sanduíche.....	81
Quadro 5.18 – Orçamento para reabilitação de telhado com solução do sistema <i>Roofzip</i>	81
Quadro 5.19 – Período de Retorno das várias soluções de reabilitação e poupança em relação à solução inicial, sem isolamento.....	82

A 1. APRESENTAÇÃO DAS TABELAS E GRÁFICOS DA ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICA.....91

Quadro A.1 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 30 mm em relação à solução sem isolamento térmico.....	92
Quadro A.2 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 40 mm em relação à solução sem isolamento térmico.....	93
Quadro A.3 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 60 mm em relação à solução sem isolamento térmico.....	94
Quadro A.4 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 100 mm em relação à solução sem isolamento térmico.....	95
Quadro A.5 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 30 mm em relação à solução sem isolamento térmico.....	98

Quadro A.6 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 40 mm em relação à solução sem isolamento térmico.....	99
Quadro A.7 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 60mm em relação à solução sem isolamento térmico.....	100
Quadro A.8 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 100 mm em relação à solução sem isolamento térmico.....	101
Quadro A.9 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável e respectiva poupança da solução de isolamento com painel sanduíche, em relação à solução sem isolamento térmico.....	102
Quadro A.10 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m ² de área habitável e respectiva poupança da solução de isolamento do sistema <i>Roofzip</i> , em relação à solução sem isolamento térmico.....	103

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

U – coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

λ - Condutividade Térmica ($\text{Wm}^{-1}.\text{k}^{-1}$)

ACERMI Association pour la Certification des Matériaux Isolants

EPS - Placas de Poliestireno expandido

GD – Graus Dias de aquecimento

INE – Instituto Nacional de Estatística

ITE – Informação Técnica de Edifícios

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MW - Mantas ou placas de lã mineral

PUR - Espuma rígida de poliuretano

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

XPS - Placas de Poliestireno extrudido

1

PRINCIPAIS OBJECTIVOS MOTIVAÇÕES

1.1. INTRODUÇÃO/ OBJECTIVOS

Este trabalho centra-se na análise de coberturas. Vamos abordar os materiais utilizados neste elemento construtivo, o estado actual de conservação dos edifícios de habitação, focando na análise das coberturas inclinadas e na necessidade de reabilitação, essencialmente do ponto de vista térmico.

A evolução da sociedade exige uma abordagem dinâmica da actividade “construção”. O mercado português da construção civil tem grande importância na economia nacional, embora grande parte dos investimentos sejam destinados à construção de obras novas.

Enquanto nos restantes países europeus o investimento em reabilitação ronda os 40 % do total na área da construção, em Portugal este investimento não ultrapassa a média dos 5 a 10%.

É urgente apostar em reabilitação evitando assim a contínua degradação do património edificado.

O objectivo do presente trabalho é provar que, reabilitando os edifícios com coberturas degradadas, e colocando isolamento térmico, pode-se obter, além da requalificação do património, um maior conforto das habitações em termos térmicos, por um baixo custo inicial de instalação o que acarreta uma diminuição significativa das facturas energéticas dos utilizadores.

1.2. MOTIVAÇÃO

A escolha deste tema de projecto de mestrado, tem como objectivo principal, obter um contacto, mais próximo, com a área em que gostaria de trabalhar: reabilitação de edifícios.

Além de ser uma área cativante, neste momento, é um nicho de mercado em grande crescimento no país. Este facto traz motivação acrescida no início da minha carreira profissional.

O termo, “**Sustentabilidade na construção**”, com que várias vezes somos confrontados, é um tema actual, ao qual tem sido atribuída uma preocupação crescente, pois a utilização dos edifícios tem um grande impacto para o ambiente, devido à grande quantidade de energia que se consome no funcionamento dos mesmos.

Esta tese está inserida neste tema, uma vez que, reabilitando os edifícios pelas suas anomalias e melhorando termicamente as coberturas inclinadas, colocando isolamento térmico (praticamente inexistente nas coberturas do Centro Histórico do Porto), dá-se um aumento da eficiência energética, contribuindo-se deste modo para a sustentabilidade da construção, e para um desenvolvimento sustentável.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho é constituído por três partes, tendo todas elas um objectivo comum, mostrar as vantagens da reabilitação de coberturas inclinadas:

- Uma primeira parte, referente à abordagem ao sector da construção (capítulo 2), que descreve o desenvolvimento do sector nos últimos anos, os gastos de energia nos edifícios, e os números da reabilitação em Portugal;
- A segunda parte, introduz o estudo das coberturas inclinadas, a sua história e desenvolvimento (capítulo 3), anomalias existentes nas coberturas inclinadas (capítulo 3), e soluções de reabilitação das mesmas (capítulo 4);
- A última parte (capítulo 5), trata de uma avaliação das características térmicas de cada solução de reabilitação proposta no capítulo 4, e contempla uma avaliação técnico económica, para que fiquem mais claras as vantagens da reabilitação, do ponto de vista térmico, deste tipo de coberturas.

2

ESTADO DA ARTE – O SECTOR DA CONSTRUÇÃO

2.1. INTRODUÇÃO

Um dos objectivos deste trabalho, diz respeito à avaliação do estado actual de conservação dos edifícios de habitação, mais concretamente, das coberturas inclinadas e sua necessidade de reabilitação. Este capítulo, permitirá fazer um enquadramento deste tema, apresentando a caracterização do parque habitacional (idade dos edifícios), os “números” da reabilitação em Portugal, e a justificação através de dados estatísticos da necessidade de controlo dos consumos energéticos nestes mesmos edifícios.

2.2. IDADE DA CONSTRUÇÃO

Entre 1985 e 2002, foram construídos cerca de 1.000.000 de fogos. Construindo a este ritmo, não era difícil de prever uma queda acentuada no sector (figura 2.1), principalmente na construção de edifícios de habitação (figura 2.2), devido à excessiva oferta do mercado.

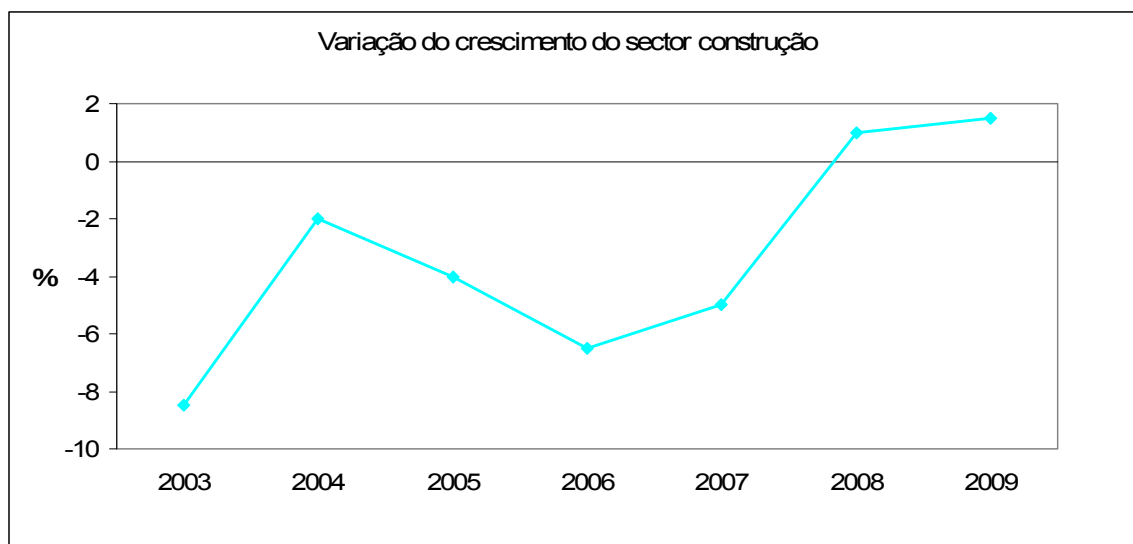


Figura 2.1 – Variação do crescimento do sector construção [1]

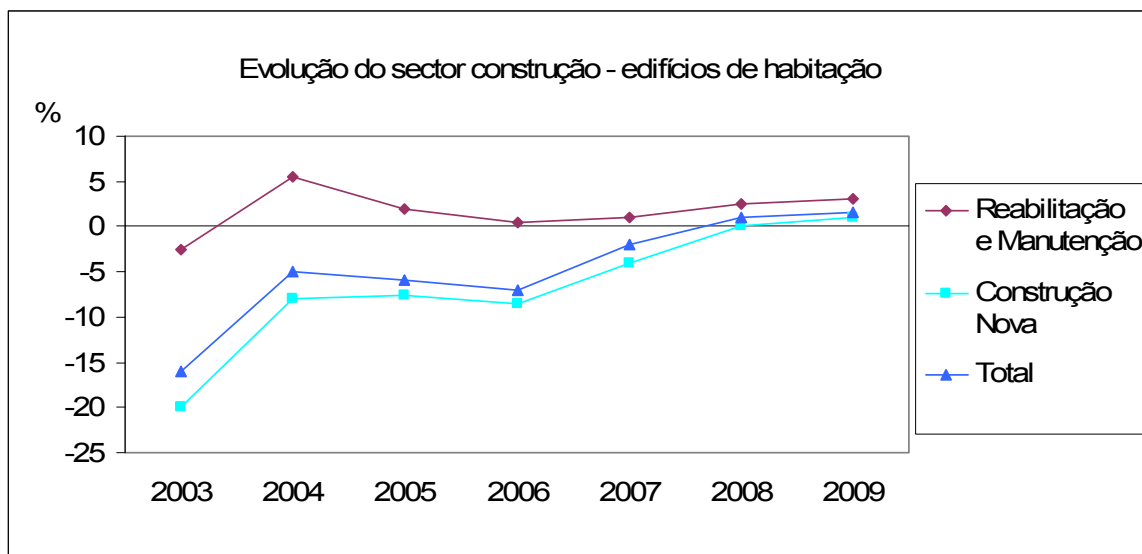


Figura 2.2 – Evolução da produção no sector da construção de edifícios residenciais [1]

A necessidade de reabilitação pode também ser explicada através do gráfico representado na figura 2.3, que nos mostra a distribuição dos edifícios de habitação por idade. Se reparar-mos neste gráfico cujos dados são dos censos de 2001, de imediato percebemos que a grande maioria dos edifícios foram construídos antes da década de 70 ou 90.

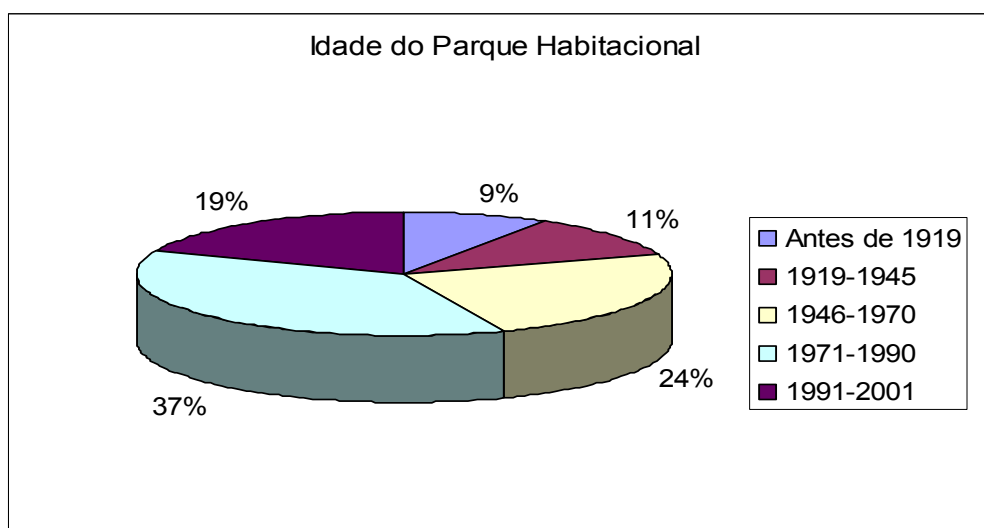


Figura 2.3 – Idade do parque habitacional [2]

Para que possamos compreender melhor as necessidades de reabilitação dos edifícios, em todo país, temos o gráfico da figura 2.4, que nos indica o grau de degradação dos edifícios conforme a época de construção.

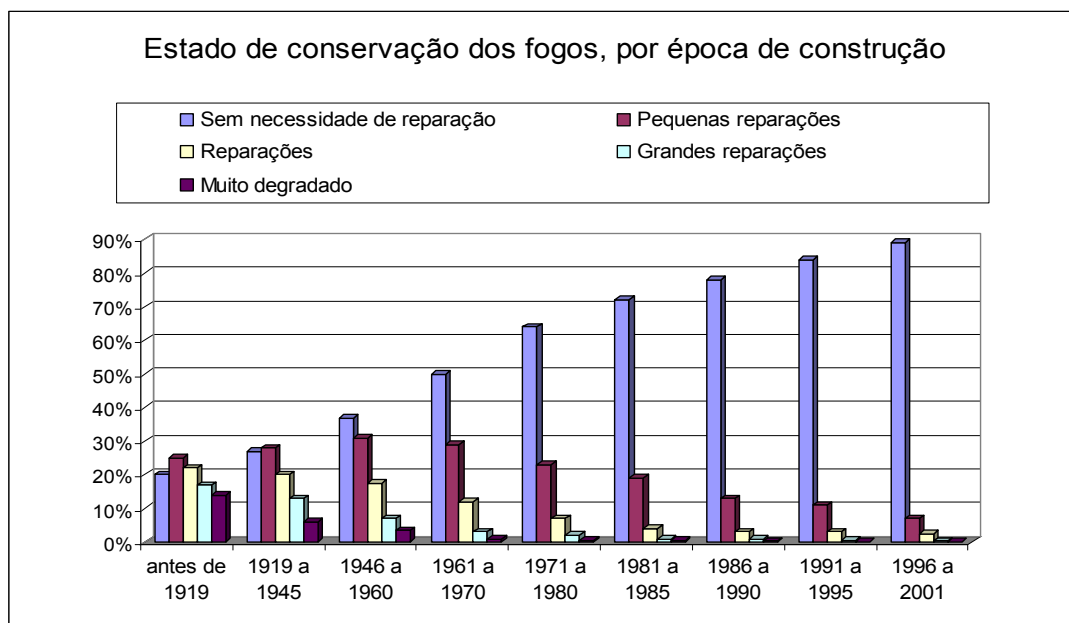


Figura 2.4 – Estado de conservação dos fogos – época de construção [3]

Uma vez que os edifícios em estudo estão localizados no Grande Porto, mais concretamente no Centro Histórico do Porto, o gráfico da figura 2.5 revela-se muito interessante, pois permite-nos um conhecimento específico da idade dos edifícios habitacionais, que caracterizam a zona onde se insere o objecto de estudo. Observando o gráfico, concluímos que no centro do Porto, os edifícios existentes têm uma idade avançada, enquanto que as cidades da periferia, são caracterizadas por terem edifícios mais recentes, o que pode ser explicado por vários factores demográficos.

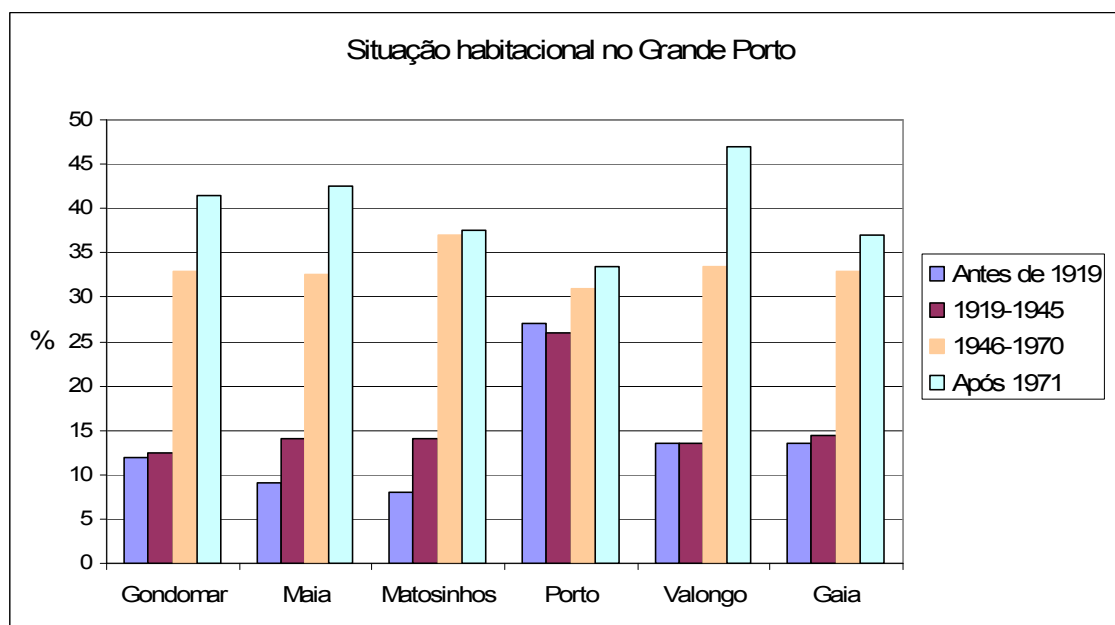


Figura 2.5 – Situação habitacional do Grande Porto, na década de 90 [2]

2.3. REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Portugal é o país da União Europeia que apresenta o segmento da reabilitação de edifícios menos desenvolvido. Na União Europeia, a produção do segmento da reabilitação de edifícios é em média 35%, atingindo mesmo valores superiores a 40% na Suécia, Itália, França, e Grã – Bretanha, tal como mostra o gráfico da figura 2.6. Na realidade, na maioria dos países europeus, este segmento é o mais dinâmico e produtivo e o que registou maior crescimento nas duas últimas décadas [4].

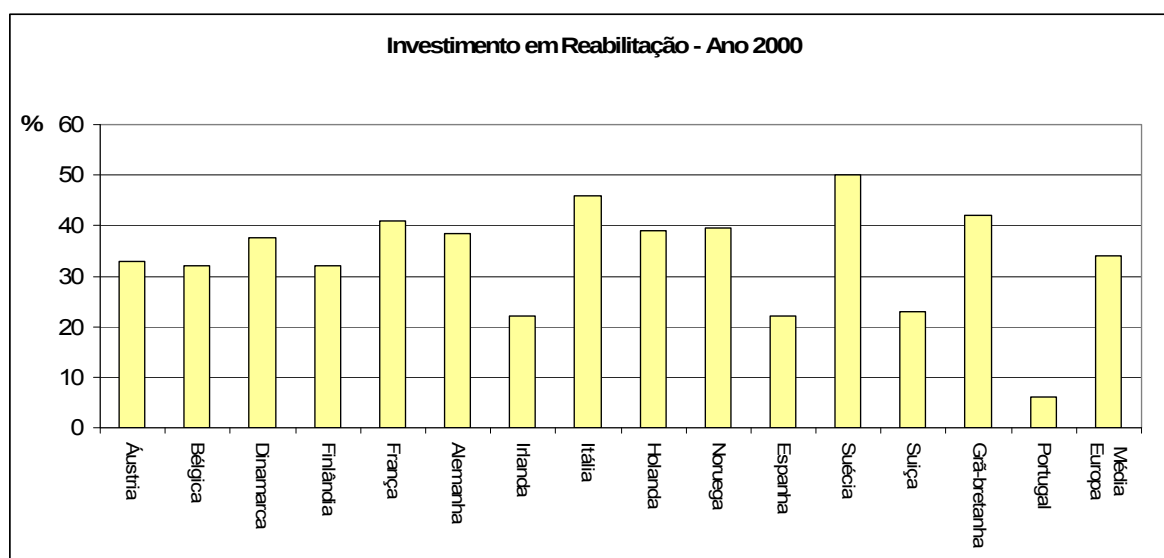


Figura 2.6 – Investimento em reabilitação na Europa e Portugal – ano 2000 [3]

A figura 2.7 ajuda-nos a perceber quais as áreas, dentro do sector da construção, que têm maior produtividade, de forma a realçar a ainda pequena percentagem por parte do segmento da reabilitação de edifícios, em Portugal.

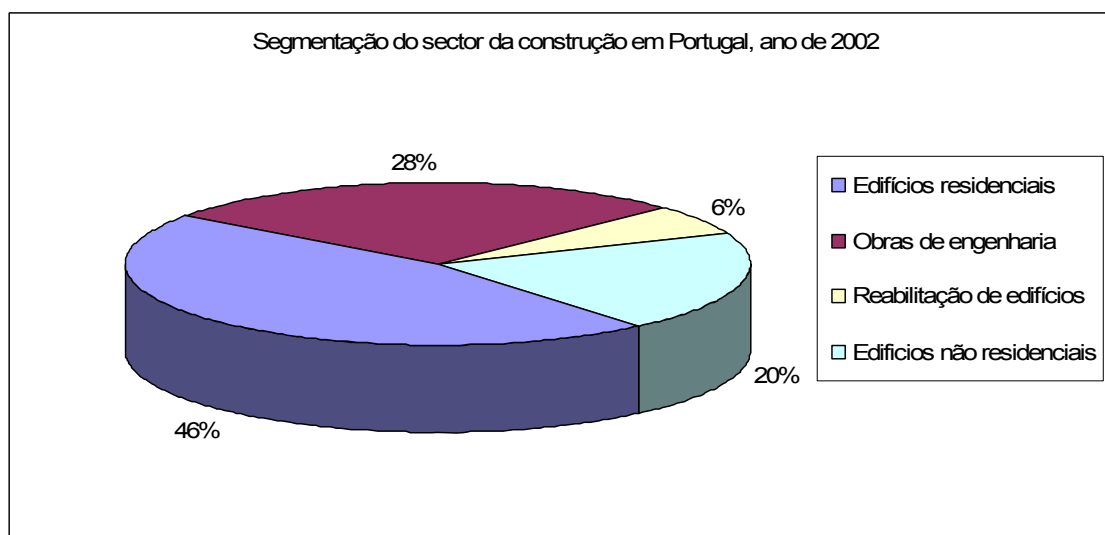


Figura 2.7 – Segmentação do sector da construção em Portugal [4]

Analisado o quadro 2.1 juntamente com o gráfico anterior, realça-se o paradigma que está presente no sector da construção, uma vez que existe uma grande quantidade de edifícios com necessidade de reparação, e no entanto, a reabilitação é uma área pouco explorada neste sector.

Quadro 2.1 – Estado de conservação dos edifícios, por época de construção [2]

Época de Construção	Sem necessidade de reparação	Com necessidade de Reparação			Muito Degradado
		Pequenas reparações	Reparações médias	Grandes reparações	
Antes de 1919	20%	25%	22%	18%	15%
De 1919a 1960	33%	31%	20%	11%	5%
De 1961a 1980	59%	27%	10%	3%	1%
De 1981a 1990	76%	18%	4%	1%	0%
De 1991a 2001	88%	9%	2%	1%	0%
Total	59%	22%	10%	5%	3%

Apenas para concluir, e como forma de sensibilização, em Portugal, existem cerca de 2 000 000 de fogos com necessidade de reparação, tal como nos mostra o quadro 2.2., revelando que a reabilitação tem tudo para ser um excelente negócio, e uma área em crescimento em Portugal.

Quadro 2.2 – Número de fogos com e sem necessidade de reabilitação [3]

Estado de Conservação dos fogos		
Estado de Conservação		Total
Portugal	Sem necessidade de reparação	3 091 013
	Pequenas e médias reparações	1 602 909
	Grandes reparações e muito degradado	325 503
	Sem necessidade de reparação	137 984
Lisboa	Pequenas e médias reparações	121 365
	Grandes reparações e muito degradado	29 132
	Sem necessidade de reparação	58 770
Porto	Pequenas e médias reparações	50 236
	Grandes reparações e muito degradado	15 488
	Sem necessidade de reparação	

O futuro, para que haja um desenvolvimento sustentável na construção deve passar, sem qualquer dúvida, pela reabilitação do parque edificado.

2.4. CONSUMOS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Todos sabemos que no sector da construção, os edifícios, gastam elevadas quantidades de energia. Posto isto, através dos gráficos que se seguem, vamos tentar perceber de que forma é que actuando na redução de energia gasta pelos edifícios, se pode caminhar no sentido de uma maior sustentabilidade na construção.

Pelo gráfico da figura 2.8 podemos rapidamente perceber que os edifícios (doméstico e serviços), gastam uma grande parte da energia no país (22%). Se repararmos também no gráfico da figura 2.9, retemos que, o consumo de energia nos edifícios, aumentou 7% entre 1999 e 2004, o que é considerável.

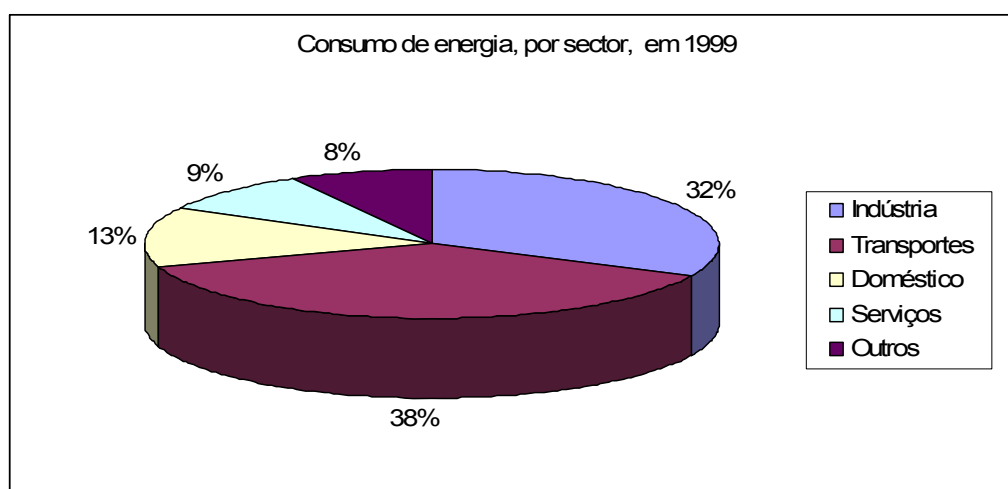


Figura 2.8 – Consumo de energia nos edifícios, em Portugal, em 1999 [3]

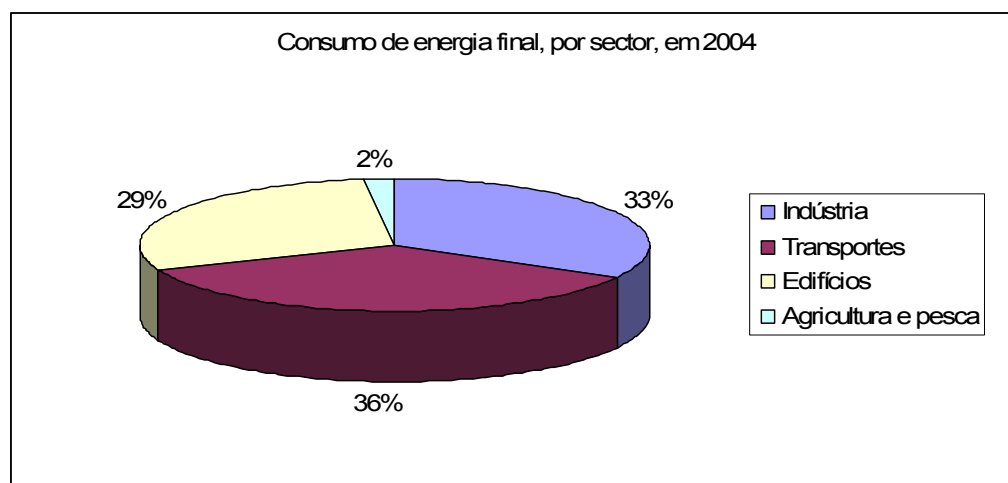


Figura 2.9 – Consumo de energia dos edifícios, em Portugal, em 2004 [3]

Com o objectivo de realizar uma análise mais concreta do local em estudo, podemos consultar a matriz energética do Porto que resumidamente nos divulga que [5]:

- A electricidade representa cerca de 52% da energia primária, o que nos mostra que esta energia está, erradamente, a ser mais utilizada em relação às alternativas, ambientalmente mais favoráveis, tais como o gás natural;

- Os edifícios dominam esta matriz, representando cerca de 60% da energia primária utilizada, tal como nos exhibe o gráfico da fig.2.10 (32% da qual para os edifícios de serviços e 26 % para os edifícios residenciais);

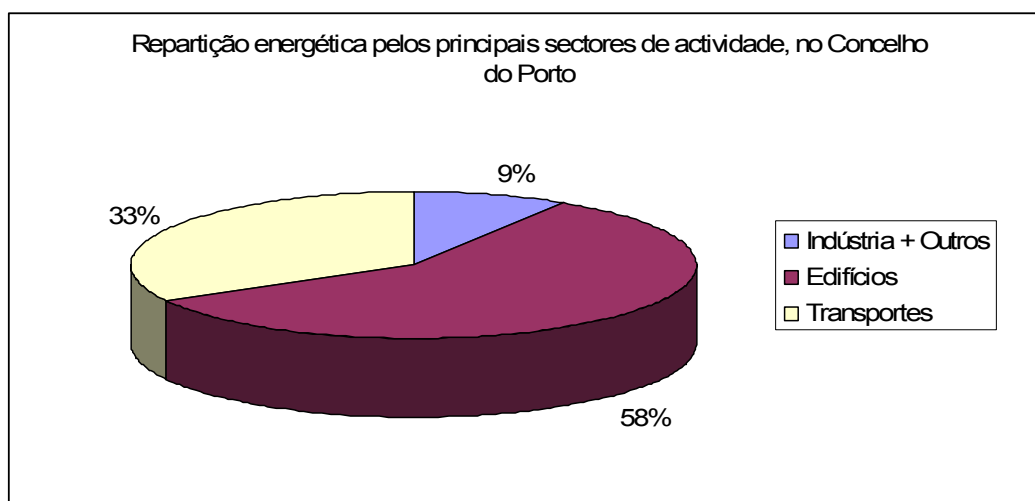


Figura 2.10 – Repartição energética pelos principais sectores de actividade, no Concelho do Porto [5]

- O peso dos transportes é cerca de metade do peso dos edifícios em termos de utilização de energia primária;
- Nos edifícios residenciais, cerca de 80% utilizam como energia primária a electricidade, tal como é representado na figura 2.11;

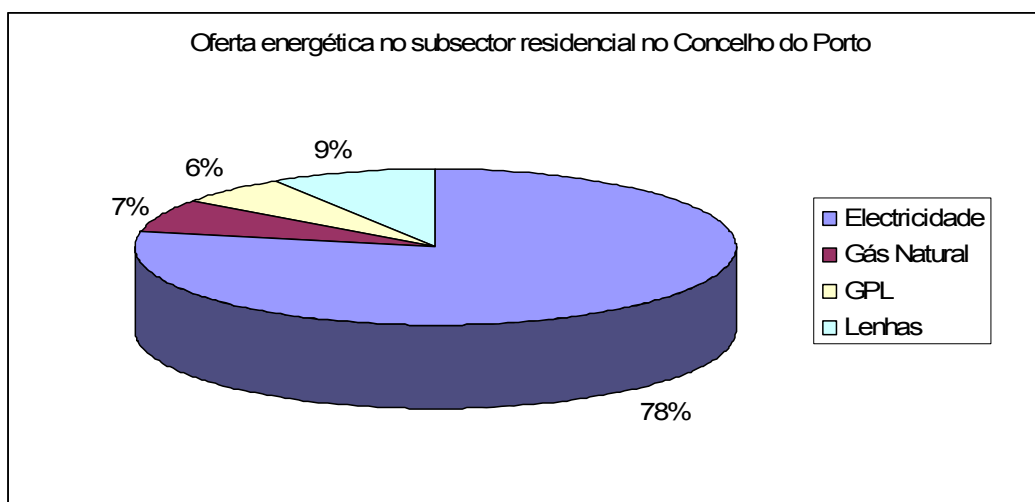


Figura 2.11 – Repartição da oferta energética no subsector residencial no concelho do Porto [5]

Perante estes factos, chega-se rapidamente à conclusão que, actuar sobre o parque edificado, constitui uma óptima via para a poupança de energia.

É aqui que entra a parte mais interessante para o enquadramento desta tese: o aumento da eficiência energética, através da reabilitação de edifícios antigos.

Lembre-mo-nos que a não utilização de isolamento térmico num edifício, provoca uma maior propensão para que a sua estrutura absorva a agressividade das temperaturas exteriores, quer sejam elas baixas ou altas. Não utilizar, ou utilizar um isolamento térmico de fraca qualidade, provoca um

grande desconforto térmico no interior das habitações, elevado consumo de energias de aquecimento e arrefecimento, elevadas facturas energéticas, existência de pontes térmicas na envolvente do edifício, condensações e vestígios de humidade no interior das habitações.

As pontes térmicas são pontos localizados na envolvente do edifício onde há maior perda de energia em relação às restantes áreas dos elementos da envolvente. Este fenómeno aumenta o consumo de energia para aquecimento e pode causar danos na envolvente do edifício, reduzindo a sua durabilidade.

Resumidamente, sem isolar termicamente, é difícil caminhar-se no sentido de uma maior eficiência energética, de um desenvolvimento sustentável.

Analisando a figura 2.12, para que possamos rapidamente alcançar a importância que a eficiência energética tem, por exemplo, nos custos domésticos que são proporcionais aos consumos. Recorde-se que havendo uma maior eficiência energética, a tendência será para haver menores gastos de energia.

