



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Renato Nurmberger Dias de Andrade

**Contributo para mitigação da Pobreza
Energética em bairros sociais portugueses**

Maio 2023



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Renato Nurmberger Dias de Andrade

**Contributo para mitigação da Pobreza
Energética nos bairros sociais portugueses**

Dissertação
Mestrado Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho realizado sob a orientação da
Professora Doutora Manuela Almeida

Maio 2023

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença [abaixo](#) indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição

CC BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Agradecimentos

Agradeço às Professoras Manuela Almeida e Sandra Monteiro, pela paciência e atenção que tiveram comigo ao longo do mestrado e pela forma com que me conduziram na elaboração desta dissertação, assim como pelo convite para participar do Projeto ARCAS.

À Bragahabit, pela disponibilidade em atender à todas as solicitações de informações e esclarecimentos ao longo do processo de monitorização dos apartamentos sociais.

Aos inquilinos dos apartamentos monitorizados, Dona Cristina, Dona Belmira e Sr. Nuno Rui, pela atenção e gentileza com que me receberam nas diversas vezes em que precisei realizar serviços de monitorização e medições diversas.

Ao Eng. Daniel Pinheiro, pelo suporte ao longo dos trabalhos de monitorização, utilizando os equipamentos do Laboratório de Física das Construções.

À Eng. Bruna Onetty, pelo inestimável auxílio no desenvolvimento das simulações energéticas através do programa DesignBuilder e parceria nos trabalhos do Projeto ARCAS.

À Adriana Sales e Arlen Gutierrez pela amizade e parceria com que trabalharam comigo em todos os trabalhos ao longo do mestrado.

À minha família, por acreditar no meu sonho e me apoiar incondicionalmente, mesmo nos momentos mais difíceis.

À Deus, por sempre me mostrar o caminho a seguir.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

A pobreza energética aflige milhares de cidadãos em toda a Europa, incapazes de arcar com os custos energéticos para a manutenção do conforto térmico, em edifícios em bairros sociais, caracterizados pela ineficiência energética proveniente da baixa qualidade construtiva, ausência ou ineficiência de sistemas de climatização e de aquecimento das águas sanitárias, resultando em impactos sociais e económicos que reverberam em toda a sociedade.

Nesse contexto, há imensos trabalhos de investigação, no sentido de se atingir a redução das necessidades energéticas de forma mais efetiva, bem como aumentar as condições de conforto dos habitantes, através de uma eficaz reabilitação energética das ineficientes envolventes dos edifícios de habitação social.

Aumentar a qualidade construtiva, o conforto e mitigar a pobreza energética tão típica deste tipo de habitação, gera imensos benefícios aos cidadãos mais carentes e dependentes dos apoios sociais que consomem importantes recursos dos orçamentos dos governos.

Há ainda uma reduzida aplicação de metodologias e de ferramentas de apoio ao projeto no processo de escolha das melhores soluções construtivas para a reabilitação de edifícios em bairros sociais, já que em muitos casos, as autarquias utilizam de forma pouco criteriosa soluções adotadas em experiências passadas para aplica-las em reabilitações futuras.

Tendo definido a reabilitação energética das envolventes de edifícios em bairros sociais, como a mais efetiva ação no sentido de se reduzir a pobreza energética, mostrou-se necessário utilizar ferramentas e metodologias de apoio a projetos, como o EnergyPlus, DesignBulder e MARS aplicada no âmbito do projeto ARCAS e objeto de dissertação, capazes de ajudar na identificação das soluções mais adequadas e ainda permitir suas avaliações quanto ao cumprimento das exigências de sustentabilidade.

Esse trabalho avaliou 03 cenários de reabilitação energética e identificou a melhor solução para reabilitação energética de edifícios localizados em bairros sociais, mediante aumento da eficiência energética e conforto das habitações, enquanto contribui para mitigar a pobreza energética nos bairros sociais, atendendo aos objetivos propostos nesse trabalho.

Palavras chave: Pobreza energética; renovação energética; habitação social; conforto térmico; sustentabilidade.

Abstract

Energy poverty affects thousands of citizens across Europe, unable to afford the energy costs for maintaining thermal comfort in buildings and dwellings in social neighbourhoods, characterized by energy inefficiency from poor constructive quality, absence or inefficiency of HVAC and DHW systems, resulting in social and economic impacts that reverberate throughout society.

In this context, a lot of research was done to achieve the reduction of energy needs more effectively, as well as to increase the comfort conditions of the inhabitants, through an effective energy renovation of the poor envelopes typical of social housing buildings.

Increasing the constructive quality, comfort and mitigating the situation of energy poverty, so typical of this type of housing, generates large benefits to the most needy citizens and dependent on social support that consume important resources from the budgets of governments.

Moreover, there is also a reduced application of methodologies and tools to support the project in the process of choosing the best constructive solutions for the renovation of buildings and housing in social neighbourhoods, since in many cases, municipalities use solutions adopted from past experiences without adapting them to the present situation.

To support the renovation project, it is more effective to use some multicriteria analysis methodologies and tools, which are capable of helping to identify the most appropriate solutions and allow their assessment regarding compliance with sustainability requirements.

With this dissertation, and under the ARCAS project, the MARS methodology, DesignBuilder and EnergyPlus, it was possible to identify the most effective action to mitigate energy poverty in some social housing neighbourhoods in Braga.

This work evaluated 03 energy rehabilitation scenarios and identified the best solution for energy rehabilitation of buildings to be applied to social neighborhoods in Braga, resulting in increased energy efficiency and comfort of homes and at the same time contributing to mitigate energy poverty, meeting the objectives proposed in this work.

Key Words: Energy poverty; energy renovation; social housing; thermal comfort; sustainability.

Índices

Capítulo 1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	5
1.3. Estrutura da Dissertação.....	5
Capítulo 2 – Estado da Arte.....	7
2.1. Pobreza Energética	7
2.1.1 Fatores Estruturais.....	8
2.1.2 Fatores de Mercado.....	9
2.1.3 Fatores Climáticos	9
2.1.4 Fatores Económicos.....	9
2.1.5 Fatores Políticos	9
2.2. Impactos da pobreza energética.....	12
2.2.1. Impactos na saúde	12
2.2.2. Impactos na economia	12
2.2.3. Impactos ambientais	13
2.3 Avaliação da Pobreza Energética	13
2.3.1 Indicadores de Pobreza Energética	14
2.3.1.1. Abordagem Consensual.....	14
2.3.1.2. Abordagem por Despesas.....	15
2.3.1.4. Indicador 10%.....	17
2.3.2. Indicadores de Pobreza Energética no Território SUDOE.....	18
2.4. Medidas para mitigar os efeitos da Pobreza Energética	20
2.4.1. Diretivas energéticas.....	20
2.4.2. Reabilitação energética de edifícios.....	22
2.5. Conforto térmico	24
2.5.1. Normas conforto térmico.....	24
2.6. Dependência energética	26
2.7. Consumo de energia do Parque imobiliário português.....	28
2.8. Caracterização do parque habitacional construído em Portugal	29
2.9. Carência habitacional.....	36
2.10. Caracterização da habitação social em Portugal	37
2.11. Reabilitação Energética dos bairros sociais	41
2.12. Justificativa para nova abordagem da pobreza energética	43

Capítulo 3. Metodologia.....	44
3.1. Ferramentas de apoio ao projeto	44
3.1.1. Metodologias de avaliação multicritério	44
3.1.2. Metodologia de avaliação energética dos edificados.....	52
Capítulo 4 – Aplicação de metodologia multicritério e simulação energética para mitigar os efeitos da Pobreza Energética em edifícios sociais.....	73
4.1. Cenários de renovação energética	73
4.1.1. Aplicação de material isolante térmico na envolvente exterior.....	75
4.2. Evolução dos preços da energia	79
4.3. Seleção dos bairros sociais e edifícios de estudo	81
4.4. Dados necessários à simulação energética.....	82
Capítulo 5 – Redução das necessidades energéticas e pobreza energética.....	89
5.1. Redução das necessidades energéticas e da pobreza energética.....	89
Capítulo 6 - Conclusão.....	94
6.1. Avaliação sob a perspetiva das entidades gestoras dos bairros sociais.....	94
6.2. Estudos futuros	99
Referências Bibliográficas	102

Índice de figuras

Figura 1: Exemplo de um certificado energético de habitação	26
Figura 2: Produção bruta de eletricidade em Portugal	26
Figura 3: Evolução da dependência energética de Portugal.....	27
Figura 4: Consumo final de energia por setor de atividade	28
Figura 5: Representatividade combustíveis utilizados no parque imobiliário português	28
Figura 6: Consumo real energias renováveis x projeção Diretiva 2009/28/CE.....	29
Figura 7: Número de edifícios clássicos segundo a época de construção – INE.....	29
Figura 8: Distribuição de edifícios clássicos segundo número de pisos.....	30
Figura 9: Ilustração da evolução dos sistemas construtivos residenciais portugueses.....	31
Figura 10: Caracterização revestimento exterior parede fachada	31
Figura 11: Nº de alojamentos familiares clássicos, segundo o escalão de área útil.....	32
Figura 12: Caracterização estado de conservação edifícios	32
Figura 13: Degradação de edifícios de acordo com número de pisos	33
Figura 14: Estado de conservação de edifícios de acordo com o ano de construção – Censos 2011.....	33
Figura 15: Distribuição de edifícios clássicos segundo estado de conservação dos mesmos .	33
Figura 16: Distribuição de alojamentos familiares clássicos, ocupados segundo entidade proprietária, por estado de conservação.....	34
Figura 17: Distribuição de alojamentos familiares clássicos, segundo encargo por compra ..	34
Figura 18: Distribuição de alojamentos familiares clássicos, segundo encargo por renda	34
Figura 19: Distribuição edifícios clássicos quanto à utilização de Sistemas de aquecimento .	35
Figura 20: Número de alojamentos familiares clássicos, segundo a fonte de energia utilizada para aquecimento	35
Figura 21: Número de alojamentos familiares ocupados segundo a existência de ar condicionado	36
Figura 22: Fogos de habitação social por 100 mil habitantes (2012 e 2015).....	37
Figura 23: Caracterização habitação social em Portugal	37
Figura 24: Renda mensal de habitação social e quantitativo de fogos arrendados	38
Figura 25: Distribuição de rendas em dívidas por NUTS II.....	39
Figura 26: Exemplo de gráficos radiais referentes aos desempenhos das soluções avaliadas	51
Figura 27: Caracterização climática Portugal continental.....	55
Figura 28: Modelo digitais edifícios 15 e 16, localizados no Bairro Social das Andorinhas.....	57
Figura 29: Coeficiente de transmissão térmica de elementos opacos	58
Figura 30: Resistência térmica superficial – fluxo horizontal	59
Figura 31: Composição heterogénea de elementos construtivos	60

Figura 32: Fluxo de calor do interior para o ambiente exterior.....	61
Figura 33: Transmitância visual de vidros	64
Figura 34: Transferência de calor por transmissão através da envolvente	68
Figura 35: Caracterização de proposta de reabilitação em parede divisória ENU	75
Figura 36: Materiais que compõem o sistema ETICS.....	76
Figura 37: Composição sistema ETICS proposto em simulação energética.....	77
Figura 38: Fachada ventilada demonstrando o efeito “chaminé” do fluxo de ar.....	77
Figura 39: Composição sistema Fachada Ventilada proposto para simulação energética.....	78
Figura 40: Isolamento térmico aplicado pelo interior do apartamento	79
Figura 41: Composição elementos sistema Isolamento Interior para simulação energética..	79
Figura 42: Bloco E localizado no Bairro Social das Enguardas	82
Figura 43: Edifícios 15 e 16 do Bairro Social das Andorinhas	82
Figura 44: Estação meteorológica AP.085450 – localizada no Porto.....	83
Figura 45: Zonas climáticas de inverno e verão em Portugal Continental	84
Figura 46: Implantação edifícios Bairro Social das Andorinhas	85
Figura 47: Apartamentos modelados como zonas térmicas únicas, com destaque para as zonas adiabáticas adjacentes ao apartamento 1841	85
Figura 48: Perfil de ativação sistemas de proteção solar.....	88
Figura 50: Representação gráfica dos desempenhos obtidos pelos cenários avaliados.....	93
Figura 51 - Fachada dos edifícios 15 e 16 localizados no Bairro Social das Andorinhas.....	95
Figura 52: Oxidação da armação vertical em estrutura de betão com perda de capacidade de carga	96
Figura 53: Bairro Pendão em Sintra antes e depois da reabilitação pelo sistema ETICS.....	97
Figura 54: ETICS ao longo de mais de 20 anos sem manutenção	98

Tabela 1: Resultados das avaliações subjetivas quanto à pobreza energética, percepção da própria saúde, estado psicológico e depressão [17].....	7
Tabela 2: Indicadores Abordagem Consensual – EU-SILC.....	15
Tabela 3: indicadores financeiros relativos ao consumo energético residencial.	16
Tabela 4: Limiares definidos para caracterização de Pobreza Energética, (adaptado ao português).	16
Tabela 5: Fatores de vulnerabilidade energética abordados pelos Indicadores Compostos [35].	17
Tabela 6: Receitas e despesas em € milhões com o parque habitacional social, por NUT II – 2015.....	38
Tabela 7: Demonstrativo de gastos em conservação e reparação de património Bragahabit [74]	40
Tabela 8: Demonstrativo orçamento plurianual Bragahabit 2015-2018 [75].....	40
Tabela 9: Exemplos de parâmetros avaliados através da Metodologia MARS [91]	46
Tabela 10: Peso dimensões sustentabilidade metodologia MARS [91].....	48
Tabela 11: Peso dimensões sustentabilidade metodologia MARS readequados.....	48
Tabela 12: Pesos impactos ambientais EPA [91].....	49
Tabela 13: Pesos extrapolados relativos aos impactos avaliados – adaptado MARS [92]	49
Tabela 14: Valor de desvios sugeridos pela norma ISSO 15686-1 [93].....	50
Tabela 15: Resistências térmicas superficiais e sentido do fluxo de calor [108].....	59
Tabela 16: Caracterização de soluções de reabilitação dos vãos envidraçados.....	74
Tabela 17: Coeficientes de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação	76
Tabela 18: Relação de preços retalhistas praticados em Portugal	80
Tabela 19: Braga está classificada dentro da região NUTS III de Cávado	83
Tabela 20: Critérios para a determinação da zona climática de inverno	84
Tabela 21: Caracterização envolvente opaca apartamento 1841	86
Tabela 22: Caracterização dos envidraçados existentes no apartamento monitorizado.....	87
Tabela 23: Simulações energéticas de cenários de reabilitação energética propostos	88
Tabela 24: Comparativo resultados simulações energéticas relativas aos cenários propostos	89
Tabela 25: Desempenho Social das soluções avaliadas através da Metodologia MARS.....	91
Tabela 26: Nota Sustentável das soluções avaliadas sob pesos relativos específicos.....	93

Índice equações

Equação 1: Normalização de valores através da expressão de Díaz-Bartero [91].....	47
Equação 2: Equação para cálculo de resistência térmica de materiais [108].....	59
Equação 3: Cálculo do fator global do vão envidraçado simples.....	62
Equação 4: Cálculo do fator global do vão envidraçado duplo.....	62
Equação 5: Coeficiente médio de transmissão térmica dia e noite.....	63
Equação 6: Coeficiente de transmissão térmica com sistemas de proteção solares ativos....	63
Equação 7: Necessidades de energia útil para aquecimento Nic	67
Equação 8: Transferência de calor por transmissão pela envolvente [114].....	67
Equação 9: Coeficiente global de transferência de calor.....	68
Equação 10: coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior	68
Equação 11: coeficiente de transferência de calor por transmissão através do envolvente interior.....	69
Equação 12: coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com o solo	69
Equação 13: transferência de calor através da renovação do ar.....	70
Equação 14: Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento	70
Equação 15: ganhos térmicos úteis [114]	71
Equação 16: Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente nas envolventes [107]	71

ABREVIATURAS

ANSES	<i>L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail</i>
AP	<i>Acidification Potential</i>
AQS	Águas quentes sanitárias
Bragahabit	Empresa municipal de habitação de Braga
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CAR	Comissão para o Alojamento de Refugiados
CM	Comité de Monitorização
CO ₂	Dióxido de carbono
DHW	<i>Domestic Hot Water</i>
ENR	<i>Embodied non-renewable energy</i>
EP	<i>Eutrophication Potential</i>
EPUL	Empresa Pública de Urbanização Urbana
ER	<i>Embodied renewable energy</i>
ERDF	<i>European Regional Development Fund</i>
EUR	Euro
FFH	Fundo de Fomento a Habitação
FFDP	Esgotamento de recursos energéticos não renováveis – FFDP
g	Fator solar do vidro
GD	Número de graus dia de aquecimento do local
GWP	<i>Global warming potential</i>
HA	Alteração no habitat
HLC	<i>Heat loss coefficient</i>
IAQ	Qualidade do ar interior
IARN	Instituto de Apoio ao Retorno de Nacionais

IHRU	Instituto Habitação e Reabilitação Urbana
INE	Instituto Nacional de Estatística
JPH	<i>Journal of Public Health</i>
LCA	<i>Life cycle analysis</i>
LEED	<i>Leadership in Energy & Environmental Design</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
M ²	Metros quadrados
MARS	Metodologia de Avaliação Relativa de Sustentabilidade
N	Necessidades brutas de aquecimento
NH ₃	Amônia
NO	Oxido de nitrogénio
NRE	<i>Non Renewable Energy</i>
ODP	<i>Ozone Depletion Potential</i>
OQAI	<i>Indoor Air Quality Observatory</i>
P.atm	Pressão atmosférica
PERp	<i>Renewable energy production</i>
PERc	<i>Renewable energy consumption</i>
PPD	<i>Predicted Percentage Inssatisfied</i>
PM	<i>Particulate matter</i>
PMV	<i>Predicted mean voted</i>
POCP	<i>Photochemical Ozone Creation Potential</i>
Ppm	Parte por milhão
RH%	Humidade relativa
SAAL	Serviço de Apoio Ambulatório Local
SBTool	<i>Sustainable Building Tools</i>

SHGC	Coeficiente de ganhos solares
SO ₂	Dióxido de enxofre
T2	Tipologia 2
TFUE	Tratado de Funcionamento da União Europeia
TFUE	Tratado de Funcionamento da União Europeia
U	Coeficiente de transmissão térmica
UE	<i>European United</i>
Un	Coeficiente de transmissão térmica noturno
USGBC	<i>The United States Green Building Council</i>
U _w	Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado
U _{wdn}	Coeficiente de transmissão térmica dia e noite
VAT	<i>Value added tax</i>
WI	Água incorporada
WHO	<i>World Health Organization</i>
XPS	<i>Extruded polystyrene insulation</i>

Capítulo 1. Introdução

Neste capítulo, são apresentados os temas abordados nesse estudo, através do enquadramento que demonstra a relevância do tema em âmbito europeu, assim como os objetivos a serem atingidos e a estrutura da dissertação.

