



**Tiago Manuel Santos Correia**

**“Implementação da metodologia de custo ótimo a um projeto de reabilitação energética no contexto da diretiva 2010/31 EU”**

*“Implementation of the optimum cost methodology for an energy rehabilitation project in the context of the 2010/31 EU directive”*

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica – Energia, Climatização e Refrigeração

Orientador: Professor Raul Lana Miguel

Faro, Setembro 2017



Mestrado em Engenharia Mecânica – Energia, Climatização e Refrigeração

Departamento de Engenharia Mecânica

2016/2017

“Implementação da metodologia de custo ótimo a um projeto de reabilitação energética no contexto da diretiva 2010/31 EU”

*“Implementation of the optimum cost methodology for an energy rehabilitation project under the 2010/31 EU directive”*

**Tiago Manuel Santos Correia**

Aluno nº45707

Trabalho efetuado sob orientação de:

Professor Raul Lana Miguel

**Faro, Setembro 2017**

## Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam na listagem de referências incluída.

Faro, 29 de Setembro de 2017

---

(Tiago Manuel Santos Correia)

Copyright © Tiago Manuel Santos Correia

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, enquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

## Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais e a toda a minha família, por todo o apoio incondicional e todos os conselhos ao longo da minha vida, que direta ou indiretamente ajudaram-me na concretização dos meus objetivos.

Ao professor Raul Lana por ter aceitado ser o meu orientador e por toda a ajuda e conselhos na elaboração desta dissertação e pela revisão da mesma.

A todos os meus colegas em especial à Versus Tuna – Tuna Académica da Universidades do Algarve, por todo o companheirismo ao longo destes anos de universidade.

Aos meus colegas da empresa Albombas por todo o apoio e compreensão durante a elaboração desta dissertação.

Um agradecimento especial aos meus colegas Duarte Marques, João Fael e Cristiana Louro, Sofia Tavares e Ana Filipa Palma pela paciência para rever esta dissertação.

## Resumo

Atualmente, os edifícios são responsáveis por 40% do consumo energético da União Europeia. Como tal, tem havido um enorme esforço para encontrar metodologias para otimizar a eficiência energética dos edifícios.

Nesse esforço, surgiu a EPBD [3] (*European Performance of Buildings Directive*) com a metodologia de custo-ótimo. Através desta metodologia, pretende-se calcular soluções otimizadas que oferecem uma melhor eficiência energética dos edifícios, tendo em conta o rácio custo-benefício.

Nesta dissertação, o caso de estudo será a reabilitação energética de uma moradia unifamiliar localizada no Sul de Portugal. Os principais objetivos da intervenção no edifício existente serão a melhoria do conforto térmico e do desempenho energético. Será utilizado um modelo BIM (*Building Information Model*) e BEM (*Building Energy Model*), de modo a criar uma metodologia de cálculo expedita para encontrar as soluções otimizadas de acordo com a metodologia definida na EPBD.

Pretende-se com o trabalho proposto, apresentar uma solução expedita para a aplicação da metodologia acima referida, respeitando os requisitos regulamentares e proporcionando o melhor retorno financeiro do investimento.

### **Palavras-chave:**

Reabilitação; Custo-ótimo; BIM; BEM; Eficiência Energética

## Abstract

Currently buildings make a total of 40% of the European Union's energy consumption, therefore, there has been a huge effort to find methodologies to optimize buildings energetic efficiency.

In this effort came the EPBD (European Performance of Buildings Directive) with the cost-optimal methodology. Through this methodology, it is intended to calculate optimized solutions that offer better energy efficiency of buildings considering the cost-benefit ratio.

With this dissertation, the case in study will be the energy rehabilitation of a building located in the South of Portugal. The main objectives of the intervention in the existing building will be the improvement of the thermal comfort while maintaining a high level of energy efficiency in the building. BIM (Building Information Model) and BEM (Building Energy Model) models will be used to create an agile calculation methodology in order to find optimized solutions according to the EPBD methodology.

The aim of the proposed project, is to present an agile solution to apply the aforementioned methodology, respecting the regulatory requirements and providing the best financial return on investment.

### **Keywords:**

Rehabilitation; Cost-optimal; BIM; BEM; Energetic Efficiency

# Índice geral

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>iii</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>iv</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xii</b>
<b>Índice de tabelas</b> .....	<b>xvi</b>
<b>Lista de acrónimos</b> .....	<b>xxi</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Enquadramento legal</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. Legislação europeia</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. Legislação nacional</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Metodologia de custo ótimo</b> .....	<b>16</b>
<b>4. Soluções construtivas</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1. Reabilitação térmica de paredes exteriores</b> .....	<b>19</b>
4.1.1. Aplicação de isolamento térmico pelo exterior do edifício .....	19
4.1.2. Aplicação do isolamento térmico pelo interior do edifício .....	23
4.1.3. Aplicação do isolamento térmico na caixa de ar de paredes duplas .....	26
<b>4.2. Reabilitação térmica de pavimentos</b> .....	<b>27</b>
<b>4.3. Reabilitação térmica de coberturas</b> .....	<b>29</b>
<b>4.4. Reabilitação térmica de vãos envidraçados</b> .....	<b>32</b>
<b>5. Caso de estudo</b> .....	<b>37</b>
<b>5.1. 1ª Fase - Caracterização do edifício de referência</b> .....	<b>38</b>
5.1.1. Criação do modelo BIM .....	38
5.1.2. Caracterização da envolvente .....	40

5.1.2.1.	Paredes Exteriores .....	40
5.1.2.2.	Paredes interiores .....	42
5.1.2.3.	Cobertura.....	44
5.1.2.4.	Pavimento térreo .....	46
5.1.2.5.	Vãos envidraçados horizontais.....	48
<b>5.2.</b>	<b>2ª Fase - Identificação das medidas de eficiência energética.....</b>	<b>52</b>
5.2.1.	Medida de melhoria 1 – ETICS (Lã de Rocha 30mm).....	53
5.2.2.	Medida de melhoria 2 – ETICS (Lã de Rocha 40mm).....	54
5.2.3.	Medida de melhoria 3 – ETICS (Lã de Rocha 50mm).....	56
5.2.4.	Medida de melhoria 4 – ETICS (XPS 30mm).....	57
5.2.5.	Medida de melhoria 5 – ETICS (XPS 40mm).....	59
5.2.6.	Medida de melhoria 6 – ETICS (XPS 50mm).....	60
5.2.7.	Medida de melhoria 7 – Contra fachada com caixa de ar simples.....	62
5.2.8.	Medida de melhoria 8 – Contra fachada com isolamento (XPS 30mm) e sem caixa de ar .....	63
5.2.9.	Medida de melhoria 9 – Contra fachada com isolamento (XPS 40mm) e sem caixa de ar .....	65
5.2.10.	Medida de melhoria 10 – Contra fachada com isolamento (XPS 30mm) e com caixa de ar .....	66
5.2.11.	Medida de melhoria 11 – Contra fachada com isolamento (XPS 40mm) e com caixa de ar .....	68
5.2.12.	Medida de melhoria 12 – Teto-falso com isolamento (Lã de Rocha 30mm)....	69
5.2.13.	Medida de melhoria 13 – Teto-falso com isolamento (Lã de Rocha 40mm)....	71
5.2.14.	Medida de melhoria 14 – Teto-falso com isolamento (Lã de Rocha 50mm)....	72
5.2.15.	Medida de melhoria 15 – Teto-falso com isolamento (XPS 30mm) .....	74
5.2.16.	Medida de melhoria 16 – Teto-falso com isolamento (XPS 40mm) .....	75
5.2.17.	Medida de melhoria 17 – Teto-falso com isolamento (XPS 50mm) .....	77
5.2.18.	Medidas de melhoria combinadas.....	78
<b>5.3.</b>	<b>3ª Fase – Cálculo das necessidades energéticas .....</b>	<b>80</b>
5.3.1.	Situação inicial.....	81
5.3.1.1.	Balço energético.....	81
5.3.1.2.	Envolvente.....	81

5.3.1.3.	Sistemas .....	82
<b>5.3.2.</b>	<b>Medida de melhoria 1 .....</b>	<b>82</b>
5.3.2.1.	Balanço energético .....	82
5.3.2.2.	Envolvente .....	83
5.3.2.3.	Sistemas .....	83
<b>5.3.3.</b>	<b>Medida de melhoria 2 .....</b>	<b>84</b>
5.3.3.1.	Balanço energético .....	84
5.3.3.2.	Envolvente .....	84
5.3.3.3.	Sistemas .....	85
<b>5.3.4.</b>	<b>Medida de melhoria 3 .....</b>	<b>85</b>
5.3.4.1.	Balanço energético .....	85
5.3.4.2.	Envolvente .....	85
5.3.4.3.	Sistemas .....	86
<b>5.3.5.</b>	<b>Medida de melhoria 4 .....</b>	<b>86</b>
5.3.5.1.	Balanço energético .....	86
5.3.5.2.	Envolvente .....	87
5.3.5.3.	Sistemas .....	87
<b>5.3.6.</b>	<b>Medida de melhoria 5 .....</b>	<b>88</b>
5.3.6.1.	Balanço energético .....	88
5.3.6.2.	Envolvente .....	88
5.3.6.3.	Sistemas .....	89
<b>5.3.7.</b>	<b>Medida de melhoria 6 .....</b>	<b>89</b>
5.3.7.1.	Balanço energético .....	89
5.3.7.2.	Envolvente .....	89
5.3.7.3.	Sistemas .....	90
<b>5.3.8.</b>	<b>Medida de melhoria 7 .....</b>	<b>90</b>
5.3.8.1.	Balanço energético .....	90
5.3.8.2.	Envolvente .....	91
5.3.8.3.	Sistemas .....	91
<b>5.3.9.</b>	<b>Medida de melhoria 8 .....</b>	<b>92</b>
5.3.9.1.	Balanço energético .....	92
5.3.9.2.	Envolvente .....	92
5.3.9.3.	Sistemas .....	93
<b>5.3.10.</b>	<b>Medida de melhoria 9 .....</b>	<b>93</b>

5.3.10.1.	Balanço energético .....	93
5.3.10.2.	Envolvente .....	93
5.3.10.3.	Sistemas .....	94
<b>5.3.11.</b>	<b>Medida de melhoria 10 .....</b>	<b>94</b>
5.3.11.1.	Balanço energético .....	94
5.3.11.2.	Envolvente .....	95
5.3.11.3.	Sistemas .....	95
<b>5.3.12.</b>	<b>Medida de melhoria 11 .....</b>	<b>96</b>
5.3.12.1.	Balanço energético .....	96
5.3.12.2.	Envolvente .....	96
5.3.12.3.	Sistemas .....	97
<b>5.3.13.</b>	<b>Medida de melhoria 12 .....</b>	<b>97</b>
5.3.13.1.	Balanço energético .....	97
5.3.13.2.	Envolvente .....	97
5.3.13.3.	Sistemas .....	98
<b>5.3.14.</b>	<b>Medida de melhoria 13 .....</b>	<b>98</b>
5.3.14.1.	Balanço energético .....	98
5.3.14.2.	Envolvente .....	99
5.3.14.3.	Sistemas .....	99
<b>5.3.15.</b>	<b>Medida de melhoria 14 .....</b>	<b>100</b>
5.3.15.1.	Balanço energético .....	100
5.3.15.2.	Envolvente .....	100
5.3.15.3.	Sistemas .....	101
<b>5.3.16.</b>	<b>Medida de melhoria 15 .....</b>	<b>101</b>
5.3.16.1.	Balanço energético .....	101
5.3.16.2.	Envolvente .....	101
5.3.16.3.	Sistemas .....	102
<b>5.3.17.</b>	<b>Medida de melhoria 16 .....</b>	<b>102</b>
5.3.17.1.	Balanço energético .....	102
5.3.17.2.	Envolvente .....	103
5.3.17.3.	Sistemas .....	103
<b>5.3.18.</b>	<b>Medida de melhoria 17 .....</b>	<b>104</b>
5.3.18.1.	Balanço energético .....	104
5.3.18.2.	Envolvente .....	104

5.3.18.3.	Sistemas .....	105
<b>5.3.19.</b>	<b>Medida de melhoria 18 .....</b>	<b>105</b>
5.3.19.1.	Balanço energético .....	105
5.3.19.2.	Envolvente .....	105
5.3.19.3.	Sistemas .....	106
<b>5.3.20.</b>	<b>Medida de melhoria 19 .....</b>	<b>106</b>
5.3.20.1.	Balanço energético .....	106
5.3.20.2.	Envolvente .....	107
5.3.20.3.	Sistemas .....	107
<b>5.3.21.</b>	<b>Medida de melhoria 20 .....</b>	<b>108</b>
5.3.21.1.	Balanço energético .....	108
5.3.21.2.	Envolvente .....	108
5.3.21.3.	Sistemas .....	109
<b>5.3.22.</b>	<b>Medida de melhoria 21 .....</b>	<b>109</b>
5.3.22.1.	Balanço energético .....	109
5.3.22.2.	Envolvente .....	109
5.3.22.3.	Sistemas .....	110
<b>5.3.23.</b>	<b>Medida de melhoria 22 .....</b>	<b>110</b>
5.3.23.1.	Balanço energético .....	110
5.3.23.2.	Envolvente .....	111
5.3.23.3.	Sistemas .....	111
<b>5.3.24.</b>	<b>Medida de melhoria 23 .....</b>	<b>112</b>
5.3.24.1.	Balanço energético .....	112
5.3.24.2.	Envolvente .....	112
5.3.24.3.	Sistemas .....	113
<b>5.3.25.</b>	<b>Medida de melhoria 24 .....</b>	<b>113</b>
5.3.25.1.	Balanço energético .....	113
5.3.25.2.	Envolvente .....	114
5.3.25.3.	Sistemas .....	114
<b>5.3.26.</b>	<b>Medida de melhoria 25 .....</b>	<b>115</b>
5.3.26.1.	Balanço energético .....	115
5.3.26.2.	Envolvente .....	115
5.3.26.3.	Sistemas .....	116
<b>5.4.</b>	<b>4ª Fase – Estudo económico das soluções .....</b>	<b>117</b>

5.6. 5ª Fase – Análise dos resultados obtidos .....	120
6. Conclusão .....	123
Bibliografia.....	125
Anexos .....	129

## Índice de figuras

Figura 3.1 – Várias fases da metodologia de custo ótimo [18] .....	16
Figura 3.2 – Representação do método iterativo da metodologia de custo ótimo [25] .....	17
Figura 4.1 – Vista de corte de revestimentos independentes descontínuos [19] .....	21
Figura 4.2 – Vista de corte de sistema ETICS [19] .....	22
Figura 4.3 – Contra fachada executada pelo lado interior [19] .....	25
Figura 6 – Vista de corte de coberturas inclinadas [19] .....	29
Figura 7 – Vista de corte de coberturas horizontais [19].....	31
Figura 8 – Seletividade espectral crescente dos envidraçados [19] .....	34
Figura 5.1 – Planta do edifício em estudo .....	38
Figura 5.2 – Vista 3D dos Alçados Sul e Este do edifício .....	39
Figura 5.3 – Vista 3D dos Alçados Norte e Oeste do edifício .....	39
Figura 5.4 – Vista de corte da parede exterior da situação inicial sem degradação .....	40
Figura 5.5 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da situação inicial sem degradação .....	41
Figura 5.6 – Vista de corte da parede exterior da situação inicial com degradação .....	41
Figura 5.7 - Características térmicas dos materiais da parede exterior da situação inicial com degradação .....	42
Figura 5.8 – Vista de corte da parede interior da situação inicial.....	43
Figura 5.9 – Características térmicas dos materiais da parede interior da situação inicial .....	43
Figura 5.10 – Vista de corte da cobertura da situação inicial sem degradação	44

Figura 5.11 – Características térmicas dos materiais da cobertura da situação inicial sem degradação .....	45
Figura 5.12 – Vista de corte da cobertura da situação inicial com degradação	45
Figura 5.13 – Características térmicas dos materiais da cobertura da situação inicial com degradação .....	46
Figura 5.14 – Vista de corte do pavimento térreo da situação inicial.....	47
Figura 5.15 – Características térmicas dos materiais do pavimento térreo da situação inicial.....	47
Figura 5.16 – Características térmicas dos envidraçados dos quartos.....	48
Figura 5.17 - Características térmicas do envidraçado do WC.....	49
Figura 5.18 - Características térmicas do envidraçado da sala .....	50
Figura 5.19 - Características térmicas do envidraçado da cozinha .....	51
Figura 5.20 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 1 .....	53
Figura 5.21 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 1.....	54
Figura 5.22 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 2 .....	55
Figura 5.23 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 2.....	55
Figura 5.24 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 3 .....	56
Figura 5.25 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 3.....	57
Figura 5.26 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 4 .....	58
Figura 5.27 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 4.....	58
Figura 5.28 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 5 .....	59
Figura 5.29 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 5.....	60
Figura 5.30 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 6 .....	61

Figura 5.31 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 6.....	61
Figura 5.32 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 7 .....	62
Figura 5.33 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 7.....	63
Figura 5.34 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 8 .....	64
Figura 5.35 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 8.....	64
Figura 5.36 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 9 .....	65
Figura 5.37 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 9.....	66
Figura 5.38 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 10 .....	67
Figura 5.39 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 10.....	67
Figura 5.40 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 11 .....	68
Figura 5.41 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 11.....	69
Figura 5.42 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 12 .....	70
Figura 5.43 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 12 .....	70
Figura 5.44 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 13 .....	71
Figura 5.45 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 13 .....	72
Figura 5.46 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 14 .....	73
Figura 5.47 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 14 .....	73
Figura 5.48 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 15 .....	74

Figura 5.49 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 15 .....	75
Figura 5.50 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 16 .....	76
Figura 5.51 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 16 .....	76
Figura 5.52 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 17 .....	77
Figura 5.53 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 17 .....	78
Figura 5.54 – Obtenção do ponto ótimo [25].....	120

## Índice de tabelas

Tabela 4.1 – Tipo de soluções de aplicação do isolamento térmico pelo exterior do edifício [19].....	20
Tabela 4.2 – Tipos de soluções de aplicação de isolamento térmico pelo interior do edifício [19].....	24
Tabela 4.3 – Tipos de soluções de aplicação do isolamento térmico na caixa de ar de paredes duplas [19] .....	26
Tabela 4.4 – Tipos de soluções de reabilitação térmica de pavimentos [19]....	28
Tabela 4.5 – Tipos de soluções de reabilitação de coberturas inclinadas [19] .	30
Tabela 4.6 - Dispositivos de sombreamentos para envidraçados [19].....	36
Tabela 5.1 – Balanço energético da situação inicial com degradação .....	81
Tabela 5.2 – Indicadores de aquecimento da situação inicial com degradação .....	81
Tabela 5.3 – Indicadores de arrefecimento da situação inicial com degradação .....	82
Tabela 5.4 – Rendimentos dos sistemas na situação inicial com degradação .	82
Tabela 5.5 – Balanço energético da medida de melhoria 1 .....	82
Tabela 5.6 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 1.....	83
Tabela 5.7 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 1 .....	83
Tabela 5.8 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 1 .....	83
Tabela 5.9 – Balanço energético da medida de melhoria 2 .....	84
Tabela 5.10 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 2.....	84
Tabela 5.11 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 2 .....	84
Tabela 5.12 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 2.....	85
Tabela 5.13 – Balanço energético da medida de melhoria 3 .....	85
Tabela 5.14 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 3.....	85
Tabela 5.15 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 3 .....	86

Tabela 5.16 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 3 .....	86
Tabela 5.17 – Balanço energético da medida de melhoria 4 .....	86
Tabela 5.18 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 4 .....	87
Tabela 5.19 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 4 .....	87
Tabela 5.20 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 4 .....	87
Tabela 5.21 – Balanço energético da medida de melhoria 5 .....	88
Tabela 5.22 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 5 .....	88
Tabela 5.23 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 5 .....	88
Tabela 5.24 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 5 .....	89
Tabela 5.25 – Balanço energético da medida de melhoria 6 .....	89
Tabela 5.26 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 6 .....	89
Tabela 5.27 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 6 .....	90
Tabela 5.28 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 6 .....	90
Tabela 5.29 – Balanço energético da medida de melhoria 7 .....	90
Tabela 5.30 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 7 .....	91
Tabela 5.31 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 7 .....	91
Tabela 5.32 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 7 .....	91
Tabela 5.33 – Balanço energético da medida de melhoria 8 .....	92
Tabela 5.34 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 8 .....	92
Tabela 5.35 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 8 .....	92
Tabela 5.36 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 8 .....	93
Tabela 5.37 – Balanço energético da medida de melhoria 9 .....	93
Tabela 5.38 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 9 .....	93
Tabela 5.39 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 9 .....	94
Tabela 5.40 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 9 .....	94
Tabela 5.41 – Balanço energético da medida de melhoria 10 .....	94

Tabela 5.42 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 10.....	95
Tabela 5.43 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 10 .....	95
Tabela 5.44 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 10.....	95
Tabela 5.45 – Balanço energético da medida de melhoria 11 .....	96
Tabela 5.46 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 11.....	96
Tabela 5.47 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 11 .....	96
Tabela 5.48– Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 11 .....	97
Tabela 5.49 – Balanço energético da medida de melhoria 12 .....	97
Tabela 5.50 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 12.....	97
Tabela 5.51 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 12 .....	98
Tabela 5.52 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 12.....	98
Tabela 5.53 – Balanço energético da medida de melhoria 13 .....	98
Tabela 5.54 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 13.....	99
Tabela 5.55 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 13 .....	99
Tabela 5.56 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 13.....	99
Tabela 5.57 – Balanço energético da medida de melhoria 14 .....	100
Tabela 5.58 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 14.....	100
Tabela 5.59 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 14 .....	100
Tabela 5.60 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 14.....	101
Tabela 5.61 – Balanço energético da medida de melhoria 15 .....	101
Tabela 5.62 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 15.....	101
Tabela 5.63 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 15 .....	102
Tabela 5.64 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 16.....	102
Tabela 5.65 – Balanço energético da medida de melhoria 16 .....	102
Tabela 5.66 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 16.....	103
Tabela 5.67 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 16 .....	103

Tabela 5.68 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 16.....	103
Tabela 5.69 – Balanço energético da medida de melhoria 17 .....	104
Tabela 5.70 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 17.....	104
Tabela 5.71 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 17 .....	104
Tabela 5.72 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 17.....	105
Tabela 5.73 – Balanço energético da medida de melhoria 18 .....	105
Tabela 5.74 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 18.....	105
Tabela 5.75 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 18 .....	106
Tabela 5.76 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 18.....	106
Tabela 5.77 – Balanço energético da medida de melhoria 19 .....	106
Tabela 5.78 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 19.....	107
Tabela 5.79 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 19 .....	107
Tabela 5.80 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 19.....	107
Tabela 5.81 – Balanço energético da medida de melhoria 20 .....	108
Tabela 5.82 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 20.....	108
Tabela 5.83 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 20 .....	108
Tabela 5.84 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 20.....	109
Tabela 5.85 – Balanço energético da medida de melhoria 21 .....	109
Tabela 5.86 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 21.....	109
Tabela 5.87 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 21 .....	110
Tabela 5.88 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 21.....	110
Tabela 5.89 – Balanço energético da medida de melhoria 22 .....	110
Tabela 5.90 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 22.....	111
Tabela 5.91 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 22 .....	111
Tabela 5.92 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 22.....	111
Tabela 5.93 – Balanço energético da medida de melhoria 23 .....	112

Tabela 5.94 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 23.....	112
Tabela 5.95 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 23 .....	112
Tabela 5.96 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 23.....	113
Tabela 5.97 – Balanço energético da medida de melhoria 24 .....	113
Tabela 5.98 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 24.....	114
Tabela 5.99 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 24 .....	114
Tabela 5.100 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 24 ....	114
Tabela 5.101 – Balanço energético da medida de melhoria 25 .....	115
Tabela 5.102 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 25.....	115
Tabela 5.103 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 25 .....	115
Tabela 5.104 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 25....	116
Tabela 5.105 – Estudo económico das medidas de melhoria (1/2) .....	118
Tabela 5.106 – Estudo económico das medidas de melhoria (2/2) .....	119
Tabela 5.107 – Estudo económico das “melhores” medidas de melhoria .....	121

## Lista de acrónimos

**BIM** – Building Information Model

**BEM** – Building Energy Model

**EU** – União Europeia

**AVAC** – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

**DGEG** – Direção Geral da Energia e Geologia

**IEE** – Índice de Eficiência Energética

**EPBD** – Diretiva Europeia de Eficiência Energética de Edifícios

**ER** – Edifício de Referência

**CE** – Comissão Europeia

**PQ** – Peritos Qualificados

**SCE** – Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior

**EM** – Estados Membros

**AQS** – Águas Quentes Sanitárias

**MEP** – Mechanical Electrical and Plumbing (Mecânica, Eletricidade e Canalização)

# 1. Introdução

Atualmente, os edifícios são um dos setores de atividade responsáveis pelo consumo de aproximadamente 40% da energia. A grandeza destes valores demonstra a necessidade da aplicação dos princípios do desenvolvimento sustentável, tendo em vista o aumento da eficiência energética dos edifícios, tanto novos como os reabilitados [4].

Com o preço da energia a disparar para níveis cada vez mais elevados, e com as notícias sobre o aquecimento global a serem cada vez mais alarmantes, a Europa propôs-se a implementar um sistema de eficiência energética através do qual pretende simultaneamente reduzir a sua dependência dos combustíveis fósseis e diminuir as emissões de carbono para a atmosfera [5].

Em Portugal, com o recurso cada vez maior a equipamentos de ar condicionado, os edifícios tornaram-se, nos últimos anos, nos maiores consumidores de energia do país, e é neles que se coloca o maior desafio para o aumento da eficiência energética [5].

Sendo que com todos estes fatores o plano de ação identificado pela Comissão Europeia (CE) como o com mais potencial para aumento da eficiência energética e conseqüentemente reduzir o consumo de energia dos edifícios foi a metodologia de custo-ótimo [4].

A metodologia de custo-ótimo divide-se em cinco fases cuja aplicação sequencial constitui um método iterativo que possibilita a obtenção das soluções de melhoria do desempenho energético, que minimizam o custo global do investimento no edifício de referência (ER) [4].

A aplicação das soluções otimizadas através da metodologia de custo ótimo na envolvente do ER é um dos fatores críticos para reduzir as necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento do ER [4]. Através da redução das necessidades de energia é possível obter o retorno financeiro do investimento realizado no processo de reabilitação do edifício devido às poupanças energéticas proporcionadas pelas novas soluções otimizadas.

Em Portugal, como noutros países da EU, a reabilitação de edifícios tem sido uma atividade que tem vindo a aumentar constantemente nos últimos anos, e espera-se que ganhe cada vez mais relevância comparativamente à construção de edifícios novos. A reabilitação de edifícios é vista como uma medida sustentável para melhorar a eficiência energética de edifícios existentes [18].

O estudo de diversas medidas de melhoria de desempenho energético é uma tarefa frequente por parte dos diversos intervenientes no sector da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) com especial destaque para os Peritos Qualificados (PQ) do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE). A principal diferença contida na presente abordagem consiste na utilização de modelos digitais (BIM e BEM) que permitem uma extração automática de informação analítica e financeira e o estudo de inúmeros cenários possíveis agilizando assim o processo de otimização.

## 2. Enquadramento legal

### 2.1. Legislação europeia

O tema da sustentabilidade e eficiência energética tem ganho nos últimos anos uma proeminência crescente na Europa e em outros continentes impulsionando o desenvolvimento dos sectores de mercado em distintos ramos da engenharia, incluindo o da engenharia mecânica. Esse desenvolvimento deve-se a um conjunto de fatores cumulativos de extrema importância, entre os quais deverá destacar a recente crise, a necessidade de redução dos custos de energia e uma preocupação crescente com as alterações climáticas.

Ao longo das últimas décadas a União Europeia (EU), tem apostado em políticas que visam impulsionar o aumento da eficiência energética no seu parque edificado, com o objetivo de reduzir a dependência energética da EU e de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa.

A 13 de Setembro de 1993 foi lançada a Diretiva 93/76/CEE (SAVE) relativa à limitação das emissões de dióxido carbono (CO<sub>2</sub>). Segundo esta diretiva os Estados-Membros deveriam limitar as emissões de CO<sub>2</sub> através do aumento da eficiência energética, nomeadamente com base nos seguintes programas [6]:

- Certificação energética de edifícios;
- Faturação das despesas de aquecimento, ar condicionado e água quente sanitária com base no consumo real;
- Financiamento por terceiros dos investimentos em eficiência energética no sector público;
- Isolamento térmico dos edifícios novos;
- Inspeção periódica das caldeiras;
- Auditorias energéticas nas empresas com elevado consumo de energia.

A 26 de Abril de 2000 foi criado um plano de ação para melhorar a eficiência energética na Comunidade Europeia que surge com a necessidade de renovar o empenhamento a nível da Comunidade Europeia e Estados Membros na promoção mais ativa da eficiência energética. Na comunicação deste plano pode ler-se que existia um potencial económico de melhoria da eficiência energética

de mais de 18% do consumo no ano 2000, sendo este potencial resultante dos entraves comerciais que impediam uma divulgação satisfatória de tecnologias mais eficientes em termos energéticos e uma utilização eficiente de energia [7].

O plano de ação de 2000 para melhorar a eficiência energética, teve como objetivo aumentar a eficiência energética na Comunidade Europeia através da implementação de políticas e de medidas para a eliminação dos entraves identificados e a realização dos ganhos potenciais. No que concerne aos edifícios, as medidas incluem propostas de alterações da Diretiva 93/76/CEE, com o objetivo de melhorar os programas criados neste âmbito. Com estas alterações pretendeu-se que a diretiva passasse a abranger domínios como o isolamento térmico em edifícios existentes, os equipamentos instalados, a certificação alargada e as concessões de licenças, a utilização em pequena escala de energias renováveis em edifícios, a cogeração, as auditorias energéticas, a gestão energética e os mecanismos de garantia de resultados [7].

