

SELEÇÃO EXIGENCIAL DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

CAROLINA SOARES CAVALHEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

JUNHO DE 2024

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2023/2024

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil – 2023/2024 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2024*

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

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus familiares e amigos,

AGRADECIMENTOS

Gostaria neste espaço de agradecer a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o meu percurso académico, especialmente:

Ao Professor Vasco Freitas, pela orientação, disponibilidade e pelos conhecimentos transmitidos, foi um privilégio.

Aos meus pais e irmão, agradeço pelo amor incondicional e pelo apoio e motivação nos momentos mais desafiadores.

Ao Alexandre, por todo o companheirismo e por todos os momentos partilhados.

Aos meus amigos, por acompanharem todas as etapas de perto e por tornarem o alcance de cada uma mais fácil e leve.

RESUMO

O setor da construção assume responsabilidade por cerca de 40% dos consumos energéticos e 36% das emissões de gases com efeito de estufa totais da União Europeia, contribuindo ativamente para as alterações climáticas e para o aquecimento global. Portugal não é exceção e segue a tendência europeia. Ainda assim, parte da população portuguesa sente desconforto térmico no interior das suas habitações pela incapacidade de suportar os custos energéticos associados aos sistemas de aquecimento e arrefecimento. Este cenário deve-se ao facto de 75% dos edifícios portugueses apresentarem um isolamento térmico inadequado e cerca de dois terços terem sido construídos antes de 1990, altura em que foi implementada a primeira regulamentação térmica em Portugal.

Ora, o recurso aos materiais de isolamento térmico representa uma estratégia eficaz para aumentar o conforto térmico e reduzir, simultaneamente, as necessidades energéticas. Subentende-se, assim, a necessidade de criar condições para assegurar a qualidade destes materiais bem como a sua adequabilidade a uma utilização específica, a fim de promover um parque habitacional termicamente eficiente e atender aos problemas de pobreza energética e ambientais.

Para dar resposta à seleção exigencial dos materiais de isolamento térmico, na presente dissertação, foram estudados os materiais disponíveis no mercado, as exigências regulamentares e funcionais aplicáveis e algumas das certificações europeias existentes, com o objetivo final de propor: um modelo de certificação, um manual exigencial e um modelo para uma aplicação informática. Considerando o objetivo ambicioso da UE de alcançar a neutralidade carbónica até 2050, procurou-se integrar o desempenho ambiental dos isolamentos térmicos nos instrumentos criados, traduzido pelo seu potencial de aquecimento global.

O modelo de certificação proposto, R_ISOLE_FA, como o nome sugere, aproveita o perfil de uso ISOLE desenvolvido pela certificação francesa ACERMI, integrando complementarmente a resistência térmica (R), o comportamento ao fogo (F) e o desempenho ambiental (A). A certificação padronizada destas exigências permite aos fabricantes viabilizar uma identificação mais fácil da qualidade dos seus produtos, uma comparação mais intuitiva entre os produtos concorrentes e uma maior confiança aos utilizadores no desempenho dos mesmos.

Por sua vez, o manual exigencial proposto define os níveis mínimos de aptidão do isolante para uma dada solução construtiva para as exigências: compressibilidade, estabilidade dimensional, comportamento à água, comportamento mecânico e permeabilidade ao vapor de água, de acordo com o manual francês. Contudo, apresenta uma abordagem inovadora com três níveis de qualidade para especificar exigencialmente a resistência térmica e o comportamento ao fogo, em função da solução construtiva do projeto e da regulamentação portuguesa, bem como o desempenho ambiental do isolamento a aplicar na envolvente. Os projetistas de térmica conseguem, assim, através da consulta do manual exigencial, definir o perfil do isolamento térmico, sendo apenas necessário selecionar um material que atenda às características especificadas, evitando-se a seleção de produtos mal-adaptados às exigências de utilização.

Por fim, a aplicação informática idealizada transpõe os princípios da certificação e do manual para a realidade atual, tirando-se proveito das ferramentas digitais enquanto meios eficazes para promover produtos e para otimizar e simplificar processos.

PALAVRAS-CHAVE: Isolamento Térmico, Seleção Exigencial, Certificação, Manual Exigencial.

ABSTRACT

The construction sector is responsible for around 40% of the EU's energy consumption and 36% of its greenhouse gas emissions, contributing significantly to climate change and global warming. Portugal is no exception and is following the European trend. Even so, part of the portuguese population experiences thermal discomfort inside their homes due to their inability to afford the energy costs linked to heating and cooling systems. This scenario is explained by the fact that 75% of portuguese buildings have insufficient or inadequate thermal insulation and around 2/3 of them were built before 1990, prior to the first thermal regulation in Portugal.

The use of thermal insulation materials is an effective strategy for increasing thermal comfort and reduce energy needs at the same time. For this reason, it is necessary to create conditions that ensure the quality of these materials and their suitability for a specific use, in order to promote a thermally efficient housing stock.

In order to respond to the demanding selection of thermal insulation materials, in this dissertation, the materials available on the market, the regulatory and functional requirements and some of the existing European certifications were studied, with the final aim of proposing: a certification model, a requirements manual and a model for a computer application designed to select insulation materials. Considering the EU's ambitious goal of achieving carbon neutrality by 2050, an attempt was made to integrate the environmental performance of thermal insulation materials into the instruments created, reflected in their global warming potential.

The proposed certification model, R_ISOLE_FA, as the name suggests, takes advantage of the ISOLE use profile developed by the French ACERMI certification, integrating thermal resistance (R), fire behavior (F) and environmental performance (A). The standardised certification of these requirements allows an easier identification of product quality, a more intuitive comparison between rival products and increases user confidence in their performance.

On the other hand, the proposed requirements manual defines the minimum levels of suitability of the insulation material for a given construction solution for the following requirements: compressibility, dimensional stability, water behaviour, mechanical behaviour and water vapour permeability, according to the french manual. However, it presents an innovative approach with three quality levels to specify the thermal resistance and fire behaviour according to the project's construction solution and portuguese regulations, as well as the environmental performance of the insulation to be applied to the building envelope. By consulting the requirements manual, thermal designers are able to define the thermal insulation profile, only having to select a material that fulfils the specified characteristics. This avoids selecting products that are unsuitable for the requirements of use.

Finally, the computer application incorporates the principles of certification and the manual into today's reality, taking advantage of digital tools as effective methods for promoting products, as well as to optimise and simplify processes.

KEYWORDS: Thermal Insulation, Demanding Selection, Certification, Requirements Manual.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS	1
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
 2. MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO	 5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E NECESSIDADES QUE MOTIVARAM O APARECIMENTO DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO	5
2.3. DESCRIÇÃO DE ALGUNS DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO DISPONÍVEIS NO MERCADO	6
2.3.1. BREVE DESCRIÇÃO DE ALGUNS DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS CONVENCIONAIS.....	6
2.3.1.1. Lã Mineral	6
2.3.1.2. Poliestireno Expandido.....	7
2.3.1.3. Poliestireno Extrudido	7
2.3.1.4. Poliuretano	7
2.3.1.5. Poliisocianurato	7
2.3.2. BREVE DESCRIÇÃO DE ALGUNS DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS INOVADORES	7
2.3.2.1. Pannel de Isolamento a Vácuo	8
2.3.2.2. Aerogel	8
2.3.3. BREVE DESCRIÇÃO DE ALGUNS DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS SUSTENTÁVEIS	9
2.3.3.1. Cortiça	9
2.3.3.2. Celulose.....	9
2.3.3.3. Lã de Ovelha	9
2.4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO DESCRITOS.....	10
2.4.1. COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES GERAIS DOS MATERIAIS DESCRITOS.....	10
2.4.2. ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL DOS MATERIAIS DESCRITOS	11
2.4.2.1. Energia Incorporada.....	12
2.4.2.2. Potencial de Aquecimento Global	13
2.4.3. CONCLUSÃO DA ANÁLISE COMPARATIVA E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO GLOBAL.....	15

2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO	18
---------------------------------------	----

3. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES E FUNCIONAIS

3.1. INTRODUÇÃO	19
3.2. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES TÉRMICAS	19
3.2.1. EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO TÉRMICA PORTUGUESA	19
3.2.2. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA	21
3.2.2.1. Zonamento Climático	21
3.2.2.2. Evolução dos Valores Máximos Admissíveis ao Coeficiente de Transmissão Térmica dos Elementos da Envolvente Opaca dos Edifícios	21
3.3. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES NO ÂMBITO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS	23
3.3.1. CLASSIFICAÇÃO EUROPEIA DO DESEMPENHO FACE AO FOGO DE PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO	23
3.3.2. LIMITAÇÕES À PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO PELO EXTERIOR DO EDIFÍCIO	24
3.4. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS AMBIENTAIS	25
3.4.1. ABORDAGEM DA UE PARA MITIGAR A INSUSTENTABILIDADE NO SETOR DA CONSTRUÇÃO	26
3.4.2. INCENTIVOS À CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	26
3.4.2.1. Família de Normas Internacionais ISO 14000	26
3.4.2.2. Sistemas de Certificação da Sustentabilidade dos Edifícios	27
3.5. OUTRAS EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS	28
3.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO	29

4. CERTIFICAÇÕES DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS E MODELO PROPOSTO

4.1. INTRODUÇÃO	31
4.2. LNEC COMO EMISSOR DE DOCUMENTOS DE APRECIACÃO TÉCNICA DE PRODUTOS E SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO E IMPOSIÇÃO DA MARCAÇÃO CE	31
4.3. CERTIFICAÇÕES EUROPEIAS DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS	32
4.3.1. CERTIFICAÇÃO ACERMI	32
4.3.2. CERTIFICAÇÃO AENOR	33
4.4. MODELO PROPOSTO DE CERTIFICAÇÃO DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO	34
4.5. MODELO PROPOSTO PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS	35
4.5.1. PROPOSTA PARA A CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA (R) DO ISOLAMENTO	35
4.5.2. PROPOSTA PARA A CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO AO FOGO (F) DO ISOLAMENTO	36
4.5.3. PROPOSTA PARA A CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL (A) DO ISOLAMENTO	38
4.5.4. NÍVEIS DE APTIDÃO DO PERFIL DE USO ISOLE DEFINIDOS PELA ACERMI	38

4.5.4.1. Níveis de aptidão definidos pela ACERMI para a Compressibilidade (I).....	38
4.5.4.2. Níveis de aptidão definidos pela ACERMI para a Estabilidade Dimensional (S)	39
4.5.4.3. Níveis de aptidão definidos pela ACERMI para o Comportamento à Água (O)	40
4.5.4.4. Níveis de aptidão definidos pela ACERMI para o Comportamento Mecânico (L)	40
4.5.4.5. Níveis de aptidão definidos pela ACERMI para a Permeabilidade ao Vapor de Água (E)	41
4.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO	42

5. MANUAL DE SELEÇÃO EXIGENCIAL PROPOSTO 43

5.1. INTRODUÇÃO	43
5.2. MANUAL EXIGENCIAL PROPOSTO PARA A SELEÇÃO DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS.....	43
5.2.1. RESISTÊNCIA TÉRMICA (R)	43
5.2.2. COMPORTAMENTO AO FOGO (F).....	52
5.2.3. DESEMPENHO AMBIENTAL (A).....	55
5.2.4. COMPRESSIBILIDADE (I), ESTABILIDADE DIMENSIONAL (S), COMPORTAMENTO À ÁGUA (O), COMPORTAMENTO MECÂNICO (L) E PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (E)	56
5.3. SÍNTESE DO CAPÍTULO	58

6. MODELO PROPOSTO PARA UMA APLICAÇÃO INFORMÁTICA DE SELEÇÃO EXIGENCIAL DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS 59

6.1. INTRODUÇÃO	59
6.2. UTILIZADORES-ALVO E FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO	59
6.3. POTENCIAL LAYOUT PARA A APLICAÇÃO IDEALIZADA.....	61
6.4. EXEMPLO PRÁTICO DE UTILIZAÇÃO DA APLICAÇÃO.....	62
6.4.1 DESCRIÇÃO DO CASO PRÁTICO	62
6.4.2. RECOLHA DE DADOS PARA A APLICAÇÃO.....	62
6.4.2.1. Dados Indiretos	62
6.4.2.2. Dados Diretos.....	63
6.4.3. INPUT DA APLICAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO, DO ELEMENTO CONSTRUTIVO E DO NÍVEL DE QUALIDADE PRETENDIDO PELO PROJETISTA	63
6.4.4. OUTPUT DA APLICAÇÃO: RESPOSTA AUTOMÁTICA GERADA PELA APLICAÇÃO AO PROJETISTA.....	64
6.4.4.1. Consulta do Manual Exigencial.....	64
6.4.4.2. Apresentação dos Dados de Saída na Aplicação.....	65
6.5. SÍNTESE DE CAPÍTULO	66

7. CONCLUSÃO	67
7.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	67
7.2. CONCRETIZAÇÃO DOS OBJETIVOS	68
7.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
7.4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	69
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 71
 ANEXOS	 A
A1- DIAGRAMAS DO DESEMPENHO GLOBAL DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO DESCRITOS	A
A2- EXEMPLO PRÁTICO DA CLASSIFICAÇÃO ISOLE EMITIDA PELA ACERMI A UM ISOLAMENTO TÉRMICO	A

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1- Convento dos Capuchos.....	6
Fig. 2- Valores Médios de Energia Incorporada de Alguns Materiais de Isolamento Térmico [18]	13
Fig. 3- Valores do Potencial de Aquecimento Global de Alguns Materiais de Isolamento Térmico [18]	14
Fig. 4- Exemplo de um dos Diagramas de Desempenho Global Elaborados	16
Fig. 5- Zonas Climáticas de Inverno de Portugal Continental [28, 29]	21
Fig. 6- Stock Mundial de Aparelhos de Ar Condicionado [36].....	25
Fig. 7- Concentração Média Mensal Global de Dióxido de Carbono [37]	26
Fig. 8- Metodologia para a Obtenção da Resistência Térmica no Manual Exigencial	45
Fig. 9- Fundamentação do Método Exigencial para o Comportamento ao Fogo com base no Modelo Proposto ..	52
Fig. 10- Metodologia para a Obtenção do Comportamento ao Fogo no Manual Exigencial	53
Fig. 11- Metodologia para a Obtenção da Compressibilidade, Estabilidade Dimensional, Comportamento à Água, Comportamento Mecânico e Permeabilidade ao Vapor de Água no Manual Exigencial	56
Fig. 12- Esquema Operacional da Aplicação	60
Fig. 13- Possível Layout da Aplicação para o Perfil do Fabricante	61
Fig. 14- Possível Layout da Aplicação para o Perfil do Projetista	62
Fig. 15- Metodologia para a Obtenção da Zona Climática de Inverno de acordo com o Manual SCE [64]	63
Fig. 16- Modo de Preenchimento dos Campos da Aplicação Destinados ao Projetista para o Caso de Estudo ...	63
Fig. 17- Resistência Térmica do Isolamento Especificada pelo Manual Exigencial para o Caso de Estudo	64
Fig. 18- Comportamento ao Fogo do Isolamento Especificado pelo Manual Exigencial para o Caso de Estudo ..	64
Fig. 19- Desempenho Ambiental do Isolamento Especificado pelo Manual Exigencial para o Caso de Estudo.....	65
Fig. 20- Perfil de Adequação ao Uso ISOL do Isolamento Especificado pelo Manual Exigencial para o Caso de Estudo.....	65
Fig. 21- Permeabilidade ao Vapor do Isolamento Especificado pelo Manual Exigencial para o Caso de Estudo ..	65
Fig. 22- Resposta Automática Gerada pela Aplicação para o Caso de Estudo	66

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Comparação das Propriedades Gerais dos Materiais de Isolamento Térmico Descritos [14]	10
Tabela 2- Valores Médios do Potencial de Aquecimento Global dos Materiais de Isolamento Térmico Descritos.....	15
Tabela 3- Critério Utilizado para Avaliar o Desempenho Ambiental.....	16
Tabela 4- Critério Utilizado para Avaliar o Desempenho Térmico.....	16
Tabela 5- Critério Utilizado para Avaliar o Comportamento ao Fogo	17
Tabela 6- Desempenho Global dos Materiais de Isolamento Térmico Descritos	17
Tabela 7- Evolução Legislativa da Térmica em Portugal [1, 25].....	20
Tabela 8- Coeficientes de Transmissão Térmica Máximos dos Elementos da Envolvente Opaca Impostos para Portugal Continental pela Primeira Versão do RCCTE (1990) e pela Portaria n.º 138-I/2021.....	22
Tabela 9- Relação entre a Espessura do Material de Isolamento Térmico e os Valores Regulamentares de Umáx	22
Tabela 10- Reação ao Fogo de Fachadas Ventiladas [33].....	24
Tabela 11- Reação ao Fogo de ETICS [33].....	24
Tabela 12- Reação ao Fogo de Revestimentos Exteriores sobre Fachadas Não Ventiladas [33].....	24
Tabela 13- Reação ao Fogo de Revestimentos de Coberturas em Terraço [33]	24
Tabela 14- Peso das Áreas e Respetivas Vertentes do Sistema Líder A [45]	28
Tabela 15- Perfil de Uso ISOLE [56, 57].....	33
Tabela 16- Modelo Proposto para a Caracterização da Resistência Térmica dos Materiais de Isolamento Térmico.....	35
Tabela 17-Combinações Possíveis para Caracterizar a Resistência Térmica dos Materiais de Isolamento Térmico segundo o Modelo Proposto.....	36
Tabela 18- Modelo Proposto para a Caracterização do Comportamento ao Fogo dos Materiais	37
Tabela 19- Combinações Possíveis para Caracterizar o Comportamento ao Fogo dos Materiais segundo o Modelo Proposto	37
Tabela 20- Modelo Proposto para a Caracterização do Desempenho Ambiental dos Materiais de Isolamento Térmico.....	38
Tabela 21- Níveis de Compressibilidade [54, 56]	38
Tabela 22- Níveis de Estabilidade Dimensional [54, 56]	39
Tabela 23- Níveis de Comportamento à Água [54, 56].....	40
Tabela 24- Níveis de Comportamento Mecânico [54, 56].....	41
Tabela 25- Níveis de Permeabilidade ao Vapor de Água [54, 56].....	41

Tabela 26- Níveis de Qualidade Térmica.....	44
Tabela 27- Valores do Coeficiente de Transmissão Térmica dos Elementos Sem Isolamento Térmico (Usup) que Serviram de Base às Tabelas 29,30 e 31_Suporte com maior desempenho térmico	44
Tabela 28- Valores do Coeficiente de Transmissão Térmica dos Elementos Sem Isolamento Térmico (Usup) que Serviram de Base às Tabelas 32,33 e 34_Suporte com menor desempenho térmico	45
Tabela 29- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática 1_Suporte de Maior Desempenho Térmico	46
Tabela 30- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática I2_Suporte de Maior Desempenho Térmico	47
Tabela 31- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática I3_Suporte de Maior Desempenho Térmico	48
Tabela 32- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática I1_Suporte de Menor Desempenho Térmico	49
Tabela 33- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática I2_ Suporte de Menor Desempenho Térmico	50
Tabela 34- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática I3_ Suporte de Menor Desempenho Térmico	51
Tabela 35- Método Exigencial para o Comportamento ao Fogo dos Materiais no Caso de Edifícios com uma Altura Inferior a 9 m	53
Tabela 36- Método Exigencial para o Comportamento ao Fogo dos Materiais no Caso de Edifícios com uma Altura entre 9 m e 28 m	54
Tabela 37- Método Exigencial para o Comportamento ao Fogo dos Materiais no Caso de Edifícios com uma Altura Superior a 28 m	55
Tabela 38- Método Exigencial para o Desempenho Ambiental dos Isolamentos Térmicos.....	55
Tabela 39- Método Exigencial para o Perfil de Uso ISOL dos Isolamentos Térmicos [46, 54]	57
Tabela 40- Exigências de Compressibilidade (I) dos Isolamentos Térmicos em Função da Carga a que estão Sujeitos[46]	58
Tabela 41- Exigências de Permeabilidade ao Vapor de Água (E) dos Isolamentos Térmicos em Função da Higrometria do Edifício [46]	58

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

A - área [m²]

e - espessura [m]

FU - unidade funcional uniforme [kg]

GWP - potencial de aquecimento global, traduzido de global warming potencial [kg CO₂eq/ FU]

R - resistência térmica [(m².°C) /W] / [(m².K) /W]

U - coeficiente de transmissão térmica [W /(m².°C)] / [W / (m².K)]

λ - condutibilidade térmica [W /(m.°C)] / [W / (m.K)]

μ - fator de resistência à difusão do vapor de água

ρ - massa volúmica [kg/m³]

ACERMI - Associação para a Certificação de Materiais Isolantes, traduzido de Association pour la Certification des Matériaux Isolants

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

AENOR - Associação Espanhola de Normalização e Certificação, traduzido de Asociación Española de Normalización y Certificación

AVRD - Avaliação e Verificação da Regularidade do Desempenho

DAP - Declarações Ambientais de Produto

DH - Documento de Homologação

EPBD - Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios, traduzido de Energy Performance of Buildings Directive

EPNR - Energia Primária Não Renovável

EPR - Energia Primária Renovável

ETA - Avaliações Técnicas Europeias, traduzido de European Technical Assessments

ETICS - Sistema Compósito para Isolamento Térmico Exterior, traduzido de External Thermal Insulation Composite System

GEE - Gases com Efeito de Estufa

ISO - Organização Internacional de Normalização, traduzido de International Organization for Standardization

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

nZEB – Edifícios com Necessidades quase Nulas de Energia, traduzido de nearly Zero Energy Building

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS - Regulamento de desempenho dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH - Regulamento de desempenho dos Edifícios de Habitação

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios

SCE - Sistema de Certificação Energética dos edifícios

UE - União Europeia

UEATc - União Europeia para a Avaliação Técnica na construção

UNE - Associação Espanhola de Normalização

A - exigência de desempenho ambiental

E - exigência de permeabilidade ao vapor de água

F - exigência de comportamento ao fogo

I - exigência de compressibilidade

I1 - zona climática de inverno I1

I2 - zona climática de inverno I2

I3 - zona climática de inverno I3

L - exigência de comportamento mecânico

O - exigência de comportamento à água

R - exigência de resistência térmica

R_{isol} - resistência térmica do isolamento térmico

R_{min} - inverso de U_{max} , valores mínimos admissíveis à resistência térmica dos elementos da envolvente opaca

$R_{sup.}$ - resistência térmica do elemento construtivo sem isolamento térmico

S - exigência de estabilidade dimensional

U_{max} - valores máximos admissíveis ao coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca

$U_{sup.}$ - coeficiente de transmissão térmica do elemento construtivo sem isolamento térmico

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Apesar do quadro regulamentar e do clima temperado de Portugal, o desconforto térmico no interior dos edifícios é significativamente mais elevado em comparação com outros países que enfrentam invernos mais rigorosos e temperaturas mais baixas, como os países do centro e norte da Europa. Isto acontece porque cerca de 75% do parque imobiliário português carece de um isolamento térmico adequado na sua envolvente e mais de dois terços dos edifícios residenciais existentes foram construídos antes de 1990, altura em que foi publicada a primeira legislação térmica portuguesa [1].

Esta lacuna faz com que parte da população portuguesa seja incapaz de manter a sua habitação a uma temperatura ideal e, conseqüentemente, para garantir o conforto térmico, estas famílias necessitem de consumir níveis elevados de energia para aquecer (parcela mais significativa, constituindo cerca de 80% da energia consumida) e arrefecer os espaços, o que se torna particularmente desafiador para aquelas com baixos rendimentos. Atendendo à realidade económica das famílias portuguesas, traduzida pelo aquecimento intermitente dos espaços, verifica-se um problema de pobreza energética que representa uma ameaça significativa com implicações na saúde e no bem-estar humano.

Adicionalmente, o elevado consumo de energia operacional necessário ao funcionamento do edifício durante a fase de ocupação, juntamente com as emissões significativas de CO₂ inerentes às restantes fases, torna o setor da construção um dos principais responsáveis pelas alterações climáticas e pelo aquecimento global, desencadeando consequências irreversíveis no ambiente.

Sublinhada a urgência de promover a criação de edifícios termicamente eficientes e sustentáveis, a presente dissertação promove uma visão integrada para os materiais de isolamento térmico que contempla, além da qualidade, a adequação dos produtos a uma utilização específica e o seu impacto ambiental, de modo a atender às necessidades térmicas da população e preocupações ambientais.

1.2. OBJETIVOS

A ampla gama de materiais de isolamento térmico disponíveis no mercado, bem como a diversidade de aplicações possíveis em coberturas, pavimentos e paredes, não só complica a tarefa dos projetistas na seleção do isolamento térmico mais adequado a uma determinada solução construtiva, como também instiga os fabricantes a destacarem-se perante a concorrência.

Com o objetivo de fornecer aos fabricantes uma ferramenta que lhes possibilite comprovar de forma padronizada a qualidade dos seus produtos e proporcionar aos projetistas um instrumento que lhes permita compatibilizar as exigências regulamentares, funcionais e as expectativas do próprio utilizador com o desempenho efetivo dos materiais de isolamento térmico, a presente dissertação propõe:

- Um modelo de certificação de isolamentos térmicos;
- Um manual exigencial para a seleção de isolamentos térmicos;
- Um modelo para uma aplicação informática de seleção de isolamentos térmicos, que integra simultaneamente o modelo de certificação e o manual exigencial.

Ora, a certificação permitirá quer uma comparação mais fundamentada das propriedades dos materiais de isolamento térmico quer uma maior confiança na qualidade dos mesmos. Quanto ao manual exigencial, contribuirá para um desempenho adequado dos produtos ao uso, prevenindo a ocorrência de patologias. A aplicação, por sua vez, surge como uma transposição dos princípios da certificação e do manual para a realidade atual.

Contudo, a concretização dos objetivos principais mencionados só foi possível mediante um estudo prévio sobre os materiais de isolamento térmico disponíveis no mercado, as exigências regulamentares e funcionais aplicáveis, bem como as certificações europeias de isolamentos térmicos existentes, que constituíram os objetivos secundários desta investigação.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada segundo os 7 capítulos a seguir sintetizados, elaborados para dar resposta aos objetivos principais e secundários anteriormente definidos.

No capítulo 1, procurou-se enquadrar o leitor sobre o conteúdo da dissertação, abordando os desafios atuais enfrentados pela população portuguesa que fundamentam esta investigação. De seguida, delineou-se o caminho para a resolução das problemáticas apresentadas, materializado pelos objetivos da dissertação.

O capítulo 2, 3 e a primeira parte do capítulo 4 representam parte do estudo que teve de ser realizado para se cumprirem os objetivos delineados.

No capítulo 2, além de se averiguar quais os materiais de isolamento térmico disponíveis no mercado, procurou-se, sobretudo, compreender de que forma estes se distinguem entre si, com especial ênfase no desempenho ambiental, uma vez que a introdução da sustentabilidade neste domínio constituiu uma abordagem inovadora. Já no capítulo 3, foram compiladas as exigências regulamentares e funcionais passíveis de ser aplicadas aos materiais de isolamento térmico. Não só foram exploradas as diretrizes claramente definidas pelas exigências térmicas e de segurança contra incêndio, como também se procurou entender como se vão definindo as exigências ambientais para atenuar a insustentabilidade inerente ao setor da construção. Por fim, no capítulo 4, são analisadas algumas das certificações europeias voluntárias de isolamentos térmicos que complementam a marcação CE obrigatória.

As respostas diretas aos objetivos começam a desenrolar-se no capítulo 4, culminando no capítulo 6.

Inspirado na certificação francesa de materiais de isolamento térmico, o capítulo 4 propõe um modelo de certificação e um modelo de caracterização inovador para as exigências: resistência térmica, comportamento ao fogo e desempenho ambiental. Não obstante, a ausência de uma validação com os produtos de isolamento térmico disponíveis no mercado compromete a fundamentação sólida do modelo de caracterização proposto.

Posteriormente, com apoio quer no modelo de caracterização, elaborado no capítulo anterior, quer no manual disponibilizado pela ACERMI, é desenvolvido, no capítulo 5, um manual exigencial para a seleção de materiais de isolamento térmico preconizado para o caso português.

Por fim, a conjugação do modelo de certificação e do manual exigencial dá origem, no capítulo 6, à idealização de uma aplicação informática destinada aos fabricantes de isolamentos térmicos e aos projetistas de térmica.

As conclusões finais aparecem no capítulo 7, onde é apresentada uma síntese dos pontos-chave discutidos ao longo da dissertação, acompanhada de sugestões para desenvolvimentos futuros com base no trabalho realizado.

2

**MATERIAIS DE ISOLAMENTO
TÉRMICO****2.1. INTRODUÇÃO**

Os materiais de isolamento térmico destinados à aplicação na envolvente dos edifícios representam, atualmente, a solução mais utilizada para atingir valores de coeficiente de transmissão térmica (U) adequados. São indispensáveis para atingir a eficiência energética operacional nos edifícios, uma vez que, ao contribuírem para o controlo das condições ambientais interiores, reduzem as necessidades energéticas. Esta otimização do desempenho térmico da envolvente do edifício, através do uso de isolantes, previne sobretudo o sobreaquecimento na estação quente e minimiza as perdas de calor na estação fria, reduzindo, assim, a necessidade de sistemas de arrefecimento e aquecimento. Além disso, a seleção criteriosa dos materiais de isolamento térmico pode contribuir para melhorar significativamente o perfil ambiental do edifício.