1.1. Enquadramento

O *Journal of Public Health*, apresentou estudo contendo o levantamento de óbitos ocorridos nos meses de inverno em países europeus ao longo de 1980 a 2013. O levantamento apresenta os maiores índices de óbitos relacionados com os países que apresentam invernos mais amenos e menos rigorosos, por uma série de fatores que incluem desde a reduzida qualidade construtiva dos edifícios, passando pelo insuficiente rendimento familiar disponível para arcar com as elevadas tarifas aplicadas às contas de eletricidade, até à inexistência ou insuficiência de sistemas de aquecimento do ambiente interior e de águas sanitárias [1] .

Os óbitos ocorridos no período de inverno, são alguns dos sintomas relacionados com o fenómeno que aflige, segundo indicadores da EU-SILC, cerca de 10,2% da população europeia [2]: a Pobreza Energética [3].

Tendo sido definido pela primeira vez por Boardman [4], relacionado com o pagamento de valor equivalente a 10% da renda mensal em tarifas energéticas para obtenção de aquecimento adequado em casa, o conceito sofreu alterações ao longo dos anos. Vários estudos científicos realizados por pesquisadores, o definiram como problema de privação de energia em casa [5], ou ainda o relacionaram com a dificuldade de adquirir energia elétrica suficiente para satisfazer as necessidades domésticas [6].

A manifestação desse fenómeno está intimamente ligada à reduzida qualidade construtiva de muitos edifícios europeus, construídos no período pós Segunda Grande Guerra Mundial, em que as economias europeias encontravam-se devastadas pelos anos de conflito a que estiveram submetidas, para fazerem frente aos diversos problemas existentes, incluindo a elevada procura habitacional.

No caso de Portugal, a política pública para atendimento à carência habitacional, sempre careceu de planeamento de longo prazo, como demonstrado no período pós revolucionário, quando o 4º Governo Provisório diagnosticou a carência de 500.000 fogos para dar resposta à procura apresentada por cidadãos que já viviam em Portugal e por cidadãos repatriados do antigo Ultramar [7]

O Recenseamento Geral da População e da Habitação, em 2001, identificou uma necessidade de 170.279 alojamentos para realocar famílias residentes em alojamentos não clássicos, hotéis e convivência em ocupação compartilhada. Havia no entanto, 185.509 alojamentos vagos para arrendamento ou venda distribuídos de forma não uniforme pelo País, sendo necessário deslocar as famílias para as regiões com maiores concentrações de alojamentos vagos, como a região Norte, que apresentava-se com carência de 52.574 alojamentos familiares e 64.825 alojamentos vagos, enquanto a região Centro apresentava carência de 36.205 alojamentos familiares e 35.076 alojamentos vagos.

A Nova Geração de Políticas de Habitação (NHPH) aprovada pela Resolução de Conselho de Ministros (nº50-A/2018), descreve um sistema habitacional negligente, devido à ausência de respostas públicas claras e existência de falhas de mercado, que impactaram famílias de baixos rendimentos ao longo dos anos, mas também causaram impactos económicos em toda a sociedade.

Essa negligência, somada às características construtivas, aos elevados preços da energia e aos baixos rendimentos familiares para arcarem com os custos para se manterem aquecidos dentro de casa e reduzida eficiência energética dos edifícios, fazem com que os bairros sociais se apresentem com maior vulnerabilidade ao fenómeno da pobreza energética e sejam foco de preocupação para os Governos e para a União Europeia.

Diante deste fenómeno, investigadores identificaram que a pobreza energética precisa ser combatida, para mitigar impactos na saúde das pessoas, no agravamento do nível de pobreza e ainda prejudicando políticas de combate ao processo de mudanças climáticas [2].

Identificaram ainda, que a compreensão da pobreza energética se baseia em grande parte na realização de pesquisas com as pessoas que a vivenciam em suas casas e que apresentam suas percepções. O desenvolvimento de mais indicadores de pobreza energética é necessário para auxiliar a União Europeia no desenvolvimento de políticas e medidas para combater as causas da pobreza energética e seus impactos [2].

Esse diagnóstico vai de encontro à preocupação já demonstrada pela Comissão Europeia, através de medidas para incentivar a eficiência energética nos edifícios, com vista ao atendimento às metas de redução das emissões de poluentes até 2030 e neutralidade carbónica até 2050.

Diante deste diagnóstico, que inclui a compreensão sobre o elevado nível de consumo energético dos edifícios, que representa mais de 40% do total de energia consumida pela EU, assim como equivalente percentual sobre as emissões de dióxido de carbono associada à produção e utilização de energia e ainda o facto de 75% dos edifícios apresentarem ineficiência energética [8], o Conselho da União Europeia apresentou diretivas no sentido de orientar os Estados Membros na adoção de medidas para melhorar a eficiência energética dos edifícios [9], para identificar os consumidores vulneráveis e a elaborar políticas públicas para protegê-los da impossibilidade de acesso à energia elétrica, através de apoios financeiros, proibição de corte de fornecimento de energia elétrica por parte das concessionárias de serviços públicos essenciais, em caso de incumprimento e tarifas sociais, de modo a evitar que famílias inteiras se vejam desamparadas pelo Estado [10].

Ainda hoje, não há consenso a respeito do conceito de pobreza energética que varia de país para país e muito menos a respeito das medidas a serem adotadas para mitigá-las, visto que fatores socioeconómicos, fatores de mercado, macroeconómicos, fatores naturais e políticos, são considerados pelos Estados Membros para suporte na tomada de decisão [2].

Em consonância com o Acordo de Paris, a União Europeia [11] determinou metas de redução de 40% das emissões de gases de efeito estufa, de aumento de 32,5% de eficiência energética, de 32% de energia renovável consumida na União e de 15% de interligações elétricas, sendo para isso necessária a apresentação, por parte de cada Estado Membro, de planos nacionais integrados em matéria de energia e clima, que contemplem políticas climáticas e energéticas baseadas nas 5 dimensões da União da Energia até 2030.

Neste sentido, Portugal publicou o Roteiro para a Neutralidade Carbónica - RNC2050 [12], objetivando a neutralidade carbónica até 2050 e o Plano Nacional Integrado Energia e Clima 2030 – PNEC2030 [13], com informações a respeito do processo de transição energética no País e orientações relativas à necessidade de se informar aos consumidores para que assumam papel ativo quanto ao consumo energético consciente, resultando em mudança de comportamento e escolhas sustentáveis, que em conjunto com medidas de proteção dos consumidores mais vulneráveis, serão a resposta a uma série de prioridades estratégicas que incluem o combate à pobreza energética [11].

No mesmo documento, foram descritas medidas de curto prazo que deveriam ser concretizadas até 2021, como a definição do conceito de “Pobreza Energética”; recolha de informações para monitorização de famílias em pobreza energética; publicar parâmetros para

identificar, medir e monitorizar a pobreza energética; o objetivo de se definir o conceito de pobreza energética; avaliação do nível de pobreza energética em Portugal [11].

Da mesma forma, foram determinadas medidas de médio e longo prazo, no sentido de descarbonizar a economia através da redução de emissões de gases de efeito estufa pelos setores de energia, indústria, mobilidade e transporte, agricultura, florestas, resíduos e águas residuais, além da redução de consumo de energia primária, redução da dependência energética do país e ainda garantir uma transição justa, democrática e coesa através do envolvimento do cidadão consciente a respeito da necessidade de adotar novas atitudes que contribuirão com a descarbonização da economia, amparadas por políticas de apoios sociais, de combate à pobreza energética e valorização territorial [11].

Em contrapartida, outros Estados Membros, já definiram o conceito da Pobreza Energética baseados em estudos científicos e inclusive adotaram medidas concretas no combate ao fenómeno, através de incentivos à reabilitação energética das envolventes dos edifícios e adoção de sistemas mais eficientes de aquecimento do ambiente interior [14].

O governo da Irlanda, incentivou a reabilitação energética através da aprovação de fundo financeiro no valor de €10 milhões em consonância com o programa *Warmth and Wellbeing*, para financiar a implementação de soluções nas moradias de cidadãos em pobreza energética e que convivam com crianças diagnosticadas com doenças respiratórias crónicas [15,16].

No mesmo sentido, o Governo da Inglaterra lançou o programa *Green Deal*, para incentivar a reabilitação energética de imóveis, com linhas de crédito de 10 anos para amortização. O programa permitia a substituição de envidraçados, aplicação de sistemas de isolamento, adoção de sistemas de aquecimento mais eficientes e utilização de sistemas com energias renováveis [17].

A União Europeia ainda fomentou a elaboração de pesquisas através do projeto ARCAS, para o desenvolvimento de metodologia aplicável ao território compreendido entre o norte de Portugal e o sudoeste da França, objetivando a caracterização de edifícios sociais em situação de pobreza energética, através de indicadores chaves e a proposição de soluções de reabilitação energética para edifícios existentes e melhoria de projetos para futuras edificações.

1.2. Objetivos

Diante deste cenário descrito e tendo avaliado metodologias e ferramentas disponíveis como ferramenta de apoio ao desenvolvimento de projetos para escolha de soluções a serem aplicadas em reabilitações de edifícios residenciais, a Dissertação foi desenvolvida, no sentido de se atingir os seguintes objetivos:

- Identificar as soluções de reabilitação energética mais adequadas ao setor habitacional português, com foco especial nos bairros sociais portugueses, que tenham em conta a realidade deste universo construtivo.
- Identificar as soluções mais eficientes do ponto de vista energético e as mais rentáveis que conduzam de forma efetiva à redução das necessidades energéticas destes edifícios e que ao mesmo tempo contribuam para a mitigação da pobreza energética, problema muito comum neste tipo de bairros.

Pretendeu-se utilizar uma metodologia de apoio à decisão na escolha das melhores soluções, quer a nível de projeto, quer a nível de execução, suportada por resultados de simulações energéticas dinâmicas realizadas utilizando-se programa de simulação específico. A determinação das melhores soluções de reabilitação, resulta da aplicação de uma metodologia de avaliação multicritério que tenha em conta a componente funcional, a componente económica e a componente social, atrelada à utilização de ferramenta de simulação energética dinâmica em edifícios com interface gráfica. Foram identificados e utilizados indicadores funcionais como os relacionados com a eficiência energética, indicadores económicos relacionados com custos ao longo do ciclo de vida dos edifícios e indicador específico de pobreza energética.

A metodologia multicritério base utilizada neste estudo é a metodologia MARS, por ser uma metodologia de base aberta, que possibilita a avaliação das soluções quanto ao atendimento aos parâmetros de sustentabilidade e aos impactos relativos a cada componente isoladamente.

1.3. Estrutura da Dissertação

A Dissertação está estruturada em cinco capítulos. O Capítulo 01, apresenta a introdução ao tema pesquisado neste trabalho e os objetivos definidos.

O Capítulo 02 apresenta o estado da arte, composto por informações e dados relacionados ao tema abordado neste trabalho, como literatura científica, normas e diretrizes, que abordam as medidas mitigadoras de pobreza energética e os impactos relacionados com este fenómeno.

O capítulo 03 apresenta a metodologia do processo para atingir os objetivos definidos no Capítulo dois, contemplando a caracterização do parque edificado social português, assim como a caracterização do mapa climático em que estão localizados os apartamentos nos bairros sociais para monitorização dos índices de desempenho definidos pelo Projeto ARCAS, além da apresentação da ferramenta multicritério MARS, da ferramenta de simulação energética dinâmica EnergyPlus e de sua interface gráfica DesignBulder.

O capítulo 04, apresenta a análise de caso relativo aos apartamentos sociais caracterizados de acordo com suas características construtivas, de modo a possibilitar a propositura de diferentes cenários de reabilitação energética e a definição da melhor opção, embasada nos resultados obtidos através da metodologia MARS e da ferramenta de simulação energética dinâmica de edifícios, “DesignBuilder”.

O capítulo 5 apresenta a avaliação de resultados das simulações energéticas referentes aos cenários de reabilitação propostos, assim como os resultados das avaliações de desempenho no que se refere às dimensões de sustentabilidade económica, funcional, ambiental e social, através do indicador de pobreza energética 10%.

O capítulo 6, apresenta as conclusões obtidas a partir da análise dos resultados obtidos previamente, assim como a avaliação dos critérios para a escolha do cenário de reabilitação pelas autarquias e empresas públicas gestoras dos Bairros Sociais e fatores a serem considerados na elaboração de estudos futuros a respeito de pobreza energética.

Capítulo 2 – Estado da Arte

Neste capítulo, são descritos estudos que conceituaram a pobreza energética, fatores que influenciam na prevalência desse fenômeno, seus impactos e medidas mitigadoras.

2.1. Pobreza Energética

O fenômeno da Pobreza Energética é um problema que afeta 10,2% dos cidadãos europeus, impossibilitados de obter aquecimento adequado em suas moradias ou de requerer serviços energéticos a preços acessíveis, cujas causas podem ir além da ineficiência energética dos edifícios relacionada à coberturas, envidraçados, paredes exteriores e sistemas de aquecimento, altas tarifas energéticas, idade elevada dos residentes e reduzidos rendimentos, quando relacionadas ao posicionamento dos Estados Membros frente a fatores estruturais, fatores de mercado, fatores climáticos, fatores macroeconômico, fatores econômicos e fatores políticos [2].

Esse fenômeno foi avaliado em estudo que utilizou os dados do Inquérito Europeu sobre a Qualidade de Vida (EQLS) contemplando 41.560 indivíduos em 32 países diferentes em território europeu, a respeito da percepção do seu estado de saúde (SRH), bem estar psicológico e pobreza energética, sendo apresentado o resultado na tabela 1 [15].

Tabela 1: Resultados das avaliações subjetivas quanto à pobreza energética, percepção da própria saúde, estado psicológico e depressão [15].