A 16 de Dezembro de 2002 surge a Diretiva 2002/91/CE que tem como objetivo a melhoria do desempenho energético na Comunidade Europeia, tendo em conta as condições climáticas externas bem como as condições locais, as exigências para o conforto interior e a rentabilidade económica [8]. Pode-se ler nesta diretiva que existiam à data alguns benefícios importantes no desempenho energético, resultantes da criação e implementação de programas por parte dos Estados Membros através da Diretiva 93/76/CEE, mas que seria necessário um instrumento jurídico complementar para instituir ações mais concretas, com vista a materializar o grande potencial não consumado de economia de energia e reduzir as grandes diferenças entre os Estados-Membros [8]. A diretiva estabelece requisitos mínimos para a metodologia de cálculo do desempenho energético de edifícios novos e de edifícios existentes sujeitos a grandes renovações, a certificação energética, e a inspeção e avaliação de caldeiras, e instalações de ar condicionado. Os requisitos devem ser adaptados às condições climáticas locais, revistos e se necessário atualizados regularmente com intervalos não superiores a 5 anos. Estes requisitos deverão ser diferenciados para edifícios novos e edifícios existentes [8]. A metodologia de cálculo poderá ser diferenciada a nível regional ou nacional e deverá integrar pelo menos os seguintes aspetos:

- Características térmicas do edifício que poderão incluir também a estanquidade do ar;
- Instalação de aquecimento e fornecimento de água quente, incluindo as respetivas características de isolamento térmico;
- Instalação de ar condicionado;
- Ventilação;
- Instalação fixa de iluminação (em especial do setor não residencial);
- Posição e orientação dos edifícios, incluindo condições climáticas exteriores;
- Sistemas solares passivos e proteção solar;
- Ventilação natural;
- Condições climáticas interiores, incluindo as de projeto.

A influência positiva da aplicação de fontes de energia renováveis, sistemas de cogeração, sistemas urbanos ou coletivos de aquecimento e arrefecimento e ainda a iluminação natural deverá ser tida em conta na metodologia de cálculo [8]. Nesta diretiva é também focada a preocupação com o grande aumento de aparelhos de ar condicionado nos países do sul da Europa, e o conseqüente aumento do preço da energia elétrica e a deterioração do equilíbrio energético. Para resolver este problema, a diretiva estabelece como prioritárias as estratégias de desempenho energético para a estação de Verão, nomeadamente um maior desenvolvimento nas técnicas de arrefecimento passivo que contribuem para melhorar a qualidade do ar no interior do edifício e também o microclima em torno dos edifícios [8].

Na reunião do Conselho Europeu em Março de 2007 foi estabelecido o objetivo de reduzir em 20% o consumo de energia até 2020, através do aumento da eficiência energética com aplicação do “Plano de Ação para a Eficiência Energética: Concretizar o Potencial” [2] Este novo plano de ação criado em 2006 identifica um potencial de redução do consumo de energia em mais de 20% até 2020 [5], e delinea políticas e medidas para concretização desse potencial. Destas políticas e medidas constam 10 ações prioritárias que passam por:

- Estabelecer requisitos dinâmicos de desempenho energético para produtos serviços e edifícios;

- Melhorar a eficiência do setor transformador da energia e dos transportes;
- Aperfeiçoar os instrumentos de financiamento e incentivos económicos, e promover e aumentar a sensibilização para a eficiência energética.

Entre outras medidas, o plano promove ainda a aplicação e alteração da Diretiva 2002/91/CE para o desempenho energéticos dos edifícios, propondo:

- Uma maior intervenção do setor público na demonstração de novos métodos e tecnologias (2009);
- Redução significativa do limiar dos requisitos mínimos de desempenho em grandes obras de renovação (2009);
- Requisitos mínimos de desempenho (kWh/m<sup>2</sup>) em edifícios novos e restaurados e em alguns componentes, tendo como meta aproximar o nível dos novos edifícios do dos edifícios com climatização passiva (não mecânica) a partir de 2015 (2009);
- Requisitos vinculativos para a instalação de tecnologias de aquecimento e refrigeração, passivos (até o final de 2008);
- Medidas para o financiamento, por parte do Estados-Membros, de investimentos de alta rentabilidade económica.

Na Resolução do Parlamento Europeu, de 31 de Janeiro de 2008, o “Plano de Ação para a Eficiência Energética”, de 2006 foi acolhido favoravelmente, tendo sido considerado que o objetivo de melhorar a eficiência energética até 2020 é inteiramente realizável do ponto de vista técnica e económico, sendo, no entanto, sublinhada alguma preocupação com o atraso na aplicação da legislação sobre eficiência energética por parte do Estados-Membros [9].

Na Resolução do Parlamento Europeu, de 3 de Fevereiro de 2009, sobre a Segunda Análise Estratégica da Política Energética, são confirmados os objetivos de reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa, reduzir em pelo menos 20% o consumo de energia e aumentar em 20% a produção de energia com origem em fontes renováveis, até 2020. Para além destes objetivos propõem-se ainda alguns objetivos para 2050, nomeadamente: redução de 80% das emissões de gases com efeito de estufa, aumento de 35% da eficiência energética e uma quota-parte de 60% de energias renováveis [10].

A 23 de Abril de 2009, na Decisão N°406/2009/CE, foram fixados objetivos vinculativos de redução das emissões de CO<sub>2</sub>, para os quais a eficiência energética no setor dos edifícios é essencial. Estes objetivos estão estabelecidos no Anexo II da Decisão N°406/2009/CE [2].

No mesmo dia foi lançada a Diretiva 2009/28/CE relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia para 2020 [11]. Estes objetivos estão estabelecidos na parte A do Anexo I da Diretiva 2009/28/CE. Segundo o artigo 3º desta diretiva, cabe aos Estados-Membros introduzir medidas que assegurem o cumprimento destes objetivos. Para tal poderão aplicar as seguintes medidas:

- Regimes de apoios;
- Medidas de cooperação entre vários Estados-Membros e com países terceiros para alcançarem os seus objetivos nacionais globais.

A 19 de Maio de 2010 foi publicada a Diretiva 2010/31/EU, sendo esta a diretiva em vigor atualmente para o desempenho energético dos edifícios. Nesta, o âmbito dos requisitos mínimos de desempenho energético é alargado para frações autónomas, elementos construtivos e sistemas técnicos de edifícios. Também são estabelecidos requisitos mínimos, nos planos nacionais, de forma a aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia, a incrementar a certificação energética de edifícios e frações autónomas, a promover e aumentar a inspeção regular das instalações de aquecimento e ar condicionado, a promover a instalação de sistemas de controlo, independentes dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção [2]. Os Estados-Membros devem garantir que os requisitos mínimos de desempenho energético são estabelecidos, para que se atinja o nível ótimo de rentabilidade [2], sendo este o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico [2]

Para cálculo dos requisitos, foi publicado a 16 de Janeiro de 2012 um regulamento complementar à Diretiva 2010/31/EU (Regulamento Delegado (EU) N°244/2012 da Comissão). Este regulamento estabelece o quadro metodológico comparativo a utilizar pelos Estados-Membros para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios

novos e existentes, bem como dos componentes de edifícios, de acordo com o artigo 5º, o anexo I e o anexo III da Diretiva 2010/31/EU [9]. De acordo com o artigo 2º do regulamento complementar, no quadro metodológico pode-se optar por uma perspetiva macroeconómica e financeira cabendo aos Estados-Membros determinar qual destas serve como referencia nacional [11]. Para a realização do cálculo, os Estados Membros devem:

- Tomar como ano de início do cálculo o ano em que este é efetuado;
- Utilizar o período de cálculo, que de acordo com o anexo I é de 30 anos para edifícios residenciais e públicos, e 20 anos para edifícios comerciais e não comerciais;
- Utilizar as categorias de custos previstas no Anexo I que poderão ser, custos iniciais de investimento, custo de utilização, custos de energia, custos de eliminação e para o cálculo macroeconómico deve-se incluir também das emissões de gases com efeito de estufa;
- Utilizar como valores mínimos vinculativos para a determinação dos custos do carbono os preços previstos do carbono no RCLE que constam do anexo II.

De acordo com o regulamento, os Estados Membros devem ainda complementar o quadro metodológico comparativo através do estabelecimento dos seguintes parâmetros, para efeitos de cálculo [11]:

- Ciclo de vida económico estimado de um edifício e/ou componente do edifício;
- Taxa de desconto;
- Custos relativos aos vetores de energia, aos produtos, aos sistemas, à manutenção, aos custos de exploração e aos custos de mão-de-obra;
- Fatores de energia primária;
- Evolução do preço prevista para todos os vetores de energia, tendo em conta as informações do anexo II.

Em relação à metodologia de cálculo do desempenho energético na Diretiva 2010/31/EU, esta é semelhante à da diretiva anterior. No entanto, com esta nova diretiva são integrados aspetos adicionais que não constam na metodologia de cálculo da Diretiva 2002/91/CE, nomeadamente: capacidade térmica, pontes

térmicas, aquecimento e arrefecimento passivo, ventilação mecânica e cargas internas. Também passa a ser tida em conta a influência positiva das condições locais de exposição solar, para além das outras já especificadas na diretiva 2002/91/CE [2].

A diretiva 2010/31/EU incentiva os Estados-Membros a elaborar uma lista de medidas, instrumentos e programas nacionais ou regionais de apoio financeiro, que promovam os objetivos relativos ao desempenho energético dos edifícios [2].

No Conselho Europeu de 4 de Fevereiro de 2011 chegou-se à conclusão que a EU não está em vias de concretizar os objetivos do “20-20-20” até 2020, e que será necessário implementar medidas que sirvam para o aumento da renovação do parque imobiliário da União, visto ser este o setor com maior potencial de economia de energia [13]. Crê-se que a aplicação do novo plano de ação tem potencial para gerar poupanças na ordem dos mil euros (1000€) anuais por família, criar até 2 milhões de postos de trabalho e reduzir as emissões anuais de gases com efeito de estufa em cerca de 740 milhões de toneladas [14]. Em relação aos edifícios, com este plano pretende-se um aumento da renovação dos edifícios públicos e privados, e uma melhoria do desempenho energético dos seus componentes e equipamentos utilizados [14]. No documento de avaliação de impactos do Plano de Eficiência Energética de 2011 são analisadas seis políticas alternativas para a eficiência energética nos diversos setores de intervenção, sendo que, na presente dissertação, será apenas tratado o sector dos edifícios.

A primeira política alternativa resulta da aplicação dos instrumentos já existentes que são as Diretivas 2002/91/CE e 2010/31/EU para o desempenho energético dos edifícios, as Diretivas 2005/35/CE e 2009/125/CE relativas à criação de um quadro para definir os requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionadas com o consumo de energia, as Diretivas 92/75/CEE e 2010/125/CE relativas à indicação do consumo de energia dos aparelhos domésticos por meio de rotulagem e outras indicações uniformes relativas aos produtos, alguns programas de financiamento, e medidas fiscais também a nível europeu. A aplicação destes instrumentos contribuiu para a diminuição dos desafios

existentes, não sendo, no entanto, suficiente face ao aumento do consumo final de energia que se espera para 2020 [15].

A segunda política alternativa analisada foi o “compromisso voluntário com entidades comerciais”, e resulta de acordos voluntários combinados entre autoridades públicas e entidades comerciais ou organizações de uma atividade económica específica por forma a estimular o aumento da taxa de renovação nos edifícios existentes. O impacto social desta medida traduz-se por melhores condições de vida e bem-estar para os ocupantes, sendo estimado nesta análise que para cada 1€ investido na eficiência energética são poupados 0,42€ em despesas de saúde [15].

A terceira opção analisada no documento de avaliação de impactos é a “implementação de instrumentos reguladores”. Consiste na implementação de rigorosas medidas obrigatórias adicionais que permitam assegurar que a renovação dos edifícios é realizada e que o potencial de eficiência energética é alcançado. Na avaliação dos impactos destas medidas, este documento refere, por exemplo, que se for exigido que os edifícios classificados nas duas classes energéticas de pior desempenho (F e G) não possam ser arrendados até que o seu desempenho seja melhorado, o adicional de poupança de energia primária para 2020 poderia ser de cerca de 33 Mtoe com redução de 65 Mt na emissão de CO<sub>2</sub>. Esta medida, pela reabilitação que gera, tem também o potencial para gerar 375 000 postos de trabalho [15]. No entanto, em muitos casos, famílias com menores rendimentos vivem em edifícios com piores desempenhos energéticos, logo as exigências na renovação dos seus edifícios será um fardo adicional no seu orçamento [15].

A quarta opção do documento de avaliação de impactos, está relacionada com os instrumentos financeiros sendo abordadas duas políticas. A primeira diz respeito à “facilidade na partilha de riscos e assistência técnica” em que o suporte da EU em forma de subsídios não deve ser prioritário (exceto através de fundos estruturais). O suporte da EU deve ser direcionado para tornar os projetos financiáveis através de um mecanismo de partilha de riscos, que aborda a liquidez limitada para criar alavancagem e atrair investimentos. A criação de alavancagem, mas também de parcerias público-privadas aliviaria o défice público nacional e local em tempos de crise [15]. A implementação desta medida

tem potencial de criação de trabalho direto e induzido entre 60 000 e 300 000 postos altamente qualificados [15], e se bem orientada, tem potencial para retirar famílias da pobreza energética [15].

A outra política abordada em relação aos instrumentos de financiamento diz respeito à “condicionalidade da eficiência energética na despesa dos fundos públicos”, através dos certificados de desempenho energético e auditorias, quando os fundos públicos são gastos em projetos de renovação [15]. Esta abordagem levaria à compra de aparelhos e edifícios mais eficientes, sendo que o aumento das encomendas poderia levar à criação de um mercado de produtos, edifícios e serviços de eficiência energética conduzindo assim a novas economias de energia e à criação de emprego [15].

Outra política abordada no documento de avaliação de impactos do novo plano de ação, é a “sensibilização”. Segundo esta abordagem, os programas de sensibilização de emprego devem ser desenvolvidos a nível local, regional e nacional e poderão ter como alvo, proprietários/arrendatários, profissionais da construção e autoridades públicas.

No documento de avaliação de impactos podemos ler que nos Estados Unidos da América a energia consumida pelas famílias sofreu uma redução de 22% através da mudança de comportamentos. Estima-se que na Europa a mudança de comportamento tenha potencial para gerar poupanças no consumo de energia de cerca de 20% [15].

A última política analisada é a de “formação”. Através desta política, pretende-se diminuir a falta de mão-de-obra qualificada na construção, visto que esta é uma das principais barreiras não tecnológicas e não financeiras à melhoria da eficiência energética nos edifícios. Segundo o documento de avaliação de impactos, existe uma estimativa conservadora que aponta para 10% o potencial de poupança de energia, dependente da qualificação de trabalhadores [15].

A 25 de Outubro de 2012, foi lançada a Diretiva 2012/27/EU para a eficiência energética. Nas suas considerações pode-se ler que o objetivo de alcançar 20% de eficiência energética em 2020 não está em vias de ser alcançado [13], sendo, portanto, necessário implementar um aumento da promoção da eficiência energética. Para tal esta diretiva estabelece um quadro comum de medidas de

promoção da eficiência energética e também regras destinadas a eliminar os obstáculos do mercado [13]. Segundo a diretiva cabe aos Estados Membros elaborar estratégias para o aumento da eficiência energética. Estes deverão fixar os objetivos indicativos nacionais de eficiência energética e comunicar à Comissão explicando como chegaram a esse valor [13]. Esta diretiva volta a reforçar a importância de aumentar a taxa de renovação dos edifícios existentes com vista à melhoria da eficiência energética na EU. Com este objetivo em mente, a diretiva impõe aos Estados Membros o estabelecimento de uma estratégia a longo prazo para mobilizar investimento na renovação do parque nacional de edifícios residenciais e comerciais, tanto públicos como privados. De acordo com o artigo 4º, essa estratégia compreende:

- Uma panorâmica do parque imobiliário nacional baseada, se adequado, numa amostra estatística;
- Uma identificação das abordagens rentáveis das renovações relevantes para o tipo de edifício e para a zona climática;
- Políticas e medidas destinadas a incentivar renovações profundas de edifícios rentáveis;
- Uma perspetiva de futuro destinada a orientar a tomada de decisões em matéria de investimento, por particulares, pela indústria da construção e pelas instituições financeiras;
- Uma estimativa com base em dados factuais, das economias de energia esperadas e de outros benefícios possíveis.

No sentido de eliminar os entraves do mercado, os Estados Membros devem assegurar a divulgação e a transparência da informação a todos os agentes do mercado, sobre os mecanismos de melhoria da eficiência energética e sobre o quadro jurídico e financeiro. Devem ainda incentivar a prestação de informação aos bancos e a outras instituições financeiras quanto às possibilidades de participarem no financiamento de medidas para melhorar a eficiência energética [13].

## 2.2. Legislação nacional

Em Portugal o primeiro instrumento legal que impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e grandes remodelações foi o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado a 6 de Fevereiro de 1990 pelo Decreto-Lei nº40/90. O RCCTE tinha como o objetivo a satisfação das condições de conforto térmico nos edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no Verão quer no Inverno, e ao mesmo tempo visava garantir a minimização de patologias resultantes de condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente [16]. Em 1998 foi aprovado pelo Decreto-Lei nº118/98 de 7 de Maio, o Regulamento procurava evitar o sobredimensionamento dos edifícios a nível da potência dos sistemas neles instalados, melhorando assim a eficiência energética dos edifícios [17].

A 4 de Abril de 2006 é aprovada uma reformulação do RCCTE pelo Decreto-Lei nº80/2006 e também uma reformulação do RSECE pelo Decreto-Lei nº79/2006. O novo RCCTE alargou as suas exigências em relação ao anterior, ao definir objetivos de provisão de taxas de renovação do ar adequadas que devem ser obrigatoriamente satisfeitas [16]. Tem também em conta a Diretiva 2002/91/CE, impondo-se, assim que, o regulamento seja atualizado de forma a satisfazer as exigências adequadas ao novo contexto social, económico e energético, promovendo um novo acréscimo de qualidade térmica nos edifícios, para tal o regulamento atualiza os valores dos requisitos específicos [16].

A revisão do RSECE enquadra-se na Diretiva 2002/91/CE, e o Decreto-Lei nº79/2006, com os seguintes objetivos da revisão:

- Definir as condições do conforto térmico e de higiene que devem ser requeridas nos diferentes espaços dos edifícios, em consonância com as respetivas funções;
- Melhorar a eficiência energética global dos edifícios, não só nos consumos para climatização, mas em todos os tipos de consumos de energia que neles tem lugar, promovendo a sua limitação efetiva para padrões aceitáveis, quer nos edifícios existentes, quer nos edifícios a

construir ou nas grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes;

- Impor regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efetivo e garantir os meios para manutenção de uma boa qualidade do ar interior, quer a nível do projeto, quer a nível da sua instalação, quer durante o seu funcionamento através de uma manutenção adequada;
- Monitorizar com regularidade as práticas de manutenção dos sistemas de climatização como condição da eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios.

A 4 de Abril de 2006 é também aprovado pelo Decreto-Lei nº78/2006 o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Diretiva 2002/91/CE. De acordo com o Decreto-Lei nº78/2006, o SCE tem como finalidade:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.

A 20 de Agosto de 2013 foi publicado o novo Decreto-Lei nº118/2013 que transpõe a Diretiva 2010/31/EU e que faz uma revisão da legislação nacional, passando a incluir num único diploma, o SCE, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho

Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Sendo assim o Decreto-Lei nº118/2013 revoga o Decreto-Lei nº78/2006, o Decreto-Lei nº79/2006 e o Decreto-Lei nº80/2006.

### 3. Metodologia de custo ótimo

A eficiência energética dos edifícios calculada com base na metodologia comparativa de custo ótimo, diferenciada por países e regiões, não considera apenas as características térmicas, mas também outros fatores que têm vindo a tomar mais peso como aquecimento e instalações de ar condicionado, aplicação de fontes de energia renováveis, aquecimento passivo, elementos de arrefecimento, sombreamentos, qualidade do ar interior [2]. A metodologia de custo ótimo não deve ter como base apenas a época no qual o aquecimento é necessário, mas sim todas as necessidades do edifício ao longo do ano tendo em conta os valores de referência das diretivas Europeias e Nacionais [2].

De acordo com o Diretiva Europeia de Eficiência Energética de Edifícios (EPBD) a metodologia de custo ótimo deve ser usada como abordagem generalizada de cálculo, sendo que, deve ser adaptada de acordo com as metodologias de cálculo e regulamentos existentes por cada Estado Membro [18].

A metodologia de custo ótimo será aplicada de forma faseada no desenvolver do caso de estudo desta dissertação, tendo em conta os requerimentos estabelecidos pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho da União Europeia através Regulamento N°244/2012/EU, de 16 de Janeiro 2012 [18]. A aplicação da metodologia de custo ótimo será realizada ao longo cinco fases de forma a conseguir obter um método iterativo expedito de cálculo das soluções otimizadas.

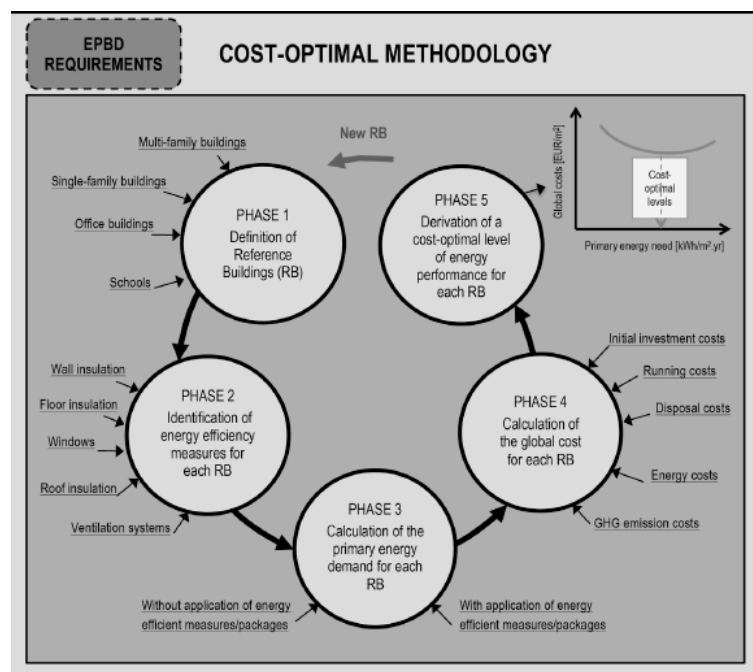


Figura 3.1 – Várias fases da metodologia de custo ótimo [18]

A primeira fase da metodologia de custo ótimo envolve a definição do edifício, é um passo importante porque esta deve ser fidedigna de forma a conseguir obter um bom modelo de estudo [18].

A segunda fase consiste na identificação das medidas de melhoria de eficiência energética que serão aplicadas no edifício estabelecido na primeira fase. No caso de estudo sendo que se trata de uma reabilitação as soluções devem ser de fácil implementação, rápidas de executar e devem evitar demolição sempre que possível [18].

A terceira fase consiste no cálculo das necessidades energéticas do edifício, com e sem as medidas de melhoria de eficiência energética que foram estudadas na segunda fase. O REH (2013) estabelece a metodologia de cálculo para calcular as necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias (AQS) [18].

Na quarta fase define-se uma metodologia de cálculo económico, tendo em conta o custo das soluções de melhoria de eficiência energética definidas na segunda fase, as manutenções ao longo da vida útil das soluções e o retorno financeiro de acordo com as poupanças promovidas pela aplicação das soluções de melhoria no edifício [18].

A quinta fase consiste numa análise dos resultados obtidos na terceira e quarta fases, das soluções escolhidas na segunda fase, determinando desta forma se as soluções selecionadas durante a segunda fase oferecem o melhor rácio custo-benefício [18].

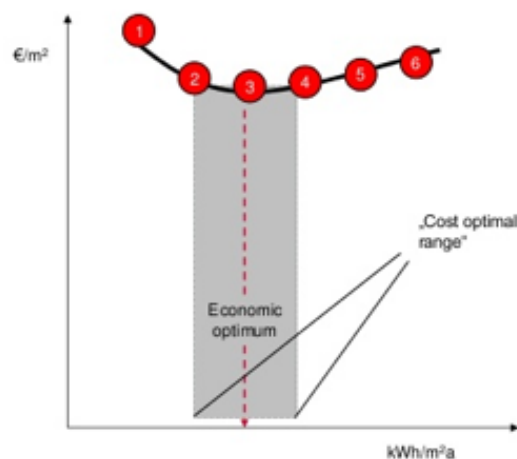


Figura 3.2 – Representação do método iterativo da metodologia de custo ótimo [25]

## 4. Soluções construtivas

Reconstruir e reabilitar não é mais caro do que construir de raiz, e, pode até ser bastante mais barato, conforme o estado do edifício e o reaproveitamento que se consiga fazer dos materiais que o constituem. O objetivo da reabilitação é aumentar o ciclo de vida do edifício e simultaneamente dotá-lo de maior adaptabilidade às funções a que está destinado [5].

Para a elaboração de um projeto de reabilitação, é necessário antes de mais realizar um diagnóstico aprofundado do estado de conservação do edifício em causa. Interessa avaliar as anomalias existentes, identificar as suas causas, definir todos os aspetos em que é necessário avaliar e tudo aquilo que pode ser reaproveitado [5].

Dentro da reabilitação geral do edifício, interessa encontrar soluções para a sua reabilitação térmica. As medidas a adotar têm de satisfazer os seguintes requisitos:

- Reforço da proteção térmica conferida pela envolvente dos edifícios (paredes, cobertura, pavimentos) e a sua compatibilização com o aproveitamento passivo da iluminação natural;
- Reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados, dotando-os com vidros apropriados e proteções solares, de forma a adequar os ganhos térmicos às necessidades de aquecimento e de arrefecimento;
- Controlo das infiltrações de ar;
- Recurso a tecnologias solares passivas e ativas, nomeadamente a possibilidade de maximizar o aproveitamento de energias renováveis para produção de AQS, reforço do aquecimento central, ou fornecimento de energia elétrica.

## 4.1. Reabilitação térmica de paredes exteriores

Uma parede em alvenaria de pedra de grande espessura, ou uma parede de fachada em alvenaria de tijolo, não têm condições para cumprir o coeficiente de transmissão térmica superficial máximo, qualquer que seja a região do país considerada. Ainda que o valor obtido para o coeficiente de transmissão térmica (U) esteja dentro dos valores admissíveis, a sua aproximação aos valores máximos irá forçar a que sejam encontradas soluções mais exigentes para os outros parâmetros tornando a solução global pouco económica [5].

Desta forma a promoção do conforto térmico, é traduzido num controlo mais eficiente da temperatura ambiente interior, sendo necessário para isto melhorar o isolamento da envolvente exterior dos edifícios. O isolamento térmico terá como função, por um lado, não deixar “escapar” a energia necessária para manter a temperatura no interior do edifício, e por outro lado, irá impedir que a energia exterior penetre no edifício aumentando consequentemente a temperatura interior do edifício [5].

O reforço do isolamento das paredes exteriores pode ser alcançado por 3 vias:

- Pelo exterior do edifício;
- Pelo interior do edifício;
- Na caixa de ar (no caso de paredes duplas).

### 4.1.1. Aplicação de isolamento térmico pelo exterior do edifício

A aplicação do isolamento térmico pelo exterior, quando esta solução é possível, apresenta sempre vantagens relativamente à aplicação pelo interior, nomeadamente no que diz respeito à eliminação das pontes térmicas e à preservação da inércia térmica interior do edifício para funcionar como acumulador térmico [5].

O aproveitamento desta característica dos materiais é de grande relevância, porque no Inverno absorvem e armazenam calor, libertando-o mais tarde para o

interior do edifício, aquecendo-o de forma natural. No verão, a inércia térmica, retarda o sobreaquecimento interior, ao dificultar a entrada do calor [5].

Existem várias soluções possíveis para a aplicação do isolamento térmico pelo exterior:

Tipos de soluções	
Revestimento não-isolante independentes (com interposição de um isolamento térmico na caixa de ar)	Revestimentos independentes descontínuos (elementos fixados mecanicamente)
	Revestimentos independentes contínuos de ligantes minerais armados (rebocos armados e separado do suporte)
Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre isolante	Revestimentos espessos de ligantes minerais armados (rebocos armados), sobre o isolamento
	Revestimentos delgados de ligantes sintéticos ou mistos, armados sobre o isolamento
Revestimentos isolantes	Revestimentos pré-fabricados isolantes descontínuos de fachadas (Vetures)
	Rebocos isolantes
	Revestimento de espuma isolante projetada

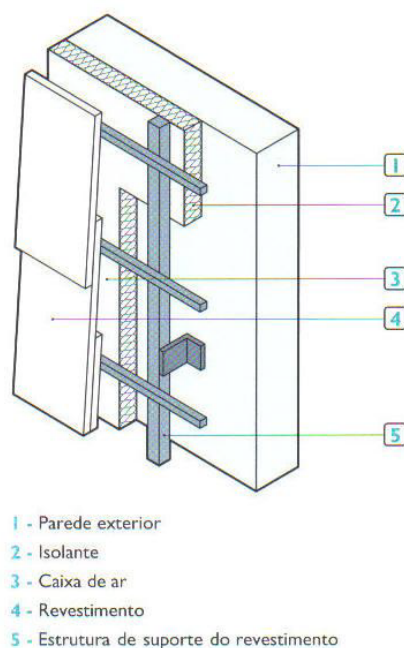
Tabela 4.1 – Tipo de soluções de aplicação do isolamento térmico pelo exterior do edifício [19]

As soluções mais utilizadas de isolamento térmico pelo exterior, são, no entanto, de dois tipos:

### **A – Revestimentos independentes descontínuos com interposição de um isolante térmico na caixa de ar.**

Consiste na colocação de uma camada de isolamento fixada à parede através de uma estrutura de suporte metálica ou em madeira, formada por montantes e travessas, sobre o qual é colocado um revestimento independente constituído por elementos descontínuos (placas de pedra, placas de fibrocimento, metálicas ou em material plástico), que protegem o isolamento térmico da ação da chuva [5].