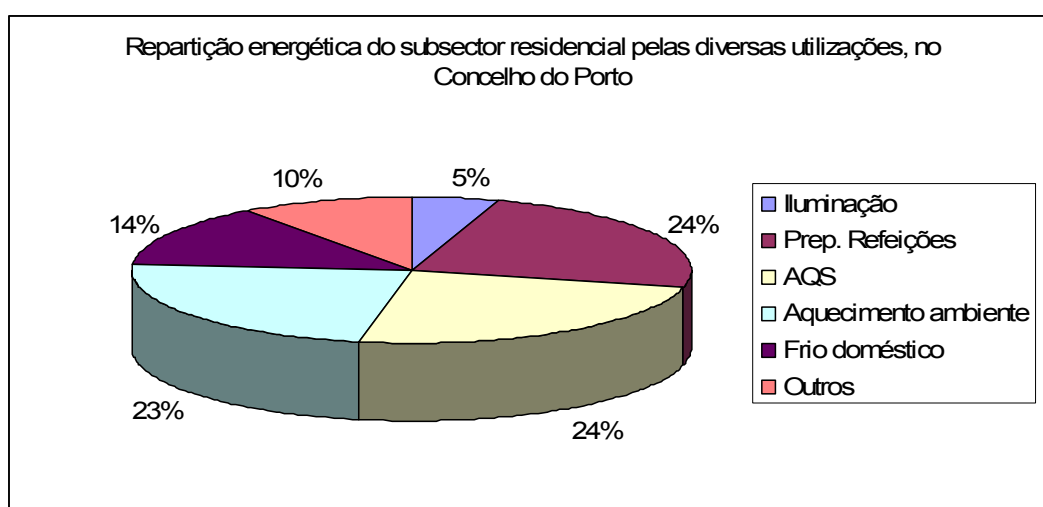


Figura 2.12 – Repartição energética do subsector residencial pelas diversas utilizações, no concelho do Porto [5]

Da análise do gráfico anterior pode-se concluir que os electrodomésticos representam grande peso (cerca de 40%) na factura energética dos consumidores residenciais portugueses, por isso devem ser uma das prioridades para a redução dos custos associados ao consumo de electricidade. Mas, repare-se que logo de seguida, vem a climatização ambiente (23%), que sendo este um valor elevado, automaticamente nos leva a concluir que deve ser prioridade a concepção de soluções construtivas, de sistemas de climatização, a par ou não com as soluções para o aquecimento de águas sanitárias, e da escolha dos dispositivos de iluminação.

Devemos então balizar alguns aspectos a tratar, para aumentar a eficiência energética do edifício:

- Sistemas utilizados no aquecimento, arrefecimento ambiente e ventilação;
- Tratamento correcto da envolvente ao nível de isolamentos, sombreamentos, permeabilidade da caixilharia;
- Água quente sanitária;
- Iluminação e outros consumos energéticos;

Tem que haver uma sensibilização global, a nível do país, para que os efeitos da eficiência energética sejam visíveis.

Se nos centrarmos agora, no tema de desenvolvimento deste trabalho, torna-se importante referir que a cobertura é o elemento construtivo do edifício que está sujeito às maiores amplitudes térmicas. O isolamento térmico de uma cobertura é considerada uma intervenção de eficiência energética prioritária, face aos benefícios imediatos em termos da diminuição das necessidades energéticas, e por se tratar de uma das medidas mais simples, e economicamente, menos dispendiosa, tal como será provado no capítulo 5.

Repare-se que, aquando de uma intervenção de reabilitação de uma cobertura inclinada, típica das coberturas do Centro Histórico do Porto, realizada para resolver um problema de impermeabilização, facilmente poderá ser "alargada" para incluir a aplicação de isolamento térmico nessa mesma cobertura, sendo o custo extra desta solução praticamente equivalente ao custo do material. O objectivo é conjugar as situações para reabilitação, tendo em conta as anomalias frequentes, com a necessidade de aumento de eficiência energética, que este tipo de edifícios necessitam.

As principais causas das perdas energéticas nos edifícios, no que às coberturas diz respeito, tem a ver com:

- Ausência de isolamento térmico;
- Ausência de sistema de impermeabilização e anomalias de índole não estrutural nas varandas e terraços (ex. acumulação de sujidade, fissuras e fractura dos revestimento do pavimento (tijoleira));
- Presença de humidade (afectando o desempenho energético e durabilidade);
- Ventilação não controlada, criando maiores necessidades energéticas em aquecimento no Inverno, ou inversamente, ventilação insuficiente, conduzindo a maiores níveis de humidade relativa no Inverno e sobreaquecimento no Verão, e o conseqüente desconforto dos ocupantes, fenómenos de condensação e baixo nível de qualidade do ar interior.

Medidas e acções para a reabilitação energética:

- Reforço da protecção térmica das áreas opacas da envolvente (coberturas e paredes exteriores), com a aplicação adequada de isolamento térmico;
- Reforço das características dos envidraçados, em termos de isolamento térmico, estanquidade ao ar, controlo de radiação solar;
- Recurso a sistemas solares passivos (selecção de materiais com capacidade de armazenamento térmico, ventilação natural, sistemas de sombreamento, dispositivos da captação de luz natural);
- Melhoria da eficiência de equipamentos e redução da energia gasta em iluminação.

Utilizando estas medidas, podemos reabilitar os edifícios do ponto de vista térmico, tendo em conta um aumento da eficiência energética, de forma a respeitar o RCCTE, tanto em condições de Inverno como de Verão, sem nunca esquecer que estamos a seguir o caminho para um desenvolvimento sustentável, uma vez que a eficiência energética, tem como benefícios directos, a diminuição da poluição, um menor peso nos orçamentos das famílias, reduzir a dependência energética do País, e por fim, reduzir a intensidade energética na economia.

3

COBERTURAS INCLINADAS

3.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objectivo fazer um balizamento do conhecimento que existe em redor das coberturas. Avaliaram-se os tipos de coberturas inclinadas existentes, desenvolvendo um pouco da sua história, bem como as principais exigências das mesmas, soluções e pormenorizações construtivas. Este mesmo capítulo tem ainda como objectivo, a análise das anomalias mais correntes em coberturas inclinadas e suas possíveis causas.

3.2. COBERTURAS INCLINADAS

3.2.1. INTRODUÇÃO

Existem várias configurações para este tipo de coberturas, que dependem essencialmente, tal como nas coberturas em terraço, do local e da posição do isolamento. Os isolantes térmicos considerados nas coberturas deste tipo são constituídos por placas de aglomerado negro de cortiça, poliestireno expandido moldado, poliestireno expandido extrudido, espuma rígida de poliuretano, mantas ou placas de lã mineral ou por camadas de grânulos de argila expandida a granel. O quadro 3.1 mostra-nos as várias soluções de isolamento térmico para coberturas inclinadas.

Quadro 3.1 – Soluções de isolamento térmico para coberturas inclinadas [6]

Localização do isolamento térmico		Tipos de soluções	
Coberturas inclinadas	Esteira Horizontal	Mantas de material isolante	
		Placas de material isolante	
		Fibras ou blocos	
		Grânulos de material isolante	
		Material a granel	
	Inferior	Revestimentos isolantes	Revestimentos descontínuos (placas fixadas mecanicamente ou coladas)

Quadro 3.1 – Soluções de isolamento térmico para coberturas inclinadas (continuação) [6]

Localização do isolamento térmico		Tipos de soluções	
Coberturas inclinadas	Esteira Horizontal	Inferior	Tectos-falsos
			Tecto-falso isolante
		Superior	Tecto-falso suportando uma camada de isolante térmico
			Painéis isolantes especiais (integrando varas, forro inferior e isolante térmico)
	Nas vertentes	Inferior	Mantas de material isolante (sobre laje inclinada)
			Placas de material isolante (sobre laje inclinada)
		Superior	Fixadas contra as varas da cobertura
			Fixadas contra régua dispostas sob as varas e ao longo destas
			Cruzadas em duas camadas, com interposição de régua normais às varas
			Fixadas contra laje inclinada
		Inferior	Fixadas contra varas da cobertura
			Fixadas contra laje inclinada
		Superior	Projecção de espuma isolante
			Soluções reflectantes (apenas em situações de verão)

Considerando as várias posições possíveis para este isolamento, vamos analisar em que casos devem ser aplicadas cada uma das soluções.

O Isolamento térmico pode ser colocado na laje de esteira horizontal (figura 3.1) – Sempre que possível, isto é, quando o espaço debaixo da cobertura não é utilizado para habitação ou lazer (desvão não habitável), é preferível aplicar a camada de isolamento térmico sobre a esteira horizontal, eventualmente protegida superiormente, se o desvão for não acessível, e assegurar uma elevada ventilação do desvão.

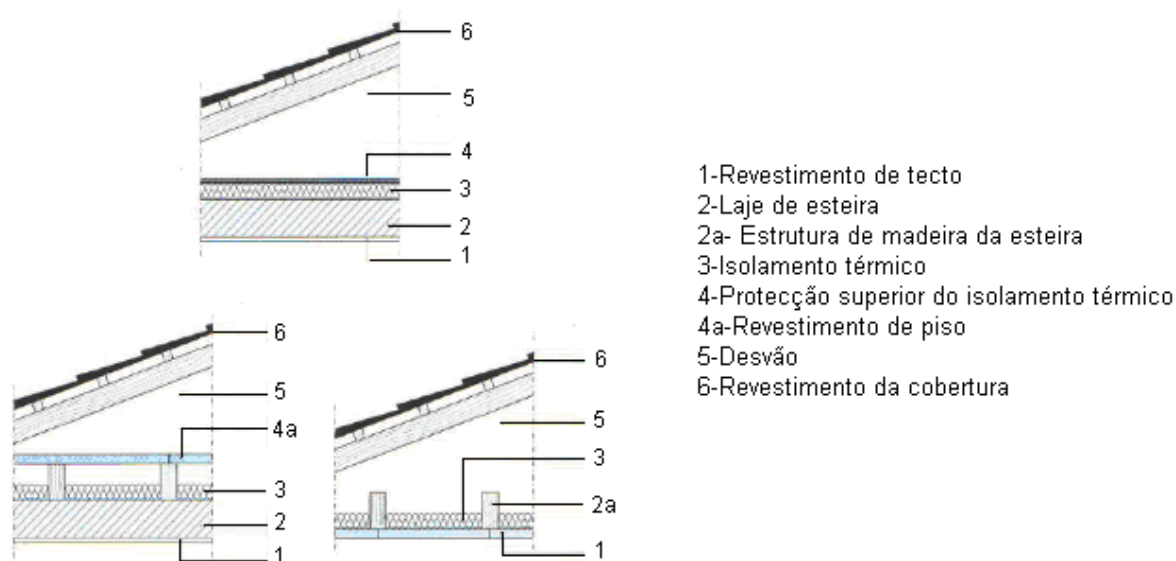


Figura 3.1 -Cobertura inclinada com desvão não habitável – Isolamento térmico na esteira horizontal [7]

Na figura seguinte (figura 3.2), podemos ver o **isolamento térmico colocado na vertente inclinada** – As soluções de isolamento térmico aplicadas nas vertentes das coberturas inclinadas, devem ser apenas reservadas para as situações em que o desvão seja habitável. Entre as várias hipóteses de colocação do isolamento para esta solução, aconselha-se que o isolamento térmico seja colocado sobre a estrutura da cobertura (vertentes), sendo preferível do ponto de vista energético, sobretudo quando existe uma estrutura de laje, uma vez que tiramos partido da inércia térmica dos elementos subjacentes ao isolamento. Na sua aplicação deve ser assegurada a existência de uma lâmina de ar ventilada, entre o revestimento exterior da cobertura (ex: telha) e o isolante térmico, para evitar a degradação dos materiais.

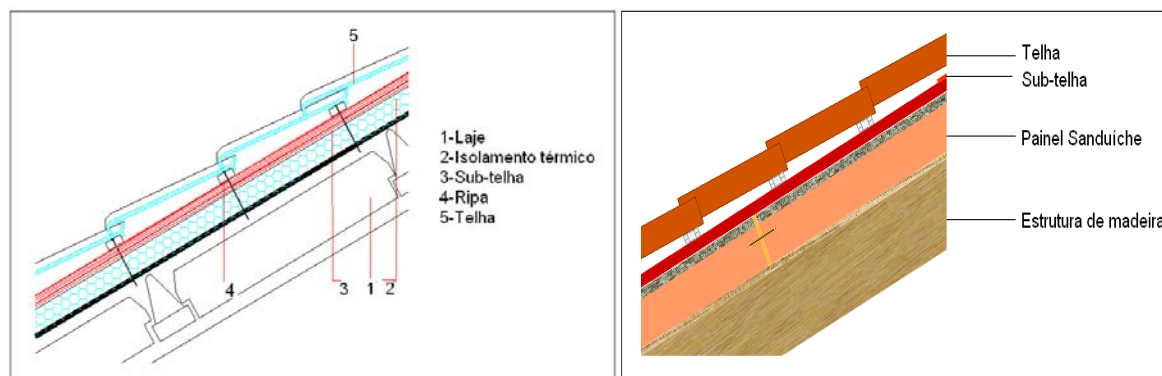


Figura 3.2 – Cobertura inclinada com desvão habitável – Isolamento térmico nas vertentes [8]

3.2.2. EVOLUÇÃO DAS COBERTURAS INCLINADAS

Ao longo de vários anos de experiência na construção de coberturas que predominaram como principal forma superior do invólucro dos edifícios, tendeu-se para a simplificação, devido à necessidade do fabrico em série e observou-se uma diminuição da inclinação.

Nas primeiras utilizações das coberturas inclinadas, as telhas não tinham geometria e encaixes perfeitos, pelo que existiam múltiplas ripas e varas para além de um guarda pé para o assentamento

mais cuidado das telhas (figura 3.3). Como estas absorviam alguma água, o telhado com estrutura de madeira já era previamente dimensionado para contar com esta acção adicional.

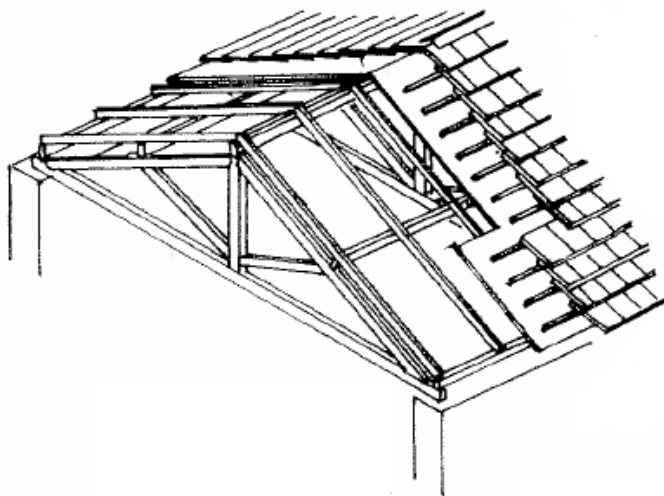


Figura 3.3 – Evolução das coberturas inclinadas, nas suas primeiras aplicações [9]

A falta de mão-de-obra especializada e a escassez de peças de madeira de grande secção levaram a um emprego cada vez maior do ferro. As asnas eram fabricadas em série, com perfis de pequena secção e ligações simples funcionando a estrutura como múltiplas asnas (figura 3.4).

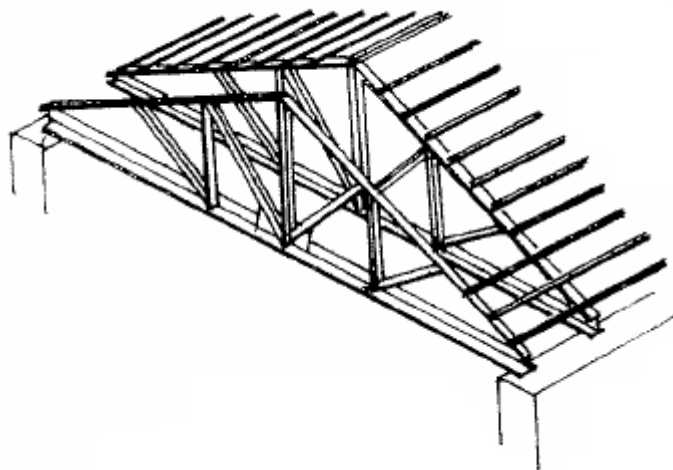


Figura 3.4 - Evolução das coberturas inclinadas – utilização de asnas em ferro [9]

O aparecimento das chapas de fibrocimento que precisavam de poucos apoios intermédios, a par do desenvolvimento das estruturas de betão armado, permitiu o emprego de poucas mas sólidas asnas (figura 3.5). O seu peso ajudava a contrariar as acções do vento.

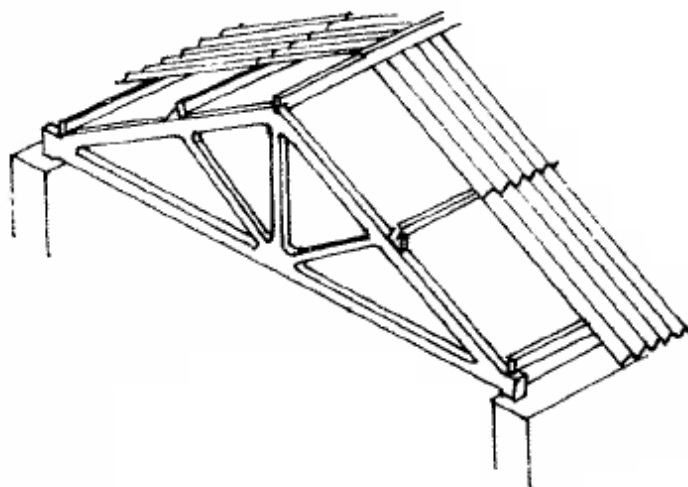


Figura 3.5 – Evolução das coberturas inclinadas – uso de chapas em fibrocimento [9]

Actualmente o sistema das asnas de madeira lamelada colada permitiu aproveitar madeiras de pequena secção em asnas que podem também incluir os pilares.

Os painéis sanduíche revestidos com chapas de alumínio, tornam o conjunto estanque, garantindo também o conforto térmico e acústico para além de ajudar no travamento da estrutura (figura 3.6).

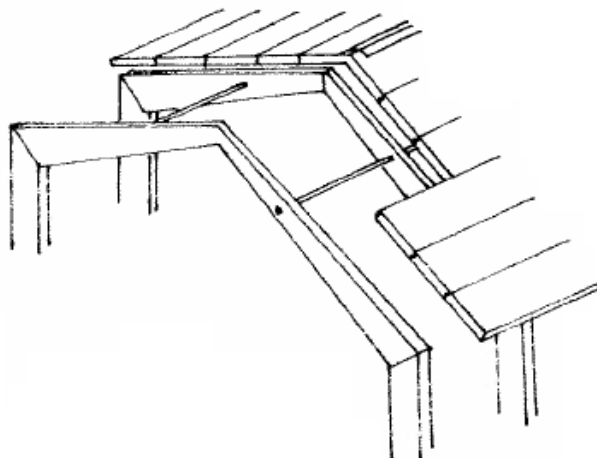


Figura 3.6 – Evolução das coberturas inclinadas – uso de painéis sanduíche [9]

Existem também sistemas autoportantes em que o revestimento inclui a estrutura a impermeabilização e o isolamento térmico (figura 3.7).

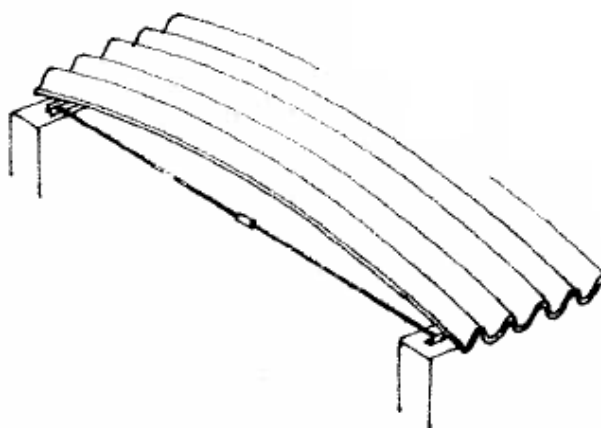


Figura 3.7 - Evolução das coberturas inclinadas – os sistemas autoportantes [9]

3.2.3. PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS DAS COBERTURAS INCLINADAS

Interessa agora referir algumas das exigências deste tipo de coberturas, para entendermos o porquê da preocupação com algumas das mesmas focadas neste trabalho, principalmente as exigências de estanquidade à água, conforto térmico, aspecto, estanquidade ao ar, fundamentais na reabilitação de edifícios.

A enumeração das exigências funcionais e a sua associação em classes pode ser feita de forma diversa, apresentando cada autor, a sua proposta. No entanto, verifica-se que o conteúdo de cada uma delas não difere muito do das restantes.

Na concepção de uma cobertura em telha cerâmica, há que definir exigências ao nível dos materiais constituintes – telha cerâmica, argamassa, grampos, materiais de suporte e fixação, acessórios etc. – e exigências ao nível do funcionamento global do telhado e da cobertura.

Os diversos materiais utilizados têm sido progressivamente objecto de normalização nacional e europeia e muitas das produções nacionais de telha estão já certificadas.

Para o funcionamento da cobertura no seu conjunto, as principais exigências são:

- Isolamento térmico
- Estanquidade à água
- Susceptibilidade de condensações
- Comportamento sob acção do gelo
- Permeabilidade ao ar
- Comportamento mecânico
- Comportamento sob acção do vento
- Estanquidade aos materiais em suspensão no ar
- Isolamento sonoro
- Exigências geométricas e de estabilidade dimensional

- Uniformidade de aspecto
- Reacção ao fogo
- Resistência aos agentes químicos
- Economia, durabilidade e facilidade de manutenção e reparação

De entre estas exigências assume papel fundamental o comportamento mecânico, a estanquidade à água, o comportamento térmico e a durabilidade entre as quais nem sempre é fácil estabelecer uma hierarquia em termos de importância. No que diz respeito à contribuição da telha cerâmica para o desempenho da cobertura, é evidente que a estanquidade à água e a estabilidade sob a acção do vento e da gravidade ou de outras eventuais acções mecânicas são os aspectos mais relevantes.

Neste trabalho damos maior relevância à exigência de conforto térmico da cobertura.

3.2.4. EXIGÊNCIA DE CONFORTO TÉRMICO – O PORQUÊ DE ISOLAR COBERTURAS INCLINADAS

A cobertura de um edifício tem uma contribuição decisiva para o conforto e abrigo que o espaço interior deve proporcionar. Um dos elementos principais, constituintes nas coberturas, que concorre para estas funções da cobertura é o isolamento térmico, representado numa cobertura inclinada, na figura 3.8. De facto, não é possível obter conforto interior sem ter estudado do ponto de vista térmico a cobertura, para que nos possamos aperceber das necessidades de isolamento.



Figura 3.8 – Coberturas inclinadas com isolamento térmico [10]

A necessidade de isolar termicamente a cobertura de um edifício, torna-se particularmente evidente ao verificarmos que a cobertura, de todos os elementos da envolvente, é aquela que se encontra mais exposta, tanto no Inverno (estação de aquecimento), como no Verão (estação de arrefecimento). No Verão, as coberturas estão expostas ao efeito da radiação solar, que provoca um aumento da temperatura superficial dos elementos de revestimento (telhas) face à temperatura do ar, podendo a diferença entre estes dois valores de temperatura atingir valores da ordem dos 15°C. Assim, o diferencial de temperatura que deve estar na base do cálculo térmico da envolvente é maior, sendo certo que, quanto maior for a diferença de temperatura entre exterior (neste caso a temperatura superficial do revestimento) e interior, maior será o fluxo de calor que tende a atravessar a cobertura (no sentido exterior – interior, na situação de Verão), e maiores serão os ganhos de calor, precisamente na estação em que se pretende evitá-los (Verão). Um isolamento térmico adequado e correctamente aplicado, diminui fortemente o fluxo de calor, o que implica uma enorme diminuição dos ganhos solares [10], e um aumento muito significativo do conforto térmico. No Inverno, logicamente que também é extremamente favorável isolar as coberturas, uma vez que as temperaturas no exterior da habitação nesta estação, são muito inferiores às do interior, logo, se não travarmos o fluxo de calor (sentido ascendente), a temperatura no interior das habitações tende para uma temperatura próxima da

temperatura exterior, o que se revela extremamente desconfortável. Com a aplicação do isolamento térmico, o fluxo de calor para o exterior não é tão elevado, conseguindo-se um maior conforto térmico, gastando menos energia.

3.2.5. PORMENORES E CONSELHOS DE CONCEPÇÃO CONSTRUTIVOS DE COBERTURAS INCLINADAS

3.2.5.1. Introdução

Este capítulo de pormenorização construtiva é de elevada importância, uma vez que existem inúmeras anomalias associadas à má execução dos trabalhos de construção ou reabilitação de coberturas. É por isso necessário, atentar em pontos estratégicos, para que as mesmas sejam reabilitadas ou construídas, de uma forma correcta, e não como na maioria dos casos, apenas melhorada para um futuro próximo.

De forma sucinta, apresenta-se alguns destes pontos estratégicos:

- O beirado, simples ou duplo;
- O sistema de drenagem de águas pluviais;
- Os remates dos telhados, com elementos emergentes, como as chaminés e protecção das juntas entre edifício contíguos.

Fazendo uma análise mais aprofundada, verificamos que é necessário ter em conta as seguintes considerações na reabilitação, ou na construção de raiz dos telhados, para que os mesmos sejam correctamente concebidos, de forma a aumentar largamente a vida da cobertura:

- Inclinação;
- Preparação do ripado;
- Afastamento entre ripas;
- Assentamento de telhas;
- Ventilação adequada;
- Argamassas para fixação de pontos singulares;
- Execução de cumeeiras e rincões;
- Execução de beiras e beirados;
- Aplicações de caleiras e rufos.

3.2.5.2. Inclinação

A inclinação das pendentes é de fundamental importância para o bom comportamento das telhas no que diz respeito ao escoamento da água das chuvas. Por outro lado, uma maior inclinação facilita o fluxo de ar necessário a uma mais rápida secagem das telhas após períodos de chuva. Para as situações verificadas no território nacional, que está dividido em três Zonas Climáticas (I, II e III), as percentagens mínimas de inclinação recomendadas para telhados, tendo em vista dificultar a passagem de água para o interior da cobertura, mesmo quando empurrada pelo vento, são as constantes do quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Tabela de inclinações mínimas recomendadas, na zona climática I2 (Porto) [12]

Tabela de Inclinações Mínimas Recomendadas por Zonas Climáticas				
Comprimento da vertente	Zona I2			
	Altitude e exposição ao vento			
	Pouco exposta		Muito exposta	
de 0 a 4 m	35,0%	19,5%	45,0%	24,5%
de 4 a 6 m	40,0%	21,5%	50,0%	26,5%
de 6 a 8 m	45,0%	24,5%	55,0%	29,0%
de 8 a 10 m	50,0%	26,5%	60,0%	31,0%
de 10 a 12 m	55,0%	29,0%	65,0%	33,0%
de 12 a 14 m	60,0%	31,0%	70,0%	35,0%
de 14 a 16 m	65,0%	33,0%	75,0%	37,0%

3.2.5.3. Preparação do ripado

Existem diversas soluções para suportar as telhas, como também são vários os materiais utilizados. É importante a ponderação sobre o tipo de suporte a usar, uma vez que este irá influir na durabilidade das telhas. A sua eficácia está directamente relacionada com a inclinação pretendida, sendo certo que quanto menor a inclinação, maior a necessidade de arejamento da face interior da cobertura. Dentro das soluções possíveis, resumem-se de seguida as mais correntes.

As estruturas descontínuas, utilizadas sobretudo em sótãos não habitados, cujas soluções mais correntes de suporte, para a construção do ripado e varas, são os perfis em madeira ou pré-moldados em betão armado. Na figura 3.9, exemplifica-se a utilização de muretes (que substituem as asnas) paralelos ao beirado, para suporte das varas.

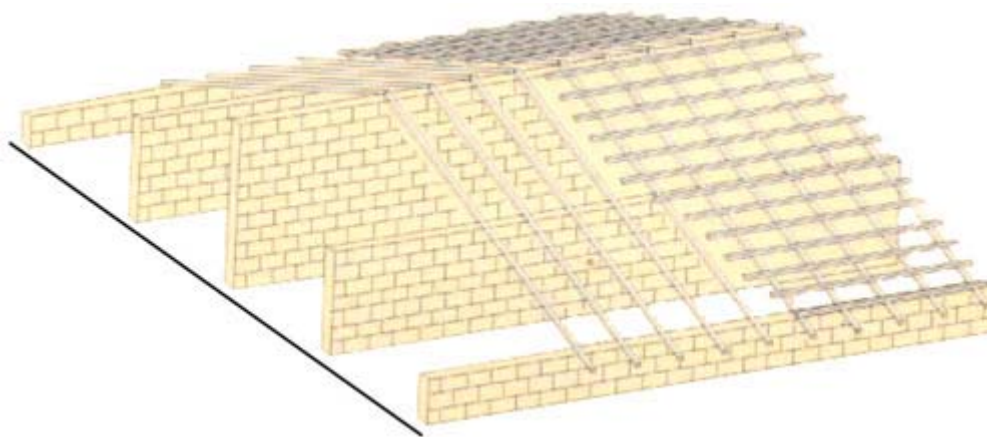


Figura 3.9 – Exemplo de uma estrutura descontínua [12]

As estruturas contínuas, sendo uma das soluções mais comuns (figura 3.10), passa pelo ripado simples (em argamassa de cimento, com uma altura mínima de 5 cm) que deve ser interrompido regularmente, de forma a facilitar a ventilação interior. Outra solução corrente (figura 3.10) consiste no ripado sobrelevado, através da aplicação de contra-ripa (esta, com uma altura mínima de 2,5 cm), em perfil pré-esforçado. Esta solução é a mais aconselhada para este tipo de estrutura uma vez que facilita um adequado arejamento interior. Note-se que este arejamento, em qualquer das situações adoptadas, deve ser sempre complementado com telhas de ventilação.

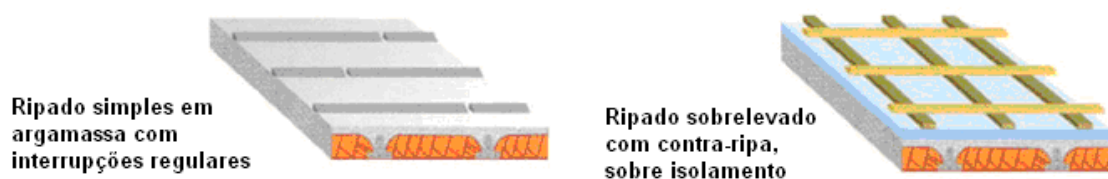
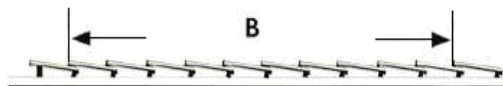


Figura 3.10 – Tipos de ripado em estruturas contínuas [12]

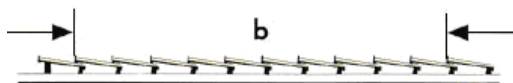
3.2.5.4. Cálculo do afastamento entre ripas

O afastamento entre ripas deve ser determinado com base nas telhas destinadas à cobertura, procedendo da seguinte forma:

a) Retirar das paletes 12 telhas ao acaso. Numa área plana montar, com elas devidamente encaixadas, uma fiada longitudinal fazendo com que as telhas fiquem o mais "estendidas" possível. Medir a distância máxima B (em cm) entre a 1ª e a 12ª telha, tal como mostra a figura.



b) Em seguida encurtar o mais possível a montagem das telhas e efectuar, entre os mesmos pontos, uma nova medida b (em cm).



c) Quando a amplitude do encaixe posterior das telhas é pequena, o afastamento entre ripas (A) é dado pela fórmula:

Quando a referida amplitude de encaixe é grande, o afastamento entre ripas é dado pela fórmula:

$$A = \frac{B + b}{20} \quad (1)$$

Quando a referida amplitude de encaixe é grande, o afastamento entre ripas é dado pela fórmula:

$$A = \frac{b + 5}{10} \quad (2)$$

d) Este afastamento deve ser marcado rigorosamente, nos dois extremos laterais da vertente, usando uma fita métrica aplicada em toda a sua extensão e seguindo a linha de maior inclinação, ou seja, perpendicularmente à linha definida pelo beirado. Após esta operação e com a ajuda de um fio de marcar estendido entre cada dois pontos opostos, situados ao mesmo nível nos extremos da vertente, marca-se, sucessivamente, toda a cobertura, devendo a ripa seguir obrigatoriamente, em cada nível, o alinhamento definido pela marcação já executada.