País	Amostragem	Pobreza Energética (%)	Percepção saúde SRH (%)	Baixo Bem Estar (%)	Depressão (%)
Suécia	1007	1,30	7,70	21,3	5
Finlândia	1020	1,50	7,00	15,6	3,2
Áustria	1032	2,00	3,90	17,6	5,1
Dinamarca	1024	2,10	12,70	13,3	2,8
Luxemburgo	1005	2,10	6,70	22,6	7,2
Holanda	1008	2,10	9,90	20	5,8
Eslovénia	1008	2,30	9,80	29,8	10,4
Rep. Checa	1012	5,40	11,70	25,2	6,5
Alemanha	3055	6,20	8,90	18,7	5,8
Bélgica	1013	7,10	8,90	21,7	5,9
Montenegro	1000	7,50	9,90	21,7	5,5
França	2270	8,20	6,60	26,7	9,1
Irlanda	1051	8,80	4,40	22,2	7,9
Croácia	1001	8,9	13,5	25,9	8,0
Itália	2250	8,9	5,6	21,0	5,2
Eslováquia	1000	10,6	10,6	30,5	11,8
Reino Unido	2252	12,0	11,0	32,6	11,9
Macedónia	1006	13,4	6,5	19,9	7,3

País	Amostragem	Pobreza Energética (%)	Percepção saúde SRH (%)	Baixo Bem Estar (%)	Depressão (%)
Hungria	1024	15,3	16,0	27,3	10,2
Sérvia	1002	16,9	16,4	39,6	16,4
Espanha	1512	17,3	5,6	20,9	7,0
Romênia	1542	18,4	17,2	36,6	16,8
Letônia	1009	19,0	16,1	34,8	13,1
Bulgária	1000	22,9	11,1	24,5	11,0
Lituânia	1134	23,3	20,8	33,3	10,0
Polônia	2262	23,9	13,0	33,4	14,4
Estônia	1002	24,7	14,9	33,1	7,6
Malta	1001	27,1	3,2	31,3	11,1
Grécia	1004	28,3	8,1	34,3	12,0
Portugal	1013	32,3	14,9	19,3	7,5
Chipre	1006	35,2	3,3	31,8	15,6
Turquia	2035	42,5	8,6	37,6	25,4
Total	41560				

O estudo permite identificar em países como Turquia, Chipre e Portugal, a prevalência dos mais elevados índices de percepção de pobreza energética, mesmo em comparação aos países que apresentam invernos mais rigorosos, como os países nórdicos, o que corrobora outro estudo já citado anteriormente a respeito dos elevados índices de óbitos em período de inverno nesses mesmos países [1].

O estudo ainda indica a menor baixa percepção de bem estar psicológico e importantes índices de depressão, entre os indivíduos que vivenciam a pobreza energética, apresentando destaque aos dados referentes a Portugal, que apresentam menores índices de baixa percepção de bem estar psicológico e de depressão, quando comparado com Turquia, Chipre e Grécia, mas que apresentam uns dos mais elevados índices de baixa percepção do estado de saúde desses mesmos indivíduos.

2.1.1 Fatores Estruturais

Outro estudo [2], demonstra que os fatores estruturais estão relacionados com o sistema económico e político, sendo de suma importância para a compreensão das causas da pobreza energética, já que é um fator de importante influência no desenvolvimento do mercado energético, estruturas institucionais, infraestruturas de aquecimento, parque social edificado e suprimento energético.

Países do leste europeu, como a Bulgária, apresentam como legado da era comunista, a centralização do planeamento económico, que influencia até hoje na eficiência energética dos edifícios, infraestrutura energética e sistema político [2] assim como um sistema de

infraestrutura ineficiente e obsoleto, incapaz de suprir as necessidades locais e ainda ser inteiramente interligado aos novos e modernos sistemas de geração de energias renováveis.

2.1.2 Fatores de Mercado

O nível de liberdade e de atuação de empresas concorrentes no mercado energético, apresenta importante influência na avaliação dos consumidores quanto às tarifas energéticas e políticas de apoios para assegurar o fornecimento energético acessível financeiramente. O autor cita ainda [2], a existência de ligação entre concorrência de mercado, escolha de tarifas e tipo de tarifa sob regimes de preços regulados ou tarifas sociais.

2.1.3 Fatores Climáticos

O clima determina a procura energética para aquecimento ou arrefecimento, influenciando no nível de investimento na construção de edifícios energeticamente eficientes e tipos de sistemas de aquecimento.

Enquanto os maiores níveis de desconforto térmico dentro dos edifícios são registados no sul da Europa, em que as temperaturas são mais amenas, países escandinavos, que convivem com temperaturas negativas, apresentam elevado investimento em edifícios energeticamente eficientes.

2.1.4 Fatores Económicos

O rendimento mensal influencia no nível de consumo energético, na tipologia e tamanho da habitação, inclusive na possibilidade de obtenção de apoios sociais disponíveis, visto que é avaliado e considerado como fator de grande importância pelos Governos que disponibilizam tais apoios. Influencia também na decisão de se investir na reabilitação energética de um imóvel, que exigirá importante investimento inicial, a ser amortizado a médio prazo a contabilizar a poupança energética obtida.

2.1.5 Fatores Políticos

O desenvolvimento de políticas é necessário para enquadrar os consumidores vulneráveis e direcionar os suportes financeiros para mitigar impactos da pobreza energética. Segundo o autor, o reconhecimento do fenómeno da pobreza energética, é fundamental para o desenvolvimento de políticas quanto ao nível de intervenção via apoios financeiros [2].

As pesquisas científicas a respeito do fenómeno se iniciaram em ao final dos anos 70, tendo sido definido pela primeira vez em 1991 no Reino Unido, pela “incapacidade para suportar o aquecimento adequado, devido à ineficiência de sua casa” , conceito este, revisto para o

pagamento de valor equivalente a 10% do rendimento mensal, em tarifas energéticas para obtenção de aquecimento adequado em casa [4].

O conceito foi adaptado ao contexto de países como França, Eslováquia, Bélgica, Áustria, Chipre, Irlanda e Reino Unido, que desenvolveram indicadores para caracterizar a pobreza energética, identificaram as causas e desenvolveram políticas próprias para mitigar seus impactos.

Com objetivo de reduzir a Pobreza Energética, o Reino Unido desenvolveu o *UK Fuel Poverty Strategy of 2001*, em que implementou políticas de identificação e proteção dos consumidores vulneráveis, assim como o incentivo à realização de reabilitação energética das habitações.

Por sua vez, a Comissão Europeia publicou diretiva [9] com objetivo de orientar os Estados Membros a adotarem medidas para melhorar a eficiência energética dos edifícios e reduzir a geração de CO₂, através do desenvolvimento de medidas, pelos Estados Membros, baseadas nos seguintes parâmetros:

- Desenvolvimento de metodologia que permita realizar o cálculo de desempenho energética dos edifícios, considerando as características construtivas dos edifícios; instalações de aquecimento e climatização, ventilação; sistema de iluminação; posição geográfica e orientação; ventilação natural; sistema solar passivo; proteção solar; condições climáticas internas ao edifício; iluminação natural; tipologia e ocupação do edifício.
- Definição dos parâmetros mínimos de desempenho energético para novos edifícios.
- Definição dos parâmetros mínimos de desempenho energético para edifícios existentes com grandes áreas construídas e que serão reabilitados.
- Desenvolvimento de certificação energética para os edifícios.
- Desenvolvimento de política de inspeção de caldeiras e sistemas de ar-condicionado, com especial atenção às caldeiras com mais de 15 anos, que deverá ser acompanhado com incentivo à substituição dos mesmos.

Em 2008, o colapso de parte do sistema bancário americano, iniciou a crise económica global que impactou fortemente o crescimento económico europeu, resultando em elevação dos índices de despedimentos com reflexos na economia e na Pobreza Energética, devido ao aumento nos incumprimentos aos pagamentos de faturas energéticas [18].

No meio da crise económica mundial, a Comissão Europeia apresentou uma diretiva no sentido de orientar aos Estados Membros a adotarem medidas para identificar os consumidores vulneráveis e a elaborar políticas públicas para protegê-los da impossibilidade de acesso à energia elétrica, através de apoios financeiros, proibição de corte de fornecimento de energia elétrica por parte das concessionárias de serviços públicos essenciais, em caso de incumprimento e tarifas sociais, de modo a evitar que famílias inteiras se vejam desamparadas pelo Estado [10].

No sentido de trazer os Estados Membros a assumirem compromisso na elaboração de medidas para redução nas emissões de *green house gases*, a Comissão Europeia publicou o *Roadmap For Carbon Neutrality 2050*, fazendo com que 19 países assumissem esse compromisso.

Com base nesse compromisso, Portugal criou o Plano Nacional Integrado Energia e Clima, em que, baseado em estudos científicos, foram definidas metas de redução de emissões de CO₂ em 17%, em comparação às emissões de 2005; adoção de 47% de energia renovável nas habitações; adoção de medidas para elevar em 35% a eficiência energética das habitações; definição do conceito de Pobreza Energética, como o fenómeno relacionado com a incapacidade de garantir serviços energéticos adequados em casa [19].

Espanha definiu a Pobreza Energética relacionando-a à situação em que o cidadão se encontra impossibilitado de obter serviços energéticos básicos, devido ao reduzido rendimento mensal e à ineficiência energética de sua casa. Tendo definido ainda, o plano estratégico para reduzir a Pobreza Energética em 25% até 2024 e a adoção de medidas como a redução no *value added tax - VAT* - de 21% para 10% [20], redução da taxa sobre a eletricidade de 5,11% para 0,5% [21] e redução de taxa sobre a procura de 100% para 4%.

A França, que já havia definido a Pobreza Energética através do *Grenelle II Act* de 2010 [22], em que qualquer cidadão que se encontre em dificuldades de obter serviços energéticos em sua casa, necessários para suprir suas necessidades energéticas básicas devido a falta de recursos ou condições da habitação [23], criou o Observatório Nacional para Pobreza Energética.

O enfoque dado às políticas apresentadas por Portugal, Espanha e França, se deve ao fato destes três países apresentarem em parte de seus territórios, características geoclimáticas semelhantes, sendo denominado Território SUDOE, e ainda participarem de um estudo

internacional, denominado Projeto ARCAS, cujos objetivos incluem a definição de indicadores de pobreza energética que possam ser usados como elementos de apoio ao projeto de reabilitação de edifícios destinados à habitação social, que tenham como base na maximização da eficiência energética, da qualidade do ar e consequentemente da promoção do bem-estar social, com foco na redução da pobreza energética [24].

2.2 Impactos da pobreza energética

Segundo estudo [25], a pobreza energética causa impactos não só na saúde dos ocupantes dos edifícios e moradias energeticamente ineficientes, como também impactos económicos e ambientais.

2.2.1 Impactos na saúde

A utilização de materiais como madeira, carvão e querosene como combustível para queima em fogões para cozinhar, aquecimento ou iluminação, produz poluentes atmosféricos que tendem a atingir altas concentrações, em locais pouco ventilados, resultando em riscos para a saúde das pessoas que residem no local. Produtos de limpeza, aerossóis e tabaco, também produzem os compostos orgânicos voláteis (VOCs) [26].

Os poluentes atmosféricos são compostos por monóxido de carbono, dióxido de azoto, compostos aromáticos e materiais particulados, sendo classificados como PM₁₀ e PM_{2,5} de acordo com o diâmetro das partículas extremamente finas. São facilmente inaláveis, causando doenças respiratórias, doenças cardiovasculares e cancro de pulmão, de acordo com a quantidade de componentes inalados e do tempo de exposição.

Segundo levantamento da *World Health Organization*, a respeito de 10 fatores relacionados com as mortes registadas em países em desenvolvimento, houve grande destaque ao 1,3 milhão de mortes ocorridas em 2004, relacionadas com os poluentes atmosféricos gerados pela queima de combustíveis sólidos, superando o total de óbitos por malária e tuberculose.

O *Environment Audit Committee*, apresentou um estudo contendo estimativas de custos financeiros superiores a 64 mil milhões de libras entre 2017 e 2025, relacionados com os impactos advindos dos poluentes atmosféricos, sendo 2,7 mil milhões relativos somente aos afastamentos médicos de trabalhadores doentes [27].

2.2.2 Impactos na economia

A pobreza energética tem impactos na educação e na economia, visto que o acesso a eletricidade, possibilita maior dedicação a leitura, estudos, acesso à informação e redução do

abandono escolar [26], possibilitando a formação de novos profissionais capacitados a exercerem funções com melhores remunerações, que lhes permitirão contribuir com toda a cadeia produtiva, através do consumo de produtos e serviços, fornecidos por empresas que diante do aumento da procura, serão obrigadas a contratar novos funcionários e linhas de crédito para investimentos, fomentando o círculo virtuoso que beneficiará toda a sociedade.

2.2.3 Impactos ambientais

A pobreza energética apresenta impactos no meio ambiente, pelo desflorestamento para utilização de madeira como combustível para aquecimento e preparação de alimentos, em residências carentes de energia elétrica ou com limitação de acesso, gerando não só a produção de poluentes atmosféricos pelo processo de combustão, mas também ao longo de todo o processo de extração na natureza, elevando o risco de desertificação, o que eleva os níveis de CO₂ e por consequência fortalece o processo de aquecimento global [26].

2.3 Avaliação da Pobreza Energética

A compreensão do problema e das suas causas, é crucial para o desenvolvimento de medidas no sentido de mitigar os seus efeitos sobre os cidadãos e nos edifícios energeticamente ineficientes mais suscetíveis à manifestação da Pobreza Energética. Para isso, é necessário caracterizar o parque edificado, assim como a faixa da população afetada, utilizando indicadores, ferramentas, base de dados e metodologias para identificar as medidas mais adequadas e eficientes, no sentido de se reduzir a Pobreza Energética nos edifícios.

Nesse sentido, um estudo [28] identificou em 2016, fatores como o nível de escolaridade, taxa de desemprego, faixa de rendimento e quantidade de habitantes com mais de 65 anos, que têm uma considerável influencia na prevalência da pobreza energética, que afeta 22% da população em Portugal.

Outro estudo [29] apresenta resultados de inquéritos realizados com 100 residentes em 10 localidades diferentes em Portugal a respeito da perceção a respeito de sentirem frio ou calor dentro de suas habitações e se os mesmos teriam condições financeiras para suportar os gastos com as tarifas energéticas para a manutenção da temperatura de conforto.

Indicadores classificados como *objetivos*, foram apresentados em estudo [30] que identifica o nível de comprometimento do rendimento mensal familiar, através do percentual do rendimento doméstico, destinado ao pagamento dos custos energéticos para a manutenção da temperatura adequada da habitação.

Esses indicadores podem ser aplicados em todos os Estados Membros, no entanto, abrangem apenas as despesas com eletricidade e outros materiais combustíveis, não englobando os custos necessários para garantir o conforto térmico na habitação.

O autor [30] ainda apresenta indicadores classificados como *subjetivos*, para avaliação através de inquéritos aos moradores que vivenciam a pobreza energética a respeito da capacidade das habitações na manutenção da temperatura adequada e de pagamento das contas dentro do prazo de vencimento das mesmas, apresentando como diferencial, a capacidade de se utilizar experiências vividas e as necessidades energéticas para caracterizar a pobreza energética [31].

2.3.1 Indicadores de Pobreza Energética

As medidas a serem adotadas pelos Governos, no sentido de se mitigar a Pobreza Energética, apenas poderão ser efetivadas, após o conhecimento do nível de Pobreza Energética existente em cada País. Para isso, é necessário utilizar indicadores individualmente ou de forma agregada, através de abordagens que permitam mensurar por exemplo, a vulnerabilidade energética, o nível de rendimentos mensais, tarifas energéticas e qualidade do ar interior, para utilização em metodologias de avaliação multicritério, como a ARCAS e a MARS, que serão abordadas no Capítulo 3 deste trabalho.

A literatura descreve abordagens distintas para mensurar a Pobreza Energética, em Países, regiões e nível de renda, sendo facultada a escolha entre a Abordagem por Despesas, a Abordagem Consensual e a Abordagem Composta [32].

Com base nas abordagens disponíveis, os pesquisadores do Projeto ARCAS, estão a desenvolver nova metodologia que permita, através de indicadores chave, realizar análise multicritério para caracterizar edifícios existentes e conceber edifícios reabilitados com base na maximização da eficiência energética, da qualidade do ar e consequentemente na promoção do bem-estar social, com foco na redução da pobreza energética e consequente auxílio aos governantes com informações que lhes permitirão serem mais assertivos na elaboração de medidas nesse sentido [24].

2.3.1.1 Abordagem Consensual

O projeto ARCAS cita como exemplo de indicadores para a Abordagem Consensual, os adotados pela *European Union Statistics on Income and Living Conditions (EU-SILC)* [33] desde 2003, pois permitem identificar as causas e resultados de Pobreza Energética em camadas

populacionais. Esses indicadores permitem identificar a situação energética residencial, medida através do nível de conforto térmico, eficiência e acessibilidade energética.