Entre o revestimento e o isolamento, deve ser criada uma caixa de ar fortemente ventilada de pelo menos 20mm, que dificulte o contato do isolamento com a água, preservando assim as suas características térmicas. Em qualquer caso deve-se procurar minimizar as possibilidades de infiltração de água. Para isso deve prestar-se o maior cuidado à proteção e recobrimento dos topos superiores, laterais e inferiores do sistema [5].



*Figura 4.1 – Vista de corte de revestimentos independentes descontínuos [19]*

## B – Sistemas ETICS

São soluções não-tradicionais constituídas por placas de isolamento térmico em que numa das faces é aplicado um revestimento contínuo armado. As placas são fixadas à parede por colagem, por fixação mecânica ou por ambos os processos [5].

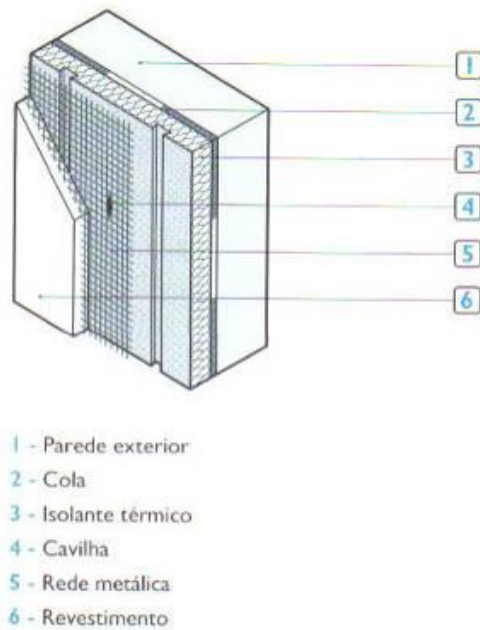


Figura 4.2 – Vista de corte de sistema ETICS [19]

Os sistemas ETICS podem ser de dois tipos, os quais se distinguem pela espessura do revestimento exterior:

### B1 – Sistema ETICS com revestimento espesso

É um sistema no qual são utilizadas normalmente como isolante térmico, placas de lã mineral ou de poliestireno expandido moldado, sobre as quais é aplicado um revestimento armado com malha metálica ou fibra de vidro [5].

## **B2 – Sistema ETICS com revestimento delgado**

São utilizados neste sistema sobretudo placas de poliestireno expandido, sobre as quais é moldado um revestimento de ligante sintético ou misto, armado com rede de fibra de vidro sendo que esta rede tem com objetivo aumentar a resistência mecânica do sistema [5].

## **C – Rebocos isolantes**

São constituídos por argamassas que incorporam grânulos de um isolamento térmico, com vista a reduzir a sua condutibilidade térmica. Considerando a espessura normal dos rebocos exteriores, a sua condutibilidade não pode de modo nenhum ser comparada com a dos isolamentos térmicos [5]. Com a aplicação do Decreto-Lei 80/2006, este recurso não pode por si só ser considerado como solução para reabilitação térmica de paredes, sem dispensar a adoção de outras medidas complementares [16]

### **4.1.2. Aplicação do isolamento térmico pelo interior do edifício**

É uma solução versátil, menos dispendiosa e mais fácil de executar. Em edifícios constituídos por frações autónomas, tem o conveniente de possibilitar a reabilitação térmica de cada fração em separado. Tem o inconveniente de não corrigir pontes térmicas lineares correspondentes aos topos das lajes de pavimento e de esteira [5].

Existem várias soluções possíveis para a aplicação do isolamento térmico pelo interior:

Tipos de soluções	
Painéis de isolamento térmico pré-fabricados fixados contra a parede	
Contra fachadas	Com caixa de ar simples
	Com isolamento térmico e sem caixa de ar
	Com isolamento térmico e com caixa de ar
Revestimentos refletores (usados através de radiadores)	

Tabela 4.2 – Tipos de soluções de aplicação de isolamento térmico pelo interior do edifício [19]

As soluções mais utilizadas de isolamento térmico pelo interior, são, no entanto, de dois tipos:

#### **A – Painéis de isolantes pré-fabricados**

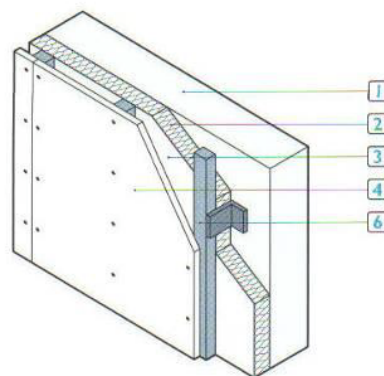
São painéis com a altura do pé direito livre dos compartimentos, constituídos por placas de poliestireno revestidas com um paramento de gesso cartonado. Os painéis podem ser colados diretamente ao paramento a reabilitar, ou ser fixados através de uma estrutura de apoio [5].

## B – Contra fachada executada pelo lado interior

Consiste na construção de um pano de alvenaria de espessura reduzida, ou de um forro em placas de gesso cartonado, pelo lado interior da parede, incorporando um isolamento térmico entre os dois elementos, sendo que ambas as soluções reduzem a área útil dos compartimentos [5].

Nas contra fachadas em alvenaria, o tijolo usual é o 30 x 20 x 7. Se for criada uma caixa de ar, esta deve ter uma calceira com uma inclinação mínima de 2% e ser provida de um sistema de drenagem para o exterior [19].

Quanto às contra fachadas em gesso cartonado, o isolamento térmico deve ser colado ao paramento da parede a tratar, criando posteriormente uma estrutura em madeira com régua vertical espaçadas entre si de aproximadamente 60cm [19].



B - Contra-fachada de gesso cartonado

- 1 - Parede exterior
- 2 - Isolante
- 3 - Caixa de ar
- 4 - Contra-fachada
- 5 - Revestimento interior
- 6 - Estrutura de suporte da contra-fachada

Figura 4.3 – Contra fachada executada pelo lado interior [19]

#### 4.1.3. Aplicação do isolamento térmico na caixa de ar de paredes duplas

Esta solução é aplicável exclusivamente a edifícios em que as paredes exteriores sejam constituídas por dois panos. O reforço do isolamento térmico é feito através do preenchimento da caixa de ar é, nestes casos, a solução mais económica e mais simples de executar. Para realizar a sua aplicação basta abrir furos para realizar a injeção do isolamento [5] [19].

Considerando as características hidrófilas dos isolamentos, há que prestar a devida atenção ao estado de conservação do paramento exterior, sendo que é necessário tomar as medidas necessárias para evitar o contato do isolamento com a humidade, a fim de não afetar a sua condutibilidade térmica. Os isolamentos não devem ser suscetíveis a assentamentos ao longo do tempo [19].

As soluções disponíveis para aplicação do isolamento térmico na caixa de ar de paredes duplas são:

Tipos de soluções	
Injeção de produtos isolantes a granel	Fibras ou flocos
	Grânulos de material isolante
Injeção de espumas isolantes	Espuma rígida de poliuretano
	Espuma de ureia-formaldeído

Tabela 4.3 – Tipos de soluções de aplicação do isolamento térmico na caixa de ar de paredes duplas [19]

De modo a evitar pontes térmicas, o isolamento tem de preencher totalmente a caixa de ar. Também é de chamar a atenção para o deficiente comportamento da espuma de ureia-formaldeído, do ponto de vista higroscópico, da estabilidade dimensional, da estabilidade química e para os problemas que daí podem advir, inclusive para a saúde dos ocupantes, dado libertar uma substância nociva [19].

## 4.2. Reabilitação térmica de pavimentos

Os pavimentos a reabilitar termicamente podem localizar-se sobre espaços exteriores, sobre espaços interiores não aquecidos (garagens, arrecadações, armazéns, varandas), sobre espaços não aquecidos e não ventilados ou sobre pisos térreos. Tal como os restantes elementos opacos da envolvente, têm de respeitar os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis expressos no RCCTE [5] [16].

Para pavimentos térreos em contato com o terreno, são contabilizadas perdas térmicas lineares perimetrais. Para minimizar essas perdas, toda a zona da envolvente do pavimento deve ser isolada numa faixa de 1,5 metros de largura, em todo o perímetro da construção [19].

Para os pavimentos sobre espaços interiores não aquecidos, interessa conhecer a relação entre a área do elemento que separa o espaço interior aquecido, do espaço não aquecido, bem como a área que separa este espaço do ambiente exterior. Assim, o fato de um pavimento estar em contato com um espaço interior não aquecido, pode proporcionar ganhos térmicos, mas não o isenta da necessidade de reabilitação térmica. Para  $\tau = 1$ , o desvão é fortemente ventilado e é como se o pavimento estivesse sobre um espaço exterior, sem que daí sejam retiradas quaisquer vantagens [5] [19].

O reforço do isolamento térmico de pavimentos pode fazer-se mediante três soluções distintas, que se caracterizam pela localização da aplicação do isolamento térmico:

- Isolamento térmico aplicado na face inferior;
- Isolamento térmico intermédio (limitado ao caso de pavimentos com vazios);
- Isolamento térmico aplicado na face superior.

Localização do isolamento térmico	Tipos de soluções	
Face inferior	Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre o isolamento	Revestimentos espessos de ligantes minerais (rebocos armados), sobre o isolamento
		Revestimentos finos de ligantes sintéticos, mistos, aramados sobre o isolamento
	Revestimentos Isolantes	Vetures
		Rebocos Isolantes
		Revestimentos de espuma isolante projetada
	Tetos-falsos	Tetos-falsos isolantes
Tetos-falsos suportando uma camada de isolamento térmico		
Intermédio	Preenchimento dos vazios entre vigotas de pavimentos de madeira com isolamento térmico (massas de lã mineral ou um isolamento a granel)	
Face superior	Camada isolante de betão leve entre o pavimento resistente e o revestimento do piso	
	Camada de isolamento térmico entre o pavimento resistente e um piso flutuante	

Tabela 4.4 – Tipos de soluções de reabilitação térmica de pavimentos [19]

### 4.3. Reabilitação térmica de coberturas

A cobertura é a parte dos edifícios sujeita a maiores flutuações térmicas. Está por isso entre os elementos da envolvente que mais condicionam o desempenho térmico dos edifícios [5]. Enquanto no Verão é necessário evitar o sobreaquecimento das coberturas e a transmissão de calor ao interior, no Inverno é necessário evitar as fugas de calor para o exterior. As coberturas podem ser inclinadas ou horizontais [19].

#### A – Coberturas inclinadas

O reforço do isolamento térmico deste tipo de coberturas pode fazer-se segundo quatro opções possíveis [20]:

- Isolamento aplicado na face superior da esteira do teto;
- Isolamento aplicado na face inferior da esteira do teto;
- Isolamento aplicado nas vertentes da cobertura, em posição superior;
- Isolamento aplicado nas vertentes da cobertura, em posição inferior.

A solução mais económica é aplicar isolamento sobre a esteira horizontal, por ser de mais fácil execução e possibilitar a maximização do aproveitamento do material. Se o desvão for acessível convém protegê-lo com uma betonilha. Dado que o desvão não necessita de ser aquecido na estação fria, esta é a solução que possibilita também maior eficiência energética [5].

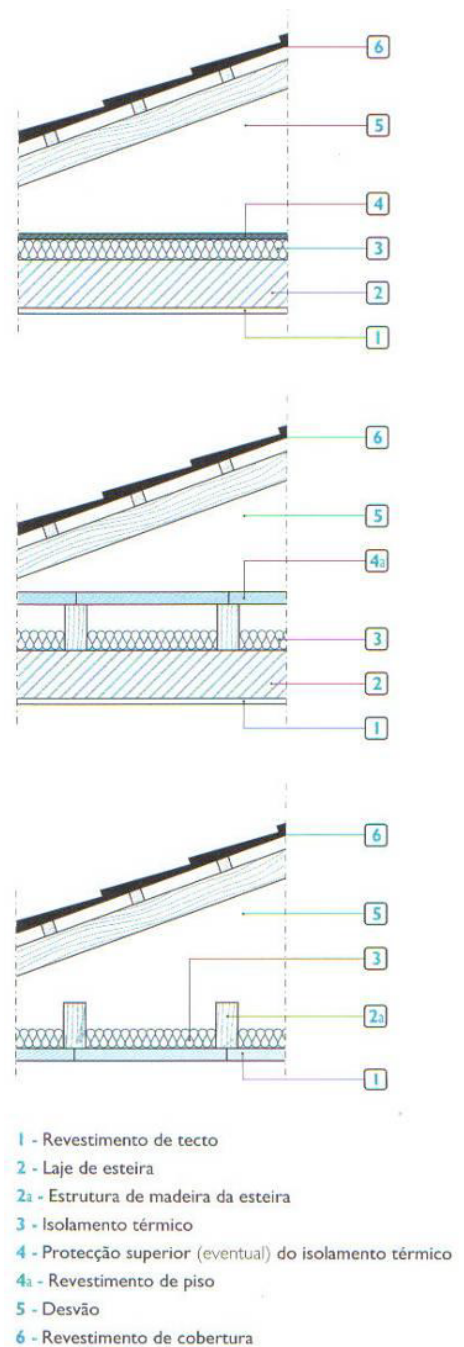


Figura 6 – Vista de corte de coberturas inclinadas [19]

A aplicação de isolamento térmico na face inferior da esteira, apresenta a desvantagem de não proteger a estrutura contra as variações térmicas, bem como de favorecer as condensações internas [5].

As soluções de aplicação do isolamento térmico nas vertentes, devem ser reservadas aos casos em que o desvão seja habitável. Nessas condições, quando o isolamento é aplicado imediatamente sob o revestimento da cobertura, tem que se prevenir a penetração da água da chuva através das juntas entre as telhas. Para isso deve proteger-se superiormente o isolamento com uma membrana pára-vapor, a qual impeça a passagem da água no estado líquido, mas que não provoque condensações internas [19].

Localização do isolamento térmico		Tipos de Soluções		
Coberturas inclinadas	Na esteira horizontal	Superior	Mantas de isolamento térmico	
			Placas de isolamento térmico	
			Isolamento térmico a granel	Fibras ou flocos Grânulos de material isolante
		Inferior	Revestimentos isolantes	Revestimentos descontínuos (placas fixadas mecanicamente ou coladas)
			Tetos-falsos	Teto-falso isolante
				Teto-falso com isolamento térmico
	Nas vertentes	Superior	Painéis isolantes especiais (integrando varas, forro inferior e isolamento térmico)	
			Mantas de isolamento térmico (sobre a laje inclinada)	
			Placas de isolamento térmico (sobre a laje inclinada)	
		Inferior	Mantas de isolamento térmico	Fixadas contra as varas da cobertura
				Fixadas contra as réguaas dispostas sob varas e ao longo destas
				Cruzadas em duas camadas, com interposição de réguaas normais às varas
				Fixadas contra a laje inclinada
			Placas de material isolante	Fixadas contra as varas da cobertura
Fixadas contra a laje inclinada				
Projeção de espumas isolantes				
Soluções refletoras (apenas aplicadas na estação de arrefecimento)				

Tabela 4.5 – Tipos de soluções de reabilitação de coberturas inclinadas [19]

## B – Coberturas horizontais

O reforço do isolamento térmico deste tipo de coberturas pode ser conseguido através de três opções possíveis, que se distinguem pela localização do isolamento térmico [20]:

- Isolamento térmico aplicado na face superior
- Isolamento térmico intermédio;
- Isolamento térmico aplicado na face inferior.

A solução mais prática é aplicar o isolamento na face superior da cobertura, acima da camada de forma, sob ou sobre a impermeabilização. A aplicação do isolamento sobre a camada tem, no entanto a vantagem de proteger este contra as variações térmicas, e eventualmente contra a radiação ultravioleta, aumentando a sua vida útil. Apresenta ainda a vantagem de possibilitar a preservação de sistemas impermeabilizantes que se encontrem em bom estado de conservação, visto dispensar a sua remoção [19].

Esta solução é conhecida pela designação de cobertura invertida. A sua aplicação deve fazer-se sobre uma camada de dessolidarização, a qual pode ser constituída por uma manta de geotêxtil ou por uma folha de poliéster. Como isolamento térmico pode utilizar-se placas de poliestireno extrudado (XPS), sobre as quais deve ser aplicado uma proteção pesada, a fim de impedir que estas se desloquem sob o efeito da ação do vento, bem como para as proteger da incidência direta da radiação solar [19].

A aplicação de isolamento térmico na face inferior da esteira, deve sempre ser integrada num teto-falso, que não estando estes em contato entre eles. Ainda assim apresenta o inconveniente de não proteger termicamente a estrutura [19].

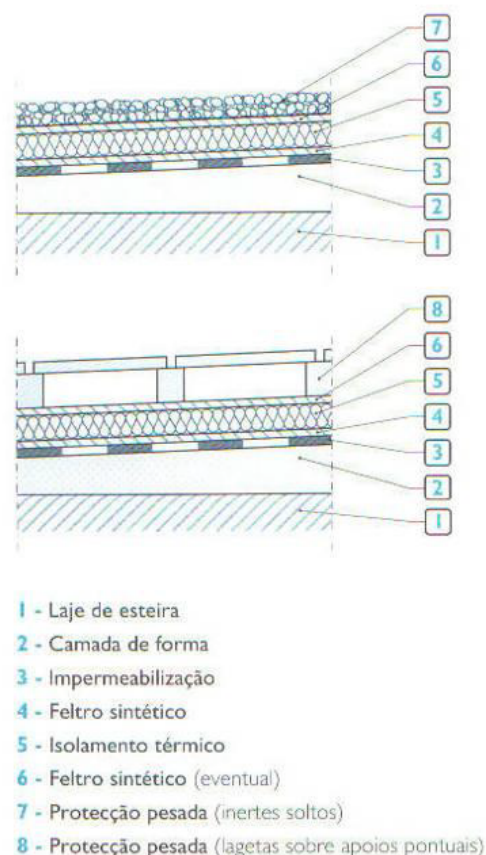


Figura 7 – Vista de corte de coberturas horizontais [19]

#### 4.4. Reabilitação térmica de vãos envidraçados

Os vãos envidraçados têm uma significativa influência no balanço energético dos edifícios, podendo as perdas térmicas nos edifícios de habitação oscilar de 35% a 40% na estação de aquecimento [5].

Janelas e portas com vidros simples, ou com vidros duplos, sem corte térmico, podem provocar descidas substanciais na temperatura interior durante a estação de aquecimento, provocando situações de desconforto. Por isso a reabilitação de janelas e portas é essencial, podendo ser um fator decisivo para que sejam assegurados os requisitos de eficiência energética [5]. Neste contexto interessa promover algumas medidas, as quais consistem essencialmente em:

- Controlar as infiltrações de ar não desejadas através das juntas da caixilharia, de forma a melhorar o seu desempenho durante a estação de aquecimento, reduzindo as perdas de calor no interior e minimizando os problemas de desconforto devido à permeabilidade da envolvente;
- Reforçar a proteção contra o excesso de radiação solar pelos envidraçados durante a estação de arrefecimento, controlando os ganhos térmicos mediante a limitação da entrada de radiação solar através de dispositivos de proteção, minimizar o efeito das pontes térmica que se estabelecem através das caixilharias e dos próprios envidraçados, reduzindo as trocas de calor associadas às amplitudes térmicas entre o interior e o exterior.

Para isso têm de ser adotadas soluções compatíveis com as necessidades e com o grau de eficiência desejado. Há, portanto, que verificar se a caixilharia se encontra degradada de tal maneira que o seu reaproveitamento não seja viável, do ponto de vista construtivo e económico. Assim, o reforço do isolamento térmico de vãos envidraçados pode ser obtido através das seguintes medidas:

- Substituição dos elementos por outros com desempenho térmico melhorado, nomeadamente caixilharia com corte térmico e vidro duplo;
- Utilização de envidraçados com elevado desempenho térmico, nomeadamente vidros duplos com isolamento térmico reforçado através do recobrimento com uma camada de baixa emissividade (low-e)<sup>3</sup>. O

Manual do Vidro [21], mostra que, mesmo para vidros duplos, o coeficiente de transmissão térmica pode variar entre  $U = 2,9 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  para vidro tradicional de 4 + 4 mm, e  $U = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  para vidro duplo com isolamento térmico, com a mesma espessura. A pior das conjugações de vidros duplos, ainda assim, melhora em muito a performance térmica do melhor dos vidros simples, sendo que para estes é difícil obter transmissões térmicas abaixo de  $U = 5,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;

- Criação de janelas duplas, mediante a incorporação de um segundo caixilho em cada vão. As perdas térmicas durante o Inverno e os ganhos solares durante Verão são melhoradas. A solução, no entanto, é aconselhada sobretudo para climas muito frios ou muito quentes. Tem a desvantagem de piorar a transmissividade luminosa;
- Substituição de vidros simples por vidros duplos. Há que verificar, no entanto, se a caixilharia se adequa a esta solução;
- Substituição do material vedante das juntas da caixilharia, das juntas móveis, ou das juntas do vidro no caixilho. Trata-se de uma operação de custo reduzido, com grande eficácia na redução das infiltrações de ar.

No âmbito da reabilitação dos envidraçados há ainda que reduzir o coeficiente de transmissão térmica das caixas de estores. Para construções novas ou reabilitações profundas de paredes, podem aplicar-se caixas de estore pré-fabricadas em betão ou em material cerâmico, devidamente isoladas, ou caixas compostas inteiramente por material isolante. Para reabilitação do existente, pode ser aplicado no interior das caixas um revestimento em poliestireno moldado ou em lã de rocha [19].

Na reabilitação de envidraçados merece especial atenção o controlo de ganhos solares durante a estação de arrefecimento, particularmente em regiões com Verões quentes e longos, como acontece na generalidade do território continental português. Este controlo é da maior importância para minimizar o sobreaquecimento dos espaços interiores e reduzir ou eliminar a necessidade dispositivos de arrefecimento mecânico [5].

## A – Gestão da área de envidraçados

Quanto maior for a área de envidraçados maiores serão os ganhos solares. No Inverno este fator beneficia a iluminação natural e o aproveitamento da radiação solar térmica, mas durante o Verão acarreta excesso de ganhos solares [5].

A arquitetura bioclimática procura adotar soluções de aquecimento passivo na estação fria, em que o edifício funciona como um coletor solar que capta, armazena e distribui calor pelos compartimentos. Isto pode ser realizado através da transformação de varandas em “marquises”, ou do aumento da área de envidraçados dos vãos orientados a Sul [19].

A inercia dos elementos que compõem o edifício possibilita que funcionem como acumuladores térmicos que absorvem calor durante o dia, e libertando-o durante a noite. Todavia há que ter em conta que estas medidas, tem inconvenientes na estação de arrefecimento. Quando a área de envidraçados é superior 15% da área dos compartimentos, pode originar excessivo aquecimento do interior dos edifícios nesta estação, daí que seja necessário criar também um sistema de arrefecimento passivo que promova o sombreamento, e a ventilação natural [5] [19].

Deve ser previsto o sombreamento ajustável dos envidraçados preferencialmente pelo exterior, a utilização de envidraçados duplos com controlo solar através de ventilação. O sistema pode proporcionar ganhos energéticos, mas para ser fiável tem de ser dimensionado de forma adequada

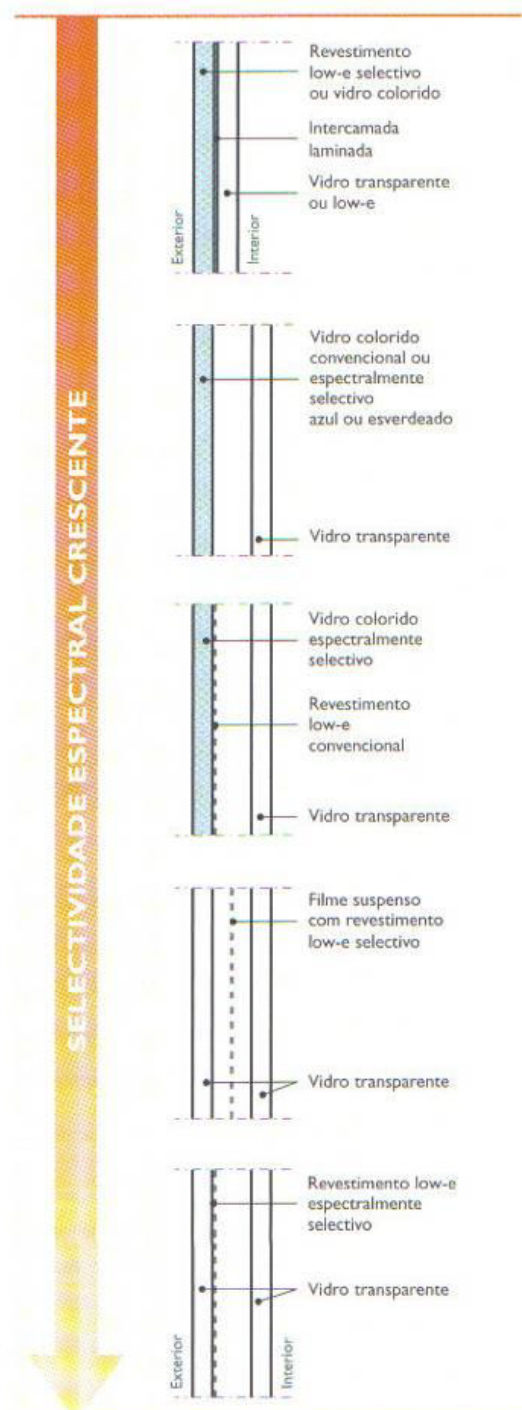


Figura 8 – Seletividade espectral crescente dos envidraçados [19]

e os utilizadores dos edifícios tem de ser sensíveis ao seu modo de funcionamento [5]

### **B – Aplicação de envidraçados de baixa emissividade**

Este fator já teve algum desenvolvimento no ponto A. A acrescentar ainda que é necessário compatibilizar o comportamento dos envidraçados na estação de aquecimento em que é necessário que funcionem como isolante, com o seu desempenho na estação de arrefecimento em que a prioridade é controlar os ganhos solares, esta medida por si só, não constitui solução, sendo necessário utilizar vidros de “controlo solar”, com baixo fator solar, como os vidros coloridos ou vidros refletores de cor escura [5].

Este envidraçados têm também transmissividades luminosas muito baixas, o que diminui a iluminação natural, fator que acarreta outros problemas como consequências no desempenho energético dos edifícios. A compatibilização do isolamento térmico com o controlo dos ganhos solares, sem pôr em causa a iluminação natural, só pode ser conseguida de forma eficaz com a utilização de envidraçados de elevado desempenho, como os já referidos revestimentos de baixa emissividade (low-e) e espectralmente seletivos (EL), ou através da combinação de envidraçados de bom desempenho térmico, com dispositivos exteriores de proteção solar [5] [21].

### **C – Utilização de dispositivos de sombreamento**

O objetivo da aplicação de dispositivos de sombreamento consiste em controlar a radiação solar direta, por forma a assegurar condições razoáveis de conforto. O tipo e o grau de sombreamento a assegurar, depende de vários fatores, entre os quais a orientação e a geometria dos vãos a sombrear. Existem vários tipos de dispositivos de sombreamento, os quais podem ser aplicados pelo interior ou pelo exterior [19].

Os mais eficazes na redução dos ganhos solares, todavia, como pode ser observado na tabela abaixo, são os exteriores. Os dispositivos interiores são de reduzida eficácia, e podem desempenhar sobretudo a função de proteção complementar dos dispositivos exteriores, bem como de controlo de admissão de luz natural e privacidade [5].

Tipo de proteção		Vidro simples			Vidros duplo		
		Cor da proteção			Cor da proteção		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,04	0,05	0,06
	Persiana em réguas de madeira	0,05	0,08	0,1	0,04	0,05	0,07
	Persiana em réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,1	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estores veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Estores de lona opaco	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Estore de lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,1	0,12	0,14
	Estore de lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
Interiores	Estores de lâmina	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,7	-	-	0,63	-	-
	Portas de madeira opaca	0,3	0,4	0,5	0,35	0,56	0,58
	Persianas de madeira	0,35	0,45	0,57	0,4	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros – Estore veneziano	-	-	-	0,28	0,34	0,4

Tabela 4.6 - Dispositivos de sombreamentos para envidraçados [19]

## 5. Caso de estudo

O edifício em estudo encontra-se localizado no concelho de Loulé, a Sul de Portugal, na zona climática I1 e V3 de acordo com o Dec. Lei 118/2013 [12]. É um edifício de habitação de tipologia V3, e a sua construção é de 2003, mas desde a sua construção não tem existido uma manutenção cuidada da envolvente como tal as paredes exteriores e cobertura apresentam fissuras e graves deficiências no isolamento devido aos efeitos da humidade.

Na altura da construção o edifício apresentava bons índices de conforto térmico e não existia aparecimento de patologias nas paredes, mas com a degradação do isolamento térmico das paredes exteriores e da cobertura, tem vindo a surgir patologias nas paredes resultantes da formação de condensações nas mesmas. O conforto térmico tem vindo a piorar e consequentemente a eficiência energética do edifício também.

Os objetivos principais da reabilitação energética do edifício serão a melhoria do conforto térmico e da eficiência energética do edifício. A metodologia de custo ótimo possibilita aferir quais as soluções construtivas mais indicadas para conseguir atingir os objetivos da reabilitação do edifício tendo em conta o rácio custo-benefício que cada uma das soluções apresenta.

## 5.1. 1ª Fase - Caracterização do edifício de referência

### 5.1.1. Criação do modelo BIM

Na construção do modelo foram adotadas algumas simplificações para os elementos construtivos da envolvente exterior e interior, tendo havido o cuidado de escolher os materiais mais representativos, para todo o edifício de modo a conseguir obter o modelo mais fidedigno possível.

O modelo BIM foi criado com auxílio do programa *CYPE IFC Builder*, este é um programa de modelação paramétrica, que tira partido das possibilidades de visualização em 3 dimensões (3D). É especialmente dirigido para a engenharia e arquitetura, permitindo conceber qualquer tipo de edifício.