3.2.5.5. Assentamento de telhas

Para se conseguir uma colocação correcta e harmoniosa das telhas, deve iniciar-se o seu assentamento junto à linha de beiral, paralelamente a esta e após verificação das equidistâncias e alinhamentos dos apoios, começando-se pela esquerda ou pela direita, conforme o sentido do encaixe lateral da telha a usar, de modo a que a telha seguinte recubra o encaixe da anteriormente aplicada. Assim, após a colocação da primeira fiada (do beiral), poderão começar a colocar-se as restantes, sobrepondo-as e encaixando-as correctamente, em fiadas ascendentes e paralelas (figura 3.11). Para garantir o alinhamento destas fiadas, deve-se traçar, de quatro em quatro fiadas linhas ascendentes, perpendiculares ao beirado e paralelas entre si, que irão servir de guias para o assentamento das fiadas que se vão formando. Deve-se assegurar que as telhas fiquem alinhadas pelo meio dos respectivos canudos e não pelo seu bordo (figura 3.12). Para aplicar telhas com a junta desencontrada, como por exemplo a telha marselha, deve-se utilizar duas meias-telhas a colocar nas extremidades de cada fiada alternada. [12]

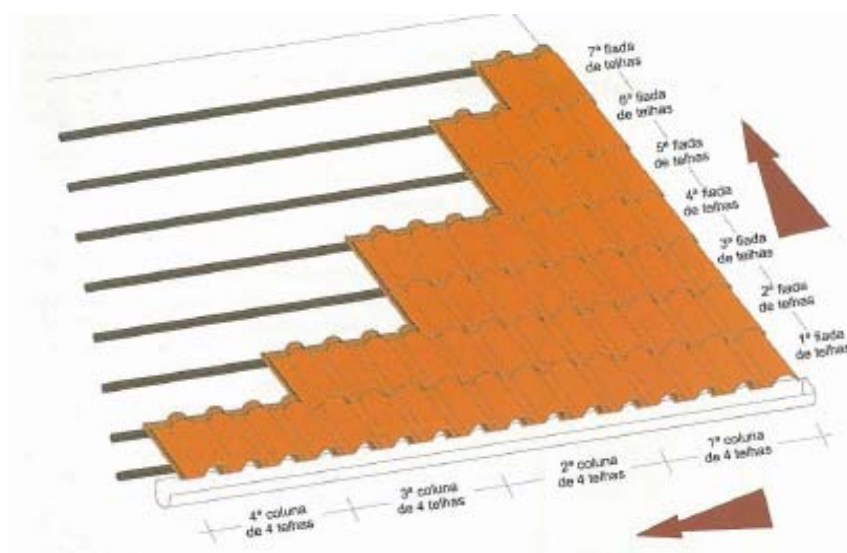


Figura 3.11 – Colocação das telhas em fiadas ascendentes e paralelas [13]

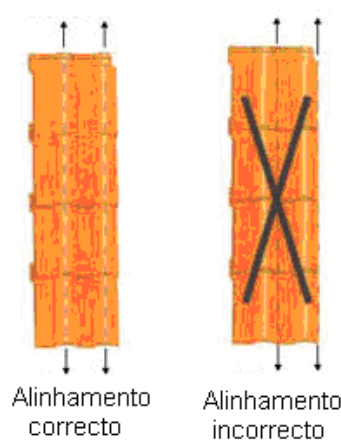


Figura 3.12 – Esquema de correcta e incorrecta colocação das telhas [13]

3.2.5.6. Ventilação adequada

De modo a assegurar a maior durabilidade das telhas e evitar condensações, é muito importante prever condições de ventilação de modo a garantir um bom comportamento termohigrométrico do corpo cerâmico. Este arejamento pretende facilitar o processo de evaporação tanto da água da chuva que seja absorvida pela peça, bem como eventuais condensações que se formem na sua superfície interior. Por outro lado, este arejamento permite uma adaptação mais gradual do corpo cerâmico à diferença de temperaturas entre o interior e o exterior da cobertura. Assim, deve ser facultada à sua face interior uma ventilação adequada. Duma maneira geral, essa ventilação pode ser assegurada pelo uso de ripado simples de argamassa, com uma altura mínima de 5 cm, devendo-se prever a interrupção periódica das ripas (conforme a figura 3.13). [12]

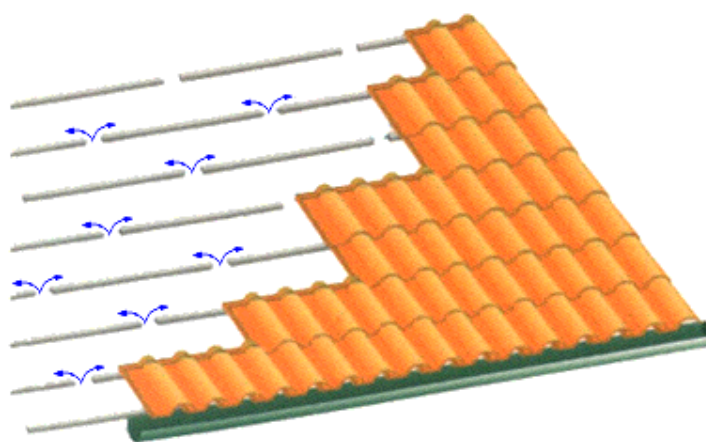


Figura 3.13 – Esquema de ventilação sob as telhas [12]

Todavia, é recomendável a interposição de contra-ripas que permitam um espaço de circulação de ar pelo menos 2,5 cm (de acordo com a figura 3.14). Em ambos os casos, esta ventilação deve ser sempre complementada pela aplicação de telhas de ventilação, uma vez que as folgas existentes entre os encaixes das próprias peças não são suficientes para se conseguir o caudal de ar necessário. Estas telhas de ventilação, devem ser aplicadas desencontradas, junto ao beiral e junto à cumeeira, de modo a que o ar seja obrigado a percorrer toda a cobertura e não se criem caminhos preferenciais de circulação de ar sob as telhas (figura 3.15 e 3.16). As telhas de ventilação devem ter uma densidade mínima de 3 telhas por cada 10 m², caso se use estrutura contínua (com Laje), e, 2 telhas por cada 10 m², caso se use estrutura descontínua (sem Laje). Para áreas inferiores a 10 m², devem colocar-se igualmente 3 telhas de ventilação, duas na parte inferior e uma na superior.

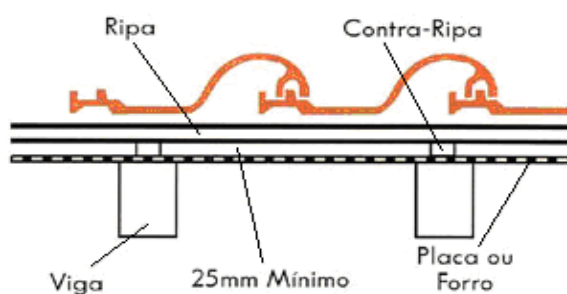


Figura 3.14 – Interposição de contra-ripas para circulação do ar [12]

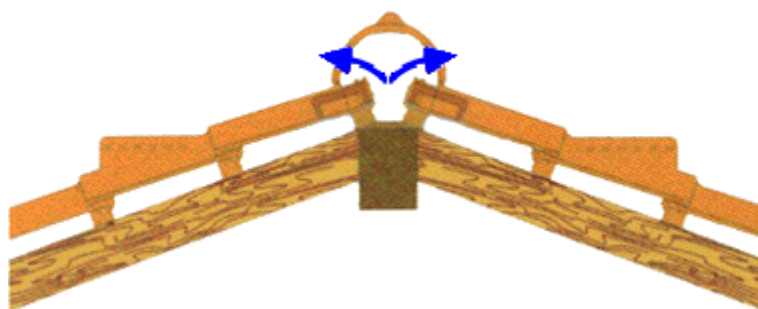


Figura 3.15 – A minimização da argamassa necessária para fixar as peças de cumeeira facilita a circulação de ar através desta [12]

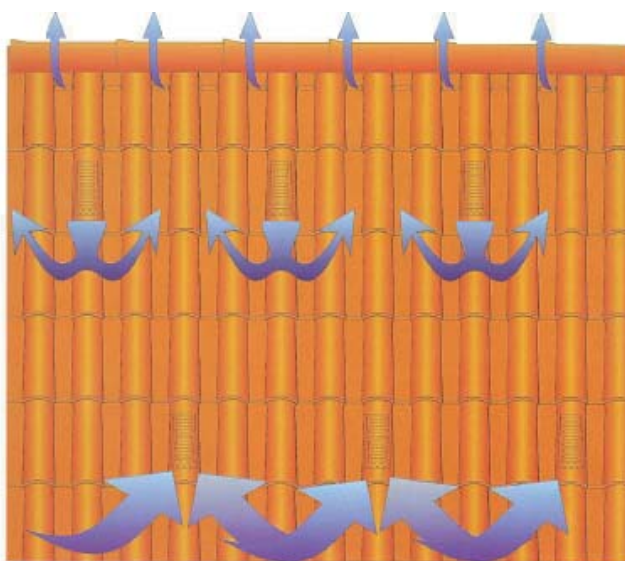


Figura 3.16 – Efeito pretendido com a colocação de telhas de ventilação ao longo de uma cobertura [13]

Em pendentes com comprimentos a partir de 8 metros, recomenda-se a aplicação de telhas de ventilação numa ou mais fiadas intermédias, aplicadas sempre desencontradas em relação às restantes localizadas nas fiadas antecedentes ou precedentes.

Para assegurar uma boa ventilação da telha é necessário ainda, não obstruir a cumeeira. Isto consegue-se fazendo terminar as placas a 5 cm da cumeeira, permitindo a passagem do ar desde o beirado, através da rede de protecção, até á cumeeira. Esta circulação contínua de ar evita a proliferação de fungos e de condensações (Figura 3.17 e 3.18).

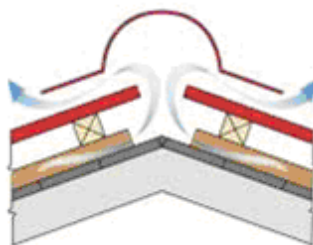


Figura 3.17 – Ventilação no topo da cobertura – cumeeira

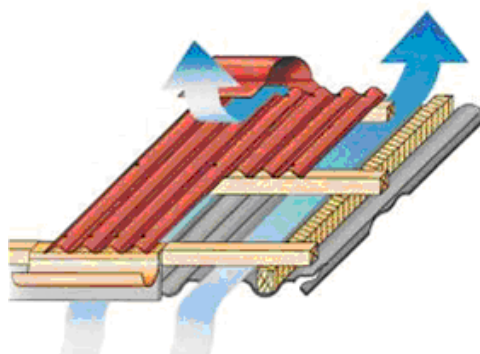


Figura 3.18 – Ventilação entre a telha e a subtelha

3.2.5.7. Argamassas para fixação de pontos singulares

Outro ponto onde deve ser prestada especial atenção é a utilização das argamassas que irão ser utilizadas para fixação de pontos singulares, como a execução de cumeeiras, beirados, e todos os restantes pontos onde se pretenda fixar peças cerâmicas. Todos estes pontos afiguram-se como zonas críticas, na medida em que o uso indevido de argamassa, pode pôr em causa a estanquidade da cobertura ou mesmo a durabilidade das peças cerâmicas. De facto, após períodos de chuva prolongados, o telhado inicia um processo de secagem, que será mais ou menos prolongado consoante a ventilação a que estiver sujeito, tanto na face interior como exterior da cobertura. No entanto, todas as peças cerâmicas em contacto com a argamassa sofrem uma humedificação prolongada pela água proveniente desta. Nestes pontos criam-se mais facilmente condições favoráveis ao desenvolvimento de microorganismos, musgos, plantas, e inclusivamente danos provocados por ciclos de gelo-degelo. Por outro lado, o uso excessivo de argamassa (figura 3.19), ou o uso de argamassa muito forte, sendo esta um produto com um comportamento termodinâmico e higroscópico bastante distinto do comportamento do corpo cerâmico, pode provocar, a breve prazo, fissuras, fendas ou fracturas tanto na argamassa como na peça cerâmica, criando pontos de infiltração de humidade indesejáveis, difíceis e dispendiosos de resolver.

3.2.5.8. Execução de cumeeiras e rincões

Um erro muito comum encontrado na execução destes pontos singulares prende-se com o recurso a quantidades excessivas de argamassa para resolver problemas de estanquidade, fixação das peças, alinhamento de cumeeiras e rincões, ou mesmo para obter alguma contenção orçamental (ilusória) ao evitar-se a aquisição de peças específicas previstas para se reduzir ao mínimo indispensável a quantidade de argamassa necessária. Assim, de modo a que as cumeeiras e rincões cumpram eficazmente a função a que se destinam, ou seja, impedir a penetração de água e complementar a ventilação da cobertura, deve-se sempre fazer uso dos remates de modo a que estes, em conjunto com as respectivas telhas possam servir de "cama" para aplicação de uma tira de argamassa em ambos os lados onde o telhão irá assentar, procedendo tal como demonstra o esquema seguinte (figura 3.19).

Nota: Na eventualidade de ser necessário cortar telhas na linha da cumeeira, para concluir o remate desta, deve-se aplicar, na extremidade da aba da telha cortada que ficará sob o telhão, um filete em silicone ou mastique de poliuretano por exemplo (nunca argamassa), de modo a criar uma nervura que substitua as que foram eliminadas após o corte. Estes produtos (após secagem) apresentam características de elevada durabilidade, aderência e impermeabilidade, podendo ser usados também

para fixação dos Remates às telhas cortadas. Em qualquer dos casos, deve prever-se sempre a maior sobreposição possível na execução da cumeeira e rincões.

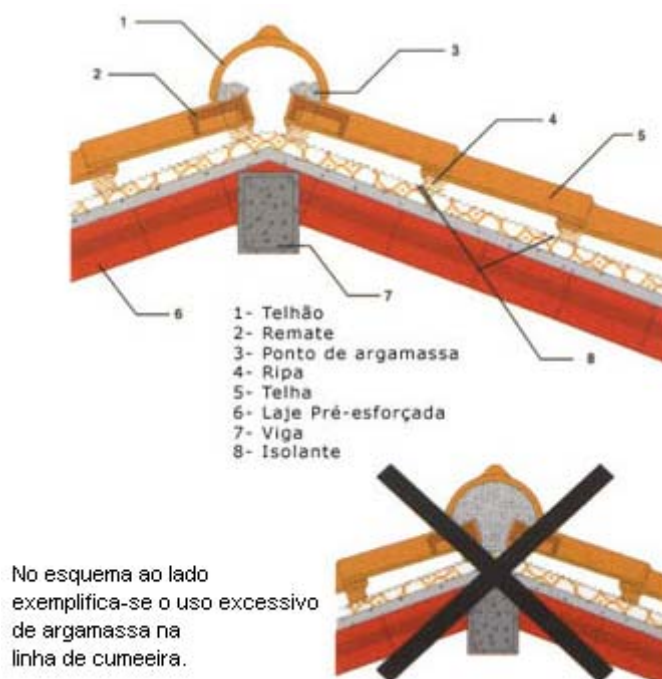


Figura 3.19 – Colocação de argamassa na linha de cumeeira [12]

A figura seguinte (figura 3.20), mostra-nos como fazer um correcto remate no caso de uma cobertura com pendente única.

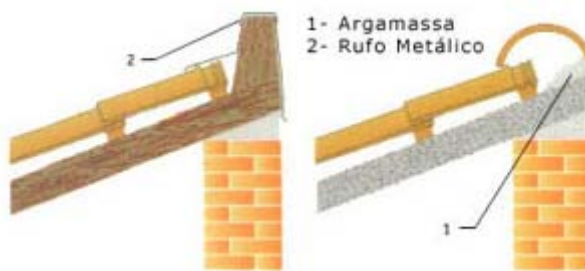


Figura 3.20 – Remate correcto de uma cobertura de pendente única [12]

3.2.5.9. Execução de beiras e beirados

Para se proceder ao assentamento dos beirais ou beirados, no que diz respeito a utilização de argamassas, deve-se agir da mesma forma que para as cumeeiras e rincões, ou seja, pouca argamassa e de preferência preparada com hidrofugante específico. Caso se opte pela aplicação de beiral, as primeiras telhas que devem ser assentes na estrutura são as do beiral (ver 3.2.4.4 - assentamento das telhas). Deve no entanto atentar-se que a ripa de apoio das telhas na linha de beiral, deve ter uma altura superior à altura adoptada para as outras ripas. Este acréscimo à altura do filete de beiral, deve ter uma altura superior à altura adoptada para as outras ripas. Este acréscimo à altura do filete de beira não deve ser inferior a 1 cm. Este trabalho deve ser feito com cuidado, especialmente se estiver

prevista a utilização de canto de telha (conjunto de peças específicas previstas para rematar o beiral da cobertura, criando uma ligação contínua com a pendente perpendicular adjacente). Sempre que se opte pela aplicação de beirado, este deve respeitar o espaçamento lateral da telha, ou seja, a distância entre os eixos das capas de beirado deve ser igual à distância entre os eixos dos canudos das telhas, conforme se exemplifica no esquema representado na figura seguinte (figura 3.21):

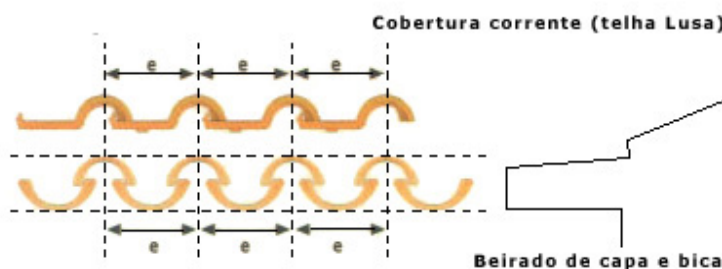


Figura 3.21 – Espaçamento lateral da telha [13]

De modo a evitar eventuais desalinhamentos entre ambos, é de todo conveniente apurar a respectiva bitola de espaçamento a adoptar e ensaiá-la. A partir do valor de bitola confirmado, deve-se iniciar a aplicação do beirado primeiro, e só depois as telhas ascendentes, progressivamente de metro linear em metro linear, efectuando-se os eventuais ajustamentos necessários. Este trabalho deve ser efectuado com cuidado, especialmente se forem utilizados cantos de beirado e cantos reentrantes de beirado (conjuntos de peças específicas previstas para rematar as extremidades dos beirados, criando uma ligação contínua a pendentes perpendiculares adjacentes), tal como indica a figura seguinte (figura 3.22).

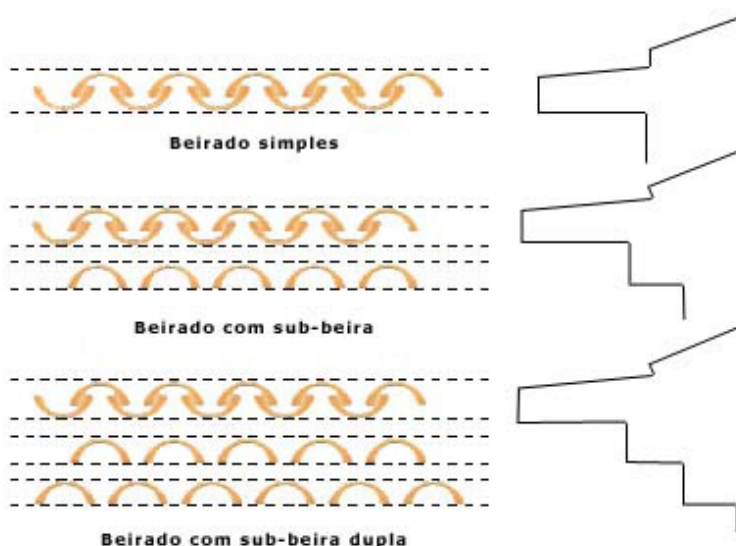


Figura 3.22 – Exemplos de beirado à portuguesa [13]

Note-se, que a área do beirado que deve ficar sobreposta à cornija / cimalha, não deve ser inferior a 1/3 do comprimento do beirado. Deve-se dar uma inclinação ao beirado que, dependendo da

inclinação prevista para a cobertura, não deve ser inferior a 8% (cerca de 5°), tal como indica a figura 3.23.

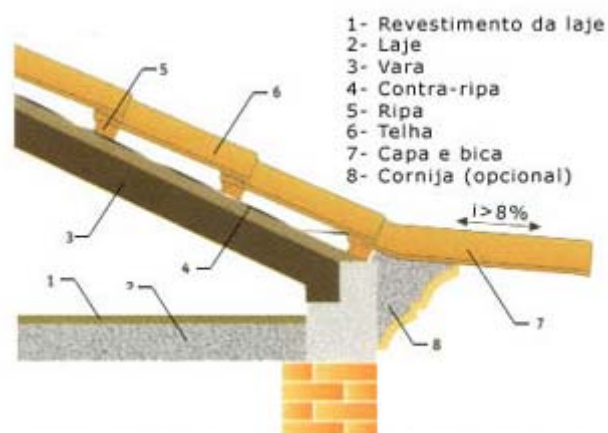


Figura 3.23 – Exemplo de beirado à portuguesa com inclinação de 8% e cerca de 1/3 do seu comprimento sobreposto à cornija [13]

3.2.5.10. Aplicações de caleiras e rufos

Existem diversos materiais no mercado destinados à drenagem das águas da chuva. A sua colocação em obra carece de cuidados acrescidos na medida em que sobre eles irão correr as águas que caem sobre o telhado, as quais, especialmente em períodos de chuva intensa, poderão atingir caudais consideráveis que, se não acautelados, poderão infiltrar-se para o interior das coberturas, gerando problemas e danos, que são sempre dispendiosos de corrigir. Em geral, os materiais mais comuns utilizados para este fim são os rufos metálicos ou em material sintético, auto-aderentes ou não. A sua aplicação é generalizada especialmente em pontos singulares do telhado como nos larós (ou guieiros mortos – figura 3.27), remates de parede emergente (figura 3.24), remates das bordas da cobertura (figura 3.26), caleiras de beiral. Exemplificamos a seguir os diversos pontos referidos, e a correcta aplicação dos materiais em análise:

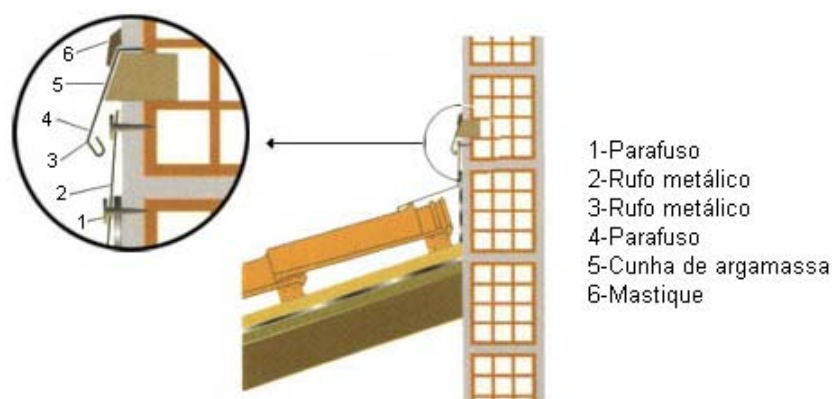


Figura 3.24 – Remate de parede emergente [13]

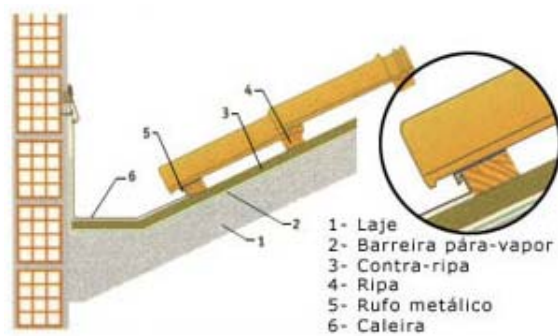


Figura 3.25 – Remate com parede na base da pendente [13]

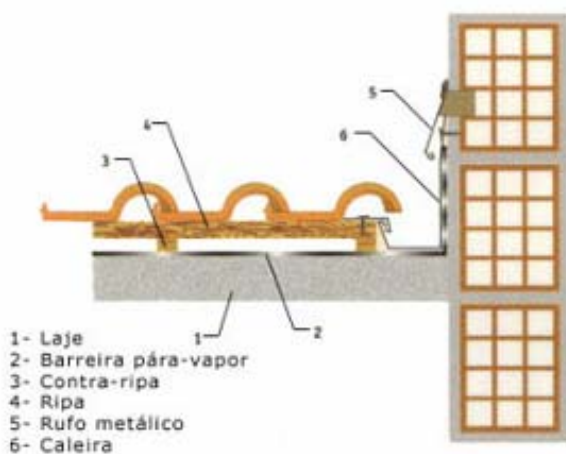
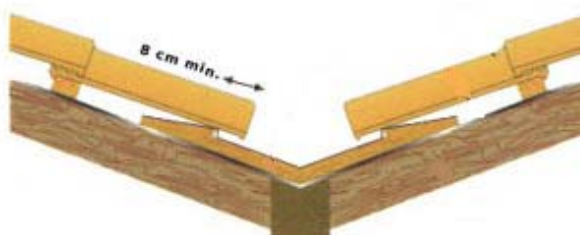


Figura 3.26 – Remate de borda [13]



Execução de Laró. As telhas cortadas em viés devem recobrir o Laró pelo menos 8 cm da dobra do rufo até ao eixo deste. A dobra do rufo deve ter 2 a 4 cms de altura.

Quando se prevê a utilização de caleiras de escoamento na linha de beiral, deve-se sobrepor o mesmo cerca de 7 a 8 cm.

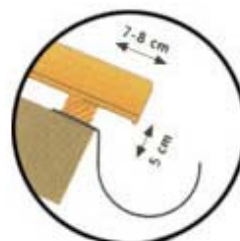


Figura 3.27 – Esquema de pormenor de drenagem de águas em telhados [12]

Se estiver prevista a aplicação de subtelha ou outros elementos isolantes, sob a telha, os mesmos devem prever nervuras perpendiculares à linha do beiral, que possam drenar eventuais infiltrações para o exterior da cobertura.

3.3. ANOMALIAS EM COBERTURAS INCLINADAS

3.3.1. ANOMALIAS CORRENTES

Podem tipificar-se os tipos de anomalias mais correntes nos revestimentos das coberturas:

- Anomalias devidas a acção da humidade;
- Degradação das telhas;
- Fendilhações nos revestimentos da cobertura;
- Envelhecimento e degradação dos materiais da cobertura não imputáveis à humidade;
- Anomalias devidas a erros de concepção.

As anomalias mais importantes das coberturas são as que se relacionam com a passagem da humidade e da água da chuva para o interior das habitações. As anomalias observadas com os revestimentos em telha da cobertura e com os sistemas de captação e drenagem das águas pluviais, podem ser de diversas causas:

- Telhas partidas: a ocorrência de assentamentos importantes na estrutura da cobertura origina a rotura de telhas cerâmicas. Também a circulação descuidada sobre a cobertura estará na origem de telhas partidas;
- Telhas mal colocadas ou desviadas da sua posição, tendo juntas de grande espessura que facilitam a infiltração da água da chuva;
- Acumulação de lixos na cobertura, propícios ao desenvolvimento de líquenes e até de pequenas plantas herbáceas que se fixam às telhas e dificultam o escoamento da água das chuvas;
- Danos nos sistemas de drenagem de águas pluviais: as anomalias detectadas prendem-se com a destruição ou entupimento de caleiras e tubos de queda com papeis e folhas de árvores, ou com o crescimento de plantas, por exemplo. Posteriormente, a água da chuva é drenada de forma deficiente e escoar-se para o interior da construção onde encontra pontos fracos, roturas ou fendilhações. Quando os tubos de queda entupidos estão embebidos nas paredes, as roturas darão origem à infiltração de águas.

Como causas fortuitas das anomalias devidas à acção da humidade, refere-se a quebra por vandalismo ou mau uso das telhas da cobertura e o desenvolvimento de plantas de pequeno e médio porte sobre os telhados, afectando os materiais e impedindo a normal evacuação das águas das chuvas.

O elemento cobertura é a parte do edifício mais exposta à humidade de precipitação, e como tal, mais sujeita à ocorrência de infiltrações de água para o interior do edifício, caso não seja estanque.

A penetração da água da chuva através da cobertura verifica-se nas seguintes zonas:

- Juntas de sobreposição dos elementos de revestimento, em particular nas vertentes mais expostas à chuva batida pelo vento (Vertentes S - W);
- Juntas de contorno da Chaminé;

- Beiras e bordos com recobrimentos insuficientes;
- Encosto ao edifício do lado;
- Zonas onde se verificam descaimentos dos elementos de revestimento por fractura destes últimos, ou mesmo através dos próprios elementos quando, por degradação do respectivo material, eles deixam de ser estanques.

A perda de estanquidade da cobertura é causa da deformação excessiva dos elementos de madeira da estrutura por humedificação. Com as infiltrações, progridem os fenómenos de degradação das madeiras, agravando-se sucessivamente a situação.

Além de passagem de água, formação de manchas de humidade e eflorescências, desenvolvimento de fungos, e apodrecimento de materiais (figura 3.28), a humedificação dos materiais causa ainda uma redução no isolamento térmico dos elementos da construção afectados.



Figura 3.28 – Apodrecimento da estrutura de madeira da cobertura

O revestimento superficial de coberturas inclinadas, com telha canudo, típicas do Centro Histórico do Porto, apresentam diversas anomalias: esfoliação, desagregação e formação de eflorescências (figura 3.29). Também o desenvolvimento de vegetação parasitária de pequeno e médio porte, afecta as telhas e impede o normal escoamento da água da chuva. Todos estes factores conjugados contribuem para o seu amolecimento e quebra, com perda da resistência mecânica.



Figura 3.29 – Telhas canudo degradadas [14]

Observa-se também o constrangimento das telhas devido a fixações demasiado rígidas e sem folgas que impedem a sua livre deformação quando sujeitos a variações térmicas.

O desnivelamento dos seus apoios devido a um incorrecto posicionamento inicial ou por cedência posterior da estrutura de apoio, as acções de choque acidentais e a degradação dos elementos, com a redução da sua resistência mecânica são igualmente anomalias verificadas nas telhas que conduzem à sua fendilhação.

Os materiais da cobertura estão ainda sujeitos à degradação dos elementos sob acção dos agentes atmosféricos e da radiação solar, com redução da capacidade resistente e consequente fractura desses elementos. A fluência dos elementos origina deformações excessivas entre apoios, e alterações do aspecto traduzidas em descolorações, alteração do brilho do poder reflector, e manchas inestéticas, anomalias devidas ao envelhecimento e degradação das próprias telhas.

Na cobertura, verificam-se portanto desajustes face a exigências de segurança não estrutural: revestimentos realizados com materiais de classe de reacção ao fogo inadequada para satisfazer as disposições pertinentes relativas à segurança contra incêndios; revestimentos e respectivas fixações em coberturas inclinadas com resistência mecânica insuficiente perante os esforços de sucção originados pela acção do vento; resistência mecânica insuficiente contra choques acidentais e contra intrusões.

Existem ainda grandes desníveis face a exigências de conforto e economia: revestimentos não assegurando protecção solar satisfatória, tendo em conta o cumprimento de exigências de conforto térmico em condições de Verão; revestimentos em coberturas inclinadas, nos quais a chuva incidente provoca um ruído característico de tamborilamento, incomodo para os utentes dos edifícios, ou que entrem em vibração com a acção do vento, produzindo ruídos igualmente incómodos; perigo de os revestimentos das coberturas inclinadas se tornarem escorregadios, dificultando ou impedindo as acções de reparação e manutenção. [11]

3.3.2. ANOMALIAS ESTRUTURAIS

O quadro que se segue (quadro 3.3) apresenta um resumo das anomalias estruturais comuns nas coberturas inclinadas:

Quadro 3.3 – Resumo de anomalias estruturais [15]

Designação da anomalia em coberturas inclinadas	Componente e ou elemento afectado	Material	Descrição	Causas possíveis	Medidas correctivas possíveis	Técnicas de diagnóstico possíveis	Prognóstico possível	Possível prevenção
Alteração do esquema estrutural com substituição das asnas por componentes mistos de aço /betão armado	Conjunto da construção	Vários	Substituição das asnas de madeira por vigas metálicas e da estrutura do telhado por uma laje de betão armado com cofragem colaborante	Opção do dono de obra ou utente	Eventual remoção. Verificação do remanescente do edifício para as novas acções incluindo o agravamento da acção sísmica	Levantamento geométrico e estrutural	Mau comportamento em caso de sismo	Maior rigor nos critérios de licenciamento camarário ou na fiscalização do seu cumprimento, exigência de qualificação do projectista e construtor, revisão do Projecto, fiscalização eficaz.
Degradação das propriedades mecânicas	Varas da estrutura da cobertura	Madeira	As características da resistência do material estão a ser degradadas	Podridão promovida pela presença de humidade em excesso	Eliminação da penetração da água	Medição da humidade com humidímetro	Colapso das varas	Melhor pormenorização do projecto. Melhor execução. Melhor manutenção.
Redução da secção útil das pernas de madeira da cobertura	Perna de cima da estrutura de cobertura	Madeira	A secção do elemento sofre uma redução	Ataque por insectos xilófagos	Substituição do elemento	Inspeção visual e /ou resisto fotográfico do elemento e dos elementos vizinhos	Colapso do elemento	Tratamento e manutenção da madeira

Deve também ser tomada elevada atenção para a forma como as asnas fixam os seus apoios, geralmente na zona corrente de paredes de alvenaria. Deve ser assegurada a protecção dos topos embebidos nas alvenarias, garantir a existência de um berço para apoio da asna, e, sempre que possível, melhorar as características mecânicas das ligações de apoio através do recurso a peças metálicas pregadas ou aparafusadas à linha da asna e chumbadas na parede. Em certos casos, esta peça metálica atravessa a parede de lado a lado e é ancorada na face exterior através de dispositivos apropriados.

Os elementos secundários da cobertura que recebem directamente os revestimentos de coberturas são as madres, varas, e ripas [11]. O deficiente desempenho destes elementos resulta na perda de estanquidade, geralmente associada a deformações excessivas, fendilhação e rotura de elementos de revestimento, entre outras anomalias.

3.3.3. ANOMALIAS EM COBERTURAS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

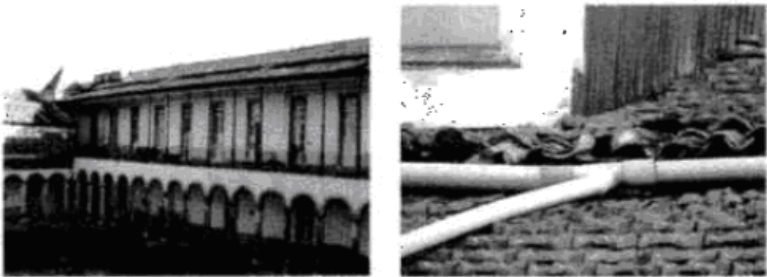
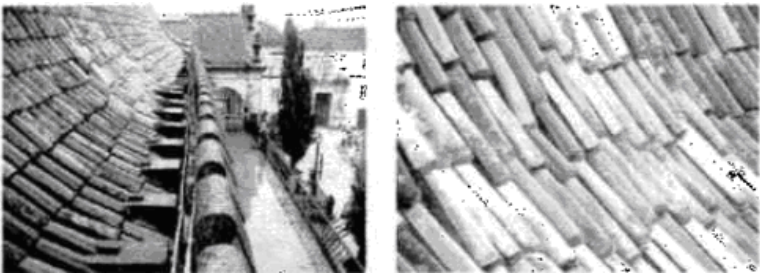
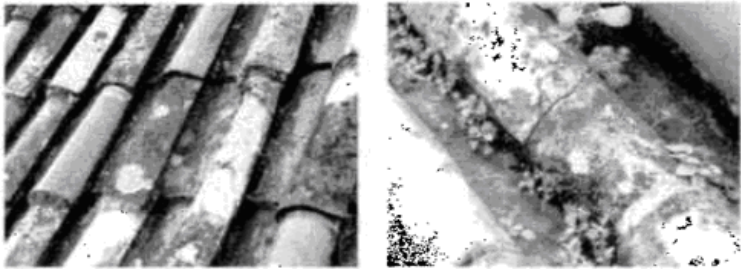
A designação usada para edifícios históricos é vaga e pouco correcta do ponto de vista formal, mas permite agrupar um vasto conjunto de edifícios que têm em comum, diversas características: valor patrimonial elevado, revestimento em telha canudo e reduzidas acções de manutenção. Em relação ao revestimento das coberturas, estes edifícios são normalmente caracterizados pelo uso de telhas canudo.

Os defeitos mais comuns nestas coberturas, que também podem aparecer em coberturas mais recentes, já foram referidos: degradação das estruturas de madeira, fracturas de telhas, acumulação de lixo vegetação, infiltrações, entre outras.