O Observatório de Pobreza Energética (EPOV) [34] divide esses indicadores em primários e secundários, sendo os primários relacionados com a percepção dos agregados familiares aos atrasos nos pagamentos de faturas energéticas e incapacidade de manterem as habitações adequadamente aquecidas; e os secundários relacionados com os custos energéticos para aquecimento, arrefecimento, preparação de alimentos, mas também relacionados com o número de quartos por pessoa, óbitos no inverno, risco de pobreza, registo de conforto térmico ao longo do período de verão, entre outros.

Além desses indicadores, a EU-SILC apresenta informações a respeito de dois indicadores propostos em literatura científica para medir a Pobreza Energética, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Indicadores Abordagem Consensual – EU-SILC.

Indicador	Descrição
Atrasos nos pagamentos de faturas energéticas	Parcela da população em incumprimento no pagamento de faturas energéticas que respondem ao questionamento "Nos últimos 12 meses, houve incumprimento no pagamento de faturas energéticas, por dificuldades financeiras?"
Incapacidade de manter a residência adequadamente aquecida	Parcela da população incapaz de manter sua residência adequadamente aquecida, que responderam ao questionamento "Os agregados familiares são capazes de manterem a residência adequadamente aquecidas?"

A Abordagem Consensual apresenta a vantagem de capturar a natureza multidimensional da Pobreza Energética e sua amplitude, tendo no entanto, a necessidade de cuidado na escolha dos indicadores, pois a subjetividade dos indicadores, pode levar a resultados equivocados, já que são baseados na percepção particular de cada pessoa quanto ao indicador "Atraso no pagamento de faturas energéticas" [24].

2.3.1.2 Abordagem por Despesas

A Abordagem por Despesas tem em consideração as despesas dos agregados familiares em energia, utilizando indicadores, descritos na Tabela 3, que serão comparados com limiares de consumos energéticos, para permitir classificar ou não a residência em situação de Pobreza Energética de acordo com o limiar adotado como parâmetro [32].

Tabela 3: indicadores financeiros relativos ao consumo energético residencial.

Métrica	Descrição
Elevados custos energéticos	As despesas energéticas são muito elevadas
Baixo Rendimento líquido	Baixa disponibilidade financeira de uma família, após o pagamento dos custos energéticos
Gastos energéticos insuficientes	Custos energéticos de uma família estão abaixo do nível mínimo de serviços básicos e necessários de energia

Essa abordagem foi inicialmente apresentada em estudos que definiram a situação de Pobreza Energética, relativa à despesa equivalente a 10% do rendimento dos agregados em serviços energéticos [4]. Desde então, estudos desenvolveram outros limiares para caracterizar a situação de Pobreza Energética, como descritos na Tabela 4 [32].

Tabela 4: Limiares definidos para caracterização de Pobreza Energética, (adaptado ao português).

Fatores	Descrição
10%	Se o gasto energético doméstico é superior a 10% da renda familiar total, a família está em situação de pobreza energética.
Acima da média	Se o gasto energético doméstico é acima da média nacional (em % do rendimento) e se o rendimento familiar, após pagar os custos energéticos, estiver abaixo da linha de pobreza, a família está em situação de pobreza energética.
Dobro da média nacional	Se o gasto energético doméstico está acima do dobro da média nacional (em % do rendimento), a família está em situação de pobreza energética.
Padrão mínimo de rendimento	Se o rendimento familiar é inferior à renda mínima necessária para a integração de alguém na sociedade ou se o rendimento familiar for menor que os custos necessários de energia e habitação, a família está em situação de pobreza energética.
Sem limiar	Em escala de severidade do gasto energético para famílias com baixos rendimentos, uma família com maiores níveis de despesas e reduzidos gastos energéticos, poderiam indicar pobreza energética "escondida".

Dentre os limiares destacados, o indicador *Low Income, High Costs* (LICH), foi adotado como indicador oficial no Reino Unido e permite identificar se o agregado familiar apresenta despesas energéticas acima da média nacional e se os rendimentos, após o pagamento dessas despesas está abaixo do limiar oficial de pobreza. Dentre os indicadores, o Projeto ARCAS utilizará o indicador "10%" no processo de caracterização dos gastos energéticos, assim como este trabalho de dissertação no âmbito da metodologia MARS.

2.3.1.3 Abordagem por Indicadores Compostos

A Abordagem por Indicadores Compostos, é representativa pela capacidade de identificar a multidimensionalidade da Pobreza Energética, permitindo a percepção mais integrada e considerando a combinação de indicadores através do desenvolvimento de um índice.

Nesses indicadores, a Pobreza Energética é contextualizada num quadro de fatores de vulnerabilidade energética e a abordagem pode apresentar um ou mais fatores dentre os seis fatores apresentados na Tabela 5 [35].

Tabela 5: Fatores de vulnerabilidade energética abordados pelos Indicadores Compostos [35].

Fatores	Descrição
Acesso à energia	Falta de infraestrutura para fornecer energia de forma apropriada para atender às necessidades domésticas
Disponibilidade financeira após pagamento de fatura energética	Rácio elevado entre o custo energético e o rendimento mensal dos agregados familiares, incluindo os sistemas de taxas ou sistemas de apoios. Incapacidade para investir na construção de nova infraestrutura energética.
Flexibilidade	Impossibilidade de adotar nova forma de prestação de serviços energéticos adequados às necessidades energéticas domésticas.
Eficiência Energética	Perda desproporcionalmente elevada de energia útil, durante conversões de energia em casa.
Necessidade Energética	Incompatibilidade entre as necessidades de energética e os serviços de energia disponíveis, por razões sociais, culturais, económicas ou de saúde.
Boas Práticas	Ausência de reconhecimento político ou de conhecimento sobre programas de apoio e formas de usar a energia de forma eficiente em casa.

2.3.1.4 Indicador 10%

Estudos realizados [4] a respeito da pobreza energética, relacionaram os custos dos combustíveis a serem contratados para aquecimento, iluminação e demais necessidades energéticas residenciais para a manutenção das condições de conforto, às condições de acessibilidade limitadas em 10% do rendimento familiar.

Desde então, o indicador 10% tem sido aplicado no Reino Unido, no desenvolvimento de medidas para caracterização da pobreza energética, pela simplicidade na sua aplicação em edifícios que apresentem sistemas de aquecimento das águas sanitárias AQS e aquecimento do ambiente interior, e de compreensão a respeito da variação de consumo energético quando acionados pelos residentes [36].

Estudos foram realizados [37], no sentido de se avaliar pobreza energética através do indicador 10% em comparação com outros indicadores [16], como o *Low Income, High Costs*

(LIHC), evidenciando sua indicação para avaliação da pobreza energética em relação aos rendimentos e custos energéticos [38], motivo pelo qual foi escolhido para ser utilizado neste estudo.

No âmbito do Projeto ARCAS, o indicador 10% foi objeto de ponderação por parte dos pesquisadores, pois os edifícios franceses e espanhóis dispõem de sistemas de aquecimento do ambiente interior dos edifícios que lhes permitem atingir a temperatura mínima de 19°C [39,40] conforme determinado nas legislações locais e no protocolo TAIL – ALDREN [41], que compõe a matriz de classificação de edifícios quanto ao desempenho energético, enquanto os edifícios sociais portugueses, em sua maioria, não dispõem de qualquer sistema de aquecimento do ambiente interior e a legislação portuguesa determina a temperatura interior mínima de 18°C [42].

A realidade portuguesa é justificada não apenas pela baixa qualidade construtiva dos edifícios e pelos baixos rendimentos dos residentes, mas também por uma componente cultural, visto que o desconforto térmico ou o “sentir frio dentro de casa” é considerado normal pelos portugueses, que se utilizam de roupas de inverno, cobertores nas camas e aquecedores elétricos, para reduzirem o “desconforto” [29].

De fato, as faturas energéticas portuguesas não refletirão o esperado aumento no consumo energético resultante pela utilização de sistemas de aquecimento do ambiente interior no período de inverno, sendo necessário realizar simulações energéticas para caracterizar as necessidades energéticas dos edifícios, para a manutenção da temperatura interior da habitação em 18°C e posterior aplicação do indicador 10%, caracterizado como indicador social na Metodologia MARS, para avaliação das soluções construtivas, quanto ao potencial de redução das despesas energéticas.

2.3.2 Indicadores de Pobreza Energética no Território SUDOE

O estudo [43] apresenta os indicadores oficiais mais importantes e utilizados em Portugal, Espanha e França, para realizar a avaliação da Pobreza Energética em bairros, edifícios e agregados familiares, conforme nível de escala do estudo.

Na França, são utilizados quatro indicadores oficiais, sendo a “Taxa de Esforço de Energia e Taxa de Esforço”, calculados pelo agregado familiar, pela despesa de mobilidade e esforço total, que soma as duas dimensões anteriores, e a “Reduzida Renda, Elevados Custos (LIHC)”

pelo consumo energético por m², e “Casa Fria”, que é um indicador baseado no que é reportado pelo agregado familiar.

Em Portugal, não há indicadores oficiais, mas pesquisas realizadas no sentido de se mitigar o problema, desenvolveram uma abordagem baseada no fator de vulnerabilidade “Potencial de Pobreza de Combustível” dos municípios e o dividiram em duas dimensões, sendo a “Lacuna entre o Aquecimento e Arrefecimento”, através da diferença entre a energia consumida e a necessidade energética para atingir o limiar térmico definido em legislação [42]; e a “Capacidade de implementar medidas mitigadoras”, caracterizadas por um índice composto pelas características dos cidadãos, como idade, rendimento, nível de instrução e desemprego [44].

Com base nesse estudo [44], foi adotado o indicador composto “Índice de Vulnerabilidade de Pobreza Energética”, para caracterizar a vulnerabilidade da população em determinada região, de acordo com a “Lacuna de Desempenho Energético das Residências” (EPG), relacionada com as características dos edifícios, como tipologia, orientação, tipo de parede; e “Capacidade para Implementar Medidas de Alívio”, relacionada com as variáveis socioeconómicas que medem a capacidade adaptativa da população, à Pobreza Energética [19].

Na Espanha, são utilizados quatro indicadores oficiais na avaliação de diferentes contextos de situação de Pobreza Energética, com foco na monitorização dos efeitos de medidas mitigadoras implementadas, de acordo com o planeamento nacional.

O indicador “Gasto Energético Desproporcional”, permite avaliar os agregados familiares que apresentem custos energéticos maiores que o dobro da média nacional em relação ao seu rendimento. O indicador “Pobreza Energética Oculta”, permite identificar os agregados familiares com gastos energéticos absolutos, inferiores a metade da média nacional.

Os demais indicadores permitem avaliar o percentual de pessoas impossibilitadas de manterem suas habitações em condições de conforto térmico e o atraso nos pagamentos de faturas energéticas.

2.3.3 Avaliação da qualidade do ar interior

A avaliação da qualidade do ar interior aos edifícios, é baseada de acordo com as emissões de dióxido de carbono, *particulate matter 2,5*, formaldeído, benzeno, radão, humidade relativa, taxa de ventilação e avaliação visual de bolores, de acordo com os protocolos adotados pela

Aliance for Deep Renovation in buildings (ALDREN), de modo a permitir a aplicação de abordagem experimental em edifícios residenciais [41].

2.4 Medidas para mitigar os efeitos da Pobreza Energética

Diante da relevância do assunto, da falta de consenso entre os Estados Membros e da conclusão de diversos estudos que identificaram no setor imobiliário, responsável por 40% do consumo de energia final e pela conseqüente geração de emissões de dióxido de carbono associada a esse consumo energético, o maior potencial para redução de consumo energético, através da adoção de medidas de reabilitação desses edifícios energeticamente ineficientes, a União Europeia assumiu o papel de indutor de políticas públicas com foco na redução do consumo energético e adoção de eficiência energética em edifícios, como medidas prioritárias para descarbonizar o parque imobiliário, reduzir a pobreza energética e reduzir as emissões de poluentes em pelo menos 40% até 2030, face os valores de 1990, em território europeu [45].

2.4.1 Diretivas energéticas

As políticas de reabilitação energética de edifícios energeticamente ineficientes, embasadas em estudos científicos [4,46] adotadas pelos governos do Reino Unido e da Irlanda, englobavam linhas de crédito com taxas de juros subsidiadas, prazo alargado para amortização, assessoria técnica para avaliação energética dos edifícios e elaboração de projetos, para intervenção nas paredes de fachada exterior, envidraçados, sistema de aquecimento ambiente e de águas sanitárias.

Diante dos resultados apresentados por esses países e do facto de 75% dos edifícios em território europeu apresentarem ineficiência energética [8], o Conselho da União Europeia apresentou diversas diretivas no sentido de orientar os Estados Membros na adoção de medidas para melhorar a eficiência energética dos edifícios [9] a identificar os consumidores vulneráveis e a elaborar políticas públicas para protege-los da impossibilidade de acesso à energia elétrica, através de apoios financeiros, proibição de corte de fornecimento de energia elétrica por parte das concessionárias de serviços públicos essenciais, em caso de incumprimento e tarifas sociais, de modo a evitar que famílias inteiras se vejam desamparadas pelo Estado [10].

Objetivando a eficiência energética dos edifícios [45] e o investimento na utilização de fontes energéticas renováveis em edifícios novos e renovados [47], foi introduzido o conceito de

district heating, em que a energia térmica gerada a partir de uma fonte central e externa, seja utilizada para atender às necessidades de aquecimento de vários edifícios no mesmo local, de forma a se otimizar a eficiência energética.

Ainda no que concerne a melhoria do desempenho energético dos edifícios, foram apresentadas as diretivas sobre o desempenho energético dos edifícios [48] e eficiência energética [49], com objetivo de elevar a eficiência energética, descarbonizando o setor imobiliário até 2050, possibilitando a criação de um ambiente de estabilidade no setor para investimentos e ainda disponibilizando informações aos consumidores a respeito de atitudes que possam resultar em poupanças financeiras e energéticas, o que reforçará os objetivos traçados no *European Green Deal* [50].

O *European Green Deal*, tem como meta, atingir a neutralidade climática no continente europeu, através da redução de 55% dos índices de emissões até 2030, em comparação aos níveis de 1990, resultando na redução da dependência energética exterior, geração de empregos, melhorando a qualidade de vida e mitigando a pobreza energética.

Ainda nesse sentido, o *European Green Deal* determinou que todos os Estados Membros elaborem roteiros nacionais, com as medidas e indicadores de progresso mensuráveis, com metas indicativas para 2030, 2040 e 2050, contribuindo assim com os objetivos dispostos na Diretiva 2012/27/EU.

Neste sentido, a *Renovation Wave for Europe* [51], foi apresentada pelo Conselho da União Europeia, com objetivo de duplicar a atual taxa anual de renovação energética dos edifícios nos próximos 10 anos, reduzindo as emissões de carbono ao longo do ciclo de vida dos edifícios, que respondem por 40% do consumo total de energia e 36% das emissões de gases com efeito de estufa relacionadas com a energia, elevando a qualidade de vida das pessoas que residem nesses edifícios e ainda criando novos empregos, através da eliminação de barreiras à reabilitação, do incentivo ao investimento na eficiência energética dos edifícios e desenvolvimento de soluções eficientes de climatização.

Em atendimento ao *European Green Deal*, Portugal aprovou em seu Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050, a redução de emissões de gases com efeito estufa entre 85% e 90% até 2050 face 2005 e as restantes emissões através do sequestro de carbono pelo uso do solo e florestas [52].

Foram também instituídos o Plano Nacional Energia e Clima 2030 e a Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios, afim de cumprir as metas ambientais e energéticas definidas, melhorando as condições de vida dos cidadãos e gerando oportunidade de crescimento económico sustentável para toda a sociedade [52].

2.4.2 Reabilitação energética de edifícios

A reduzida taxa anual de reabilitação de edifícios, é fortemente influenciada pela falta de informações adequadas a respeito dos custos e benefícios envolvidos, elevado investimento inicial, processo envolvido na tomada de decisão e falta de acesso a linhas de financiamento público e escassez de financiamento privado [53].

Os elevados valores envolvidos em projetos de renovação energética, com a perspetiva de riscos associados aos ganhos energéticos estimados e ao longo prazo de pagamento, desestimulam que instituições financeiras privadas atuem nesse mercado, sendo necessário que os Governos adotem as medidas necessárias para financiar o mercado de eficiência energética [54].

Há imensa literatura e pesquisas científicas [46,55], no sentido de se demonstrar os resultados positivos de se reabilitar energeticamente os edifícios através da implementação de medidas de renovação das envolventes, sistemas eficientes de aquecimento do ambiente interior e das águas sanitárias, de modo a reduzir de forma mais efetiva as necessidades energéticas, o consumo energético total e elevar a qualidade de vida dos ocupantes, através dos níveis de conforto térmico, acústico, luminoso e qualidade do ar interior.