Para iniciar a modelação teve-se como base as plantas do edifício, importando-a, de modo a que fossem traçadas todas as paredes, janelas e portas do edifício. Uma vez traçadas todas as paredes interiores e exteriores, portas e janelas do edifício, procedeu-se à elevação das mesmas e criação da cobertura.

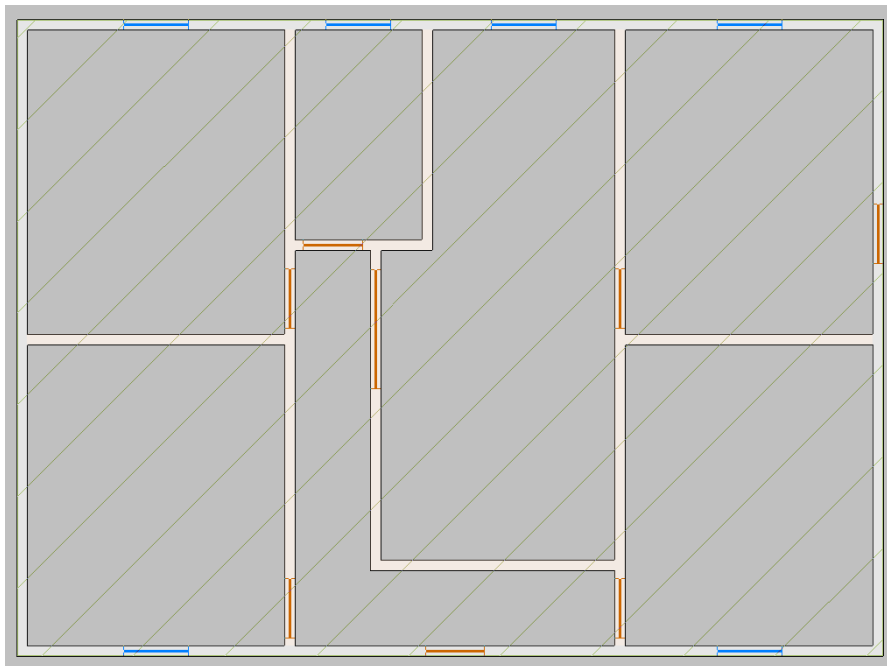
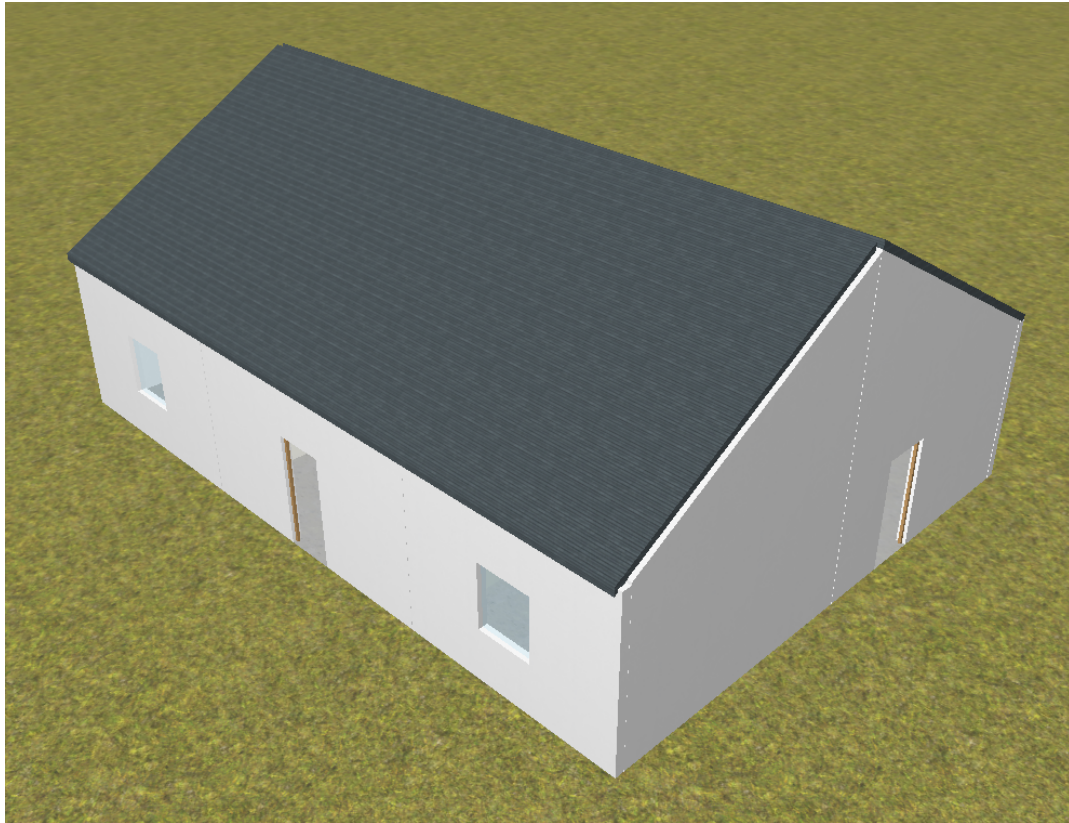
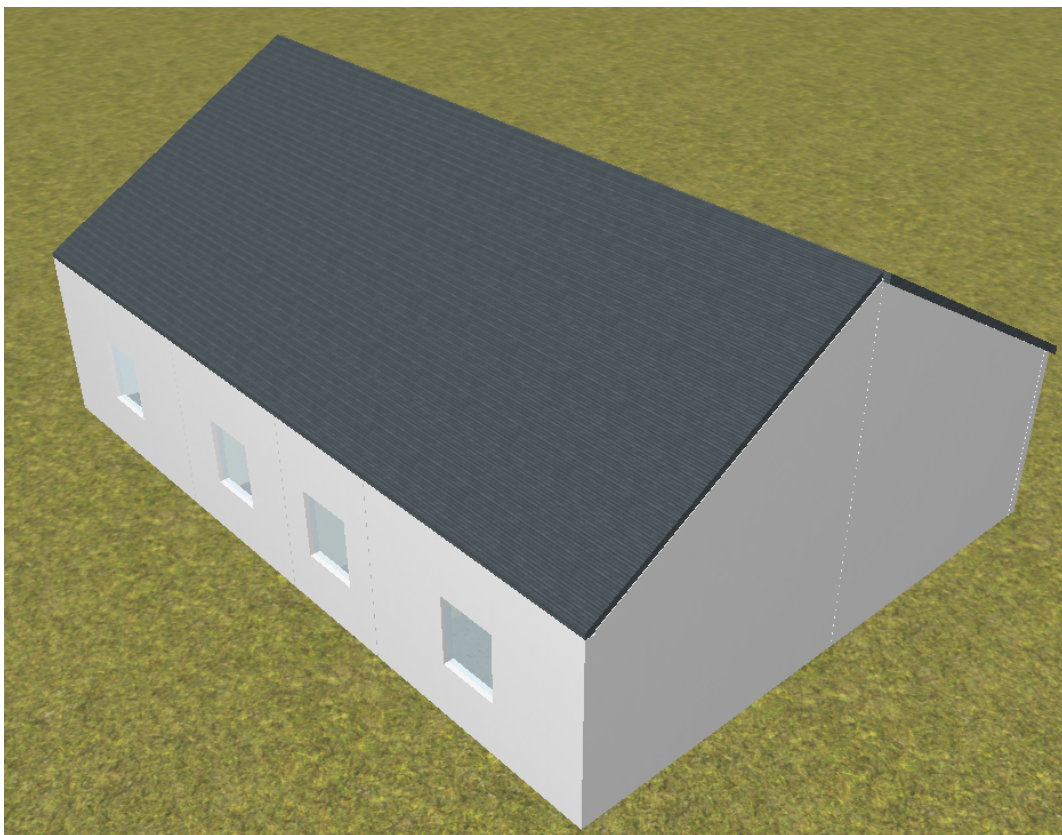


Figura 5.1 – Planta do edifício em estudo

Uma vez traçados todos elementos construtivos do ER obtemos um modelo 3D como é possível observar na figura 5.2 e figura 5.3.



*Figura 5.2 – Vista 3D dos Alçados Sul e Este do edifício*



*Figura 5.3 – Vista 3D dos Alçados Norte e Oeste do edifício*

## 5.1.2. Caracterização da envolvente

Na caracterização da envolvente foram tomadas algumas simplificações na envolvente, pelo fato de não existir alguns elementos relativos às soluções construtivas do edifício.

A caracterização do edifício foi realizada utilizando como base o modelo BIM criado anteriormente através do *CYPE IFC Builder*, e com apoio do programa *CYPETHERM REH*, que é um programa que tem como função calcular o desempenho energético dos edifícios. Criou-se um modelo *BEM* possibilitando desta forma caracterizar toda a envolvente do edifício.

### 5.1.2.1. Paredes Exteriores

Numa fase inicial o edifício foi caracterizado sem ter em conta a degradação das paredes exteriores, como é possível verificar na vista de corte da parede exterior na figura 5.4. Nestas condições edifício apresentava um bom nível de conforto térmico como é possível confirmar através dos cálculos efetuados [Anexo 1].

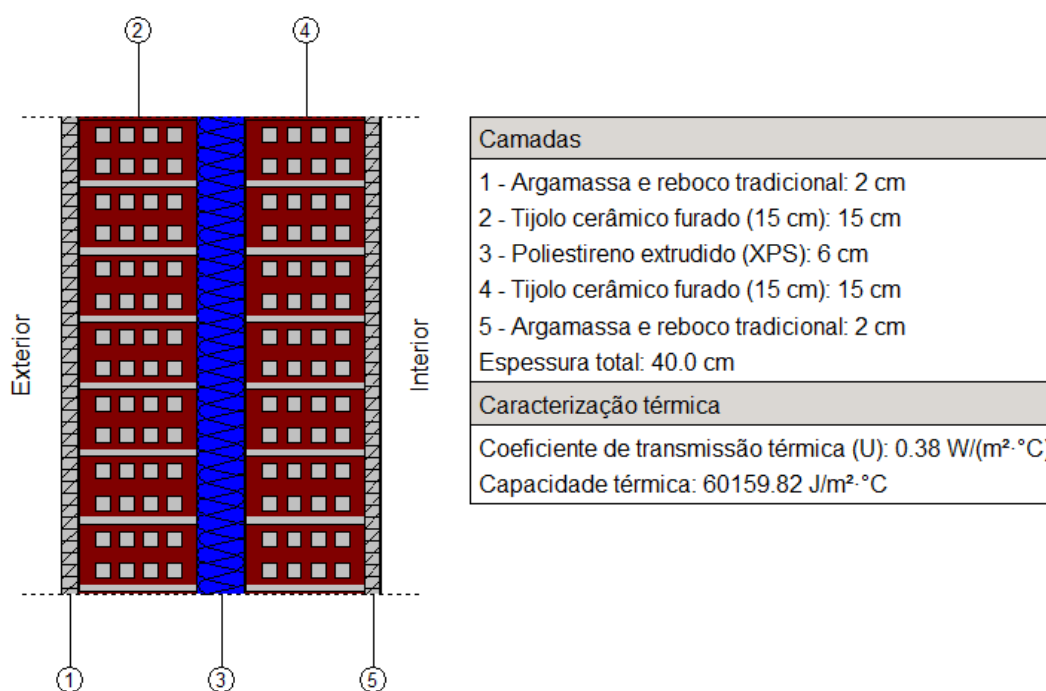


Figura 5.4 – Vista de corte da parede exterior da situação inicial sem degradação

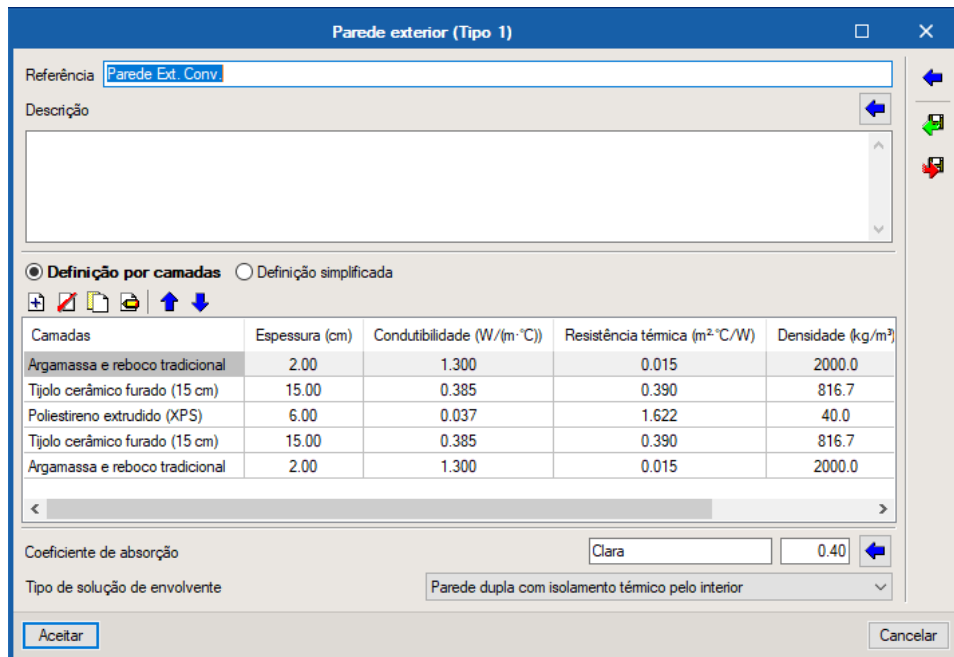


Figura 5.5 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da situação inicial sem degradação

De modo a ter em conta a degradação nas paredes exteriores considerou-se que devido ao efeito da humidade o isolamento existente ficou degradado de tal forma que perdeu as suas características térmicas e ter-se-á desintegrado, como tal considerou-se apenas existir um caixa de ar no lugar do isolamento como é possível verificar na figura 5.6.

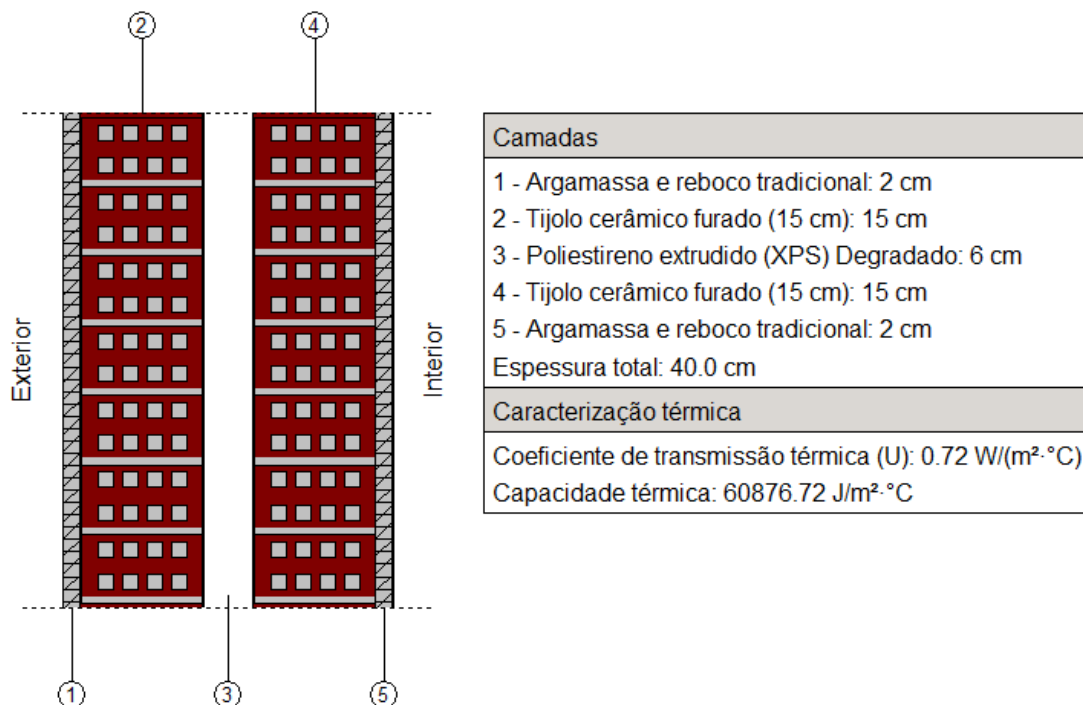


Figura 5.6 – Vista de corte da parede exterior da situação inicial com degradação

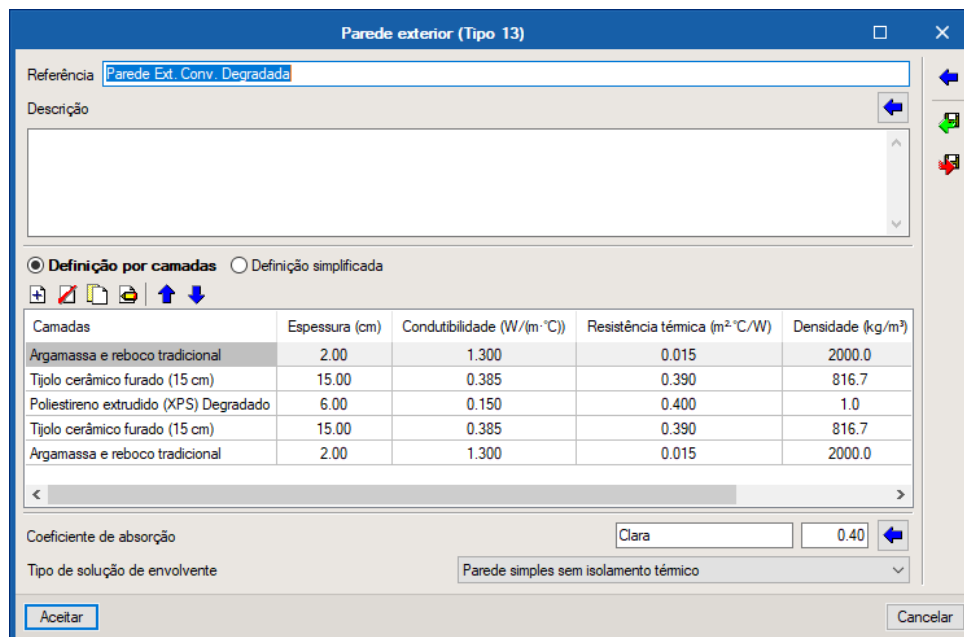


Figura 5.7 - Características térmicas dos materiais da parede exterior da situação inicial com degradação

Como é possível verificar na figura 5.6 o coeficiente de transmissão térmica aumentou drasticamente, relativamente à parede exterior sem degradação (0,38 W/m<sup>2</sup>.°C), ficando desta forma superior ao coeficiente de transmissão térmica de referência para as paredes exteriores (0,50 W/m<sup>2</sup>.°C).

### 5.1.2.2. Paredes interiores

Parede interior de separação da área útil com espessura total de 21cm. Na figura 5.8 temos uma vista de corte da parede interior, onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.9 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O coeficiente de transmissão térmica da parede é de 0,67 W/m<sup>2</sup>.°C.

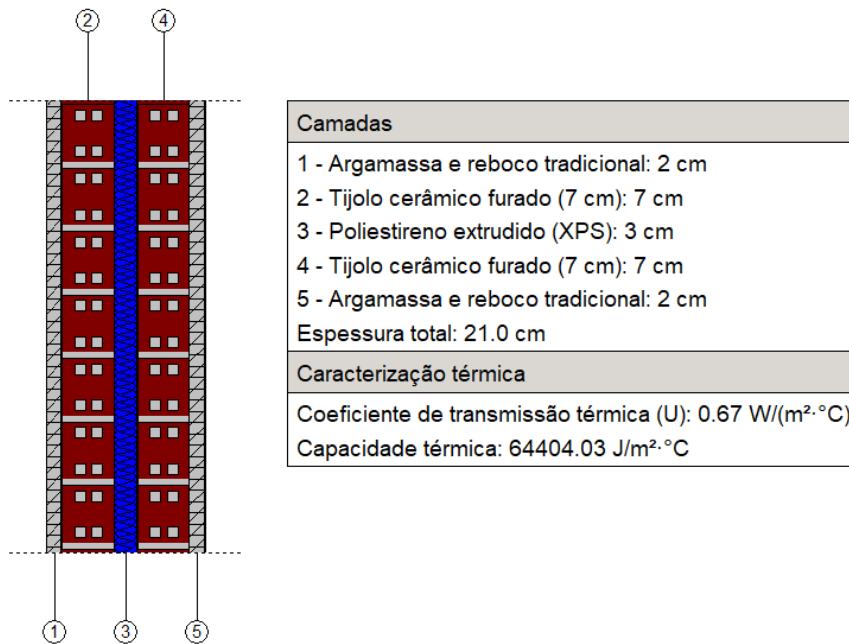


Figura 5.8 – Vista de corte da parede interior da situação inicial

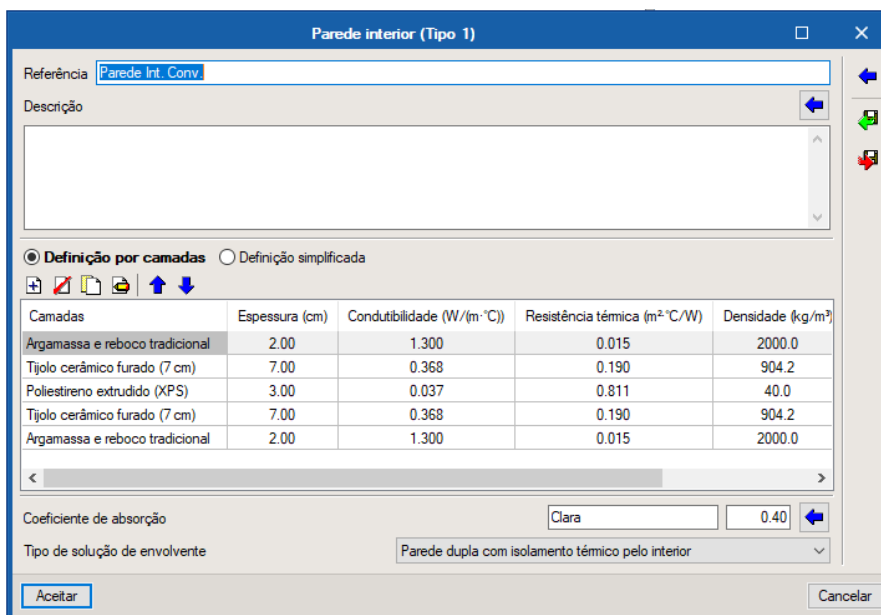
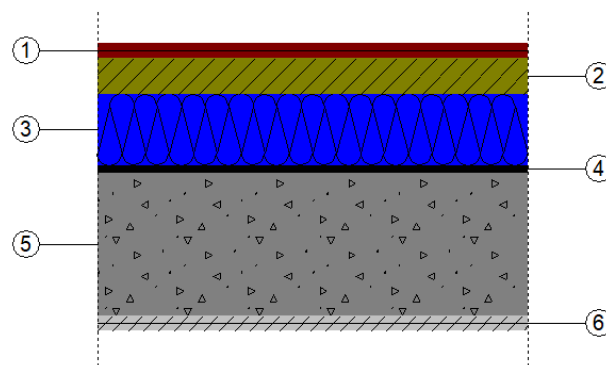


Figura 5.9 – Características térmicas dos materiais da parede interior da situação inicial

### 5.1.2.3. Cobertura

Como foi mencionado anteriormente, no caso das paredes exteriores, numa fase inicial o edifício foi caracterizado sem ter em conta a degradação existente na envolvente, da mesma forma que as paredes exteriores apresentam degradação a cobertura também sofreu efeitos de degradação derivado à falta de manutenção da mesma.

Como é possível verificar na figura 5.10 a cobertura é uma cobertura exterior pesada inclinada com uma espessura total de 40cm. Na figura 5.10 temos a vista de corte da cobertura onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.11 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da cobertura. O coeficiente de transmissão térmica da cobertura é de  $0,30 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  na estação de arrefecimento e  $0,31 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  na estação de aquecimento.



Camadas
1 - Telha: 2 cm
2 - Madeira densa: 5 cm
3 - Poliestireno extrudido (XPS): 10 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume: 1 cm
5 - Betão armado com % armadura < 1 %: 20 cm
6 - Argamassa e reboco tradicional: 2 cm
Espessura total: 40.0 cm
Caracterização térmica
Coefficiente de transmissão térmica (arrefecimento): $0.30 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$
Coefficiente de transmissão térmica (aquecimento): $0.31 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$
Capacidade térmica: $64628.44 \text{ J}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$

Figura 5.10 – Vista de corte da cobertura da situação inicial sem degradação

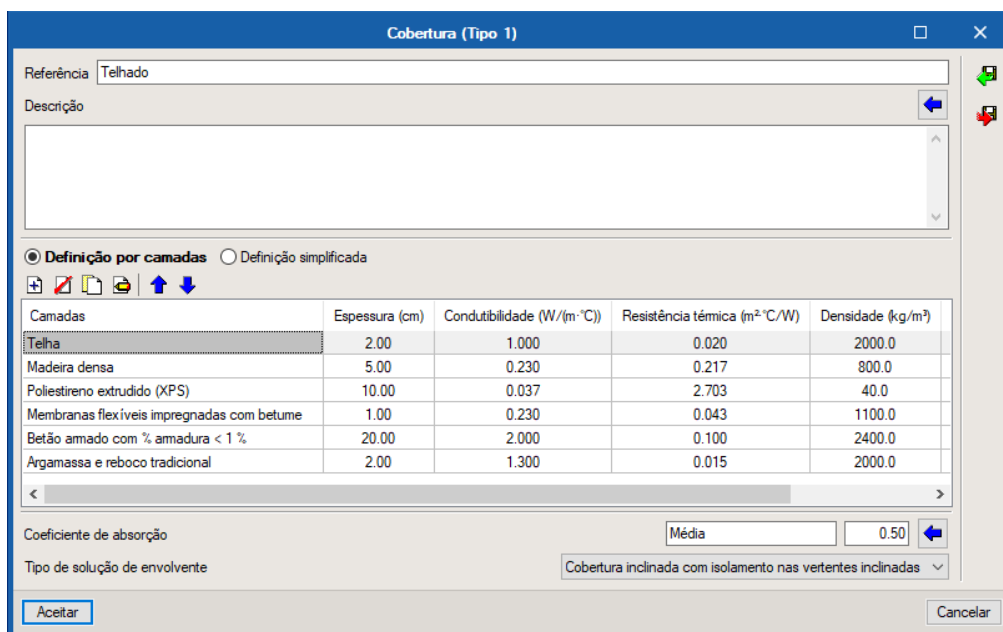


Figura 5.11 – Características térmicas dos materiais da cobertura da situação inicial sem degradação

De modo a termos em conta a degradação da cobertura considerou-se, tal como nas paredes exteriores, que devido aos efeitos da humidade no isolamento existente ficou bastante degradado, considerando-se assim que perdeu as suas características térmicas e ter-se-á desintegrado, foi considerado existir uma caixa de ar no lugar do isolamento como é possível verificar na vista em corte na figura 5.12.

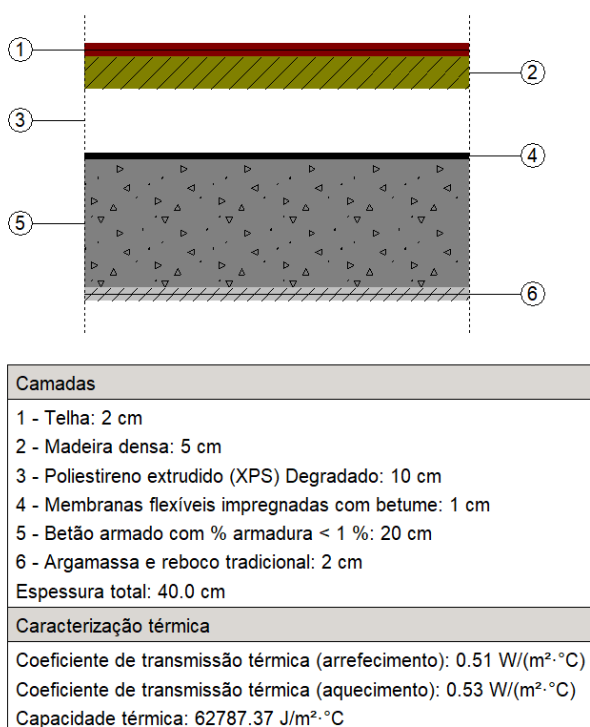


Figura 5.12 – Vista de corte da cobertura da situação inicial com degradação

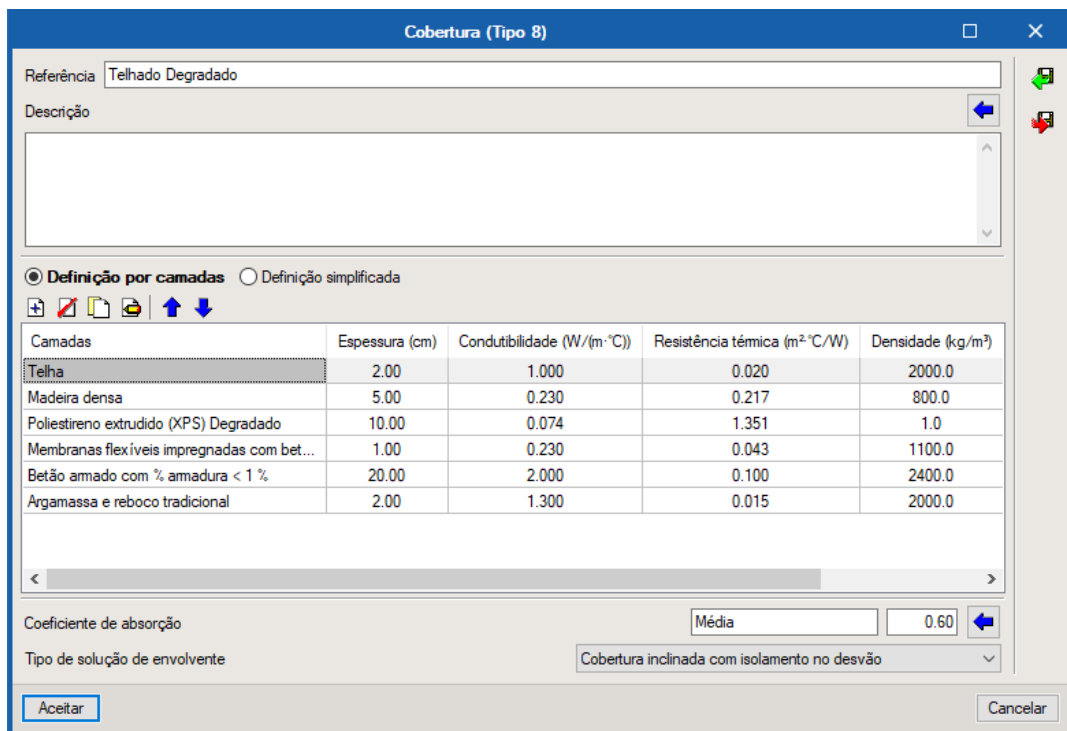
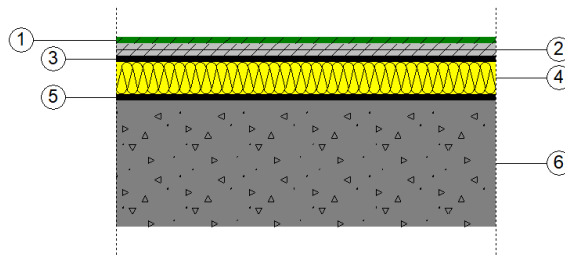


Figura 5.13 – Características térmicas dos materiais da cobertura da situação inicial com degradação

Na figura 5.12 é possível verificar que o coeficiente de transmissão térmica aumentou drasticamente, relativamente à cobertura sem degradação (0,30 W/m<sup>2</sup>.°C para arrefecimento e 0,31 W/m<sup>2</sup>.°C para aquecimento), ficando assim superior ao coeficiente de transmissão térmica de referência (0,51 W/m<sup>2</sup>.°C para arrefecimento e 0,53 W/m<sup>2</sup>.°C para aquecimento).