2.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO E NECESSIDADES QUE MOTIVARAM O APARECIMENTO DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

Os povos pré-históricos ergueram abrigos temporários com materiais similares aos utilizados no vestuário, como peles de animais, pelo, lã e produtos vegetais como linho e palha. Contudo, a sua durabilidade era limitada, impulsionando a transição para materiais mais robustos de construção, como a pedra, a madeira e a terra. As habitações de terra, em particular, faziam uso do solo como um eficaz isolante térmico, pela sua inércia térmica, o que resultava numa alteração lenta da temperatura interior [2].

À medida que a população dedicava mais tempo no interior dos edifícios, tornou-se imperativo otimizá-los, catalisando um significativo desenvolvimento no setor da construção no final do século XIX e dando origem a novos materiais de construção como o vidro, o betão e o aço. Estes materiais permitiram a construção de edifícios mais leves, no entanto revelaram uma capacidade de isolamento inferior em relação a construções de adobe ou tijolo, traduzindo-se numa maior perda de calor e, consequentemente, numa maior dependência do petróleo para a satisfação das necessidades energéticas [2]. No entanto, a crise petrolífera de 1973 provocou um aumento abrupto nos preços da energia, reafirmando a aplicação de isolamentos térmicos como uma medida eficaz para a conservação de energia no interior dos edifícios.

Inicialmente, eram utilizados materiais de isolamento de origem natural, tais como a cortiça, o linho e a lã de madeira, contudo, durante a Revolução Industrial, foram descobertos os primeiros materiais artificiais, assumindo gradualmente primazia. Atualmente, observa-se uma inversão dessa tendência, como

será discutido mais adiante, em resposta a preocupações ambientais, observando-se de novo um aumento da produção de materiais de isolamento térmico de origem natural.

Os monges em Portugal, na Idade Média, foram pioneiros na utilização da cortiça, não apenas como elemento decorativo, mas também como revestimento interior das paredes dos seus mosteiros. O Convento dos Capuchos, em Sintra, é um exemplo emblemático desse uso, como confirma a Fig.1. Reconhecido como o "Convento da Cortiça", as pequenas celas anteriormente habitadas pelos monges franciscanos foram completamente revestidas com cortiça [3].



Fig. 1- Convento dos Capuchos

2.3. DESCRIÇÃO DE ALGUNS DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO DISPONÍVEIS NO MERCADO

Nas últimas décadas, tem-se assistido a um crescimento exponencial da preocupação com as questões energéticas e ambientais dos materiais de isolamento térmico, estimulando a produção de soluções alternativas sustentáveis e o desenvolvimento de materiais inovadores mais eficientes do ponto de vista térmico, quando comparados com os materiais convencionais.

2.3.1. BREVE DESCRIÇÃO DE ALGUNS DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS CONVENCIONAIS

Alguns dos materiais convencionais e, por isso, tradicionalmente empregues na construção, compreendem a lã de rocha, a lã de vidro, o vidro celular, a perlite, a vermiculite, a argila expandida, o poliestireno expandido, o poliestireno extrudido, o poliuretano e o poliisocianurato.

2.3.1.1. Lã Mineral

A lã mineral abrange a lã de vidro e a lã de rocha, geralmente produzidas sob a forma de placas/painéis ou mantas. A principal diferença entre ambas está na matéria-prima utilizada, como o nome sugere, a lã de rocha resulta do processo de fusão de rochas vulcânicas como o basalto e calcário, enquanto a lã de vidro provém da fusão de areia e vidro reciclado. Ambas são submetidas a centrifugação da massa fundida para gerar as fibras minerais [4, 5]. O processo idêntico de produção faz com que as características da lã de rocha e da lã de vidro sejam semelhantes, destacando-se a incombustibilidade destes materiais, o que impede a transmissão do fogo, além do excelente desempenho acústico [6]. No entanto, o manuseio destes materiais pode constituir um perigo para a saúde.

2.3.1.2. Poliestireno Expandido

O poliestireno expandido surge da combinação de pequenas esferas de poliestireno com um gás que se expande através do aquecimento com vapor de água e é obtido por meio de diversas transformações químicas do petróleo [7]. Este processo produtivo acarreta um grande impacto a nível ambiental e, além disso, em caso de incêndio, o material liberta gases tóxicos, nocivos para a saúde. No entanto, apresenta um bom desempenho térmico a um custo acessível e é fácil de manusear devido à sua leveza, tornando-o uma opção tentadora [8].

2.3.1.3. Poliestireno Extrudido

Ao contrário do poliestireno expandido, que tem uma estrutura parcialmente aberta, a estrutura do poliestireno extrudido é totalmente fechada, fazendo com que o material seja praticamente impermeável ao vapor de água e que apresente um bom desempenho térmico. A rigidez da estrutura confere ainda ao material uma elevada capacidade de resistência mecânica [9]. No entanto, apresenta as mesmas desvantagens apontadas para o poliestireno expandido.

2.3.1.4. Poliuretano

O poliuretano, formado pela reação química quase instantânea entre dois compostos químicos líquidos, poliol e isocionato, destaca-se pela baixa permeabilidade ao vapor, pelo excelente desempenho térmico e pela adesão automática, durante a produção *in situ*, à maior parte das superfícies de elementos construtivos [10]. No entanto, o material apresenta, sobretudo, inconvenientes relacionados com a sua insustentabilidade e resposta desfavorável ao fogo. O poliuretano consome muita energia não renovável durante o seu processo de fabrico e impossibilita a sua reciclagem pelo facto de as ligações entre as moléculas serem muito fortes e não poderem ser desfeitas sem consequências irreversíveis [8, 10].

2.3.1.5. Poliisocianurato

O poliisocianurato apresenta características análogas às do poliuretano, uma vez que ambos seguem o mesmo processo produtivo. No entanto, a estrutura química do primeiro é ajustada através de uma concentração mais elevada de isocionato, com vista a otimizar a resistência ao fogo do material [11].

2.3.2. BREVE DESCRIÇÃO DE ALGUNS DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS INOVADORES

Nos últimos anos, tem-se verificado um aumento na procura pela melhoria da eficiência energética dos edifícios, decorrente da percepção de que o consumo de energia no setor da construção representa uma parcela significativa do consumo global de energia e das emissões de gases com efeito de estufa a nível mundial. Este cenário implica exigências de desempenho térmico cada vez mais elevadas, com imposição de valores limite para o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca cada vez menores e, consequentemente, valores de resistência térmica cada vez maiores.

Se, para atingir os padrões energéticos desejados, se continuar a utilizar os materiais convencionais, uma vez que os valores de condutibilidade térmica se mantêm constantes, a espessura dos materiais terá inevitavelmente de aumentar, como pode ser observado pela equação (1).

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

- R - Resistência térmica da camada [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$];
- e - Espessura da camada [m];
- λ - Condutibilidade térmica do material [$\text{W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$].

Surtem assim materiais inovadores, caracterizados por valores de condutibilidade térmica reduzidos, tais como o painel de isolamento a vácuo e o aerogel, da necessidade de aumentar o desempenho térmico dos isolantes, sem comprometer a área útil do edifício.

2.3.2.1. Painel de Isolamento a Vácuo

Um dos materiais de isolamento térmico mais promissor nos estágios iniciais de comercialização é o painel de isolamento a vácuo, um sistema de isolamento que inclui o material de núcleo interior, envolvido por uma película de várias camadas de polímero metalizado [7, 12, 13]. A principal função dos materiais que constituem o núcleo é manter o nível de vácuo necessário para assegurar a baixa condutividade térmica do painel. Por essa razão, preferem-se os materiais de núcleo com poros menores, uma vez que possibilitam a redução da condutibilidade gasosa para níveis insignificantes, mesmo sob condições de pressão normais, e com estruturas de células abertas, pois permitem a evacuação do gás [12]. Os invólucros, constituídos por várias camadas, preservam o vácuo pela criação de barreiras ao vapor de água e a outros gases que possam infiltrar-se nos painéis, protegendo-os assim de potenciais danos causados pelo ambiente e durante o manuseio [12]. A instalação destes painéis, combina, com sucesso, um elevado desempenho térmico e uma estrutura de construção elegante, uma vez que requerem menos espessura de isolamento em relação aos materiais convencionais, devido aos menores valores de condutibilidade térmica. Tal torna-se uma mais-valia principalmente em situações onde o espaço de intervenção é limitado ou onde uma espessura reduzida do elemento construtivo possa implicar grandes poupanças de área e, consequentemente, um valor mais elevado do imóvel. Não obstante, o custo do painel de isolamento a vácuo não deixa de ser relativamente elevado. Existem, no entanto, alguns obstáculos que têm dificultado a sua aplicação, nomeadamente a suscetibilidade à perfuração, a fragilidade, a diminuição significativa do desempenho ao longo do tempo e a falta de adaptabilidade a estaleiros de construção sem que haja perdas de condutibilidade térmica [7, 12].

2.3.2.2. Aerogel

Outra alternativa de vanguarda de isolamento térmico é o aerogel, sintetizado a partir do processo sol-gel. Este processo inclui a preparação do gel, a transição do sistema sol para o sistema gel, o envelhecimento do gel, para minimizar a retração durante a fase de secagem, e a secagem do gel, realizada em condições críticas para evitar a fratura da estrutura do gel. Deste modo, o gás substitui os componentes líquidos do gel, resultando numa estrutura altamente porosa (com mais de 85% do volume total) e com diâmetros de poros extremamente pequenos. Esta estrutura não só torna o aerogel um dos materiais sólidos mais leves conhecidos, como também limita os três principais mecanismos de transporte térmico, conferindo-lhe uma condutibilidade térmica bastante reduzida. Outra vantagem dos aerogéis é a sua capacidade de serem produzidos como materiais opacos, translúcidos ou transparentes, proporcionando, assim, uma vasta gama de potenciais aplicações na construção [7, 14-16]. Apesar de os aerogéis serem materiais altamente promissores de isolamento térmico em edifícios, sobretudo pelo facto de o seu valor de condutibilidade térmica reduzido permitir a utilização de menores espessuras de isolamento, as suas aplicações comerciais permanecem limitadas devido ao custo de produção extremamente elevado e à fragilidade decorrente da baixa resistência à tração [12].

2.3.3. BREVE DESCRIÇÃO DE ALGUNS DOS ISOLAMENTOS TÉRMICOS SUSTENTÁVEIS

As emissões de gases com efeito de estufa (GEE) são consideradas o principal contributo para as alterações climáticas e estão intimamente ligadas ao consumo de energia nas várias fases do ciclo de vida de um edifício. A energia do ciclo de vida de um edifício tem dois componentes significativos: a energia operacional e a energia incorporada. Assim, os impactos energéticos e ambientais atribuídos aos materiais de isolamento podem ser distinguidos em impactos evitados devido à sua capacidade de redução do consumo de energia e cargas diretas incorporadas, respetivamente [17, 18].

O foco tem sido na energia utilizada para o funcionamento do edifício durante a fase de ocupação, e grandes sucessos foram alcançados, como visto anteriormente, pelos isolamentos térmicos na redução da energia operacional. No entanto, parece estar em curso uma mudança de paradigma com os recentes interesses na redução da emissão dos GEE através da redução dos componentes incorporados, como energia incorporada e o potencial de aquecimento global (GWP). Os impactos incorporados representam os encargos ambientais gerados pela aquisição de matérias-primas, processamento, fabricação, transporte até o local e construção [18].

Com o intuito de reduzir a elevada emissão de CO₂ associada a certos materiais de isolamento térmico convencionais, têm vindo a ser desenvolvidos esforços no sentido de encontrar mais alternativas viáveis do ponto de vista económico, social e ambiental à matéria-prima fóssil. Exemplos incluem isolamentos térmicos produzidos a partir de materiais naturais ou reciclados, como a cortiça, as fibras de madeira, a celulose, o fardo de palha, o algodão, o cânhamo, o linho, a lã de ovelha e as fibras têxteis. Importa frisar que alguns destes materiais já se encontram amplamente difundidos no mercado, como é o caso da cortiça e da celulose.

2.3.3.1. Cortiça

O aglomerado de cortiça expandida é um produto constituído por grânulos de cortiça, provenientes da “casca” do sobreiro, compactados e unidos apenas com a sua própria resina sob efeitos de pressão e temperatura. Torna-se interessante salientar que a cortiça é um produto natural, o que torna a reciclabilidade deste material fácil. Além disso, apresenta estabilidade dimensional, permeabilidade ao vapor e resistência mecânica [19]. No entanto, sendo um material combustível, é necessário salvaguardar a proteção ao fogo.

2.3.3.2. Celulose

A fibra de celulose é um material de isolamento natural composto essencialmente por papel reciclado, triturado e tratado com aditivos (sais boro) que desempenham funções de retardamento do fogo e inibição do crescimento de fungos. O entrelaçamento das fibras faz com que o material seja altamente resistente ao fluxo de ar, tornando um ótimo isolante acústico, além de térmico. Além disso, é caracterizado pela sua capacidade higroscópica, atuando como um amortecedor de humidade. Não obstante, essa propriedade pode afetar a longo prazo a sua eficácia como isolante térmico. Outro fator que pode ter um efeito substancial no desempenho térmico do material é a qualidade do papel utilizado [20, 21].

2.3.3.3. Lã de Ovelha

A lã de ovelha representa uma fonte de matéria-prima renovável e facilmente reciclável, composta, em média, por 60% de fibras de proteína animal, 15% de humidade, 10% de gordura, 10% de suor de ovelha e 5% de impurezas [22]. Pode-se afirmar que a lã de ovelha constitui um material de isolamento térmico com um excelente desempenho acústico e ambiental e com elevada higroscopicidade, o que, por sua

vez, regula a humidade do ambiente e promove uma atmosfera interior agradável [22]. Não obstante, a sua capacidade de absorção pode converter-se num inconveniente ao longo do tempo, uma vez que a absorção excessiva pode comprometer o seu desempenho como isolante [23].

2.4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO DESCRITOS

Face à quantidade de materiais de isolamento térmico descritos, torna-se importante perceber de que forma estes se distinguem entre si. Assim, nesta secção, serão quantificadas as propriedades de cada um dos materiais, possibilitando, posteriormente a avaliação do seu desempenho global.

2.4.1. COMPARAÇÃO DAS PROPRIEDADES GERAIS DOS MATERIAIS DESCRITOS

O desempenho térmico de um isolamento pode ser, como mencionado anteriormente, quantificado pelo seu valor de condutibilidade térmica, onde um valor menor indica uma maior eficiência térmica. No entanto, para além da contribuição dos materiais para o conforto térmico, outros fatores devem ser considerados na sua seleção, tais como: o preço, a fim de avaliar a relação custo-benefício do material; o fator de resistência à difusão do vapor de água (μ), uma vez que um valor mais elevado implica uma maior dificuldade na transmissão de vapor de água e o comportamento face ao fogo, cuja classificação é de acordo com a Norma NP EN 13501 e varia desde A1, atribuído a materiais incombustíveis, até F, para materiais com elevada combustibilidade.

Com o propósito de resumir as propriedades anteriormente mencionadas para cada material de isolamento térmico descrito e chegar a uma conclusão acerca do seu desempenho, elaborou-se a Tabela 1, adaptada do artigo intitulado "Comparative analysis of building insulation material properties and performance", publicado na revista "Renewable and Sustainable Energy Reviews"[14]. É importante salientar que se optou por qualificar o preço como baixo, médio ou alto, em vez de quantificá-lo, considerando que os valores fornecidos pelo artigo para cada material podem não corresponder exatamente aos praticados em Portugal.

Tabela 1- Comparação das Propriedades Gerais dos Materiais de Isolamento Térmico Descritos [14]

Materiais	Massa Volumica [kg/m ³]	μ	λ [W/m.K]	Reação ao fogo	Preço
Lã de Rocha	40-200	1.0–1.3	0,033-0,040	A1-A2	Baixo
Lã de Vidro	10-100	1–1.3	0,030-0,050	A1	Baixo
Poliestireno Extrudido	32-40	80–170	0,032-0,037	E	Baixo
Poliestireno Expandido	18-50	20–100	0,029-0,041	E	Baixo
Poliuretano	30-160	50–100	0,022-0,035	D-F	Médio
Poliisocianurato	30-45	55–150	0,018-0,028	B	Médio
Painel de Isolamento a Vácuo	160-230	340	0,0035-0,008	A1	Alto
Aerogel	70-150	2.0–5.5	0,013-0,021	A1/C	Alto
Lã de Ovelha	10-20	4–5	0,038-0,054	E	Médio
Celulose	30-80	1.7–3.0	0,037-0,042	B-C-E	Médio
Cortiça	100-120	5–30	0,037-0,043	E	Médio

Focando inicialmente a atenção nos valores de condutibilidade térmica, é possível afirmar que, conforme antecipado, os materiais inovadores, ou seja, o aerogel e o painel de isolamento a vácuo, exibem os menores valores, podendo atingir, respetivamente, 0,013 e 0,004 W/m·K. Por essa razão, são considerados os materiais com o melhor desempenho térmico, com destaque especial para o painel de isolamento a vácuo, cujos valores são entre 5 a 10 vezes inferiores aos dos materiais de isolamento térmico convencionais. No entanto, é importante ressaltar que o valor de condutibilidade térmica apresentado para este material é válido apenas no estado inicial, não envelhecido, pois tende a aumentar com o tempo, podendo atingir um valor de 0,020 W/m·K na condição sem vácuo ou perfurado, representando este aumento inevitável uma desvantagem do material. Relativamente ao aerogel, embora a sua condutibilidade térmica seja superior à do painel de isolamento a vácuo, não aumenta substancialmente com o tempo, e as perfurações não representam nenhum problema.

Os valores reduzidos de condutibilidade térmica atribuídos aos materiais inovadores são, no entanto, acompanhados de preços elevados, como é possível observar na Tabela 1. Deste modo, sugere-se a utilização destes materiais, sobretudo em regiões dominadas pelo aquecimento, uma vez que as suas propriedades térmicas possibilitariam o retorno do investimento num menor prazo pela poupança nos custos energéticos. Em contrapartida, a sua aplicação em regiões dominadas pelo arrefecimento deverá ser cautelosa para que não resulte em sobreaquecimento e desconforto térmico, especialmente durante o verão [14].

No que toca à resposta dos materiais ao fogo, verifica-se que a lã de rocha, a lã de vidro e o painel de isolamento a vácuo não representam uma preocupação pela sua incombustibilidade característica. Por outro lado, certos isolantes convencionais, como o poliestireno extrudido, o poliestireno expandido e o poliuretano, e sustentáveis, como a cortiça e a lã de ovelha, revelam-se altamente combustíveis, o que favorece a propagação do fogo no edifício.

Por fim, no que diz respeito à permeabilidade ao vapor dos materiais, observa-se que os materiais convencionais sintéticos como o poliestireno extrudido, o poliestireno expandido, o poliuretano e o poliisocianurato, oferecem uma resistência significativa à passagem do vapor de água, ao contrário dos convencionais minerais (lã de rocha e lã de vidro) e da lã de ovelha e celulose, que a facilitam. Além disso, estes últimos foram descritos anteriormente como higroscópicos e, por isso, com capacidade de pegar em moléculas de água que estão no ar e adsorvê-las nos poros, aumentando a permeabilidade ao vapor consideravelmente com o aumento da humidade relativa do ambiente.

2.4.2. ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL DOS MATERIAIS DESCRITOS

A presente dissertação procura inovar considerando o impacto ambiental dos materiais de isolamento térmico no processo de seleção. Assim, o desempenho ambiental dos materiais descritos é analisado nesta secção, à parte das restantes propriedades consideradas.

De forma a conduzir a uma avaliação objetiva da sustentabilidade dos diversos materiais, adotou-se como indicador ambiental o potencial de aquecimento global, internacionalmente conhecido como GWP (*Global Warming Potencial*), o qual, avaliado para um horizonte temporal de 100 anos, inclui o efeito de todas as substâncias que contribuem para o efeito estufa. Contudo, procedeu-se igualmente a uma análise superficial da energia incorporada, ou seja, da quantidade de energia necessária para produzir uma unidade funcional de material, considerada o somatório do total de energia primária renovável (EPR) com o total de energia primária não renovável (EPNR) [18].

Os valores dos parâmetros ambientais anteriormente referidos encontram-se nas Declarações Ambientais de Produtos (DAPs) dos diversos materiais de isolamento térmico, concebidas para quantificar, de

forma normalizada, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos produtos. No entanto, atualmente, no setor da construção em Portugal, a informação ambiental presente nas DAPs é frequentemente caracterizada por omissões, dados incompletos e erros, comprometendo a comparação das propriedades ambientais dos materiais isolantes. Adicionalmente, os dados ambientais relativos aos materiais de isolamento inovadores permanecem escassos, uma vez que muitos destes produtos ainda se encontram em desenvolvimento.

Com o intuito de contornar a variabilidade dos valores encontrados nas diversas DAPs para o mesmo material e a ausência de informação ambientalmente relevante de alguns materiais de isolamento térmico, a presente análise comparativa adota como referência o artigo "Embodied energy and carbon of building insulating materials: A critical review", publicado na revista "Cleaner Environmental Systems" [18].

Nesta publicação, é realizada uma revisão extensa e atualizada de 223 valores de Energia Primária Renovável (EPR), Energia Primária Não Renovável (EPNR) e Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos diferentes materiais de isolamento, obtidos principalmente de 156 Declarações Ambientais de Produtos, incluindo a DAPHabitat, uma base de dados portuguesa gerida pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Neste estudo, é avaliado o ciclo de vida do produto do "berço ao portão", considerando as fases de extração da matéria-prima, transporte até ao local de fabricação e transformação do material em produto comercial. Além disso, como forma de solucionar a diversidade observada nas unidades utilizadas pelas bases de dados para quantificar os parâmetros ambientais dos produtos, o estudo adota uma unidade funcional uniforme, FU, definida matematicamente pela equação (2), permitindo uma comparação entre os diversos materiais de isolamento, sob o pressuposto de um desempenho operacional uniforme [18].

$$FU = R \times \lambda \times \rho \times A \quad (2)$$

Nesta equação:

- FU representa a unidade funcional uniforme, expressa em kg
- R corresponde à resistência térmica, assumida como $1 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- λ representa a condutibilidade térmica do painel, expressa em W/m.K ;
- ρ indica a massa volúmica do painel, expressa em kg/m^3 ;
- A corresponde à área, assumida como 1m^2 .

2.4.2.1. Energia Incorporada

Na Fig.2, explicitam-se os valores da energia total incorporada de alguns materiais de isolamento térmico, medida em MJ, pela soma dos valores médios de EPNR e EPR.

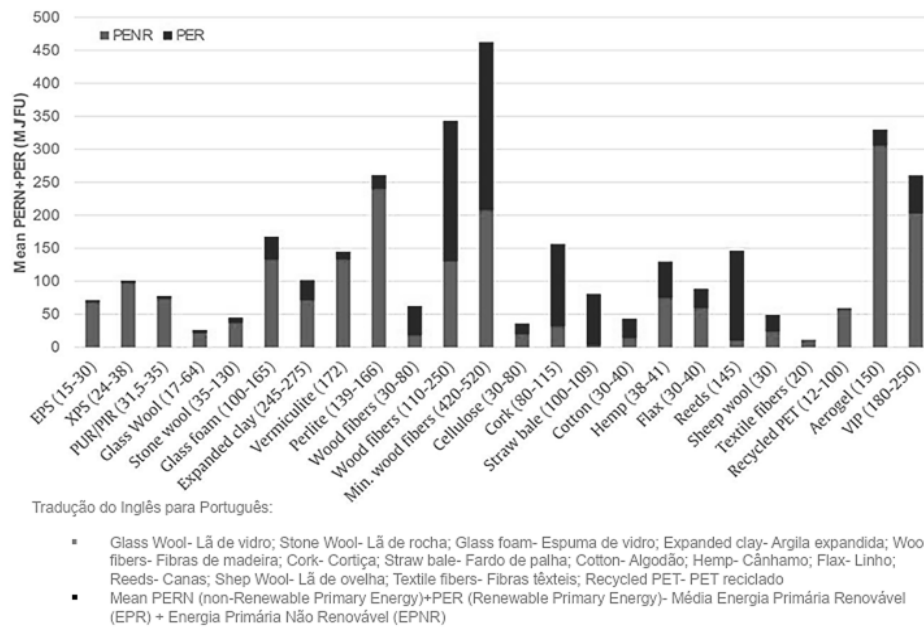


Fig. 2- Valores Médios de Energia Incorporada de Alguns Materiais de Isolamento Térmico [18]

Numa análise inicial dos valores apresentados no gráfico, considerando apenas o valor total de energia incorporada, é possível concluir que alguns materiais convencionais, como a lã de rocha e a lã de vidro, destacam-se positivamente com valores reduzidos. Perante a presença de materiais convencionais com um valor de energia incorporada inferior a materiais considerados sustentáveis, surge a questão: “que características conferem a estes últimos o caráter sustentável?” Ora, quando se examina cada material individualmente e se pondera o peso da EPR e da EPNR na energia incorporada, a resposta à dúvida levantada torna-se evidente. Embora alguns materiais sustentáveis possam requerer um maior consumo global de energia durante o processo de produção, em comparação com os materiais convencionais, tendem a utilizar uma proporção significativamente maior de energia renovável. Por outro lado, os materiais convencionais derivados de recursos orgânicos fósseis, apresentam uma percentagem de EPNR sempre superior a 95%, evidenciando, assim, o considerável impacte ambiental associado à sua produção. Adicionalmente, os materiais inovadores também utilizam uma proporção substancial de EPNR para valores de energia incorporada muito elevados [18].

2.4.2.2. Potencial de Aquecimento Global

No que concerne aos valores de GWP dos diversos materiais, foram disponibilizados pelo artigo, os indicados na Fig.3, expressos em kgCO₂eq/FU.

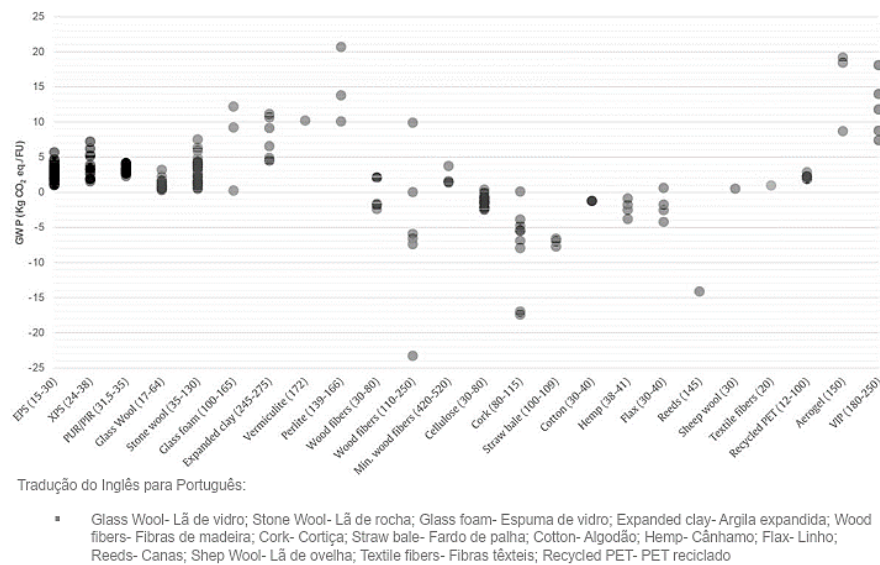


Fig. 3- Valores do Potencial de Aquecimento Global de Alguns Materiais de Isolamento Térmico [18]

Previamente a serem retiradas conclusões, importa primeiramente notar que a apresentação dos valores de GWP dos materiais confirma as duas problemáticas anteriormente expostas. Em primeiro lugar, destaca-se a grande variabilidade de valores para o mesmo material, como evidenciado pelo painel de isolamento a vácuo (VIP), no qual cinco DAPs apresentam valores distintos, resultando num intervalo de GWP entre 7 e 19 kgCO₂eq/FU. Tal discrepância pode ser atribuída às divergências nas tipologias de painéis, densidades, propriedades térmicas e processos de fabrico. Em segundo lugar, observa-se a escassez de informação relativa a materiais alternativos sustentáveis e inovadores, como a lã de ovelha, que conta apenas com uma DAP, e o aerogel, com três, respetivamente. Pelo contrário, os materiais convencionais apresentam baixas gamas de variação e valores mais padronizados, como é o caso do poliuretano e poliisocianurato com valores de GWP situados numa gama de 2 a 5 kgCO₂eq/FU.