No processo de reabilitação energética, deve-se considerar a importância em se avaliar os impactos dos materiais que serão agregados ao edifício existente, assim como seus efeitos futuros na operação desses edifícios ao longo dos anos, no que concerne o consumo energético [56].

Estudos realizados no âmbito do Distrito do Porto [57], apresentam os benefícios na adoção de soluções construtivas pré-fabricadas no processo de renovação de edifícios sociais portugueses, e descrevem as intervenções necessárias para a requalificação dos edifícios sociais considerando não só os custos-benefícios económicos, mas também sociais e urbanos.

Esses resultados positivos, são comprovadas no relatório de eficiência energética relativo aos trabalhos de reabilitação energética, realizados em 13 edifícios no Bairro Social Engenheiro Machado Vaz, localizado na freguesia de Campanhã, no Porto e que apresenta resultados

benéficos quanto à redução das necessidades energéticas dos edifícios, com destaque à mais valia pela adoção de sistemas de produção de águas sanitárias, compostos por termoacumuladores e painéis fotovoltaicos para atendimento de todos os edifícios [58].

Os benefícios resultantes da renovação energética de edifícios, podem ser extrapolados ao se considerar não apenas as intervenções de edifícios, mas também as intervenções em escalas maiores, que impactarão todas as regiões próximas aos edifícios, como demonstrado em estudo relativo a 09 distritos renovados energeticamente em diferentes países europeus [59].

Em outro estudo [55] fica demonstrado que a economia energética obtida através da reabilitação de edifícios existentes, é uma das mais atrativas e económicas opções para atingir a redução de emissões de dióxido de carbono, potencializar a segurança energética através da redução no consumo de combustíveis fósseis e ainda apresentar viabilidade quanto ao prazo de retorno sobre o investimento realizado, calculado através da diferença entre os consumos energéticos anteriores e posteriores à reabilitação.

Ainda segundo o estudo [55], ao reduzir o consumo de energia e focar em questões climáticas internas aos edifícios durante a renovação, fica demonstrada a possibilidade de se atingir benefícios adicionais, tais como redução de despesas com subsídios do governo, melhoria da saúde coletiva devido a redução da poluição do ar e conseqüente redução de afastamento de funcionários e aumentando a sua produtividade.

Baseado em estimativas disponíveis sobre o potencial de economia energética advinda da reabilitação de edifícios, o estudo [55] sugere ainda, que a monetização anual permanente beneficiaria a sociedade entre €104-175 milhares de milhões em 2020, a depender do nível de investimento realizado entre 2012 e 2020.

Desse total, entre €52-75 milhares de milhões viriam da redução do consumo energético, €9-12 milhares de milhões em benefícios adicionais diretos pela redução de subsídios e redução da poluição do ar no processo de produção de energia, e €42-88 milhares de milhões em benefícios ligados à saúde, resultantes da melhora da qualidade do ar interior [55].

Ainda sim, o potencial de economia energética deve ser acompanhado pela avaliação do desempenho quanto aos impactos ambientais que as soluções construtivas propostas podem oferecer, visto que todo material apresenta composição energética incorporada no processo de fabricação a ser agregado ao edifício reabilitado.

Essa avaliação foi demonstrada em estudo [56] envolvendo edifícios reabilitados em diferentes países europeus, através da aplicação da metodologia de análise do ciclo de vida, considerando somente as medidas que influenciaram na performance energética dos edifícios e o custo do ciclo de vida.

2.5 Conforto térmico

Conforto térmico é definido como uma condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico. A insatisfação poderá ser causada devido ao desconforto ao calor ou frio pelo corpo, expresso por exemplo, pelos índices *Predicted mean voted* (PMV) e *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) [60].

A norma ASHRAE 55 define o conforto térmico como a condição mental, que expressa a satisfação com a temperatura do ambiente em que se encontra, o que demonstra certa subjetividade, visto que a percepção térmica tende a variar entre os indivíduos, de acordo com o metabolismo, vestuário, atividade exercida, espaço em que se encontra, bem como a velocidade do ar, a temperatura radiante e humidade do ar [61].

O balanço térmico entre o organismo e o ambiente, deve-se manter estável, evitando-se a sensação de frio ou de calor, devido às diferenças de calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente, de modo a priorizar a sensação de conforto térmico, melhorar o desempenho em atividades exercidas e ainda beneficiando a poupança energética através da redução na utilização de energia com aquecimento e arrefecimento.

2.5.1 Normas conforto térmico

Conforme citado anteriormente, o conforto térmico está ligado a variáveis individuais subjetivas e variáveis ambientais, variando de acordo com as características climáticas locais e ainda com a percepção dos indivíduos envolvidos. Diante desse quadro, normas e regulamentos foram desenvolvidos de modo a possibilitar as condições necessárias para a manutenção do conforto térmico.

EN ISO 7730:2005 - Ergonomia e ambiente térmico

Utiliza os índices de conforto térmico, PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) e PMV (*Predicted Mean Vote*), além de critérios locais de desconforto térmico, para analisar e determinar o nível de conforto térmico.

EN 16798-1:2019 – Desempenho energético dos edifícios.

Define critérios para avaliação da qualidade do ambiente interior, qualidade do ar interior, luminosidade e acústica.

ASHRAE 55:2020 – Condições térmicas do ambiente para ocupação humana

Estabelece critérios de avaliação de conforto térmico, definindo uma metodologia de conforto térmico adaptativo.

Despacho n°6476-E/2021 – Aprova os requisitos mínimos de conforto térmico e de desempenho energético aplicáveis à concessão e renovação dos edifícios.

Decreto-Lei 101/2020 – Inclui o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços.

O decreto-lei 101/2020, assegurou a transposição para o direito nacional da Diretiva (EU) 2018/844 do Parlamento Europeu, para regulamentar o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), de modo a parametrizar o setor habitacional no que se refere ao consumo energético de edifícios existentes, reabilitados e novos, adoção da certificação energética, o conceito de custo ótimo numa perspetiva de ciclo de vida dos edifícios e ainda o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia.

A certificação energética dos edifícios tem como objetivo informar os cidadãos da qualidade térmica dos edifícios, de modo a permitir que os cidadãos tenham conhecimento a respeito do consumo energético das frações e edifícios através da classe do certificado energético emitido através do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e assim, poderem comparar imóveis por esse critério energético no momento de comprar, vender ou arrendar.

A Figura 1 apresenta um exemplo de um certificado energético contendo a discriminação das classes de desempenho energético, que variam de A+, sendo o mais eficiente, ao F que é o menos eficiente.

O certificado ainda apresenta de forma individualizada, a caracterização física e quantitativa dos elementos construtivos que constituem as paredes exteriores, divisórias internas, envidraçados, cobertura, pavimentos, assim como os coeficientes de transmissão térmica, acompanhados de sugestões de propostas de reabilitação energética, incluindo os valores relativos aos investimentos e às poupanças anuais aferíveis.

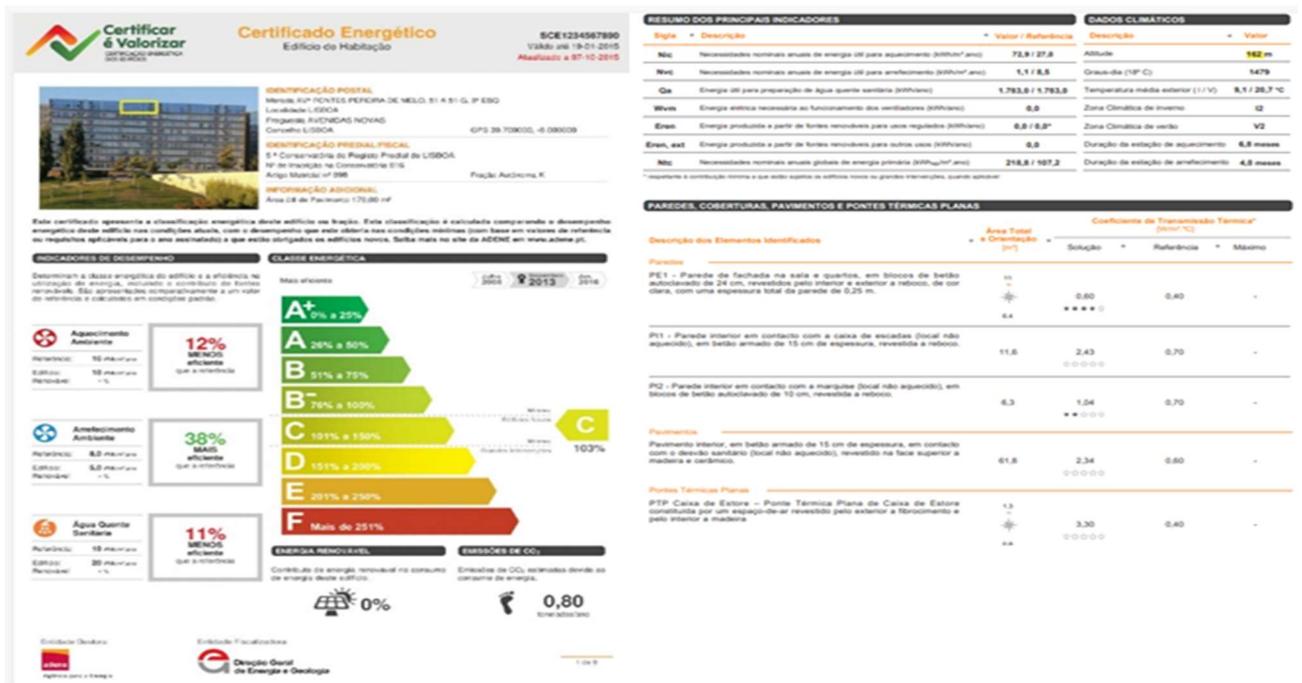


Figura 1: Exemplo de um certificado energético de habitação

A certificação é de carácter obrigatório para edifícios novos em processo de comercialização, assim como para os edifícios existentes em processos de compra, venda e arrendamento.

2.6 Dependência energética

A produção bruta de eletricidade em Portugal, relativa ao ano de 2020 é apresentada pela Direção Geral de Energia e Geologia – DGEG [62], através da matriz de fontes energéticas representada pela Figura 2.

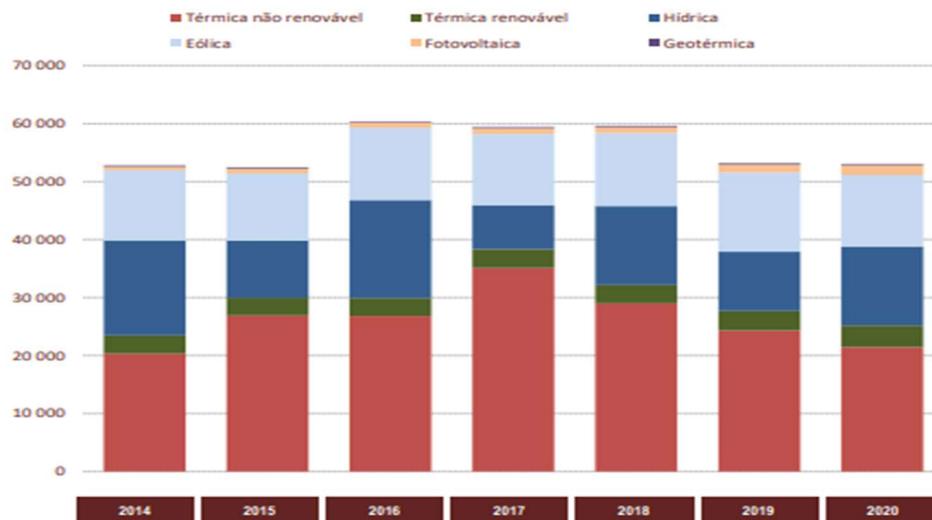


Figura 2: Produção bruta de eletricidade em Portugal – DGEG [62]

Nos dados disponíveis relativos ao balanço anual de combustíveis (Anexo 1), é possível identificar em 2020, a queda de 11,9% na utilização de fontes de energias térmicas não

renováveis em relação ao ano anterior, assim como a utilização de fontes renováveis como a hídrica, fotovoltaica e biomassa, que apresentou um aumento de 33,1%, 26% e 12,7% respetivamente. Ainda sim, Portugal enfrenta enorme dependência energética externa para suprir a necessidade energética nacional [62].

Ao analisar os dados relativos ao balanço anual de combustíveis (Anexo 1), é possível identificar a representatividade da dependência energética externa, assim como a regularidade da produção doméstica, que não sofreu variação em 2020, mesmo com os impactos da pandemia de COVID-19.

A DGEG, descreve [62] a dependência energética nacional ao mercado externo ao longo dos últimos 20 anos, decorrente da inexistência de produção nacional de fontes de energias fósseis, como petróleo e gás natural, obrigando ao Governo, importar entre 70% e 90% desses produtos que têm importante peso no consumo total de energia primária.

Com o intuito de se alterar esse quadro, foi estabelecido através do PNEC 2030 [52], a meta de se limitar em 65% a importação de combustíveis, através do investimento em produção de energia através de fontes renováveis e na eficiência energética, que já possibilitou baixar a dependência energética para patamares inferiores a 80%.

O regime higrólógico apresenta variabilidade, que interfere na geração das centrais hidrelétricas e conseqüentemente, na maior ou menor necessidade de importação energética. Na Figura 3, é possível identificar essa correlação entre geração e importação, em especial nos anos de 2017 e 2018, visto que enquanto os índices de hidraulicidade foram 4,7 e 1,05, os índices de dependência energética foram de 77,7% e 75,9%. Ou seja, quanto maior o índice de hidraulicidade, menor o índice de dependência energética [63].



Figura 3: Evolução da dependência energética de Portugal – DGEG [63]

2.7 Consumo de energia do Parque imobiliário português

Segundo levantamento apresentado pela União Europeia, o setor imobiliário é responsável por cerca de 36% de todas as emissões de CO₂ na União Europeia, assim como 40% da energia total consumida. Ainda segundo esse levantamento, quase 50% da energia final consumida pela União Europeia é utilizada para aquecimento e arrefecimento, sendo que 80% desta é utilizada em edifícios [64].

Em 2020, o parque imobiliário português representou 32,9% do consumo final de energia, superando o setor industrial com 28,8% e o setor de transportes com 32,6%, o que corresponde à maior parte de consumo energético entre os setores de atividade económica, conforme demonstrado na Figura 4 [65].

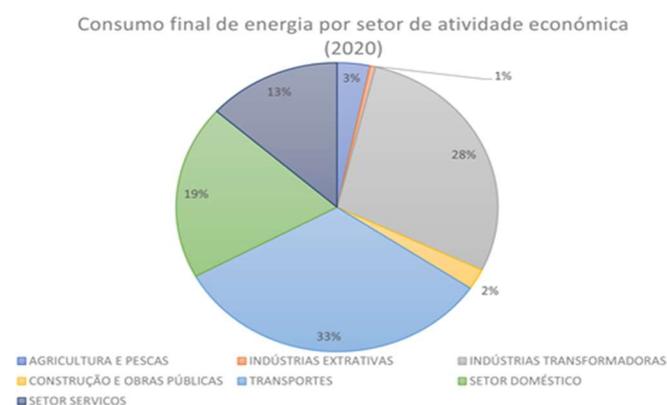


Figura 4: Consumo final de energia por setor de atividade – DGEG [65]

Os combustíveis que abastecem o parque imobiliário, são descritos na Figura 5, com destaque à representatividade da Eletricidade, Biomassa e GPL para o setor, assim como o aumento nos níveis de consumo de todos os combustíveis em 2020, quando comparado ao ano de 2019.

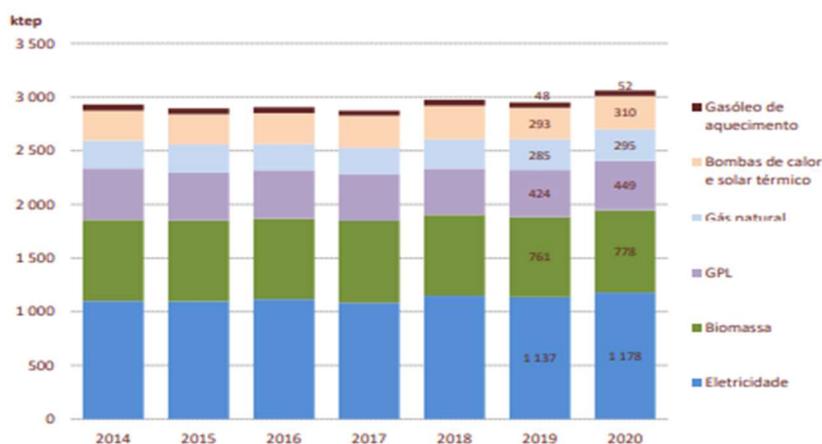


Figura 5: Representatividade combustíveis utilizados no parque imobiliário português

O consumo de Biomassa como combustível apresenta grande representatividade, sendo destinado ao aquecimento de ambientes através de lareiras e fogareiros, além de fogões para confeção de alimentos, reforçando a ideia de que muitas residências não dispõem ou não utilizam sistemas de aquecimento a gás, devido à incapacidade financeira para arcar com os custos energéticos resultantes de sua utilização, assim como fogões a lenha muito utilizados em moradias isoladas.