A reabilitação destas coberturas dificilmente pode ser parcial, e implica em geral o levantamento global do telhado reparação, reforço ou substituição dos elementos estruturais (incluindo tratamentos de preservação das madeiras), substituição e realinhamento da estrutura secundária de apoio, colocação de subtelha, limpeza das telhas a reutilizar, fabrico de telhas para substituição parcial e recolocação do telhado com reconstrução de todos os pontos singulares.

O quadro 3.4 mostra-nos várias deficiências em coberturas inclinadas de edifícios antigos, para que possamos rapidamente perceber o que acontece na zona histórica do Porto e que, infelizmente, estas imagens são-nos familiares. Convém actuar rapidamente de forma a evitar que o nosso património fique ainda mais degradado.

Quadro 3.4 – Defeitos nas coberturas em edifícios históricos [17]

	Deformação excessiva ou ruína parcial da estrutura de apoio e seu efeito sobre o telhado
	Telhado sem conservação ou limpeza, com beirais deteriorados e ineficazes
	Pormenor de transição entre águas consecutivas com soluções de recurso, muito degradadas e com total ineficácia
	Telhado muito inclinado argamassado e com grampos, submetido a uma reparação local da pior qualidade
	Degradação da telha canudo (capa e caleira) e falta de limpeza e manutenção

Para que possamos verificar o aspecto típico das coberturas, degradadas, do Centro Histórico do Porto, seguem-se algumas imagens tiradas recentemente da Sé do Porto, que nos mostram aquelas que são as coberturas analisadas neste trabalho, onde se notam algumas das anomalias referidas anteriormente:

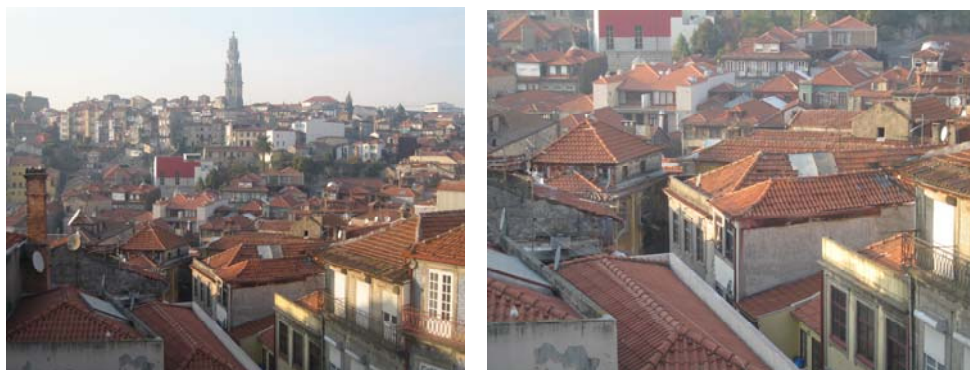


Figura 3.30 – Aspecto geral das coberturas típicas do Centro Histórico do Porto

Repare-se na figura seguinte (figura 3.31) que nos mostra as emendas nas bordas de um telhado em fibrocimento e um telhado inclinado bastante degradado, sem caleiras para escoamento das águas pluviais, e com assentamento acentuado da estrutura.



Figura 3.31 – Anomalias em dois edifícios vizinhos com coberturas inclinadas

A figura seguinte (figura 3.32) ilustra telhados inclinados com elevados assentamentos da estrutura de suporte da cobertura, telhas diferentes aplicadas no mesmo telhado, deficientes sistemas de escoamento de águas pluviais, excesso de argamassa na cumeeira, e remates com as paredes nas pendentes mal feitos, etc.



Figura 3.32 – Anomalias em telhados na zona do Centro Histórico do Porto

3.4. ERROS CORRENTES NA CONCEPÇÃO DE COBERTURAS INCLINADAS

3.4.1. INTRODUÇÃO

Alguns dos erros de execução mais comuns que originam as anomalias já referidas, são:

- Inclinação insuficiente;
- Materiais de isolamento aplicados sem se prever caixa-de-ar entre estes e a telha;
- Aplicação do isolante térmico (poliestireno extrudido) directamente na laje, sem se deixar que esta seque primeiro;
- Excesso de argamassa aplicada nas cumeeiras;
- Não usar remates nas cumeeiras porque fica mais caro;
- Aplicação de líquidos impermeabilizantes sobre as telhas;
- Deficiências de apoio de alvenaria, numa cobertura corrente em telha cerâmica.

3.4.2. INCLINAÇÃO INSUFICIENTE

A inclinação de uma cobertura em telha cerâmica pode ser suficiente ou não, dependendo do comprimento da pendente em causa. De facto, devemos ter em consideração que, quando chove mais intensamente, o caudal de água que corre nas telhas mais próximas do beiral é muito superior ao caudal de água que corre nas telhas mais próximas da linha de cumeeira. É que as primeiras vão receber toda a água que cai nas restantes e, naturalmente, quanto maior for a pendente, maior o volume de água que irá correr.

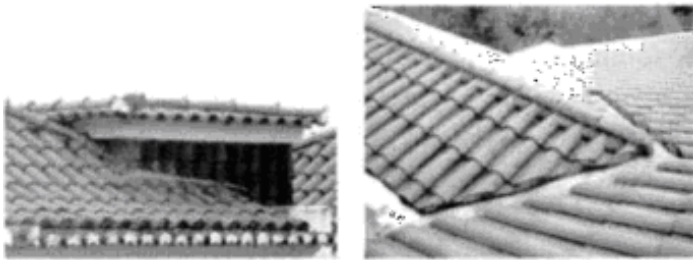
Em todo o caso, para inclinações abaixo do recomendado, seria sempre recomendável a utilização de uma tela do tipo subtelha (uma espécie de cartão prensado de alta densidade com ondulações) que pode receber eventuais infiltrações por água tocada a vento que galgue os encaixes da telha, conduzindo essa água para escoamentos previstos para esse efeito.

Note-se que a inclinação também facilita o arejamento interior da face da telha. De facto, o ar que circula no interior da cobertura, junto à telha, movimenta-se de acordo com o princípio da tiragem térmica, isto é, o ar admitido numa zona mais baixa do telhado (junto ao beiral) vindo do exterior frio, ao aquecer (por acção do calor produzido no interior da habitação ou pelo calor que a telha armazena) torna-se mais leve e vai subindo ao longo da pendente, saindo por uma abertura mais próxima da cumeeira. A velocidade do vento é importante para facilitar este processo e, a inclinação da cobertura facilita a velocidade de circulação do vento [15].

Por outro lado, é importante saber que, em condições climáticas desfavoráveis, podem ocorrer pressões atmosféricas significativas numa cobertura (por acção do vento mais intenso) que geram depressões nas pendentes opostas. Estas pressões e depressões podem facilitar a aspiração das águas em escoamento sobre o telhado, originando infiltrações. A correcta inclinação de um telhado reduz este risco.

O quadro 3.5, mostra-nos alguns exemplos de coberturas que padecem deste tipo de erros:

Quadro 3.5 – Ilustração de geometrias não adequada às soluções de telhado tradicionais [17]

	Telhado redondo e muito inclinado
	Pequenas “águas”, pouco inclinadas, com muitos recortes de difícil execução com acessórios adequados

3.4.3. MATERIAIS DE ISOLAMENTO APLICADOS SEM CAIXA-DE-AIR ENTRE ESTES E A TELHA

O isolamento térmico (poliestireno extrudado, por exemplo) é sempre uma boa opção para estancar eventuais transferências térmicas entre o interior e o exterior da habitação. No entanto a sua aplicação deve carecer de alguns cuidados, de modo a evitar a inadequada ventilação da face inferior da telha bem como o surgimento de condensações na placa.

Quando se realiza uma obra, até ao momento em que está para receber o isolamento da cobertura, nomeadamente as telhas, toda a obra já recebeu bastante humidade das chuvas. Tudo o que é lajes, paredes, etc, recebe água que é necessário expulsar (normalmente ocorre por evaporação natural). Quando é aplicada a telha, toda a humidade que é evaporada para a atmosfera exterior, é “travada” pela telha. Tendo a telha uma capacidade termo higrométrica inferior ao cimento e argamassas usados nas referidas lajes e paredes, a evaporação da humidade vai dar-se de forma muito mais lenta.

Quer isto dizer que a telha vai absorver a humidade da casa de forma muito mais rápida do que a velocidade com que a consegue expulsar para a atmosfera exterior (por evaporação). A condensação na face inferior da telha surge quando esta atinge o ponto de saturação, ou seja, já não consegue absorver mais humidade da atmosfera interior da habitação porque a velocidade com que a expulsa para o exterior é muito inferior. É aqui que se revela uma das funcionalidades das telhas de ventilação. Uma adequada ventilação da face inferior da telha, vai possibilitar que este fenómeno não ocorra, pois incrementa consideravelmente a renovação de ar por baixo da telha.

A adequada ventilação deve prever uma caixa-de-ar de cerca de 5 cm de altura, complementada com uma correcta distribuição de telhas de ventilação.

Verifica-se que é uma má opção encostar a telha directamente às estrias previstas no isolamento térmico (erro frequentemente encontrado). A razão porque existem as estrias (ou ranhuras) no isolamento (poliestireno extrudido, por exemplo), deve-se à necessidade de se aplicar uma “tira” de argamassa ao longo da placa de poliestireno, que vai servir de ripa de apoio para fixação da telha. Esta tira deve ter cerca de 5 cm de altura.

3.4.4. APLICAÇÃO DO ISOLANTE TÉRMICO DIRECTAMENTE NA LAJE, SEM SE DEIXAR QUE ESTA SEQUE PRIMEIRO

Quando se aplica o isolamento térmico (poliestireno extrudido, por exemplo) directamente na laje, a experiência diz-nos que, frequentemente a humidade da habitação é estancada entre a laje e a placa de poliestireno extrudido (XPS), ou seja, o isolamento não deixa a humidade passar para a telha de modo a que esta a expulse naturalmente para o exterior. Quando isto acontece, dá-se uma sucessão de ciclos de evaporação / condensação em que essa humidade demora imenso tempo a ser expulsa.

O que se passa no fundo é que, a humidade contida nas lajes/paredes interiores evapora-se, é absorvida pela laje de cobertura, e esta por sua vez expulsa-a para o material que estiver por cima. Se esta humidade (sob a forma de evaporação) encontra uma superfície estanque, sem capacidade de absorção (como é o caso do poliestireno extrudido), transforma-se em condensação (passa ao estado líquido), sendo reabsorvida pela laje. Este ciclo dá-se um número infindável de vezes até que a humidade encontre forma de passar para o exterior da habitação. A acumulação desta humidade em estado líquido, na laje de cobertura, provoca com o tempo, o surgimento de diversos sinais indesejáveis (manchas negras, descasque de tinta, bolor, etc.), frequentemente confundidos com infiltrações de água da chuva.

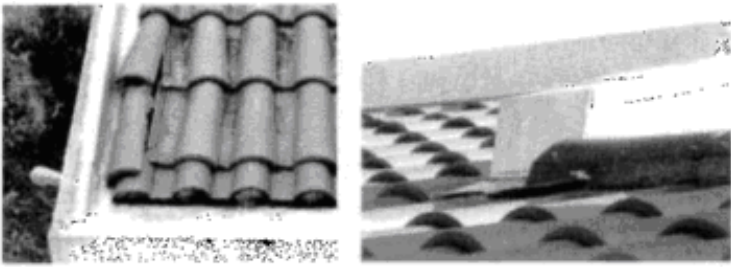
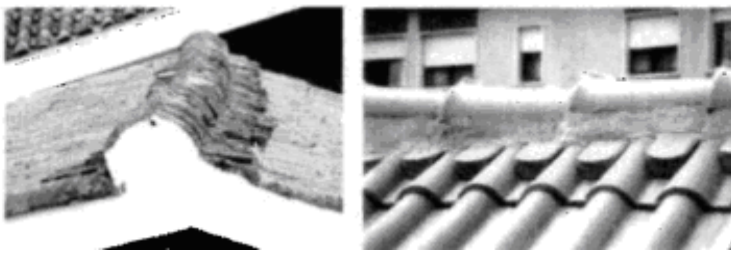
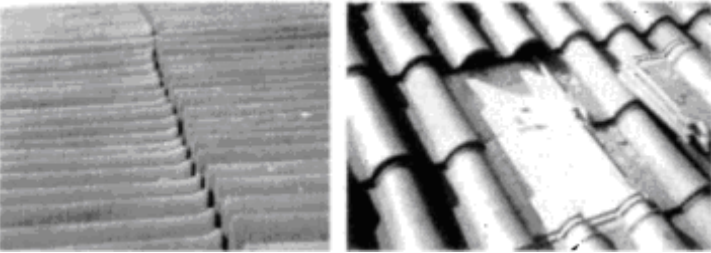
3.4.5. EXCESSO DE ARGAMASSA APLICADA NAS CUMEEIRAS

Deve-se ter especial cuidado aquando da execução de pontos singulares como o remate de cumeeiras e rincões. É absolutamente aconselhável a utilização de peças previstas para reduzir a quantidade de argamassa necessária para fixar as peças de cumeeira, nomeadamente o uso de remates. Não se trata de um capricho o facto de dispormos deste acessório. A verdade é que, sendo a argamassa um corpo que absorve muita humidade (muito mais do que a telha), vai transmiti-la a todas as peças porosas que esteja em contacto directo com ela (telhas, telhões, remates, etc).

Se a argamassa, usada no interior do telhão de cumeeira, estiver em contacto directo com a laje de cobertura, está assegurada uma passagem de humidade da cumeeira para o interior da habitação (com todas as consequências que daí advêm). Por outro lado, a argamassa tem um comportamento dinâmico (quando sujeito a grandes amplitudes térmicas) muito superior às peças cerâmicas (quer isto dizer que contraem e dilatam de forma mais brusca do que os corpos cerâmicos), podendo originar fracturas, fissuras nas telhas e acessórios a ela fixadas, originando potenciais pontos de infiltração de humidade.

O quadro 3.6, ilustra alguns casos, em que existe excesso de argamassa nas cumeeiras.

Quadro 3.6 – Ilustração de defeitos em pontos singulares e zona corrente [17]

	Remate lateral instável, com meia telha, e conflito entre rufo e cumeeira baixa
	Cumeeira totalmente desalinhada com excesso de argamassa
	Fiada desalinhada e telha assente directamente sobre o isolamento térmico, sem possibilidade de ventilação

3.4.6. NÃO USAR REMATES NAS CUMEEIRAS POR RAZÕES ECONÓMICAS

Reconhecemos que, infelizmente, é comum (especialmente no Norte do País – Zona em estudo) não usar remates, por se pensar que o telhado fica muito mais caro. Esta ideia é errada se tivermos em conta o custo de mão-de-obra necessário para se executar o trabalho com um acabamento perfeito, dispensando o uso de remates, já para não referir a enorme quantidade de argamassa que se terá de usar e o seu respectivo custo.

É também verdade que a maior parte dos problemas de infiltração de humidades, se devem ao excesso de argamassa usada nas cumeeiras, normalmente sem remates, embora se encontrem situações em que apesar de estar prevista a utilização destas peças, não se dispensou quantidades “industriais” de argamassa, aplicada incorrectamente.

3.4.7. APLICAÇÃO DE LÍQUIDOS IMPERMEABILIZANTES SOBRE AS TELHAS

A aplicação de líquidos impermeabilizantes, tecnicamente designados por hidrofugantes, é aconselhável, contudo têm vantagens e desvantagens.

A grande vantagem é prolongar o aspecto novo do telhado durante mais tempo do que se não tivesse o líquido aplicado, ou seja, líquenes, verdetes, fungos e musgos, demoram mais tempo a aparecer. Note-se que em locais especialmente húmidos e com muita vegetação alta nas proximidades, não há

milagres, pelo que, nas pendentes mais sombrias rapidamente proliferam estes organismos (quer se use hidrofugantes ou não), porque uma vez que a telha está sujeita aos raios UV e intempéries, o produto aplicado vai perdendo qualidades até deixar de actuar. Os hidrofugantes de base aquosa duram cerca de um ano, raramente mais de dois anos. Os hidrofugantes de base solvente são mais duráveis (mas também bastante mais caros).

Por muito que se diga que o produto é inócuo, a verdade é que reduz consideravelmente a capacidade da telha “respirar”. Quer isto dizer que, sendo a telha normal capaz de absorver humidades e expulsá-las para o exterior da habitação, esta capacidade é consideravelmente diminuída com a aplicação do produto em causa. De facto, após aplicado, o produto vai reduzir a capacidade de absorção de água na superfície exterior da telha (porque cristaliza dentro dos poros da telha, reduzindo a dimensão livre destes poros).

No entanto, quer a telha esteja totalmente hidrofugada (por emersão) ou parcialmente hidrofugada (por aplicação directa na sua superfície exterior), continuará a existir uma pequena absorção de água.

Esta pouca humidade que a telha absorve, vai sofrer acrescidas dificuldades em ser expulsa para o exterior, porque agora vai ter que atravessar uma película da telha onde os poros são de muito menor dimensão. Nestas condições, caso o telhado esteja numa região onde seja frequente a ocorrência de geadas, a probabilidade do corpo da telha se danificar é consideravelmente acrescida.

Os danos no corpo da telha devido a geadas identificam-se facilmente pois começam a surgir lamelas na superfície da telha que acabam por se soltar. Este fenómeno é conhecido por “descasque” da telha. A ocorrência do “descasque” pode ser explicada do seguinte modo: A água, na passagem do seu estado líquido para o estado sólido, sofre um aumento do seu volume em cerca de 9%. Se a telha tiver os seus poros todos preenchidos por água (ponto de saturação), ao sujeitar-se a temperaturas propícias à formação de geada sobre o seu corpo, a água que está contida nos seus poros vai congelar, e expandir de volume.

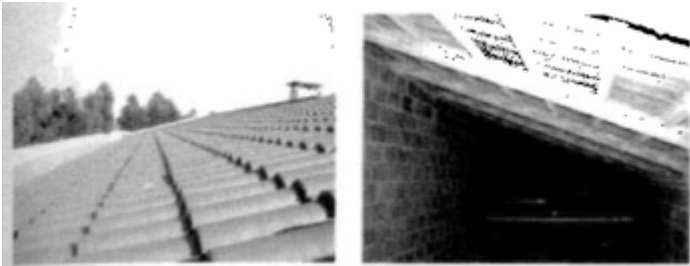
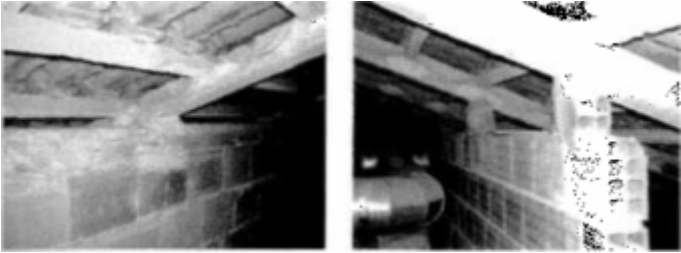
Se esta expansão não encontrar espaço dentro dos poros para se acomodar, irá forçar a estrutura interna do corpo cerâmico, obrigando-o a expandir-se. Tendo o corpo cerâmico uma resistência limitada, podem começar a surgir micro-fissuras internas que, com o tempo, provocarão a desagregação da peça. O risco de este fenómeno ocorrer será tanto maior quanto maior o número de ciclos de gelo/degelo a que a telha estará sujeita. A importância de uma boa ventilação da cobertura é também aqui bem evidente pois quanto mais depressa a telha secar mais se reforça a sua capacidade de resistência ao gelo.

Como uma telha hidrofugada tem um processo de secagem mais lento, é fundamental dotar a cobertura de uma boa caixa-de-ar, uma dispersão de telhas de ventilação adequada e, imprescindível, adquirir um hidrofugante adequado para argamassas, aplicando-o em todos os pontos de argamassas.

3.4.8. DEFICIÊNCIA DE APOIO DE ALVENARIA, NUMA COBERTURA CORRENTE DE TELHA CERÂMICA

O apoio das coberturas inclinadas sofreu grandes transformações nos últimos anos, com particular relevo para adopção crescente de suporte contínuos em betão armado. Todavia, a utilização de suporte descontínuos, que se demonstra muito interessante do ponto de vista económico e de conforto térmico em desvãos não utilizados, não tem encontrado soluções construtivas consensuais com o desaparecimento progressivo da madeira e a sua substituição por outros materiais, tal como é apontado no quadro 3.7.

Quadro 3.7 – Aspecto de estrutura de apoio em alvenaria, sem condições de estabilidade [17]

	Aspecto exterior do telhado e estrutura de apoio em alvenaria de e perfis de betão
	Apoio corrente das varas sobre as paredes de alvenaria e apoio instável sobre tijolo não travado
	Deslocamento de ripa, com perda do apoio da telha e escoramento de recurso das paredes

A estrutura principal da cobertura, com duas águas, é constituída por paredes longitudinais de alvenaria que não tem qualquer travamento do seu comprimento. Não é possível considerar, do ponto de vista formal, que esteja garantida a estabilidade destas paredes, razão pela qual muitas vezes, cedem ao escoramento, uma vez que a medida recomendável seria o seu contraventamento com paredes transversais. O apoio das varas nestas paredes de alvenaria provoca tensões localizadas muito elevadas que conduzem, em muitos casos, à fissuração do tijolo, que chega a atingir toda a parede.

A amarração das varas às paredes que as suportam são muito deficientes, o que pode provocar deslizamentos, que geram impulsos excessivos, e podem levar a desalinhamentos progressivos do telhado. Algumas paredes de alvenaria acabarão por fissurar ou ser parcialmente derrubadas por acção desses impulsos.

Algumas ripas não estão devidamente alinhadas ou estão deficientemente fixadas às varas, deslocando-se, com eventual risco de queda, sob qualquer pequena acção. As ripas não são contínuas e tem comprimento igual à distância entre varas, o que dificulta a sua fixação e alinhamento.

No quadro seguinte (quadro 3.8) apresenta-se uma síntese das anomalias mais frequentes nas coberturas de telhados, assim como uma referência às origens mais frequentes.

Quadro 3.8 – Quadro de resumo das anomalias correntes em coberturas inclinadas [17]

Defeitos	Origem			
	Concepção	Execução	Materiais	Uso
Geometria incompatível com o sistema (cobertura de telha cerâmica)	1			
Falta de pormenorização de pontos singulares	1			
Falta de especificações técnicas para materiais e execução	1			
Falta de resistência, contraventamento ou rigidez do suporte	1	2	3	
Inclinação excessiva ou insuficiente da cobertura	1			
Remates inadequados contra elementos construtivos emergentes	2	1		
Remates ou fixações inadequadas em bordos livres	2	1		
Incumprimento do projecto		2		
Encaixe das telhas incorrecto		1	2	
Sobreposição das telhas por excesso ou defeito		1		
Utilização inadequada de acessórios cerâmicos	2	1		
Uso inadequado ou falta de qualidade de acessórios não cerâmicos		1		
Desalinhamento das fiadas de telhas		1		
Aplicação de argamassa em excesso (cumeeiras e rincões)		1		
Fracturas da telha, na capa, no canal, e nas nervuras, rebordos e encaixes		3	2	1
Acumulação de musgos e detritos				1
Drenagem insuficiente (fraca inclinação e secção de caleiras)	1			
Descasque por acção do gelo		2	1	
Deslocamento ou escorregamento das telhas	1	2		
Falta de ventilação da face inferior das telhas	2	1		
Colocação incorrecta ou ausência de barreira para vapor	1	2		
Colocação incorrecta do isolamento térmico	2	1		
Degradação precoce dos materiais			1	2
Diferenças de tonalidade			1	
(1) (2) (3) - Ordenação da maior para a menor probabilidade de origem do defeito				

4

REABILITAÇÃO E MANUTENÇÃO DE COBERTURAS

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo permite analisar algumas técnicas e soluções de reabilitação das anomalias em coberturas referidas anteriormente, tentando conjugar as melhores soluções tecnológicas com a permanência da aparência exterior do edifício. Segundo os censos de 2001, cerca de 45% dos edifícios necessitam de reparação das coberturas, das quais 19,9% são pequenas reparações, 13,6% reparações médias, 7,5% consistem em grandes reparações, e os restantes 4,1% são reparações muito grandes [18]. As coberturas que necessitam de reparações, são maioritariamente coberturas inclinadas, em telha. É necessário e urgente conhecer algumas técnicas de reabilitação para estas coberturas. Neste capítulo, são propostas 3 hipóteses para a reabilitação das anomalias, reabilitação térmica de coberturas inclinadas, bem como uma breve referência à manutenção das mesmas.

4.2. TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DE COBERTURAS INCLINADAS

4.2.1. INTRODUÇÃO

A cobertura, incluindo todos os elementos funcionais e decorativos, importantes na definição do seu carácter histórico, deverá ser registada, inspeccionada, retida e conservada. Isto inclui a forma do telhado, elementos decorativos, chaminés, o material da estrutura, a sua dimensão, cor e padrão.

Sendo a humidade o principal inimigo das coberturas, é essencialmente sobre este factor que se deverá actuar, tanto de forma curativa como preventiva [11]. Nos pontos que se seguem, são revelados alguns conselhos, tendo em conta o tipo de reabilitação a executar (reparação, substituição, etc.)

4.2.2. MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE PROTECÇÃO DAS COBERTURAS CONTRA A HUMIDADE DE PRECIPITAÇÃO

A questão da protecção das coberturas contra a humidade de precipitação tem que ser enquadrada numa perspectiva mais abrangente pois uma das principais causas de perda de estanquidade das coberturas advêm, tal como referido anteriormente, de deformações excessivas da sua estrutura que conduzem a abertura de juntas entre as telhas, a sua rotura e à danificação do sistema de drenagem de águas pluviais.

Em relação aos revestimentos das coberturas, mediante uma revisão geral periódica, pode ser feita a substituição de telhas danificadas por outras idênticas que garantam o seu perfeito assentamento. As telhas utilizadas nas construções mais antigas são as telhas de canudo.

De forma a garantir a estanquidade da cobertura com telhas de canudo, pode actuar-se das seguintes formas:

- Execução de lajetas de cobertura: sobre a estrutura de madeira, pregar uma rede de aço distendido com aberturas não superiores a 5 mm e aplicar argamassa seca de cimento ou micro-betão. Sobre esta lajeta, são colocadas as ripas de madeira tratada ou de argamassa que servem de base para a colocação das telhas. Refere-se que esta opção comporta uma sobrecarga para a estrutura da cobertura, que deverá ser prevista;
- Revestimento da estrutura da cobertura com chapas onduladas, naturocimento, **sem amianto**, com dimensões especiais para assentamento directo de telhas pode ser feito de duas formas distintas: constituindo sobre a chapa ondulada as abas e os canudos, ou aproveitando as cavas das ondas para fazer os canais. Esta segunda solução permite o reaproveitamento das telhas existentes na construção pois requer apenas metade das telhas, mas exige também algum engenho na resolução do beirado;
- Colocação de uma membrana impermeável entre a estrutura da cobertura e o revestimento de telha: os feltros ou as telas betuminosas não deverão ser danificadas durante a colocação do telhado;
- O sistema de drenagem de águas pluviais deveser observado desde as caleiras aos tubos de queda e acessórios, de forma a avaliar a possibilidade de reabilitação ou substituição integral. Estes elementos são normalmente de zinco e as principais anomalias relacionam-se com a falta de manutenção, a acção de choques mecânicos ou a corrosão, sendo ainda nefastas algumas reparações com outros materiais incompatíveis e de qualidade deficiente. Por exemplo, vê-se correntemente caleiras de zinco com remendos de tela asfáltica com alumínio, caleiras totalmente substituídas por enchimentos de argamassa e pinturas com emulsões betuminosas, tubos de queda interrompidos no meio das paredes ou emendados com tubos de plástico de dimensões incompatíveis com o existente.

Em acções de reabilitação deve-se procurar utilizar os materiais tradicionais cuja eficácia foi comprovada ao longo de centenas de anos, pelo que as caleiras, algerozes, rufos, etc. deverão ser executados em zinco e os tubos de queda em ferro fundido ou aço galvanizado. A rede de drenagem das águas pluviais deve, sempre que possível, ser executada pelo exterior das paredes.

Deve ainda tomar-se especial atenção aos detalhes, que já foram mencionados, pois é nestes pontos que ocorrem as infiltrações, como os remates de platibandas, chaminés e tubos de ventilação, remates com paredes de edifícios vizinhos, juntas entre edifícios contíguos, etc.

4.2.3. REPARAÇÃO

As reparações das coberturas do Centro Histórico do Porto, deverão reforçar os materiais históricos. As reparações deverão limitar as substituições, utilizando materiais idênticos ou compatíveis, apenas em partes muito deterioradas ou em falta, ou de peças inteiras, quando houver ainda protótipos. **A substituição de coberturas inteiras não é recomendada se a reparação for possível.** A figura 4.1 mostra-nos a demolição completa de uma cobertura inclinada, no Centro Histórico do Porto.



Figura 4.1 – Destruição de coberturas deterioradas para substituição completa

Como solução geral de reparação dos revestimentos do telhado, recomenda-se a aplicação de telhas cerâmicas iguais às existentes. A aplicação de um revestimento de telha simples, sem encaixe, apresenta algumas limitações quanto à durabilidade, dependentes da amplitude das reparações desenvolvidas sobre as estruturas de madeira antigas que suportam este revestimento. Importa, por isso, resolver este problema de forma integrada considerando as seguintes medidas:

- Na reparação das estruturas de madeira da cobertura, os novos elementos de madeira a aplicar devem ser seleccionados e tratados adequadamente. Quando a deterioração das madeiras se estenda às asnas, madres varas e ripas, a substituição integral pode ser a solução mais aconselhada, devendo para o efeito ser elaborado o respectivo projecto estrutural;
- Sobre a estrutura, deverão ser aplicadas pranchas de madeira que possam constituir uma base estável para a colocação das telhas;
- Na aplicação do revestimento de telha deve-se minimizar a eventual ocorrência de condensações sob as telhas, pelo que se recomenda a aplicação de um elemento pára-vapor. É imprescindível garantir a ventilação da estrutura, por exemplo, com aplicação de telhas de ventilação próximo dos beirais e da cumeeira. As telhas a aplicar deverão ser, tanto quanto possível, as originais do edifício, substituindo as telhas danificadas e completando as inexistentes, com telhas novas, preferencialmente fabricadas por encomenda, de forma a serem o mais semelhante possível às telhas originais.

A existência de elementos emergentes da cobertura (chaminé) obriga à consideração de determinados cuidados nas zonas de ligação que não devem ser resolvidos à custa da camada de argamassa. Estes elementos deverão ser concebidos segundo as técnicas construtivas descritas no capítulo anterior.

Como medida preventiva, torna-se indispensável proceder periodicamente (pelo menos uma vez por ano, antes de cada Inverno), à manutenção do revestimento da cobertura, nomeadamente procedendo à limpeza de eventuais vestígios de poeiras e sujidade que se acumulam nas caleiras e tubos de queda.

4.2.4. SUBSTITUIÇÃO

Se um elemento da cobertura, como por exemplo a chaminé ou uma grande secção da cobertura, for irreparável, se a sua forma geral e detalhe forem ainda evidentes para orientar o novo trabalho e se a utilização do mesmo tipo de material não for técnica ou economicamente viável, deverá ser removido e substituído por outro com a mesma aparência visual.

4.2.5. MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO DA COBERTURA

Outro problema importante que se coloca na reabilitação de coberturas tem a ver com a necessidade de reforço do seu isolamento térmico. As soluções a utilizar assim como a espessura dos isolantes, deverão ser calculadas e determinadas para cada caso devendo respeitar o previsto no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

As perdas térmicas através da cobertura das construções são as mais graves, pois constituem uma parcela significativa das perdas totais, pelo que merecem uma especial atenção, sobretudo em edifícios pequenos. A melhoria das características do isolamento térmico das coberturas toma diferentes aspectos consoante se pense no Verão ou no Inverno.

No verão, interessa melhorar as condições de ventilação da cobertura, objectivo facilmente conseguido com a colocação de telhas de ventilação em vertentes opostas que promovam correntes de ar entre os revestimentos com telha e os forros interiores.

Para o conforto de Inverno, interessa distinguir as situações de sótão habitável, em que a própria cobertura delimita superiormente o espaço ocupado pelo último piso, e aquelas em que existe um forro de tecto sob as telhas ou sob a estrutura da cobertura, e as soluções de telha vã.

4.2.6. ASPECTOS NÃO RECOMENDÁVEIS NA EXECUÇÃO DAS OPERAÇÕES DE REABILITAÇÃO

Nas operações de reabilitação de edifícios antigos, com valor histórico, não são recomendadas as operações seguintes:

- Alterar, danificar ou destruir radicalmente as coberturas que são importantes na definição do carácter histórico da construção;
- Remover uma grande porção da cobertura ou elementos são ou que sejam reparáveis e reconstruí-la com material novo para criar uma aparência uniforme e melhorada;
- Alterar a configuração de uma cobertura adicionando novos elementos como janelas de cobertura, telhas transparentes, ventiladores, novas chaminés; caso seja imprescindível a sua utilização, os elementos novos deverão ser colocados fora do alcance de visão da rua;
- Aplicar tintas ou outros acabamentos a madeiras da cobertura, que por razões arquitectónicas, não eram revestidos;
- Utilizar tintas substitutas que não estão de acordo com a aparência visual das partes sobreviventes da cobertura, ou que são física ou quimicamente incompatíveis.

4.3. SOLUÇÕES PROPOSTAS PARA REABILITAÇÃO DE COBERURAS INCLINADAS

4.3.1. REABILITAÇÃO DE TELHADOS APLICANDO SUBTELHA

Uma das técnicas actualmente mais utilizadas na reabilitação de coberturas inclinadas passa pela utilização da subtelha. Estas têm a capacidade de garantir estanquidade à água (que é uma das principais exigências a garantir nas coberturas), mesmo com quebra de telha ou nos casos de inclinação deficiente, bem como a redução ruído e protecção do interior das telhas de poeiras e ninhos, que apenas com telha cerâmica não é conseguido.