A considerável dispersão dos resultados obtidos torna a interpretação dos dados mais complexa, nesse sentido, elaborou-se a Tabela 2 com os valores médios do GWP de cada material. Importa salientar que estes valores foram acompanhados dos respetivos valores de desvio padrão, de forma a manter clara a dispersão dos valores em relação à média do conjunto, justificando o menor preciosismo, essencialmente, do valor obtido para a cortiça, painel de isolamento a vácuo e aerogel.

Além disso, com o objetivo de garantir que os valores médios obtidos eram aceitáveis, procedeu-se, para cada material, à conversão do valor de GWP médio obtido em kgCO₂eq/FU para kgCO₂eq/kg e kgCO₂eq/m³, visto que estas unidades são as mais frequentemente utilizadas pelas bases de dados, facilitando, assim, a sua verificação. Para a sua materialização, recorreu-se aos menores valores de condutibilidade térmica e massa volúmica apresentados para cada material, na Tabela 1, e aplicou-se a equação (2) apresentada no presente capítulo.

Após a validação dos valores obtidos, a avaliação do desempenho ambiental de cada material foi realizada com base nos valores de GWP expressos em kgCO₂eq/FU. Esta decisão foi sustentada pelo facto de volumes ou massas iguais de diferentes materiais não desempenharem a mesma função ou eficácia, permitindo a unidade funcional FU considerar a massa volúmica e a condutibilidade térmica do material no cálculo do seu impacto ambiental.

Tabela 2- Valores Médios do Potencial de Aquecimento Global dos Materiais de Isolamento Térmico Descritos

Materiais	GWP _{médio} [kgCO ₂ eq/FU]	Desvio Padrão	λ [W/m.K]	ρ [kg/m ³]	FU	GWP [kgCO ₂ eq/kg]	GWP [kgCO ₂ eq/m ³]
Cortiça	-8,45	5,74	0,037	100	3,70	-2,28	-228,38
Celulose	-1	1,41	0,037	30	1,11	-0,90	-27,03
Lã de Ovelha	0,5	0,50	0,038	10	0,38	1,32	13,16
Lã de Vidro	1	0,82	0,03	10	0,30	3,33	33,33
Poliestireno Expandido	2,5	1,41	0,029	18	0,52	4,79	86,21
Lã de Rocha	3	1,71	0,033	40	1,32	2,27	90,91
Poliuretano	3,5	1,12	0,022	30	0,66	5,30	159,09
Poliisocianurato	3,5	1,12	0,018	30	0,54	6,48	194,44
Poliestireno Extrudido	4	1,71	0,032	32	1,02	3,91	125,00
Painel de Isolamento a Vácuo	11,9	3,81	0,0035	160	0,56	21,25	3400,00
Aerogel	15,5	4,97	0,013	70	0,91	17,03	1192,31

Os valores apresentados na Tabela 2 foram intencionalmente ordenados, desde o material com o melhor desempenho ambiental, destacado a verde, até ao de pior desempenho, destacado a vermelho. Assim, dos três tipos de materiais analisados – convencionais, inovadores e sustentáveis – é possível afirmar que, previsivelmente, os materiais sustentáveis são os que apresentam um menor potencial de aquecimento global, com os valores médios mais baixos e, por vezes, até negativos, devido à presença de carbono biogénico. No que concerne aos materiais convencionais, destaca-se a excelente prestação ambiental da lã de vidro, com um valor de GWP muito próximo do obtido por alguns materiais sustentáveis.

Inesperadamente, os materiais inovadores revelam os valores médios mais elevados de GWP, indicando à primeira vista um considerável impacte ambiental. No entanto, é importante sublinhar que, como visto anteriormente, a unidade funcional FU impõe o alcance de uma resistência térmica de 1 m² K/W a todos os materiais, onde os inovadores, embora associados a grandes valores de GWP, alcançam essa resistência com espessuras de isolamento térmico significativamente mais baixas em comparação com os materiais de melhor desempenho ambiental.

2.4.3. CONCLUSÃO DA ANÁLISE COMPARATIVA E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO GLOBAL

Com o objetivo de caracterizar graficamente cada material de isolamento térmico descrito e, considerando apenas o desempenho térmico, o desempenho ambiental e a reação ao fogo, dada a preponderância destes fatores ao longo da dissertação, foram elaborados os diagramas apresentados no Anexo A1, ilustrando a Fig.4 um exemplo. Devido à necessidade de uniformidade do número de níveis para cada parâmetro imposta pelo tipo de gráfico escolhido, adotaram-se os critérios apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5, nas quais, o nível de qualidade 12 representa o melhor possível. Não obstante, tais critérios foram criados com base exclusivamente nos valores obtidos pelos materiais para cada parâmetro avaliado, carecendo, portanto, de uma fundamentação sólida.

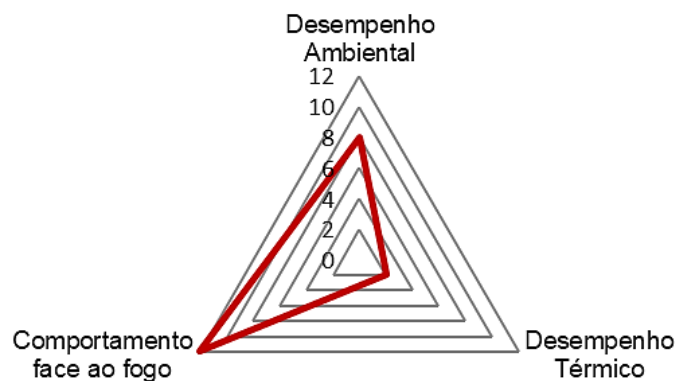


Fig. 4- Exemplo de um dos Diagramas de Desempenho Global Elaborados

Tabela 3- Critério Utilizado para Avaliar o Desempenho Ambiental

Intervalo de valores [$\text{kgCO}_2\text{eq/FU}$]	Nível de Qualidade
$\text{GWP} < -6$	12
$-6 \leq \text{GWP} < -4$	11
$-4 \leq \text{GWP} < -2$	10
$-2 \leq \text{GWP} < 0$	9
$0 \leq \text{GWP} < 2$	8
$2 \leq \text{GWP} < 4$	7
$4 \leq \text{GWP} < 6$	6
$6 \leq \text{GWP} < 8$	5
$8 \leq \text{GWP} < 10$	4
$10 \leq \text{GWP} < 12$	3
$12 \leq \text{GWP} < 14$	2
$14 \leq \text{GWP}$	1

Tabela 4- Critério Utilizado para Avaliar o Desempenho Térmico

Intervalo de valores [W/m.K]	Nível de Qualidade
$\lambda < 0,005$	12
$0,005 \leq \lambda < 0,006$	11
$0,006 \leq \lambda < 0,007$	10
$0,007 \leq \lambda < 0,008$	9
$0,008 \leq \lambda < 0,009$	8
$0,009 \leq \lambda < 0,01$	7
$0,01 \leq \lambda < 0,015$	6
$0,015 \leq \lambda < 0,02$	5
$0,02 \leq \lambda < 0,025$	4
$0,025 \leq \lambda < 0,03$	3
$0,03 \leq \lambda < 0,035$	2
$0,035 \leq \lambda$	1

Tabela 5- Critério Utilizado para Avaliar o Comportamento ao Fogo

Valores	Nível de Qualidade
A1/A2	12
B	10
C	8
D	6
E	4
F	2

Para finalizar a análise comparativa, calculou-se a média dos níveis obtidos, por cada material, em cada um dos parâmetros, como mostra a Tabela 6, concluindo-se que a lã de rocha e a lã de vidro mantêm uma posição altamente competitiva em relação aos materiais sustentáveis, uma vez que alcançam um desempenho ambiental muito positivo, com melhores resultados de desempenho térmico. Já o poliisocianurato representa um desafio para os materiais inovadores pelo seu bom desempenho térmico aliado a um menor impacto ambiental. Adicionalmente, os materiais convencionais destacados revelam um bom comportamento face ao fogo.

Quanto aos materiais sustentáveis, observa-se um contraste entre o elevado desempenho ambiental e a menor eficiência térmica, contrariamente ao que se sucede nos materiais inovadores. Mesmo revelando um grande impacto ambiental, os materiais inovadores, conseguem posicionar-se nos primeiros lugares da Tabela 6 pelo excelente desempenho térmico e reação ao fogo que apresentam. Importa, no entanto, observar que o valor de condutibilidade térmica utilizado para o painel de isolamento a vácuo corresponde ao estado inicial, pois a utilização do valor estipulado para o estado envelhecido ($0,020 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) resultaria num nível de desempenho térmico igual a 4 e, conseqüentemente, numa redução do valor médio para 6 e numa descida de 4 posições na Tabela 6. Sublinha-se assim a importância de criar as condições necessárias para a preservação do vácuo no painel, de modo a torná-lo competitivo face aos materiais convencionais.

Tabela 6- Desempenho Global dos Materiais de Isolamento Térmico Descritos

Materiais	Desempenho Ambiental	Desempenho Térmico	Comportamento face ao fogo	Média
Painel de Isolamento a Vácuo (160kg/m ³)	3	12	12	9
Lã de Vidro (10 kg/m ³)	8	2	12	7
Poliisocianurato (30kg/m ³)	7	5	10	7
Lã de Rocha (40 kg/m ³)	7	2	12	7
Aerogel (70 kg/m ³)	1	6	10	6
Celulose (30 kg/m ³)	9	1	7	6
Cortiça (100 kg/m ³)	12	1	4	6
Poliuretano (30kg/m ³)	7	4	4	5
Poliestireno Expandido (18 kg/m ³)	7	3	4	5
Lã de Ovelha (10 kg/m ³)	8	1	4	4
Poliestireno Extrudido (32 kg/m ³)	6	2	4	4

2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO

O aumento dos custos energéticos em consequência da crise petrolífera de 1893, acentuou a importância de conservar energia no interior dos edifícios através da aplicação de materiais de isolamento térmico. Desde então, o desenvolvimento histórico da humanidade, da ciência e da indústria influencia a mudança no mercado dos materiais de isolamento térmico, que se manifesta pelo aparecimento de um novo produto ou pelo desaparecimento de um produto antigo.

Nesse sentido, o capítulo analisa a mudança observada no mercado atual, impulsionada sobretudo, pela crescente preocupação com as alterações climáticas e aquecimento global, concluindo-se que esta se traduz, por um lado, no aumento da procura por materiais com menor energia e carbono incorporado, designados por materiais sustentáveis, e por materiais extremamente eficientes do ponto de vista térmico. Estes últimos, encontrando-se ainda em fases de investigação e desenvolvimento, foram nomeados de materiais inovadores. Por outro lado, materiais convencionais que necessitem de quantidades significativas de energia e uma maior utilização de combustíveis fósseis ou com propriedades térmicas desfavoráveis, perdem interesse.

Com efeito, são quantificadas no capítulo as propriedades de cada um dos materiais de isolamento térmico descritos, tais como a condutibilidade térmica, a reação ao fogo e a permeabilidade ao vapor, seguida de uma análise minuciosa do desempenho ambiental de cada um.

Uma vez caracterizados os isolantes, ilustrou-se, por meio de diagramas, o desempenho térmico, desempenho ambiental e reação ao fogo dos diversos materiais, dado que estas características, além de serem as que melhor distinguem os materiais convencionais dos sustentáveis e inovadores, são as que irão assumir maior interesse nos restantes capítulos.

Por fim, comparou-se o desempenho global de cada material concluindo-se que, atualmente, não existe um único material de isolamento térmico capaz de obter um valor excelente em todos os parâmetros analisados, devendo, portanto, ser selecionados em função das circunstâncias específicas.

3

EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES E FUNCIONAIS

3.1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo serão apresentadas algumas das exigências regulamentares e funcionais aplicáveis aos edifícios. Enquanto as primeiras são implementadas para garantir a segurança e a qualidade mínima em todas as construções, as segundas são, essencialmente, determinadas por exigências humanas, dependendo de usos e costumes, de estádios de evolução social e de condições económicas [24].

3.2. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES TÉRMICAS

A evolução das expectativas dos ocupantes dos edifícios ao longo do tempo, especialmente no que diz respeito aos padrões de higiene e conforto, gera uma pressão crescente para a otimização do desempenho energético do parque imobiliário. Como resposta, surgiram regulamentações e políticas, sujeitas a revisões e aprimoramentos contínuos, a fim de estabelecer as condições necessárias para satisfazer o grau de exigência requerido.

3.2.1. EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO TÉRMICA PORTUGUESA

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), publicado em 1990, representa um marco importante ao definir as primeiras diretrizes para a eficiência energética em edifícios, reconhecendo a urgência de conservar energia no interior dos edifícios. O RCCTE introduziu o isolamento térmico em Portugal, com requisitos iniciais menos exigentes, destinados apenas a sensibilizar para preocupações térmicas na conceção dos edifícios [1].

No final da década de 2000, começaram a surgir preocupações com as emissões de gases com efeito de estufa, com destaque para os recursos energéticos fósseis, concordando os países da União Europeia (UE) em reduzir as emissões. Em resposta, a Diretiva 2002/91/CE, publicada em 2002, estabeleceu além de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios, a certificação energética dos edifícios. Em 2006, a Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) foi transposta a nível nacional pelos Decretos-Lei 78/2006, 79/2006 e 80/2006, aprovando o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE), o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE) e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), respetivamente. A versão de 2006 do RCCTE, embora mantendo uma estrutura semelhante à da primeira versão (1990), foi mais ambiciosa, impondo valores máximos para as necessidades nominais de energia para aquecimento, arrefecimento e preparação de água quente sanitária, bem como para as necessidades globais de energia primária [1].

Em 2010, a Diretiva 2002/91/CE foi novamente reformulada para alinhar-se com os objetivos mais rigorosos da UE, que incluíam reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa em relação aos níveis de 1990, aumentar em 20% a eficiência energética e atingir 20% de energia proveniente de fontes renováveis no consumo total de energia na UE [1].

Em 2013, esta reformulação foi transposta para o direito nacional através da Portaria 118/2013, de 20 de agosto, que consolidou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) num único documento. Além de atualizar os requisitos de qualidade térmica, este documento definiu diretrizes claras para a integração de sistemas de energias renováveis nos edifícios. Nesse contexto, surgiu o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia, nZEB (*nearly Zero Energy Building*), que se tornaria o padrão para novas construções a partir de 2020, ou 2018 no caso de novos edifícios de entidades públicas, e uma referência para grandes intervenções nos edifícios existentes, combinando, na medida do possível e numa lógica de custo-benefício, a redução das necessidades energéticas do edifício, com o fornecimento de energia através de energias renováveis [1].

Em 2018, a Diretiva 2018/844/UE alterou a EPBD 2010 (Diretiva 2010/31/UE), e juntamente com a Diretiva de Eficiência Energética (2018/2002/UE), constituem o compromisso da UE de modernizar o sector da construção com vista a garantir um parque imobiliário energeticamente eficiente e com baixas emissões de carbono. O Decreto n.º 101-D/2020 transpõe para a legislação portuguesa a Diretiva 2018/844/UE, estabelecendo os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, com o propósito de garantir e promover a melhoria do seu desempenho energético, assim como definir diretrizes para a sua modernização e renovação [1].

Com o objetivo de sintetizar a evolução legislativa da térmica em Portugal entre 1990 e 2021, anteriormente descrita, foi elaborada a Tabela 7.

Tabela 7- Evolução Legislativa da Térmica em Portugal [1, 25]

Ano	Regulamentação Térmica de Edifícios	Documento legal de referência
1990	Primeira versão do RCCTE	Decreto-Lei 40/90
2002	Desempenho Energéticos dos Edifícios -EPBD	Diretiva 2002/91/CE
2006	SCE RSECE RCCTE	Decreto-Lei 78/2006 Decreto-Lei 79/2006 Decreto-Lei 80/2006
2010	Revisão da EPBD	Diretiva 2010/31/UE
2013	SCE REH RECS	Decreto-Lei 18/2013
2018 e 2019	Revisão da EPBD	Diretiva 2018/844/ Diretiva 2019/944
2019	Estabelece requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos no âmbito dos edifícios nZEB Estabelece o regime aplicável às operações de reabilitação de edifícios ou de frações autónomas	Portaria 98/2019 Decreto-Lei 95/2019
2020	Estabelece os requisitos aplicáveis aos edifícios para melhorar o seu desempenho energético e regulamenta o SCE	Decreto-Lei 101-D/2020
2021	Estratégia de Longo Prazo para a Renovação de Edifícios	Resolução do Conselho de Ministros n.º 8-A/2021

3.2.2. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

A eficiência térmica do parque edificado depende do coeficiente de transmissão térmica (U), expresso em $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$, dos elementos construtivos que o constituem. Este parâmetro térmico quantifica a quantidade de energia, sob a forma de calor, que atravessa, em regime permanente, o elemento construtivo da envolvente por diferença de temperatura entre duas faces desse elemento [26]. A sua determinação deve ser realizada conforme a Norma EN ISO 6946, que prevê o conhecimento dos valores das resistências térmicas superficiais e das resistências térmicas das diversas camadas que constituem a solução construtiva, informações que podem ser consultadas na publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), ITE50 [27].

3.2.2.1. Zonamento Climático

A localização do edifício influencia o seu desempenho energético, na medida em que a severidade do clima (no inverno ou no verão) condiciona as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento dos edifícios [26].

Dado o contraste climático entre as diferentes regiões de Portugal, surgem estratégias e soluções construtivas distintas, impondo a divisão do país em regiões climáticas, variando para cada uma os requisitos da envolvente. Desta forma, a estação de aquecimento encontra-se dividida nas zonas climática I1 (inverno menos severo), I2 e I3 (inverno mais severo), com exigências de requisitos ao nível do coeficiente de transmissão térmica. Já a estação de arrefecimento, divide-se nas zonas climática V1 (verão menos severo), V2 e V3 (verão mais severo), com exigências de requisitos ao nível do fator solar dos vãos envidraçados [26, 28]. Assim sendo, as zonas climáticas de inverno são particularmente relevantes para a presente dissertação, apresentando a Fig.5 a distribuição das zonas I1, I2 e I3 ao longo de Portugal Continental.

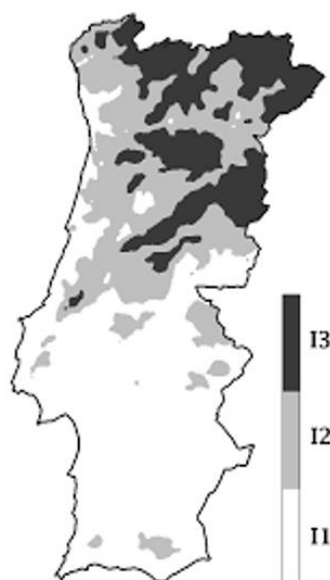


Fig. 5- Zonas Climáticas de Inverno de Portugal Continental [28, 29]

3.2.2.2. Evolução dos Valores Máximos Admissíveis ao Coeficiente de Transmissão Térmica dos Elementos da Envolvente Opaca dos Edifícios

Para confirmar o aumento do rigor entre a primeira regulamentação térmica portuguesa em 1990 e a atual em vigor, foi elaborada a Tabela 8, a qual apresenta os valores máximos dos coeficientes de

transmissão térmica ($U_{\text{máx}}$) para os elementos opacos da envolvente dos edifícios de habitação em função da zona climática, fixados para Portugal Continental pelo RCCTE e pela Portaria n.º 138-I/2021, respetivamente.

Tabela 8- Coeficientes de Transmissão Térmica Máximos dos Elementos da Envolvente Opaca Impostos para Portugal Continental pela Primeira Versão do RCCTE (1990) e pela Portaria n.º 138-I/2021

Zona Corrente da Envolvente	RCCTE 1990			Portaria n.º 138-I/2021		
	I1	I2	I3	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais	1,80	1,60	1,45	0,50	0,40	0,35
Elementos opacos horizontais	1,25	1,00	0,90	0,40	0,35	0,30

Pela leitura da Tabela 8, constata-se que os valores de $U_{\text{máx}}$ para os elementos opacos da zona corrente da envolvente reduziram cerca de 75% no caso dos elementos verticais e cerca de 65% no caso dos elementos horizontais, no período compreendido entre 1990 e 2021.

Com o intuito de exemplificar a relação entre o isolamento térmico e os valores máximos regulamentares dos coeficientes de transmissão térmica, foi elaborada a Tabela 9.

Tabela 9- Relação entre a Espessura do Material de Isolamento Térmico e os Valores Regulamentares de $U_{\text{máx}}$

Zona Climática	Elementos Opacos Verticais		Código Térmico		Espessura do Isolamento Térmico [m]		
	$U_{\text{sup.}}$ [W/(m ² .°C)]	$R_{\text{sup.}}$ [(m ² .°C/W)]	$U_{\text{máx}}$ [W/(m ² .°C)]	$R_{\text{mín}}$ [(m ² .°C/W)]	R_{isol} [(m ² .°C/W)]	$\lambda = 0,05$ [W/m.°C]	$\lambda = 0,03$ [W/m.°C]
I1	1,00	1,00	0,5	2,00	1,00	0,050	0,030
	1,50	0,67	0,5	2,00	1,33	0,067	0,040
	2,00	0,50	0,5	2,00	1,50	0,075	0,045
	2,50	0,40	0,5	2,00	1,60	0,080	0,048
I2	1,00	1,00	0,4	2,50	1,50	0,075	0,045
	1,50	0,67	0,4	2,50	1,83	0,092	0,055
	2,00	0,50	0,4	2,50	2,00	0,100	0,060
	2,50	0,40	0,4	2,50	2,10	0,105	0,063
I3	1,00	1,00	0,35	2,86	1,86	0,093	0,056
	1,50	0,67	0,35	2,86	2,19	0,110	0,066
	2,00	0,50	0,35	2,86	2,36	0,118	0,071
	2,50	0,40	0,35	2,86	2,46	0,123	0,074

Como demonstração, considerou-se uma parede sem isolamento térmico, caracterizada apenas pela resistência térmica do suporte, $R_{\text{sup.}}$. Para que a parede consiga alcançar o valor máximo do coeficiente de transmissão térmica, $U_{\text{máx}}$, estabelecido pela Portaria n.º 138-I/2021 (ou do seu inverso, expresso pela resistência térmica mínima, $R_{\text{mín}}$), calcula-se inicialmente a diferença entre $R_{\text{mín}}$ e $R_{\text{sup.}}$. Este valor, designado por R_{isol} , indica a quantidade de resistência térmica que necessita de ser acrescentada à parede através de isolamento térmico para cumprir os requisitos legais. Posteriormente, utilizando este valor,

aplica-se a equação (1) definida no capítulo 2 para determinar a espessura de isolamento térmico necessária.

3.3. EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES NO ÂMBITO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS

A prevenção de incêndios em edifícios não começa com sinais de segurança, alarmes de fumo e extintores de incêndio, mas com a construção dos próprios edifícios. A minimização das consequências dos incêndios e das fatalidades associadas depende, em grande medida, do comportamento face ao fogo dos materiais utilizados na sua construção ou reabilitação. A facilidade e rapidez com que os materiais cedem às chamas e a emissão de gases tóxicos durante um incêndio são fatores que podem comprometer o sucesso da evacuação dos ocupantes do edifício [30].

3.3.1. CLASSIFICAÇÃO EUROPEIA DO DESEMPENHO FACE AO FOGO DE PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO

A Norma Europeia EN 13501-1 estabelece um procedimento harmonizado para classificar a reação ao fogo de produtos de construção, isto é, a resposta de um produto ao contribuir, pela sua própria decomposição, para o início e o desenvolvimento de um incêndio. Para tal, baseia-se num conjunto de ensaios normalizados concebidos para medir ou avaliar a resposta de um material, de um produto, de uma estrutura ou de um sistema em relação a um ou a vários aspetos associados à ação do fogo [31, 32]. Alguns exemplos de ensaios europeus de reação ao fogo incluem [31]:

- O ensaio de incombustibilidade, realizado de acordo com a EN ISO 1182, para determinar a subida de temperatura devido à degradação térmica do provete, a perda de massa sofrida pelo provete durante o ensaio e a duração das inflamações persistentes;
- O ensaio na bomba calorimétrica, realizado de acordo com a EN ISO 1716, para determinar o poder calorífico superior do produto;
- O ensaio do objeto isolado em combustão, realizado de acordo com a EN 13823, para determinar a taxa de desenvolvimento do fogo, a taxa de desenvolvimento de fumo, o calor total libertado, a produção total de fumo num período definido de 600 s, a propagação lateral da chama e observar a ocorrência de queda de gotas e de partículas inflamadas;
- O ensaio da pequena chama, realizado de acordo com a EN ISO 11925-2, para determinar a extensão da propagação da chama num intervalo de tempo determinado e observar a ocorrência de queda de gotas e de partículas inflamadas.

No entanto, em geral, as condições controladas e restritivas dos ensaios apenas permitem prever a resposta do material ou elemento quando sujeito a tais condições. O resultado "satisfatório" de um ensaio não pode garantir, de forma absoluta, um comportamento "seguro" num incêndio real, dado que este apresenta uma complexidade impossível de reproduzir [31].

Encontram-se abrangidas pela norma mencionada as seguintes classes europeias de reação ao fogo dos produtos de construção em geral, excluindo revestimentos de piso, ordenadas por ordem decrescente de exigência:

- A1- Nenhuma contribuição para o fogo
- A2- Contribuição para o fogo quase nula
- B- Contribuição para o fogo muito limitada
- C- Contribuição para o fogo limitada
- D- Contribuição para o fogo aceitável
- E- Reação ao fogo aceitável
- F- Comportamento não determinado

Para além das classes principais, existem ainda classificações complementares, ambas ordenadas da classe mais rigorosa para a menos rigorosa, para a produção de fumo: s1, s2 e s3; e para a queda de partículas ou gotas inflamadas: d0, d1 e d2. Assim sendo, a melhor reação ao fogo possível de um produto de construção em geral é dada pela classificação A1-s1, d0.

3.3.2. LIMITAÇÕES À PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO PELO EXTERIOR DO EDIFÍCIO

Um dos propósitos fundamentais do Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio consiste em limitar, nos edifícios, a propagação do incêndio pelo exterior. Desta forma, são definidas, pela recente alteração feita ao regulamento pela Portaria n.º 135/2020, as classes de reação ao fogo mínimas de:

- Elementos de revestimento exterior de paredes criando caixa de ar, apresentadas na Tabela 10 [33];
- Sistemas compósitos para isolamento térmico exterior de paredes com revestimento sobre isolante (ETICS) e o produto de isolamento térmico, apresentadas na Tabela 11 [33];
- Revestimentos exteriores sobre fachadas, apresentadas na Tabela 12 [33];
- Revestimentos de coberturas em terraço, apresentadas na Tabela 13 [33].

Adicionalmente, os componentes constituintes do revestimento exterior de coberturas inclinadas devem ser, no mínimo, da classe de reação ao fogo C -s2, d0 [33].

Tabela 10- Reação ao Fogo de Fachadas Ventiladas [33]

Elemento	Edifícios com altura inferior a 9m	Edifícios com altura entre 9 e 28m	Edifícios com altura superior a 28 m
Estrutura de suporte do sistema de isolamento	C -s2, d0	B -s2, d0	A2 -s2, d0
Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	C -s2, d0	B -s2, d0	A2 -s2, d0
Isolamento térmico	D -s3, d0	B -s2, d0	A2 -s2, d0

Tabela 11- Reação ao Fogo de ETICS [33]

Elemento	Edifícios com altura inferior a 9m	Edifícios com altura entre 9 e 28m	Edifícios com altura superior a 28 m
Sistema completo	C -s3, d0	B -s3, d0	B -s2, d0
Isolamento térmico	E	E	B -s2, d0

Tabela 12- Reação ao Fogo de Revestimentos Exteriores sobre Fachadas Não Ventiladas [33]

Altura	Fachadas sem aberturas	Fachadas com aberturas
	Revestimentos	Revestimentos e elementos transparentes
H ≤ 28 m	D-s3, d1	C -s2, d0
H > 28 m	C -s3, d1	B -s2, d0

Tabela 13- Reação ao Fogo de Revestimentos de Coberturas em Terraço [33]

Edifícios com altura até 28 m	Edifícios com altura superior a 28 m
E	B -s1

3.4. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS AMBIENTAIS

Na Europa, o setor da construção assume a responsabilidade por 40% dos consumos energéticos, dos quais cerca de 80% se destinam ao aquecimento, arrefecimento e produção de água quente sanitária. Para estes números elevados, contribui o facto de, atualmente, aproximadamente 35% dos edifícios da UE terem mais de 50 anos de idade e quase 75% do parque imobiliário revelar-se ineficiente em termos energéticos [34].

Como é possível observar na Fig.6, prevê-se que a procura mundial de energia provenha de aparelhos de ar condicionado e triplique até 2050. Atualmente, menos de um terço dos agregados familiares em todo o mundo possui um aparelho de ar condicionado. Em países como os Estados Unidos e o Japão, mais de 90% dos agregados familiares têm ar condicionado, em comparação com apenas 8% dos 2,8 mil milhões de pessoas que vivem nas regiões mais quentes do mundo. No entanto, à medida que os rendimentos e os padrões de vida melhoram em muitos países em desenvolvimento, o crescimento da procura de ar condicionado nas regiões mais quentes deverá disparar, com o maior aumento a verificar-se na Índia, onde a percentagem de ar condicionado no pico de carga de eletricidade poderá atingir 45% em 2050, contra os atuais 10% [35].