O percentual de utilização de energias renováveis está a aumentar nos últimos anos, atingindo 33,9%, o maior valor de sempre, em 2020, ultrapassando a meta determinada na Diretiva 2009/28/CE, de 31%, conforme Figura 6 [63].

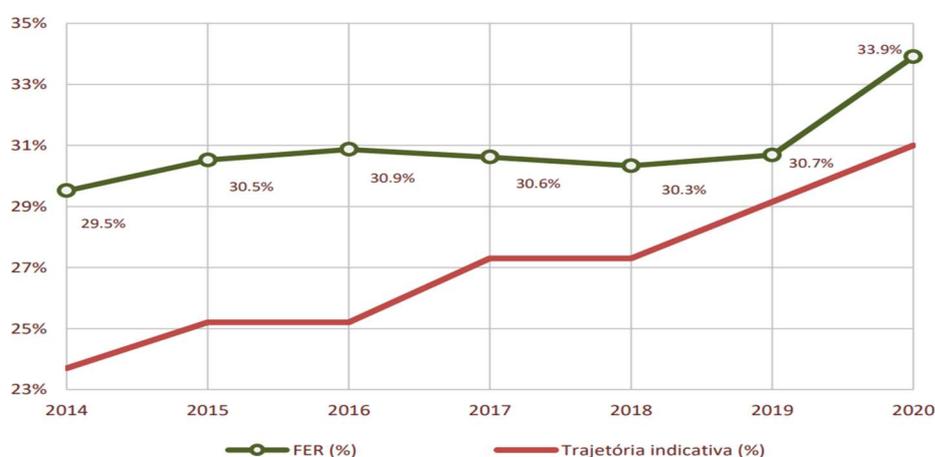


Figura 6: Consumo real energias renováveis x projeção Diretiva 2009/28/CE.

2.8 Caracterização do parque habitacional construído em Portugal

O parque habitacional português apresentava em 2011, o total de 3.544.389 edifícios clássicos existentes, em sua maioria contruídos a partir de 1971 e utilizados quase que exclusivamente para habitação 93,3%, conforme figura 7 [66].

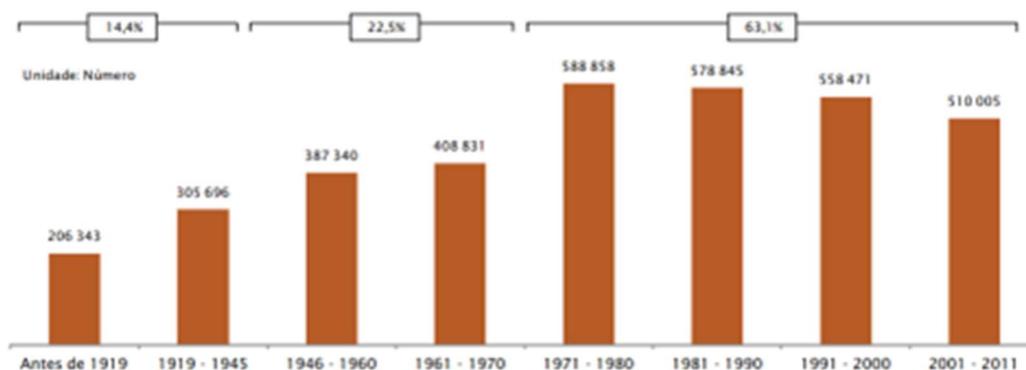


Figura 7: Número de edifícios clássicos segundo a época de construção – INE

O índice de envelhecimento do parque edificado português, definido em 176 (Anexo 2), permitiu classificar a região de acordo com o grau de envelhecimento dos edifícios, resultando na identificação dos maiores índices de envelhecimento nas regiões interiores em comparação às regiões litorâneas [66].

A baixa altura do parque habitacional português, representada por edifícios com até 02 pisos em 84,9% do total dos edifícios clássicos até 1970, está a ser reduzida ao longo dos anos, devido ao aumento de 17,3% na construção de edifícios com 03 pisos ou mais pisos, representando 24,4% em 2011, conforme figura 8 [66].

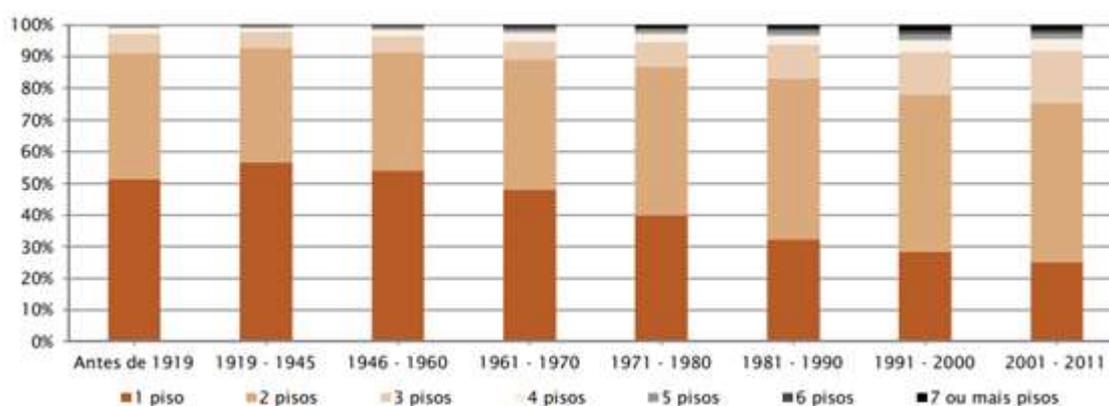


Figura 8: Distribuição de edifícios clássicos segundo número de pisos

A distribuição dos edifícios regionalmente é caracterizada pela predominância de edifícios com até 2 pisos em todas as regiões, com exceção à Grande Lisboa e Serra da Estrela, em que se identificam mais elevadas quantidades de edifícios com mais de 2 pisos [66].

Todas as regiões apresentaram mais de 80% dos edifícios com apenas 1 alojamento, com exceção à regiões de Grande Lisboa, Grande Porto e Península de Setúbal, que registaram 60,7%, 75,4% e 77,3% respetivamente [66].

Em comparação aos dados relativos ao Censos 2001, quase metade dos edifícios tinha estrutura de betão armado em alternativa à utilização de sistemas de paredes de alvenaria com ou sem placas e paredes de alvenaria de pedras soltas ou adobe, muito utilizadas até então na zona sul e interior Centro do País como no Baixo Alentejo e no Alentejo Litoral, por exemplo [66].

A utilização do sistema de estrutura de betão armado, também está relacionada ao aumento do número de pisos dos edifícios novos, passando dos 38,2% nos edifícios com 01 piso, para 95,6% nos edifícios com 7 ou mais pisos [66].

As paredes de alvenaria sofreram variações ao longo dos anos, passando de sistema de fachadas simples em granito ou blocos de betão ou tijolos cerâmicos, para o sistema de paredes duplas compostas por materiais diversos, como blocos de betão, tijolos cerâmicos, gesso, com caixa de ar e introdução de materiais isolantes térmicos, conforme Figura 9 [66].

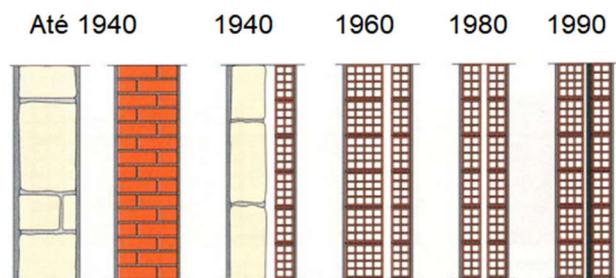


Figura 9: Ilustração da evolução dos sistemas construtivos residenciais portugueses [66]

Em 2011 os edifícios clássicos com até 3 pisos, predominantemente apresentavam as paredes de fachadas exteriores, em sua maioria compostas por revestimento exterior em reboco tradicional e marmorite, enquanto nos edifícios com 4 pisos ou mais, é possível identificar maior presença de revestimentos em ladrilho cerâmico ou mosaico e ainda a caracterização do edificado português ao revestimento exterior utilizado em fachada exterior, conforme Figura 10 [66].

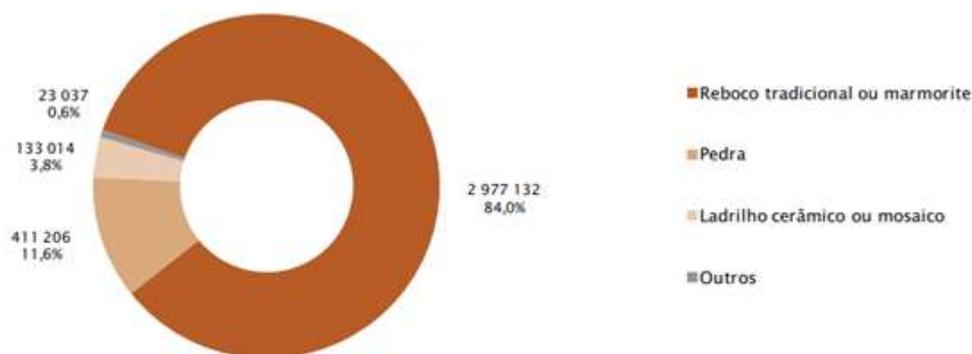


Figura 10: Caracterização revestimento exterior parede fachada [66]

Os envidraçados, que até os anos 70, eram compostos por caixilharias em madeira e envidraçados simples de 4 mm, foram substituídos pelos caixilhos de alumínio e envidraçados simples até os anos 90, quando se passou a utilizar os caixilhos em alumínio com vidros duplos e caixa de ar [66].

Com relação às coberturas, 93% dos edifícios clássicos apresentam coberturas inclinadas e revestidas por telhas cerâmicas ou de betão, sendo identificado o aumento de utilização de cobertura em terraço, em edifícios com mais de 4 pisos, atingindo o maior volume em edifícios com mais de 7 pisos [66].

Os alojamentos familiares clássicos, ocupados como residência habitual, apresentaram áreas úteis entre 60m² e 119m² em 52,2% dos alojamentos, com destaque aos alojamentos com áreas entre 80m² e 99m², que representaram 19,9% conforme a figura 11 [66].

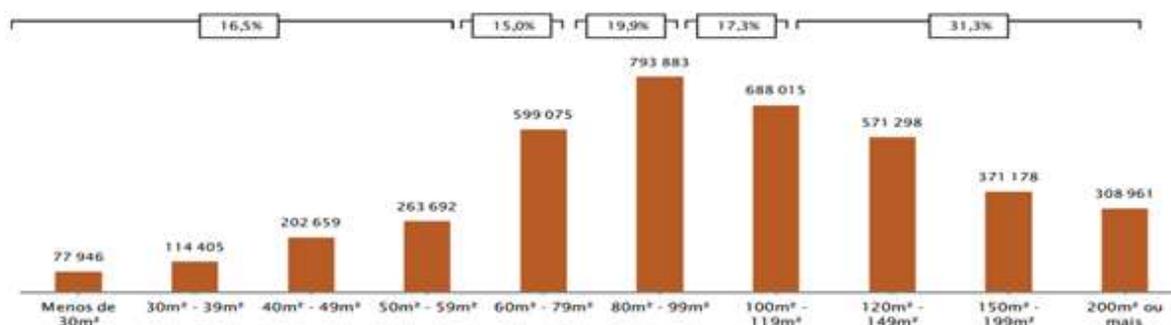


Figura 11: Nº de alojamentos familiares clássicos, segundo o escalão de área útil

A área útil média dos alojamentos familiares clássicos, foi de aproximadamente 109,1m², sendo o terceiro maior valor dentro os Estados Membros da União Europeia [66].

Os inquéritos mostram que 28,9% dos edifícios apresentam alguma necessidade de intervenção seja ao nível de simples reparações em pontos de infiltração, bolores e condensação, até grandes reparações em elementos já muito degradados e que impactam na qualidade de vida dos residentes (figura 12).

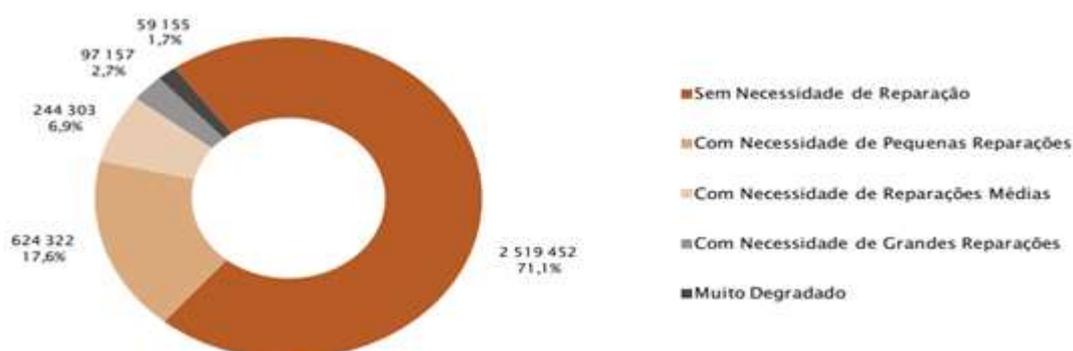


Figura 12: Caracterização estado de conservação edifícios [66]

Ao avaliar o quantitativo de edifícios que apresentavam alguma necessidade de intervenção, foram identificadas as maiores concentrações dos edifícios, nas regiões do Douro, Pinhal do Sul, Pinhal Interior Norte e Grande Porto, enquanto as menores concentrações foram identificadas nas regiões da Região Autónoma dos Açores, Minho-Lima, Alentejo-Central e Algarve [66].

Ainda foi possível identificar uma maior prevalência de patologias, nos edifícios construídos até 1970 com até 2 pisos (Figura 13), assim como a gradual melhoria no estado de conservação dos edifícios construídos nos anos seguintes (Figura 14) [66].

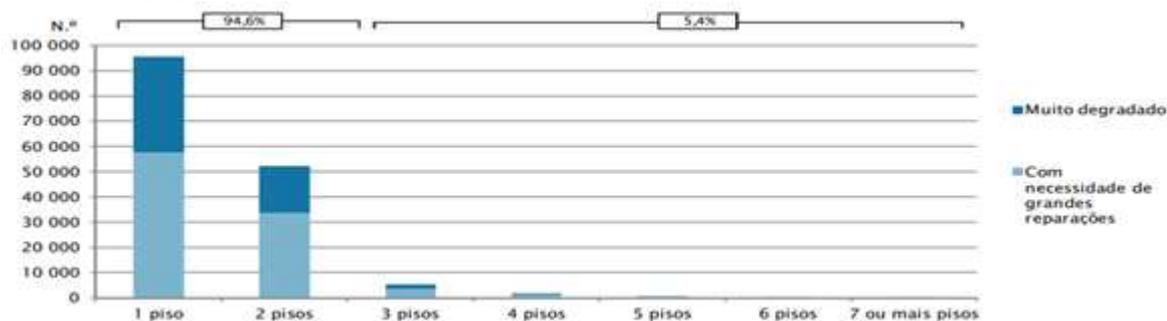
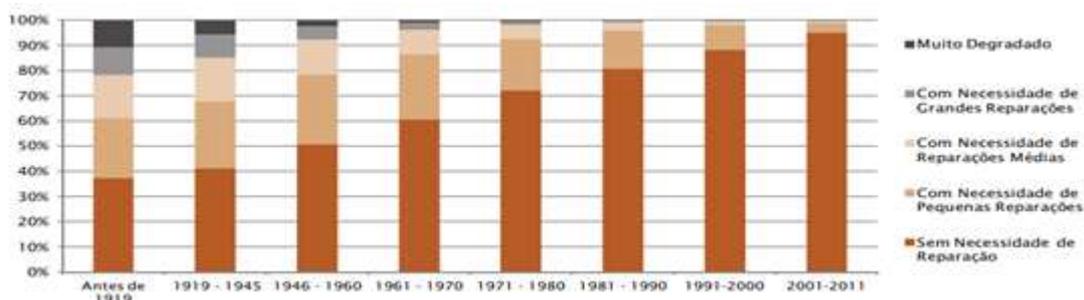


Figura 13: Degradação de edifícios de acordo com número de pisos [66]

Figura 14: Estado de conservação de edifícios de acordo com o ano de construção – Censos 2011



O estado de conservação dos edifícios com estrutura de betão armado ou alvenaria com placa, apresentou-se em melhores condições, quando comparado ao estado de conservação dos edifícios com estrutura em alvenaria sem placa, pedra solta ou adobe (Figura 15) [66].