As subtelhas (representadas na figura 4.2), são chapas onduladas provenientes de materiais derivados do betão, materiais plásticos ou outros, e destinam-se à realização de sistemas de coberturas inclinadas revestidas por chapas descontínuas. [11]

A execução de coberturas inclinadas com subtelhas e telha típica das construções antigas do Porto (telha canudo), exige uma elevada compatibilidade de geometria, de fixação e de remate, de forma a garantir o pleno funcionamento do conjunto, no que diz respeito à estanquidade à água e ventilação.



Figura 4.2 – Exemplo de subtelha com telha canudo [19]

A reabilitação de coberturas inclinadas com este sistema tem ainda outras vantagens, como por exemplo:

- O facto de o ar conseguir passar entre a telha e a subtelha (figura 4.3), e simultaneamente, entre a subtelha e a estrutura, aquece por radiação solar, e chegando à cumeeira, permite a entrada de ar fresco pela parte inferior, que leva a redução da transmissão de calor debaixo da cobertura;
- Diminuição do choque térmico na telha, e eliminação da presença de humidade na parte inferior da telha;
- Diminuição do aparecimento de fungos, aumentando o período de vida da cobertura;
- Um aumento do isolamento térmico e acústico pelas suas características (formato e materiais constituintes), que leva a uma poupança de energia no interior da habitação, além de ajudar a cumprir mais facilmente o RCCTE, uma vez que existem valores de coeficientes de transmissão térmica máximos para coberturas a serem cumpridos;
- É imune à acção gelo-degelo (não parte ou fissura);
- Permite a reutilização das telhas antigas e aproveitamento das estruturas resistentes;
- É bastante leve, pelo que o peso da cobertura não aumenta significativamente na estrutura de suporte;

- Adapta-se a todo o tipo de estruturas, inclusive estruturas deformadas (ideal para casos de reabilitação). A sua flexibilidade permite absorver todas as dilatações e contracções transmitidas pela estrutura (não parte ou fissura) [8];
- Garante protecção imediata, uma vez que por si só, já é um telhado. As telhas podem ser colocadas depois;
- É de colocação fácil e rápida: não é necessária mão-de-obra especializada, nem são necessárias ferramentas especiais;
- As telhas não se movem: o deslizamento das telhas canudo é bloqueado pela adesividade proporcionada pelas próprias placas de subtelha;
- É um sistema ecológico: não contém amianto ou matérias tóxicas. Permite a reutilização das telhas antigas e das estruturas existentes. É reutilizável e reciclável;
- Apresenta melhor reacção ao fogo.

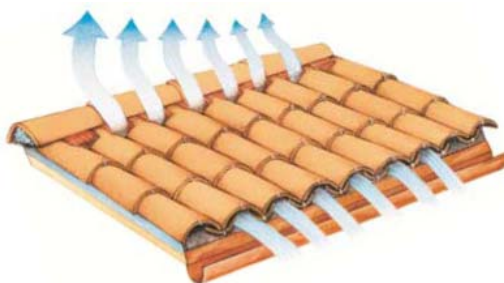


Figura 4.3 – Exemplo de cobertura com subtelha transmissão do ar pelo interior das telhas [19]

As figuras 4.4 e 4.5 ilustram um esquema e uma imagem de coberturas inclinadas com subtelha.

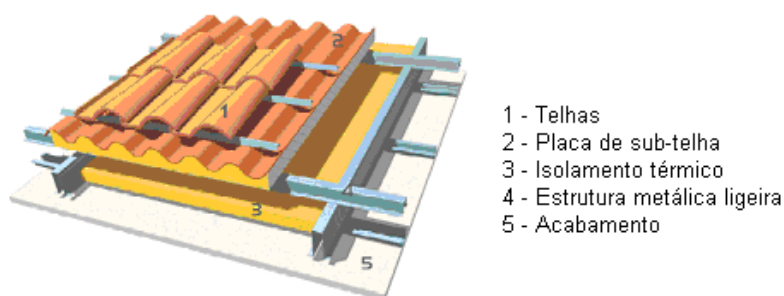


Figura 4.4 – Cobertura em telhado com sistema de subtelha [19]



Figura 4.5 – Cobertura inclinada com subtelha [19]

Para que a reabilitação seja bem executada, deve-se atender:

- Ao tratamento da madeira dos elementos que constituem o suporte da cobertura;
- À correcta colocação das placas de subtelha (começando sempre do lado oposto ao vento dominante – figura 4.6);

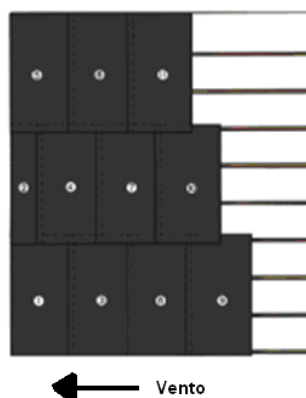


Figura 4.6 – Esquema de correcta colocação das placas de subtelha

- À correcta sobreposição das placas (por exemplo 1 onda lateralmente e 15 cm transversalmente);
- À fixação das placas.

4.3.2. REABILITAÇÃO DE TELHADOS EM FIBROCIMENTO

As coberturas inclinadas com revestimento em chapas de fibrocimento (fig.4.7), foram muito usadas em Portugal, pela simplicidade de montagem e reduzido custo. Porém, hoje em dia já não é permitido o seu uso, uma vez que têm na sua constituição amianto, sendo esta uma substância de risco para a saúde pública. Existem novas tecnologias em fibrocimento, sem amianto (naturocimento), mas são mais utilizadas como subtelha, e não como revestimento final de coberturas inclinadas, embora também possam ser utilizadas com essa finalidade.

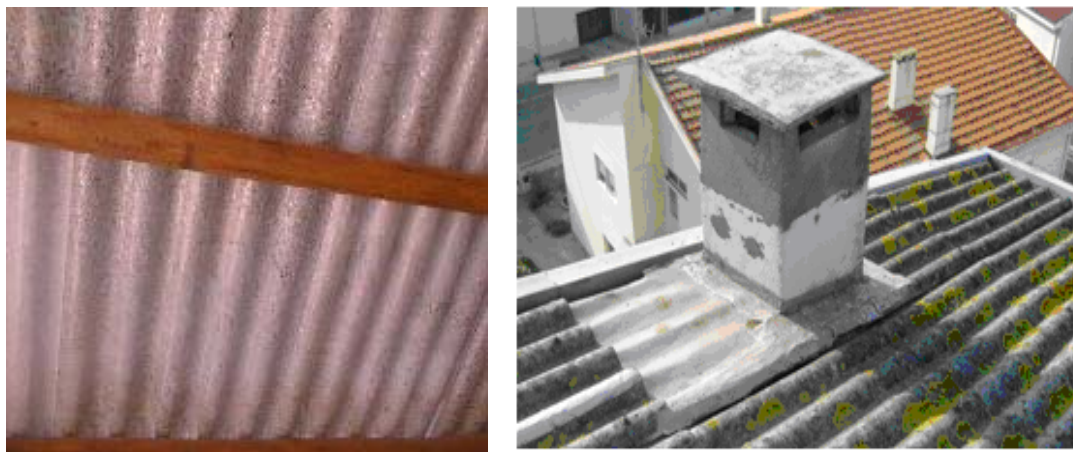


Figura 4.7 – Coberturas em fibrocimento [20]

A reabilitação de coberturas de fibrocimento, requer um cuidado especial, uma vez que existem normas que proíbem todos os produtos que contêm amianto. Sendo assim, é necessário a aplicação de técnicas específicas para a remoção e manutenção do fibrocimento presente nas coberturas de edifícios. A emissão de fibras cancerígenas nestas coberturas, tem a ver com o lado exposto às acções dos agentes atmosféricos, comportando uma dispersão de fibras no ambiente próximo e envolvente. Posto isto, é fácil perceber, que as coberturas existentes em fibrocimento, não serão reabilitadas no mesmo material, mas sim substituídas por outra solução que não tenha as implicações referidas.

Através de uma observação visual, pretende-se identificar determinados parâmetros:

- Indicadores do estado da cobertura: Friabilidade do material; estado da superfície (rachas, fracturas, lascas); integridade da matriz (evidencia de áreas de corrosão da matriz com afloramento das fibras de amianto); Tratamentos protectores da cobertura (pintura, envernizamento, plastificação); criação de bolores e ou líquenes sobre a superfície [15].
- Indicadores de dispersão de fibras: Escoamento das águas pluviais não canalizadas, em particular a descarga livre das mesmas águas em superfícies pavimentadas; possibilidade de dispersão na área directa no interior do edifício (cobertura de fibrocimento perto das janelas) [15].

O processo de reabilitação deste tipo de coberturas pode ser feito de duas formas:

- Com remoção da cobertura existente;
- Sem remoção da cobertura existente – Sobrecobertura.

A remoção implicará o desmantelamento da cobertura em fibrocimento, que será substituída por um novo material. Esta operação apresenta vantagem em eliminar todas as origens do risco, mas tem a desvantagem de comportar uma forte emissão de fibras no ambiente envolvente. As operações de remoção deverão ser sempre efectuadas salvaguardando a integridade do material em todas as fases de intervenção, ou seja, durante a desmontagem das chapas, a descida, o empilhamento e o transporte. Antes de proceder à desmontagem, as chapas serão tratadas com soluções de filmes ou películas de base vinílica e acrílica capazes de capsular as fibras de amianto e impedir a sua dispersão na atmosfera. Os ganchos, cavilhas e pregos, serão removidos mecânica e manualmente tendo o cuidado de não danificar os painéis. Serão evitadas operações de serragem, corte e perfuração por meio de serras, molas ou brocas de alta velocidade giratória. Segue-se a desmontagem das chapas como enorme cautela, através de equipamentos de elevação fiáveis. As chapas desmontadas serão empilhadas em paletes depois de serem molhadas de ambos os lados. Antes de as chapas saírem de

estaleiro para serem depositadas em aterros autorizados, serão embaladas com telas de plástico seladas e etiquetadas. Durante todas as operações descritas, os operadores deverão estar equipados com os meios de protecção das vias respiratórias mais apropriadas, vestuário descartável e equipamento individual antiqueda. A nova cobertura, será colocada após inspecção e melhoria do plano de assentamento e a inserção de isolamento adequado. O novo revestimento da cobertura, poderá ser realizado com chapa de alumínio, naturocimento, de vidro resina, cobre, zinco, aço ou telha, sobre painéis sanduíche de isolamento termo acústico [15].

A não remoção da cobertura existente, exige a construção de uma sobrecobertura. A sobrecobertura consiste em realizar uma nova cobertura sobre a existente de fibrocimento (figura 4.8). Esta operação deve ser feita com extrema cautela para evitar danos na cobertura em amianto. Inicialmente molha-se a cobertura existente com soluções de películas usando bombas a baixa pressão para evitar a dispersão de fibras no ambiente. A eventual desmontagem de chapas especialmente deterioradas deve ser feita removendo os sistemas de fixação sem provocar danos adicionais nas próprias chapas. Para montar a nova cobertura será necessário realizar uma urdidura secundária com varedo de madeira fixado directamente à estrutura principal do telhado com parafusos auto perfurantes, de modo a que as cargas previstas actuem só sobre a estrutura portante. Os operadores devem ser dotados de meios de protecção das vias respiratórias, de vestuário, de protecção e de dispositivos individuais antiqueda. Pode-se aproveitar para melhorar o conforto térmico das divisões subjacentes poderá ser interposto um material de isolamento entre a velha e a nova cobertura. A nova cobertura será apoiada e fixada a um novo varedo de madeira. O novo revestimento da cobertura poderá ser realizado com chapas de alumínio (através da aplicação do sistema *Roofzip*, por exemplo), naturocimento, de polimetilmetacrilato, vidro resina, cobre, zinco, aço ou telhas, sobre painéis sanduíche de isolamento termoacústico [15].



Figura 4.8 – Reabilitação de coberturas em fibrocimento sem remoção da cobertura existente – naturocimento [8]

4.3.3. REABILITAÇÃO DE COBERTURAS COM O SISTEMA *ROOFZIP*

4.3.3.1. Introdução

O novo conceito de concepção/reabilitação de coberturas, sistema *Roofzip*, pode ser uma boa solução para colmatar algumas das anomalias encontradas na reabilitação de edifícios, tais como deterioração dos telhados em telha ou fibrocimento, insuficiência das caleiras, deficiências de impermeabilização, ausência de rufos nas platibandas e deficiências das ligações nos tubos de queda de águas pluviais.

Este sistema, que torna a reabilitação de coberturas numa tarefa mais simples e eficaz, tem como características:

- Facilidade de transporte do material até ao local de aplicação;
- Versatilidade na sua forma curva e cónica;
- Sem limites em comprimento;
- Rapidez no tempo de montagem, com perfilagem dos materiais em obra;
- A cobertura existente não necessita de ser removida ou reforçada, salvo raras exceções;
- O comportamento térmico e acústico é substancialmente melhorado;
- A aplicação do sistema *Roofzip*, não impede a normal actividade no interior da construção.

Os sistemas do tipo *Roofzip*, são sistemas inovadores de revestimentos metálicos para edifícios, totalmente seguros e impermeáveis, aplicados sem parafusos à vista. São constituídos por chapa metálica perfilada, em grandes elementos, com encaixe e cravação longitudinal do seu rebordo, evitando a utilização tradicional da fixação por parafusos que originam infiltrações de água e corrosão precoce dos materiais. Têm como materiais de revestimento exterior o alumínio, aço, cobre, zinco, aço inox e aluzinc. Contam ainda com uma enorme variedade de cores e excepcional durabilidade.

As principais vantagens deste sistema são apresentadas no quadro 4.1:

Quadro 4.1 – Vantagens/propriedades da reabilitação com o sistema *Roofzip* [21]

Vantagens/Propriedades	
Versatilidade	Flexibilidade na construção de perfis curvos e cónicos capazes de se adequar a qualquer tipo de cobertura.
Simplicidade	Ausência de uniões e sobreposições transversais na sua aplicação.
Dimensão	Não existem limites em comprimento.
Estanquidade	Fixações invisíveis: a chapa exterior nunca é perfurada, evitando a infiltração de humidade ao longo do tempo.
Durabilidade	Sem parafusos expostos ao rigor do clima. Respeita o material e não deixa pontos de corrosão.
Economia	Redução da manutenção da cobertura durante o ciclo de vida útil.
Rapidez	No tempo de montagem, com perfilagem dos materiais em obra.
Reabilitação	Fácil aplicação na reabilitação de coberturas e fachadas.
Resistência	Possibilidade de aplicação de estruturas ou equipamentos de peso ligeiro sobre a cobertura, sem que esta seja danificada.
Segurança	O sistema de fecho permite que os painéis se expandam e contraíam livremente em resposta às variações de temperatura e força do vento.

4.3.3.2. Método construtivo

A essência deste processo construtivo são as peças em inox de ligação entre painéis que faz com que o sistema *Roofzip* se adapte a qualquer cobertura. As correntes construções de edifícios com coberturas em painel, chapa, betão, madeira ou fibrocimento, podem funcionar como suporte da nova solução, onde se coloca o isolamento térmico e fixam as peças em aço inox de ligação entre perfis (figura 4.9 e 4.10) [21].



Figura 4.9 – Aplicação de uma cobertura do sistema *Roofzip* sobre uma cobertura já existente [21]

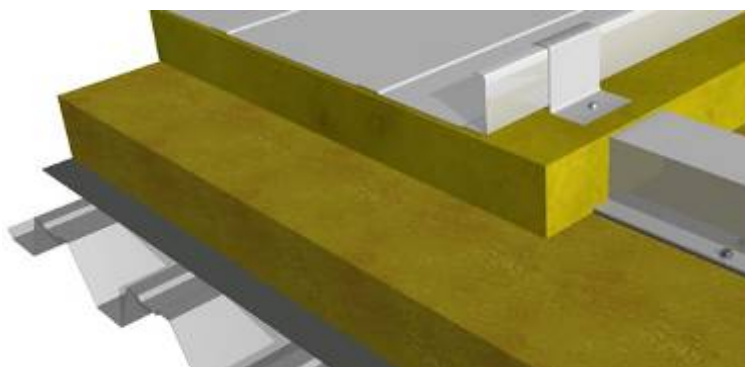


Figura 4.10 – Pormenor do isolamento térmico do sistema *Roofzip* sobre uma cobertura existente [21]

Os encaixes longitudinais, são feitos de forma simples tal como mostra a fig.4.11:

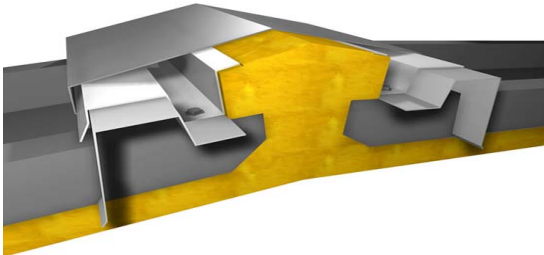
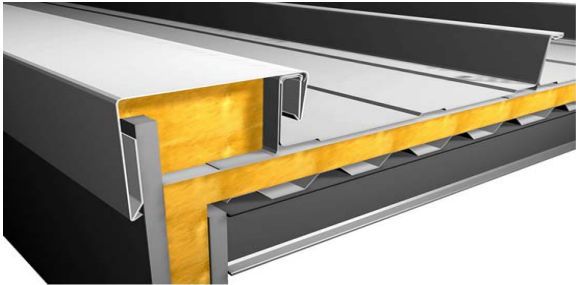
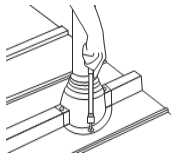


Figura 4.11 – Encaixes longitudinais das coberturas com sistema *Roofzip* [21]

O perfil apresenta uma onda lateral que se sobrepõe à outra do painel adjacente. Entre as ondas laterais, é aplicada na estrutura uma peça em aço inox que vai garantir a fixação do conjunto após “zipagem” das abas. Assim são fixas sem recurso a parafusos permitindo a **dilatação da cobertura**.

O quadro 4.2 mostra-nos alguns acessórios complementares que podem ser utilizados na montagem destas coberturas.

Quadro 4.2 – Acessórios complementares para montagem com o sistema Roofzip [21]

Acessórios complementares		
Cumeeira		
Coroamento/Rufo		
Juntas de vedação	Para a vedação dos orifícios na onda dos painéis da cumeeira é utilizado o "Compriband" em espuma de polietileno.	
Aberturas e clarabóias	Estes acessórios são fixas sobre bases de perfil.	
Furos para tubos redondos	Utilizam-se retentores E.P.D.M.	

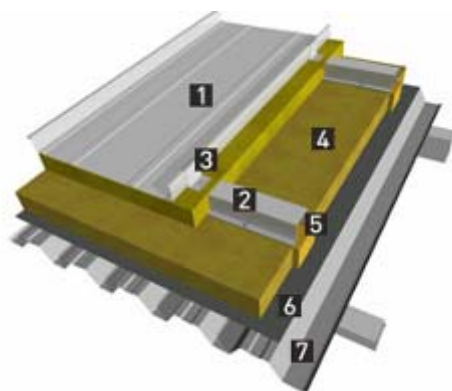
Quanto às propriedades térmicas deste sistema, o *Roofzip* garante:

- Eficácia no isolamento;
- Redução máxima das pontes térmicas (isolamento térmico pelo exterior);
- Economia energética.

O Sistema Roofzip responde às novas directivas europeias, RCCTE, que impõe requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão.

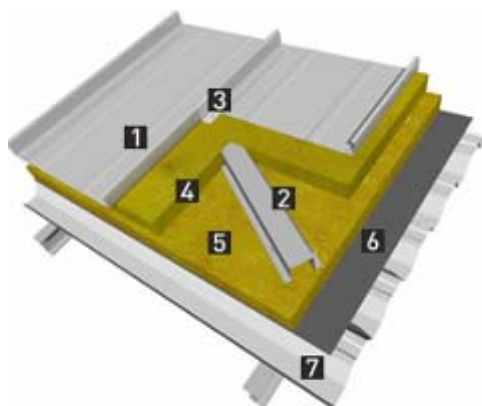
4.3.3.3. Soluções de aplicação do sistema *Roofzip*

As figuras 4.12 e 4.13 exibem duas soluções diferentes do sistema *Roofzip*.



1. Bandeja perfilada
2. Separador metálico
3. Clip de fixação em aço-inox com base de corte térmico
4. Isolamento de lã mineral
5. Tiras de isolamento rígido
6. Barreira pára-vapor
7. Chapa de perfil trapezoidal

Figura 4.12 – Constituição da solução *Roofzip Thermic*[21]



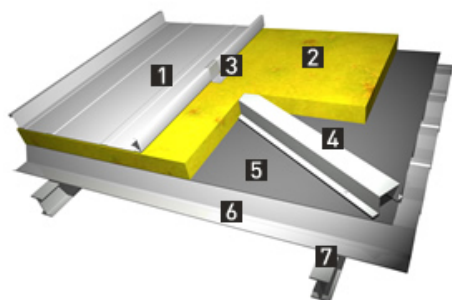
1. Bandeja perfilada
2. Separador metálico
3. Clip de fixação em aço-inox com base de corte térmico
4. Isolamento de lã mineral
5. Isolamento rígido
6. Barreira pára-vapor
7. Chapa de perfil trapezoidal

Figura 4.13 – Constituição da solução *Roofzip Thermic Plus* [21]

4.3.3.4. Exemplos de montagem do sistema *Roofzip*

Segue-se a apresentação dos exemplos de montagem de coberturas com sistema *Roofzip* sobre 4 estruturas de apoio diferentes:

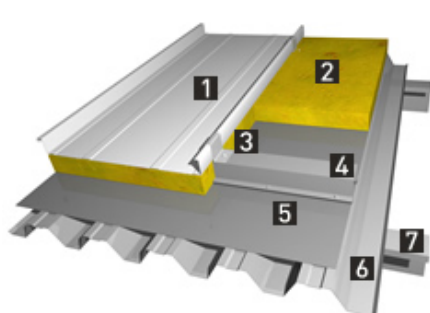
- Montagem do sistema *Roofzip* sobre asnas:



1. Bandeja perfilada *Roofzip*
2. Isolamento térmico (não rígido)
3. Clip de fixação em aço-inox *Roofzip* com base de corte térmico
4. Separador metálico
5. Barreira pára-vapor
6. Chapa de perfil trapezoidal
7. Asna

Figura 4.14 – Montagem do sistema *Roofzip* sobre asnas [21]

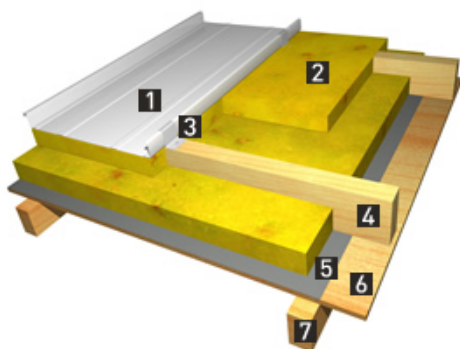
- Montagem do sistema Roofzip sobre madres:



1. Bandeja perfilada
2. Isolamento térmico (não rígido)
3. Clip de fixação em aço-inox *Roofzip* com base de corte térmico
4. Separador metálico
5. Barreira pára-vapor
6. Chapa de perfil trapezoidal
7. Madre

Figura 4.15 – Montagem do sistema *Roofzip* sobre madres [21]

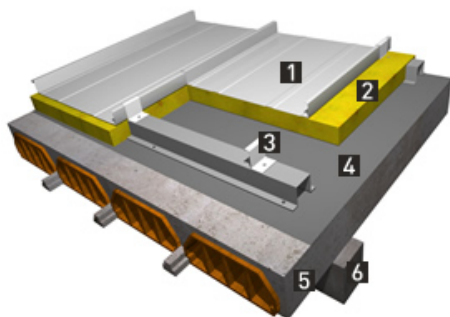
- Montagem do sistema Roofzip sobre uma viga de madeira:



1. Bandeja perfilada
2. Isolamento térmico (não rígido)
3. Clip de fixação em aço-inox *Roofzip* com base de corte térmico
4. Apoio de madeira
5. Barreira pára-vapor
6. Base de madeira
7. Viga de madeira

Figura 4.16 – Montagem do sistema *Roofzip* sobre viga de madeira [21]

- Montagem do sistema Roofzip sobre base de betão:



1. Bandeja perfilada
2. Isolamento térmico (não rígido)
3. Clip de fixação em aço inox *Roofzip* com base de corte térmico
4. Barreira pára-vapor
5. Laje aligeirada
6. Viga de betão

Figura 4.17 – Montagem do sistema *Roofzip* sobre base de betão [21]

4.4. AVALIAÇÃO GERAL DAS DIFERENTES SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO

O sistema *Roofzip* é caracterizado por:

- Necessitar de um maior know-how, razão pela qual provavelmente será utilizado menos vezes;
- Ter vantagem em relação à solução de reabilitação com telha, pois tem como o revestimento o zinco, material que tem um longo período de vida, superior ao da telha;
- Não necessitar de manutenção da telha;
- Ter o grande inconveniente de não poder receber telha como acabamento final, o que é bastante condicionante, uma vez que as coberturas do Centro Histórico do Porto são tipicamente em telha. A estética será alterada, o que não é positivo.

Reabilitação dos telhados com subtelha e telha:

- Podem ser isoladas, de preferência, por duas formas já referidas: placas de poliestireno extrudido ou painel sanduíche;
- A solução de painel sanduíche, sob a subtelha, ou telha, caso não haja subtelha, acaba por ser a solução com melhores características térmicas, de fácil aplicação, mais prática, vence grandes vãos, e contempla um grande know-how, permitindo manter o aspecto dos telhados. Perde apenas, para a solução de isolamento com as placas, no custo de instalação;
- Painel sanduíche em relação às placas de poliestireno, apesar de mais caro, tem em maior durabilidade e menor necessidade de manutenção.

4.5. MANUTENÇÃO DE COBERTURAS

Para que os telhados das coberturas, cumpram eficazmente as funções para os quais são utilizados, é importante que seja efectuada uma manutenção regular da cobertura. Esta análise deve abranger uma verificação a todas as peças cerâmicas (para que seja verificada a correcta ventilação, de modo a evitar a humidade, a condensação e a penetração de água), elementos isolantes, canais drenantes, argamassas e estrutura de suporte da cobertura. Sempre que se justifique, deve proceder-se à substituição ou reparação dos elementos danificados. É provável que ao longo do tempo, surjam algumas telhas que desenvolvam fissuras, fendas ou fracturas, por muito boas características mecânicas que apresentem. Tal facto deve-se à necessidade de circular sobre o telhado para se proceder à instalação de equipamentos ou outras reparações, tais como movimentação de cargas, queda de granizo, etc. Além disso, em algumas partes da cobertura, dá-se a acumulação de microorganismos, musgos, plantas e outros detritos, nas telhas e caleiras de escoamento, que podem dificultar a drenagem da água das chuvas e secagem do telhado. Estes problemas são, mais tarde ou mais cedo, fonte de infiltrações. Todas as peças cerâmicas e canais drenantes devem ser limpas de detritos e musgos que se possam acumular, de modo a manterem-se desobstruídos os sistemas de escoamento e secagem das águas [12].

Deve-se ainda tomar algumas considerações para uma mais fácil manutenção:

- É recomendável a impermeabilização das lajes, sob os telhados, uma vez que protegida, essa impermeabilização durará mais tempo e é uma garantia contra vazamentos de caixas de água, transbordo de calhas e eventuais tempestades que desloquem as telhas;
- Deve verificar-se sempre a qualidade da madeira (figura 4.18), para que esta possa resistir à acção do peso das telhas;
- Nos trabalhos de manutenção, nunca se deve andar sobre o telhado, devido à fraca resistência das telhas, e principalmente porque com o tempo podem ficar quebradiças.



Figura 4.18 – Estrutura de uma cobertura inclinada com madeira de boa qualidade

5

ESTUDO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICO DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS

5.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo contém informação relativa à reabilitação das coberturas, tendo como objectivo uma optimização térmica e a análise técnico económica das soluções propostas. São feitas algumas alusões ao RCCTE, para escolha dos níveis de qualidade. Apresenta-se a lista e as características dos isolantes térmicos mais familiares neste tipo de elemento construtivo. É feita a caracterização do ponto de vista térmico das soluções de reabilitação de coberturas propostas anteriormente, bem como um estudo técnico-económico, para justificar a necessidade e o interesse da reabilitação do ponto de vista térmico, por parte de todos os intervenientes.

Por fim, faz-se uma avaliação geral das soluções de reabilitação apresentadas, para que seja possível estimar, não só qual a melhor solução termicamente, mas também, quais as soluções mais económicas e duráveis.

5.2. NÍVEIS DE QUALIDADE

As coberturas, fazendo parte dos elementos exteriores em zona corrente (zonas opacas), têm definidas no RCCTE, os coeficientes térmicos de referência.

A zona dos edifícios em estudo, o Porto, pertence à zona climática de Inverno I2. O valor de referência para o coeficiente de transmissão térmica (U) para coberturas é, segundo o novo RCCTE, $U=0,45 \text{ W/m}^2\text{°C}$ [22].

Tomando este valor como referência, podemos definir níveis de qualidade, por exemplo:

Quadro 5.1 – Níveis de qualidade mediante o valor de U obtido para o elemento cobertura

Nível de Qualidade	U (W/m ² °C)	Critério
A	< 0,36	< 80% do valor de referência
B	0,36	80 % do valor de referência
C	0,41	90% do valor de referência
D	0,45	Valor de referência
E	1,00	Valor máximo regulamentar

Em que A diz respeito a um nível de qualidade óptimo, e E é o nível mínimo aceite pelo RCCTE.

Para o tipo de cobertura em análise, é aceitável um coeficiente de transmissão térmica na ordem do valor de referência do mesmo. Este valor será um compromisso entre os custos de recuperação e o retorno do investimento.

Um isolamento com maiores espessuras, acarreta um maior custo na intervenção, mas pode compensar ao longo da vida do edifício, tal como provará o estudo técnico-económico, desenvolvido no presente capítulo.

5.3. ESTUDOS DE PROJECTOS DE COBERTURAS DE EDIFÍCIOS TÍPICOS DO CENTRO HISTÓRICO DO PORTO

Podemos começar por referir novamente que, do ponto de vista térmico, há toda a vantagem em se colocar o isolamento nas coberturas. Esta parte da envolvente do edifício é das mais interessantes e das mais relevantes em termos de reabilitação, em contrapartida com as fachadas que não têm tanto interesse, em termos de reabilitação térmica, uma vez que no Inverno será benéfica a reabilitação mas no Verão tornar-se-ia insuportável, uma vez que as grossas paredes existentes na maioria das casas do Centro Histórico do Porto, têm um efeito de inércia térmica, que se perderia ao colocar o isolamento térmico, que teria de ser obrigatoriamente pelo o interior.

Além disso, no caso das paredes existem mais elementos a ter em consideração na reabilitação, tais como a orientação dos envidraçados etc. Nas coberturas temos sempre vantagem em reabilitar termicamente, com a colocação de isolamento, uma vez que o tipo de casas em estudo não possuem qualquer tipo de barreira térmica eficiente na cobertura, funcionando como autênticos “ventiladores”.

Existem 4 tipos de coberturas que nos interessam analisar: desvão útil com isolamento sobre ou sob a laje, e desvão não útil com o isolamento sobre, no meio, ou sob a laje.

Pode levantar-se agora a questão quanto à posição e materiais de isolamento:

- No caso do desvão não útil, convém que o isolamento esteja sobre a laje de tecto, para que não se perca pé direito, e principalmente, para aproveitar a inércia térmica dos elementos sob o isolamento. Este tipo de solução é mais económico, quando comparado com o isolamento das vertentes, pois a quantidade de isolante utilizada é menor e a sua aplicação é em geral mais fácil, e por outro lado, haverá um menor consumo de energia para aquecimento durante a estação fria, pois o desvão não necessita ser aquecido. Na estação quente também haverá um melhor desempenho térmico devido à dissipação do calor, pela forte ventilação do desvão;
- No Caso de desvão útil, haverá vantagens em colocar o isolamento sobre a laje de vertente, não por questões de aproveitamento de um maior pé direito, mas sim pelo facto de:
 - Aumentar a inércia térmica, uma vez que é aproveitada ao máximo a capacidade calorífica dos materiais do suporte que, assim, contribuem com toda a eficácia possível para a inércia térmica do edifício. Consequentemente, melhora-se a estabilidade da temperatura interior face às alterações da temperatura exterior, evitando o risco de condensação inerente a eventuais descontinuidades no isolamento térmico da cobertura (pontes térmicas). Estas descontinuidades devem, no entanto, ser evitadas;
 - Proteger a estrutura das variações de temperatura.

Convém referir que o sistema Roofzip, como solução de reabilitação de coberturas, está mais apto para concepcionar coberturas com desvão útil, em que o isolamento é colocado nas vertentes, uma vez que este sistema, no caso de coberturas inclinadas com desvão não útil, seria um desperdício, dado que é monetariamente dispendioso, e neste tipo de coberturas inclinadas (com desvão não útil), a melhor solução é colocar o isolamento térmico sobre a laje, não sendo preocupante o aspecto final do revestimento, uma vez que não se vê.

5.4. ISOLAMENTOS TÉRMICOS, SUAS CARACTERÍSTICAS E CLASSIFICAÇÃO ACERMI

5.4.1. PRINCIPAIS ISOLANTES TÉRMICOS UTILIZADOS EM COBERTURAS INCLINADAS

Os isolantes térmicos correntemente utilizados nas coberturas inclinadas, tanto no caso de isolante na esteira horizontal, como nas vertentes, são os seguintes:

- Mantas ou placas de lã mineral (MW)
- Espuma rígida de poliuretano (PUR)
- Placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB)
- Placas de Poliestireno expandido (EPS)
- Placas de Poliestireno extrudido (XPS)

5.4.2. REQUISITOS DE UM ISOLAMENTO TÉRMICO PARA COBERTURAS INCLINADAS

Como requisitos gerais, e tendo em conta que o principal requisito que um isolamento térmico deve ter é a sua capacidade de isolar, refere-se a resistência mecânica, a insensibilidade à humidade, a capacidade de aderência, e a estabilidade ao vento.

A resistência mecânica a longo prazo, com suficiente margem de segurança, face às cargas de diversas naturezas a que estará submetido o isolamento (incluindo o manuseamento em obra), para que as placas mantenham as suas propriedades inalteradas, como a sua espessura. Exemplos de cargas e esforços mecânicos numa cobertura inclinada são: as cargas gravitacionais do próprio telhado (telhas e argamassas de aderência ou apoio) e de utilização; o vento, que origina cargas à compressão, mas também efeitos de sucção.