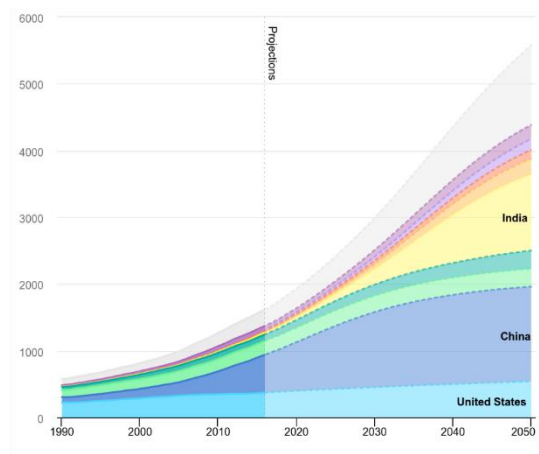


Fig. 6- Stock Mundial de Aparelhos de Ar Condicionado [36]

Adicionalmente, o setor da construção contribui com uma percentagem de 36% para as emissões totais de GEE da União Europeia [34]. À escala mundial, como ilustra a Fig.7, as concentrações médias mensais globais de dióxido de carbono têm aumentado de forma constante, passando de 337 partes por milhão em 1979 (média anual) para 417 partes por milhão em 2022, representando um aumento de mais de 20% ao longo de 44 anos [37]. Ora, este aumento desencadeia alterações climáticas, com consequências diretas como o aumento do nível do mar, a intensificação de eventos climáticos severos como secas e inundações e o aumento da temperatura, o que leva a incêndios florestais e flutuações imprevisíveis na precipitação [38].

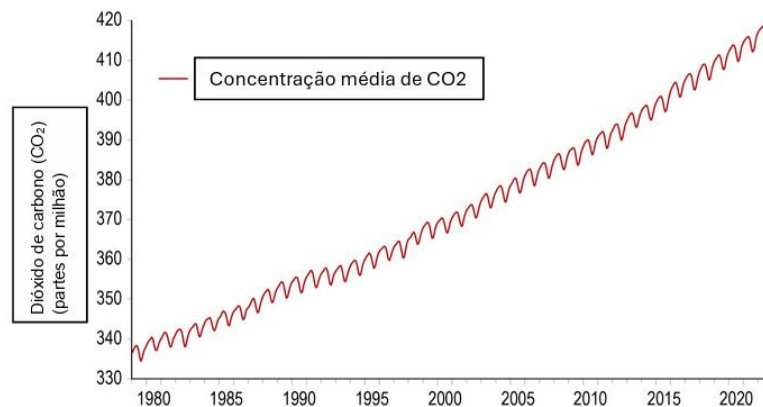


Fig. 7- Concentração Média Mensal Global de Dióxido de Carbono [37]

3.4.1. ABORDAGEM DA UE PARA MITIGAR A INSUSTENTABILIDADE NO SETOR DA CONSTRUÇÃO

A sensibilização para as alterações climáticas por parte da Comissão Europeia levou a uma revisão importante da EPBD a 15 de dezembro de 2021. Nesta definiram-se metas ambiciosas como a aceleração das taxas de renovação dos edifícios, redução das emissões de gases com efeito de estufa e do consumo de energia, bem como a promoção da adoção de energias renováveis nos edifícios, com o objetivo principal de alcançar a neutralidade carbónica até 2050. Contudo, esta diretiva reconhece as diferenças entre os países da UE em fatores como o parque imobiliário existente, a geografia e o clima, permitindo que os governos decidam sobre as medidas de renovação mais adequadas ao seu contexto nacional específico [39]. Para além das estratégias ativas para melhorar o desempenho energético-ambiental dos edifícios, como a adoção de soluções tecnológicas, poderão, como complemento, ser adotadas estratégias passivas, nomeadamente a seleção e aplicação de materiais de isolamento térmico sustentáveis e termicamente eficientes.

3.4.2. INCENTIVOS À CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

3.4.2.1. Família de Normas Internacionais ISO 14000

A Organização Internacional de Normalização (ISO), em particular o Comité Técnico ISO/TC 207 e os seus subcomités, desenvolveram a família de normas ISO 14000 com vista a disponibilizar ferramentas práticas para as três dimensões do desenvolvimento sustentável: económica, ambiental e social, a qualquer tipo de organização, seja no setor público ou privado.

Exemplos de normas desta família, que possibilitam auxiliar as organizações a adotar uma abordagem proactiva na gestão das questões ambientais, incluem [40, 41]:

- A norma ISO 14001, amplamente reconhecida por proporcionar uma estrutura que permite às organizações conceber e implementar um sistema de gestão ambiental, promovendo a melhoria contínua do seu desempenho ambiental.
- A série de normas ISO 14020, que exploram diferentes abordagens aos rótulos e declarações ambientais, incluindo: a norma ISO 14024 (Declarações Ambientais Tipo I - rótulos ecológicos), a norma ISO 14021 (Declarações Ambientais Tipo II - autodeclarações ambientais) e a norma ISO 14025 (Declarações Ambientais Tipo III - Declarações Ambientais de Produto);

- A série de normas ISO 14040, que fornecem diretrizes para realizar estudos de ACV, auxiliando as organizações a identificar e avaliar impactos ambientais desde a extração de recursos até à eliminação dos seus produtos e serviços;
- As partes 1, 2 e 3 da norma ISO 14064, que quantificam e verificam os gases com efeito de estufa (GEE), fornecendo requisitos claros para apoiar organizações e projetos de redução de emissões de GEE;
- A norma ISO 14065, que complementa a norma ISO 14064, especificando requisitos para acreditação de organismos que validam ou verificam GEE;
- A norma ISO 14063, que oferece diretrizes para comunicação ambiental, auxiliando as empresas na interação com partes interessadas externas.

3.4.2.2. Sistemas de Certificação da Sustentabilidade dos Edifícios

À semelhança da certificação energética dos edifícios, diversos países têm vindo a desenvolver sistemas próprios de certificação da sustentabilidade dos edifícios que medem, como o nome indica, o grau em que o edifício atende aos requisitos de sustentabilidade necessários. Embora voluntários, estes sistemas têm desempenhado um papel de liderança na conceção de edifícios sustentáveis, contribuindo para o alcance das metas climáticas da Europa [42, 43].

As categorias, critérios e indicadores destes sistemas devem representar melhor a "forma de tornar a construção sustentável" e devem estar de acordo com os aspetos ambientais, sociais e económicos. No entanto, cada sistema de certificação é único, com diferenças de âmbito, critérios, procedimentos de avaliação e rótulos de certificação [42, 44].

No setor da construção, já se encontram no domínio público um grande número de sistemas de certificação da sustentabilidade dos edifícios. Contudo, os sistemas internacionais mais conhecidos e difundidos são o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*), o sistema pioneiro desenvolvido em 1990 no Reino Unido, e o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), com origem nos Estados Unidos da América.

Em Portugal, foi desenvolvido por Manuel Duarte Pinheiro o sistema Líder A, que permite avaliar o grau de sustentabilidade do edifício em classes de desempenho que variam de A+++ (situação regenerativa) a G (prática de menor eficiência), tendo como referência o nível E [45].

Para obter um valor agregado, a classificação final conjugada é o resultado da ponderação de 22 áreas, entre as quais o conforto térmico assume um peso de apenas 5%. Como é possível observar na Tabela 14, estas 22 áreas estão dispostas em seis vertentes, onde a ponderação atribui maior relevância aos recursos, com um peso de 32%, seguido pela vivência socioeconómica (19%), conforto ambiental (15%), integração social (14%), cargas ambientais (12%) e, por último, a gestão ambiental (8%).

Tabela 14- Peso das Áreas e Respetivas Vertentes do Sistema Líder A [45]

Vertentes	Área	Peso
Integração social	Solo	7%
	Ecossistemas Naturais	5%
	Paisagem	2%
14%		
Recursos	Energia	17%
	Água	8%
	Materiais	5%
	Produção Alimentar	2%
32%		
Cargas Ambientais	Efluentes	3%
	Emissões Atmosféricas	2%
	Resíduos	3%
	Ruído Exterior	3%
	Poluição Iluminotérmica	1%
12%		
Conforto Ambiental	Qualidade do Ar	5%
	Conforto Térmico	5%
	Iluminação e Acústica	5%
15%		
Vivência socioeconómica	Acesso para Todos	5%
	Custos no Ciclo de Vida	2%
	Diversidade Económica	4%
	Amenidades e Interação Social	4%
	Participação e Controlo	4%
19%		
Condições de Uso Sustentável	Gestão Ambiental	6%
	Inovação	2%
8%		

3.5. OUTRAS EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

Do ponto de vista das exigências funcionais, torna-se imperativo considerar ainda algumas das propriedades físicas e higrótérmicas mais relevantes dos isolamentos térmicos, listadas a seguir [46]:

- Comportamento mecânico (resistência à compressão, flexão, tração, corte, punçoamento, ações dinâmicas e deformação com carga permanente);
- Estabilidade dimensional;
- Absorção de água (por gravidade, capilaridade, imersão e aspersão);
- Impermeabilidade;
- Higroscopicidade;
- Permeabilidade ao vapor de água;
- Coeficiente de dilatação térmica linear;
- Massa volúmica;

- Comportamento face aos agentes atmosféricos e biológicos (chuva, radiação solar, neve, vento, ciclos de gelo/degelo, fungos, bactérias, roedores, insetos e aves)

Algumas destas propriedades já foram mencionadas no capítulo 2, outras despertarão especial interesse no contexto da certificação dos materiais de isolamento térmico, a discutir no próximo capítulo.

3.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO

À medida que a sociedade evolui, é notório um aumento do tempo despendido pela população no interior dos edifícios. Esta tendência altera a perspetiva dos utilizadores em relação aos mesmos, fazendo com que não sejam vistos meramente como espaços para habitar, mas também como ambientes que promovam o bem-estar físico, mental e ambiental. Como resposta, surgiram exigências regulamentares e funcionais, possibilitando a compatibilização das expectativas dos utilizadores com o desempenho do edifício.

Neste capítulo, foram primeiro exploradas as exigências regulamentares, começando pelas térmicas, para as quais o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), implementado em 1990, assinalou um marco muito importante ao constituir a primeira regulamentação térmica. Desde a sua implementação até à regulamentação atualmente em vigor, tem-se observado uma redução progressiva nos valores máximos admitidos ao coeficiente de transmissão térmica (U) dos elementos opacos da envolvente, com o intuito de alcançar uma maior eficiência térmica nos edifícios. Esta redução traz implicações ao nível do isolamento térmico aplicado na envolvente do edifício, na medida em que, como demonstrado no capítulo, utilizando o mesmo suporte e o mesmo material de isolamento, se o valor máximo regulamentar do coeficiente de transmissão térmica (U) for reduzido, a espessura do isolante terá inevitavelmente de aumentar para atender à regulamentação.

Em relação às exigências regulamentares no âmbito da segurança contra incêndio, perante a existência de materiais de isolamento térmico inflamáveis, que possam contribuir para a propagação rápida do incêndio pelo exterior, e de materiais com risco de emissão de gases tóxicos, que comprometam a evacuação dos ocupantes, é imperativo garantir a segurança dos utilizadores. Por essa razão, o capítulo começa por apresentar as classes europeias existentes para caracterizar o comportamento face ao fogo dos materiais, assim como os ensaios que a permitem, revelando posteriormente as classes de reação ao fogo mínimas admissíveis a certas soluções construtivas ao abrigo da Portaria n.º 135/2020.

Por fim, para as exigências funcionais, optou-se por destacar apenas as exigências ambientais, face à crescente consciencialização da contribuição do setor da construção para as alterações climáticas. Com efeito, são apresentados no capítulo os incentivos criados para a adoção de práticas sustentáveis na construção, nomeadamente, normas e sistemas de certificação de sustentabilidade dos edifícios. Embora não sejam de carácter obrigatório, representam pequenos passos para se atingir as metas ambiciosas da UE no âmbito da descarbonização dos edifícios e, consequente, redução dos impactos causados pelo setor no meio ambiente.

4

**CERTIFICAÇÕES DE ISOLAMENTOS
TÉRMICOS E MODELO PROPOSTO****4.1. INTRODUÇÃO**

É possível observar na maioria dos produtos utilizados no dia-a-dia diversas marcas, saltando à vista principalmente a marcação CE, que expressa o desempenho dos produtos de forma homogênea para toda a Europa. No entanto, por vezes, esta é complementada por outras marcas menos conhecidas pelo público em geral, as quais representam um selo adicional de conformidade e fornecem ao mercado produtos que excedem os requisitos básicos regulamentares da marcação CE e, por isso, os padrões mínimos de qualidade.

4.2. LNEC COMO EMISSOR DE DOCUMENTOS DE APRECIACÃO TÉCNICA DE PRODUTOS E SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO E IMPOSIÇÃO DA MARCAÇÃO CE

Em 1951, o Regulamento Geral das Edificações Urbanas em Portugal estabeleceu que novos materiais ou métodos desprovidos de especificações oficiais ou experiência suficiente estavam sujeitos à emissão de um parecer prévio do LNEC. Contudo, a partir de 1963 esses pareceres passaram a ser formalizados através de Documentos de Homologação (DH), favorecidos pela criação, em 1960, da União Europeia para a Avaliação Técnica na Construção (UEAtc), que agrupou organismos de homologação de vários países europeus, incluindo o LNEC.

Um DH de um produto ou sistema de construção inclui normalmente, para além da Decisão de Homologação, uma descrição geral, a enumeração das suas características, o campo de aplicação, a apreciação baseada em realização de ensaios e visitas, instruções para armazenamento, transporte e aplicação em obra, e critérios a avaliar no âmbito da realização de eventuais ensaios de receção [47].

O papel da UEAtc foi crucial na medida em que, para além de ter facilitado a concessão da homologação de produtos importados que já a detinham no país de origem e uniformizado nos vários países os critérios de apreciação para a homologação de uma mesma família de produtos, impulsionou o desenvolvimento de uma infraestrutura experimental do LNEC que permitisse a realização dos ensaios estabelecidos para a apreciação dos diversos produtos e sistemas inovadores [47].

Em 1989, a Diretiva dos Produtos de Construção permitiu a aposição da marcação CE a um dado produto de construção em conformidade com as especificações técnicas aplicáveis, conferindo-lhe presunção de aptidão ao uso, permitindo o produto circular livremente no Espaço Económico Europeu e anulando a necessidade de homologação pelo LNEC para produtos abrangidos por estas condições [47].

As especificações técnicas referidas anteriormente, que estão na base da aposição da marcação CE para os produtos de construção, são basicamente de dois tipos: Normas Europeias harmonizadas e Avaliações Técnicas Europeias [47].

As Avaliações Técnicas Europeias (ETA) são vocacionadas para apoiar a inovação tecnológica e responder a solicitações específicas do mercado, ao contrário das Normas Europeias harmonizadas, que traduzem o estado do conhecimento e refletem a situação do mercado numa maior escala. Por outro lado, as ETA, no seu conjunto, cobrem predominantemente produtos complexos e sistemas (ou kits), enquanto o conjunto das normas harmonizadas cobre prioritariamente materiais de construção simples. Ao contrário das normas harmonizadas, que são especificações técnicas de âmbito geral aplicáveis a todos os produtos a que respeitam independentemente do respetivo fabricante, cada ETA é uma especificação técnica de carácter individual, relativa a um ou mais produtos específicos do mesmo tipo produzidos por um determinado fabricante [48]. Assim, com a implementação da marcação CE, o LNEC passou também a emitir Avaliações Técnicas Europeias, para além dos Documentos de Homologação [49].

No âmbito do Regulamento dos Produtos de Construção, um fabricante, ao elaborar a declaração de desempenho e apor a marcação CE ao seu produto, deve declarar as características essenciais do mesmo. Essas características, que estão relacionadas com o uso previsto para o produto, estão listadas na Norma Europeia harmonizada ou na Avaliação Técnica Europeia aplicáveis ao produto, nas quais se indica ainda o sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho (abreviadamente, sistema AVR) aplicável ao produto ou à família de produtos em causa, estabelecido pela Comissão Europeia. Consoante o sistema de AVR, o fabricante é responsável pela realização de todas as tarefas previstas no seu âmbito (sistema 4) ou deve recorrer à intervenção de organismos terceiros, notificados, para algumas dessas tarefas (sistemas 1+, 1, 2+ ou 3). Os Organismos Notificados podem ser de três tipos [47, 50]:

- Organismos de Certificação, designados, consoante os casos, para funções de certificação de conformidade de produtos ou de certificação do controlo interno da produção, como a AENOR;
- Organismos de Inspeção;
- Laboratórios de Ensaio, como é o caso do LNEC

4.3. CERTIFICAÇÕES EUROPEIAS DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS

A certificação é um instrumento de grande relevância na seleção do isolamento térmico a usar na envolvente dos edifícios, revestindo-se de grande interesse para todos os intervenientes no ato de construir, nomeadamente: produtores, comerciantes, projetistas e aplicadores [51]. Perante a ausência de uma certificação portuguesa aplicável a isolamentos térmicos, são a seguir apresentadas as certificações ACERMI e AENOR, por representarem os mercados mais próximos, França e Espanha, respetivamente.

4.3.1. CERTIFICAÇÃO ACERMI

A *Association pour la Certification des Matériaux Isolants* (ACERMI) é uma associação francesa especializada na certificação de materiais isolantes, que nasce em 1983 pelo objetivo comum do "*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*" (CSTB) e do "*Laboratoire National d'Essais*" (LNE) de promover a qualidade e a segurança dos edifícios [52].

Esta certificação proporciona uma concorrência objetiva entre produtos a nível nacional e internacional, facilitando aos utilizadores uma escolha simples em condições económicas favoráveis. Além disso, assegura que o produto entregue possui as características anunciadas, dispensando a necessidade de

verificação por parte dos utilizadores. Para garantir a confiabilidade no desempenho do produto, a ACERMI realiza visitas à fábrica e testes laboratoriais.

Os produtos elegíveis para certificação incluem isolantes fabricados em fábrica sob a forma de placas, painéis, rolos e a granel; produtos refletorados constituídos por uma ou mais películas refletoras; manufaturados que melhorem a eficiência térmica de uma estrutura; e produtos que incluam uma ou mais camadas intermédias [53].

Além da resistência térmica, a certificação ACERMI inclui opcionalmente a reação ao fogo, desempenho acústico e mecânico, estabilidade dimensional, comportamento à água e permeabilidade ao vapor de água. Como é possível observar na Tabela 15, o perfil de adequação ao uso ISOLE do modelo ACERMI reúne vários desses desempenhos, subdividindo cada exigência em níveis de aptidão [54, 55].

A Tabela 15 caracteriza de forma breve cada uma das exigências que constituem o perfil de uso ISOLE.

Tabela 15- Perfil de Uso ISOLE [56, 57]

Exigências	Identificação	Nº de Níveis	O que representa
Compressibilidade	I	5	Representa a deformabilidade do material de isolamento quando sujeito a ações de compressão
Estabilidade dimensional	S	4	Representa a variação das dimensões sob influência de variações de temperatura e humidade
Comportamento à água	O	3	Representa o comportamento em relação à água, nomeadamente a capacidade de absorção de água e a respetiva impermeabilidade
Comportamento mecânico	L	4	Representa o comportamento mecânico do material quando sujeito a ações de tração
Permeabilidade ao vapor de água	E	5	Representa a capacidade do material de isolamento de se opor à passagem de vapor de água

A definição de níveis de aptidão permite que a certificação seja devidamente acompanhada por um manual exigencial, o qual quantifica, através de Documentos Técnicos Unificados (DTU's), Documentos Técnicos de Aplicação (DTA's), Avaliações Técnicas (AT's), Aprovações Técnicas Europeias (ATE's) e Cadernos de Prescrições Técnicas (CPT's), o nível mínimo de cada exigência admitido a uma dada solução construtiva [54].

4.3.2. CERTIFICAÇÃO AENOR

A *Asociación Española de Normalización y Certificación* (AENOR) iniciou a sua atividade como empresa em 2017, após a divisão da Associação Espanhola de Normalização e Certificação, fundada em 1986, em duas organizações distintas: a Associação Espanhola de Normalização (UNE) e a AENOR, como subsidiária da UNE. Enquanto a UNE é responsável pelo desenvolvimento da normalização em Espanha, a AENOR destaca-se como uma empresa de gestão do conhecimento que contribui para corrigir lacunas de competitividade através da avaliação da conformidade (certificação, verificação, validação, inspeção e ensaio), formação e serviços de informação [58].

Enquanto Organismo de Certificação de produtos, a AENOR exerce esta atividade através de Comitês Técnicos de Certificação setoriais. O sistema de certificação de materiais de isolamento térmico é conduzido pelo Comité Técnico de Certificação CTC-020, o qual possui duas funções principais: emitir pareceres técnicos ao Diretor-Geral da AENOR sobre os processos de certificação de materiais de isolamento térmico e elaborar os documentos técnicos baseados em normas que regem a certificação de cada material isolante, os quais são denominados Regulamentos Específicos de Certificação [59].

Produtos abrangidos pela certificação incluem: poliestireno extrudido, poliestireno expandido, poliuretano para aplicação in situ, tijolos e elementos ociosos de poliestireno expandido e painéis sanduíche isolantes autoportantes de dupla pele feitos de metal, espuma elastomérica e lã mineral [60].

No certificado do produto de isolamento térmico são apresentadas, em conformidade com as normas UNE, EN, ISO ou especificações técnicas, características do material como a condutibilidade térmica, a espessura, a resistência térmica e a reação ao fogo. Para conceder este certificado, a AENOR efetua um controlo rigoroso dos processos de fabrico e realiza ensaios dos produtos finais. No entanto, uma vez concedido o certificado, o processo prossegue com as atividades de acompanhamento anualmente, como auditorias, inspeções e testes. Criam-se assim condições para possibilitar aos fabricantes a colocação no mercado de produtos com um elevado padrão de qualidade e incutir aos utilizadores confiança nos produtos certificados.

4.4. MODELO PROPOSTO DE CERTIFICAÇÃO DE MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO

Entre as certificações ACERMI e AENOR, a primeira tem a vantagem de estar associada a um manual exigencial, onde as diversas utilizações são definidas pelos próprios níveis ISOLE que exigem, tornando a verificação da adequação de um determinado isolante para uma utilização específica fácil e eficaz [61].

Por essa razão, o modelo proposto baseia-se no modelo ACERMI, adaptado para o contexto português, com a integração não só da resistência térmica (R), mas também do comportamento ao fogo (F) e desempenho ambiental (A) do material no perfil de adequação ao uso ISOLE. Consequentemente, o modelo proposto foi nomeado de R_ISOLE_FA, contemplando as seguintes exigências:

- O poder isolante, traduzido pela resistência térmica, R
- Compressibilidade, I
- Estabilidade dimensional, S
- Comportamento à água, O
- Comportamento mecânico, L
- Permeabilidade ao vapor de água, E
- Comportamento ao fogo, F
- Desempenho ambiental, A, traduzido pelo potencial de aquecimento global (GWP)

Certificando respetivamente:

- O valor da resistência térmica, expresso em $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;
- Os níveis de compressibilidade, estabilidade dimensional, comportamento à água, comportamento mecânico e permeabilidade ao vapor de água nos termos definidos pela ACERMI;
- A classe de reação ao fogo, de produção de fumo e de queda de gotas ou partículas inflamáveis;
- O valor do potencial de aquecimento global, expresso em $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{FU}$.

4.5. MODELO PROPOSTO PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS

Para as exigências resistência térmica (R), comportamento ao fogo (F) e desempenho ambiental (A), foi formulada uma proposta que, embora ainda não suficientemente fundamentada, representa um caminho de reflexão para a caracterização do isolamento térmico quanto a estas três exigências. Em relação às restantes, nomeadamente compressibilidade (I), estabilidade dimensional (S), comportamento à água (O), comportamento mecânico (L) e permeabilidade ao vapor de água (E), foram adotados para cada exigência os critérios definidos pela ACERMI.

4.5.1. PROPOSTA PARA A CARACTERIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA (R) DO ISOLAMENTO

Como evidenciado no capítulo 3, a resistência térmica do material isolante depende da resistência térmica do suporte, isto é, do elemento construtivo sem isolamento térmico, e do valor do coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar ($U_{máx}$) estipulado pela Portaria n.º 138-I/2021 para o elemento construtivo no seu todo. O suporte pode ser caracterizado, de um modo geral, por um desempenho térmico baixo, médio ou elevado, dependendo do material que o constitui, já o valor do $U_{máx}$ varia em função da zona climática onde o edifício se insere. Além disso, foram propostos três níveis de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios, definidos em função do valor do $U_{máx}$, com o intuito de alcançar padrões mais exigentes que tornem o edifício termicamente mais eficiente.

Como resultado, a determinação da resistência térmica recomendada para o isolante pressupõe o conhecimento de três variáveis, conduzindo à sua caracterização sob a forma $R_{x,y,z}$. Nesta abordagem, R representa a exigência, ou seja, a resistência térmica do isolante, a variável x refere-se à zona climática de inverno onde o edifício se insere, a variável y corresponde ao nível de qualidade térmica imposto à envolvente do edifício em função do valor do $U_{máx}$, e a variável z representa a resistência térmica do suporte.

Os valores que cada variável pode assumir foram especificados de forma genérica na Tabela 16, correlacionados aos índices 1, 2 e 3. Pela sua leitura, torna-se evidente que os índices adquirem diferentes significados em função da variável considerada, isto é, para a variável x servem apenas para distinguir as zonas climáticas I1, I2 e I3, no entanto para as variáveis y e z estão associados a valores numéricos. A título ilustrativo, y=1 representa o nível de qualidade térmica mais rigoroso, estabelecendo a imposição de um coeficiente de transmissão térmica equivalente a 80% do valor máximo regulamentar ao elemento construtivo. Por sua vez, z=1 indica um suporte com melhor desempenho térmico, associado a uma resistência térmica superior a $0,60 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$, que necessitará de menor resistência e, consequentemente, menor espessura de isolamento térmico.

Tabela 16- Modelo Proposto para a Caracterização da Resistência Térmica dos Materiais de Isolamento Térmico

Variável \ Índice	1	2	3
x- Zona Climática de Inverno	I1	I2	I3
y- Nível de Qualidade Térmica (U)	0,80·Min. Reg.	0,90·Min. Reg.	Min. Reg.
z- Resistência do Suporte (R)	>0,60	0,60-0,40	<0,40

Desta forma, é possível, como mostra a Tabela 17, obter 27 combinações possíveis para caracterizar a resistência térmica do material de isolamento térmico.

Tabela 17-Combinações Possíveis para Caracterizar a Resistência Térmica dos Materiais de Isolamento Térmico segundo o Modelo Proposto

$R_{x,yz}$		
$R_{1,11}$	$R_{1,12}$	$R_{1,13}$
$R_{1,21}$	$R_{1,22}$	$R_{1,23}$
$R_{1,31}$	$R_{1,32}$	$R_{1,33}$
$R_{2,11}$	$R_{2,12}$	$R_{2,13}$
$R_{2,21}$	$R_{2,22}$	$R_{2,23}$
$R_{2,31}$	$R_{2,32}$	$R_{2,33}$
$R_{3,11}$	$R_{3,12}$	$R_{3,13}$
$R_{3,21}$	$R_{3,22}$	$R_{3,23}$
$R_{3,31}$	$R_{3,32}$	$R_{3,33}$

A utilização do modelo apresentado revela-se particularmente vantajosa para especificar de forma objetiva as características recomendadas para o material no caderno de encargos, conforme demonstrado no exemplo seguinte.

Sugere-se, no caderno de encargos, a utilização de um isolamento térmico $R_{1,21}$ para os elementos opacos verticais em contacto com o exterior do edifício. Tal significa que:

- R_1 : O edifício localiza-se na zona climática de inverno I1;
- $R_{x,2}$: O isolamento térmico deverá exibir uma resistência térmica tal que permita alcançar o nível de qualidade térmica 2, ou seja:
 - i. Para a zona climática I1, como pode ser consultado na Tabela 8 do capítulo 3, o valor máximo do coeficiente de transmissão térmica (U) atualmente fixado pela Portaria n.º 138-I/2021 para elementos opacos verticais em contacto com o exterior é de $0.50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.
 - ii. Dado que a resistência térmica (R) é o inverso do coeficiente de transmissão térmica, o valor mínimo regulamentar para a resistência do elemento construtivo é de $2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.
 - iii. Uma vez imposto o nível de qualidade térmica 2, o valor da resistência térmica do elemento construtivo deverá ser, no mínimo: $R = 0,90 \times R_{\min} = 0,90 \times 2 = 1,80 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.
- $R_{x,y1}$: O suporte é termicamente eficiente, com uma resistência térmica superior a $0,60 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$. Por exemplo, constituído por blocos de betão leve com uma resistência térmica de $1 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

Assim sendo, de forma a respeitar o especificado no caderno de encargos, a resistência térmica do isolamento deverá ser no mínimo: $R_{\text{isol}} = 1,80 - 1,00 = 0,80 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

4.5.2. PROPOSTA PARA A CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO AO FOGO (F) DO ISOLAMENTO

Uma vez que o comportamento ao fogo dos materiais de isolamento térmico constitui, à semelhança da resistência térmica, uma exigência regulamentar, optou-se por caracterizá-lo de forma análoga e, por isso, sob a forma $F_{x,yz}$. Neste contexto, F representa a exigência, comportamento ao fogo do material, a variável x refere-se à altura do edifício e as variáveis y e z representam as classes de reação ao fogo e de produção de fumo, respetivamente.