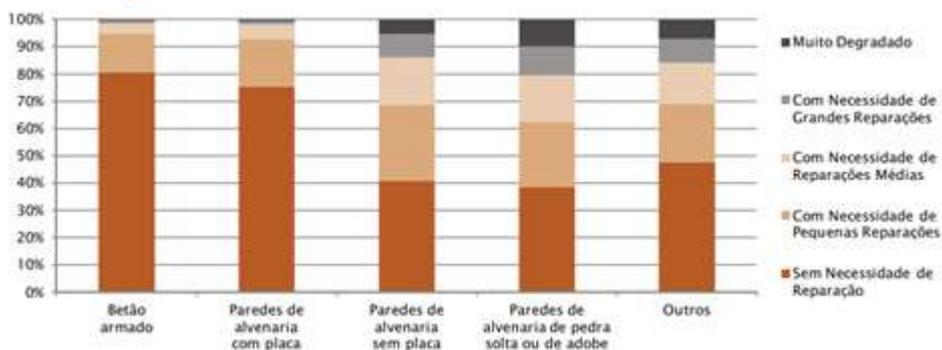


Figura 15: Distribuição de edifícios clássicos segundo estado de conservação dos mesmos [66]

O estado de conservação está diretamente ligado ao tipo de proprietário, visto que os alojamentos pertencentes ao Estado, Institutos públicos, Autarquias locais e Cooperativas habitacionais, apresentaram pior estado de conservação em comparação aos alojamentos privados (Figura 16) [66].

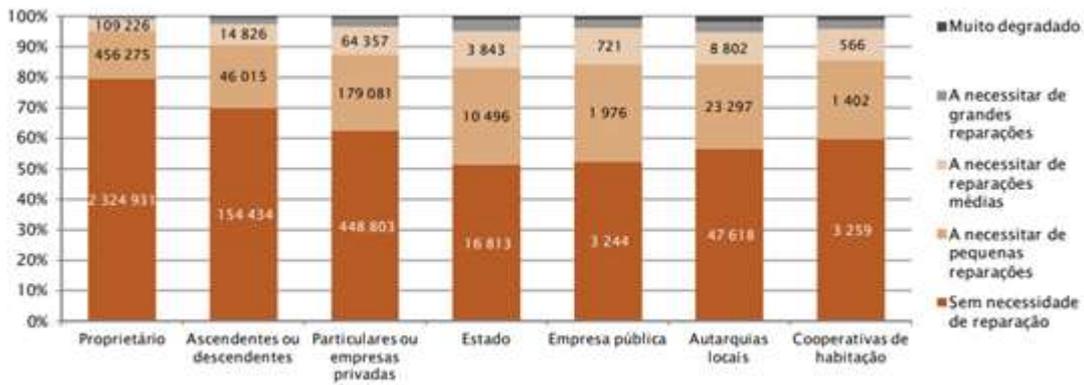


Figura 16: Distribuição de alojamentos familiares clássicos, ocupados segundo entidade proprietária, por estado de conservação [66]

O estado de conservação é diretamente proporcional ao valor do encargo de compra (Figura 17) e da renda de arrendamento mensal (Figura 18), apresentando redução do estado de conservação de acordo com a redução de encargos e rendas mensais [66].



Figura 17: Distribuição de alojamentos familiares clássicos, segundo encargo por compra [66]

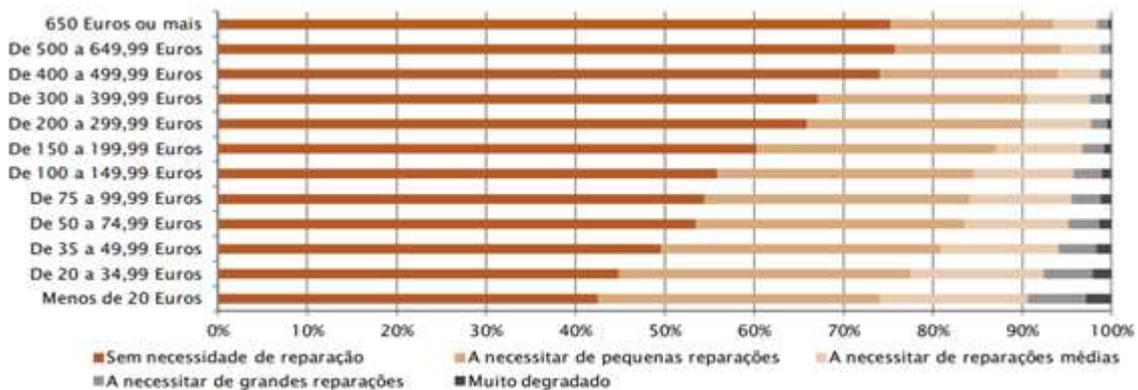


Figura 18: Distribuição de alojamentos familiares clássicos, segundo encargo por renda [66]

Os aparelhos de aquecimento móvel e fixo, foram identificados em 48,7% dos alojamentos familiares clássicos, seguidos por lareiras e recuperadores de calor em 26,6% dos alojamentos e aquecimento central em 10,7% dos alojamentos, restando 14% sem qualquer sistema de aquecimento (Figura 19) [66].

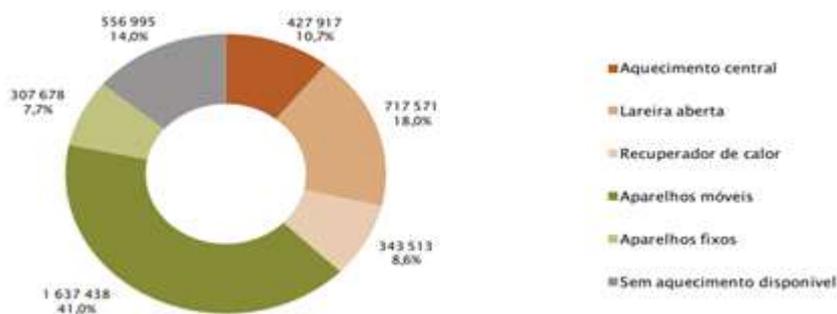


Figura 19: Distribuição edifícios clássicos quanto à utilização de Sistemas de aquecimento [66]

Em 86% dos alojamentos familiares clássicos, foram identificados sistemas de aquecimento, que variaram regionalmente em relação ao tipo, sendo as principais diferenças entre lareiras abertas e aparelhos móveis [66].

Com relação à fonte de energia, a eletricidade era utilizada em 53,4% dos alojamentos clássicos com sistema de aquecimento, enquanto a biomassa era utilizada em 34,1% e combustíveis gasosos em 8,6% dos alojamentos (figura 20) [66].

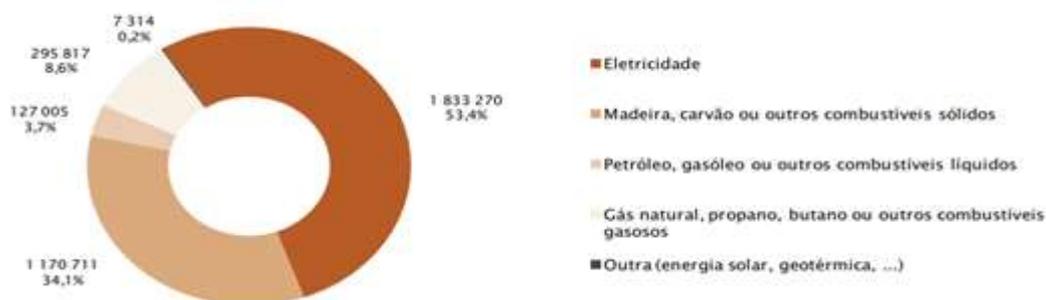


Figura 20: Número de alojamentos familiares clássicos, segundo a fonte de energia utilizada para aquecimento [66]

A fonte de energia utilizada nos sistemas de aquecimento dos alojamentos clássicos, apresentou variação regional, com destaque à menor utilização de eletricidade nas regiões do Norte em contraste com a maior utilização da eletricidade na Grande Lisboa [66].

Com relação a utilização de sistemas de arrefecimento, foi identificado no Censos 2011, que apenas 10,2% dos alojamentos familiares clássicos, dispunham de equipamentos de ar condicionado, em sua maioria, localizados nas regiões do Alentejo e Algarve (Figura 21) [66].

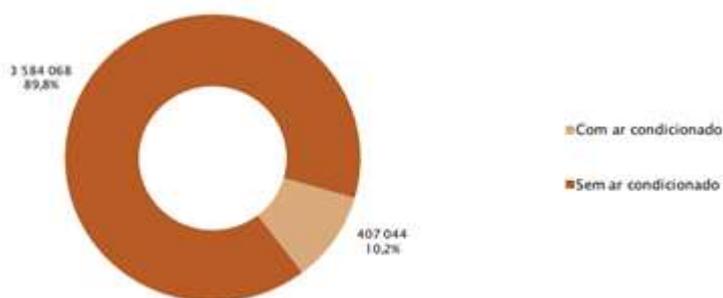


Figura 21: Número de alojamentos familiares ocupados segundo a existência de ar condicionado [66]

2.9 Carência habitacional

Conforme citado anteriormente, foi identificada em 2001 a necessidade de 170.279 alojamentos, assim como a disponibilidade de 185.509 alojamentos vagos distribuídos de forma irregular pelas regiões do País. Esse quadro foi alterado em 2011, através da evolução da construção promovida entre 2001 e 2011, que reduziu a carência habitacional em 22,1% em nível nacional [66].

Com relação às condições de habitabilidade dos alojamentos, foram avaliados os índices de lotação, necessidade de infraestruturas básicas e de alojamento em edifícios muito degradados. Em 2011, apenas 27,1% dos alojamentos foram considerados adequados ao número de residentes, enquanto 56,9% dos alojamentos se apresentavam sublotados e 16% sobrelotados, correspondendo ao aumento de 28,2% e a redução de 20,8%, respetivamente em relação aos dados de 2001 [66].

Foi constatado, que 18.297 alojamentos familiares clássicos utilizados como residência habitual, encontravam-se integrados em edifícios muito degradados, localizados em sua maioria, nas regiões Norte e de Lisboa [66].

A falta de pelo menos uma infraestrutura básica, envolvendo água canalizada, eletricidade, retrete, duche e sistema de esgotos, foi identificada em 76.581 alojamentos, sendo a falta de duche e de sanita, as maiores carências identificadas, na sua maioria, em edifícios construídos antes de 1961 [66].

A redução do número de alojamentos familiares com carência de infraestruturas básicas, deveu-se a realização de obras de reabilitação, pela construção de novos edifícios, assim como a redução do número de alojamentos em edifícios mais antigos [66].

2.10 Caracterização da habitação social em Portugal

De acordo com publicação do INE, a respeito de inquérito para a caracterização da habitação social em Portugal [67], havia 120.000 fogos de habitação social inseridos em 26,2 mil edifícios no País, na sua maioria construídos entre os anos 1960 e 1980, divididos entre entidades proprietárias e gestoras de habitação social. Dentro desse universo, há apartamentos privados arrendados pelas entidades proprietárias, para destiná-los ao arrendamento social para a população carenciada.

Esse quantitativo representaria 1.157 fogos de habitação social por 100 mil habitantes e 1 fogo de habitação social por 50 fogos residenciais, tendo a Região Autónoma da Madeira, o maior número de fogos sociais por 100 mil habitantes (2.143), em contraponto à região Centro (354 fogos), (Figura 22) [67].

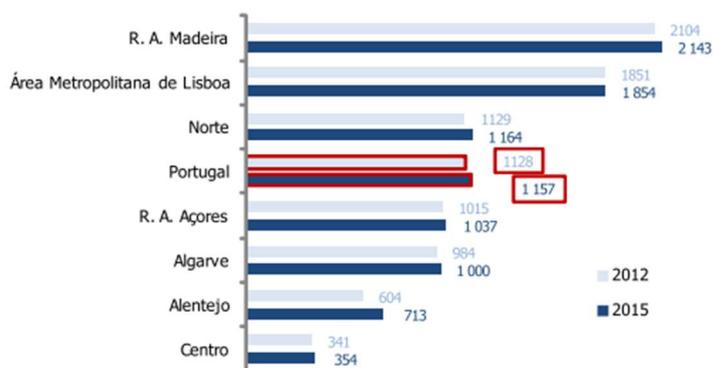


Figura 22: Fogos de habitação social por 100 mil habitantes (2012 e 2015) [67]

Ainda de acordo com o INE, 78,9% dos fogos correspondiam a tipologias T2 e T3, comprovando um aumento das dimensões dos fogos em relação aos fogos de tipologia T0 e T1, em comparação aos valores identificados no levantamento realizado em 2012 (Figura 23) [67].

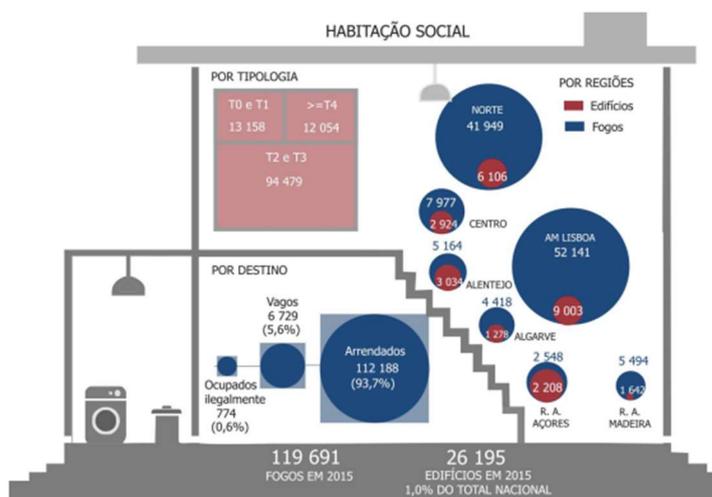


Figura 23: Caracterização habitação social em Portugal [67]

Em 2015 foi registrada a prevalência de arrendamento pelo regime de rendas apoiadas, representando 51,6% do total, sendo seguido pelo regime de renda social, representando 24,9% do total de contratos celebrados [67].

Com relação aos contratos celebrados, os mesmos apresentaram valores médios de renda de €56, apresentando valores de €40 no Alentejo, €57 no Centro, €60 no Norte, €55 na Região Autónoma da Madeira e Açores, €69 no Algarve e €71 na Área Metropolitana de Lisboa (figura 24) [67].

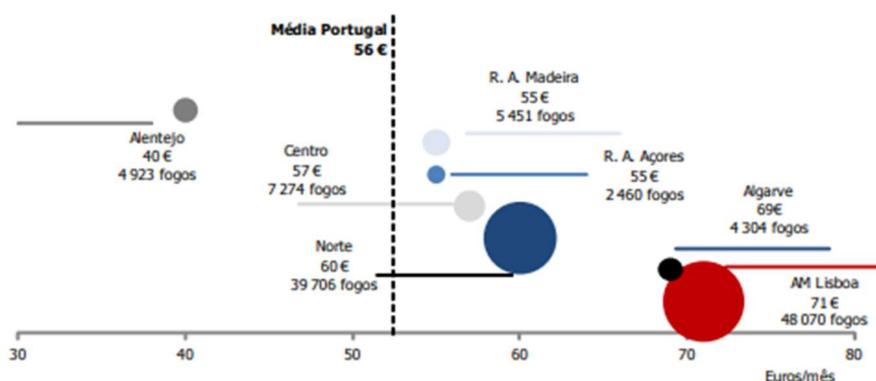


Figura 24: Renda mensal de habitação social e quantitativo de fogos arrendados [67]

O movimento financeiro do setor habitacional social nacional considera a cobrança de rendas dos contratos de arrendamento e vendas de fogos, descontando-se as despesas relacionadas às obras de manutenção, de reabilitação e despesas administrativas, apresentando lucro de €15 milhões (Tabela 6) [67].