A insensibilidade à humidade, para que não se alterem as propriedades de isolamento térmico originais das placas. De facto, as placas de isolamento térmico aplicadas sobre a estrutura estarão sujeitas à acção da humidade proveniente de pequenas infiltrações que ocorram por capilaridade das telhas, ou por uma indesejável (mas possível) entrada de água, originada por uma telha partida, etc.

Nas coberturas inclinadas com suporte contínuo (laje maciça ou aligeirada), as telhas são apoiadas em ripados ou cordões de argamassa que se executam sobre as placas de isolamento térmico. Neste caso, as placas de isolamento devem:

- Garantir uma boa aderência dos ripados ou cordões de argamassa;
- Permitir uma adequada estabilidade do sistema face às acções do vento.

Nas coberturas inclinadas com suporte descontínuo (estrutura em vigas ou barrotes de madeira, em vigotas de betão pré-esforçado ou em vigas metálicas), as telhas são apoiadas num sistema de contra-ripado e ripado que é fixo à estrutura através das placas de isolamento térmico. Neste caso, as placas de isolamento devem:

- Resistir à fixação do sistema de contra-ripado e ripado;
- Resistir à acção de flexão existente dado que as placas, não dispondo de um suporte contínuo apenas possuem dois apoios (como mínimo). [10]

5.4.3. SELECÇÃO EXIGÊNCIAL DOS ISOLANTES – CLASSIFICAÇÃO ACERMI

Os produtos de isolamento térmico comercializados em território nacional, tem uma certificação semelhante à ACERMI (Association pour la Certification des Matériaux Isolants). Uma vez que não há ainda a nível europeu uma classificação única, esta continua a ser a classificação utilizada.

As exigências constantes da certificação preconizada são as seguintes:

- Resistência térmica – R
- Compressibilidade – I
- Estabilidade dimensional – S
- Comportamento à água – O
- Comportamento mecânico – L
- Permeabilidade ao vapor de água - E

Cada exigência é traduzida por vários níveis de aptidão de utilização, como se especifica a seguir. Refira-se que o material só pertence a determinado nível, se satisfizer todas as exigências dos níveis inferiores.

Quadro 5.2 – Níveis mínimos de aptidão de utilização de isolantes térmicos em coberturas [23]

Solução	I	S	O	L	E
Coberturas inclinadas - desvão não acessível, ventilado e com isolante sobre laje horizontal					
Isolante sobre laje horizontal	1	1	1	1	1
Coberturas inclinadas - isolante nas vertentes					
Isolante interior contínuo associado à estrutura descontínua	1	1	1	1	1
Isolante exterior sobre laje inclinada (obrigatória ventilação do espaço de ar)	3	1	2	2	1

Repare-se que nos dois primeiros tipos de coberturas inclinadas, os isolamentos térmicos, requerem apenas os níveis básicos desta classificação, o que é perfeitamente compreensível, uma vez que em ambos os casos, o isolamento fica pelo interior, isto é, está protegido fisicamente pelo edifício. O 3º caso, já é mais exigente à luz da classificação ACERMI. Neste, o isolamento é colocado pelo exterior,

ficando mais sujeito à sua degradação durante a montagem, ou à infiltração das águas nos telhados, tendo por isso necessidade de ser mais incompressível e ter melhor comportamento à água, por exemplo. Note-se que, por exemplo, no caso do isolante exterior sobre laje inclinada, não é possível utilizar um isolamento térmico que tenha, segundo a classificação ACERMI, um nível inferior a $I_3S_1O_2L_2E_1$.

5.5. CARACTERIZAÇÃO DO PONTO DE VISTA TÉRMICO DE CADA UMA DAS SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO DE COBERTURAS INCLINADAS

Tal como já foi referido no capítulo 4º, temos várias formas de reabilitar coberturas. Vamos agora estudar cada uma dessas soluções propostas (reabilitação de coberturas com subtelha, reabilitação de coberturas de fibrocimento, e reabilitação de coberturas inclinadas utilizando o sistema *Roofzip*), do ponto de vista térmico, para que possamos, posteriormente, obter algumas conclusões. Note-se que todas as soluções devem ser capazes de obter valores de coeficientes de transmissão térmica na ordem do valor de referência, para que haja um mínimo de qualidade. Os valores de referência, consoante a zona climática onde o estudo é feito estão apresentados no quadro seguinte:

Quadro 5.3 – Coeficientes de transmissão térmica de referência e máximo segundo o RCCTE para coberturas [22]

U por Zona Climática ($W/m^2\text{°C}$)					
I1		I2		I3	
Uref.	Umáx	Uref.	Umáx	Uref.	Umáx
0,50	1,25	0,45	1,0	0,4	0,9

A zona em estudo diz respeito à zona climática I2, logo temos como Uref $0,45 W/m^2\text{°C}$, o que significa que as soluções de cobertura não devem ter valores de coeficiente de transmissão térmica muito superiores a $0,45$.

5.5.1. CARACTERIZAÇÃO DO PONTO DE VISTA TÉRMICO DA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO COM SUBTELHA

5.5.1.1. Avaliação genérica dos valores do coeficiente de transmissão térmica na reabilitação com subtelha

Sendo este, provavelmente, o caso mais usado e mais típico na reabilitação de coberturas inclinadas, é de elevada importância a análise dos valores aproximados dos coeficientes de transmissão térmica esperados, conforme se varia os constituintes do elemento cobertura.

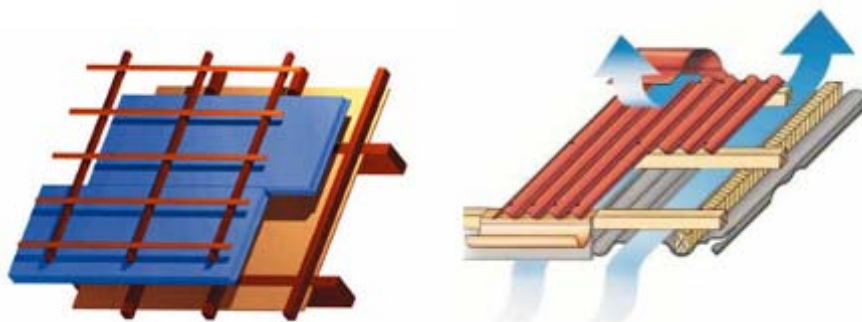


Figura 5.1 – Isolamento térmico em reabilitação de coberturas inclinadas [19]

Para obter os valores dos coeficientes de transmissão térmica para os diferentes tipos de cobertura inclinada, variando a posição do isolamento, a espessura do isolamento térmico e o tipo de laje, consulta-se o ITE 50, que contempla uma ampla gama de valores de coeficientes de transmissão térmica (U).

No entanto, o gráfico da figura seguinte (figura 5.2), transmite um resumo bastante razoável, aquando da utilização dos dois tipos de isolamento mais comuns em reabilitação/concepção de coberturas inclinadas (XPS e EPS), para as várias soluções de coberturas inclinadas:

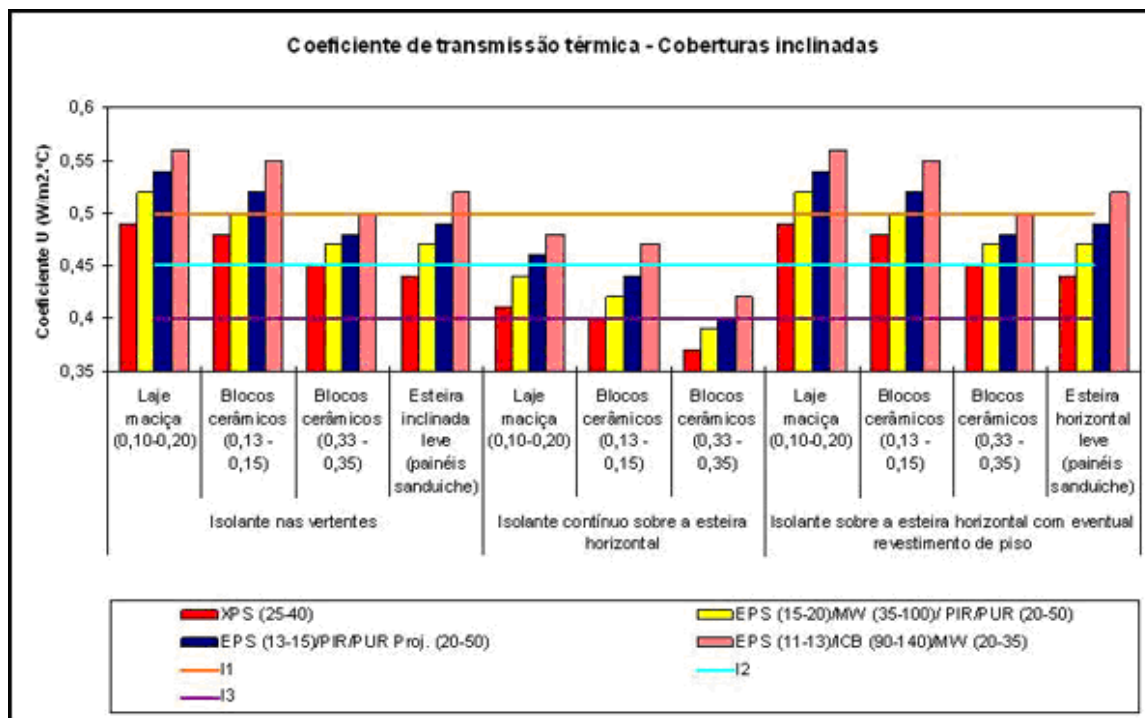


Figura 5.2 – Análise dos vários coeficientes de transmissão térmica consoante o tipo de cobertura e isolante aplicado [24]

Os valores apresentados no gráfico, para os coeficientes de transmissão térmica, equivalem a um isolamento com 8 cm de espessura para todas as soluções, e foram retirados de tabelas do LNEC (ITE 50). As linhas horizontais representam os coeficientes de referência do RCCTE para as diferentes zonas climáticas. Convém referir que se a espessura de isolamento térmico for inferior a 8 cm, os coeficientes de transmissão térmica aumentarão, proporcionalmente aos valores obtidos no gráfico da fig. 5.2. Logo, as melhores soluções, mesmo que se varie a espessura do isolamento, continuam a ser as mesmas.

Da análise do gráfico da figura 5.2, podemos concluir:

- Em todas as soluções (isolante na vertente ou na esteira horizontal), há hipótese de ser respeitado o coeficiente de transmissão térmica (U) de referência para as coberturas na zona em análise (I2). Este facto deve-se também à elevada espessura de isolamento considerada nas coberturas desta análise;
- As soluções de isolamento contínuo sobre a esteira horizontal têm um melhor desempenho que as outras soluções, principalmente a solução com blocos cerâmicos entre 33 a 35 cm (abobadilhas cerâmicas com vigotas de betão armado);

- No isolamento das vertentes a aplicação de XPS (Poliestireno Extrudido) como uma solução de cobertura invertida, em que o isolamento protege a impermeabilização e pode servir também de suporte ao revestimento da cobertura, é a solução com o melhor desempenho;
- A solução de isolante sobre a esteira horizontal com a eventual aplicação de revestimento de piso é uma solução com um desempenho semelhante ao do isolamento das vertentes;
- É importante referir que o isolamento térmico só é completamente eficiente se cobrir totalmente a superfície a ser isolada. As descontinuidades do isolamento devem ser evitadas, pois são pontos preferenciais de transferência de calor entre o ambiente interior e o exterior. A forma mais eficiente de garantir a continuidade do isolamento térmico e de evitar as pontes térmicas é, através de soluções em que o isolamento térmico é aplicado pelo exterior, utilizando, por exemplo, os painéis sanduíche. Em 5.5.1.2 é feita uma breve referência a este tipo de isolamento térmico;

Enuncia-se em 5.5.1.3, um exemplo, mais detalhado, com um tipo de quadros semelhante aos do ITE 50, de todas as hipóteses de posição do isolamento nos vários tipos de coberturas inclinadas, para obter os valores do coeficiente de transmissão térmica (U), apenas no caso de o isolante ser poliestireno expandido (EPS), uma vez que para colocar todas as tabelas para as diferentes soluções ficaria demasiado maçudo.

Interessa ainda referir, lembrando o que foi abordado no capítulo de reabilitação de telhados em fibrocimento, onde se verificou que todas as soluções de reabilitação (tanto na hipótese em que se mantém a cobertura existente de amianto como no caso em que se remove a mesma), passam por soluções de reabilitação semelhantes às da cobertura em telha (subtelha e *Roofzip*). Ora, admitindo que as estruturas destas coberturas em fibrocimento, são semelhantes às estruturas das coberturas em telha, concluímos que a informação que diz respeito a este capítulo para as coberturas em telha é análoga à informação, em termos de estudo térmico, à informação que se obteria para as coberturas em fibrocimento, uma vez que, quando a cobertura está despida, pode receber qualquer solução de reabilitação. Considerando este facto, não se revela necessário elaborar um capítulo para tratar exclusivamente a caracterização do ponto de vista térmico da solução de reabilitação de coberturas com fibrocimento.

5.5.1.2. Utilização de painéis sanduíche, na reabilitação de coberturas em telha ou fibrocimento

Uma das técnicas actualmente mais utilizadas, com maior “know-how” na reabilitação de telhados, passa pela utilização de subtelha, sob a telha, e colocação de painel sanduíche para aumentar a performance termo-acústica.

Podemos por exemplo referenciar a solução que a empresa Onduline [8] nos propõe para o painel sanduíche (fig.5.3) – Um aglomerado hidrófugo na parte superior, isolamento térmico que pode ser poliestireno extrudido entre 40 a 80 mm no meio, e um acabamento variável como revestimento final. A espessura do painel pode variar entre 6 cm a 12 cm.

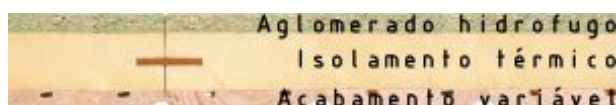


Figura 5.3 – Painel sanduíche da Onduline [8]

O painel sanduíche tem inúmeras vantagens:

- Menor manutenção;
- Maior durabilidade;
- Fácil aplicação: não é necessária mão-de-obra especializada;
- Isolamento contínuo: o que é uma enorme mais valia, na medida em que é mais eficaz termicamente, dado que o isolamento cobre toda a área a isolar, logo, não existem pontes térmicas. Este painel é normalmente caracterizado por conter um núcleo em poliestireno extrudido, podendo a espessura do isolamento e consequentemente do painel, variar conforme as necessidades e zonas climáticas, de forma a respeitar os valores de U (coeficiente de transmissão térmica) indicados para coberturas no novo RCCTE;



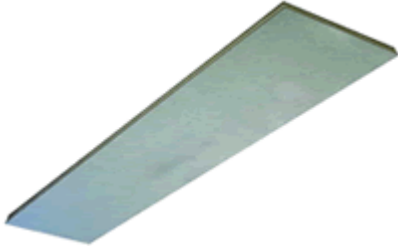
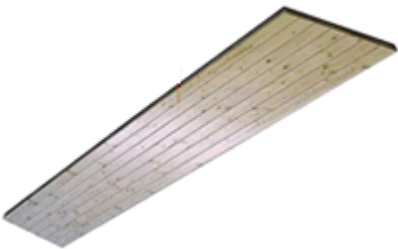
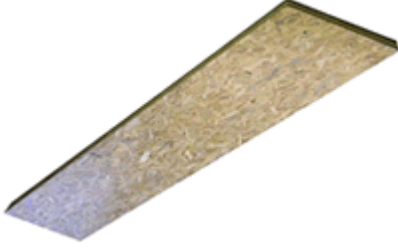
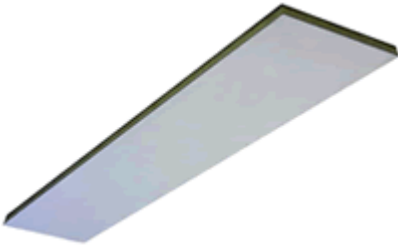
Figura 5.4 – Isolamento contínuo com painel sanduíche [25]

- Pode servir de revestimento interior: um dos grandes benefícios deste painel é a variedade de cores e revestimentos interiores em opção (alguns exemplos estão representados no quadro 5.4), o que revela uma fácil aplicabilidade e menor gasto no acabamento final, uma vez que este está incluído no preço do painel;



Figura 5.5 – Revestimento interior do painel sanduíche [25]

Quadro 5.4 – Aglomerado hidrófugo e revestimentos interiores utilizados no painel sanduíche [8]

	Aglomerado hidrófugo (não é revestimento interior)
	Friso de Abeto – tipo forro “Lambrim”
	Aglomerado de partículas de madeira
	Gesso cartonado tipo Pladur
	Viroc

- Elevada resistência mecânica: elevada capacidade estrutural graças à combinação de elementos de espessuras e densidades diferentes (aglomerado hidrófugo + poliestireno extrudido + forro de madeira - na solução da empresa Onduline, por exemplo);
- Elemento estrutural com estrutura simples e leve (fig.5.6);



Figura 5.6 – Painel sanduíche – estrutura simples e leve [25]

- Obras com menor custo de mão-de-obra: Torna mais fácil a deslocação dos operários em cima da cobertura, permitindo por isso uma maior rapidez na execução da mesma.

As figuras 5.7 e 5.8 mostram-nos mais algumas aplicações do painel sanduíche em estrutura metálica e de madeira, respectivamente.



Figura 5.7 – Aplicação do painel sanduíche em estrutura metálica [25]

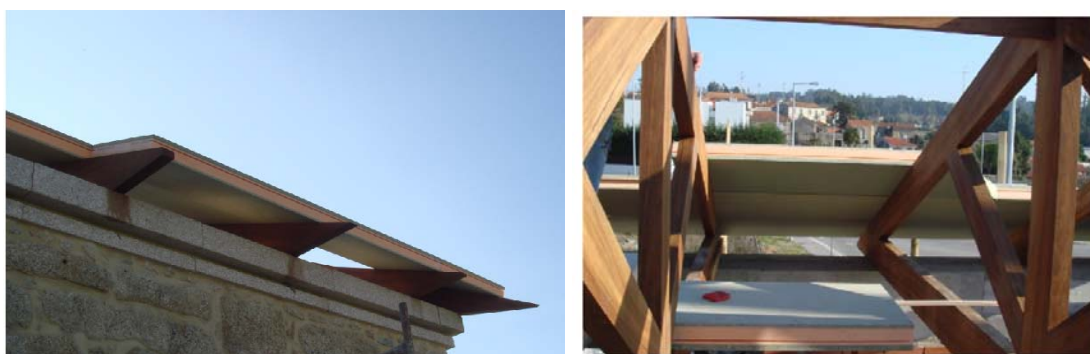


Figura 5.8 – Aplicação do painel sanduíche em estrutura de madeira

5.5.1.3. Exemplo de avaliação dos coeficientes de transmissão térmica (U), em coberturas inclinadas, utilizando como isolante térmico o EPS

Este ponto do capítulo 5, permite apenas apresentar alguns quadros de valores do coeficiente de transmissão térmica em coberturas inclinadas, com o objectivo de mostrar e dar alguma sensibilidade, da forma como este coeficiente de transmissão térmica (U) varia com o tipo de estrutura, a espessura de isolamento (neste caso EPS), e com o sentido do fluxo de calor (ascendente ou descendente).

- Isolamento (EPS) sobre laje da vertente:

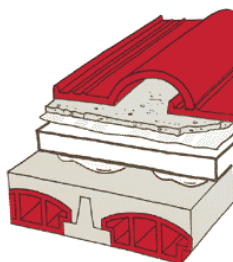


Figura 5.9 – Cobertura inclinada com desvão útil e isolamento sobre laje da vertente [26]

Quadro 5.5 – Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) para uma cobertura inclinada com desvão útil e isolamento sobre laje de esteira [26]

Coberturas inclinadas			
Isolante nas vertentes		U [W/m² °C]	
Inverno		Fluxo Ascendente	
EPS		Estrutura das vertentes	
esp.[mm]	Laje maciça	Laje aligeirada - blocos	
		Cerâmicos	Betão
-	3,5	2,9	2,9
20	1,45	1,35	1,35
40	0,95	0,9	0,9
60	0,7	0,65	0,65
100	0,45	0,45	0,45
Verão		Fluxo Descendente	
-	2,3	2	2
20	1,2	1,15	1,15
40	0,85	0,8	0,8
60	0,65	0,6	0,6
100	0,4	0,4	0,4

- Isolamento (EPS) sobre estrutura do telhado:

Este caso, é provavelmente o que será adoptado com maior frequência na reabilitação de coberturas do Centro Histórico do Porto.



Figura 5.10 – Cobertura inclinada com desvão útil e isolamento sob a telha [26]

Quadro 5.6 – Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) para uma cobertura inclinada com desvão útil e isolamento na vertente, sob a telha [26]

Coberturas inclinadas		
Isolante nas vertentes	U [W/m ² °C]	
Inverno	Fluxo ascendente	
EPS	Estrutura das vertentes descontínua	
esp. [mm]	Isolante	
	Contínuo	Descontínuo
-	3,5	3,5
20	1,35	1,6
40	0,8	1
60	0,6	0,7
100	0,35	0,45
Verão	Fluxo descendente	
20	1,35	1,3
40	0,8	0,85
60	0,6	0,65
100	0,35	0,45

- Isolamento (EPS) sobre esteira horizontal:

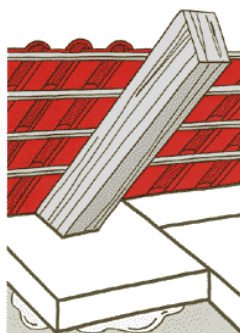


Figura 5.11 – Cobertura inclinada com desvão não útil e isolamento sobre laje de esteira horizontal [26]

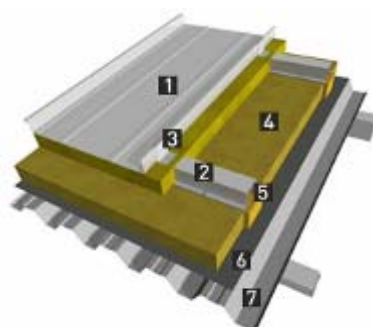
Quadro 5.7 – Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) para uma cobertura inclinada com desvão não útil e isolamento sobre laje de esteira horizontal [26]

Coberturas inclinadas						
Isolante sobre esteira horizontal		U [W/m² °C]				
Inverno		Fluxo ascendente				
EPS esp. [mm]	Ventilação do desvão	Esteira horizontal				
		Laje maciça	Laje aligeirada - blocos		Esteira leve - Isolante	
			Cerâmicos	Betão	Contínuo	Descontínuo
-	Forte	3,5	2,8	2,7	-	-
	Média	3,3	2,7	2,3		
	Fraca	2,7	2,3	2,2		
20	Forte	1,25	1,15	1,15	1,35	1,6
40		0,75	0,75	0,75	0,8	1
60		0,55	0,55	0,55	0,6	0,7
100		0,35	0,35	0,35	0,35	0,45
Verão		Fluxo descendente				
-	Forte	2,3	1,85	1,9	-	-
	Média	2,3	1,95	1,9	-	-
	Fraca	1,95	1,7	1,65		
20	Forte	1,05	1	0,95	1,15	1,3
40		0,7	0,65	0,65	0,75	0,85
60		0,5	0,5	0,5	0,55	0,65
100		0,35	0,35	0,35	0,35	0,45

Através de uma rápida interpretação das tabelas apresentadas, verificamos que, em qualquer dos casos, é possível atingir, os níveis mínimos de qualidade em relação ao conforto térmico, colocando por exemplo um isolamento térmico com condutibilidade $\lambda=0,042$ W/m.°C, com 80 mm de espessura, já se obtêm um nível de qualidade muito próximo do nível de referencia ($U=0,45$), embora o mais corrente será utilizar isolamento de 6 cm de espessura, o que se traduz num nível de qualidade bastante razoável ($U=0,55$ aproximadamente). Se o isolamento térmico fosse poliestireno extrudido ($\lambda=0,037$), as características térmicas seriam ainda melhores.

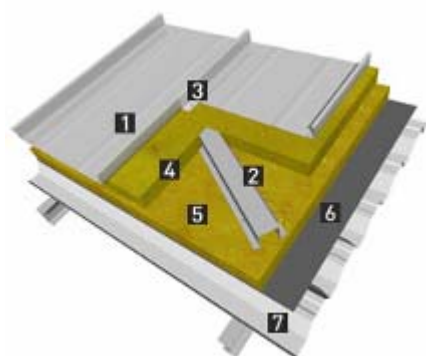
5.5.2. CARACTERIZAÇÃO DO PONTO DE VISTA TÉRMICO DA SOLUÇÃO DE REABILITAÇÃO ATRAVÉS DO SISTEMA ROOFZIP

O sistema Roofzip pode ser aplicado em uma das seguintes soluções, já anteriormente caracterizadas:



1. Bandeja perfilada
2. Separador metálico
3. Clip de fixação em aço-inox com base de corte térmico
4. Isolamento de lã mineral
5. Tiras de isolamento rígido
6. Barreira pára-vapor
7. Chapa de perfil trapezoidal

Figura 5.12 – Constituição da solução *Roofzip Thermic* [21]



1. Bandeja perfilada
2. Separador metálico
3. Clip de fixação em aço-inox com base de corte térmico
4. Isolamento de lã mineral
5. Isolamento rígido
6. Barreira pára-vapor
7. Chapa de perfil trapezoidal

Figura 5.13 – Constituição da solução *Roofzip Thermic Plus* [21]

As especificações do ponto de vista térmico de cada uma das soluções encontram-se nos quadros seguintes:

Quadro 5.8 – Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) para as várias hipóteses de aplicação do sistema *Roofzip Thermic* [21]

Espessura Isolamento (mm)		50	120
Lã mineral de baixa densidade U (W/m ² °C)	Ascend.(Inv)	0,71	Ascend.(Inv) 0,34
	Descend.(Ver.)	0,65	Descend.(Ver.) 0,32
Lã mineral de alta densidade U (W/m ² °C)	Ascend.(Inv)	0,65	Ascend.(Inv) 0,3
	Descend.(Ver.)	0,6	Descend.(Ver.) 0,29
Isolamento rígido U (W/m ² °C)	Ascend.(Inv)	0,51	Ascend.(Inv) 0,23
	Descend.(Ver.)	0,48	Descend.(Ver.) 0,23

Quadro 5.9 – Valores do coeficiente de transmissão térmica (U) para as varias hipóteses de aplicação do sistema *Roofzip Thermic Plus* [21]

Espessura Isolamento (mm)	Fluxo de calor	U (W/m ² °C)
Lã de rocha (30)	Ascendente (Inverno)	0,51
Isolamento rígido (30)	Descendente (Verão)	0,48
Lã de rocha (100)	Ascendente (Inverno)	0,15
Isolamento rígido (120)	Descendente (Verão)	0,15

Pode-se ainda, perante a aplicação desta solução, escolher vários tipos de materiais de revestimento superficiais (quadro 5.10), contudo, estes não são afectados de forma significativa o coeficiente de transmissão térmica do elemento cobertura. Convém referir que o revestimento superficial mais utilizado na aplicação do sistema do tipo *Roofzip*, é o alumínio.

Quadro 5.10 – Especificações dos materiais de revestimento superficial possíveis de ser utilizados neste sistema [21]

Características	Alumínio	Cobre	Aço	Zinco	Aço Inox	Aluzinc
Espessura (mm)	até 0.8	até 0.8	até 0.7	até 0.8	até 0.5	até 0.7
Condutividade Térmica (Wm-1.k-1)	235	400	55	120	57	55

5.6. AVALIAÇÃO TÉCNICO ECONÓMICA DAS COBERTURAS INCLINADAS – COLOCAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO NAS VERTENTES

5.6.1. CASO EM QUE A REABILITAÇÃO DO TELhado É INEVITÁVEL

Será um erro se na próxima década não encararmos a reabilitação de todo o património. Lógico será dizer que existirão diferentes graus de intervenção, mas não podemos esconder aos proprietários, a necessidade e as vantagens de isolarem as suas habitações. Vantagens como o aumento da durabilidade das construções, a rápida amortização do capital investido e a diminuição dos gastos em anomalias posteriores.

Note-se que os custos de exploração de um edifício são significativos, logo, compensa fazer um estudo para que realmente os proprietários fiquem convencidos que vale a pena o gasto inicial extra, para colocação do isolamento. Ora isto, passa-se nos casos em que a estrutura ou o próprio telhado está degradado e a necessitar reabilitação. Nestes casos, uma vez que a reabilitação do telhado é obrigatória, o único gasto extra, para que este seja reabilitado do ponto de vista térmico, é praticamente, o custo do isolamento térmico a aplicar. Deste modo, é lógico que iremos obter um período de retorno curtíssimo, uma vez que o esforço económico para colocar o isolamento térmico, em relação ao que se poupa em energia ao longo dos anos, numa intervenção que teria de ser obrigatória ao telhado, é mínimo. Note-se que, em 5.6.1, vamos avaliar apenas, a solução de isolante térmico de placas de poliestireno extrudido, pois este é o isolante mais barato, quando comparado com um painel sanduíche e com um sistema *Roofzip*, e possuem igualmente, boas características térmicas.

Para efectuarmos este estudo, vamos apenas mostrar para um caso de coberturas inclinadas, que representa uma solução típica das coberturas do Centro Histórico do Porto, para que se possa verificar ao fim de quantos anos se obtém retorno do investimento, comparando uma cobertura sem isolamento (fig.5.14) e a mesma cobertura com isolamento, de variadas espessuras (fig.5.15).

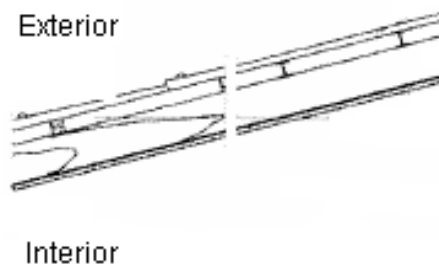


Figura 5.14 – Cobertura inclinada com desvão habitável, sem isolamento térmico [27]

Para uma cobertura inclinada sem isolamento, o ITE 50 apresenta os valores do quadro 5.11, para o coeficiente de transmissão térmica (U).

Quadro 5.11 – Valores do coeficiente de transmissão térmica para uma cobertura inclinada de desvão útil, sem isolamento térmico e fluxo ascendente (Inverno) [27]

Esteira inclinada – valores de U [w/m2°C]							
Laje maciça	Laje aligeirada						Leve
	Blocos cerâmicos		Blocos de betão normal		Blocos de betão leve		
	Espessura da Laje (m)						
	0,1	0,13	0,33	0,13	0,33	0,13	
0,2	0,15	0,35	0,15	0,35	0,15	0,35	
3,4	2,8	1,7	3	2,1	2,7	1,9	3,8

Se colocar-mos um isolante térmico, neste caso o Poliestireno Extrudido, na mesma cobertura, os valores do ITE 50 para o coeficiente de transmissão térmica U são os apresentados no quadro 5.12.

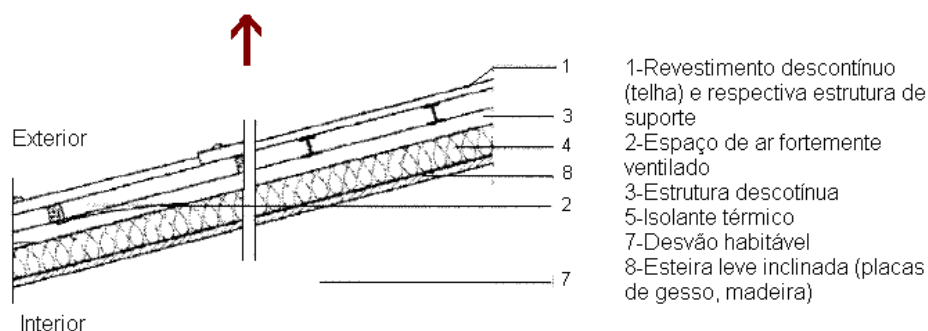


Figura 5.15 – Cobertura inclinada com desvão útil e isolamento na vertente inclinada [27]

Quadro 5.12 – Valores do coeficiente de transmissão térmica para uma cobertura inclinada de desvão útil, com isolamento térmico e fluxo ascendente (Inverno) [27]

Isolante térmico			Esteira inclinada - valores de U [w/m²°C]							
Produto	λ	esp. (mm)	Laje maciça	Laje aligeirada						Leve
				Blocos cerâmicos		Blocos de betão normal		Blocos de betão leve		
			Espessura da Laje (m)							
			0,1	0,13	0,33	0,13	0,33	0,13	0,33	
			0,2	0,15	0,35	0,15	0,35	0,15	0,35	
XPS	0,037	30	0,99	0,94	0,8	0,95	0,86	0,93	0,82	1
		40	0,81	0,78	0,68	0,78	0,72	0,77	0,7	0,84
		60	0,6	0,59	0,53	0,59	0,56	0,58	0,54	0,63
		80	0,49	0,48	0,45	0,48	0,46	0,48	0,45	0,51
		100	0,41	0,41	0,38	0,41	0,39	0,41	0,39	0,44

Este quadro mostra-nos a variação do valor do coeficiente de transmissão térmica (U) à medida que se varia a espessura de isolamento térmico. Vamos fazer o estudo para a época de Inverno, num edifício

com solução de esteira inclinada em material leve (compreende-se que não se pode fazer para todos os casos, pois seria necessário um trabalho exclusivo para uma avaliação técnico económica completa).

As tabelas seguintes, revelam-nos os dados necessários para resolução do problema.

Os níveis de qualidade já referidos em capítulo anterior do presente trabalho, são os indicados no quadro 5.1 do parágrafo 5.2.

Tal como já foi dito, o isolamento utilizado neste exemplo de avaliação técnico-económica é o Poliestireno Extrudido (XPS). O preço por m² deste material rondará valores aproximados aos apresentados no quadro seguinte (quadro 5.13), e os valores do coeficiente de transmissão térmica (U) são os retirados dos quadros 5.11 e 5.12. É necessário conhecer o número de graus dia de aquecimento (GD) para a zona onde se inserem os edifícios em estudo (Porto – I2), valor esse que é retirado directamente do RCCTE.