De acordo com a Tabela 18, a variável x pode assumir os valores $x=1,2$ e 3 conforme se trate de um edifício com uma altura inferior a 9 m, entre 9 e 28 m ou superior a 28 m, respetivamente. No que toca

às variáveis y e z, o nível 1 representa a melhor classe possível, a qual o modelo considera tanto a classe A1 como A2 para a reação ao fogo e classe s1 para a produção de fumo, o nível 2 representa uma classe média entre a melhor possível e a mínima regulamentar, e o nível 3 a mínima regulamentar.

É importante ressaltar que, na caracterização do comportamento ao fogo, não se considerou uma variável para a classe de queda de partículas ou gotas inflamadas. Esta decisão fundamenta-se no facto de a Tabela 18 ter sido realizada com base na reação ao fogo mínima regulamentar dos materiais apresentados no capítulo 3 (Tabela 10 a 13), para os quais a menor classe admissível para este parâmetro coincide com a melhor possível (d0), à exceção do revestimento exterior sobre fachadas sem aberturas. Constituindo este o único caso em que se admite d1, priorizou-se a simplificação do modelo, deixando de fora a variável relativa à classe de queda de partículas ou gotas inflamadas, tratando-se este caso de forma distinta no manual proposto adiante.

Tabela 18- Modelo Proposto para a Caracterização do Comportamento ao Fogo dos Materiais

Variável \ Índice	1	2	3
x- Altura do Edifício	Edifícios com altura inferior a 9 m	Edifícios com altura entre 9 e 28 m	Edifícios com altura superior a 28 m
y- Classe de Reação ao Fogo	A1/A2	Média entre o Min. Reg. e A1/A2	Min. Reg.
z- Classe de produção de fumo	s1	Média entre o Min. Reg. e s1	Min. Reg.

A Tabela 19 apresenta as 27 combinações possíveis para caracterizar o comportamento ao fogo do material.

Tabela 19- Combinações Possíveis para Caracterizar o Comportamento ao Fogo dos Materiais segundo o Modelo Proposto

F_{x,yz}
F _{1,11} F _{1,12} F _{1,13}
F _{1,21} F _{1,22} F _{1,23}
F _{1,31} F _{1,32} F _{1,33}
F _{2,11} F _{2,12} F _{2,13}
F _{2,21} F _{2,22} F _{2,23}
F _{2,31} F _{2,32} F _{2,33}
F _{3,11} F _{3,12} F _{3,13}
F _{3,21} F _{3,22} F _{3,23}
F _{3,31} F _{3,32} F _{3,33}

Para aplicar o modelo em questão, procedeu-se a uma adaptação do exemplo anterior preconizado para o caso da caracterização do comportamento ao fogo do material.

Sugere-se, no caderno de encargos, a utilização de um sistema compósito para isolamento térmico exterior com revestimento sobre isolante (ETICS), com um comportamento ao fogo F_{1,21}. Tal implica que:

- F₁: A altura do edifício em questão é inferior a 9m;

- $F_{x,2}$: É imposto ao sistema o nível de qualidade 2 para a reação ao fogo, ou seja:
 - i. Para edifícios com uma altura inferior a 9 m, como pode ser consultado na Tabela 11 do capítulo 3, a classe de reação ao fogo mínima admitida ao sistema completo é C.
 - ii. Dado que a melhor classe possível é A1/A2, a classe de reação ao fogo a considerar é a média entre A1/A2 e C, ou seja, B.
- $F_{x,y1}$: É imposto ao sistema o nível de qualidade 1 para a produção de fumo, assim:
 - i. Para edifícios com uma altura inferior a 9 m, como pode ser consultado na Tabela 11 do capítulo 3, a classe de produção de fumo mínima admitida ao sistema completo é s3, no entanto, deverá ser considerada a classe melhor possível e, portanto, s1.

4.5.3. PROPOSTA PARA A CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL (A) DO ISOLAMENTO

No capítulo 2 foram definidos 12 níveis de qualidade em função dos valores de potencial de aquecimento global obtidos pelos materiais, pela necessidade de uma distinção inequívoca entre os materiais analisados. Contudo, o modelo sugere uma classificação mais condensada, reduzindo-se a três níveis de qualidade (A^+ , A e A^-), com o intuito de tornar a seleção de materiais de isolamento térmico menos restrita, ampliando a diversidade de opções em cada nível e facilitando a implementação do modelo.

Tabela 20- Modelo Proposto para a Caracterização do Desempenho Ambiental dos Materiais de Isolamento Térmico

Nível	Exigências
A^+	$GWP [kgCO_2eq/FU] \leq 0$
A	$GWP [kgCO_2eq/FU] \leq 4$
A^-	$4 < GWP [kgCO_2eq/FU] < 4$

4.5.4. NÍVEIS DE APTIDÃO DO PERFIL DE USO ISOLE DEFINIDOS PELA ACERMI

No modelo ACERMI, cada exigência é traduzida por vários níveis de aptidão de utilização, sendo que o material só pertence ao nível X, se satisfizer todas as exigências dos níveis inferiores [46].

4.5.4.1. Níveis de aptidão definidos pela ACERMI para a Compressibilidade (I)

A compressibilidade dos materiais de isolamento térmico é caracterizada pelos 5 níveis apresentados na Tabela 21.

Tabela 21- Níveis de Compressibilidade [54, 56]

Nível	Exigências
$I_1^{(*)}$	$(d_5-d_{10})/d_5 \leq 0,25$ (média das 5 medições) $(d_5-d_{10})/d_5 \leq 0,35$ (para cada medição)
I_2	SC2 _b
I_3	SC2 _a
I_4	SC1 _b
I_5	SC1 _a

(*) Os produtos com uma resistência à compressão de 10% de acordo com a norma NF EN 826, i.e. CS (10) $\geq 0,5$ kPa, satisfazem o critério não necessitando de ser submetidos a ensaios

Em que[54, 56]:

- d_5 [m] – Espessura medida em 5 pontos de duas amostras após aplicação de uma carga distribuída de $50 \pm 1,5$ Pa, segundo a norma NF EN 823;
- d_{10} [m] – Espessura medida em 5 pontos de duas amostras após aplicação de uma carga distribuída de $100 \pm 1,5$ Pa, segundo a norma NF EN 823;
- SC1_a SC1_b SC2_a SC2_b – Classe de compressibilidade da camada de isolamento térmico sob betonilha, pavimento flutuante ou revestimento cerâmico, segundo a norma NF DTU 52.10 P1-2. Os procedimentos de ensaio são definidos no Caderno Técnico nº6.

4.5.4.2. Níveis de aptidão definidos pela ACERMI para a Estabilidade Dimensional (S)

A estabilidade dimensional dos materiais de isolamento térmico é caracterizada pelos 5 níveis apresentados na Tabela 22.

Tabela 22- Níveis de Estabilidade Dimensional [54, 56]

Nível	Exigências
S ₁	$ \Delta\epsilon _{23^\circ\text{C}} + \Delta\epsilon _{30 \text{ a } 90\% \text{ HR}} \leq 0,01 \text{ [m/m]}$
S ₂	$G \cdot \Delta\epsilon _{23^\circ\text{C}} \cdot d \leq 400 \text{ [Pa}\cdot\text{m]}$
S ₃ ^(*)	$ \Delta\epsilon _{48\text{h a } 70^\circ\text{C}} \leq 0,004 \text{ [m/m]}$
S ₄	$(50 \cdot \alpha + \Delta\epsilon _{48\text{h a } 70^\circ\text{C}} + \Delta\epsilon _{30 \text{ a } 90\% \text{ HR}}) \cdot G \leq 15 \times 10^3 \text{ [Pa]}$ Se dimensões do produto $\leq 500 \times 500 \text{ mm}^2$ $ \Delta\epsilon _{48\text{h a } 70^\circ\text{C}} \leq 0,003 \text{ [m/m]}$
S ₅	Se dimensões do produto $> 500 \times 500 \text{ mm}^2$ $ \Delta\epsilon _{23^\circ\text{C}} \leq 0,0015 \text{ [m/m]}$ $ \Delta\epsilon _{48\text{h a } 70^\circ\text{C}} \leq 0,0025 \text{ [m/m]}$

^(*) Para espessuras superiores a 120 mm, a satisfação do nível S2 não é necessária.

Em que[54, 56]:

- d [m] – Espessura do isolamento térmico;
- G [Pa] – Módulo de elasticidade transversal, de acordo com a norma NF EN 12090;
- α – Coeficiente de dilatação térmica linear (por defeito $6 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$);
- $|\Delta\epsilon|_{23^\circ\text{C}}$ [m/m] – variação dimensional, em comprimento e largura, depois de submetido a condições higrotérmicas de 23°C de temperatura e 50% de humidade relativa, de acordo com a norma EN 1603;
- $|\Delta\epsilon|_{48\text{h a } 70^\circ\text{C}}$ [m/m] – variação dimensional, em comprimento e largura, após aquecimento a 70°C durante 48h, de acordo com a norma EN 1604;
- $|\Delta\epsilon|_{30 \text{ a } 90\% \text{ HR}}$ [m/m] – variação dimensional, em comprimento e largura, obtida da diferença entre dois ambientes, ambos à temperatura de 23°C , mas um com uma humidade relativa de 30% e outro de 90%, até à estabilização relativa em cada um dos ambientes, de acordo com a norma EN 1604.

Observações:

- Deverá ser considerado o valor máximo obtido para $\Delta\epsilon_l$ e $\Delta\epsilon_b$.

- O critério de paragem das medições corresponde a uma variação total de 0,5% (desvio máximo de 0,05% entre duas medições consecutivas).
- No parâmetro $|\Delta\varepsilon|_{30 \text{ a } 90\% \text{ HR}}$, a estabilização é alcançada se a variação máxima durante 7 dias de $\Delta\varepsilon_l$ e $\Delta\varepsilon_b$ for inferior a 0,05%. Se o produto em questão não for higroscópico, essa diferença é considerada negligenciável.

4.5.4.3. Níveis de aptidão definidos pela ACERMI para o Comportamento à Água (O)

O comportamento à água dos materiais de isolamento térmico é caracterizado pelos 3 níveis apresentados na Tabela 23.

Tabela 23- Níveis de Comportamento à Água [54, 56]

Nível	Exigências
O ₁	$\Delta d/d < 7,5 \text{ [\%]}$ $E_p < 15 \text{ [\%]}$ $E_v < 1,5 \text{ [\%]}$
O ₂	$W_p < 1,0 \text{ [Kg/m}^2\text{]}$
O ₃	$W_p < 0,2 \text{ [Kg/m}^2\text{]}$

Em que: [54, 56]

- $\Delta d/d \text{ [\%]}$ – Variação da espessura após humidificação parcial, de acordo com a norma EN 823;
- $E_p \text{ [\%]}$ – Higroscopicidade em peso;
- $E_v \text{ [\%]}$ – Higroscopicidade em volume;
- $W_p \text{ [Kg/m}^2\text{]}$ – Absorção de água por imersão parcial (24h), medida segundo a norma NF EN 1609-Método A.

Observações:

A higroscopicidade é determinada da seguinte forma, enquanto se aguarda uma norma europeia específica:

- Os ensaios têm como objetivo avaliar o caráter higroscópico de um isolante através da medição das variações de massa após estabilização em dois ambientes controlados a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $20 \pm 5\% \text{ HR}$ e a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $90 \pm 5\% \text{ HR}$.

4.5.4.4. Níveis de aptidão definidos pela ACERMI para o Comportamento Mecânico (L)

O comportamento mecânico dos materiais de isolamento térmico é caracterizado pelos 4 níveis apresentados na Tabela 24.

Tabela 24- Níveis de Comportamento Mecânico [54, 56]

Nível	Exigências
L ₁ (*)	$F_m > P$ [N]
L ₂	$d \leq 0,12$ [m]
L ₃ (*)	$r_{mt} > 50$ [kPa]
L ₃ (120) (*)	$r_{mt} > 120$ [kPa]
L ₃ (150) (*)	$r_{mt} > 150$ [kPa]
L ₄ (*)	$r_{mt} > 180$ [kPa]

(*) Valor a ser atendido para pelo menos 4 em 5 provetes.

Em que: [54, 56]

- P [N] – Peso correspondente a 10 m de produto para materiais de isolamento térmico em rolo ou a 3 painéis idênticos ao testado para materiais de isolamento térmico em painéis;
- F_m [N] – Força de tração máxima registrada, obtida por tração paralela às faces, de acordo com a norma NF EN 1608;
- d – Deformação por peso próprio, de acordo com a norma NF DTU 20.1 P1-2 (Anexo C);
- r_{mt} [kPa] – Resistência à tração máxima correspondente à coesão interna da amostra, obtida por tração perpendicular às faces, de acordo com a norma NF EN 1607, e dividida pela respectiva área da seção transversal.

4.5.4.5. Níveis de aptidão definidos pela ACERMI para a Permeabilidade ao Vapor de Água (E)

A permeabilidade ao vapor de água dos materiais de isolamento térmico é caracterizada pelos 5 níveis apresentados na Tabela 25.

Tabela 25- Níveis de Permeabilidade ao Vapor de Água [54, 56]

Nível	Exigências
E ₁	$Z \leq 0,44$ $2,27 \leq 1/Z$ $S_d \leq 0,3$
E ₂	$0,44 < Z \leq 2,22$ $0,45 \leq 1/Z < 2,27$ $0,3 < S_d \leq 1,5$
E ₃	$2,22 < Z \leq 8,85$ $0,113 \leq 1/Z < 0,45$ $1,5 < S_d \leq 6$
E ₄	$8,85 < Z \leq 133$ $0,0075 \leq 1/Z < 0,113$ $6 < S_d \leq 90$
E ₅	$133 < Z$ $1/Z < 0,0075$ $90 < S_d$

Em que[54]:

- Z [$\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg}$] – Resistência à difusão do vapor de água, de acordo com a norma NF EN 12086;
- $1/Z$ [$\text{mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$] – Permeância ao vapor de água, determinada segundo a norma NF EN 12086;
- S_d [m] – Espessura da camada de ar de difusão equivalente, obtida da multiplicação da resistência ao vapor de água (Z) pela permeabilidade do ar ao vapor de água (δ_{ar} [$\text{mg} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$]), definida pela norma NF EN 12086.

Com o objetivo de ilustrar de que modo os critérios definidos pela ACERMI para cada exigência ISOLE se concretizam na prática, apresenta-se no Anexo A2 a classificação ISOLE atribuída pela ACERMI a um produto de isolamento térmico de origem portuguesa, com base nas suas características técnicas.

4.6. SÍNTESE DO CAPÍTULO

O LNEC desempenhou, desde cedo, um papel crucial na verificação da conformidade dos produtos e sistemas de construção com os requisitos legais da União Europeia. Atualmente, é responsável pela emissão de documentos de apreciação técnica, como Documentos de Homologação e de Avaliações Técnicas Europeias, no âmbito da marcação CE.

As certificações europeias de isolamentos térmicos, contrariamente à marcação CE, são voluntárias e representam um compromisso adicional de qualidade face aos requisitos regulamentares, oferecendo um diferencial competitivo.

Perante a ausência de uma certificação portuguesa para isolamentos térmicos, procedeu-se, neste capítulo, à análise das certificações dos mercados mais próximos e, por isso, da certificação francesa ACERMI e da certificação espanhola AENOR, com o objetivo de propor um modelo para uma potencial certificação portuguesa.

Beneficiando da vasta experiência da ACERMI e da vantagem da sua certificação sobre a da AENOR de ser acompanhada por um manual exigencial, uma vez este um dos objetivos principais da presente dissertação, o modelo de certificação proposto aproxima-se da certificação francesa. Inspirado na designação ISOLE do perfil de uso do isolamento e integrando as exigências resistência térmica (R), comportamento ao fogo (F) e desempenho ambiental (A) no mesmo, o modelo de certificação proposto é intitulado R_ISOLE_FA.

Assim, para as exigências de compressibilidade (I), estabilidade dimensional (S), comportamento à água (O), comportamento mecânico (L) e permeabilidade ao vapor de água (E), adotaram-se os critérios definidos pela ACERMI, utilizando o manual francês como alicerce para o manual exigencial proposto no próximo capítulo no que toca a estas exigências. Porém, a integração das exigências de resistência térmica, comportamento ao fogo e desempenho ambiental impôs a necessidade de desenvolver um modelo de caracterização capaz de sustentar as secções do manual dedicadas a estas exigências.

Para caracterizar as exigências regulamentares, foi formulada uma proposta mais complexa, fundamentada nas variáveis que influenciam o seu valor. Esta abordagem revelou-se útil também para especificar no caderno de encargos os requisitos do isolamento térmico a aplicar na envolvente do edifício. Relativamente à exigência de desempenho ambiental, optou-se por uma caracterização mais simples, que aproveita os resultados obtidos no capítulo 2. Não obstante, esta proposta carece ainda de uma validação com os produtos de isolamento térmico disponíveis no mercado.

5

**MANUAL DE SELEÇÃO EXIGENCIAL
PROPOSTO****5.1. INTRODUÇÃO**

Como confirmado pelo capítulo 2, verifica-se atualmente uma grande diversidade de materiais de isolamento térmico disponíveis no mercado, o que não só sublinha a importância de os fabricantes garantirem a qualidade dos seus produtos a fim de se destacarem da concorrência, mas, sobretudo, complica a tarefa dos projetistas na seleção dos materiais mais adequados a uma utilização específica. Por essa razão, há toda a conveniência em criar um instrumento que permita a ligação entre o desempenho exigido às soluções e as características físicas e higrotérmicas dos materiais contidas na certificação dos produtos. Esse instrumento será o manual exigencial que permite assim concretizar o método exigencial explicitado nos capítulos anteriores sobre as exigências e os modelos aplicáveis aos materiais de isolamento térmico. A sua aplicação tem como principal objetivo evitar a seleção de produtos mal-adaptados às exigências de utilização, definindo as exigências a satisfazer por cada produto, de forma a cumprir o desempenho pretendido para a solução em estudo [51, 62].

5.2. MANUAL EXIGENCIAL PROPOSTO PARA A SELEÇÃO DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS

Com o intuito de uniformizar o manual na medida do possível, foi elaborada uma proposta base com três níveis de qualidade: mínimo, médio e otimizado, para as exigências de resistência térmica (R), comportamento ao fogo (F) e desempenho ambiental (A) fundamentada apenas no modelo de caracterização proposto no capítulo anterior, carecendo, portanto, de uma validação com os materiais de isolamento térmico disponíveis no mercado. Como no modelo proposto, as restantes exigências mantêm a abordagem prescrita pela ACERMI, definindo-se unicamente a adequação do material ao uso, independentemente do nível de qualidade pretendido.

Importa observar que, em primeiro lugar, dada a grande diversidade de opções construtivas face às novas tecnologias e materiais empregues na construção, no manual foram generalizadas as soluções correntes para os diferentes elementos construtivos da envolvente exterior dos edifícios. Em segundo lugar, de acordo com os valores de $U_{\text{máx}}$ adotados, este manual destina-se a edifícios de habitação localizados em Portugal Continental.

5.2.1. RESISTÊNCIA TÉRMICA (R)

No modelo de caracterização proposto no capítulo 4 foram definidos três níveis de qualidade em função dos valores máximos do coeficiente de transmissão térmica ($U_{\text{máx}}$) definidos pela Portaria n.º 138-I/2021, o que permitiu corresponder os níveis definidos ao nível mínimo, médio e otimizado, de acordo com a

Tabela 26, e definir o valor mínimo de resistência térmica ($R_{\min}$) admitido a cada solução de paredes, coberturas e pavimentos no presente manual.

Tabela 26- Níveis de Qualidade Térmica

Nível de qualidade	Limite do U
Nível Mínimo	$U=U_{\max}$
Nível Médio	$U=0,90 \cdot U_{\max}$
Nível Otimizado	$U=0,80 \cdot U_{\max}$

Posto isto, para especificar de forma exigencial no manual a resistência térmica do isolamento, R_{isol} , arbitrou-se um valor para a resistência do elemento sem isolamento térmico (R_{sup}). De forma a perceber a influência da resistência do suporte na aplicação do isolamento térmico foram criadas duas tabelas para cada zona climática, uma associada a suportes de maior desempenho térmico, caracterizados por valores de U mais baixos e, consequentemente, valores de R mais elevados (Tabelas 29 a 31), e outra para suportes de menor desempenho térmico (Tabelas 32 a 34).

Os valores da R_{sup} foram definidos com base nos valores do coeficiente de transmissão térmica estipulados pelo ITE 50 para paredes, coberturas e pavimentos sem isolamento térmico, considerando para as Tabelas 29, 30 e 31 os valores apresentados na Tabela 27, admitindo uma solução de paredes em alvenaria de tijolo e laje aligeirada de blocos de betão normal para coberturas e pavimentos, e para as Tabelas 32, 33 e 34 os valores apresentados na Tabela 28, admitindo uma solução de paredes de betão e laje maciça para coberturas e pavimentos.

Definidos os valores da $R_{\min}$ e da R_{sup} , a R_{isol} no manual obtém-se pela subtração da $R_{\min}$ permitida a cada solução construtiva em função do nível de qualidade pela R_{sup} . De notar que, a R_{isol} representa a resistência mínima necessária para atender o nível de qualidade em questão, admitindo-se, por isso, uma resistência térmica superior.

No que toca aos elementos em contacto com o solo, na ausência de valores máximos regulamentares e considerando que a temperatura do solo a cerca de 1 m de profundidade é bastante estável ao longo do ano para todo o território nacional, não existe uma grande preocupação energética, recomendando-se apenas uma espessura de isolamento térmico de 30 mm [63].

Tabela 27- Valores do Coeficiente de Transmissão Térmica dos Elementos Sem Isolamento Térmico (U_{sup}) que Serviram de Base às Tabelas 29,30 e 31_ Suporte com maior desempenho térmico

Elemento	$U_{\text{sup.}} [W/ (m^2 \cdot ^\circ C)]$
Paredes simples de fachada sem isolamento térmico Alvenaria de tijolo	1,2
Paredes duplas de fachada sem isolamento térmico Alvenaria de tijolo	1,1
Pavimentos sobre espaços exteriores sem isolamento térmico Laje aligeirada de blocos de betão normal	1,8
Coberturas horizontais sem isolamento térmico Laje aligeirada de blocos de betão normal	1,2
Coberturas inclinadas sem isolamento térmico Laje aligeirada de blocos de betão normal	1,8

Tabela 28- Valores do Coeficiente de Transmissão Térmica dos Elementos Sem Isolamento Térmico ($U_{sup.}$) que Serviram de Base às Tabelas 32,33 e 34_Suporte com menor desempenho térmico

Elemento	$U_{sup.}$ [W/ (m ² . °C)]
Paredes simples de fachada sem isolamento térmico	
Parede de betão	2,8
Paredes duplas de fachada sem isolamento térmico	
Parede de betão	1,6
Pavimentos sobre espaços exteriores sem isolamento térmico	
Laje maciça	2,8
Coberturas horizontais sem isolamento térmico	
Laje maciça	1,5
Coberturas inclinadas sem isolamento térmico	
Laje maciça	2,9

Caso o valor da resistência do suporte não coincida com os valores estipulados no manual, Ana Sofia de Castro formulou, em 2017, na sua dissertação realizada no mesmo âmbito, a equação (3), que permite ajustar o manual a qualquer opção construtiva.

$$R'_{isol} = R_{sup.} - R'_{sup.} + R_{isol} \quad (3)$$

Nesta equação $R_{sup.}$ e R_{isol} representam, respetivamente, a resistência térmica do elemento sem isolamento e do isolamento caracterizadas no manual e R'_{isol} representa a resistência que o isolamento deverá ter, caso seja considerada uma resistência do elemento sem isolamento diferente da estipulada no manual ($R'_{sup.}$) [56].

Previamente a serem apresentadas as tabelas que constituem o manual, na Fig.8 evidencia-se a forma de consulta das mesmas.

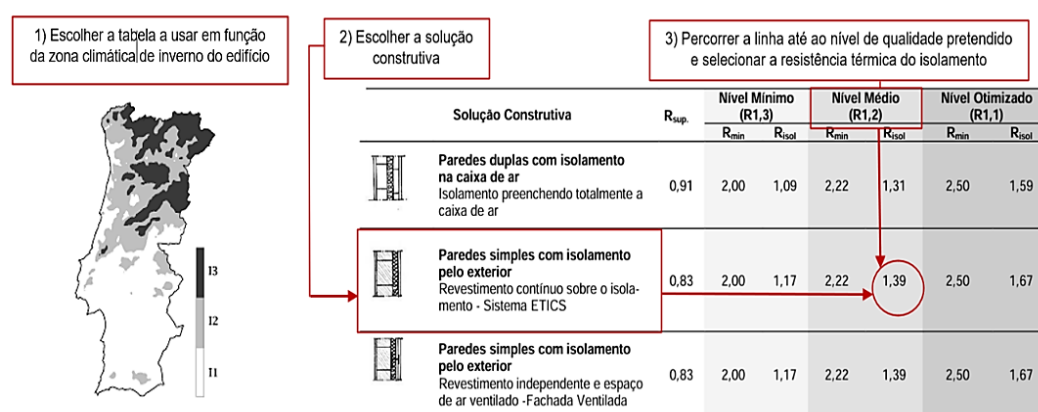


Fig. 8- Metodologia para a Obtenção da Resistência Térmica no Manual Exigencial

Tabela 29- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática 1_Suporte de Maior Desempenho Térmico

Solução Construtiva	$R_{sup.}$	Nível Mínimo (R1,3)		Nível Médio (R1,2)		Nível Otimizado (R1,1)	
		R_{min}	R_{isol}	R_{min}	R_{isol}	R_{min}	R_{isol}
 Paredes duplas com isolamento na caixa de ar Isolamento preenchendo totalmente a caixa de ar	0,91	2,00	1,09	2,22	1,31	2,50	1,59
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento contínuo sobre o isolamento - Sistema ETICS	0,83	2,00	1,17	2,22	1,39	2,50	1,67
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento independente e espaço de ar ventilado -Fachada Ventilada	0,83	2,00	1,17	2,22	1,39	2,50	1,67
 Paredes simples com isolamento pelo interior Complexo com Isolamento contínuo	0,83	2,00	1,17	2,22	1,39	2,50	1,67
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento exterior sob a estrutura do pavimento fixado diretamente através de fixação mecânica	0,56	2,50	1,94	2,78	2,22	3,13	2,57
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento interior sobre a estrutura do pavimento	0,56	2,50	1,94	2,78	2,22	3,13	2,57
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre teto em estrutura leve	0,56	2,50	1,94	2,78	2,22	3,13	2,57
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre laje de teto em betão e coberto com painéis de repartição de cargas	0,56	2,50	1,94	2,78	2,22	3,13	2,57
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento interior contínuo associado à estrutura descontínua	0,56	2,50	1,94	2,78	2,22	3,13	2,57
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento térmico na vertente sobre laje inclinada	0,56	2,50	1,94	2,78	2,22	3,13	2,57
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura tradicional-Isolamento sob sistema de impermeabilização	0,83	2,50	1,67	2,78	1,94	3,13	2,29
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura invertida ajardinada ou acessível a pessoas	0,83	2,50	1,67	2,78	1,94	3,13	2,29

Tabela 30- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática I2_Suporte de Maior Desempenho Térmico

Solução Construtiva	$R_{sup.}$	Nível Mínimo (R2,3)		Nível Médio (R2,2)		Nível Otimizado (R2,1)	
		R_{min}	R_{isol}	R_{min}	R_{isol}	R_{min}	R_{isol}
 Paredes duplas com isolamento na caixa de ar Isolamento preenchendo totalmente a caixa de ar	0,91	2,50	1,59	2,78	1,87	3,13	2,22
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento contínuo sobre o isolamento - Sistema ETICS	0,83	2,50	1,67	2,78	1,94	3,13	2,29
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento independente e espaço de ar ventilado -Fachada Ventilada	0,83	2,50	1,67	2,78	1,94	3,13	2,29
 Paredes simples com isolamento pelo interior Complexo com Isolamento contínuo	0,83	2,50	1,67	2,78	1,94	3,13	2,29
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento exterior sob a estrutura do pavimento fixado diretamente através de fixação mecânica	0,56	2,86	2,30	3,17	2,62	3,57	3,02
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento interior sobre a estrutura do pavimento	0,56	2,86	2,30	3,17	2,62	3,57	3,02
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre teto em estrutura leve	0,56	2,86	2,30	3,17	2,62	3,57	3,02
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre laje de teto em betão e coberto com painéis de repartição de cargas	0,56	2,86	2,30	3,17	2,62	3,57	3,02
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento interior contínuo associado à estrutura descontínua	0,56	2,86	2,30	3,17	2,62	3,57	3,02
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento térmico na vertente sobre laje inclinada	0,56	2,86	2,30	3,17	2,62	3,57	3,02
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura tradicional-Isolamento sob sistema de impermeabilização	0,83	2,86	2,02	3,17	2,34	3,57	2,74
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura invertida ajardinada ou acessível a pessoas	0,83	2,86	2,02	3,17	2,34	3,57	2,74