#### 5.1.2.4. Pavimento térreo

Pavimento térreo pesado com uma espessura total 30cm. Na figura 5.14 temos a vista de corte do pavimento onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.15 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes do pavimento. O pavimento apresenta uma resistência térmica de 1,46 m<sup>2</sup>.°C/W



Camadas	
1 - Cerâmica vidrada/grés cerâmico:	1 cm
2 - Argamassa e reboco tradicional:	2 cm
3 - Membranas flexíveis impregnadas com betume:	1 cm
4 - Lã de rocha (MW):	5 cm
5 - Membranas flexíveis impregnadas com betume:	1 cm
6 - Betão armado com % armadura < 1 %:	20 cm
Espessura total: 30.0 cm	
Caracterização térmica	
Resistência térmica: 1.46 m <sup>2</sup> .°C/W	

Figura 5.14 – Vista de corte do pavimento térreo da situação inicial

Pavimento térreo (Tipo 1)

Referência: Laje Conv.

Descrição:

Definição por camadas  Definição simplificada

Camadas	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m·°C))	Resistência térmica (m <sup>2</sup> ·°C/W)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Cerâmica vidrada/grés cerâmico	1.00	1.300	0.008	2300.0
Argamassa e reboco tradicional	2.00	1.300	0.015	2000.0
Membranas flexíveis impregnadas com betume	1.00	0.230	0.043	1100.0
Lã de rocha (MW)	5.00	0.040	1.250	50.0
Membranas flexíveis impregnadas com betume	1.00	0.230	0.043	1100.0
Betão armado com % armadura < 1 %	20.00	2.000	0.100	2400.0

Tipo: Laje térrea

Com isolamento periférico

Condutibilidade térmica do terreno: 2.80 W/(m·K)

Tipo de solução de envolvente: Pavimento com isolamento térmico pelo interior

Aceitar Cancelar

Figura 5.15 – Características térmicas dos materiais do pavimento térreo da situação inicial

### 5.1.2.5. Vãos envidraçados horizontais

Os envidraçados dos quartos estão dois orientados a Sul e um a Norte, com uma caixilharia metálica de correr com corte térmico, compostos por vidro duplo (incolor + incolor) com espaçamento entre eles de 4mm.

Têm como dispositivos de sombreamento no exterior persinas em régua metálicas e no interior cortinas ligeiramente transparentes.

**Vão envidraçado (Tipo 1)**

Designação da solução:

Descrição detalhada

Tipo de janela: Dupla

Fator solar global do vão envidraçado

Coeficiente de transmissão (U)

**Vidro**

Tipo: Duplo

Descrição sucinta: Vidro duplo: Incolor + incolor (4 a 8) mm + 4 mm

Fração envidraçada (Fg): 0.70

Fator solar do vidro: 0.75

Espessura da caixa de ar: 6 mm

Coeficiente de transmissão (U): 3.24 W/(m²·°C)

**Caixilharia**

Tipo: De correr

Coeficiente de transmissão (U): 3.97 W/(m²·°C)

Ponte térmica linear entre a caixilharia e o vidro

**Acessórios**

Referência	Localização	Factor de redução solar
Persiana	Exterior	0.04
Cortinado	Interior	0.47

Resistência térmica adicional: 0.22 m²·°C/W

Com caixa de estore

Figura 5.16 – Características térmicas dos envidraçados dos quartos

O envidraçado do WC de vão simples está inserido na fachada Norte do edifício, com caixilharia metálica fixa com corte térmico, composto por vidro simples (incolor).

Este envidraçado não tem nenhum dispositivo exterior de sombreamento.

Vão envidraçado (Tipo 2)

Designação da solução: Janela WC

Descrição detalhada

Tipo de janela: Dupla

Fator solar global do vão envidraçado

Coeficiente de transmissão (U)

**Vidro**

Tipo: Simples

Descrição sucinta: Vidro simples: Incolor 5 mm

Fração envidraçada (Fg): 0.70

Fator solar do vidro: 0.87

Coeficiente de transmissão (U): 3.24 W/(m<sup>2</sup>·°C)

**Caixilharia**

Tipo: Fixa

Coeficiente de transmissão (U): 3.97 W/(m<sup>2</sup>·°C)

Ponte térmica linear entre a caixilharia e o vidro

**Acessórios**

Referência	Localização	Factor de redução solar
Vidro Opaco	Interior	0.37

Resistência térmica adicional: 0.22 m<sup>2</sup>·°C/W

Com caixa de estore

Figura 5.17 - Características térmicas do envidraçado do WC

O envidraçado da sala encontra-se orientado a Norte, com uma caixilharia metálica de correr com corte térmico, composto por vidro duplo (incolor + incolor) com espaçamento entre eles de 4mm.

Têm como dispositivos de sombreamento no exterior persinas em régua metálicas e no interior cortinas ligeiramente transparentes.

Vão envidraçado (Tipo 3)

Designação da solução:

Descrição detalhada:

Tipo de janela: Dupla

Fator solar global do vão envidraçado

Coeficiente de transmissão (U)

**Vidro**

Tipo: Duplo

Descrição sucinta: Vidro duplo: Incolor + incolor (4 a 8) mm + 4 mm

Fração envidraçada (Fg): 0.70

Fator solar do vidro: 0.75

Espessura da caixa de ar: 6 mm

Coeficiente de transmissão (U): 3.24 W/(m<sup>2</sup>·°C)

**Caixilharia**

Tipo: De correr

Coeficiente de transmissão (U): 3.97 W/(m<sup>2</sup>·°C)

Ponte térmica linear entre a caixilharia e o vidro

**Acessórios**

Referência	Localização	Factor de redução solar
Persiana	Exterior	0.04
Cortinado	Interior	0.47

Resistência térmica adicional: 0.22 m<sup>2</sup>·°C/W

Com caixa de estore

Figura 5.18 - Características térmicas do envidraçado da sala

O envidraçado da cozinha encontra-se orientado a Norte, com uma caixilharia metálica de correr com corte térmico, composto por vidro duplo (incolor + incolor) com espaçamento entre eles de 4mm.

Têm como dispositivos de sombreamento no exterior persinas em régua metálicas e no interior cortinas ligeiramente transparentes.

**Vão envidraçado (Tipo 4)**

Designação da solução:

Descrição detalhada:

Tipo de janela: Dupla

Fator solar global do vão envidraçado

Coeficiente de transmissão (U)

---

**Vidro**

Tipo: Duplo

Descrição sucinta: Vidro duplo: Incolor + incolor (4 a 8) mm + 4 mm

Fração envidraçada (Fg): 0.70

Fator solar do vidro: 0.75

Espessura da caixa de ar: 6 mm

Coeficiente de transmissão (U): 3.24 W/(m<sup>2</sup>·°C)

---

**Caixilharia**

Tipo: De correr

Coeficiente de transmissão (U): 3.97 W/(m<sup>2</sup>·°C)

Ponte térmica linear entre a caixilharia e o vidro

---

**Acessórios**

Referência | Localização | Factor de redução solar

Referência	Localização	Factor de redução solar
Persiana	Exterior	0.04
Cortinado	Interior	0.47

Resistência térmica adicional: 0.22 m<sup>2</sup>·°C/W

Com caixa de estore

Figura 5.19 - Características térmicas do envidraçado da cozinha

## 5.2. 2ª Fase - Identificação das medidas de eficiência energética

A envolvente dos edifícios é um dos maiores fatores para determinar os níveis de conforto térmico, luz natural e ventilação. Estudos indicam que através da melhoria da eficiência energética da envolvente é possível obter poupanças energéticas consideráveis [22] [23].

Num estudo [24] realizado em vários edifícios, que foi considerado ser representativo de cerca de 80% dos ER da EU, que para os edifícios existentes as três medidas que apresentam as melhorias mais significativa são: “Isolamento adicional na cobertura”, “Isolamento adicional nas fachadas” e “Vedantes novos para reduzir ventilação” [18].

As medidas de eficiência energética selecionadas para aplicar no edifício são algumas das soluções que já foram descritas no capítulo 4, este grupo de medidas tem como objetivo melhorar diretamente a eficiência energética do edifício nas estações de aquecimento e arrefecimento, estas soluções de melhoria não apresentam benefícios de eficiência energética para outros usos, como por exemplo, AQS.

As soluções de melhoria propostas e analisadas não visam o pavimento térreo, paredes interiores e envidraçados porque estes elementos da envolvente já apresentam bons índices de eficiência energética e não apresentam degradação, sendo que desta forma a reabilitação destes elementos não é necessária, pois não vai apresentar poupanças consideráveis comparativamente com o investimento necessário.

### 5.2.1. Medida de melhoria 1 – ETICS (Lã de Rocha 30mm)

A medida de melhoria 1 é uma solução de ETICS sendo aplicada pelo exterior da parede, uma solução descrita no capítulo 4.1.1, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 43cm. Na figura 5.20 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma. Na figura 5.21 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,32 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

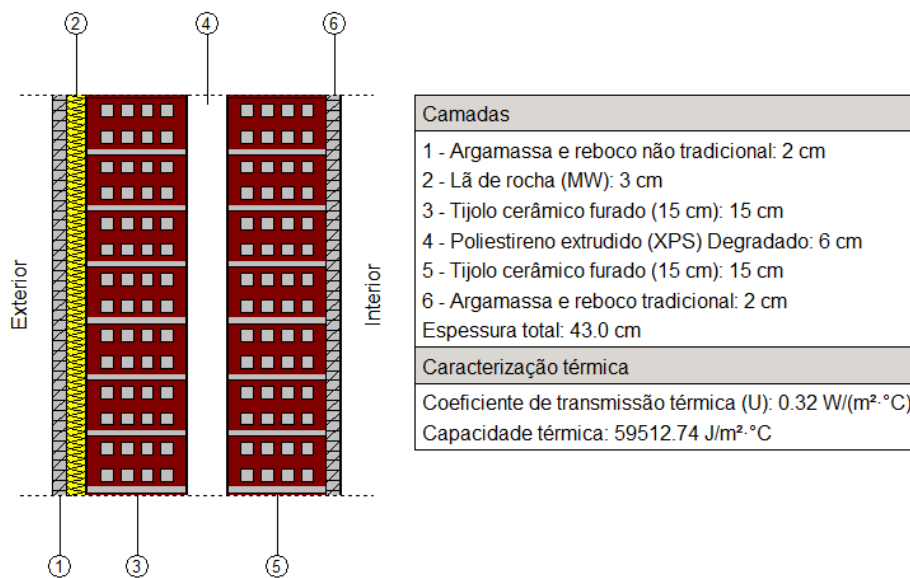


Figura 5.20 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 1

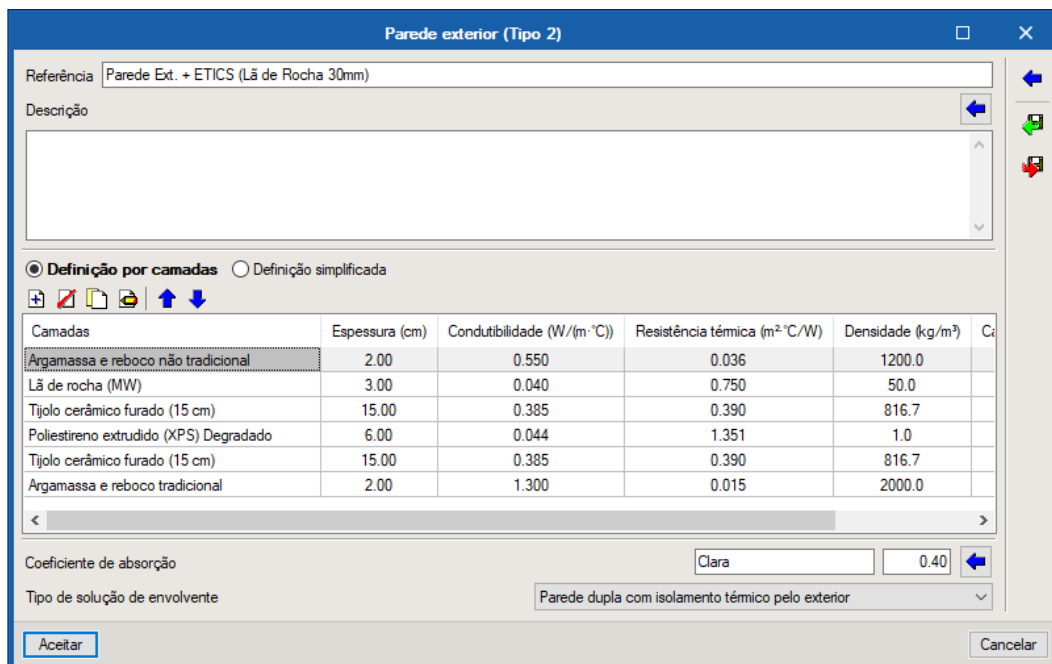


Figura 5.21 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 1

### 5.2.2. Medida de melhoria 2 – ETICS (Lã de Rocha 40mm)

A medida de melhoria 2 é uma solução de ETICS sendo aplicada pelo exterior da parede, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 44cm. Na figura 5.22 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.23 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de 0,30 W/m<sup>2</sup>.°C.

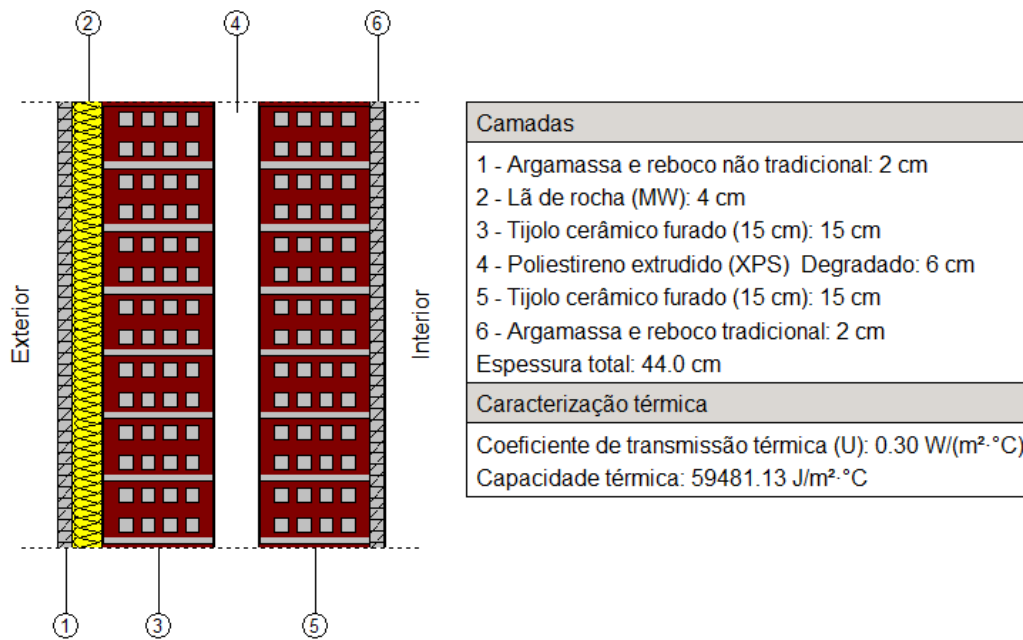


Figura 5.22 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 2

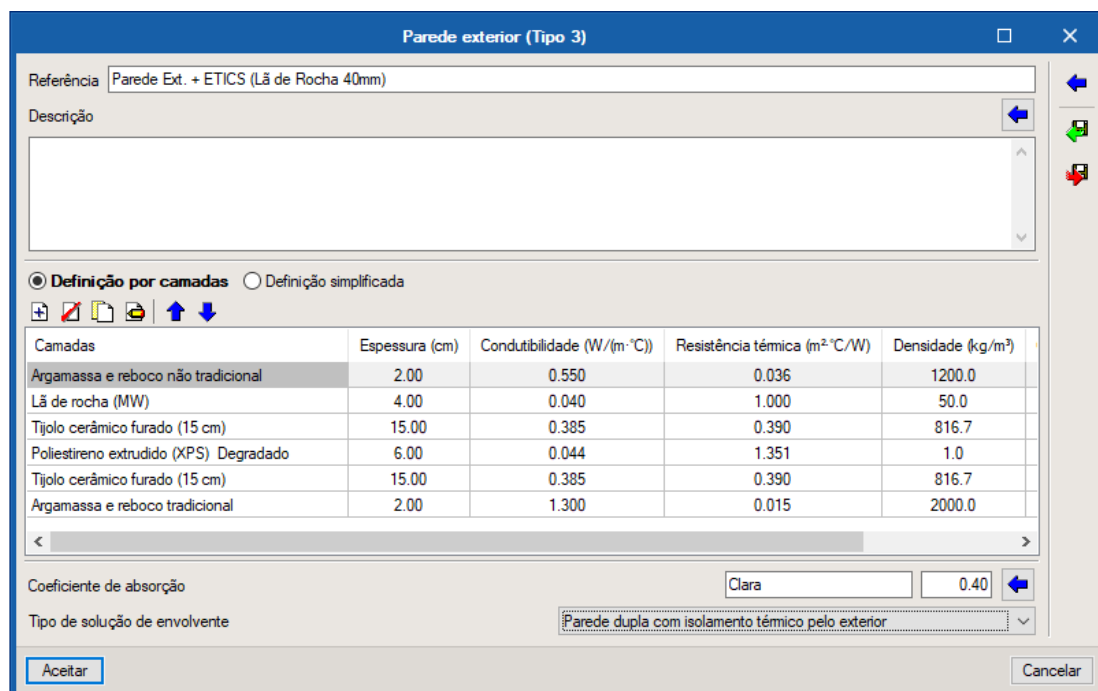


Figura 5.23 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 2

### 5.2.3. Medida de melhoria 3 – ETICS (Lã de Rocha 50mm)

A medida de melhoria 3 é uma solução de ETICS sendo aplicada pelo exterior da parede, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 45cm. Na figura 5.24 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.25 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .



Figura 5.24 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 3

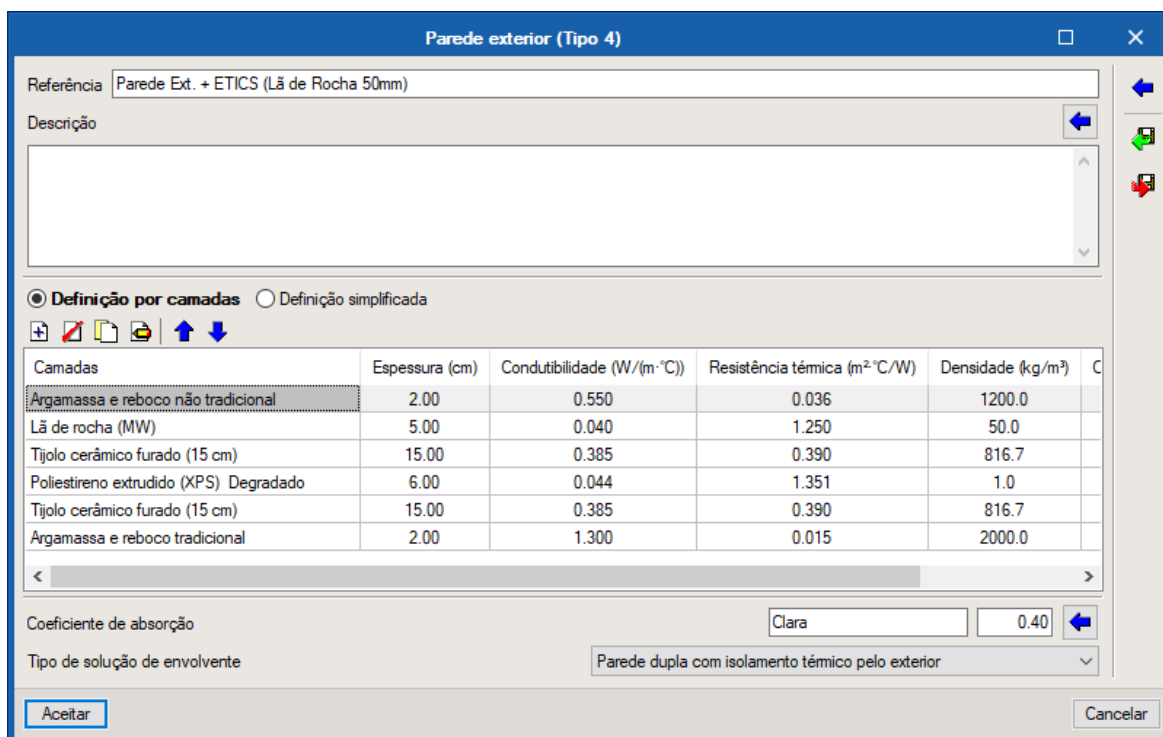


Figura 5.25 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 3

#### 5.2.4. Medida de melhoria 4 – ETICS (XPS 30mm)

A medida de melhoria 4 é uma solução de ETICS sendo aplicada pelo exterior da parede, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 43cm. Na figura 5.26 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.27 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,32 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

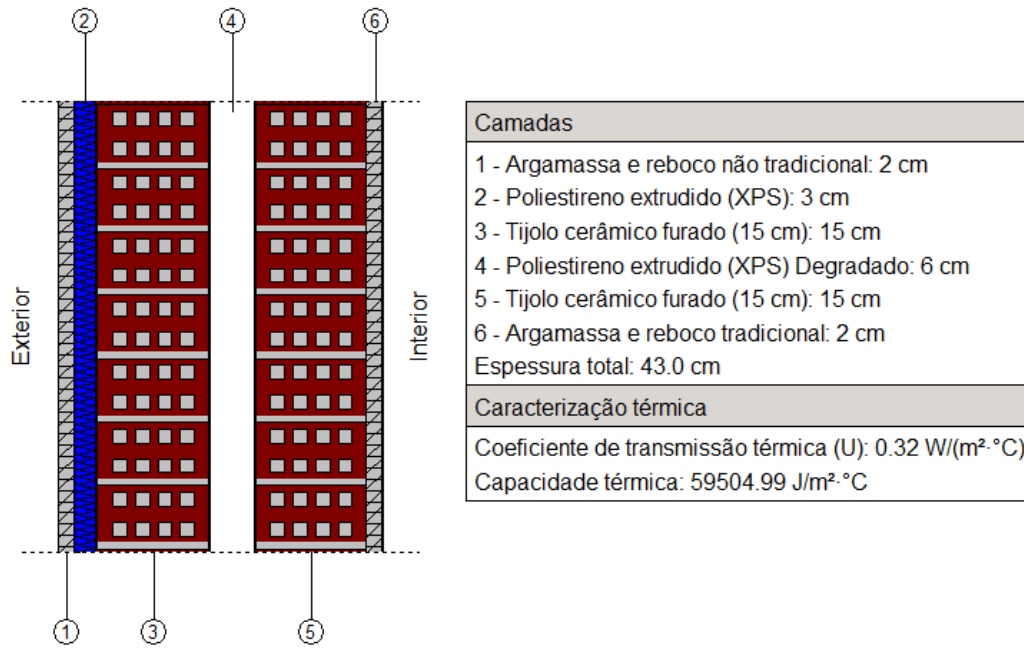


Figura 5.26 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 4

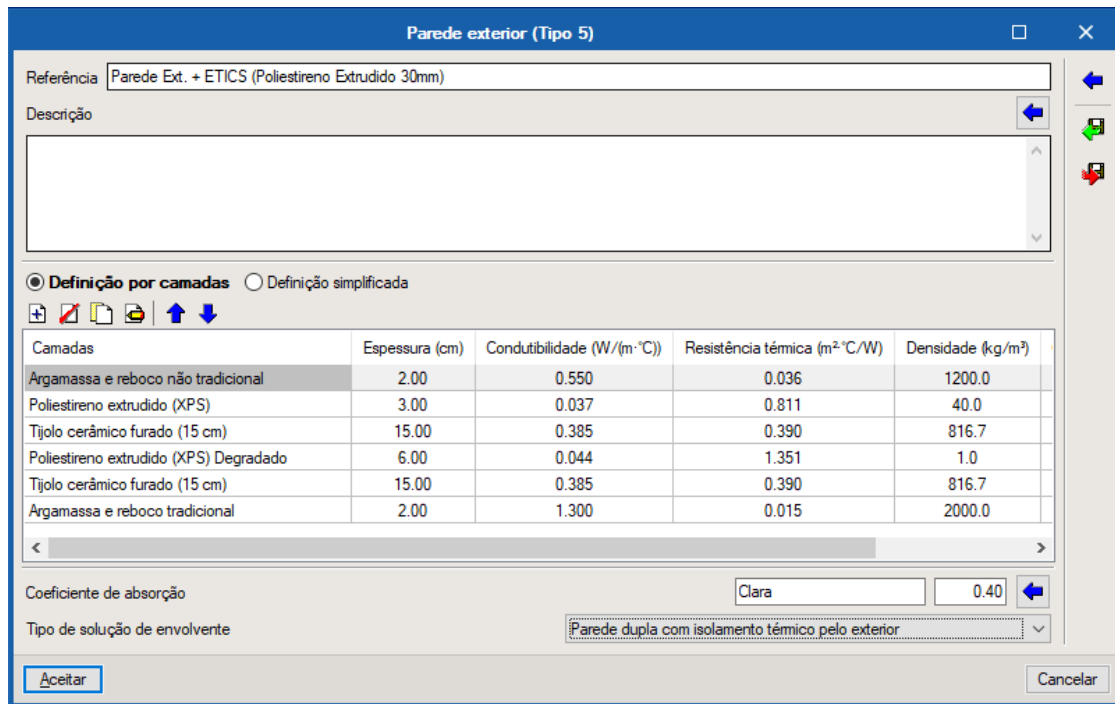


Figura 5.27 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 4

### 5.2.5. Medida de melhoria 5 – ETICS (XPS 40mm)

A medida de melhoria 5 é uma solução de ETICS sendo aplicada pelo exterior da parede, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 44cm. Na figura 5.28 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.29 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,29 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

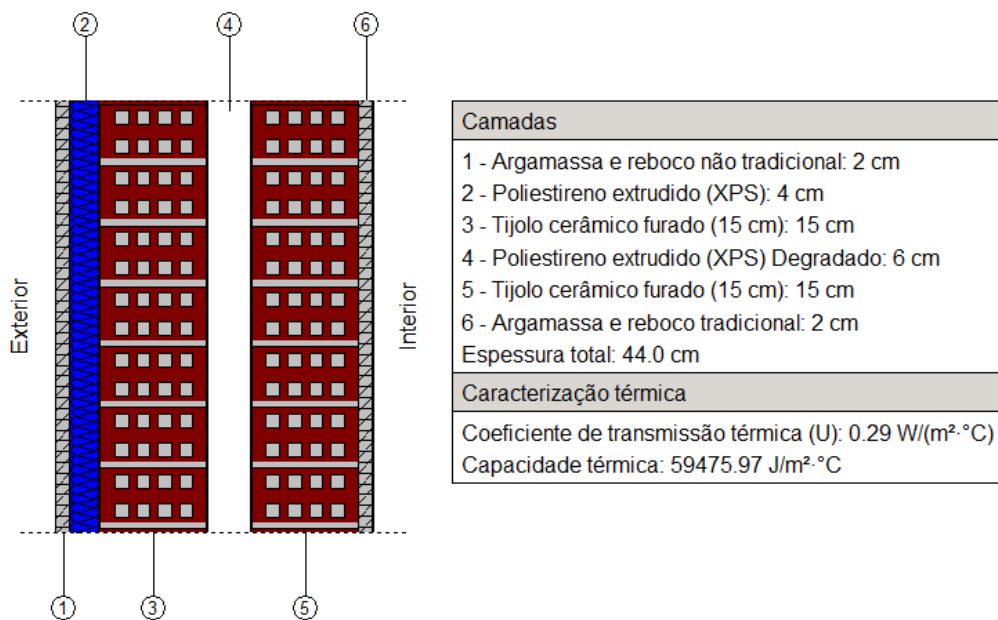


Figura 5.28 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 5

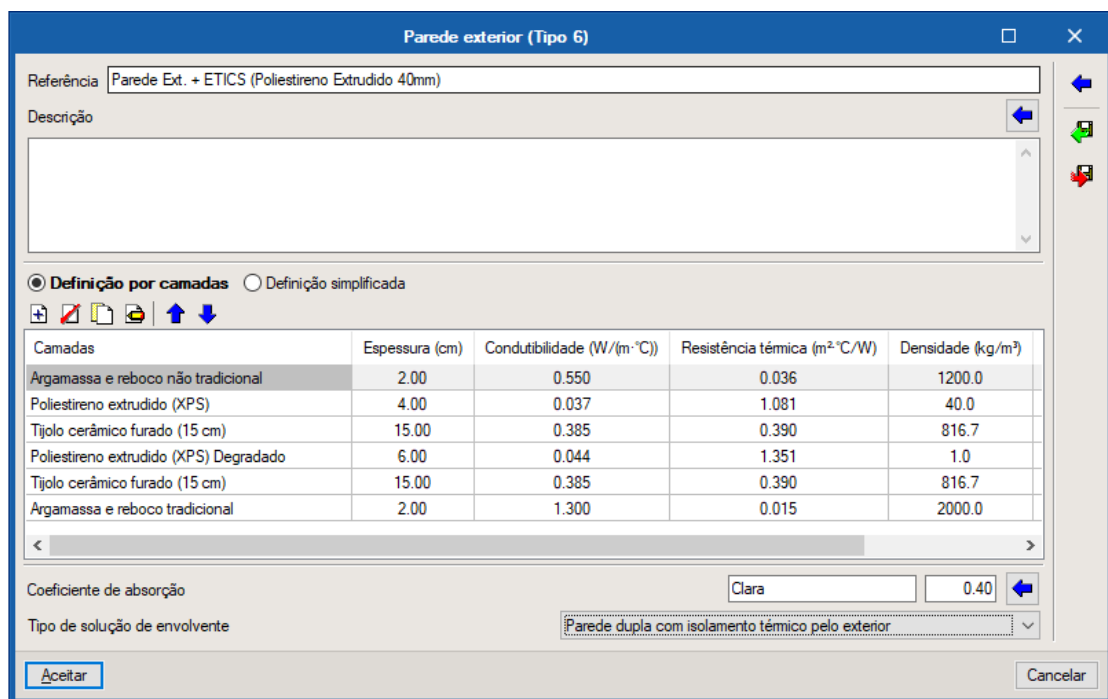


Figura 5.29 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 5

### 5.2.6. Medida de melhoria 6 – ETICS (XPS 50mm)

A medida de melhoria 6 é uma solução de ETICS sendo aplicada pelo exterior da parede, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 45cm. Na figura 5.30 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.31 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de 0,27 W/m<sup>2</sup>.°C.