Quadro 5.13 – Algumas características de uma solução de isolamento com XPS, com várias espessuras

Solução de isolamento com Poliestireno expandido (EPS)				
Espessura do isolamento	Preço/m ²	U	Nível de qualidade	GD
-	-	3,8	E	1670
30	3	1	E	
40	4	0,84	D	
60	5,5	0,63	D	
100	7,5	0,44	C	

Para que possamos calcular o valor gasto em aquecimento por metro quadrado, ao longo da vida da habitação (estimada em 50 anos), necessitamos saber a evolução do custo da energia. O gráfico da figura 5.16 traduz precisamente esta ideia, para dois cenários possíveis, embora o usado para este estudo, seja o de uma evolução optimista de 2,5 % ao ano.

Sabe-se que a electricidade pode não ser a energia mais barata, mas realizou-se o estudo com esta energia, uma vez que é a energia mais usada para aquecimento das habitações do Concelho do Porto, tal como foi revelado no capítulo 2.

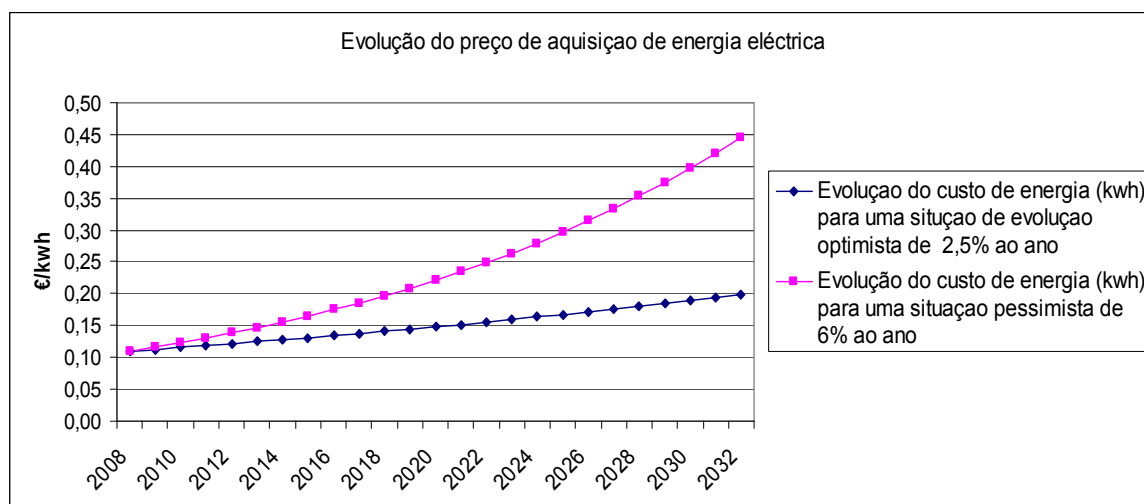


Figura 5.16 – Evolução do preço de aquisição de energia eléctrica

Com a evolução do preço da aquisição da energia eléctrica e tendo em conta a fórmula seguinte, para o cálculo do custo de aquecimento por m² de zona útil de habitação, podemos obter o gráfico da fig.5.17.

$$\text{€ de aquecimento/m}^2 = 0,024 * GD * U * \text{Custo de energia actualizada em cada ano (€)} * \text{Custo actualizado do isolamento térmico (€)} \quad (1)$$

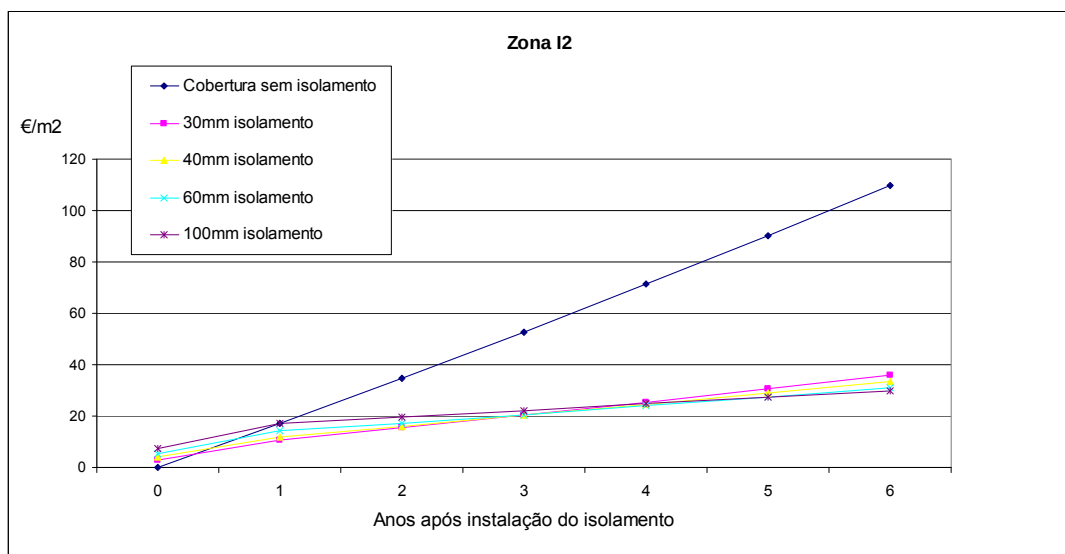


Figura 5.17 – Evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável com ou sem isolamento

Analisando o gráfico da figura 5.17, rapidamente concluímos que a linha azul (que diz respeito a solução sem isolamento, rapidamente é cruzada pelas das outras cores (diferentes níveis de isolamento), que inicialmente são mais elevadas, pois correspondem ao custo de aquisição do isolamento térmico (investimento inicial, que tal como se pode constatar através do gráfico, é muito reduzido). Este facto leva-nos a concluir de imediato que compensa largamente isolar esta cobertura, e que o período de retorno é curtíssimo. Este facto é devido ao elevadíssimo coeficiente de transmissão térmica (U) que este tipo de cobertura tem quando a mesma não é isolada, o que faz com que o valor gasto em energia para aquecimento seja astronómico.

Para que não restem dúvidas, através de extensas tabelas realizadas em Excel, de forma a se poder avaliar a poupança (€/m²), 25 anos depois da instalação (período de vida aproximado dos materiais), obteve-se o quadro 5.14, onde podemos avaliar o período de retorno conforme se varia o nível de espessura de isolamento térmico, bem como a poupança relativamente à solução sem isolamento. O gráfico de evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável com ou sem isolamento, para um período de 25 anos pode ser consultado em anexo.

Quadro 5.14 – Período de retorno para as várias espessuras de isolamento em relação à solução sem isolamento

Local	Espessura de isolamento	Ano do período de retorno relativo à solução sem isolamento	Poupança relativamente à solução sem isolamento			
			10 Anos €/m ²	15 Anos €/m ²	20 Anos €/m ²	25 Anos €/m ²
Porto (I2)	30 mm isolamento	1º	150,1	236,2	333,4	443,2
	40 mm isolamento	1º	156,5	247,2	349,5	465,1
	60 mm isolamento	1º	164,4	261,0	370,1	493,1
	100 mm isolamento	2º	169,9	271,6	386,4	515,7

A poupança obtida é incrivelmente grande, e esperamos que este estudo tenha servido para sensibilizar os proprietários que ainda têm dúvidas que vale realmente a pena isolar, nos casos em que a reabilitação das coberturas é inevitável, uma vez que o custo extra a despende é mínimo comparativamente à poupança, e ao valor a gastar nas obras necessárias.

Uma vez que foi realizado apenas o estudo para esta solução de coberturas inclinadas (desvão útil), importa referir que para as restantes soluções os valores iriam revelar as mesmas conclusões tiradas para este caso.

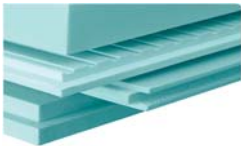
5.6.2. CASO EM QUE SE REABILITA APENAS PARA COLOCAÇÃO DO ISOLAMENTO

Este segundo estudo, tem como objectivo provar que, mesmo que não haja necessidade de reabilitação dos telhados, vale sempre a pena em termos de poupança energética e conforto térmico, proceder aos trabalhos conducentes ao isolamento das coberturas das habitações.

Neste caso, o estudo já não é tão simples, uma vez que agora não basta entrar com o custo extra da colocação do isolamento térmico. Dado que a cobertura não necessitava de reabilitação, para que seja colocado o isolamento térmico, é necessário entrar com o custo da mão de obra de remoção das telhas existentes, colocação do isolamento térmico, subtelha, colocação das telhas etc. Posto isto, é lógico que o tempo de retorno não será tão curto como o de colocar isolamento aquando da reabilitação obrigatória de telhados, mas vamos verificar que este é bastante inferior à vida útil de uma habitação/edifício, o que nos mostra que esta solução de levantar o telhado existente, apenas com o propósito da reabilitação térmica, compensa.

Foram analisadas 3 soluções de reabilitação térmica, utilizando 3 formas diferentes de isolar, e portanto 3 soluções construtivas diferentes (quadro 5.15) e os 3 respectivos orçamentos (quadros 5.16, 5.17, 5.18), para a referida reabilitação.

Quadro 5.15 – Resumo das 3 soluções para isolar termicamente as coberturas inclinadas

Resumo das soluções			
Tipo de isolamento utilizado na reabilitação térmica	Espessura do isolamento (cm)	Custo final por m ² de cobertura (€)	U [W/m ² °C]
Placa de XPS 	3	62,4 + Custo da placa de XPS	1
	4		0,84
	6 (mais corrente)		0,63
	10		0,44
Painel Sanduíche 	6 (mais corrente)	105,9	0,41
Sistema Roozip Thermic (5 cm isolamento) 	5 (mais corrente)	86,4	0,51

Os orçamentos apresentados nos quadros seguintes, foram obtidos através de contactos com alguns empreiteiros, e revelam-nos os custos das diferentes soluções, e auxiliam na informação sobre os trabalhos a realizar em cada uma das soluções, uma vez que contêm a listagem dos trabalhos a executar.

Nesta primeira solução (quadro 5.16), além do desmonte do telhado existente e da colocação de placas de XPS deve-se colocar um revestimento interior leve, para as placas de poliestireno extrudido não fiquem à vista.

Quadro 5.16 – Orçamento para reabilitação de telhado com solução placas de poliestireno extrudido (XPS)

Orçamento para reabilitação térmica de telhado com solução placas de poliestireno extrudido (XPS)		
Designação dos trabalhos	Unidade	Preço unitário €
Levantamento da telha ou fibrocimento existente	m ²	7,0
Execução de desmonte da cobertura em telha com aproveitamento dos elementos a indicar pelo dono ou fiscalização, incluído transporte e vazadouro dos produtos sobranes	m ²	3,9
Execução do desmonte de tectos interiores com aproveitamento dos elementos a indicar pelo dono ou fiscalização, incluído transporte e vazadouro dos produtos sobranes	m ²	5,5
Aplicação de tecto interior em pladur	m ²	11,0
Aplicação das placas de XPS	m ²	1,5
Placas de XPS	m ²	Variam conforme a espessura
Aplicação da tela para vapor	m ²	3,0
Aplicação da placa de subtelha	m ²	9,5
Execução de cobertura em telha cerâmica do tipo aba e canudo, incluindo cumes, todos os cortes remates e trabalhos necessários	m ²	21,0
		62,4 + Custo da placa de XPS
		Total €/m ²

Na segunda solução, admite-se que o painel sanduíche já conta com o revestimento interior. O painel considerado é da marca Onduline com 6 cm de isolamento. Podia-se ter considerado um painel com 4 cm de isolamento, mas a diferença de preço era mínima, logo optou-se por este que tem melhores características térmicas.

Quadro 5.17 - Orçamento para reabilitação de telhado com solução de painel sanduíche

Orçamento para reabilitação térmica de telhado com solução de painel sanduíche			
Designação dos trabalhos	Unidade	Preço unitário €	
Levantamento da telha ou fibrocimento existente	m ²	7,0	
Execução de desmonte da cobertura em telha com aproveitamento dos elementos a indicar pelo dono ou fiscalização, incluído transporte e vazadouro dos produtos sobranes	m ²	3,9	
Execução do desmonte de tectos interiores com aproveitamento dos elementos a indicar pelo dono ou fiscalização, incluído transporte e vazadouro dos produtos sobranes	m ²	5,5	
Fornecimento e aplicação do sistema de painel sanduíche (6cm), incluindo todos os trabalhos necessários	m ²	58,0	
Aplicação da tela pára vapor	m ²	3,0	
Aplicação da placa de subtelha	m ²	9,5	
Execução de cobertura em telha cerâmica do tipo aba e canudo, incluindo cumes, todos os cortes remates e trabalhos necessários	m ²	19,0	
	m ²	105,9	Total €/m ²

Como última hipótese, adoptou-se a solução *Roofzip Thermic* com 5 cm de isolamento rígido e revestimento em alumínio. Esta escolha foi baseada num contacto com a empresa *Roofzip*, no qual foi referido que esta é a solução correntemente mais utilizada para reabilitação de telhados. Note-se que esta solução pode ser aplicada directamente sobre coberturas em fibrocimento, mas segundo as informações obtidas, não é usual este tipo de aplicação.

Quadro 5.18 – Orçamento para reabilitação de telhado com solução do sistema *Roofzip*

Orçamento para reabilitação térmica de telhado com sistema <i>Roofzip</i>			
Designação dos trabalhos	Unidade	Preço unitário €	
Levantamento da telha ou fibrocimento existente	m ²	7	
Execução de desmonte da cobertura em telha com aproveitamento dos elementos a indicar pelo dono ou fiscalização, incluído transporte e vazadouro dos produtos sobranes	m ²	3,9	
Execução do desmonte de tectos interiores com aproveitamento dos elementos a indicar pelo dono ou fiscalização, incluído transporte e vazadouro dos produtos sobranes	m ²	5,5	
Fornecimento e aplicação do sistema <i>Roofzip Thermic</i> , incluindo todos os trabalhos necessários (5 cm de isolamento térmico) e revestimento final alumínio	m ²	70	
		86,4	Total €/m ²

Com base no gráfico da figura 5.16 já apresentado atrás, que caracteriza a evolução do preço da aquisição da energia eléctrica e tendo em conta a fórmula (1), através de extensas tabelas apresentadas em anexo, necessárias para o cálculo do custo de aquecimento por m² de zona útil de habitação, podemos obter o gráfico da figura 5.18.

$$\text{€ de aquecimento/m}^2 = 0,024 * GD * U * \text{Custo de energia actualizada em cada ano (€)} * \text{Custo actualizado da solução de isolamento térmico (€)} \quad (1)$$

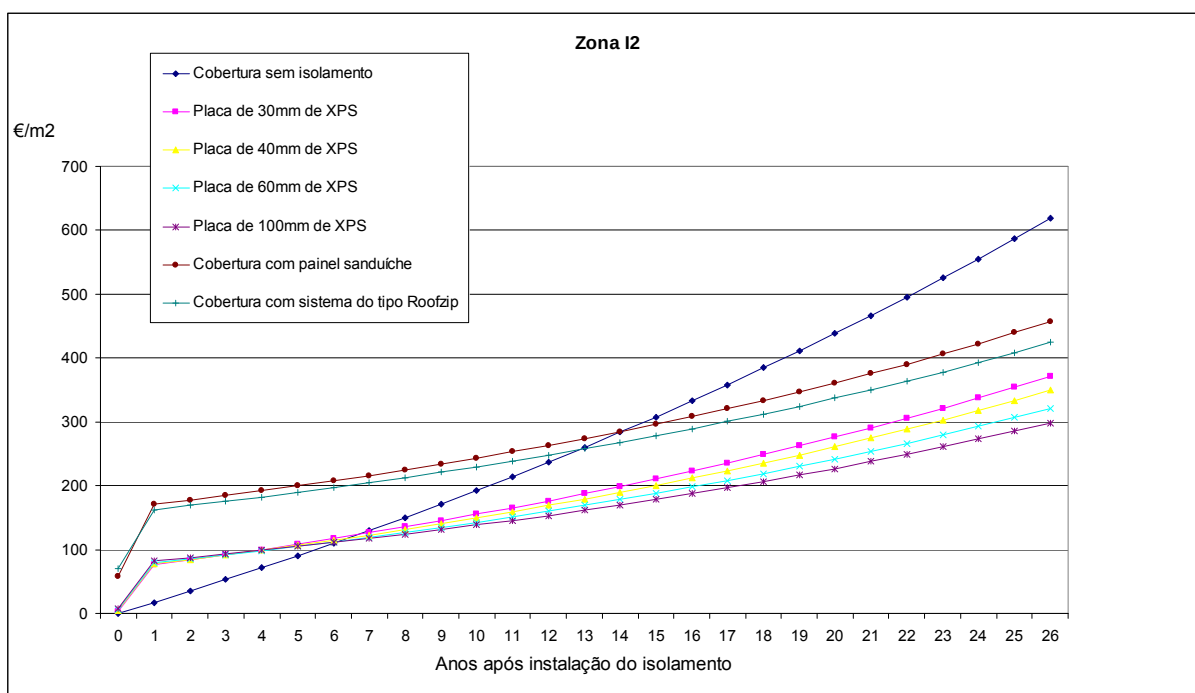


Figura 5.18 – Evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável com várias soluções de isolamento ou sem o mesmo

Quadro 5.19 – Período de Retorno das várias soluções de reabilitação e poupança em relação à solução inicial, sem isolamento

Local	Solução de isolamento térmico	Espessura do isolamento (cm)	Período de retorno relativo à solução sem isolamento	Poupança relativamente à solução sem isolamento			
				10 Anos €/m ²	15 Anos €/m ²	20 Anos €/m ²	25 Anos €/m ²
Porto	Placas de XPS	3	6	48,22	109,96	176,13	247,26
		4	6	55,23	120,95	192,27	269,16
		6	6	63,14	134,81	212,78	297,13
		10	6	68,61	145,40	229,08	319,76
	Painel Sanduíche	6	14	-	24,73	91,54	161,08
	Sistema Roofzip	5	12	-	43,4	116,4	194,05

Analisando o gráfico da figura 5.18 e do quadro 5.19 podemos concluir:

- O investimento inicial da solução de placas de poliestireno extrudido é muito inferior ao das restantes duas soluções. O período de retorno desta solução de reabilitação térmica, mesmo sem necessidade de reabilitação do telhado, é de 6 anos, aquando da aplicação de uma placa de 6 cm de poliestireno extrudido (que é a espessura correntemente utilizada, e para ser comparável com as restantes soluções), o que revela um resultado muito satisfatório, uma vez que o período de vida útil dos materiais de um edifício anda a volta de 25/30 anos, e o período de retorno é obtido a cerca de 1/5 desta duração;
- A solução do painel sanduíche, requer um maior esforço financeiro no momento da instalação, e apesar de ser o que possui menor U (coeficiente de transmissão térmica) de todas as soluções, o que nos leva a pensar que trará uma grande poupança, no fundo, economicamente, não é o mais viável uma vez que, o período de retorno é obtido apenas 14 anos após a instalação. Apesar de ser um período de retorno tardio, é sempre compensatório, uma vez que representa cerca de metade da vida útil do edifício. O facto de o período de retorno ser tão tardio, deve-se ao elevado preço de instalação desta solução, que quando comparado a poupança em termos energéticos, por m², com a evolução do património (capitalização do dinheiro no banco) que o custo de instalação traria, não se revela tão compensatório como a primeira solução;
- O sistema *Roofzip* revela-se mais vantajoso em termos económicos do que a solução de painel sanduíche, pois apesar de ter um maior coeficiente de transmissão térmica, tem um custo de instalação inferior, que acaba por compensar (note-se que ao fim do 25º ano de instalação a linha do gráfico que representa a solução de *Roofzip*, está mais baixa do que a do painel sanduíche, o que significa que tem um menor custo por m², ou de outra forma, observando o quadro 5.19, o sistema *Roofzip*, tem uma maior poupança por m² de superfície de cobertura, em relação à solução do painel;
- Qualquer uma das soluções apresentadas, tem períodos de retorno relativamente curtos, muito inferiores ao período de vida útil das habitações ou dos materiais constituintes das mesmas, sendo, portanto, todas elas compensatórias;
- O facto de as soluções de Painel sanduíche e sistema *Roofzip* darem períodos de retorno mais tardios, ou menores poupanças, não significa que não sejam melhores soluções que as placas de poliestireno. São simplesmente mais caras, mas por outro lado também são soluções mais rígidas, mais resistentes e mais duráveis.

6 CONCLUSÃO

O peso do segmento reabilitação de edifícios, no sector da construção, em Portugal, está ainda muito aquém da maioria dos países Europeus. Continua-se a apostar na construção nova, em vez de actuar no parque edificado, o que leva à degradação dos edifícios dos centros das cidades. É necessário desenvolver políticas de motivação, que apostem neste sector da construção, de modo a que os Centros Históricos das cidades voltem a ter os residentes, que nos últimos anos têm escapado para os subúrbios.

A grande maioria, das coberturas inclinadas do Centro Histórico do Porto necessita de reabilitação e manutenção. É urgente actuarmos nos edifícios desta zona, utilizando as técnicas descritas nos capítulos anteriores. Esta reabilitação é necessária com o propósito de melhorar a estética (o Centro Histórico do Porto é uma zona com elevado valor patrimonial arquitectónico), o conforto interior e aumentar poupança energética. Há vinte anos atrás, em Portugal, eram raros os edifícios que tivessem isolamento térmico. Hoje, a construção nova já conta com estudos térmicos, sendo banal a sua aplicação. Contudo, nos edifícios antigos, não existem materiais isolantes térmicos nos seus elementos construtivos, o que leva a um excessivo consumo de energia. Na cidade do Porto, cerca de 56% da energia é gasta pelos edifícios. Se forem feitos estudos térmicos para estas habitações, estas vão começar a ser construídas de forma a diminuírem o consumo energético, através da aplicação de isolamento térmico, por exemplo.

Antes da reabilitação do ponto de vista térmico, é necessário tratar as anomalias estruturais, anomalias dos materiais e de humidades existentes na maioria destas coberturas.

Sendo a humidade o principal inimigo das coberturas, é essencialmente sobre este factor que se deverá actuar, tanto de forma curativa como preventiva. A estanquidade à água é uma das principais exigências das coberturas. Hoje, é impensável que uma habitação não tenha as condições de salubridade mínima. Este problema pode ser facilmente eliminado, aquando da reabilitação da cobertura, com a colocação de subtelha. Esta técnica, que começa a ser bastante utilizada, uma vez que torna os telhados muito mais impermeáveis, tem que ser complementada com a correcta execução de todos os pontos estratégicos, nomeadamente os remates dos telhados, soluções de escoamento das águas pluviais, a inclinação, o assentamento das telhas, etc., sem os quais uma não é conseguida uma correcta reabilitação, que elimine as anomalias das coberturas inclinadas. As coberturas do Centro Histórico do Porto, que sofrem de inúmeras anomalias, são tipicamente inclinadas, em telha canudo. Por razões estéticas, a reabilitação destas coberturas, poderá apenas em último caso, alterar o aspecto original ou o tipo de cobertura. Existem também algumas coberturas em fibrocimento.

Estas coberturas podem ser reabilitadas, segundo as três soluções propostas neste trabalho:

- Levantamento do telhado (telhas ou placas de fibrocimento) existente e nova aplicação de telha, sobre a subtelha, para uma melhor impermeabilização;
- Aplicação de um sistema *Roofzip* após da remoção da cobertura existente;

- Aplicação de um sistema *Roofzip* sobre a cobertura existente (não é tão corrente).

Tal como foi provado, a reabilitação do ponto de vista térmico, é também necessária e compensatória. A cobertura é o elemento construtivo que está sujeito às maiores amplitudes térmicas. O isolamento térmico de uma cobertura é considerado uma intervenção de eficiência energética de máxima prioridade, face aos benefícios praticamente imediatos, uma vez que reduz muito significativamente as facturas energéticas, de uma forma simples e pouco dispendiosa.

Concluimos que o isolamento na esteira horizontal é aconselhável quando o desvão não for habitável, para que este possa ser ventilado. Esta solução é mais económica quando comparada com o isolamento na vertente. Isto compreende-se rapidamente se repararmos que na horizontal temos menos área a isolar, aplica-se mais facilmente, e requer menos gastos em energia uma vez que o desvão deve ser fortemente ventilado, o que diminui a amplitude térmica. Neste caso, não é necessário proceder a um estudo técnico económico, para perceber que colocar isolamento numa esteira horizontal, num desvão não útil, é compensatório, pois pode ser utilizado um isolante projectado ou mesmo placas de isolamento de aplicação fácil, sem se ter que remover o telhado (no caso de reabilitação apenas com propósito de colocação do isolamento térmico). É portanto, sempre compensatório, a colocação de isolamento térmico neste tipo de coberturas inclinadas.

O isolamento nas vertentes aplica-se em situações que o desvão seja habitável. Este é o caso mais corrente nos edifícios do Centro Histórico do Porto. Foram propostas várias soluções para aplicação do isolamento térmico nas vertentes:

- Placas de poliestireno extrudido (XPS);
- Aplicação de painel sanduíche;
- Aplicação de um sistema *Roofzip* que contém isolamento térmico.

Todas estas soluções têm vantagens e desvantagens. Através das características, e do estudo técnico económico realizado neste trabalho, o veredicto de cada uma resume-se a:

Solução de isolamento	Vantagens	Desvantagens
Placas de XPS	▪ Boas características térmicas ▪ Pode ter como revestimento final telha ▪ Não altera o aspecto das coberturas do Centro Histórico do Porto ▪ É a solução mais económica ▪ Fácil aplicação	▪ Menor resistência mecânica
Painel sanduíche	▪ Elevada resistência mecânica ▪ Elevada durabilidade ▪ É a solução com melhores características térmicas (menor coeficiente de transmissão térmica) ▪ Elevado know-how ▪ Fácil aplicação	▪ Solução economicamente mais cara

Solução de isolamento	Vantagens	Desvantagens
Painel sanduíche (continuação)	▪ Pode ser revestida a telha ▪ Mantém o aspecto das coberturas típicas do Centro Histórico do Porto ▪ Maior conforto interior	
Sistema Roofzip	▪ Fácil aplicação ▪ Pode ser aplicada sobre a cobertura existente ▪ É menos dispendiosa do que a solução de painel sanduíche ▪ Elevada durabilidade ▪ Elevada resistência mecânica do isolamento ▪ Não necessita da manutenção da telha	▪ Não pode ser revestido telha ▪ Não consegue manter o aspecto das coberturas típicas do Centro Histórico do Porto

Conclui-se assim, que a solução sistema *Roofzip*, será aconselhada apenas em último caso, uma vez que o seu revestimento é, por norma, em placas de alumínio, não podendo manter a telha. As melhores soluções são as placas de poliestireno e o painel sanduíche, uma vez que, além de possuírem boas características térmicas e fácil aplicação, ambas podem ser revestidas a telha. Destas duas soluções a mais compensatória do ponto de vista técnico económico é, sem dúvida, a que utiliza placas de poliestireno. Por outro lado, o painel sanduíche tem melhores características térmicas, é mais durável e mais resistente. É importante referir, que nas soluções de isolamento com placas poliestireno extrudido e de painel sanduíche é fortemente recomendado o uso da subtelha, por todas as razões já explicadas.

Todas as soluções apresentadas compensam, mesmo uma instalação mais dispendiosa, uma vez que os períodos de retorno do investimento são bastante reduzidos quando comparados com período de vida útil dos edifícios ou materiais.

Desta forma, cabe ao proprietário escolher, a solução que melhor se adequa à sua cobertura, mediante as suas capacidades financeiras.

Como certas, podemos afirmar que a reabilitação térmica, aplicação de isolamento térmico, leva a:

- Um maior conforto térmico das habitações;
- Uma diminuição do consumo energia e consequentemente diminuição dos gastos em energia;
- Um desenvolvimento sustentável.

Custos do consumo de energia



**Casa sem
isolamento
térmico**



**Casa eficiente,
com isolamento
térmico**



**Casa
sem isolamento,
não eficiente**



**Casa eficiente,
com isolamento térmico,
de acordo com o RCCTE**

**Elevada
poupança de energia
calorífica**

As coberturas devem, pelas inúmeras vantagens citadas, ser reabilitadas pelas suas anomalias, e também do ponto de vista térmico.

7

BIBLIOGRAFIA

- [1] www.itic.pt. Data da última consulta: 3 de Maio de 2008
- [2] www.ine.pt. Data da última consulta: 13 de Abril de 2008
- [3] Aulas teóricas da disciplina de Patologia e Reabilitação de edifícios do Professor Vasco Peixoto de Freitas – FEUP
- [4] Paiva, José Vasconcelos e outros, *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*, Volume 1, INH, LNEC Coordenação por: João Vasconcelos Paiva, José Aguiar, Ana pinho. Lisboa
- [5] AdEPorto – Agência de Energia do Porto, Edifícios Saudáveis Consultores Lda., TRENMO – Engenharia Lda. *Matriz Energética do Porto*. Câmara Municipal do Porto, Agência de Energia do Porto, 2008.
- [6] www.alambi.net/urbano.html. Data da última consulta: 6 de Maio de 2008
- [7] www.andene.pt Data da última consulta: 12 de Abril de 2008
- [8] www.onduline.com Data da última consulta: 8 de Maio de 2008
- [9] Mascarenhas, Jorge. *Sistemas de Construção VI – Coberturas inclinadas*. 2006
- [10] www.dow.com Data da última consulta: 5 de Março de 2008
- [11] Lopes, Cristina Bento Dias. *Conservação e reabilitação de edifícios antigos do centro histórico de Palmela*; Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2003
- [12] www.margon.pt. Data da última consulta: 2 de Março de 2008
- [13] Associação Portuguesa dos Industriais da Cerâmica de Construção; Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro; Instituto da Construção. *Manual de aplicação de telhas cerâmicas*, Coimbra. Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica e Construção.
- [14] www.pintpor.com. Data da última consulta: 7 de Janeiro de 2008
- [15] Campanella, Christian - *Obras de Conservação e Restauro Arquitectónico: Condições Técnicas Especiais*. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa, 2003
- [16] Freitas, Vasco Peixoto; Abrantes, Vítor; Gómez, César Díaz. *Actas do 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios Patorreb 2006*. Comissão organizadora do Patorreb 2006, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, Porto, 2006.
- [17] Da Silva, J.A.R. Mendes; Abrantes, Vítor; Vicente, Romeu. *Defeitos de Concepção e Execução de Coberturas de Telha Cerâmica – Casos de Estudo*. Actas do 1º Encontro sobre Patologia e

Reabilitação de Edifícios Patorreb 2003. Comissão organizadora do Patorreb 2003, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, Porto, 2003.

[18] F. Paes Afonso, Seminário Censos 2001 – Resultados Definitivos - Painei Habitação - *Potencialidade o Mercado de Reparação e Manutenção face às Características do Parque Edificado*

[19] www.texasplack.com. Data da última consulta: 7 de Março de 2008

[20] www.tecreab.com. Data da última consulta: 21 de Abril de 2008

[21] www.roofzip.com. Data da última consulta: 8 de Maio de 2008

[22] Decreto-Lei n.º 80/2006 - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*

[23] Freitas, Vasco Peixoto; Pinto, Manuel. *Metodologia para a Selecção Exigênciade Isolantes Térmicos - Nota de Informação Técnica*. Laboratório de Física das construções Cívis da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1997.

[24] www.ecoarkitekt.com/eficiencia-energetica. Data da última consulta: 8 de Maio de 2008

[25] www.thermorooft.com. Data da última consulta: 2 de Maio de 2008

[26] www.acepe.pt. Data da última consulta: 13 de Abril de 2008

[27] Santos, Carlos A. Pina; Matias, Luís. Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios – ITE 50. LNEC, Lisboa, 2007

[28] www.bcsdportugal.org. Data da última consulta: 23 de Novembro de 2007

[29] www.construirportugal.com. Data da última consulta: 10 de Maio de 2008

[30] Córias, Vítor. *Reabilitação estrutural de edifícios antigos : alvenaria, madeira : técnicas pouco intrusivas*.

[31] www.construlink.pt. Data da última consulta: 2 de Janeiro de 2008

[32] www.ecocasa.org. Data da última consulta: 13 de Maio de 2008

[33] www.sotecnisol.pt. Data da última consulta: 13 de Maio de 2008

A1

APRESENTAÇÃO DAS TABELAS E GRÁFICOS DA ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICA

A 1.1. GENERALIDADES

Com o objectivo de ilustrar os resultados relativos à análise técnico-económica de coberturas inclinadas aquando da colocação de isolamento com dois cenários (um caso em que a reabilitação do telhado é inevitável e outro em que se pretende mostrar que compensa a reabilitação apenas para colocação do isolamento), apresentam-se neste capítulo as extensas tabelas necessárias para a obtenção dos valores e gráficos apresentados no capítulo 5.