Tabela 31- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática I3_Suporte de Maior Desempenho Térmico

Solução Construtiva	R _{sup.}	Nível Mínimo (R3,3)		Nível Médio (R3,2)		Nível Otimizado (R3,1)	
		R _{min}	R _{isol}	R _{min}	R _{isol}	R _{min}	R _{isol}
 Paredes duplas com isolamento na caixa de ar Isolamento preenchendo totalmente a caixa de ar	0,91	2,86	1,95	3,17	2,27	3,57	2,66
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento contínuo sobre o isolamento - Sistema ETICS	0,83	2,86	2,02	3,17	2,34	3,57	2,74
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento independente e espaço de ar ventilado -Fachada Ventilada	0,83	2,86	2,02	3,17	2,34	3,57	2,74
 Paredes simples com isolamento pelo interior Complexo com Isolamento contínuo	0,83	2,86	2,02	3,17	2,34	3,57	2,74
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento exterior sob a estrutura do pavimento fixado diretamente através de fixação mecânica	0,56	3,33	2,78	3,70	3,15	4,17	3,61
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento interior sobre a estrutura do pavimento	0,56	3,33	2,78	3,70	3,15	4,17	3,61
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre teto em estrutura leve	0,56	3,33	2,78	3,70	3,15	4,17	3,61
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre laje de teto em betão e coberto com painéis de repartição de cargas	0,56	3,33	2,78	3,70	3,15	4,17	3,61
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento interior contínuo associado à estrutura descontínua	0,56	3,33	2,78	3,70	3,15	4,17	3,61
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento térmico na vertente sobre laje inclinada	0,56	3,33	2,78	3,70	3,15	4,17	3,61
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura tradicional-Isolamento sob sistema de impermeabilização	0,83	3,33	2,50	3,70	2,87	4,17	3,33
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura invertida ajardinada ou acessível a pessoas	0,83	3,33	2,50	3,70	2,87	4,17	3,33

Tabela 32- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática I1_ Suporte de Menor Desempenho Térmico

Solução Construtiva	$R_{sup.}$	Nível Mínimo (R1,3)		Nível Médio (R1,2)		Nível Otimizado (R1,1)	
		R_{min}	R_{isol}	R_{min}	R_{isol}	R_{min}	R_{isol}
 Paredes duplas com isolamento na caixa de ar Isolamento preenchendo totalmente a caixa de ar	0,63	2,00	1,38	2,22	1,60	2,50	1,88
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento contínuo sobre o isolamento - Sistema ETICS	0,36	2,00	1,64	2,22	1,87	2,50	2,14
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento independente e espaço de ar ventilado -Fachada Ventilada	0,36	2,00	1,64	2,22	1,87	2,50	2,14
 Paredes simples com isolamento pelo interior Complexo com Isolamento contínuo	0,36	2,00	1,64	2,22	1,87	2,50	2,14
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento exterior sob a estrutura do pavimento fixado diretamente através de fixação mecânica	0,36	2,50	2,14	2,78	2,42	3,13	2,77
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento interior sobre a estrutura do pavimento	0,36	2,50	2,14	2,78	2,42	3,13	2,77
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre teto em estrutura leve	0,34	2,50	2,16	2,78	2,43	3,13	2,78
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre laje de teto em betão e coberto com painéis de repartição de cargas	0,34	2,50	2,16	2,78	2,43	3,13	2,78
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento interior contínuo associado à estrutura descontínua	0,34	2,50	2,16	2,78	2,43	3,13	2,78
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento térmico na vertente sobre laje inclinada	0,34	2,50	2,16	2,78	2,43	3,13	2,78
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura tradicional-Isolamento sob sistema de impermeabilização	0,67	2,50	1,83	2,78	2,11	3,13	2,46
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura invertida ajardinada ou acessível a pessoas	0,67	2,50	1,83	2,78	2,11	3,13	2,46

Tabela 33- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática I2_ Suporte de Menor Desempenho Térmico

Solução Construtiva	R _{sup.}	Nível Mínimo (R2,3)		Nível Médio (R2,2)		Nível Otimizado (R2,1)	
		R _{min}	R _{isol}	R _{min}	R _{isol}	R _{min}	R _{isol}
 Paredes duplas com isolamento na caixa de ar Isolamento preenchendo totalmente a caixa de ar	0,63	2,50	1,88	2,78	2,15	3,13	2,50
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento contínuo sobre o isolamento - Sistema ETICS	0,36	2,50	2,14	2,78	2,42	3,13	2,77
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento independente e espaço de ar ventilado -Fachada Ventilada	0,36	2,50	2,14	2,78	2,42	3,13	2,77
 Paredes simples com isolamento pelo interior Complexo com Isolamento contínuo	0,36	2,50	2,14	2,78	2,42	3,13	2,77
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento exterior sob a estrutura do pavimento fixado diretamente através de fixação mecânica	0,36	2,86	2,50	3,17	2,82	3,57	3,21
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento interior sobre a estrutura do pavimento	0,36	2,86	2,50	3,17	2,82	3,57	3,21
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre teto em estrutura leve	0,34	2,86	2,51	3,17	2,83	3,57	3,23
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre laje de teto em betão e coberto com painéis de repartição de cargas	0,34	2,86	2,51	3,17	2,83	3,57	3,23
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento interior contínuo associado à estrutura descontínua	0,34	2,86	2,51	3,17	2,83	3,57	3,23
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento térmico na vertente sobre laje inclinada	0,34	2,86	2,51	3,17	2,83	3,57	3,23
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura tradicional-Isolamento sob sistema de impermeabilização	0,67	2,86	2,19	3,17	2,51	3,57	2,90
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura invertida ajardinada ou acessível a pessoas	0,67	2,86	2,19	3,17	2,51	3,57	2,90

Tabela 34- Método Exigencial para a Resistência Térmica do Isolamento a Aplicar em Edifícios Situados na Zona Climática I3_ Suporte de Menor Desempenho Térmico

Solução Construtiva	$R_{sup.}$	Nível Mínimo (R3,3)		Nível Médio (R3,2)		Nível Otimizado (R3,1)	
		R_{min}	R_{isol}	R_{min}	R_{isol}	R_{min}	R_{isol}
 Paredes duplas com isolamento na caixa de ar Isolamento preenchendo totalmente a caixa de ar	0,63	2,86	2,23	3,17	2,55	3,57	2,95
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento contínuo sobre o isolamento - Sistema ETICS	0,36	2,86	2,50	3,17	2,82	3,57	3,21
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento independente e espaço de ar ventilado -Fachada Ventilada	0,36	2,86	2,50	3,17	2,82	3,57	3,21
 Paredes simples com isolamento pelo interior Complexo com Isolamento contínuo	0,36	2,86	2,50	3,17	2,82	3,57	3,21
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento exterior sob a estrutura do pavimento fixado diretamente através de fixação mecânica	0,36	3,33	2,98	3,70	3,35	4,17	3,81
 Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento interior sobre a estrutura do pavimento	0,36	3,33	2,98	3,70	3,35	4,17	3,81
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre teto em estrutura leve	0,34	3,33	2,99	3,70	3,36	4,17	3,82
 Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre laje de teto em betão e coberto com painéis de repartição de cargas	0,34	3,33	2,99	3,70	3,36	4,17	3,82
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento interior contínuo associado à estrutura descontínua	0,34	3,33	2,99	3,70	3,36	4,17	3,82
 Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento térmico na vertente sobre laje inclinada	0,34	3,33	2,99	3,70	3,36	4,17	3,82
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura tradicional-Isolamento sob sistema de impermeabilização	0,67	3,33	2,67	3,70	3,04	4,17	3,50
 Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura invertida ajardinada ou acessível a pessoas	0,67	3,33	2,67	3,70	3,04	4,17	3,50

5.2.2. COMPORTAMENTO AO FOGO (F)

Com o objetivo de apresentar no manual exigencial três níveis de qualidade para o comportamento ao fogo dos materiais, a Tabela 19 do modelo de caracterização proposto no capítulo 4 foi utilizada como base. Estabeleceu-se que os elementos que constituem a diagonal de cada matriz representam as classes admitidas ao nível de qualidade médio, representando, por sua vez, os elementos do canto superior e inferior, as classes admitidas aos níveis otimizado e mínimo, respetivamente. A Fig.9 encontra-se devidamente legendada com o significado de cada designação $F_{x,yz}$, elucidando o leitor sobre o modelo de caracterização proposto para o comportamento ao fogo.

Fx, yz			
F1,11	F1,12	F1,13	F1,xy- Matriz para edifícios com uma altura inferior a 9 m
F1,21	F1,22	F1,23	
F1,31	F1,32	F1,33	
Fx, yz			
F2,11	F2,12	F2,13	F2,xy- Matriz para edifícios com uma altura entre 9 a 28 m
F2,21	F2,22	F2,23	
F2,31	F2,32	F2,33	
Fx, yz			
F3,11	F3,12	F3,13	F3,xy- Matriz para edifícios com uma altura superior a 28 m
F3,21	F3,22	F3,23	
F3,31	F3,32	F3,33	

	Classes admitidas ao nível otimizado
	Classes admitidas ao nível médio
	Classes admitidas ao nível mínimo

Legenda:

F_x, 11- **Melhor classe possível** para a reação ao fogo (A1 ou A2) e para a produção de fumo (s1)

F_x, 12- **Melhor classe possível** para a reação ao fogo (A1 ou A2) e **classe média** entre a melhor possível e a regulamentar para a produção de fumo

F_x, 21- **Classe média** entre a melhor possível e a regulamentar para a reação ao fogo e a **melhor classe possível** para a produção de fumo (s1)

F_x, 13- **Melhor classe possível** para a reação ao fogo (A1 ou A2) e **classe regulamentar** para a produção de fumo

F_x, 22- **Classe média** entre a melhor possível e a regulamentar para a reação ao fogo e para a produção de fumo

F_x, 31- **Classe regulamentar** para a reação ao fogo e **melhor classe possível** para a produção de fumo (s1)

F_x, 23- **Classe média** entre a melhor possível e a regulamentar para a reação ao fogo e **classe regulamentar** para a produção de fumo

F_x, 32- **Classe regulamentar** para a reação ao fogo e **classe média** entre a melhor possível e a regulamentar para a produção de fumo

F_x, 33- **Classe regulamentar** para a reação ao fogo e para a produção de fumo

Fig. 9- Fundamentação do Método Exigencial para o Comportamento ao Fogo com base no Modelo Proposto

Resultam assim as Tabelas 35, 36 e 37, as quais constituem o manual exigencial, especificando para cada matriz F_1 , F_2 e F_3 as classes de comportamento ao fogo permitidas a cada material, de acordo com o nível de qualidade pretendido. Note-se que ao projetista é conferida a liberdade de escolha entre as classes apresentadas, abrangendo em cada nível de qualidade uma maior diversidade de materiais. Previamente a serem apresentadas as tabelas que constituem o manual, na Fig.10 evidencia-se a forma de consulta das mesmas.

1) Escolher a tabela a usar em função da altura do edifício (inferior a 9m, entre 9 e 28 m ou superior a 28 m)

2) Escolher o elemento construtivo

3) Percorrer a linha até ao nível de qualidade pretendido e selecionar as classes admissíveis ao material

Elemento Construtivo	Nível Mínimo			Nível Médio			Nível Otimizado		
	F1,33	F1,32	F1,23	F1,31	F1,22	F1,13	F1,21	F1,12	F1,11
Fachada Ventilada Estrutura de suporte do sistema de isolamento	C-s2, d0	-	B-s2, d0	C-s1, d0	B-s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Fachada Ventilada Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	C-s2, d0	-	B-s2, d0	C-s1, d0	B-s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Fachada Ventilada Isolamento térmico	D-s3, d0	D-s2, d0	C/B-s3, d0	D-s1, d0	C/B-s2, d0	A1/A2-s3, d0	C/B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0

Fig. 10- Metodologia para a Obtenção do Comportamento ao Fogo no Manual Exigencial

Tabela 35- Método Exigencial para o Comportamento ao Fogo dos Materiais no Caso de Edifícios com uma Altura Inferior a 9 m

Elemento Construtivo	Nível Mínimo			Nível Médio			Nível Otimizado		
	F1,33	F1,32	F1,23	F1,31	F1,22	F1,13	F1,21	F1,12	F1,11
Fachada Ventilada Estrutura de suporte do sistema de isolamento	C-s2, d0	-	B-s2, d0	C-s1, d0	B-s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Fachada Ventilada Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	C-s2, d0	-	B-s2, d0	C-s1, d0	B-s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Fachada Ventilada Isolamento térmico	D-s3, d0	D-s2, d0	C/B-s3, d0	D-s1, d0	C/B-s2, d0	A1/A2-s3, d0	C/B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
ETICS Sistema Completo	C-s3, d0	C-s2, d0	B-s3, d0	C-s1, d0	B-s2, d0	A1/A2-s3, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
ETICS Isolamento Térmico	E	-	C	E	C	A1//A2	C	-	A1/A2
Revestimento das coberturas em terraço	E	-	C	E	C	A1//A2	C	-	A1/A2
Revestimento exterior de coberturas inclinadas	C-s2, d0	-	B-s2, d0	C-s1, d0	B-s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Revestimentos exteriores sobre fachadas sem aberturas***	D-s3, d1	D-s2, d1	C/B-s3, d1	D-s1, d1/d0	C/B-s2, d1/d0	A1/A2-s3, d1/d0	C/B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Revestimentos exteriores sobre fachadas com aberturas	C-s2, d0	-	B-s2, d0	C-s1, d0	B-s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0

*** Dado que constitui a única exceção em que o mínimo regulamentar admite uma classe de queda de partículas ou gotas inflamadas que não a melhor possível (d0), é viável aplicar um material classificado como d1 se o objetivo for atender ao nível mínimo, mas para atender ao nível otimizado recomenda-se a aplicação de um material com classe d0. Se o nível pretendido for o médio, a escolha entre as classes d0 e d1 fica a critério do projetista.

Tabela 36- Método Exigencial para o Comportamento ao Fogo dos Materiais no Caso de Edifícios com uma Altura entre 9 m e 28 m

Elemento Construtivo	Nível Mínimo			Nível Médio			Nível Otimizado		
	F2,33	F2,32	F2,23	F2,31	F2,22	F2,13	F2,21	F2,12	F2,11
Fachada Ventilada Estrutura de suporte do sistema de isolamento	B -s2, d0	-	-	B-s1, d0	B -s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Fachada Ventilada Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	B -s2, d0	-	-	B-s1, d0	B -s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Fachada Ventilada Isolamento térmico	B -s2, d0	-	-	B-s1, d0	B -s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
ETICS Sistema Completo	B-s3, d0	B-s2, d0	-	B-s1, d0	B -s2, d0	A1/A2-s3, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
ETICS Isolamento Térmico	E	-	C	E	C	A1//A2	C	-	A1/A2
Revestimento das coberturas em terraço	E	-	C	E	C	A1//A2	C	-	A1/A2
Revestimento exterior de coberturas inclinadas	C -s2, d0	-	B-s2, d0	C-s1, d0	B-s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Revestimentos exteriores sobre fachadas sem aberturas***	D -s3, d1	D-s2, d1	C/B-s3, d1	D -s1, d1/d0	C/B-s2, d1/d0	A1/A2-s3, d1/d0	C/B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Revestimentos exteriores sobre fachadas com aberturas	C -s2, d0	-	B-s2, d0	C-s1, d0	B-s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0

*** Dado que constitui a única exceção em que o mínimo regulamentar admite uma classe de queda de partículas ou gotas inflamadas que não a melhor possível (d0), é viável aplicar um material classificado como d1 se o objetivo for atender ao nível mínimo, mas para atender ao nível otimizado recomenda-se a aplicação de um material com classe d0. Se o nível pretendido for o médio, a escolha entre as classes d0 e d1 fica a critério do projetista.

Tabela 37- Método Exigencial para o Comportamento ao Fogo dos Materiais no Caso de Edifícios com uma Altura Superior a 28 m

Elemento Construtivo	Nível Mínimo			Nível Médio			Nível Otimizado		
	F3,33	F3,32	F3,23	F3,31	F3,22	F3,13	F3,21	F3,12	F3,11
Fachada Ventilada Estrutura de suporte do sistema de isolamento	A2 - s2, d0	-	-	A1/A2-s1, d0	-	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s2, d0	-	A1/A2-s1, d0
Fachada Ventilada Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	A2 - s2, d0	-	-	A1/A2-s1, d0	-	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s2, d0	-	A1/A2-s1, d0
Fachada Ventilada Isolamento térmico	A2 - s2, d0	-	-	A1/A2-s1, d0	-	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s2, d0	-	A1/A2-s1, d0
ETICS Sistema Completo	B -s2, d0	-	-	B-s1, d0	B -s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
ETICS Isolamento Térmico	B -s2, d0	-	-	B-s1, d0	B -s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Revestimento das coberturas em terraço	B-s1	-	-	B-s1	-	A1/A2-s1	-	-	A1/A2-s1
Revestimento exterior de coberturas inclinadas	C -s2, d0	-	B-s2, d0	C-s1, d0	B-s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Revestimentos exteriores sobre fachadas sem aberturas***	C-s3, d1	C-s2, d1	B-s3, d1	C -s1, d1/d0	B-s2, d1/d0	A1/A2-s3, d1/d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0
Revestimentos exteriores sobre fachadas com aberturas	B -s2, d0	-	-	B-s1, d0	B -s2, d0	A1/A2-s2, d0	B-s1, d0	A1/A2-s2, d0	A1/A2-s1, d0

*** Dado que constitui a única exceção em que o mínimo regulamentar admite uma classe de queda de partículas ou gotas inflamadas que não a melhor possível (d0), é viável aplicar um material classificado como d1 se o objetivo for atender ao nível mínimo, mas para atender ao nível otimizado recomenda-se a aplicação de um material com classe d0. Se o nível pretendido for o médio, a escolha entre as classes d0 e d1 fica a critério do projetista.

5.2.3. DESEMPENHO AMBIENTAL (A)

Uma vez definidos três níveis de qualidade para o desempenho ambiental dos isolamentos térmicos no modelo de caracterização proposto no capítulo 4, foi apenas necessário associar a classe mais rigorosa, A⁺, ao nível otimizado, a classe A ao nível médio e a classe menos exigente, A⁻, ao nível mínimo.

Tabela 38- Método Exigencial para o Desempenho Ambiental dos Isolamentos Térmicos

Nível de qualidade	Exigência de Desempenho Ambiental (A)	Limite do GWP
Nível Mínimo	A ⁻	4 < GWP < 4
Nível Médio	A	GWP ≤ 4
Nível Otimizado	A ⁺	GWP ≤ 0

5.2.4. COMPRESSIBILIDADE (I), ESTABILIDADE DIMENSIONAL (S), COMPORTAMENTO À ÁGUA (O), COMPORTAMENTO MECÂNICO (L) E PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (E)

Para atender às exigências de compressibilidade (I), estabilidade dimensional (S), comportamento à água (O) e comportamento mecânico (L), foram definidos, na Tabela 39, os níveis mínimos de aptidão de utilização dos isolantes para as soluções construtivas correntes de paredes, pavimentos e coberturas, tendo como principal referência o Caderno Técnico F fornecido pela ACERMI. Contudo, o documento não estabelece os níveis mínimos de aptidão do isolante à solução construtiva para a exigência de permeabilidade ao vapor de água (E), por essa razão, optou-se por quantificá-la apenas em função da higrometria do edifício em questão, como mostra a Tabela 41. Em relação à compressibilidade, nem sempre a sua quantificação é fácil, particularmente em coberturas e pavimentos onde os materiais de isolamento térmico estão sujeitos a cargas significativas. Nessas situações, deverá o nível ser definido em função da carga a que o isolamento está sujeito, de acordo com a Tabela 40.

Previamente a serem apresentadas as tabelas que constituem o manual, na Fig.11 evidencia-se a forma de consulta das mesmas.

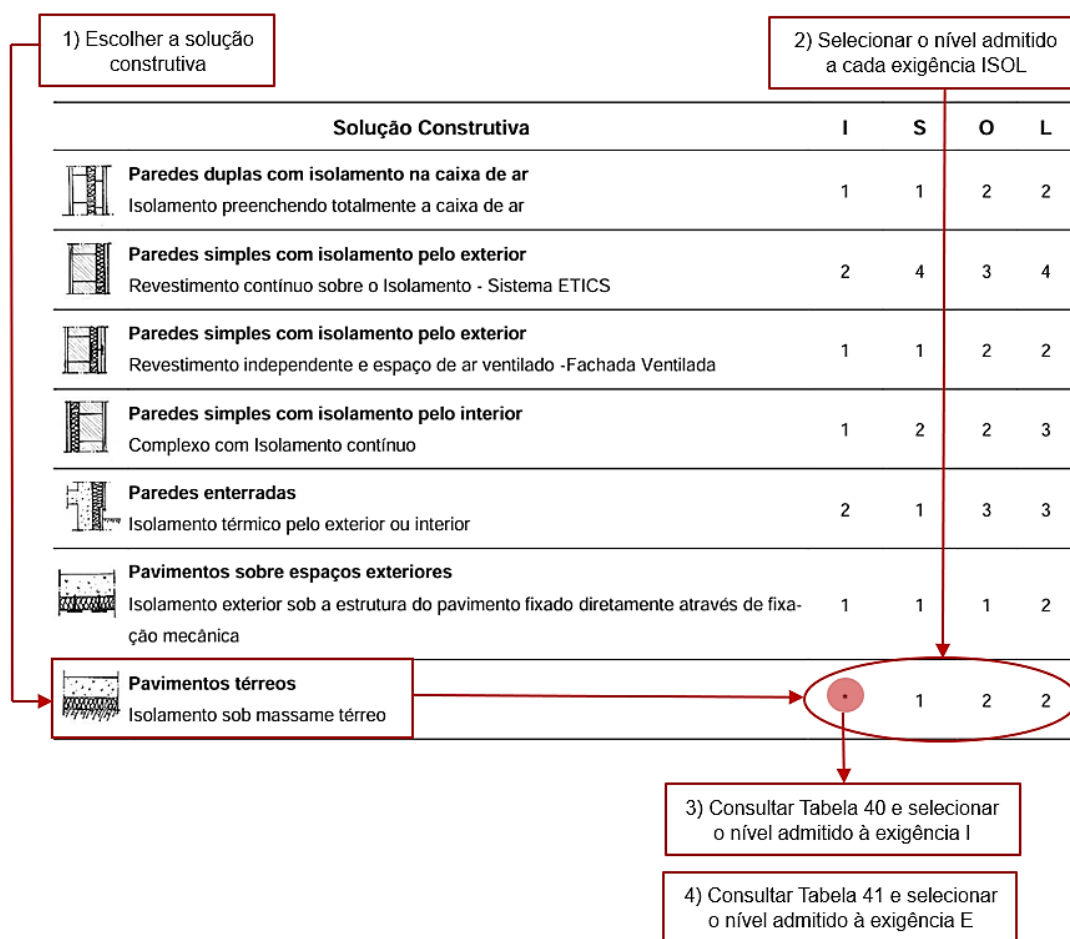


Fig. 11- Metodologia para a Obtenção da Compressibilidade, Estabilidade Dimensional, Comportamento à Água, Comportamento Mecânico e Permeabilidade ao Vapor de Água no Manual Exigencial

Tabela 39- Método Exigencial para o Perfil de Uso ISOL dos Isolamentos Térmicos [46, 54]

Solução Construtiva		I	S	O	L
	Paredes duplas com isolamento na caixa de ar Isolamento preenchendo totalmente a caixa de ar	1	1	2	2
	Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento contínuo sobre o Isolamento - Sistema ETICS	2	4	3	4
	Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento independente e espaço de ar ventilado -Fachada Ventilada	1	1	2	2
	Paredes simples com isolamento pelo interior Complexo com Isolamento contínuo	1	2	2	3
	Paredes enterradas Isolamento térmico pelo exterior ou interior	2	1	3	3
	Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento exterior sob a estrutura do pavimento fixado diretamente através de fixação mecânica	1	1	1	2
	Pavimentos térreos Isolamento sob massame térreo	*	1	2	2
	Pavimentos sobre espaços exteriores Isolamento interior sobre a estrutura do pavimento	*	1	2	2
	Pavimento radiante elétrico Isolamento de plástico alveolar Isolamento de lã mineral	4 3	1	2	2
	Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre teto em estrutura leve	1	1	1	1
	Coberturas em desvão não acessível Isolamento sobre laje de teto em betão e coberto com painéis de repartição de carga	3	1	1	1
	Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento interior contínuo associado à estrutura descontínua	1	1	1	1
	Coberturas inclinadas com desvão útil Isolamento térmico nas vertentes sobre laje inclinada	3	1	2	2
	Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura tradicional-Isolamento sob sistema de impermeabilização	*	3	2	2
	Coberturas horizontais em terraço com isolamento exterior Cobertura invertida ajardinada ou acessível a pessoas	*	2	3	4

* Consultar Tabela 40- Exigências de compressibilidade (I) dos isolamentos térmicos em função da carga a que estão sujeitos

Tabela 40- Exigências de Compressibilidade (I) dos Isolamentos Térmicos em Função da Carga a que estão Sujeitos[46]

Carga Total ^(*)	Exigência I
$Carga \leq 5 \text{ kN/m}^2$	I ₃
$5 \text{ kN/m}^2 < Carga \leq 10 \text{ kN/m}^2$	I ₄
$Carga > 10 \text{ kN/m}^2$	I ₅

^(*) A carga total inclui o peso próprio e sobrecarga, excluindo qualquer fator majorativo

Tabela 41- Exigências de Permeabilidade ao Vapor de Água (E) dos Isolamentos Térmicos em Função da Higrometria do Edifício [46]

Higrometria	Limites de $\omega/(n \cdot V)$ ^(*)	Exigência E
Fraca	$\omega/(n \cdot V) \leq 2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	E ₂
Média	$2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 < \omega/(n \cdot V) \leq 5,0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	E ₃
Forte	$5,0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 < \omega/(n \cdot V) \leq 7,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	E ₄
Muito Forte	$\omega/(n \cdot V) > 7,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Requer estudo especializado

^(*) ω [kg/h]: produção de vapor no interior; n [h⁻¹]: número de renovações horárias; V [m³]: volume interior.

5.3. SÍNTESE DO CAPÍTULO

A existência de um método exigencial capaz de fornecer, de forma direta, as exigências a satisfazer pelo isolamento térmico é de extrema importância. Esta abordagem, além de garantir que o desempenho do isolante corresponde às expectativas, previne a seleção de produtos inadequados, geradores potenciais de patologias.

Nesse sentido, foi estruturado neste capítulo um manual exigencial que se inspira no manual francês, elaborado pela ACERMI, para as exigências de compressibilidade (I), estabilidade dimensional (S), comportamento à água (O) e comportamento mecânico (L), apresentando, apenas os níveis mínimos de aptidão do isolante para as soluções construtivas correntes de paredes, coberturas e pavimentos. No entanto, este é complementado por critérios de seleção formulados para a exigência de permeabilidade ao vapor de água (E), em função da higrometria do edifício, e para a exigência de compressibilidade (I), no caso de o nível admitido depender da carga a que o elemento está sujeito.

A vertente inovadora do manual proposto incide nas exigências resistência térmica (R), comportamento ao fogo (F) e desempenho ambiental (A), para as quais o modelo de caracterização proposto no capítulo 4 serviu de base. A utilização do modelo permitiu, no caso das exigências regulamentares, estabelecer padrões de qualidade superiores aos mínimos, permitindo ao projetista adequar as características do material de isolamento térmico a uma solução construtiva e a um nível de qualidade específico. Com o objetivo de uniformizar o manual, na medida do possível, foram ainda criados três níveis de qualidade para o desempenho ambiental, contemplando todas estas exigências uma solução para o nível mínimo, médio e otimizado.

6

MODELO PROPOSTO PARA UMA APLICAÇÃO INFORMÁTICA DE SELEÇÃO EXIGENCIAL DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS

6.1. INTRODUÇÃO

As aplicações informáticas abriram caminho à simplificação e otimização das tarefas profissionais através da automação de processos e consequente padronização dos mesmos, minimização de erros humanos e redução do tempo necessário para a sua execução. Nesse sentido, no presente capítulo, foi idealizada uma aplicação destinada à seleção exigencial de materiais de isolamento térmico, que integra o modelo de certificação e o manual exigencial propostos.