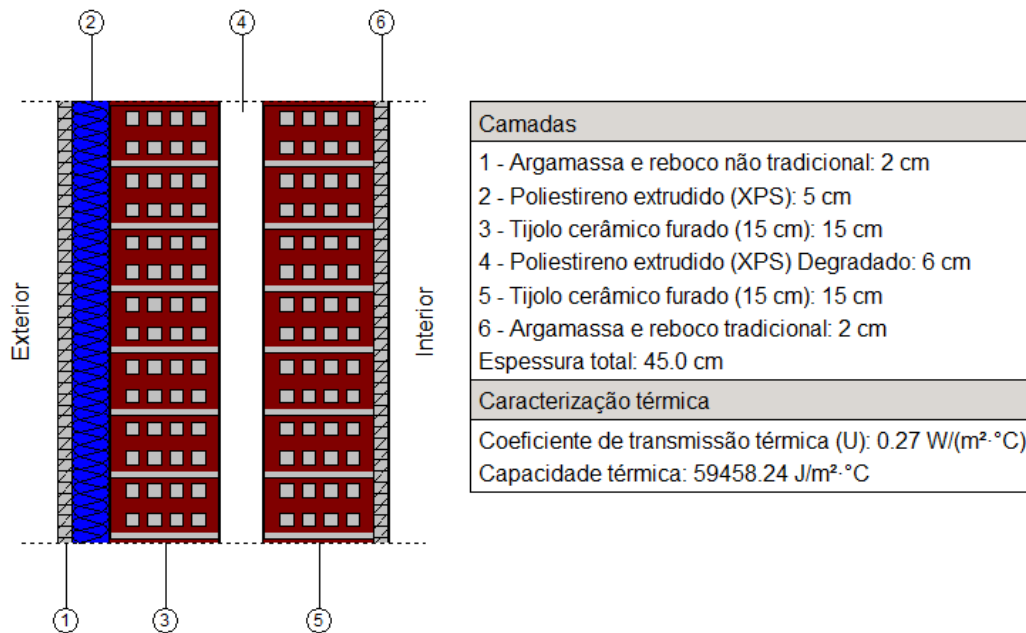


Figura 5.30 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 6

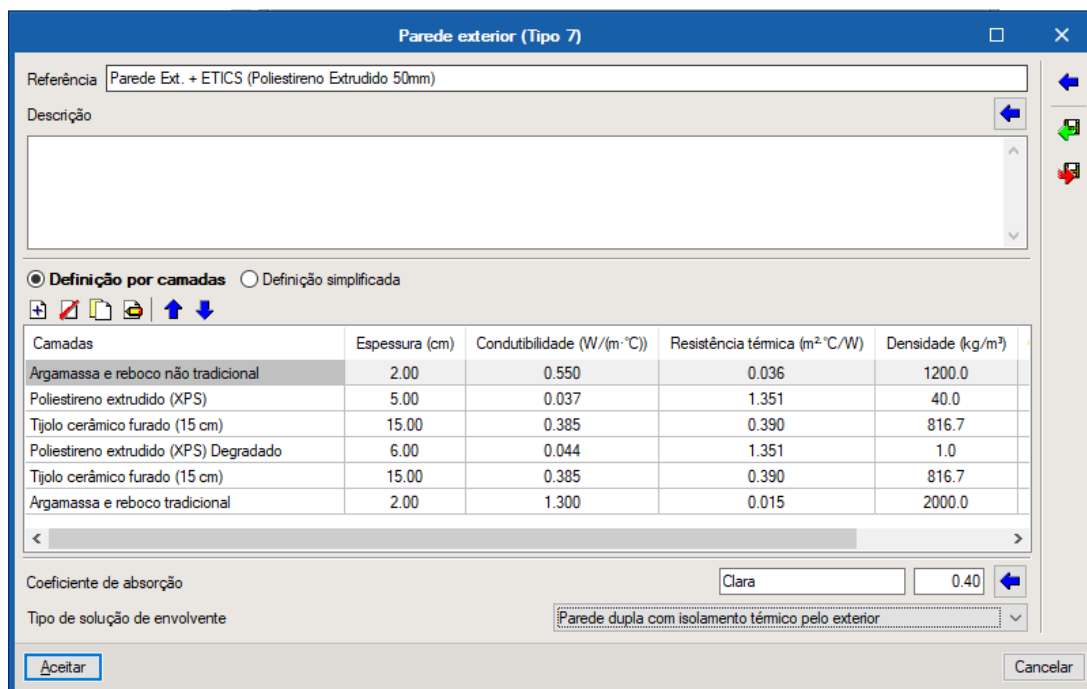


Figura 5.31 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 6

### 5.2.7. Medida de melhoria 7 – Contra fachada com caixa de ar simples

A medida de melhoria 7 é uma solução de contra fachada com caixa de ar simples sendo aplicada pelo interior da parede, uma solução descrita no capítulo 4.1.2, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 42cm. Na figura 5.32 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.33 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

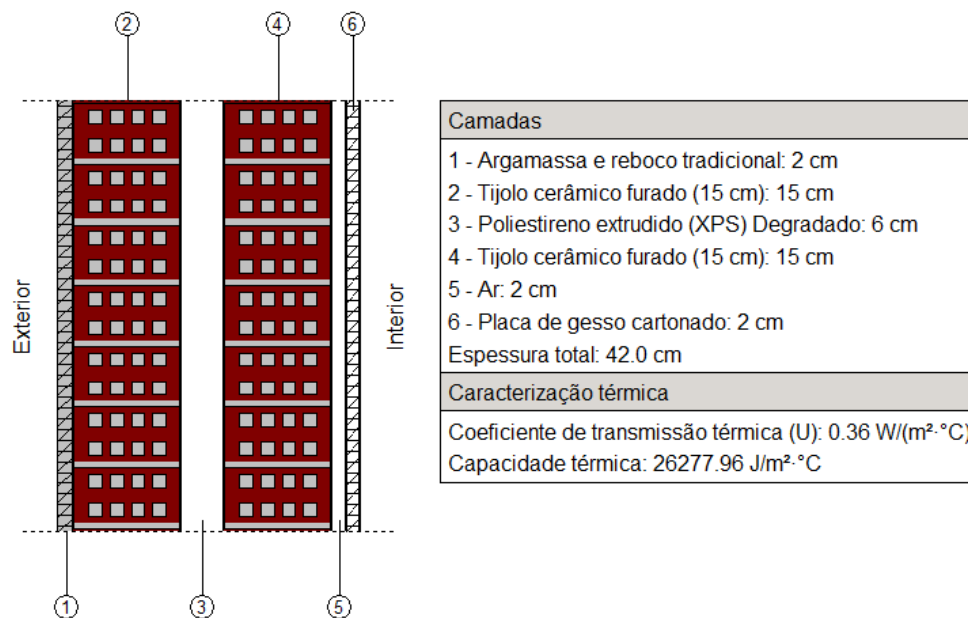


Figura 5.32 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 7

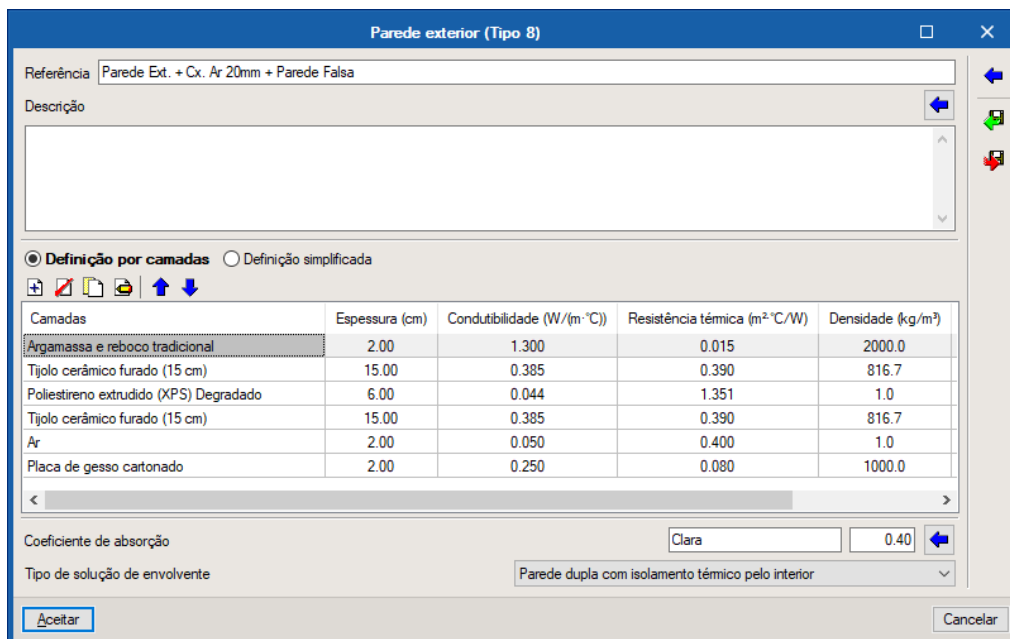


Figura 5.33 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 7

### 5.2.8. Medida de melhoria 8 – Contra fachada com isolamento (XPS 30mm) e sem caixa de ar

A medida de melhoria 8 é uma solução de contra fachada com isolamento térmico e sem caixa de ar sendo aplicada pelo interior da parede, uma solução descrita no capítulo 4.1.2, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 43cm. Na figura 5.34 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.35 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de 0,31 W/m<sup>2</sup>.°C.

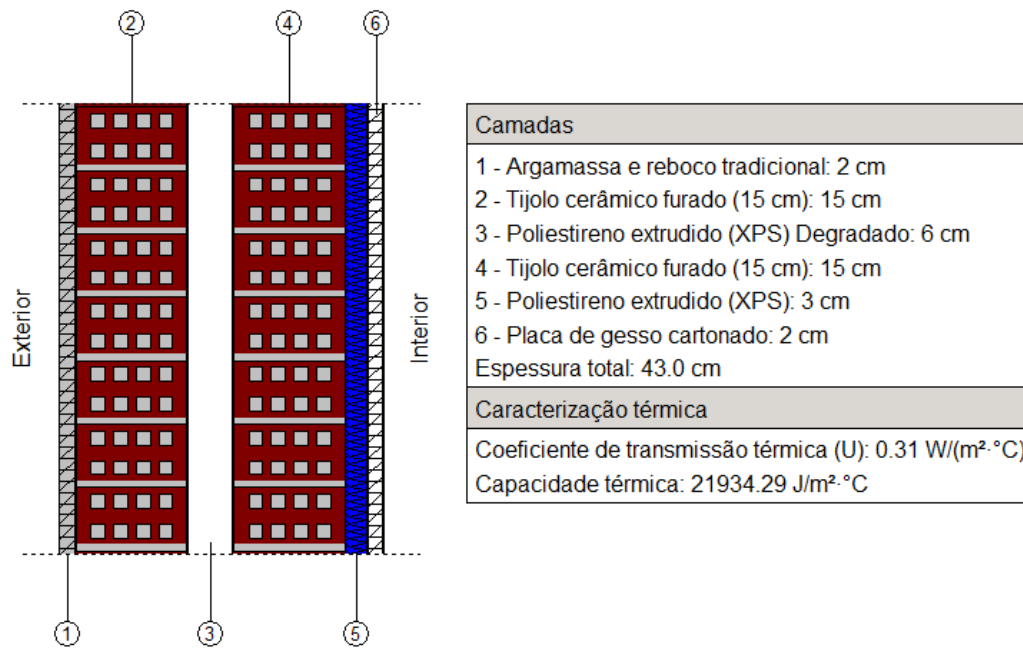


Figura 5.34 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 8

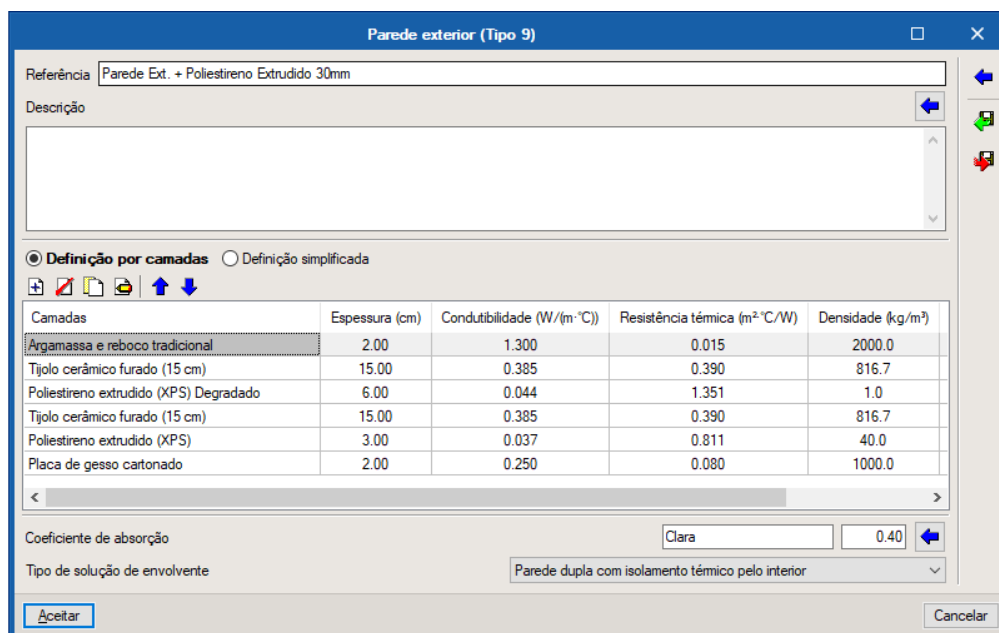


Figura 5.35 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 8

### 5.2.9. Medida de melhoria 9 – Contra fachada com isolamento (XPS 40mm) e sem caixa de ar

A medida de melhoria 9 é uma solução de contra fachada com isolamento térmico e sem caixa de ar sendo aplicada pelo interior da parede, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 44cm. Na figura 5.36 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.37 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,29 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

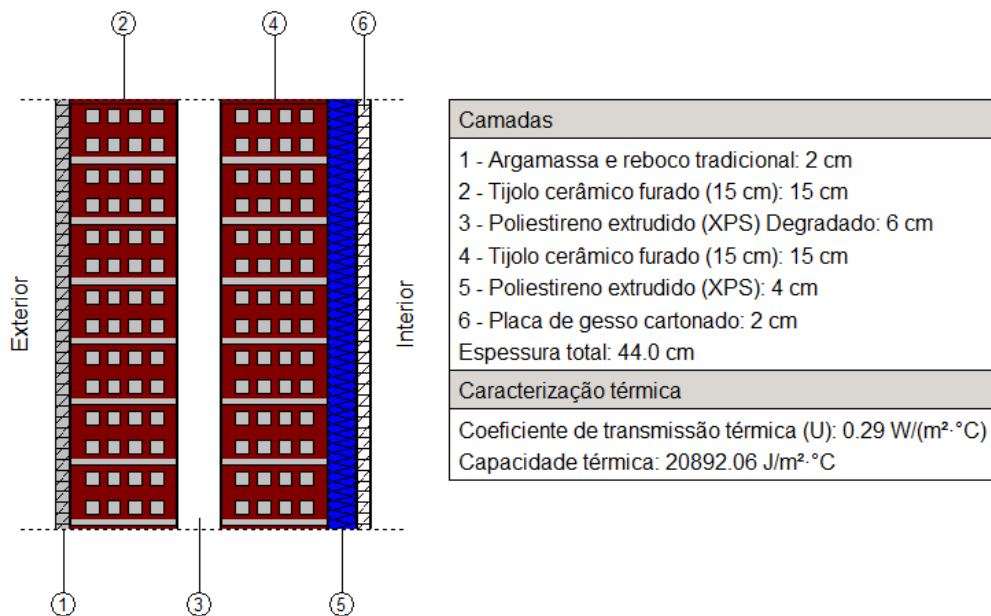


Figura 5.36 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 9

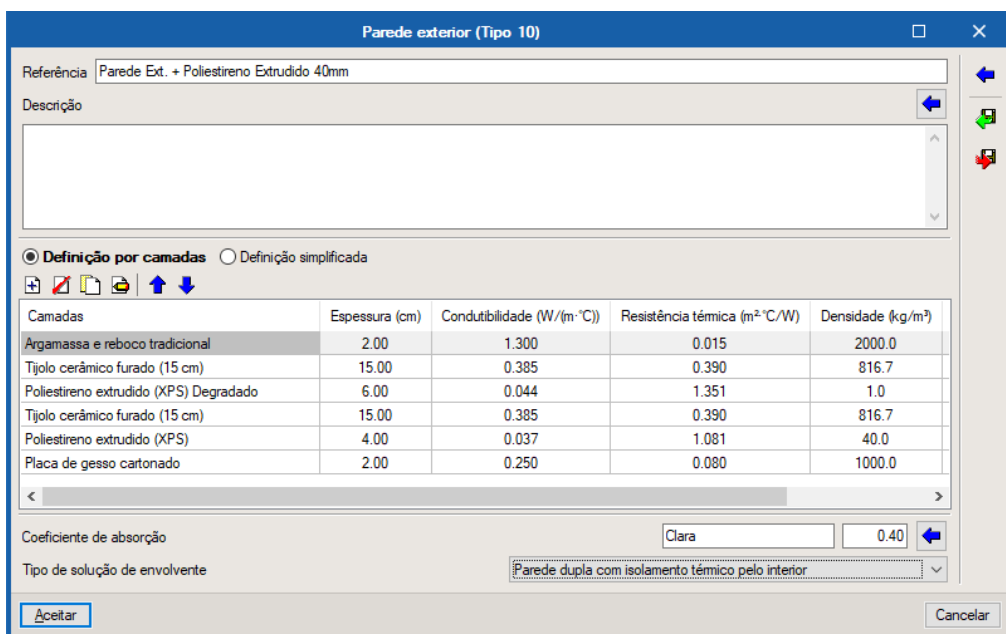


Figura 5.37 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 9

#### 5.2.10. Medida de melhoria 10 – Contra fachada com isolamento (XPS 30mm) e com caixa de ar

A medida de melhoria 10 é uma solução de contra fachada com isolamento térmico e com caixa de ar sendo aplicada pelo interior da parede, uma solução descrita no capítulo 4.1.2, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 45cm. Na figura 5.38 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.39 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

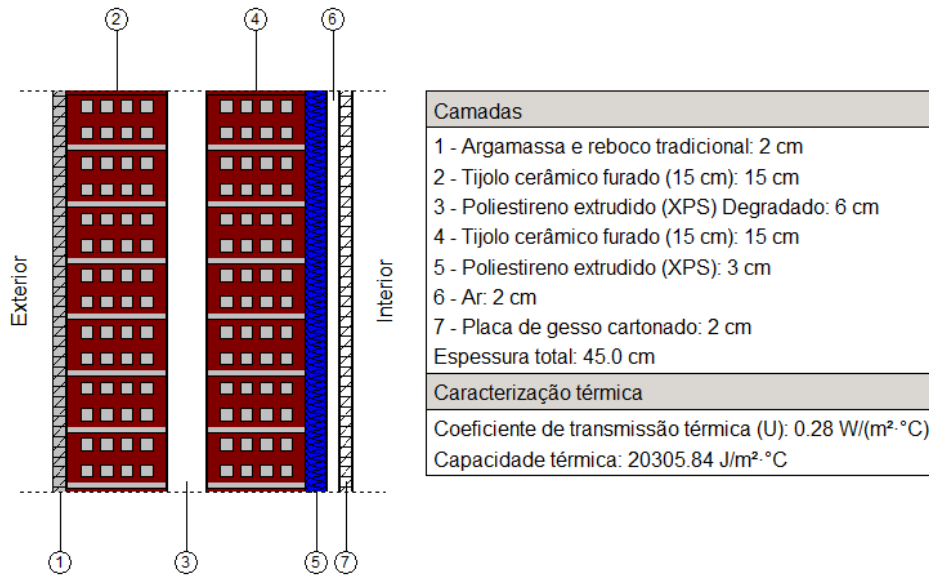


Figura 5.38 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 10

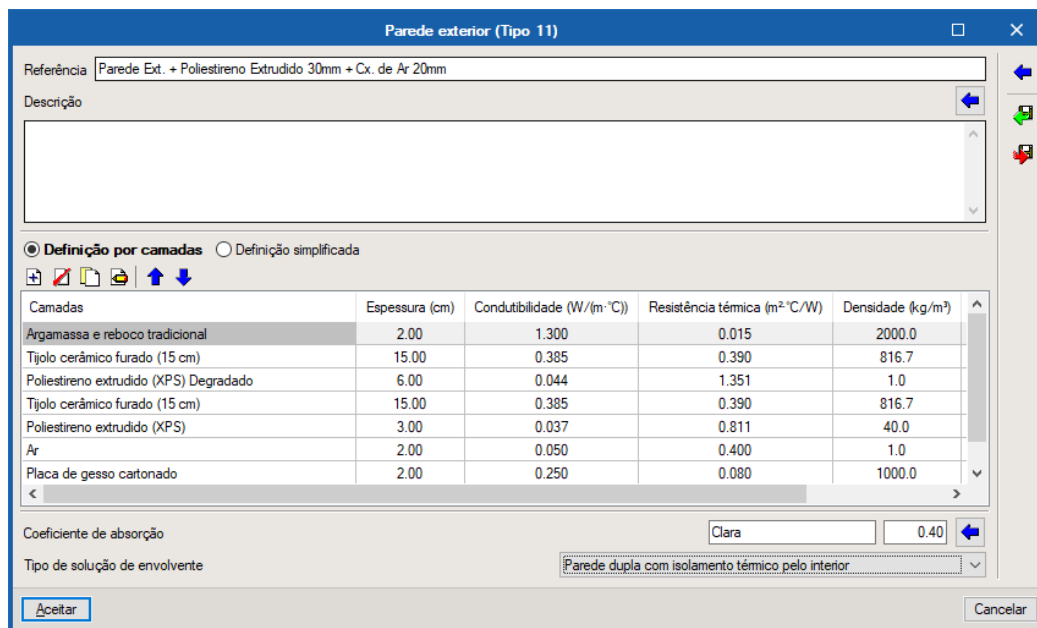


Figura 5.39 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 10

### 5.2.11. Medida de melhoria 11 – Contra fachada com isolamento (XPS 40mm) e com caixa de ar

A medida de melhoria 11 é uma solução de contra fachada com isolamento térmico e com caixa de ar sendo aplicada pelo interior da parede, a parede exterior fica desta forma com uma espessura total de 46cm. Na figura 5.40 temos a vista de corte da parede exterior onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.41 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da parede. O novo coeficiente de transmissão térmica da parede com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,26 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .

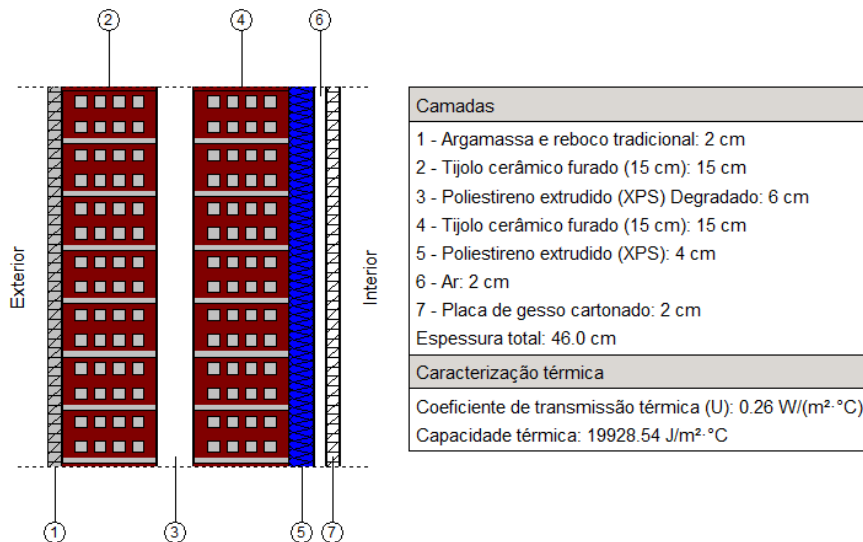


Figura 5.40 – Vista de corte da parede exterior da medida de melhoria 11

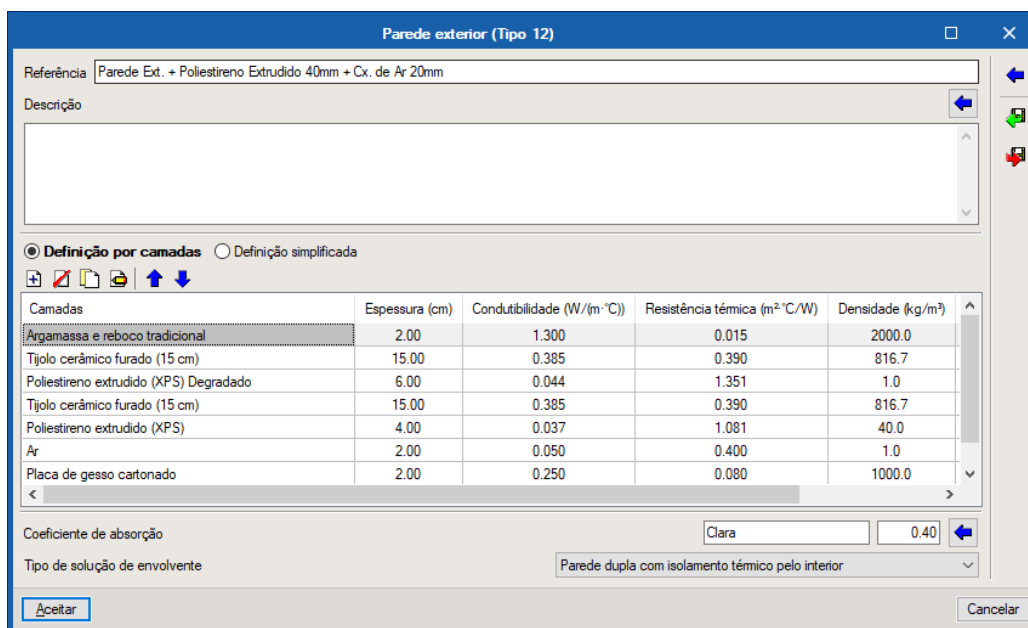
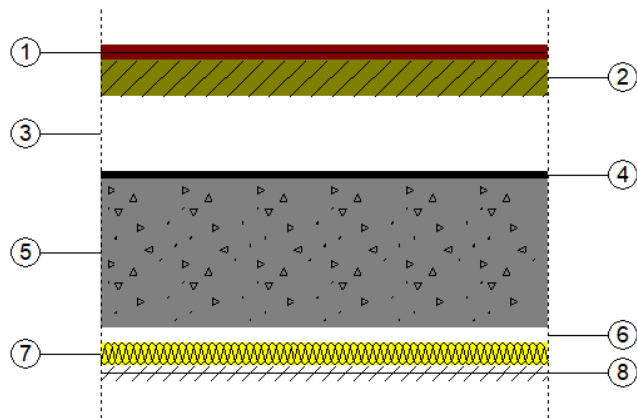


Figura 5.41 – Características térmicas dos materiais da parede exterior da medida de melhoria 11

### 5.2.12. Medida de melhoria 12 – Teto-falso com isolamento (Lã de Rocha 30mm)

A medida de melhoria 12 é uma solução de teto-falso com isolamento térmico, uma solução descrita no capítulo 4.3, sendo aplicada pela face inferior da cobertura, ficando com uma espessura total de 45cm. Na figura 5.42 temos a vista de corte da cobertura onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.43 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da cobertura. O novo coeficiente de transmissão térmica da cobertura com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,32 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .



Camadas	
1 - Telha:	2 cm
2 - Madeira densa:	5 cm
3 - Poliestireno extrudido (XPS) Degradado:	10 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume:	1 cm
5 - Betão armado com % armadura < 1 %:	20 cm
6 - Ar:	2 cm
7 - Lã de rocha (MW):	3 cm
8 - Placa de gesso cartonado:	2 cm
<b>Espessura total: 45.0 cm</b>	
Caracterização térmica	
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.32 W/(m <sup>2</sup> ·°C)	
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.32 W/(m <sup>2</sup> ·°C)	
Capacidade térmica: 61804.56 J/m <sup>2</sup> ·°C	

Figura 5.42 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 12

**Cobertura (Tipo 2)**

Referência: Telhado c/Tecto Falso + Lã de Rocha 30mm

Descrição:

Definição por camadas  Definição simplificada

Camadas	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m·°C))	Resistência térmica (m <sup>2</sup> ·°C/W)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Telha	2.00	1.000	0.020	2000.0
Madeira densa	5.00	0.230	0.217	800.0
Poliestireno extrudido (XPS) Degradado	10.00	0.074	1.351	1.0
Membranas flexíveis impregnadas com bet...	1.00	0.230	0.043	1100.0
Betão armado com % armadura < 1 %	20.00	2.000	0.100	2400.0
Ar	2.00	0.050	0.400	1.0
Lã de rocha (MW)	3.00	0.040	0.750	50.0
Placa de gesso cartonado	2.00	0.250	0.080	1000.0

Coeficiente de absorção: Média 0.60

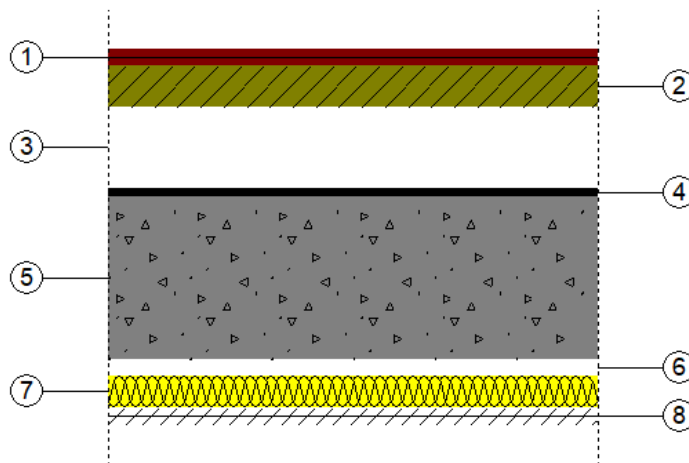
Tipo de solução de envolvente: Cobertura inclinada com isolamento no desvão

Aceitar Cancelar

Figura 5.43 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 12

### 5.2.13. Medida de melhoria 13 – Teto-falso com isolamento (Lã de Rocha 40mm)

A medida de melhoria 13 é uma solução de teto-falso com isolamento térmico sendo aplicada pela face inferior da cobertura, ficando com uma espessura total de 46cm. Na figura 5.44 temos a vista de corte da cobertura onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.45 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da cobertura. O novo coeficiente de transmissão térmica da cobertura com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,29 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  para a estação de arrefecimento e  $0,30 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  para a estação de aquecimento.



Camadas
1 - Telha: 2 cm
2 - Madeira densa: 5 cm
3 - Poliestireno extrudido (XPS) Degradado: 10 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume: 1 cm
5 - Betão armado com % armadura < 1 %: 20 cm
6 - Ar: 2 cm
7 - Lã de rocha (MW): 4 cm
8 - Placa de gesso cartonado: 2 cm
Espessura total: 46.0 cm
Caracterização térmica
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): $0.29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): $0.30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Capacidade térmica: $61787.54 \text{ J}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Figura 5.44 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 13

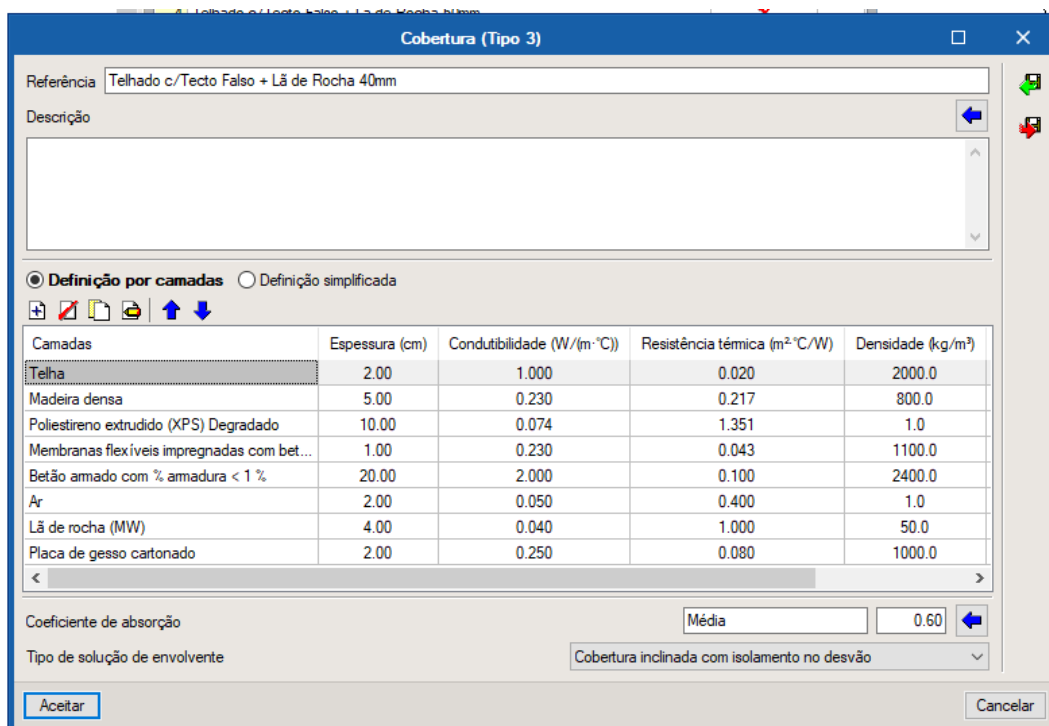
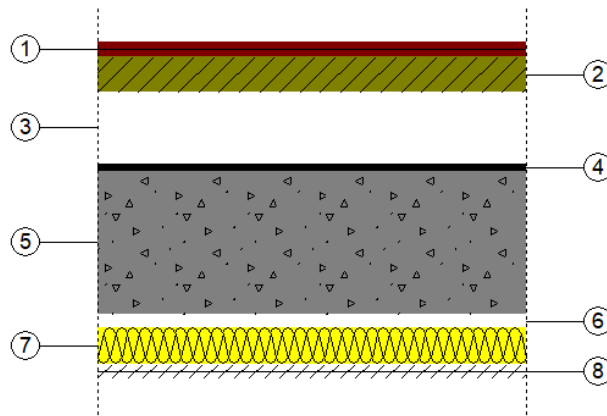


Figura 5.45 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 13

#### 5.2.14. Medida de melhoria 14 – Teto-falso com isolamento (Lã de Rocha 50mm)

A medida de melhoria 14 é uma solução de teto-falso com isolamento térmico sendo aplicada pela face inferior da cobertura, ficando com uma espessura total de 47cm. Na figura 5.46 temos a vista de corte da cobertura onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.47 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da cobertura. O novo coeficiente de transmissão térmica da cobertura com a aplicação desta medida de melhoria é de 0,27 W/m<sup>2</sup>.°C para a estação de arrefecimento e 0,28 W/m<sup>2</sup>.°C para a estação de aquecimento.



Camadas	
1 - Telha:	2 cm
2 - Madeira densa:	5 cm
3 - Poliestireno extrudido (XPS) Degradado:	10 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume:	1 cm
5 - Betão armado com % armadura < 1 %:	20 cm
6 - Ar:	2 cm
7 - Lã de rocha (MW):	5 cm
8 - Placa de gesso cartonado:	2 cm
Espessura total: 47.0 cm	
Caracterização térmica	
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.27 W/(m <sup>2</sup> ·°C)	
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.28 W/(m <sup>2</sup> ·°C)	
Capacidade térmica: 61774.95 J/m <sup>2</sup> ·°C	

Figura 5.46 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 14

**Cobertura (Tipo 4)**

Referência: Telhado c/Tecto Falso + Lã de Rocha 50mm

Descrição:

Definição por camadas  Definição simplificada

Camadas	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m·°C))	Resistência térmica (m <sup>2</sup> ·°C/W)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Telha	2.00	1.000	0.020	2000.0
Madeira densa	5.00	0.230	0.217	800.0
Poliestireno extrudido (XPS) Degradado	10.00	0.074	1.351	1.0
Membranas flexíveis impregnadas com betu...	1.00	0.230	0.043	1100.0
Betão armado com % armadura < 1 %	20.00	2.000	0.100	2400.0
Ar	2.00	0.050	0.400	1.0
Lã de rocha (MW)	5.00	0.040	1.250	50.0
Placa de gesso cartonado	2.00	0.250	0.080	1000.0

Coeficiente de absorção: Média 0.60

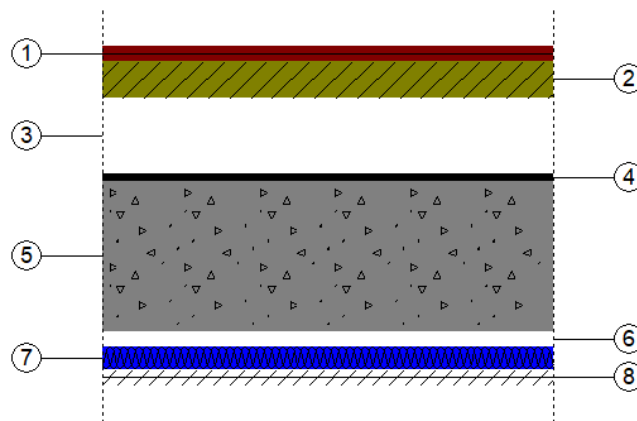
Tipo de solução de envolvente: Cobertura inclinada com isolamento no desvão

Aceitar Cancelar

Figura 5.47 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 14

### 5.2.15. Medida de melhoria 15 – Teto-falso com isolamento (XPS 30mm)

A medida de melhoria 15 é uma solução de teto-falso com isolamento térmico sendo aplicada pela face inferior da cobertura, ficando com uma espessura total de 45cm. Na figura 5.48 temos a vista de corte da cobertura onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.49 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da cobertura. O novo coeficiente de transmissão térmica da cobertura com a aplicação desta medida de melhoria é de 0,31 W/m<sup>2</sup>.°C para a estação de arrefecimento e 0,32 W/m<sup>2</sup>.°C para a estação de aquecimento.



Camadas
1 - Telha: 2 cm
2 - Madeira densa: 5 cm
3 - Poliestireno extrudido (XPS) Degrado: 10 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume: 1 cm
5 - Betão armado com % armadura < 1 %: 20 cm
6 - Ar: 2 cm
7 - Poliestireno extrudido (XPS): 3 cm
8 - Placa de gesso cartonado: 2 cm
Espessura total: 45.0 cm
Caracterização térmica
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.31 W/(m <sup>2</sup> .°C)
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.32 W/(m <sup>2</sup> .°C)
Capacidade térmica: 61800.88 J/m <sup>2</sup> .°C

Figura 5.48 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 15

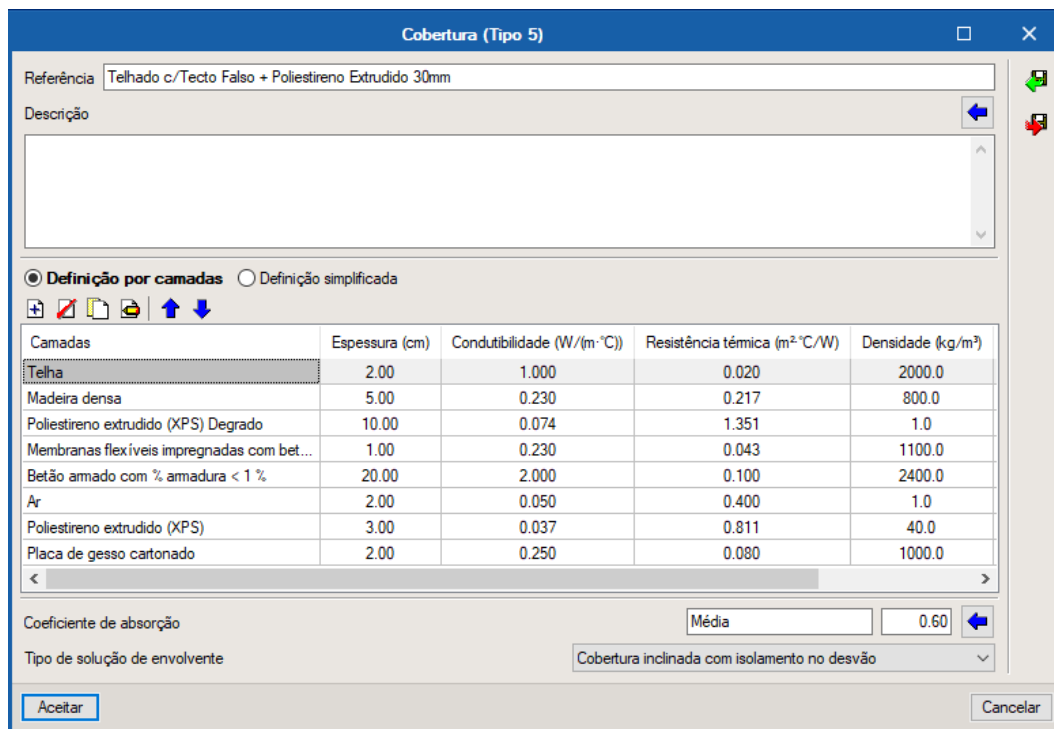
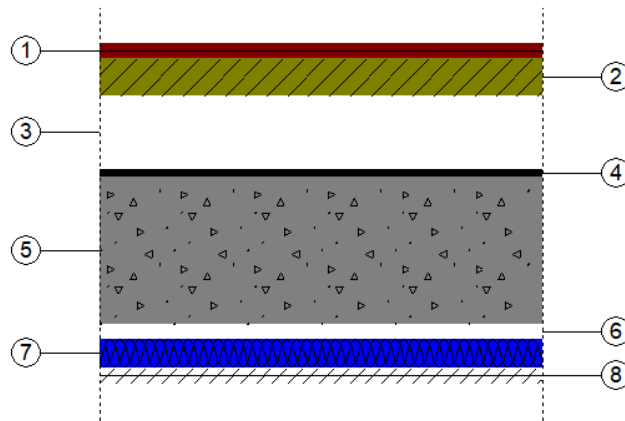


Figura 5.49 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 15

### 5.2.16. Medida de melhoria 16 – Teto-falso com isolamento (XPS 40mm)

A medida de melhoria 16 é uma solução de teto-falso com isolamento térmico sendo aplicada pela face inferior da cobertura, ficando com uma espessura total de 46cm. Na figura 5.50 temos a vista de corte da cobertura onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.51 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da cobertura. O novo coeficiente de transmissão térmica da cobertura com a aplicação desta medida de melhoria é de 0,29 W/m<sup>2</sup>.°C.



Camadas	
1 - Telha:	2 cm
2 - Madeira densa:	5 cm
3 - Poliestireno extrudido (XPS) Degradado:	10 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume:	1 cm
5 - Betão armado com % armadura < 1 %:	20 cm
6 - Ar:	2 cm
7 - Poliestireno extrudido (XPS):	4 cm
8 - Placa de gesso cartonado:	2 cm
Espessura total: 46.0 cm	
Caracterização térmica	
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): 0.29 W/(m <sup>2</sup> ·°C)	
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): 0.29 W/(m <sup>2</sup> ·°C)	
Capacidade térmica: 61784.40 J/m <sup>2</sup> ·°C	

Figura 5.50 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 16

**Cobertura (Tipo 6)**

Referência: Telhado c/Tecto Falso + Poliestireno Extrudido 40mm

Descrição:

Definição por camadas  Definição simplificada

Camadas	Espessura (cm)	Condutibilidade (W/(m·°C))	Resistência térmica (m <sup>2</sup> ·°C/W)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
Telha	2.00	1.000	0.020	2000.0
Madeira densa	5.00	0.230	0.217	800.0
Poliestireno extrudido (XPS) Degradado	10.00	0.074	1.351	1.0
Membranas flexíveis impregnadas com bet...	1.00	0.230	0.043	1100.0
Betão armado com % armadura < 1 %	20.00	2.000	0.100	2400.0
Ar	2.00	0.050	0.400	1.0
Poliestireno extrudido (XPS)	4.00	0.037	1.081	40.0
Placa de gesso cartonado	2.00	0.250	0.080	1000.0

Coeficiente de absorção: Média 0.60

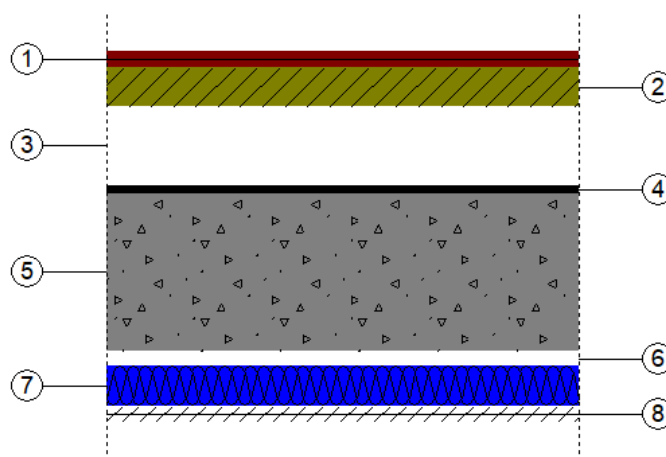
Tipo de solução de envolvente: Cobertura inclinada com isolamento no desvão

Aceitar Cancelar

Figura 5.51 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 16

### 5.2.17. Medida de melhoria 17 – Teto-falso com isolamento (XPS 50mm)

A medida de melhoria 17 é uma solução de teto-falso com isolamento térmico sendo aplicada pela face inferior da cobertura, ficando com uma espessura total de 47cm. Na figura 5.52 temos a vista de corte da cobertura onde é possível verificar as camadas constituintes da mesma, na figura 5.53 temos as características técnicas de cada uma das camadas constituintes da cobertura. O novo coeficiente de transmissão térmica da cobertura com a aplicação desta medida de melhoria é de  $0,27 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ .



Camadas
1 - Telha: 2 cm
2 - Madeira densa: 5 cm
3 - Poliestireno extrudado (XPS) Degradado: 10 cm
4 - Membranas flexíveis impregnadas com betume: 1 cm
5 - Betão armado com % armadura < 1 %: 20 cm
6 - Ar: 2 cm
7 - Poliestireno extrudado (XPS): 5 cm
8 - Placa de gesso cartonado: 2 cm
Espessura total: 47.0 cm
Caracterização térmica
Coeficiente de transmissão térmica (arrefecimento): $0.27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Coeficiente de transmissão térmica (aquecimento): $0.27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Capacidade térmica: $61772.38 \text{ J}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Figura 5.52 – Vista de corte da cobertura da medida de melhoria 17

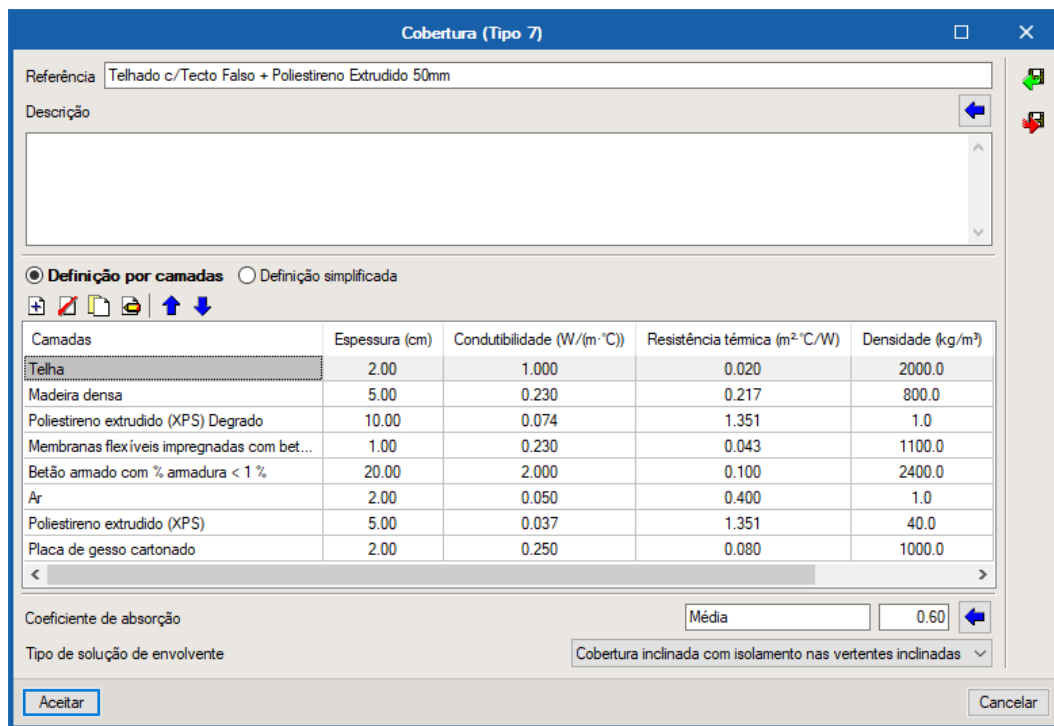


Figura 5.53 – Características térmicas dos materiais da cobertura da medida de melhoria 17

### 5.2.18. Medidas de melhoria combinadas

Com apoio do *CYPETHERM REH* conseguimos calcular as necessidades de energia com as medidas de melhoria anteriormente identificadas. Sabendo as necessidades de energia com as novas medidas de melhorias implementadas no edifício, com apoio *CYPETHERM Improvements* conseguimos calcular as poupanças promovidas pelas soluções, tendo em conta custos de investimento e manutenções anuais, conseguindo desta forma identificar quais as soluções que vão mais de encontro com o objetivo da metodologia de custo ótimo [Anexo 9].

Sendo a metodologia de custo ótimo uma metodologia iterativa, após a análise das várias medidas de melhoria anteriormente propostas, criaram-se algumas medidas de melhoria combinadas utilizando as medidas de melhoria que vão mais de encontro com a metodologia de custo ótimo. Desta forma foram criadas mais oito novas medidas de melhoria através da combinação das “melhores” medidas de melhoria para as paredes externas com as “melhores” medidas de melhoria para a cobertura, as novas medidas são:

- Medida de melhoria 18 – Teto-falso com isolamento (Lã de rocha 40mm) + ETICS (Lã de Rocha 40mm)
- Medida de melhoria 19 – Teto-falso com isolamento (Lã de rocha 40mm) + ETICS (XPS 40mm)
- Medida de melhoria 20 – Teto-falso com isolamento (Lã de rocha 40mm) + Contra fachada com isolamento (XPS 30mm) e sem caixa de ar
- Medida de melhoria 21 – Teto-falso com isolamento (Lã de rocha 40mm) + Contra facha com isolamento (XPS 30mm) e com caixa de ar
- Medida de melhoria 22 – Teto-falso com isolamento (XPS 40mm) + ETICS (Lã de Rocha 40mm)
- Medida de melhoria 23 – Teto-falso com isolamento (XPS 40mm) + ETICS (XPS 40mm)
- Medida de melhoria 24 – Teto-falso com isolamento (XPS 40mm) + Contra fachada com isolamento (XPS 30mm) e sem caixa de ar
- Medida de melhoria 25 – Teto-falso com isolamento (XPS 40mm) + Contra facha com isolamento (XPS 30mm) e com caixa de ar

Como é possível verificar nos Anexos 8 e 9 os efeitos “cruzados” das novas soluções de melhoria combinadas demonstra que a “melhor” solução de melhoria para as paredes exteriores e a “melhor” solução de melhoria para a cobertura, podem não ser a melhor solução de melhoria quando combinadas.

### 5.3. 3ª Fase – Cálculo das necessidades energéticas

A terceira fase consiste no cálculo das necessidades energéticas do edifício, com e sem as medidas de eficiência energética que foram estudadas na segunda fase. O REH (2013) estabelece a metodologia de cálculo para calcular as necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias (AQS) [18].

Os equipamentos considerados em utilização no edifício para arrefecer, aquecer e produzir AQS são os seguintes:

- Split de Aquecimento referência
  - Sistema: Aquecimento
  - Fonte de energia: Eletricidade
  - Potência: 2kW
  - Eficiência do sistema: 1
- Split de Arrefecimento referência
  - Sistema: Arrefecimento
  - Fonte de energia: Eletricidade
  - Potência: 2kW
  - Eficiência do sistema: 3
- Esquentador referência
  - Sistema: Produção AQS
  - Fonte de energia: Eletricidade
  - Potência: 2kW
  - Eficiência do sistema: 0,89

Como é possível verificar todos equipamentos utilizados durante a análise do edifício foram simplificações do que realmente existe, devido à falta de informação correta dos sistemas utilizados, optou-se desta forma por utilizar equipamentos referência como base para o cálculo do balanço energético.

### 5.3.1. Situação inicial

#### 5.3.1.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	44,40	34,00	130,59
Arrefecimento	5,25	6,35	82,68
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.1 – Balanço energético da situação inicial com degradação

A escala de valores, indicada em percentagem na última coluna da tabela 5.1, varia de 0 a mais de 300.

O valor 0 corresponde ao melhor desempenho, ou seja, à classe A+.

O valor 100 corresponde ao desempenho do edifício de referência.

O valor 300 corresponde ao pior desempenho energético, ou seja, à classe F.