A 1.2. TABELAS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO TÉCNICO ECONÓMICA DE COBERTURAS INCLINADAS – COLOCAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO – CASO EM QUE A REABILITAÇÃO DO TELHADO É INEVITÁVEL

Legenda



10, 15, 20 e 25 anos após instalação do isolamento



Ano em que é atingido o período de retorno

Quadro A.1 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 30 mm em relação à solução sem isolamento térmico

Ano	Custo actualizado da Energia	Zona I2				
		Custo actualizado do gasto em energia da solução sem isolamento térmico €/m ²	Espessura isolamento 30mm			
			Custo actualizado do gasto em energia com 30 mm de isolamento (€/m ²)	Custo actualizado do isolamento €	Custo total actualizado €/m ²	Poupança relativamente à solução sem isolamento €/m ²
0	0,11	0,00	3,00	0,00	3,00	-3,00
1	0,11	17,17	7,52	3,14	10,65	6,52
2	0,12	34,77	12,15	3,28	15,43	19,35
3	0,12	52,82	16,90	3,42	20,32	32,49
4	0,12	71,31	21,77	3,58	25,34	45,97
5	0,12	90,26	26,75	3,74	30,49	59,77
6	0,13	109,69	31,87	3,91	35,77	73,92
7	0,13	129,61	37,11	4,08	41,19	88,42
8	0,13	150,02	42,48	4,27	46,74	103,27
9	0,14	170,94	47,98	4,46	52,44	118,50
10	0,14	192,39	53,63	4,66	58,29	134,10
11	0,14	214,37	59,41	4,87	64,28	150,09
12	0,15	236,90	65,34	5,09	70,43	166,47
13	0,15	260,00	71,42	5,32	76,74	183,26
14	0,16	283,67	77,65	5,56	83,21	200,46
15	0,16	307,93	84,03	5,81	89,84	218,09
16	0,16	332,80	90,58	6,07	96,65	236,16
17	0,17	358,29	97,29	6,34	103,63	254,67
18	0,17	384,42	104,16	6,63	110,79	273,63
19	0,18	411,21	111,21	6,92	118,14	293,07
20	0,18	438,66	118,44	7,24	125,67	312,99
21	0,18	466,80	125,84	7,56	133,40	333,40
22	0,19	495,64	133,43	7,90	141,33	354,31
23	0,19	525,20	141,21	8,26	149,47	375,74
24	0,20	555,51	149,19	8,63	157,81	397,69
25	0,20	586,57	157,36	9,02	166,38	420,19
26	0,21	618,40	165,74	9,42	175,16	443,24

Quadro A.2 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 40 mm em relação à solução sem isolamento térmico

Ano	Custo actualizado da Energia	Zona I2				
		Custo actualizado do gasto em energia da solução sem isolamento térmico €/m ²	Espessura isolamento 40mm			
			Custo actualizado do gasto em energia com 40 mm de isolamento (€/m ²)	Custo actualizado do isolamento €	Custo total actualizado €/m ²	Poupança relativamente à solução sem isolamento €/m ²
0	0,11	0,00	4,00	0,00	4,00	-4,00
1	0,11	17,17	7,80	4,18	11,98	5,20
2	0,12	34,77	11,69	4,37	16,05	18,72
3	0,12	52,82	15,68	4,56	20,24	32,58
4	0,12	71,31	19,76	4,77	24,53	46,78
5	0,12	90,26	23,95	4,98	28,94	61,33
6	0,13	109,69	28,25	5,21	33,46	76,24
7	0,13	129,61	32,65	5,44	38,09	91,51
8	0,13	150,02	37,16	5,69	42,85	107,17
9	0,14	170,94	41,79	5,94	47,73	123,21
10	0,14	192,39	46,53	6,21	52,74	139,65
11	0,14	214,37	51,39	6,49	57,88	156,49
12	0,15	236,90	56,37	6,78	63,15	173,75
13	0,15	260,00	61,47	7,09	68,56	191,43
14	0,16	283,67	66,71	7,41	74,11	209,55
15	0,16	307,93	72,07	7,74	79,81	228,12
16	0,16	332,80	77,57	8,09	85,66	247,15
17	0,17	358,29	83,20	8,45	91,66	266,64
18	0,17	384,42	88,98	8,83	97,81	286,61
19	0,18	411,21	94,90	9,23	104,13	307,08
20	0,18	438,66	100,97	9,65	110,61	328,05
21	0,18	466,80	107,19	10,08	117,27	349,53
22	0,19	495,64	113,56	10,53	124,10	371,54
23	0,19	525,20	120,10	11,01	131,11	394,10
24	0,20	555,51	126,80	11,50	138,30	417,21
25	0,20	586,57	133,66	12,02	145,68	440,88
26	0,21	618,40	140,70	12,56	153,26	465,14

Quadro A.3 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 60 mm em relação à solução sem isolamento térmico

Ano	Custo actualizado da Energia	Zona I2				
		Custo actualizado do gasto em energia da solução sem isolamento térmico €/m ²	Espessura isolamento 60mm			
			Custo actualizado do gasto em energia com 60 mm de isolamento (€/m ²)	Custo actualizado do isolamento €	Custo total actualizado €/m ²	Poupança relativamente à solução sem isolamento €/m ²
0	0,11	0,00	5,50	0,00	5,50	-5,50
1	0,11	17,17	8,35	5,75	14,09	3,08
2	0,12	34,77	11,27	6,01	17,27	17,50
3	0,12	52,82	14,26	6,28	20,53	32,28
4	0,12	71,31	17,32	6,56	23,88	47,43
5	0,12	90,26	20,46	6,85	27,32	62,94
6	0,13	109,69	23,69	7,16	30,85	78,84
7	0,13	129,61	26,99	7,48	34,47	95,13
8	0,13	150,02	30,37	7,82	38,19	111,83
9	0,14	170,94	33,84	8,17	42,01	128,93
10	0,14	192,39	37,40	8,54	45,94	146,45
11	0,14	214,37	41,04	8,93	49,97	164,40
12	0,15	236,90	44,78	9,33	54,10	182,80
13	0,15	260,00	48,60	9,75	58,35	201,64
14	0,16	283,67	52,53	10,19	62,71	220,95
15	0,16	307,93	56,55	10,64	67,20	240,74
16	0,16	332,80	60,68	11,12	71,80	261,00
17	0,17	358,29	64,90	11,62	76,53	281,77
18	0,17	384,42	69,23	12,15	81,38	303,04
19	0,18	411,21	73,67	12,69	86,37	324,84
20	0,18	438,66	78,23	13,26	91,49	347,17
21	0,18	466,80	82,89	13,86	96,75	370,05
22	0,19	495,64	87,67	14,49	102,16	393,48
23	0,19	525,20	92,57	15,14	107,71	417,49
24	0,20	555,51	97,60	15,82	113,42	442,09
25	0,20	586,57	102,75	16,53	119,28	467,29
26	0,21	618,40	108,02	17,27	125,30	493,10

Quadro A.4 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 100 mm em relação à solução sem isolamento térmico

Ano	Custo actualizado da Energia	Zona I2				
		Custo actualizado do gasto em energia da solução sem isolamento térmico €/m ²	Espessura isolamento 100mm			
			Custo actualizado do gasto em energia com 100 mm de isolamento (€/m ²)	Custo actualizado do isolamento €	Custo total actualizado €/m ²	Poupança relativamente à solução sem isolamento €/m ²
0	0,11	0,00	7,50	0,00	7,50	-7,50
1	0,11	17,17	9,49	7,84	17,33	-0,15
2	0,12	34,77	11,53	8,19	19,72	15,06
3	0,12	52,82	13,62	8,56	22,17	30,64
4	0,12	71,31	15,76	8,94	24,70	46,61
5	0,12	90,26	17,95	9,35	27,30	62,97
6	0,13	109,69	20,20	9,77	29,97	79,72
7	0,13	129,61	22,51	10,21	32,71	96,89
8	0,13	150,02	24,87	10,67	35,54	114,48
9	0,14	170,94	27,29	11,15	38,44	132,50
10	0,14	192,39	29,78	11,65	41,42	150,96
11	0,14	214,37	32,32	12,17	44,49	169,88
12	0,15	236,90	34,93	12,72	47,65	189,25
13	0,15	260,00	37,60	13,29	50,90	209,10
14	0,16	283,67	40,35	13,89	54,24	229,43
15	0,16	307,93	43,16	14,51	57,67	250,26
16	0,16	332,80	46,04	15,17	61,20	271,60
17	0,17	358,29	48,99	15,85	64,84	293,46
18	0,17	384,42	52,01	16,56	68,58	315,85
19	0,18	411,21	55,11	17,31	72,42	338,79
20	0,18	438,66	58,29	18,09	76,38	362,28
21	0,18	466,80	61,55	18,90	80,45	386,35
22	0,19	495,64	64,89	19,75	84,64	411,00
23	0,19	525,20	68,31	20,64	88,95	436,25
24	0,20	555,51	71,82	21,57	93,39	462,11
25	0,20	586,57	75,42	22,54	97,96	488,61
26	0,21	618,40	79,10	23,56	102,66	515,74

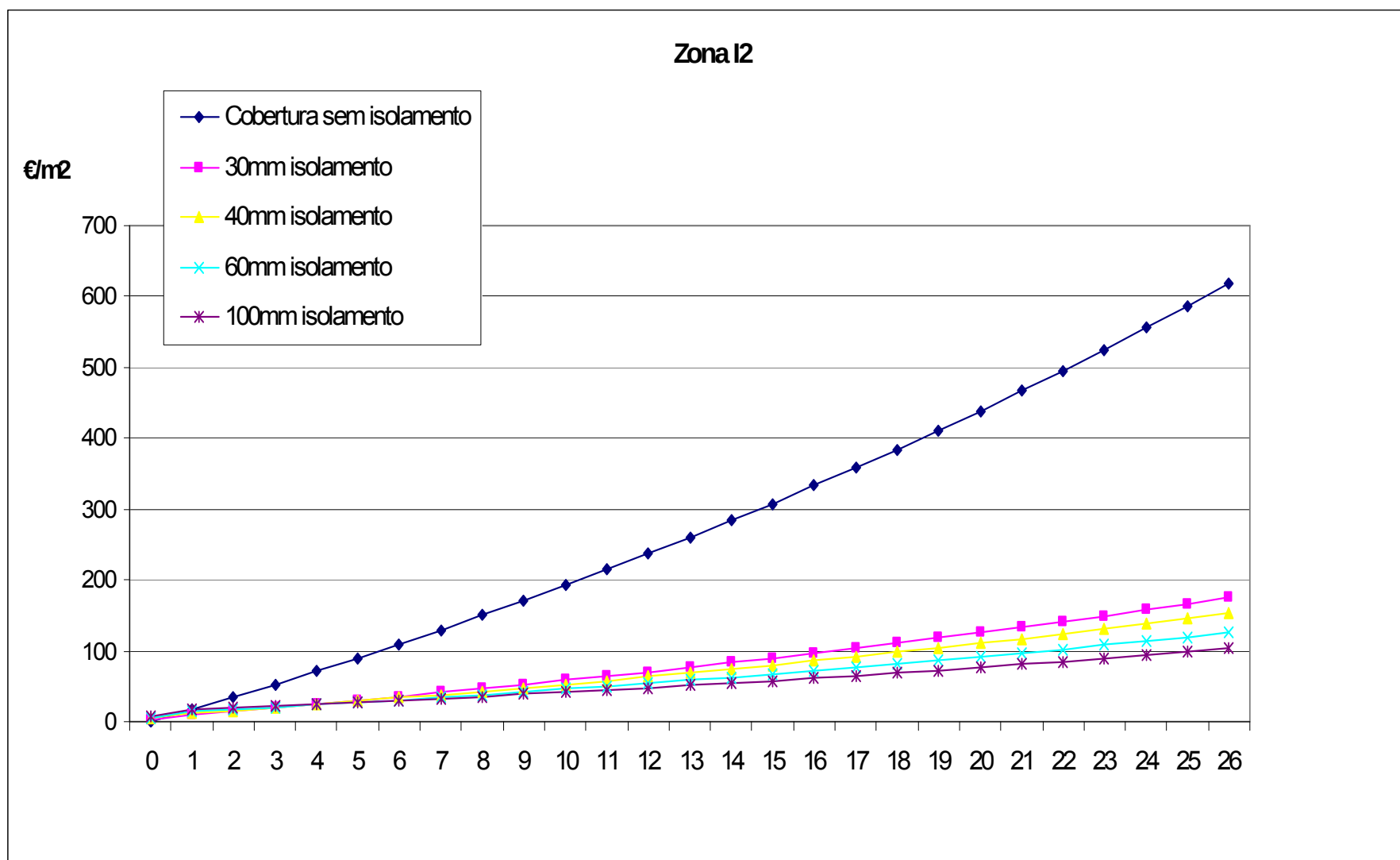


Figura A.1 – Evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável, com várias soluções de isolamento (varias espessuras das placas de XPS) ou sem o mesmo, até 25 anos após a instalação do isolamento

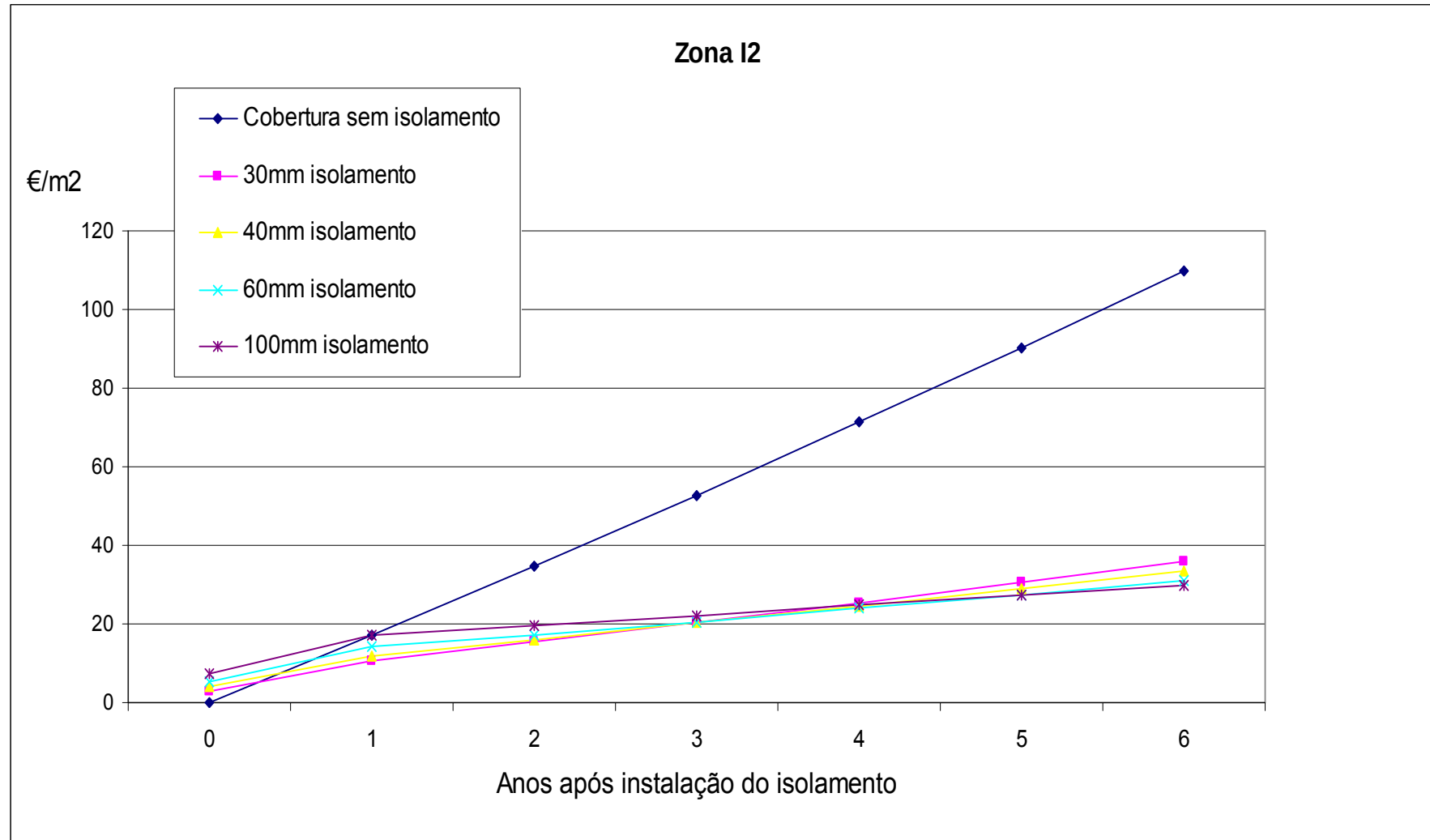


Figura A.2 – Evolução do custo de aquecimento por m^2 de área habitável com várias soluções de isolamento (varias espessuras das placas de XPS) ou sem o mesmo – gráfico para mostrar o curto período de retorno – até 5 anos após a instalação do isolamento

A 1.3. TABELAS UTILIZADAS NA AVALIAÇÃO TÉCNICO ECONÓMICA DAS COBERTURAS INCLINADAS – COLOCAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO – CASO EM QUE SE REABILITA APENAS PARA COLOCAÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO

Quadro A.5 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 30 mm em relação à solução sem isolamento térmico

Ano	Custo actualizado da Energia	Zona I2					
		Custo actualizado do gasto em energia da solução sem isolamento térmico €/m ²	Espessura isolamento 30mm				
			Custo actualizado do gasto em energia com 30 mm de isolamento (€/m ²)	Custo actualizado do isolamento	Orçamento dos trabalhos actualizado	Custo total actualizado €/m ²	Poupança relativamente à solução sem isolamento €/m ²
0	0,11	0,00	3,00	0,00	0,00	3,00	-3,00
1	0,11	17,17	7,52	3,14	65,21	75,86	-58,69
2	0,12	34,77	12,15	3,28	68,14	83,57	-48,80
3	0,12	52,82	16,90	3,42	71,21	91,53	-38,72
4	0,12	71,31	21,77	3,58	74,41	99,76	-28,45
5	0,12	90,26	26,75	3,74	77,76	108,25	-17,99
6	0,13	109,69	31,87	3,91	81,26	117,03	-7,34
7	0,13	129,61	37,11	4,08	84,92	126,11	3,50
8	0,13	150,02	42,48	4,27	88,74	135,48	14,53
9	0,14	170,94	47,98	4,46	92,73	145,18	25,77
10	0,14	192,39	53,63	4,66	96,91	155,19	37,20
11	0,14	214,37	59,41	4,87	101,27	165,55	48,82
12	0,15	236,90	65,34	5,09	105,82	176,25	60,65
13	0,15	260,00	71,42	5,32	110,59	187,32	72,67
14	0,16	283,67	77,65	5,56	115,56	198,77	84,90
15	0,16	307,93	84,03	5,81	120,76	210,60	97,33
16	0,16	332,80	90,58	6,07	126,20	222,84	109,96
17	0,17	358,29	97,29	6,34	131,87	235,50	122,79
18	0,17	384,42	104,16	6,63	137,81	248,60	135,83
19	0,18	411,21	111,21	6,92	144,01	262,15	149,06
20	0,18	438,66	118,44	7,24	150,49	276,16	162,50
21	0,18	466,80	125,84	7,56	157,26	290,67	176,13
22	0,19	495,64	133,43	7,90	164,34	305,67	189,97
23	0,19	525,20	141,21	8,26	171,74	321,20	204,00
24	0,20	555,51	149,19	8,63	179,46	337,28	218,23
25	0,20	586,57	157,36	9,02	187,54	353,92	232,65
26	0,21	618,40	165,74	9,42	195,98	371,14	247,26

Quadro A.6 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 40 mm em relação à solução sem isolamento térmico

Ano	Custo actualizado da Energia	Zona I2					
		Custo actualizado do gasto em energia da solução sem isolamento térmico €/m ²	Espessura isolamento 40mm				
			Custo actualizado do gasto em energia com 40 mm de isolamento (€/m ²)	Custo actualizado do isolamento	Orçamento dos trabalhos actualizado	Custo total actualizado €/m ²	Poupança relativamente à solução sem isolamento €/m ²
0	0,11	0,00	4,00	0,00	0,00	4,00	-4,00
1	0,11	17,17	7,80	4,18	65,21	77,18	-60,01
2	0,12	34,77	11,69	4,37	68,14	84,20	-49,42
3	0,12	52,82	15,68	4,56	71,21	91,45	-38,63
4	0,12	71,31	19,76	4,77	74,41	98,95	-27,64
5	0,12	90,26	23,95	4,98	77,76	106,70	-16,44
6	0,13	109,69	28,25	5,21	81,26	114,72	-5,03
7	0,13	129,61	32,65	5,44	84,92	123,01	6,60
8	0,13	150,02	37,16	5,69	88,74	131,59	18,43
9	0,14	170,94	41,79	5,94	92,73	140,46	30,48
10	0,14	192,39	46,53	6,21	96,91	149,64	42,74
11	0,14	214,37	51,39	6,49	101,27	159,14	55,23
12	0,15	236,90	56,37	6,78	105,82	168,97	67,93
13	0,15	260,00	61,47	7,09	110,59	179,15	80,85
14	0,16	283,67	66,71	7,41	115,56	189,67	93,99
15	0,16	307,93	72,07	7,74	120,76	200,57	107,36
16	0,16	332,80	77,57	8,09	126,20	211,85	120,95
17	0,17	358,29	83,20	8,45	131,87	223,53	134,76
18	0,17	384,42	88,98	8,83	137,81	235,62	148,80
19	0,18	411,21	94,90	9,23	144,01	248,14	163,07
20	0,18	438,66	100,97	9,65	150,49	261,10	177,56
21	0,18	466,80	107,19	10,08	157,26	274,53	192,27
22	0,19	495,64	113,56	10,53	164,34	288,44	207,20
23	0,19	525,20	120,10	11,01	171,74	302,84	222,36
24	0,20	555,51	126,80	11,50	179,46	317,76	237,74
25	0,20	586,57	133,66	12,02	187,54	333,22	253,34
26	0,21	618,40	140,70	12,56	195,98	349,24	269,16

Quadro A.7 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 60mm em relação à solução sem isolamento térmico

no	Custo actualizado da Energia	Zona I2					
		Custo actualizado do gasto em energia da solução sem isolamento térmico €/m ²	Espessura isolamento 60mm				
			Custo actualizado do gasto em energia com 60 mm de isolamento (€/m ²)	Custo actualizado do isolamento	Orçamento dos trabalhos actualizado	Custo total actualizado €/m ²	Poupança relativamente à solução sem isolamento €/m ²
0	0,11	0,00	5,50	0,00	0,00	5,50	-5,50
1	0,11	17,17	8,35	5,75	65,21	79,30	-62,13
2	0,12	34,77	11,27	6,01	68,14	85,41	-50,64
3	0,12	52,82	14,26	6,28	71,21	91,74	-38,93
4	0,12	71,31	17,32	6,56	74,41	98,29	-26,99
5	0,12	90,26	20,46	6,85	77,76	105,08	-14,82
6	0,13	109,69	23,69	7,16	81,26	112,11	-2,42
7	0,13	129,61	26,99	7,48	84,92	119,39	10,22
8	0,13	150,02	30,37	7,82	88,74	126,93	23,09
9	0,14	170,94	33,84	8,17	92,73	134,75	36,20
10	0,14	192,39	37,40	8,54	96,91	142,84	49,55
11	0,14	214,37	41,04	8,93	101,27	151,23	63,14
12	0,15	236,90	44,78	9,33	105,82	159,93	76,97
13	0,15	260,00	48,60	9,75	110,59	168,94	91,06
14	0,16	283,67	52,53	10,19	115,56	178,28	105,39
15	0,16	307,93	56,55	10,64	120,76	187,96	119,97
16	0,16	332,80	60,68	11,12	126,20	197,99	134,81
17	0,17	358,29	64,90	11,62	131,87	208,40	149,90
18	0,17	384,42	69,23	12,15	137,81	219,19	165,24
19	0,18	411,21	73,67	12,69	144,01	230,38	180,83
20	0,18	438,66	78,23	13,26	150,49	241,98	196,68
21	0,18	466,80	82,89	13,86	157,26	254,01	212,78
22	0,19	495,64	87,67	14,49	164,34	266,50	229,14
23	0,19	525,20	92,57	15,14	171,74	279,45	245,76
24	0,20	555,51	97,60	15,82	179,46	292,88	262,63
25	0,20	586,57	102,75	16,53	187,54	306,82	279,75
26	0,21	618,40	108,02	17,27	195,98	321,28	297,13

Quadro A.8 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável e respectiva poupança da solução de placas de poliestireno extrudido com 100 mm em relação à solução sem isolamento térmico

Ano	Custo actualizado da Energia	Zona I2					
		Custo actualizado o do gasto em energia da solução sem isolamento térmico €/m ²	Espessura isolamento 100mm				
			Custo actualizado o do gasto em energia com 100 mm de isolamento (€/m ²)	Custo actualizado o do isolamento	Orçamento dos trabalhos actualizado	Custo total actualizado o €/m ²	Poupança relativamente à solução sem isolamento €/m ²
0	0,11	0,00	7,50	0,00	0,00	7,50	-7,50
1	0,11	17,17	9,49	7,84	65,21	82,53	-65,36
2	0,12	34,77	11,53	8,19	68,14	87,86	-53,09
3	0,12	52,82	13,62	8,56	71,21	93,38	-40,57
4	0,12	71,31	15,76	8,94	74,41	99,11	-27,81
5	0,12	90,26	17,95	9,35	77,76	105,06	-14,80
6	0,13	109,69	20,20	9,77	81,26	111,23	-1,54
7	0,13	129,61	22,51	10,21	84,92	117,63	11,98
8	0,13	150,02	24,87	10,67	88,74	124,28	25,74
9	0,14	170,94	27,29	11,15	92,73	131,17	39,77
10	0,14	192,39	29,78	11,65	96,91	138,33	54,06
11	0,14	214,37	32,32	12,17	101,27	145,76	68,61
12	0,15	236,90	34,93	12,72	105,82	153,47	83,43
13	0,15	260,00	37,60	13,29	110,59	161,48	98,51
14	0,16	283,67	40,35	13,89	115,56	169,80	113,87
15	0,16	307,93	43,16	14,51	120,76	178,43	129,50
16	0,16	332,80	46,04	15,17	126,20	187,40	145,40
17	0,17	358,29	48,99	15,85	131,87	196,71	161,58
18	0,17	384,42	52,01	16,56	137,81	206,38	178,04
19	0,18	411,21	55,11	17,31	144,01	216,43	194,77
20	0,18	438,66	58,29	18,09	150,49	226,87	211,79
21	0,18	466,80	61,55	18,90	157,26	237,72	229,08
22	0,19	495,64	64,89	19,75	164,34	248,98	246,66
23	0,19	525,20	68,31	20,64	171,74	260,69	264,51
24	0,20	555,51	71,82	21,57	179,46	272,86	282,65
25	0,20	586,57	75,42	22,54	187,54	285,50	301,07
26	0,21	618,40	79,10	23,56	195,98	298,64	319,76

Quadro A.9 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável e respectiva poupança da solução de isolamento com painel sanduíche, em relação à solução sem isolamento térmico

Ano	Custo actualizado da Energia	Zona I2					
		Custo actualizado do gasto em energia da solução sem isolamento térmico €/m ²	Painel sanduíche				
			Custo actualizado do gasto em energia com painel sanduíche (€/m ²)	Custo actualizado do isolamento	Orçamento dos trabalhos actualizado	Custo total actualizado €/m ²	Poupança relativamente à solução sem isolamento €/m ²
0	0,11	0,00	58,00	0,00	0,00	58,00	-58,00
1	0,11	17,17	59,85	60,61	50,06	170,52	-153,35
2	0,12	34,77	61,75	63,34	52,31	177,40	-142,62
3	0,12	52,82	63,70	66,19	54,66	184,55	-131,73
4	0,12	71,31	65,69	69,17	57,12	191,98	-120,67
5	0,12	90,26	67,74	72,28	59,69	199,71	-109,45
6	0,13	109,69	69,84	75,53	62,38	207,74	-98,05
7	0,13	129,61	71,98	78,93	65,19	216,10	-86,49
8	0,13	150,02	74,19	82,48	68,12	224,79	-74,77
9	0,14	170,94	76,44	86,19	71,18	233,82	-62,88
10	0,14	192,39	78,76	90,07	74,39	243,22	-50,83
11	0,14	214,37	81,13	94,13	77,73	252,99	-38,62
12	0,15	236,90	83,56	98,36	81,23	263,15	-26,25
13	0,15	260,00	86,05	102,79	84,89	273,73	-13,73
14	0,16	283,67	88,61	107,41	88,71	284,73	-1,06
15	0,16	307,93	91,22	112,25	92,70	296,17	11,76
16	0,16	332,80	93,91	117,30	96,87	308,08	24,73
17	0,17	358,29	96,66	122,58	101,23	320,46	37,83
18	0,17	384,42	99,48	128,09	105,79	333,36	51,07
19	0,18	411,21	102,37	133,86	110,55	346,77	64,44
20	0,18	438,66	105,33	139,88	115,52	360,73	77,93
21	0,18	466,80	108,37	146,17	120,72	375,26	91,54
22	0,19	495,64	111,48	152,75	126,15	390,38	105,26
23	0,19	525,20	114,67	159,63	131,83	406,12	119,08
24	0,20	555,51	117,94	166,81	137,76	422,51	133,00
25	0,20	586,57	121,29	174,32	143,96	439,56	147,00
26	0,21	618,40	124,72	182,16	150,44	457,32	161,08

Quadro A.10 – Resultados da análise técnico económica – evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável e respectiva poupança da solução de isolamento do sistema *Roofzip*, em relação à solução sem isolamento térmico

Ano	Custo actualizado da Energia	Zona I2					
		Custo actualizado do gasto em energia da solução sem isolamento térmico €/m ²	Roofzip				
			Custo actualizado do gasto em energia com sistema Roofzip (€/m ²)	Custo actualizado do isolamento	Orçamento dos trabalhos actualizado	Custo total actualizado €/m ²	Poupança relativamente à solução sem isolamento €/m ²
0	0,11	0,00	70,00	0,00	0,00	70,00	-70,00
1	0,11	17,17	72,30	73,15	17,14	162,59	-145,42
2	0,12	34,77	74,67	76,44	17,91	169,02	-134,24
3	0,12	52,82	77,09	79,88	18,72	175,69	-122,87
4	0,12	71,31	79,57	83,48	19,56	182,60	-111,30
5	0,12	90,26	82,11	87,23	20,44	189,78	-99,52
6	0,13	109,69	84,72	91,16	21,36	197,24	-87,55
7	0,13	129,61	87,39	95,26	22,32	204,97	-75,37
8	0,13	150,02	90,13	99,55	23,32	213,00	-62,98
9	0,14	170,94	92,94	104,03	24,37	221,34	-50,40
10	0,14	192,39	95,82	108,71	25,47	230,00	-37,61
11	0,14	214,37	98,77	113,60	26,61	238,99	-24,62
12	0,15	236,90	101,79	118,71	27,81	248,32	-11,42
13	0,15	260,00	104,89	124,05	29,06	258,01	1,98
14	0,16	283,67	108,07	129,64	30,37	268,08	15,59
15	0,16	307,93	111,33	135,47	31,74	278,54	29,40
16	0,16	332,80	114,67	141,57	33,17	289,40	43,40
17	0,17	358,29	118,09	147,94	34,66	300,68	57,61
18	0,17	384,42	121,59	154,59	36,22	312,41	72,02
19	0,18	411,21	125,19	161,55	37,85	324,59	86,62
20	0,18	438,66	128,87	168,82	39,55	337,24	101,42
21	0,18	466,80	132,65	176,42	41,33	350,40	116,40
22	0,19	495,64	136,52	184,36	43,19	364,07	131,57
23	0,19	525,20	140,49	192,65	45,14	378,28	146,93
24	0,20	555,51	144,55	201,32	47,17	393,04	162,46
25	0,20	586,57	148,72	210,38	49,29	408,39	178,17
26	0,21	618,40	153,00	219,85	51,51	424,35	194,05

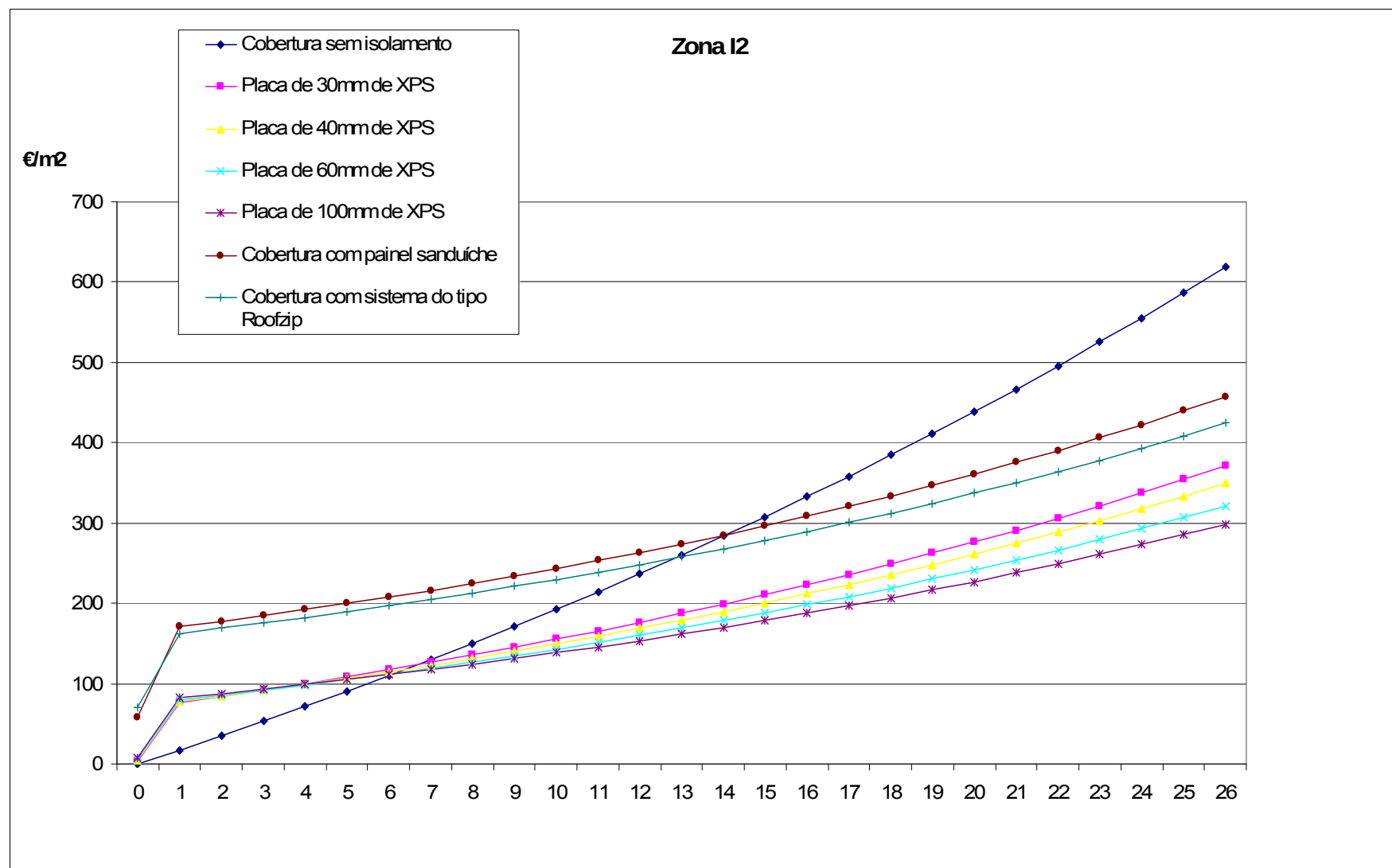


Figura A.3 – Evolução do custo de aquecimento por m² de área habitável, com várias soluções de isolamento ou sem o mesmo, até 25 anos após a instalação do isolamento