6.2. UTILIZADORES-ALVO E FUNCIONAMENTO DA APLICAÇÃO

A aplicação idealizada opera em dois modos distintos, proporcionando perfis específicos para os fabricantes de materiais de isolamento térmico e para os projetistas de térmica.

Os fabricantes são responsáveis por enriquecer a base de dados da aplicação mediante a inserção dos seus produtos devidamente caracterizados. As características físicas e higrotérmicas requeridas pelo programa, para que este funcione corretamente, incluem o valor da resistência térmica, os níveis de compressibilidade, estabilidade dimensional, comportamento à água, comportamento mecânico e permeabilidade ao vapor de água, as classes de comportamento ao fogo e o valor de potencial de aquecimento global do isolante. O papel dos fabricantes nesta aplicação é essencial, na medida em que, quanto maior for o número de materiais registados na base de dados, maior será a diversidade de opções de isolamentos térmicos fornecidos ao projetista. Contudo, é do interesse do fabricante aderir à aplicação, uma vez que ao promover a visibilidade e transparência dos seus produtos, garante uma clara e inegável distinção em relação à concorrência, incutindo uma maior confiança aos utilizadores.

No que se refere à motivação dos projetistas para utilizarem esta aplicação, prende-se sobretudo com o facto de a seleção dos materiais mais apropriados a uma determinada solução construtiva estar à distância de um clique, bastando apenas: caracterizar o edifício quanto à zona climática, altura e higrometria; indicar a solução construtiva em questão e o valor da resistência térmica do elemento construtivo sem isolamento e da carga a que está sujeito; e seleccionar o nível de qualidade pretendido. Tal permite uniformizar e simplificar o processo de seleção, prevenindo a ocorrência de potenciais erros humanos nos processos de cálculo e consulta de documentos e, consequentemente evitar a seleção de materiais inadequados.

A Fig.12 esquematiza a dinâmica de funcionamento da aplicação. Do lado esquerdo é representada a forma como os fabricantes alimentam a base de dados da aplicação enquanto, no lado direito, é retratada a forma como os projetistas definem os seus requisitos. Com estes *inputs*, a aplicação é capaz de gerar o perfil de isolamento mínimo exigido à solução apresentada pelo projetista, de acordo com o especificado no manual exigencial, confrontando-o com o perfil dos isolamentos que constituem a base de dados, culminando com o *output* final dos materiais de isolamento mais apropriados para a solução construtiva em estudo.

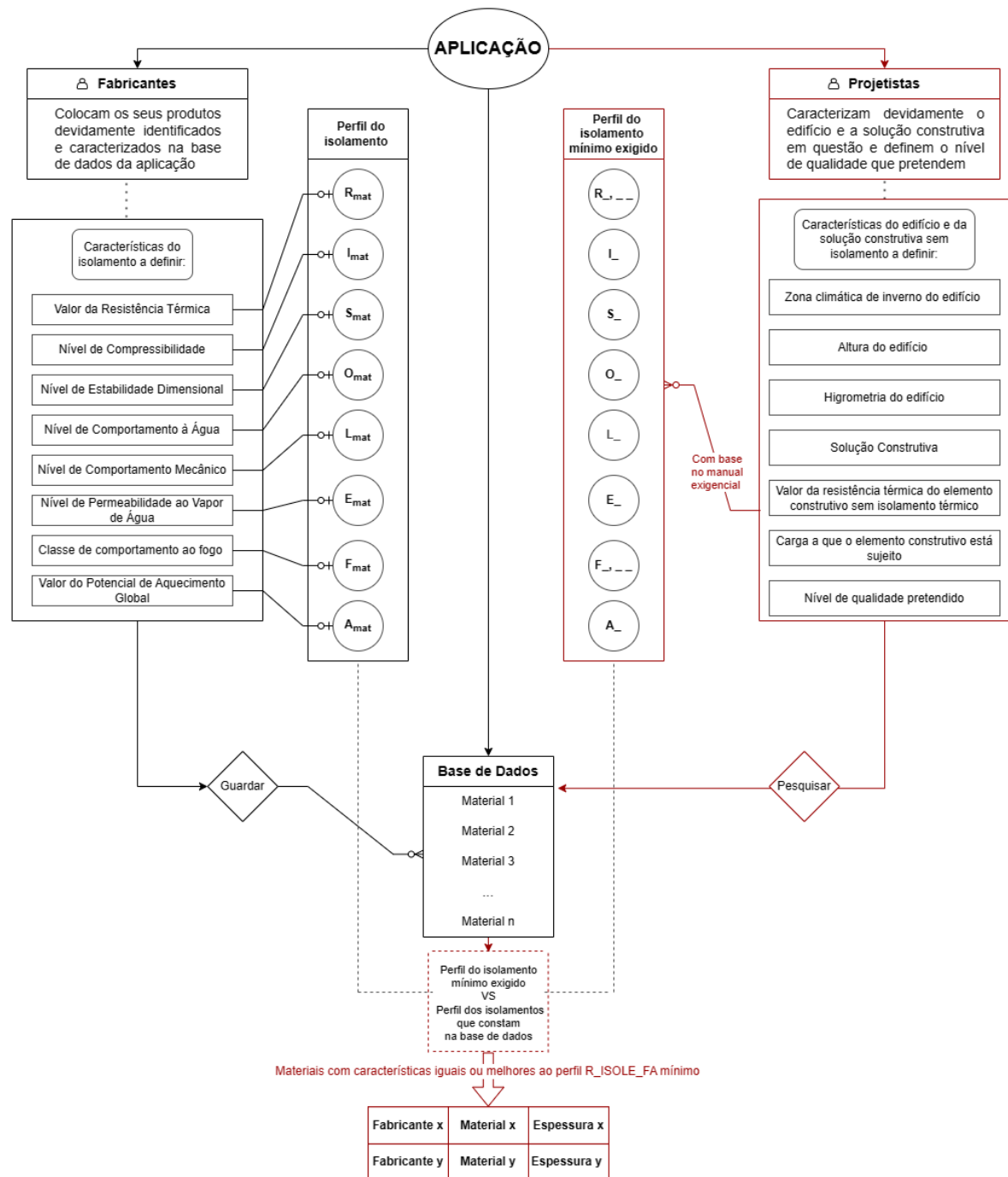


Fig. 12- Esquema Operacional da Aplicação

6.3. POTENCIAL *LAYOUT* PARA A APLICAÇÃO IDEALIZADA

A Fig.13 e a Fig.14 ilustram um possível *layout* da aplicação para o perfil do fabricante e do projetista, respetivamente, concebido de forma a ser o mais prático e intuitivo possível.

Em relação ao perfil do fabricante, uma vez identificado, deverá quantificar as características físicas e higrótérmicas do seu produto mediante os campos apresentados, sendo todos de carácter obrigatório. Note-se que, para o caso da resistência térmica e do potencial de aquecimento global são especificadas as unidades em que o valor, a preencher manualmente pelo fabricante, deve ser apresentado, para que os materiais sejam todos caracterizados de igual forma, facilitando a interpretação do programa. Posto isto, basta seleccionar “Guardar” e a informação será encaminhada para a base de dados do programa.

Fig. 13- Possível *Layout* da Aplicação para o Perfil do Fabricante

Em relação às tarefas do projetista, este deverá seleccionar as características do edifício e a solução construtiva adequada ao seu projeto, bem como o nível de qualidade que pretende, sendo que as opções apresentadas pelo programa para estes campos foram definidas de acordo com as tabelas apresentadas no manual. Para a resistência térmica, o projetista deverá preencher manualmente o seu valor nas unidades apresentadas. Caso o nível de compressibilidade exigido ao isolamento dependa da carga a que o elemento construtivo está sujeito, o programa apresenta um campo para que o projetista possa inserir o valor da carga de acordo com as unidades indicadas. Após o preenchimento de todos os campos, basta clicar em "Pesquisar", e o programa redirecionará o projetista para uma nova página onde serão apresentados os materiais mais adequados à sua solução, dos registados na base de dados.

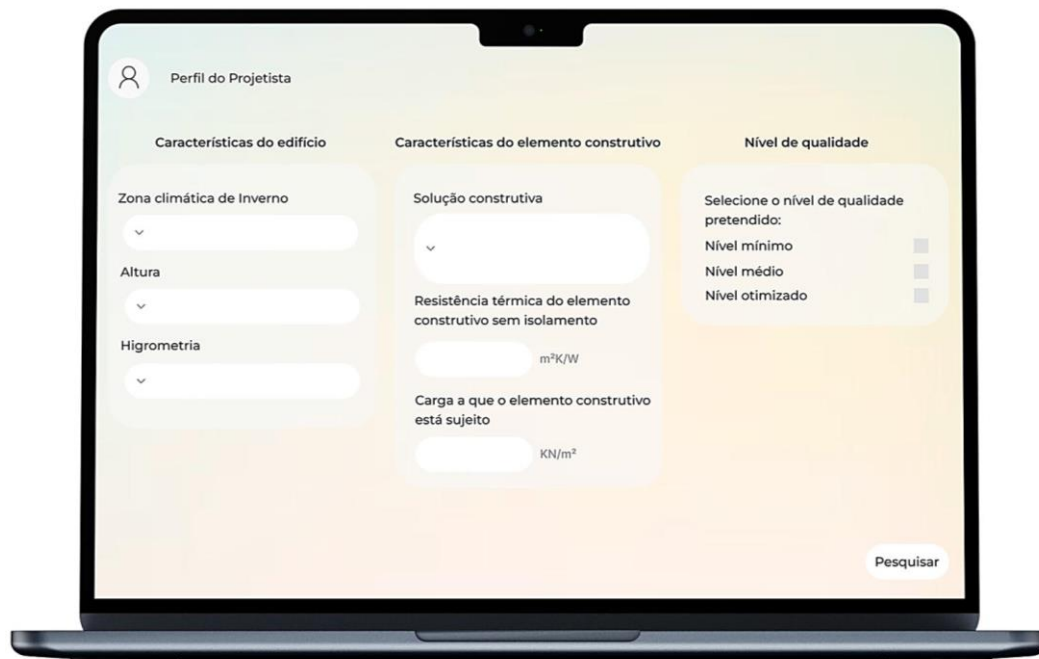


Fig. 14- Possível *Layout* da Aplicação para o Perfil do Projetista

6.4. EXEMPLO PRÁTICO DE UTILIZAÇÃO DA APLICAÇÃO

Neste subcapítulo será apresentado um exemplo de utilização da aplicação num caso simples, elaborado apenas com o intuito de demonstrar de que forma a informação gerada pela aplicação, a partir dos dados inseridos pelo projetista, se alinha com o manual exigencial elaborado no capítulo anterior.

6.4.1 DESCRIÇÃO DO CASO PRÁTICO

Considerando um edifício residencial, caracterizado por uma higrometria média, com um valor de $\omega/(n \cdot V)$ igual a $3 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$, localizado na cidade do Porto, com uma altura de 21 metros, qual deverá ser o isolamento térmico a aplicar nas paredes que constituem a envolvente, tendo em conta a opção por uma solução de fachada ventilada e sabendo que o valor da resistência térmica da parede simples, sem qualquer isolamento, é de $0,83 \text{ m}^2\text{C/W}$, e que o nível de qualidade pretendido é o médio?

6.4.2. RECOLHA DE DADOS PARA A APLICAÇÃO

6.4.2.1. Dados Indiretos

- Zona climática de inverno: Uma vez localizado o edifício na cidade do Porto, foi consultado o número de graus-dias na estação de aquecimento, na base de 18°C , do grande Porto no Manual SCE e, por sua vez, a que zona climática corresponde como ilustra a Fig.15.

NUTS III	z_{REF} m	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G_{sul} kWh/ (m ² .mês)
		M_{REF} meses	a mês/km	GD_{REF} °C	a °C/km	$\theta_{ext,i,REF}$ °C	a °C/km	
Entre Douro e Vouga	298	6,9	1	1 544	1 400	8,4	-5	135
Grande Lisboa	109	5,3	3	1 071	1 700	10,8	-4	150
Grande Porto	94	6,2	2	1 250	1 600	9,9	-7	130

GD_{Grande Porto}=1250 °C < 1300 °C → Zona Climática de Inverno I1

Critério	$GD \leq 1300$ °C	1300 °C < $GD \leq 1800$ °C	$GD > 1800$ °C
Zona climática inverno	I1	I2	I3

Fig. 15- Metodologia para a Obtenção da Zona Climática de Inverno de acordo com o Manual SCE [64]

6.4.2.2. Dados Diretos

- Higrometria: Média
- Altura do edifício: 21 m (entre 9 e 28 m);
- Solução Construtiva: Parede simples com isolamento pelo exterior- Fachada Ventilada
- Resistência térmica do elemento construtivo sem isolamento: 0,83 m²K/W
- Nível de qualidade pretendido: Médio

6.4.3. INPUT DA APLICAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO, DO ELEMENTO CONSTRUTIVO E DO NÍVEL DE QUALIDADE PRETENDIDO PELO PROJETISTA

A informação recolhida anteriormente deverá ser transposta para a aplicação de acordo com a Fig.16.

Fig. 16- Modo de Preenchimento dos Campos da Aplicação Destinados ao Projetista para o Caso de Estudo

6.4.4. OUTPUT DA APLICAÇÃO: RESPOSTA AUTOMÁTICA GERADA PELA APLICAÇÃO AO PROJETISTA

A resposta da aplicação ao projetista é obtida através da integração do manual na aplicação, formatando-a rigorosamente para permitir que a aplicação "consulte" o manual e extraia os valores adequados aos requisitos especificados pelo projetista.

6.4.4.1. Consulta do Manual Exigencial

Dado que o processo de raciocínio da aplicação não é tangível, por se tratar de uma operação programada, é realizada nas Fig.17 a 21 uma simulação da consulta do manual, meramente ilustrativa, e que aproveita para mostrar como o projetista consultaria o manual com base nos seus dados, caso não tivesse acesso à aplicação ou esta, por algum motivo, não estivesse a funcionar.

Solução Construtiva	R _{sup.}	Nível Mínimo (R1,3)		Nível Médio (R1,2)		Nível Otimizado (R1,1)	
		R _{min}	R _{isol}	R _{min}	R _{isol}	R _{min}	R _{isol}
 Paredes duplas com isolamento na caixa de ar Isolamento preenchendo totalmente a caixa de ar	0,91	2,00	1,09	2,22	1,31	2,50	1,59
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento contínuo sobre o isolamento - Sistema ETICS	0,83	2,00	1,17	2,22	1,39	2,50	1,67
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento independente e espaço de ar ventilado - Fachada Ventilada	0,83	2,00	1,17	2,22	1,39	2,50	1,67
 Paredes simples com isolamento pelo interior Complexo com Isolamento contínuo	0,83	2,00	1,17	2,22	1,39	2,50	1,67

Fig. 17- Resistência Térmica do Isolamento Especificada pelo Manual Exigencial para o Caso de Estudo

Elemento Construtivo	Nível Mínimo			Nível Médio			Nível Otimizado		
	F2,33	F2,32	F2,23	F2,31	F2,22	F2,13	F2,21	F2,12	F2,11
Fachada Ventilada Estrutura de suporte do sistema de isolamento	B -s2, d0	-	-	B-s1, d0	B -s2, d0	A1/A2 -s2, d0	B-s1, d0	A1/A2 -s2, d0	A1/A2 -s1, d0
Fachada Ventilada Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	B -s2, d0	-	-	B-s1, d0	B -s2, d0	A1/A2 -s2, d0	B-s1, d0	A1/A2 -s2, d0	A1/A2 -s1, d0
Fachada Ventilada Isolamento térmico	B -s2, d0	-	-	B-s1, d0	B -s2, d0	A1/A2 -s2, d0	B-s1, d0	A1/A2 -s2, d0	A1/A2 -s1, d0

Fig. 18- Comportamento ao Fogo do Isolamento Especificado pelo Manual Exigencial para o Caso de Estudo

Nível de qualidade	Exigência de Desempenho Ambiental (A)	Limite do GWP
Nível Mínimo	A ⁻	$4 < \text{GWP} < 4$
Nível Médio	A	$\text{GWP} \leq 4$
Nível Otimizado	A ⁺	$\text{GWP} \leq 0$

Fig. 19- Desempenho Ambiental do Isolamento Especificado pelo Manual Exigencial para o Caso de Estudo

Solução Construtiva	I	S	O	L
 Paredes duplas com isolamento na caixa de ar Isolamento preenchendo totalmente a caixa de ar	1	1	2	2
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento contínuo sobre o isolamento - Sistema ETICS	2	4	3	4
 Paredes simples com isolamento pelo exterior Revestimento independente e espaço de ar ventilado - Fachada Ventilada	1	1	2	2
 Paredes simples com isolamento pelo interior Complexo com Isolamento contínuo	1	2	2	3
 Paredes enterradas Isolamento térmico pelo exterior ou interior	2	1	3	3

Fig. 20- Perfil de Adequação ao Uso ISOL do Isolamento Especificado pelo Manual Exigencial para o Caso de Estudo

Higrometria	Limites de $\omega/(n \cdot V)$ (*)	Exigência E
Fraca	$\omega/(n \cdot V) \leq 2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	E ₂
Média	$2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 < \omega/(n \cdot V) \leq 5,0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	E ₃
Forte	$5,0 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 < \omega/(n \cdot V) \leq 7,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	E ₄
Muito Forte	$\omega/(n \cdot V) > 7,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$	Requer estudo especializado

(*) ω [kg/h]: produção de vapor no interior; n [h⁻¹]: número de renovações horárias; V [m³]: volume interior.

Fig. 21- Permeabilidade ao Vapor do Isolamento Especificada pelo Manual Exigencial para o Caso de Estudo

6.4.4.2. Apresentação dos Dados de Saída na Aplicação

Após a interpretação do pedido do projetista e posterior tratamento de dados, a aplicação redireciona o projetista para a página ilustrada na Fig.22, onde é gerado, de forma automática, o perfil do isolamento, com base no método exigencial subjacente ao manual, e os materiais registados na base de dados que o cumprem. Posto isto, uma vez apresentada, a par dos materiais, a espessura necessária ao alcance da resistência térmica especificada, o projetista deverá equacionar sobre qual o material mais adequado à solução em estudo.

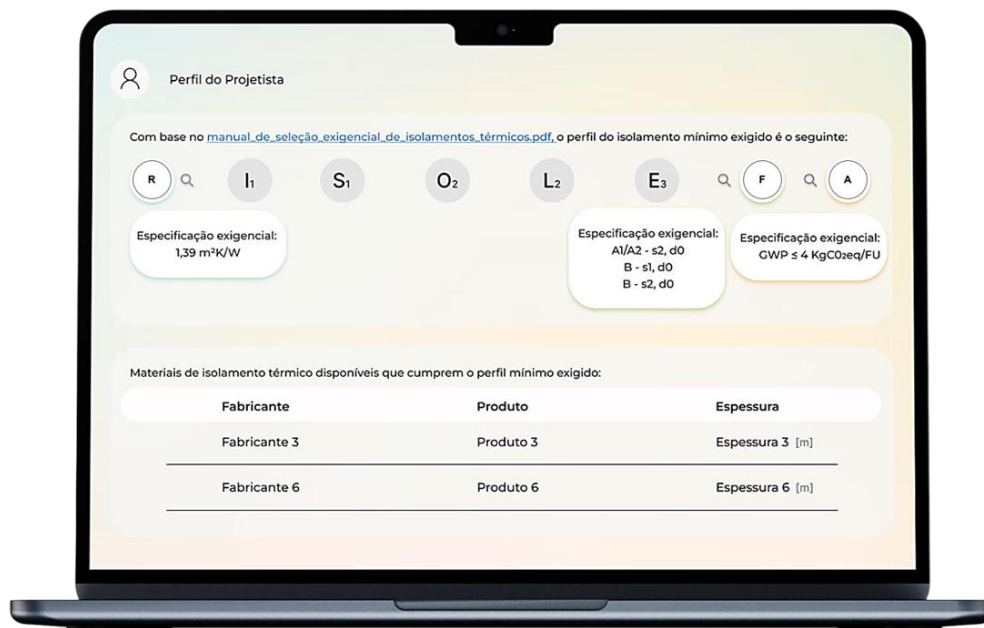


Fig. 22- Resposta Automática Gerada pela Aplicação para o Caso de Estudo

6.5. SÍNTESE DE CAPÍTULO

Como vindo a destacar, a grande diversidade de materiais de isolamento no mercado atual veio intensificar quer a necessidade de os fabricantes assegurarem a qualidade dos seus produtos, de modo a destacarem-se da concorrência, quer dificultar o trabalho aos projetistas, uma vez que a vasta gama de opções, aliada à maior exigência não só por parte dos utilizadores dos edifícios, mas também regulamentar, cria uma maior pressão para a seleção do material de isolamento térmico mais adequado a uma solução específica.

Na presente dissertação, o modelo de certificação R_ISOLE_FA, proposto no capítulo 4, atende às necessidades dos fabricantes, permitindo-lhes certificar uniformemente os seus produtos. Por sua vez, o modelo de caracterização, proposto no mesmo capítulo, auxilia o manual exigencial, elaborado, no capítulo 5, para responder aos desafios enfrentados pelos projetistas.

Deste modo, procurou-se neste capítulo desenvolver uma solução que conjugasse simultaneamente ambos, com o objetivo de compreender de que forma o modelo de certificação, aliado ao manual exigencial, pode proporcionar uma escolha mais fundamentada do isolamento térmico a aplicar na envolvente do edifício. Para o efeito, idealizou-se uma aplicação informática, considerando que as ferramentas digitais se têm afirmado não apenas como o meio mais eficaz para simplificar e otimizar os processos, mas também para promover os produtos.

Assim, a aplicação idealizada opera em dois modos distintos, mas interrelacionados, um modo dedicado aos fabricantes e outro aos projetistas. No que diz respeito ao perfil do projetista, limitou-se a transpor o método exigencial do manual, elaborado no capítulo anterior, para a aplicação, inovando apenas na oferta de materiais de isolamento térmico específicos para a solução em estudo. Tal foi possível por intermédio do perfil do fabricante, que, ao enriquecer a base de dados da aplicação com os seus produtos caracterizados de acordo com o modelo de certificação proposto, permite que esta os confronte com o perfil de isolamento mínimo especificado pelo manual exigencial para a solução em causa, respondendo com os materiais que o cumprem e promovendo-os.

7

CONCLUSÃO

7.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os materiais de isolamento térmico são indispensáveis para a conservação de energia no interior dos edifícios. Ao reduzirem a dependência de sistemas de aquecimento e arrefecimento, aliviam não só os custos associados ao consumo de energia como também o impacto causado no ambiente.

Embora os isolamentos térmicos tenham inicialmente derivado de materiais naturais, o avanço tecnológico levou à ascensão de materiais artificiais que rapidamente assumiram destaque. Contudo, assiste-se atualmente a um redirecionamento do interesse para os materiais naturais, motivado pela sua sustentabilidade e pela crescente consciencialização acerca da insustentabilidade de certos materiais artificiais correntemente utilizados.

A redução da energia operacional proporcionada pelos materiais de isolamento térmico na fase de ocupação representa um impacto ambiental e energético evitado nos edifícios. No entanto, aos isolamentos térmicos estão também associados impactos ambientais diretos devido às suas componentes incorporadas, nomeadamente o seu potencial de aquecimento global. Deste modo, o desafio consiste em alcançar um equilíbrio entre o desempenho ambiental e o desempenho térmico dos isolamentos, com o objetivo de minimizar ao máximo o impacto ambiental ao longo de todas as fases do ciclo de vida do edifício. Por essa razão, além do crescente interesse por materiais sustentáveis, observa-se também o desenvolvimento de materiais inovadores altamente eficientes do ponto de vista térmico.

A meta mais ambiciosa da UE para atenuar os números expressivos de consumo energético e emissão de GEE provenientes do setor da construção é o alcance da neutralidade carbónica dos edifícios até 2050. Contudo, para a realidade portuguesa, os objetivos do Pacto Ecológico Europeu parecem representar grandes desafios considerando que aproximadamente 75% do parque habitacional português carece de um isolamento térmico adequado, uma medida essencial, como mencionado anteriormente, para o aumento do conforto térmico e redução das necessidades de aquecimento no inverno e arrefecimento no verão.

Na presente dissertação, verificou-se que, no âmbito das exigências regulamentares térmicas, desde a primeira regulamentação em 1990 até à atual em vigor, houve uma redução significativa dos valores máximos estabelecidos para o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca, o que implica, a imposição de valores mais elevados para a resistência térmica dos isolamentos. Porém, cerca de dois terços dos edifícios portugueses foram construídos antes de 1990, e outros, embora recentes, não alcançam o conforto térmico desejado devido à incorreta aplicação do isolamento no edifício.

Conclui-se assim que, para promover a sustentabilidade no setor da construção, deverão ser renovados os edifícios existentes, com o cuidado, não só, de garantir um desempenho adequado do isolante à

solução construtiva em questão, como a sustentabilidade do material de isolamento térmico empregue, para que este se revele eficaz não só do ponto de vista térmico, mas também ambiental. Este mesmo princípio aplica-se também para os edifícios novos, não sendo suficiente a conformidade com as disposições regulamentares.

7.2. CONCRETIZAÇÃO DOS OBJETIVOS

Face ao anteriormente exposto e inspirada na certificação francesa de isolamentos térmicos, ACERMI, que acompanha o seu modelo de certificação por um manual exigencial para garantir a adequabilidade do produto a uma determinada solução construtiva, a presente dissertação delineou como objetivos principais a elaboração de um modelo de certificação de isolamentos térmicos e de um manual exigencial, ambos preconizados para o caso português, e ainda a idealização de um modelo para uma aplicação informática destinada à seleção exigencial de materiais de isolamento térmico.

No capítulo 4 foi desenvolvido um modelo de certificação que aproveita o perfil de uso ISOLE desenvolvido pela ACERMI, integrando complementarmente a resistência térmica (R), o comportamento ao fogo (F) e o desempenho ambiental (A), intitulando-se de R_ISOLE_FA. Este modelo possibilita uma certificação padronizada das exigências, que se define pela apresentação da resistência térmica em $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$, do potencial de aquecimento global em $\text{kgCO}_2\text{eq}/\text{FU}$, do comportamento ao fogo segundo as classes europeias, e dos níveis de compressibilidade, estabilidade dimensional, comportamento à água, comportamento mecânico e permeabilidade ao vapor de água nos termos definidos pela ACERMI.

A opção pela quantificação das exigências de compressibilidade (I), estabilidade dimensional (S), comportamento à água (O), comportamento mecânico (L) e permeabilidade ao vapor de água (E), de acordo com os níveis definidos pela ACERMI, permitiu aproveitar a vasta experiência da certificação francesa. Por essa razão, esta secção do manual proposto assemelha-se ao manual francês, apresentando, assim, apenas os níveis mínimos de aptidão do isolante para as soluções construtivas correntes de paredes, coberturas e pavimentos.

A componente inovadora do manual exigencial proposto centra-se nas exigências de resistência térmica, comportamento ao fogo e desempenho ambiental, para as quais se desenvolveu, no capítulo 4, um modelo de caracterização das exigências como fundamento ao manual. A aplicação deste modelo permitiu apresentar, para estas secções do manual, três níveis de qualidade: mínimo, médio e otimizado, possibilitando ao projetista ajustar o material de isolamento térmico, não só à solução construtiva, como ao nível de qualidade pretendido.

Por fim, no capítulo 6, foi idealizada uma aplicação informática que contempla o modelo de certificação e o manual exigencial propostos nos capítulos anteriores. Esta iniciativa surgiu da crescente afirmação das ferramentas digitais enquanto meios eficazes para promover os produtos e para otimizar e simplificar tarefas profissionais.

7.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, os fabricantes devem procurar obter a certificação R_ISOLE_FA, para viabilizar uma identificação mais fácil da qualidade dos seus produtos, uma comparação mais intuitiva entre os produtos concorrentes e uma maior confiança aos utilizadores no desempenho dos mesmos.

Em relação aos projetistas, para seleccionar o material de isolamento térmico mais adequado a uma utilização específica, devem seguir a seguinte metodologia de consulta no manual exigencial:

- Resistência térmica do isolamento:
 - i. Procurar no manual exigencial a tabela referente à zona climática do edifício em questão;
 - ii. Escolher de entre as soluções construtivas apresentadas no manual a que se adequa ao seu projeto;
 - iii. Escolher o nível de qualidade que pretende e retirar o valor da resistência térmica.
- Comportamento ao fogo do isolamento:
 - i. Procurar no manual exigencial a tabela referente à altura do edifício em questão;
 - ii. Escolher de entre as soluções construtivas apresentadas no manual a que se adequa ao seu projeto;
 - iii. Escolher o nível de qualidade que pretende e retirar as classes de comportamento ao fogo.
- Desempenho ambiental do isolamento:
 - i. Escolher o nível de qualidade que pretende e retirar os valores limite do potencial de aquecimento global.
- Compressibilidade, estabilidade dimensional, comportamento à água, comportamento mecânico e permeabilidade ao vapor de água do isolamento:
 - i. Escolher de entre as soluções construtivas, apresentadas na Tabela 39 do manual, a que se adequa ao seu projeto e retirar o nível de compressibilidade, estabilidade dimensional, comportamento à água e comportamento mecânico;
 - ii. No caso de ser apresentado na Tabela 39 um asterisco (*) para o nível de compressibilidade, consultar a Tabela 40 e retirar o nível de compressibilidade em função da carga a que o elemento está sujeito;
 - iii. Consultar a Tabela 41 e retirar o nível de permeabilidade ao vapor de água em função da higrometria do edifício.