#### 5.3.1.2. Envolvente

##### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	23,85	31,16
Paredes	21,26	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	4,77	6,45
Ventilação	28,75	22,6
Pontes térmicas lineares	21,37	17,43

Tabela 5.2 – Indicadores de aquecimento da situação inicial com degradação

## Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	67,31	79,09

Tabela 5.3 – Indicadores de arrefecimento da situação inicial com degradação

### 5.3.1.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	61,41	52,12
Arrefecimento	7,27	9,73
AQS	31,33	38,15

Tabela 5.4 – Rendimentos dos sistemas na situação inicial com degradação

### 5.3.2. Medida de melhoria 1

#### 5.3.2.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	39,01	34,00	114,74
Arrefecimento	4,59	6,35	72,28
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.5 – Balanço energético da medida de melhoria 1

### 5.3.2.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	25,90	31,16
Paredes	14,51	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,18	6,45
Ventilação	31,21	22,60
Pontes térmicas lineares	23,21	17,43

Tabela 5.6 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 1

#### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	63,44	79,09

Tabela 5.7 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 1

### 5.3.2.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	58,88	52,12
Arrefecimento	6,93	9,73
AQS	34,19	38,15

Tabela 5.8 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 1

### 5.3.3. Medida de melhoria 2

#### 5.3.3.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	36,45	34,00	107,21
Arrefecimento	4,27	6,35	67,24
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.9 – Balanço energético da medida de melhoria 2

#### 5.3.3.2. Envolvente

##### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	26,99	31,16
Paredes	10,88	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,40	6,45
Ventilação	32,54	22,60
Pontes térmicas lineares	24,19	17,43

Tabela 5.10 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 2

##### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	61,59	79,09

Tabela 5.11 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 2

### 5.3.3.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	57,52	52,12
Arrefecimento	6,74	9,73
AQS	35,74	38,15

Tabela 5.12 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 2

### 5.3.4. Medida de melhoria 3

#### 5.3.4.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	36,07	34,00	106,09
Arrefecimento	4,24	6,35	66,77
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.13 – Balanço energético da medida de melhoria 3

#### 5.3.4.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	27,16	31,16
Paredes	10,32	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,43	6,45
Ventilação	32,74	22,60
Pontes térmicas lineares	24,34	17,43

Tabela 5.14 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 3

## Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	61,30	79,09

Tabela 5.15 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 3

### 5.3.4.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	57,30	52,12
Arrefecimento	6,73	9,73
AQS	35,98	38,15

Tabela 5.16 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 3

### 5.3.5. Medida de melhoria 4

#### 5.3.5.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	36,83	34,00	108,32
Arrefecimento	4,29	6,35	67,56
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.17 – Balanço energético da medida de melhoria 4

### 5.3.5.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	26,82	31,16
Paredes	11,44	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,36	6,45
Ventilação	32,33	22,60
Pontes térmicas lineares	24,04	17,43

Tabela 5.18 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 4

#### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	61,74	79,09

Tabela 5.19 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 4

### 5.3.5.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	57,76	52,12
Arrefecimento	6,72	9,73
AQS	35,52	38,15

Tabela 5.20 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 4

### 5.3.6. Medida de melhoria 5

#### 5.3.6.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	36,26	34,00	106,65
Arrefecimento	4,26	6,35	67,09
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.21 – Balanço energético da medida de melhoria 5

#### 5.3.6.2. Envolvente

##### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	27,08	31,16
Paredes	10,60	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,41	6,45
Ventilação	32,64	22,60
Pontes térmicas lineares	24,27	17,43

Tabela 5.22 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 5

##### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	61,48	79,09

Tabela 5.23 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 5

### 5.3.6.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	57,40	52,12
Arrefecimento	6,74	9,73
AQS	35,86	38,15

Tabela 5.24 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 5

### 5.3.7. Medida de melhoria 6

#### 5.3.7.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	35,89	34,00	105,56
Arrefecimento	4,24	6,35	66,77
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.25 – Balanço energético da medida de melhoria 6

#### 5.3.7.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	27,25	31,16
Paredes	10,04	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,45	6,45
Ventilação	35,84	22,60
Pontes térmicas lineares	24,42	17,43

Tabela 5.26 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 6

## Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	61,30	79,09

Tabela 5.27 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 6

### 5.3.7.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	57,17	52,12
Arrefecimento	6,75	9,73
AQS	36,09	38,15

Tabela 5.28 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 6

### 5.3.8. Medida de melhoria 7

#### 5.3.8.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	37,59	34,00	110,56
Arrefecimento	4,32	6,35	68,03
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.29 – Balanço energético da medida de melhoria 7

### 5.3.8.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	26,49	31,16
Paredes	12,53	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,30	6,45
Ventilação	31,93	22,60
Pontes térmicas lineares	23,74	17,43

Tabela 5.30 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 7

#### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	62,08	79,09

Tabela 5.31 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 7

### 5.3.8.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	58,22	52,12
Arrefecimento	6,70	9,73
AQS	35,08	38,15

Tabela 5.32 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 7

### 5.3.9. Medida de melhoria 8

#### 5.3.9.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	36,64	34,00	107,76
Arrefecimento	4,27	6,35	67,24
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.33 – Balanço energético da medida de melhoria 8

#### 5.3.9.2. Envolvente

##### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	26,91	31,16
Paredes	11,16	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,38	6,45
Ventilação	32,43	22,60
Pontes térmicas lineares	24,11	17,43

Tabela 5.34 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 8

##### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	61,64	79,09

Tabela 5.35 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 8

### 5.3.9.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	57,64	52,12
Arrefecimento	6,72	9,73
AQS	35,64	38,15

Tabela 5.36 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 8

### 5.3.10. Medida de melhoria 9

#### 5.3.10.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	36,26	34,00	106,65
Arrefecimento	4,26	6,35	67,09
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.37 – Balanço energético da medida de melhoria 9

#### 5.3.10.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	27,08	31,16
Paredes	10,60	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,41	6,45
Ventilação	32,64	22,60
Pontes térmicas lineares	24,27	17,43

Tabela 5.38 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 9

## Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	61,48	79,09

Tabela 5.39 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 9

### 5.3.10.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	57,40	52,12
Arrefecimento	6,74	9,73
AQS	35,86	38,15

Tabela 5.40 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 9

### 5.3.11. Medida de melhoria 10

#### 5.3.11.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	36,07	34,00	106,09
Arrefecimento	4,24	6,35	66,77
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.41 – Balanço energético da medida de melhoria 10

### 5.3.11.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	27,16	31,16
Paredes	10,32	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,43	6,45
Ventilação	32,74	22,60
Pontes térmicas lineares	24,34	17,43

Tabela 5.42 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 10

#### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	61,30	79,09

Tabela 5.43 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 10

### 5.3.11.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	57,30	52,12
Arrefecimento	6,73	9,73
AQS	35,98	38,15

Tabela 5.44 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 10

### 5.3.12. Medida de melhoria 11

#### 5.3.12.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	35,70	34,00	105,00
Arrefecimento	4,24	6,35	66,77
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.45 – Balanço energético da medida de melhoria 11

#### 5.3.12.2. Envolvente

##### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	27,34	31,16
Paredes	9,75	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,47	6,45
Ventilação	32,95	22,60
Pontes térmicas lineares	24,50	17,43

Tabela 5.46 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 11

##### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	51,30	79,09

Tabela 5.47 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 11

### 5.3.12.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	57,04	52,12
Arrefecimento	6,77	9,73
AQS	36,19	38,15

Tabela 5.48– Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 11

### 5.3.13. Medida de melhoria 12

#### 5.3.13.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	40,57	34,00	119,32
Arrefecimento	4,23	6,35	66,61
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.49 – Balanço energético da medida de melhoria 12

#### 5.3.13.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	19,32	31,16
Paredes	22,53	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,05	6,45
Ventilação	30,45	22,60
Pontes térmicas lineares	22,64	17,43

Tabela 5.50 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 12

## Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	63,11	79,09

Tabela 5.51 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 12

### 5.3.13.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	60,14	52,12
Arrefecimento	6,28	9,73
AQS	33,58	38,15

Tabela 5.52 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 12

### 5.3.14. Medida de melhoria 13

#### 5.3.14.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	40,21	34,00	118,26
Arrefecimento	4,18	6,35	65,83
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.53 – Balanço energético da medida de melhoria 13

### 5.3.14.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	18,86	31,16
Paredes	22,66	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,08	6,45
Ventilação	30,63	22,60
Pontes térmicas lineares	22,77	17,43

Tabela 5.54 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 13

#### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	62,63	79,09

Tabela 5.55 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 13

### 5.3.14.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	59,98	52,12
Arrefecimento	6,24	9,73
AQS	33,79	38,15

Tabela 5.56 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 13

### 5.3.15. Medida de melhoria 14

#### 5.3.15.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	39,84	34,00	117,18
Arrefecimento	4,12	6,35	64,88
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.57 – Balanço energético da medida de melhoria 14

#### 5.3.15.2. Envolvente

##### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	18,4	31,16
Paredes	22,79	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,11	6,45
Ventilação	30,80	22,60
Pontes térmicas lineares	22,90	17,43

Tabela 5.58 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 14

##### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	62,14	79,09

Tabela 5.59 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 14

### 5.3.15.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	59,81	52,12
Arrefecimento	6,19	9,73
AQS	34,00	38,15

Tabela 5.60 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 14

### 5.3.16. Medida de melhoria 15

#### 5.3.16.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	40,57	34,00	119,32
Arrefecimento	4,20	6,35	66,14
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.61 – Balanço energético da medida de melhoria 15

#### 5.3.16.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	19,32	31,16
Paredes	22,53	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,05	6,45
Ventilação	30,45	22,60
Pontes térmicas lineares	22,64	17,43

Tabela 5.62 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 15

## Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	62,82	79,09

Tabela 5.63 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 15

### 5.3.16.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	60,17	52,12
Arrefecimento	6,23	9,73
AQS	33,60	38,15

Tabela 5.64 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 16

### 5.3.17. Medida de melhoria 16

#### 5.3.17.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	40,02	34,00	117,71
Arrefecimento	4,14	6,35	65,20
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.65 – Balanço energético da medida de melhoria 16

### 5.3.17.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	18,63	31,16
Paredes	22,72	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,10	6,45
Ventilação	30,72	22,60
Pontes térmicas lineares	22,84	17,43

Tabela 5.66 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 16

#### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	62,24	79,09

Tabela 5.67 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 16

### 5.3.17.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	59,90	52,12
Arrefecimento	6,19	9,73
AQS	33,91	38,15

Tabela 5.68 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 16

### 5.3.18. Medida de melhoria 17

#### 5.3.18.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	39,66	34,00	116,65
Arrefecimento	4,10	6,35	64,57
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.69 – Balanço energético da medida de melhoria 17

#### 5.3.18.2. Envolvente

##### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	18,16	31,16
Paredes	22,85	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,12	6,45
Ventilação	30,89	22,60
Pontes térmicas lineares	22,97	17,43

Tabela 5.70 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 17

##### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	61,94	79,09

Tabela 5.71 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 17

### 5.3.18.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	59,71	52,12
Arrefecimento	6,18	9,73
AQS	34,11	38,15

Tabela 5.72 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 17

### 5.3.19. Medida de melhoria 18

#### 5.3.19.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	32,50	34,00	95,59
Arrefecimento	3,29	6,35	51,81
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.73 – Balanço energético da medida de melhoria 18

#### 5.3.19.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	21,54	31,16
Paredes	11,70	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,80	6,45
Ventilação	34,97	22,60
Pontes térmicas lineares	26,00	17,43

Tabela 5.74 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 18

## Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	54,97	79,09

Tabela 5.75 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 18

### 5.3.19.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	55,61	52,12
Arrefecimento	5,64	9,73
AQS	38,76	38,15

Tabela 5.76 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 18

### 5.3.20. Medida de melhoria 19

#### 5.3.20.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	32,31	34,00	95,03
Arrefecimento	3,28	6,35	51,65
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.77 – Balanço energético da medida de melhoria 19

### 5.3.20.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	21,61	31,16
Paredes	11,40	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,82	6,45
Ventilação	35,09	22,60
Pontes térmicas lineares	26,09	17,43

Tabela 5.78 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 19

#### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	54,82	79,09

Tabela 5.79 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 19

### 5.3.20.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	55,47	52,12
Arrefecimento	5,64	9,73
AQS	38,89	38,15

Tabela 5.80 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 19

### 5.3.21. Medida de melhoria 20

#### 5.3.21.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	32,69	34,00	96,15
Arrefecimento	3,30	6,35	51,97
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.81 – Balanço energético da medida de melhoria 20

#### 5.3.21.2. Envolvente

##### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	21,46	31,16
Paredes	12,00	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,78	6,45
Ventilação	34,85	22,60
Pontes térmicas lineares	25,91	17,43

Tabela 5.82 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 20

##### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	55,04	79,09

Tabela 5.83 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 20

### 5.3.21.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	57,75	52,12
Arrefecimento	5,63	9,73
AQS	38,63	38,15

Tabela 5.84 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 20

### 5.3.22. Medida de melhoria 21

#### 5.3.22.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	32,12	34,00	94,47
Arrefecimento	3,27	6,35	51,00
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.85 – Balanço energético da medida de melhoria 21

#### 5.3.22.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	21,68	31,16
Paredes	11,10	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,84	6,45
Ventilação	35,20	22,60
Pontes térmicas lineares	26,17	17,43

Tabela 5.86 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 21

## Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	54,57	79,09

Tabela 5.87 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 21

### 5.3.22.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	55,34	52,12
Arrefecimento	5,63	9,73
AQS	39,03	38,15

Tabela 5.88 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 21

### 5.3.23. Medida de melhoria 22

#### 5.3.23.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	32,31	34,00	95,03
Arrefecimento	3,17	6,35	49,92
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.89 – Balanço energético da medida de melhoria 22

### 5.3.23.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	21,28	31,16
Paredes	11,74	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,82	6,45
Ventilação	35,08	22,60
Pontes térmicas lineares	26,08	17,43

Tabela 5.90 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 22

#### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	54,40	79,09

Tabela 5.91 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 22

### 5.3.23.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	55,58	52,12
Arrefecimento	5,45	9,73
AQS	38,96	38,15

Tabela 5.92 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 22

### 5.3.24. Medida de melhoria 23

#### 5.3.24.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	32,12	34,00	94,47
Arrefecimento	3,16	6,35	49,76
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.93 – Balanço energético da medida de melhoria 23

#### 5.3.24.2. Envolvente

##### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	21,35	31,16
Paredes	11,43	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,84	6,45
Ventilação	35,20	22,60
Pontes térmicas lineares	26,17	17,43

Tabela 5.94 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 23

##### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	54,25	79,09

Tabela 5.95 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 23

### 5.3.24.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	55,45	52,12
Arrefecimento	5,45	9,73
AQS	39,10	38,15

Tabela 5.96 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 23

### 5.3.25. Medida de melhoria 24

#### 5.3.25.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	32,05	34,00	95,59
Arrefecimento	3,17	6,35	49,92
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.97 – Balanço energético da medida de melhoria 24

### 5.3.25.2. Envolvente

#### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	21,20	31,16
Paredes	12,03	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,80	6,45
Ventilação	34,96	22,60
Pontes térmicas lineares	26,00	17,43

Tabela 5.98 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 24

#### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	54,47	79,09

Tabela 5.99 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 24

### 5.3.25.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	55,73	52,12
Arrefecimento	5,44	9,73
AQS	38,84	38,15

Tabela 5.100 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 24

### 5.3.26. Medida de melhoria 25

#### 5.3.26.1. Balanço energético

Indicadores de desempenho	Edifício objeto de cálculo [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	Edifício de referência [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	%
Aquecimento	31,94	34,00	93,94
Arrefecimento	3,14	6,35	49,45
AQS	22,65	24,89	91,00

Tabela 5.101 – Balanço energético da medida de melhoria 25

#### 5.3.26.2. Envolvente

##### Indicadores de aquecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Coberturas	21,42	31,16
Paredes	11,14	22,36
Pavimentos	0,00	0,00
Vãos envidraçados	5,86	6,45
Ventilação	35,32	22,60
Pontes térmicas lineares	26,26	17,43

Tabela 5.102 – Indicadores de aquecimento da medida de melhoria 25

##### Indicadores de arrefecimento

Tipo	Perdas	
	Edifício objeto de cálculo %	Edifício de referência %
Ganhos Solares	53,98	79,09

Tabela 5.103 – Indicadores de arrefecimento da medida de melhoria 25

### 5.3.26.3. Sistemas

Tipo	Rendimentos	
	Edifício objeto de cálculo	Edifício de referência
Aquecimento	55,32	52,12
Arrefecimento	5,44	9,73
AQS	39,24	38,15

Tabela 5.104 – Rendimentos dos sistemas com a medida de melhoria 25

#### 5.4. 4ª Fase – Estudo económico das soluções

O tempo de retorno do investimento, indicado em anos, é definido como a divisão entre o custo líquido do investimento e a poupança líquida anual gerada pela medida de melhoria.

$$\textit{Tempo de retorno do investimento} = \frac{\textit{Custo líquido do investimento}}{\textit{Poupança líquida anual}}$$

O custo líquido do investimento corresponde à soma dos custos das medidas subtraindo o valor económico de subvenções e ajudas que é possível atribuir ao projeto.

$$\textit{Custo líquido do investimento} = \textit{Custo do investimento} - \textit{Subvenções de ajuda}$$

A poupança líquida anual corresponde à poupança energética gerada pela medida de melhoria da qual é necessário subtrair o custo anual de manutenção.

$$\textit{Poupança líquida anual} = \textit{Redução anual da fatura} - \textit{Custo anual de manutenção}$$

No anexo 9 é possível verificar detalhadamente os custos de aplicação de cada melhoria, os orçamentos de execução apresentados no anexo 9 apenas foram considerados os materiais com intervenção direta no conforto térmico, como é possível verificar nas vistas de corte das várias medidas de melhoria estudadas ao longo do capítulo 5.1.2, para as intervenções. Materiais como estruturas, colas e mão de obra não foram considerados nos orçamentos. Os custos anuais de manutenção para todas as melhorias foram considerados de 50€.

Medidas de melhoria	Custo líquido do investimento			Poupança líquida anual			Tempo de retorno do investimento
	Custo	Subvenções	Líquido resultante	Redução anual da fatura	Manutenção	Poupança energética	
Medida de melhoria 1	1 071,24 €	- €	1 071,24 €	109,13 €	50,00 €	59,13 €	18,12
Medida de melhoria 2	1 263,34 €	- €	1 263,34 €	161,09 €	50,00 €	111,09 €	11,37
Medida de melhoria 3	1 489,34 €	- €	1 489,34 €	168,48 €	50,00 €	118,48 €	12,57
Medida de melhoria 4	1 048,64 €	- €	1 048,64 €	153,87 €	50,00 €	103,87 €	10,10
Medida de melhoria 5	1 252,04 €	- €	1 252,04 €	164,69 €	50,00 €	114,69 €	10,92
Medida de melhoria 6	1 444,14 €	- €	1 44,14 €	171,73 €	50,00 €	121,73 €	11,86
Medida de melhoria 7	967,28 €	- €	967,28 €	139,62 €	50,00 €	89,62 €	10,79
Medida de melhoria 8	1 566,18 €	- €	1 566,18 €	157,66 €	50,00 €	107,66 €	14,55
Medida de melhoria 9	1 769,58 €	- €	1 769,58 €	164,69 €	50,00 €	114,69 €	15,43
Medida de melhoria 10	1 566,18 €	- €	1 566,18 €	168,48 €	50,00 €	118,48 €	13,22
Medida de melhoria 11	1 769,18 €	- €	1 769,18 €	175,16 €	50,00 €	125,16 €	14,14
Medida de melhoria 12	1 532,54 €	- €	1 532,54 €	87,49 €	50,00 €	37,49 €	40,88
Medida de melhoria 13	1 717,84 €	- €	1 717,84 €	94,88 €	50,00 €	44,88 €	38,27
Medida de melhoria 14	1 935,84 €	- €	1 935,84 €	102,64 €	50,00 €	52,64 €	36,77
Medida de melhoria 15	1 510,74 €	- €	1 510,74 €	88,03 €	50,00 €	38,03 €	39,73
Medida de melhoria 16	1 706,94 €	- €	1 706,94 €	99,03 €	50,00 €	49,03 €	34,81

Tabela 5.105 – Estudo económico das medidas de melhoria (1/2)

Medidas de melhoria	Custo líquido do investimento			Poupança líquida anual			Tempo de retorno do investimento
	Custo	Subvenções	Líquido resultante	Redução anual da fatura	Manutenção	Poupança energética	
Medida de melhoria 17	1 892,24 €	- €	1 892,24 €	106,25 €	50,00 €	56,25 €	33,64
Medida de melhoria 18	2 981,18 €	- €	2 981,18 €	250,02 €	50,00 €	200,02 €	14,90
Medida de melhoria 19	2 969,88 €	- €	2 969,88 €	253,62 €	50,00 €	203,62 €	14,59
Medida de melhoria 20	3 284,02 €	- €	3 284,02 €	246,41 €	50,00 €	196,41 €	16,72
Medida de melhoria 21	3 284,02 €	- €	3 284,02 €	257,23 €	50,00 €	207,23 €	15,85
Medida de melhoria 22	2 970,28 €	- €	2 970,28 €	255,61 €	50,00 €	205,61 €	14,45
Medida de melhoria 23	2 958,98 €	- €	2 958,98 €	259,22 €	50,00 €	209,22 €	14,14
Medida de melhoria 24	3 273,12 €	- €	3 273,12 €	252,18 €	50,00 €	202,18 €	16,19
Medida de melhoria 25	3 273,12 €	- €	3 476,52 €	262,82 €	50,00 €	212,82 €	15,38

Tabela 5.106 – Estudo económico das medidas de melhoria (2/2)

## 5.6. 5ª Fase – Análise dos resultados obtidos

A metodologia de custo ótimo é obtida através do estudo económico (fase 4) das medidas de melhoria definidas (fase 2) aplicadas no edifício (caraterizado na fase 1) e tendo em conta a eficiência energética do edifício (fase 3).

Como é possível verificar na figura 5.54 a obtenção do ponto ótimo tem de ser analisado tendo em conta os dados obtidos na fase 3 e na fase 4 de forma a conseguir obter a solução de melhoria que apresente o melhor rácio custo-benefício.

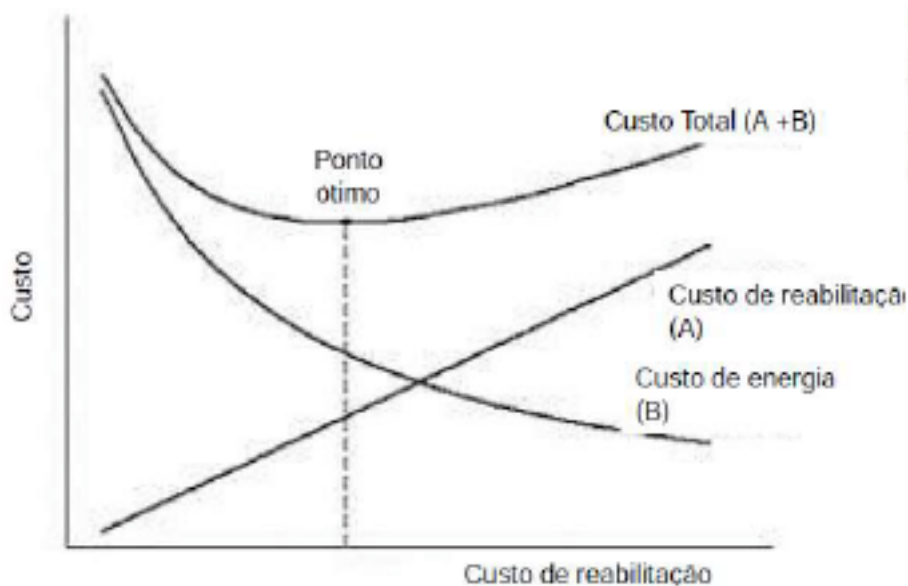


Figura 5.54 – Obtenção do ponto ótimo [25]

Como é possível verificar na fase 3 e na fase 4 as medidas de melhoria das paredes exteriores ou das soluções combinadas (cobertura e paredes exteriores) são as que apresentam maior impacto na eficiência energética do edifício e conseqüentemente as maiores poupanças energéticas face às medidas de melhoria de apenas da cobertura, e apesar dos custos de investimento serem similares às soluções de melhoria apenas para as paredes exteriores, oferecem eficiência energética inferior e conseqüentemente a poupança energética também vai ser inferior.

Na tabela 5.107 temos as “melhores” medidas de melhoria tendo em conta a metodologia de custo ótimo, pois apresentam as maiores poupanças energéticas e os tempos de retorno do investimento são os mais reduzidos de todas as medidas de melhoria analisadas.

Medidas de melhoria	Custo líquido do investimento			Poupança líquida anual			Tempo de retorno do investimento
	Custo	Subvenções	Líquido resultante	Redução anual da fatura	Manutenção	Poupança energética	
Medida de melhoria 2	1 263,34 €	- €	1 263,34 €	161,09 €	50,00 €	111,09 €	11,37
Medida de melhoria 4	1 048,64 €	- €	1 048,64 €	153,87 €	50,00 €	103,87 €	10,10
Medida de melhoria 5	1 252,04 €	- €	1 252,04 €	164,69 €	50,00 €	114,69 €	10,92
Medida de melhoria 7	967,28 €	- €	967,28 €	139,62 €	50,00 €	89,62 €	10,79
Medida de melhoria 18	2 981,18 €	- €	2 981,18 €	250,02 €	50,00 €	200,02 €	14,90
Medida de melhoria 19	2 969,88 €	- €	2 969,88 €	253,62 €	50,00 €	203,62 €	14,59
Medida de melhoria 22	2 970,28 €	- €	2 970,28 €	255,61 €	50,00 €	205,61 €	14,45
Medida de melhoria 23	2 958,98 €	- €	2 958,98 €	259,22 €	50,00 €	209,22 €	14,14

Tabela 5.107 – Estudo económico das “melhores” medidas de melhoria

Durante a fase 3 foi possível verificar que as medidas de melhoria apenas das paredes exteriores apresentam maior impacto na eficiência energética do edifício face às soluções de melhoria de apenas da cobertura. Mas os indicadores de desempenho da estação de aquecimento são sempre superiores aos valores de referência.

Desta forma, e apesar das medidas de melhoria das paredes exteriores apresentarem tempos de retorno do investimento mais reduzidos e poupanças energéticas consideráveis, serão apenas consideradas as soluções de melhoria combinadas pois são as únicas soluções que apresentam balanços energéticos inferiores aos valores de referência.

Tendo isto em conta, da tabela 5.107 ficamos apenas com as seguintes medidas de melhoria para comparação:

- Medida de melhoria 18 – Teto-falso com isolamento (Lã de rocha 40mm) + ETICS (Lã de Rocha 40mm)
- Medida de melhoria 19 – Teto-falso com isolamento (Lã de rocha 40mm) + ETICS (XPS 40mm)
- Medida de melhoria 22 – Teto-falso com isolamento (XPS 40mm) + ETICS (Lã de Rocha 40mm)
- Medida de melhoria 23 – Teto-falso com isolamento (XPS 40mm) + ETICS (XPS 40mm)

Destas quatro soluções qualquer solução poderia ser a escolhida e seria sempre considerada uma solução de custo ótimo, mas como podemos verificar na tabela 5.107 a medida de melhoria 23 é a que apresenta o menor investimento (2958,98€), maior poupança energética anual (209,22€) e conseqüentemente o tempo de retorno financeiro mais reduzido (14,14 anos). Pode-se concluir que de todas as soluções de melhoria analisadas, a solução que apresenta o “melhor” ponto-ótimo é a medida de melhoria combinada 23 com teto-falso com isolamento (XPS 40mm) + ETICS (XPS 40mm).

## 6. Conclusão

Com o estudo realizado para esta dissertação foi possível analisar várias medidas de melhoria de reabilitação do edifício em estudo, com o objetivo de melhorar a eficiência energética e o conforto térmico do edifício.

O edifício em estudo é uma habitação unifamiliar com tipologia V3, este edifício quando foi construído tinha bons índices de eficiência energética e conforto térmico, mas devido à falta de manutenção a sua envolvente com o tempo começou a apresentar degradação, nomeadamente nas paredes exteriores e cobertura, e conseqüentemente a envolvente perdeu as suas características térmicas afetando a eficiência energética e o conforto térmico do edifício.

Tendo em vista a melhoria da eficiência energética do edifício em estudo, foram identificadas várias medidas de melhoria nos componentes da envolvente que apresentavam degradação, cobertura e paredes exteriores, e foram analisadas medidas de reabilitação destes dois componentes de forma a encontrar a solução de melhoria que fosse mais de encontro à metodologia de custo ótimo.

A metodologia de custo ótimo tem como objetivo encontrar a melhor solução de melhoria tendo em conta o rácio custo-benefício que cada solução apresenta, durante as várias simulações realizadas para obter a solução de melhoria que apresenta o melhor rácio custo-benefício foi possível verificar que as soluções das paredes exteriores ou da cobertura apresentavam melhorias consideráveis, mas na estação de aquecimento os valores de energia necessários eram sempre superiores aos valores de referência. Como tal optou-se por utilizar uma das soluções combinadas de forma a conseguir obter valores de energia necessários abaixo dos valores de referência.

A escolha da solução de melhoria que iria mais de encontro à metodologia de custo ótimo não teve apenas em conta a poupança energética, mas também o tempo de retorno que teríamos com as poupanças energéticas proporcionadas pela nova solução otimizada.

A utilização dos modelos BIM e BEM para o estudo das soluções de melhoria criou uma metodologia de cálculo expedita que agilizou bastante as simulações de todas as medidas de melhorias estudadas.

O modelo BIM criado para encontrar a solução de custo ótimo permite utilizações posteriores, nomeadamente a modelação dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e produção de AQS. Desta forma é possível encontrar as soluções mais eficientes para os sistemas ativos, tomando em consideração toda a informação contido no modelo existente.

## Bibliografia

[1] “DGEG – Direção Geral da Energia e Geologia”, Disponível Online:

<http://www.dgeg.pt>

[2] “Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios”, Disponível Online:

[https://www.apambiente.pt/zdata/DAR/Ar%20Interior/Diretiva\\_2010\\_31\\_UE\\_DesempEnergEdificios.pdf](https://www.apambiente.pt/zdata/DAR/Ar%20Interior/Diretiva_2010_31_UE_DesempEnergEdificios.pdf)

[3] “Commission Delegated Regulation (EU) NO 244/2012 of January 2012”, Disponível Online:

<http://www.eib.org/epec/ee/documents/comparative-methodology-epbd.pdf>

[4] A. Brandão de Vasconcelos, M. Duarte Pinheiro, A. Manso e A.Cabaço, *“EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building”*, 2014

[5] F. Henriques, “Reabilitação Térmica de Edifícios”, 2007

[6] “Diretiva 93/76/CEE do Conselho de 13 de Setembro de 1993 relativo à limitação das emissões de dióxido de carbono através do aumento da eficiência energética”

[7] “Plano de Ação para Melhorar a Eficiência Energética na Comunidade Europeia, COM (2000) 247 final. Bruxelas, 26-04-2000”

[8] “Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios”

[9] Parlamento Europeu, “Eficiência Energética”, Disponível Online:

[www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TA&reference=P6-TA-2008-0033&language=PT](http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TA&reference=P6-TA-2008-0033&language=PT)

[10] Parlamento Europeu, “Segunda Análise Estratégica da Política Energética”, Disponível Online:

[www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2009-0038+0+DOC+XML+V0//PT](http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P6-TA-2009-0038+0+DOC+XML+V0//PT)

[11] “Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis”

[12] “Decreto-Lei nº118/2013”

[13] “Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Outubro de 2012 relativa à eficiência energética”.

[14] “Plano de eficiência energética de 2011”, COM (2011) 109 final. Bruxelas. 8-3-2011

[15] “*Energy Efficiency Plan 2011*”, SEC (2011)277 final. *Brussels*. 8-3-2011

[16] “Regulamento das Características de Comportamento Térmico em Edifícios. Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril”

[17] “Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Decreto-Lei nº79/2006 de 4 de Abril”

[18] A. Brandão de Vasconcelos, M. Duarte Pinheiro, A. Manso e A.Cabaço, “*EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building*”, 2015

[19] J. Vasconcelos Paiva, J. Aguiar, A. Pinho, “Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, Volume 2”, 2006

[20] C. Pina dos Santos, L. Matias, “ITE 50, Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios, Versão Atualizada 2006”, 2006

[21] Saint Gobain, “Manual do Vidro,

[22] C.A. Balaras, K. Droutsas, E. Dascalaki, S. Kontoyiannidis, “Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings”, *Energy Build.* 37, 2005

[23] S. Lechtenböhrer, A. Schüring, “The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU”, *Energy Effic.* 4, 2010

[24] F. Nemry, A. Uihlein, C.M. Colodel, C. Wetzel, A. Braune, B. Wittstock, et al., “Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union – potential and costs” , *Energy Build.* 42, 2010

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.009>.

[25] R. L. Miguel, D.M Ferreira. “O BIM na Certificação Energética de Serviços”,  
2016

## Anexos

Anexo 1 – Ficha de cálculo da situação inicial sem degradação

Anexo 2 – Descrição dos materiais e elementos construtivos da situação inicial sem degradação

Anexo 3 – Desempenho energético da situação inicial sem degradação

Anexo 4 – Ficha de cálculo da situação inicial com degradação

Anexo 5 – Descrição dos materiais e elementos construtivos da situação inicial com degradação

Anexo 6 – Desempenho energético da situação inicial com degradação

Anexo 7 – Verificação de condensações na situação inicial com degradação

Anexo 8 – Balanço energético das medidas de melhoria

Anexo 9 – Estudo das medidas de melhoria

Anexo 10 – Ficha de cálculo da solução final

Anexo 11 – Descrição dos materiais e elementos construtivos da solução final

Anexo 12 – Desempenho energético da solução final

Anexo 13 – Verificação de condensações na solução final

(Nota: os anexos encontram-se em formato digital)