Definido o perfil do material de isolamento térmico a aplicar na envolvente do edifício, cabe ao projetista selecionar, entre as opções disponíveis no mercado, um material que atenda às características especificadas.

No âmbito da aplicação informática idealizada:

- Os fabricantes deverão introduzir as características dos seus produtos, estando os campos destinados para o efeito na aplicação alinhados com o modelo de certificação proposto;
- Os projetistas deverão caracterizar devidamente o edifício em questão, especificar a solução construtiva do seu projeto e definir o nível de qualidade que pretendem, estando os campos destinados para o efeito na aplicação alinhados com o manual exigencial proposto.

Com a informação anterior, a aplicação fornece uma listagem dos materiais de isolamento térmico que cumprem as exigências pretendidas.

7.4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Face ao trabalho realizado propõe-se os seguintes tópicos para desenvolvimentos futuros:

- Validar o modelo de certificação e o manual exigencial propostos utilizando materiais de isolamento térmico disponíveis no mercado;
- Procurar inserir a componente financeira nos modelos propostos, uma vez que na prática o desempenho do produto é analisado sempre a par do seu custo;
- Desenvolver a aplicação informática idealizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ana Mafalda Matos, João M.P.Q. Delgado, Ana Sofia Guimarães, - Linking Energy Poverty with Thermal Building Regulations and Energy Efficiency Policies in Portugal. *Energies* Vol. 11. (2022).
- [2] Dávid Bozsaky - The historical development of thermal insulation materials. 2011.
- [3] AMORIM - Curiosidades-Sabia que existe um “convento da cortiça” em Portugal? Disponível em WWW: <https://www.amorim.com/pt/cortica/curiosidades/?f_tema=111>.
- [4] TERMOLAN- Isolamentos Termo-Acústicos, S.A - Fabricantes de Lã de Rocha desde 1975. Disponível em WWW: <<https://termolan.pt/>>.
- [5] isar - Lã de Vidro ou Lã de Rocha – Entenda as diferenças e saiba qual a melhor para cada necessidade. Disponível em WWW: <<https://www.isar.com.br/blog/isolamento-termico/la-de-vidro-ou-la-de-rocha-entenda-as-diferencas-e-saiba-qual-melhor-para-cada-necessidade/>>.
- [6] TERMOLAN- Isolamentos Termo-Acústicos, S.A - Principais Características Disponível em WWW: <<https://termolan.pt/produtos/principais-caracteristicas/>>.
- [7] Bjørn Petter Jelle - Energy and Buildings. 2011. - Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities.
- [8] EDF - Le guide des matériaux pour l’isolation thermique.
- [9] AIPEX - Descrição e Propiedades Disponível em WWW: <<https://aipex.es/pt-pt/descripcion-y-propiedades-del-xps/>>.
- [10] Pedro Filipe Sousa Mendes - Isolamentos Térmicos em Edifícios e seu Contributo para a Eficiência Energética. Universidade Fernando Pessoa, 2012.
- [11] Kingspan Insulation, S.A. - Poliuretanos-Produtos de Isolamento Térmico. EUROBUILD, 2019.
- [12] Sultan Sanat Alotaibi, Saffa Riffa - Vacuum insulated panels for sustainable buildings: a review of research and applications. *International Journal of Energy Research*. Vol. 38. n.º 1 (2013).
- [13] Simen Edsjø Kalnæs, Bjørn Petter Jelle - Applied Energy. 2014.
- [14] Dileep Kumar, Morshed Alam, Patrick X.W. Zou, Jay G. Sanjayan, Rizwan Ahmed Memon, - Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. - Comparative analysis of building insulation material properties and performance.
- [15] Ali Soleimani Dorcheh, Abbasi Mohammad Hasan - Silica aerogel; synthesis, properties and characterization. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 199. n.º 1-3 (2008).
- [16] Saoirse Dervin, Suresh C. Pillai - Sol-Gel Materials for Energy, Environment and Electronic Applications. 2017.
- [17] Vivian Y. Tam, Khoa N. Le - Sustainable Construction Technologies-Life-Cycle Assessment. 2019.
- [18] Gianluca Grazieschi, Francesco Asdrubali, Guilhem Thomas, - Cleaner Environmental Systems. 2021. - Embodied energy and carbon of building insulating materials: A critical review.
- [19] ISOCOR - Aglomerado de Cortiça Expandida SOFALCA, 2023. Disponível em WWW: <<https://www.csustentavel.com/wp-content/uploads/2023/04/sofalca-isocor.pdf>>.
- [20] BETAC - Fibra de Celulose. Disponível em WWW: <<https://betac-expertise.pt/wp-content/uploads/2022/06/ISOLAMENTO-DE-FIBRA-DE-CELULOSE.pdf>>.
- [21] Pablo Lopez Hurtado, Antoine Rouilly, Virginie Vandenbossche, Christine Raynaud, - Building and Environment. 2016. - A review on the properties of cellulose fibre insulation.
- [22] Jiří Zach, Azra Korjenic, Vít Petráněk, Jitka Hroudová, Thomas Bednar, - Energy and Buildings. 2012. - Performance evaluation and research of alternative thermalinsulations based on sheep wool
- [23] Maison Réno - Isolation en laine de mouton : avantages, inconvénients, utilisation. Disponível em WWW: <<https://maisonreno.fr/2023/11/17/isolation-en-laine-de-mouton-avantages-inconvenients-utilisation/>>.
- [24] Ruy José Gomes - Exigências funcionais das habitações e o modo da sua satisfação. LNEC, 1982.

- [25] Vasco Peixoto de Freitas - Apontamentos da unidade curricular de Física das Construções-Diretivas e Regulamentação Portuguesa.
- [26] adene - Guia SCE – Parâmetros de Cálculo Direção-Geral de Energia e Geologia, 2020.
- [27] Vasco Peixoto de Freitas - Apontamentos da unidade curricular de Térmica de Edifícios-Transmissão de calor Permanente. FEUP.
- [28] Joaquim Ferreira, Manuel Pinheiro - Energy Policy. 2011. - In search of better energy performance in the Portuguese buildings—The case of the Portuguese regulation.
- [29] Diário da República - Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. 2013.
- [30] inegi - Reaction to fire: how are construction materials classified? 2020. Disponível em WWW: <<https://www.inegi.pt/en/news/reaction-to-fire-how-are-construction-materials-classified/>>.
- [31] Vasco Peixoto de Freitas - Apontamentos da unidade curricular de Física das Construções- Reação ao Fogo.
- [32] Instituto Português da Qualidade - NP EN 13501-1:2007-Classificação do desempenho face ao fogo de produtos e de elementos de construção 2007.
- [33] Diário da República n.º 107/2020, Série I de 2020-06-02 - Portaria n.º 135/2020 de 2 de junho: Alteração ao Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (SCIE), aprovado pela Portaria n.º1532/2008, de 29 de dezembro. 2020. Disponível em WWW: <<https://files.diariodarepublica.pt/1s/2020/06/10700/0000200214.pdf>>.
- [34] European Commission - New rules to boost energy performance of buildings. Disponível em WWW: <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_6423>.
- [35] International Energy Agency - Air conditioning use emerges as one of the key drivers of global electricity-demand growth. 2018. Disponível em WWW: <<https://www.iea.org/news/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-demand-growth>>.
- [36] International Energy Agency - The Future of Cooling. Disponível em WWW: <<https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>>.
- [37] U.S. Global Change Research Program - Atmospheric Carbon Dioxide. Disponível em WWW: <<https://www.globalchange.gov/indicators/atmospheric-carbon-dioxide#main-image>>.
- [38] Shiv Bolan, Lokesh P. Padhye, Tahereh Jasemizad, Muthusamy Govarthanan, N. Karmegam, Hasintha Wijesekara, Dhulmy Amarasiri, Deyi Hou, Pingfan Zhou, Basanta Kumar Biswal, Rajasekhar Balasubramanian, Hailong Wang, Kadambot H.M. Siddique, Jörg Rinklebe, M.B. Kirkham, Nanthi Bolan, - Science of The Total Environment. 2024. - Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events.
- [39] European Parliament - Revision of the Energy Performance of Buildings Directive: Fit for 55 package. 2024. Disponível em WWW: <[https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2022\)698901](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2022)698901)>.
- [40] International Organization for Standardization - Environmental management-The ISO 14000 family of International Standards. Disponível em WWW: <https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/theiso14000family_2009.pdf>.
- [41] International Organization for Standardization - ISO 14001:2015-Environmental management systems. Disponível em WWW: <<https://www.iso.org/standard/60857.html>>.
- [42] Gustavo Henrique BrunoPolli, Ana Margarida Vaz Duarte Oliveira e Sá, Barbara Pavani Biju, - View of Qualitative Analysis of Sustainability Certification Systems Based on ISO 21929-1. U.Porto Journal of Engineering Vol. 8. (2022). Disponível em WWW: <https://journals.fe.up.pt/index.php/upieng/article/view/2183-6493_008-004_0006/675>.
- [43] Cristina Jiménez-Pulido, Ana Jiménez-Rivero, Justo García-Navarro, - Improved sustainability certification systems to respond to building renovation challenges based on a literature review. Journal of Building Engineering. Vol. 45. (2022).
- [44] M. Medineckiene, E.K. Zavadskas, F. Björk, Z. Turskis, - Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2015. - Multi-criteria decision-making system for sustainable building assessment/certification.
- [45] Manuel Duarte Pinheiro - LiderA- Sistema Voluntário para a Sustentabilidade dos Ambientes Construídos. 2010. Disponível em WWW:

- <https://www.lidera.info/resources/apresenta_lidera_v2.00_2010_03_50paginas.pdf?phpMyAdmin=77d31a787ce126bb305b5b4b9dcec31c>.
- [46] Vasco Peixoto de Freitas, Manuel Pinto - Metodologia para a Seleção Exigencial de Isolantes Térmicos FEUP, Porto: 2000.
 - [47] Pedro Pontífice, Maria do Rosário Veiga, Fernanda Carvalho, - A Homologação do LNEC e a Marcação CE de Produtos de Construção. O caso das argamassas pré-doseadas de revestimento de paredes
 - [48] Laboratório Nacional de Engenharia Civil - O que é uma ETA? Disponível em WWW: <<https://www.lnec.pt/pt/servicos/apreciacao-de-produtos-e-sistemas-de-construcao/avaliacoes-tecnicas-europeias-eta/o-que-e-uma-eta/>>.
 - [49] Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Enquadramento Disponível em WWW: <<https://www.lnec.pt/pt/servicos/apreciacao-de-produtos-e-sistemas-de-construcao/enquadramento/>>.
 - [50] Laboratório Nacional de Engenharia Civil - O LNEC como Organismo Notificado(ON). Disponível em WWW: <<https://www.lnec.pt/pt/servicos/marcacao-ce-de-produtos-de-construcao/o-lnec-como-organismo-notificado-on/>>.
 - [51] Manuel Pinto, Vasco Peixoto de Freitas - Caracterização Higrotérmica de Isolamentos Térmicos- Certificação e Manual Exigencial
 - [52] ACERMI - Association. Disponível em WWW: <<https://www.acermi.com/fr/qui-sommes-nous/association/>>.
 - [53] ACERMI - Règles générales. 2023.
 - [54] ACERMI - Cahier Technique F -Profil d’usage ISOLE 2017.
 - [55] ACERMI - La Certification de Qualité des Isolants Thermiques. Disponível em WWW: <<https://www.acermi.com/publications/brochures/acermi-brochure-fr.pdf>>.
 - [56] Ana Sofia Gonçalves de Castro - Manual de Seleção Exigencial de Materiais de Isolamento Térmico. 2017.
 - [57] Manuel A. Pinto da Silva - Metodologia para a Definição Exigencial de Isolantes Térmicos. 1996.
 - [58] AENOR - Historia de AENOR. Disponível em WWW: <<https://www.aenor.com/conocenos/historia>>.
 - [59] AENOR - Comité CTC-020. Disponível em WWW: <<https://aislamientocertificado.aenor.com/comite-ctc-020/>>.
 - [60] AENOR - Qué productos están cubiertos con la Marca N de materiales aislantes térmicos. Disponível em WWW: <<https://aislamientocertificado.aenor.com/que-productos-están-cubiertos-con-la-marca-n-de-aislantes-termicos/>>.
 - [61] HQE - Certificat ACERMI des Isolants (Classement ISOLER). Disponível em WWW: <<https://www.hqe.guidenr.fr/cible-2-hqe/certificat-acermi-isolants.php>>.
 - [62] Vasco Peixoto de Freitas - Apontamentos da unidade curricular de Térmica de Edifícios- Seleção exigencial de Isolantes Térmicos. FEUP.
 - [63] Vasco Peixoto de Freitas - Isolamento Térmico - aplicação de poliestireno extrudido na envolvente dos edifícios. Iberfibran -Poliestireno Extrudido, S.A. , 2006.
 - [64] adene - Manual SCE. Direção-Geral de Energia e Geologia, 2020.

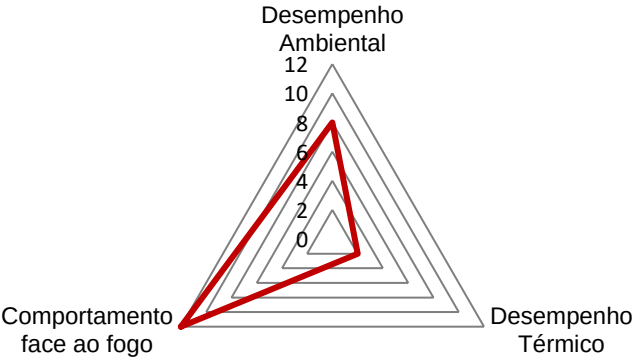
ANEXOS

A1- DIAGRAMAS DO DESEMPENHO GLOBAL DOS MATERIAIS DE ISOLAMENTO TÉRMICO DESCRITOS

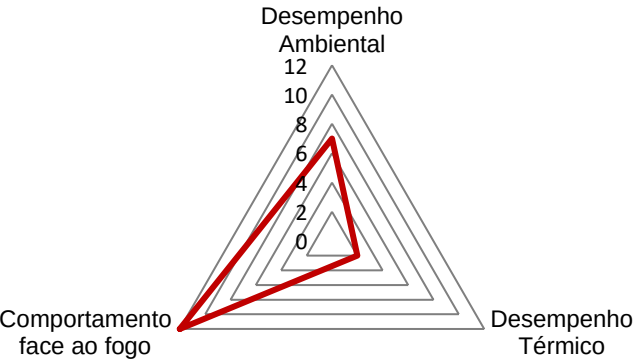
**A2- EXEMPLO PRÁTICO DA CLASSIFICAÇÃO ISOLE EMITIDA PELA ACERMI A UM ISOLAMENTO
TÉRMICO**

A1

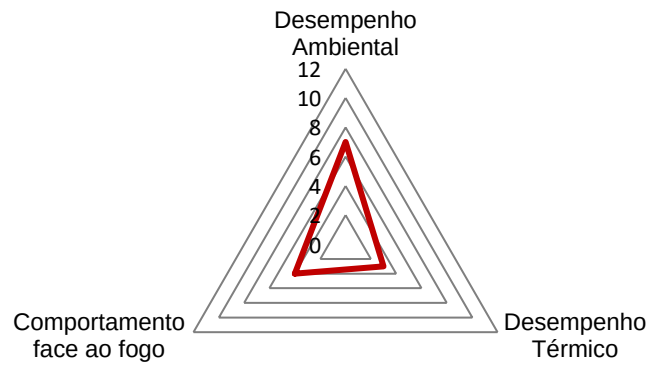
Lã de Vidro



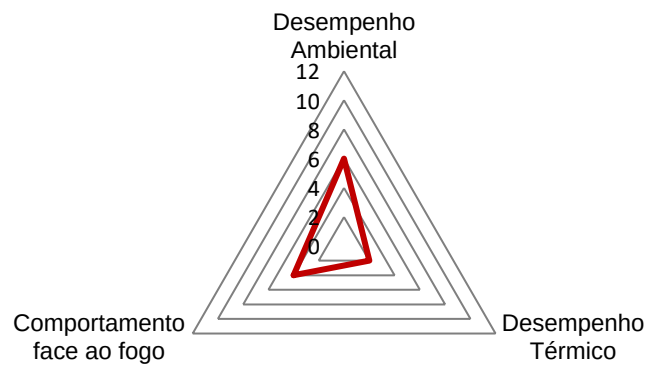
Lã de Rocha



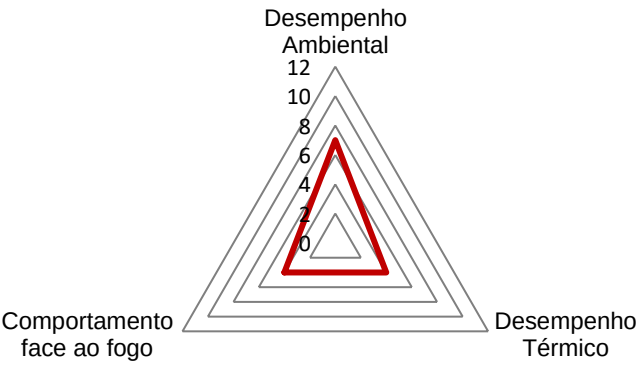
Poliestireno Expandido



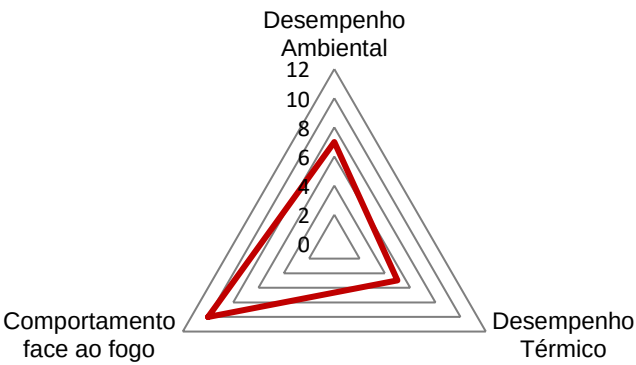
Poliestireno Extrudido



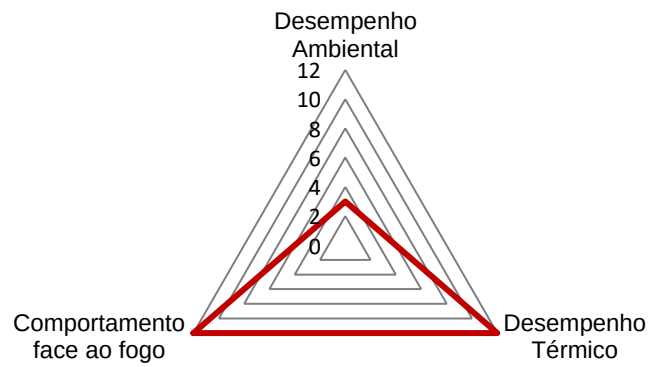
Poliuretano



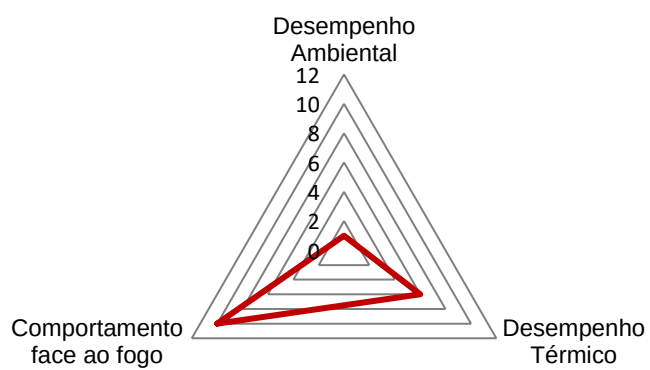
Poliisocianurato

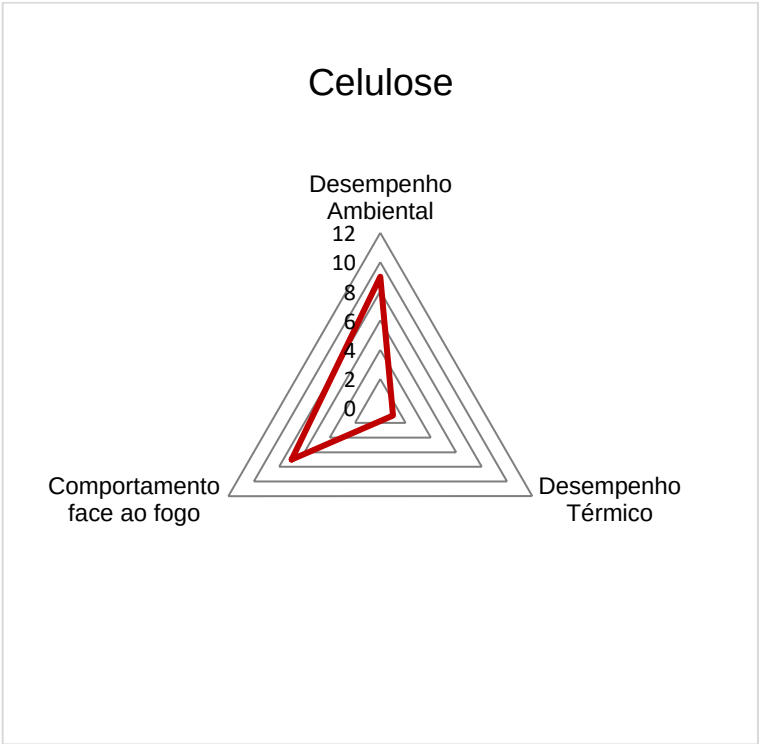


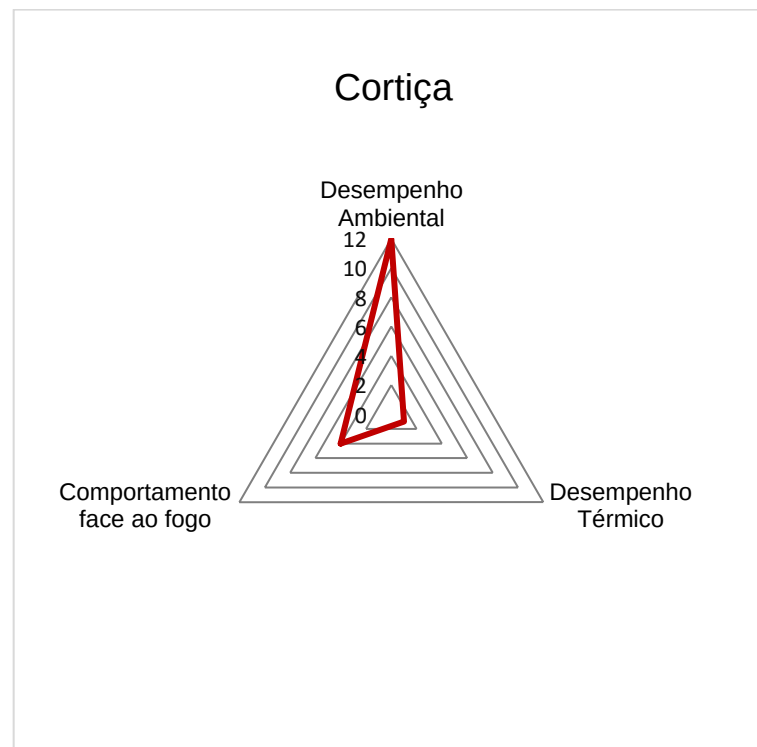
Painel de Isolamento a Vácuo



Aerogel







A2

■ Data de Emissão	01/01/2024																								
■ Titular	Amorim Cork Insulation, SA Rua Comendador Américo Ferreira Amorim 105, P-4535-186 MOZELOS Portugal																								
■ Certificado nº.	03/049/270/19																								
■ Família	Cortiça expandida (ICB)																								
■ Marca(s) (produtos)	Produtos CORTIÇA																								
■ Origem	Venda Novas - Portugal																								
■ Condutividade(ões) térmica(s) certificada(s)	$\lambda_0 = 0,040 \text{ W/(m K)}$																								
■ Resistência(s) térmica(s) certificada(s)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Espessuras mm</th> <th>Resistência Térmica $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>25 milímetros</td><td>0,600</td></tr> <tr><td>30 milímetros</td><td>0,750</td></tr> <tr><td>35 milímetros</td><td>0,850</td></tr> <tr><td>40 milímetros</td><td>1,000</td></tr> <tr><td>45 milímetros</td><td>1,100</td></tr> <tr><td>50 milímetros</td><td>1,250</td></tr> <tr><td>55 milímetros</td><td>1,350</td></tr> <tr><td>60 milímetros</td><td>1,500</td></tr> <tr><td>65 milímetros</td><td>1,600</td></tr> <tr><td>70 milímetros</td><td>1,750</td></tr> </tbody> </table>	Espessuras mm	Resistência Térmica $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	25 milímetros	0,600	30 milímetros	0,750	35 milímetros	0,850	40 milímetros	1,000	45 milímetros	1,100	50 milímetros	1,250	55 milímetros	1,350	60 milímetros	1,500	65 milímetros	1,600	70 milímetros	1,750		
Espessuras mm	Resistência Térmica $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$																								
25 milímetros	0,600																								
30 milímetros	0,750																								
35 milímetros	0,850																								
40 milímetros	1,000																								
45 milímetros	1,100																								
50 milímetros	1,250																								
55 milímetros	1,350																								
60 milímetros	1,500																								
65 milímetros	1,600																								
70 milímetros	1,750																								
■ Especificações para Aplicações em Pisos	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Espessuras mm</th> <th>Classificação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>de 25 a 300 mm</td> <td>SC2 b2</td> </tr> </tbody> </table>	Espessuras mm	Classificação	de 25 a 300 mm	SC2 b2																				
Espessuras mm	Classificação																								
de 25 a 300 mm	SC2 b2																								
■ Classificação ISOLE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Espessura mm</th> <th>I</th> <th>S</th> <th>O</th> <th>L</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>de 25 a 60 mm</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>de 65 a 120 mm</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>de 130 a 300 mm</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Espessura mm	I	S	O	L	E	de 25 a 60 mm	2	3	2	3	2	de 65 a 120 mm	2	2	2	3	2	de 130 a 300 mm	2	2	2	2	2
Espessura mm	I	S	O	L	E																				
de 25 a 60 mm	2	3	2	3	2																				
de 65 a 120 mm	2	2	2	3	2																				
de 130 a 300 mm	2	2	2	2	2																				
■ Euroclasse(s)	Euroclasse E																								
■ Recurso(s) certificado(s)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Característica</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Tensão de compressão</td><td>CS (10)100</td></tr> <tr><td>Resistência à tração perpendicular às faces (25 mm a 60 mm)</td><td>TR60</td></tr> <tr><td>Resistência à tração perpendicular às faces (de 65 mm a 300 mm)</td><td>TR50</td></tr> <tr><td>Absorção de água a curto prazo por imersão parcial</td><td>WS</td></tr> <tr><td>Tolerância de espessura (de 25 mm a 50 mm)</td><td>T1</td></tr> <tr><td>Tolerância de espessura (> 50 mm)</td><td>T2</td></tr> <tr><td>Tolerância de comprimento</td><td>L2</td></tr> <tr><td>Tolerância de largura</td><td>W2</td></tr> <tr><td>Resistência ao fluxo de ar</td><td>AFr 35</td></tr> <tr><td>Transmissão de vapor de água</td><td>MU1</td></tr> <tr><td>Fluência de compressão</td><td>CC(0,8/0,4/10)5</td></tr> </tbody> </table>	Característica	Valor	Tensão de compressão	CS (10)100	Resistência à tração perpendicular às faces (25 mm a 60 mm)	TR60	Resistência à tração perpendicular às faces (de 65 mm a 300 mm)	TR50	Absorção de água a curto prazo por imersão parcial	WS	Tolerância de espessura (de 25 mm a 50 mm)	T1	Tolerância de espessura (> 50 mm)	T2	Tolerância de comprimento	L2	Tolerância de largura	W2	Resistência ao fluxo de ar	AFr 35	Transmissão de vapor de água	MU1	Fluência de compressão	CC(0,8/0,4/10)5
Característica	Valor																								
Tensão de compressão	CS (10)100																								
Resistência à tração perpendicular às faces (25 mm a 60 mm)	TR60																								
Resistência à tração perpendicular às faces (de 65 mm a 300 mm)	TR50																								
Absorção de água a curto prazo por imersão parcial	WS																								
Tolerância de espessura (de 25 mm a 50 mm)	T1																								
Tolerância de espessura (> 50 mm)	T2																								
Tolerância de comprimento	L2																								
Tolerância de largura	W2																								
Resistência ao fluxo de ar	AFr 35																								
Transmissão de vapor de água	MU1																								
Fluência de compressão	CC(0,8/0,4/10)5																								