Tabela 6: Receitas e despesas em € milhões com o parque habitacional social, por NUT II – 2015

Região (NUTS II)	Receita		Despesa efetuada em obras de conservação e/ou reabilitação	Valor dos encargos fixos
	das rendas cobradas	da venda de fogos		
Portugal - 2012	66318	14690	47899	8936
Portugal - 2015	68092	4909	47830	10345
Norte	24155	550	18956	2701
Centro	3199	214	1125	408
Área metropolitana de Lisboa	31827	3689	20871	4834
Alentejo	2643	387	1051	798
Algarve	2219	68	3534	444
R.A. Açores	731	0	1105	161
R.A. Madeira	3317	0	1189	999

Vale ressaltar, que a maioria dos moradores dos bairros sociais é beneficiária do Regime de Apoio Social Extraordinário ao Consumidor de Energia (ASECE), aos consumos de energia elétrica e de gás, através de tarifas energéticas reduzidas por serem enquadrados na categoria de vulneráveis, ou titulares de contratos com potência até 4,6 kVA [68].

Esse benefício social pago a mais de 630 mil pessoas em Portugal, diretamente através de descontos nas faturas energéticas, é suportado pelos demais clientes não enquadrados como beneficiários. Ainda sim, foi verificada a taxa de incumprimento acumulada em €80 milhões pelo setor, valor inclusive superior ao auferido através da cobrança de rendas e vendas de imóveis (figura 25) [67].

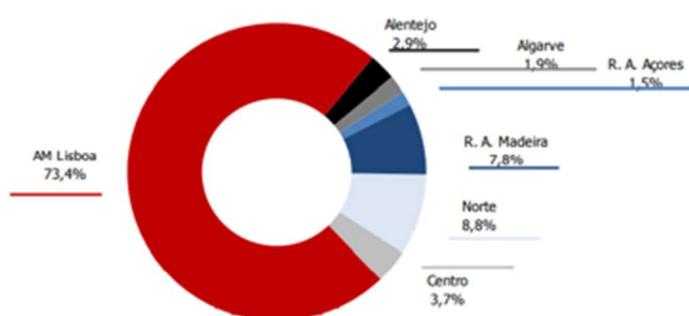


Figura 25: Distribuição de rendas em dívidas por NUTS II [67]

O Governo tem responsabilidade no que se refere aos resultados financeiros do setor habitacional social privado, visto que as políticas públicas que incluem sucessivos congelamentos das rendas e o carácter vinculístico dos contratos de arrendamento, que abarcam contratos de rendas condicionadas, cuja representatividade atinge 34% do mercado de arrendamento, contribuem para a incapacidade financeira dos senhorios, impossibilitados de alterarem contratos firmados antes de 1990, com inquilinos que aleguem deficiências superiores a 60% ou idade superior a 65 anos [69].

Os contratos passam a ser classificados como “vitalícios”, visto que na falta de acordo entre as partes, cabe ao inquilino a responsabilidade de garantir o realojamento do arrendatário em condições análogas às anteriores, contribuindo para a degradação do seu património edificado [70].

A reduzida renda dos contratos de arrendamento habitacional, resultante das políticas habitacionais [71], influencia não somente no estado de conservação do património edificado privado, mas também no património edificado público.

Essa realidade é confirmada ao se avaliar as condições enfrentadas por empresas proprietárias e entidades gestoras de habitação social, principalmente nos pequenos e médios concelhos, como o Concelho de Braga, por exemplo.

A Bragahabit, entidade gestora habitacional no Concelho de Braga tem sob sua responsabilidade 429 fogos divididos em 4 bairros sociais e 192 fogos dispersos pela cidade para subarrendamento, mas encontra-se impossibilitada de arcar com os custos financeiros para a realização de intervenções ligadas à conservação e reabilitação, somente realizando intervenções urgentes para a garantia das condições mínimas de habitabilidade [72].

Em seu planeamento plurianual 2015-2018 [72], a Bragahabit descreve a situação financeira da seguinte forma: “a Bragahabit atesta sua incapacidade financeira para realização de investimentos em reparações, antes lembrando do incumprimento no pagamento das rendas no patamar de 40% (Tabela 07).

Os gastos em conservação e manutenção foram drasticamente diminuídos em 2014, não só atendendo a ausência de métodos e procedimentos aplicáveis às escolhas de obras realizadas, mas, e sobretudo, porque a Bragahabit, EM não dispõe de momento de meios financeiros para tal” [72].

Tabela 7: Demonstrativo de gastos em conservação e reparação de património Bragahabit [72]

Planeamento plurianual 2015-2018 - Bragahabit	Contas 2012		Contas 2013		Contas 2015
	Despesas	Aumento	Despesas	Rácio	Receita
Conservação e Reparação	€64.401,75	30%	€83.573,84	40%	
Receita 2015					€50.000,00

A gestão dos bairros sociais e de fogos arrendados no mercado para subarrendamento, é realizada dentro de previsões orçamentárias plurianuais deficitárias devido ao incumprimento de 40% dos recebimentos, para fazerem frente às despesas como salários, combustíveis, suprimentos, despesas administrativas, serviços sociais entre outras despesas, que em muitos casos, exigem a comparticipação das Câmaras Municipais para readequar o equilíbrio económico e financeiro dessas empresas, mediante o pagamento de indenização compensatória (Tabela 8) [73].

Tabela 8: Demonstrativo orçamento plurianual Bragahabit 2015-2018 [73]

Planeamento plurianual - Bragahabit	Contas 2012		Contas 2013		Contas 2015
	Crédito	Aumento	Crédito	Aumento	Crédito
Indenização Compensatória	€1.140.084,00	6,24%	€1.215.951,12	6,47%	€1.300.000,00

A equação envolvendo os Bairros Sociais e seus edifícios antigos com diversas patologias e manutenções a serem realizadas, reduzida receita de arrendamento e elevada taxa de incumprimento por parte dos inquilinos, não é sustentável e muitas vezes impossibilita a realização de investimentos em projetos de reabilitação dos edifícios, de modo a melhorar as condições internas de conforto nos edifícios e reduzir a situação de pobreza energética, em que se encontram seus moradores, reforçando a necessidade da adoção de medidas de reabilitação energética duráveis e que apresentem reduzidos custos de manutenção periódica.

2.11 Reabilitação Energética dos bairros sociais

Estudos científicos [55,74] identificaram na renovação energética da envolvente das habitações, em especial das paredes exteriores, envidraçados e coberturas, o maior potencial de poupança energética através da redução das necessidades energéticas para a manutenção da temperatura de conforto, com consequente impacto nos efeitos da pobreza energética, na qualidade do ar interior, na melhoria da qualidade de vida dos residentes, nas despesas públicas e na poupança financeira resultante da redução dos gastos com a contratação de serviços energéticos [74,75], inclusive estimando os custos envolvidos na renovação energética de edifícios em larga escala [76].

Ainda sim, a aplicação de toda e qualquer medida para reabilitação energética dos bairros sociais, exige o conhecimento da real dimensão com que o setor de habitação social é afetado pelo fenómeno da Pobreza Energética, o que é dificultado, pela inexistência de padrões construtivos em âmbito nacional, sendo necessário utilizar ferramentas e métodos de simulação que permitam categorizar o consumo energético e as emissões de CO₂ do setor, conhecer estudos científicos que proponham soluções construtivas energeticamente eficientes, boas práticas adotadas pelo mercado e adequadas à caracterização climática de cada região do País.

Dentro dos métodos de modelação, a literatura descreve dois métodos utilizados para analisar o desempenho energético dos edifícios e as emissões de CO₂. O “*top-down*” e o “*bottom-up*”, que será utilizado no estudo de caso dessa dissertação [77].

2.11.1 Top-Down

A modelação *top-down*, atua em nível agregado de informações relativas a uma determinada série histórica de consumo energético nacional ou de emissões de CO₂, sendo mais utilizada para investigar a inter-relação entre o setor energético e a economia como um todo [78].

É baseada no consumo energético em relação a variáveis como rendimento, preços de combustíveis e produto interno bruto, para expressar a conexão entre o setor de energia e a produção económica.

No estudo [78] é apresentado como exemplo, o desenvolvimento de modelo para avaliar o consumo energético residencial no Reino Unido desde 1970, através da relação do preço anual da energia fornecida e da temperatura, o que permite aos formuladores de políticas públicas avaliarem se o consumo anual é o adequado ou se deverá ser realizada intervenção no sentido de adequá-lo.

Outro estudo [79], afirma que a modelação *top-down*, não distingue o consumo energético devido ao seu uso final, caracterizando o total do consumo energético do setor residencial.

2.11.2 Bottom-Up

A modelação *bottom-up*, atua em nível hierárquico de componentes desagregados, de modo a combina-los de acordo com estimativas dos impactos individuais de cada agregado na energia utilizada. É necessário consultar um extenso banco de dados empíricos, para suportar a descrição das características dos componentes [77].

A caracterização física dos edifícios baseada nas técnicas de modelação geométrica, é realizada mediante análise de grande amostragem nacional de edifícios e metodologia para cálculo de consumo energético. Além do mais, são necessárias informações mensuráveis a respeito de variáveis como a eficiência e características do sistema de aquecimento, informações sobre os diferentes componentes construtivos, como paredes, cobertura ou portas, e respetivos coeficientes de transmissão térmica, temperatura interior e taxa de ventilação [78].

A combinação entre a caracterização física dos edifícios e dados de pesquisas habitacionais, permite estimar o consumo energético dos edifícios em diferentes cenários, demonstrando ter maior potencial para identificar os impactos de medidas específicas de redução de geração de carbono sobre a procura global de energia [78].

A construção de edifícios sociais não segue necessariamente um padrão nacional, seja em relação às características de projeto, tipologia, métodos construtivos, tecnologias aplicadas, de modo que se mostra necessária, a adoção de metodologias para determinar a representatividade do parque habitacional social, desempenho energético e emissão de CO₂ em âmbito nacional.

Diante dessa ausência de padrão, uma ferramenta *on-line* foi desenvolvida no âmbito do Projeto Tábula [80], através de um banco de dados relativos à tipologia de edifícios mais significativas em 25 países em território europeu, com ênfase nos dados de desempenho energético dos edifícios, tipologia, consumo energético, permitindo assim, a comparação entre tipologias semelhantes em diversos países (Anexo 3), tornando-se uma importante base de dados para pesquisadores científicos e Governos interessados na caracterização do fenómeno nos bairros sociais [81].

2.12 Justificativa para nova abordagem da pobreza energética

Os estudos abordados no Estado da Arte, apresentam os fatores que influenciam na prevalência do fenómeno da pobreza energética em edifícios energeticamente ineficientes, seus efeitos sobre os residentes destes edifícios, sobre a sociedade através dos planos de investimentos financeiros públicos para mitigar seus efeitos, assim como propõem a reabilitação energética de edifícios, como a mais eficiente medida para reduzir os impactos da pobreza energética.

No entanto, não foi identificado estudo aplicado à realidade do parque habitacional social português, que tenha utilizado indicadores de pobreza energética, através de metodologia multicritério, para identificar as melhores soluções construtivas a serem aplicadas em reabilitação energética de edifícios ineficientes energeticamente, assim como identificar o potencial de redução das necessidades energéticas destes edifícios, que influenciará na redução da pobreza energética. Com o intuito de preencher esta lacuna, foi desenvolvido o estudo descrito nesta dissertação.

Capítulo 3. Metodologia

Os capítulos anteriores apresentaram a contextualização e o estado da arte relacionado a pobreza energética, suas causas, seus impactos e orientações da União Europeia para que os Estados Membros adotem medidas no sentido de mitigar os efeitos da Pobreza Energética, além da caracterização do parque imobiliário português e da população mais vulnerável ao fenómeno da pobreza energética.

Este capítulo, apresentará a metodologia adotada para caracterizar o desempenho energético de edifícios localizados em bairros sociais portugueses, através de *software* de simulação energética dinâmica, metodologia multicritério e indicador de pobreza energética 10%.

3.1 Ferramentas de apoio ao projeto

É na fase de elaboração do projeto, que se deve considerar os custos de aquisição de material e implantação, os índices de desempenho a serem atendidos, aos impactos ambientais incorporados ao longo de toda a cadeia produtiva dos materiais e ao longo do ciclo de vida do edifício, o que é extremamente complexo de se obter, sem a ferramenta adequada.

Nesse sentido, é possível escolher dentre algumas metodologias disponíveis no mercado, sendo as mais utilizadas a *“Building Research Establishment Environmental Assessment Method* [82] a WELL, criada pela *International Well Building Institute* [83] e LEED [84] criada pelo *The United States Green Building Council* [85] e o SBTool, criado pelo *International Initiative for a Sustainable Built Environment* [86].

São metodologias voluntárias, podendo ser contratadas pelos intervenientes envolvidos na elaboração do projeto, como o dono da obra, o construtor, ou investidores, através de profissionais que atuam como facilitadores ao longo do processo de auditoria a ser realizado ao longo da execução da obra, com foco a atender ao projeto elaborado e de acordo com o nível de certificação ambiental desejado.

3.1.1 Metodologias de avaliação multicritério

Há no mercado, metodologias voluntárias de avaliação multicritério, que permitem a utilização de indicadores variados no sentido de se caracterizar o desempenho energético ao longo do ciclo de vida dos edifícios, a Pobreza Energética e a qualidade do ar interior dos edifícios.

A metodologia ALDREN [41], avalia a eficiência energética, a qualidade do ar interior e a variação de valor económico do edifício, aferidos antes e após sua reabilitação. Esta metodologia está a ser utilizada no âmbito do Projeto ARCAS, para caracterizar edifícios sociais

quanto ao desempenho energético de acordo com o índice TAIL – ALDREN, através da utilização de equipamentos e sensores para avaliação de indicadores que permitam caracteriza-los quanto ao desempenho térmico, sonoro, qualidade do ar interior e luminoso.

A metodologia LEVEL [87], utiliza indicadores comuns baseados no ciclo de vida dos edifícios para avaliar o desempenho ambiental através da eficiência na utilização de água, utilização circular e eficiente de materiais, emissões de gases poluentes, espaços saudáveis e confortáveis, resiliência à alterações climáticas e otimização de custos.

A metodologia WELL [88], é um sistema de pontuação dinâmico para edifícios, que permite identificar, medir e monitorizar as características dos espaços construídos que impactam na saúde e bem estar dos ocupantes.

3.1.1.1 Metodologias de avaliação de sustentabilidade

O processo de avaliação de sustentabilidade de edifícios através de metodologias como a BREEM e LEED ou o SBTool, exige considerável investimento financeiro por parte dos contratantes, em um processo moroso de auditoria constante ao longo de todo o processo construtivo.

Esse processo resultará em benefícios justificáveis para construções como edifícios comerciais, hospitais, centros de exposições, arenas multiuso, edifícios públicos, mas que talvez não se justifiquem economicamente, para obras de habitação social devido ao orçamento deficitário das empresas gestoras, já demonstrado anteriormente, além do baixo nível de investimento em soluções construtivas para atender aos níveis básicos exigidos pelas entidades certificadoras já citadas.

Metodologia MARS

O desenvolvimento da metodologia MARS, foi um processo natural advindo da larga utilização de metodologias consagradas mundialmente como BREEAM, LEED, WELL e SBTool, no processo de avaliação do desempenho ambiental de soluções construtivas aplicadas em projetos de edificações (LEED), bairros inteiros (LEED), obras de infraestrutura (BREEAM) e considerando ainda o impacto dos empreendimentos no bem-estar e saúde de seus ocupantes (WELL) [89].

Segundo os autores [89], as metodologias existentes para avaliação global de desempenho ambiental dos edifícios, exigem a análise de um conjunto alargado de parâmetros, incluindo

o nível de sustentabilidade de soluções construtivas, produtos e materiais, cujos valores são muitas vezes difíceis de se obter com rigor.

Neste sentido, a Metodologia MARS, constituiu-se como uma ferramenta eficaz na análise de diversos parâmetros nas três dimensões de sustentabilidade aplicados a 1m² de solução construtiva ao longo do seu ciclo de vida, de modo a permitir ao projetista, identificar as soluções construtivas mais sustentáveis, funcionais e economicamente viáveis de serem implementadas em comparação à solução de referência, através da atribuição de uma Nota Sustentável.

Os autores [89] afirmam que o número de parâmetros avaliados através da Metodologia MARS (Tabela 9), pode ser adequado em função dos objetivos da avaliação, das características das soluções construtivas, das exigências funcionais e dados disponíveis, permitindo assim, que a avaliação atenda aos interesses particulares de cada projeto.

Tabela 9: Exemplos de parâmetros avaliados através da Metodologia MARS [89]

Parâmetros		
Ambiental	Funcional	Económico
Potencial de aquecimento global	Isolamento sonoro a sons de condução aérea	Custo de construção
Energia primária incorporada	Isolamento sonoro a sons de percussão	Custo de manutenção
Conteúdo reciclado	Isolamento térmico	Custo de reabilitação
Potencial de reciclagem	Durabilidade	Custo de desmantelamento / demolição
Reservas remanescentes de matéria-prima	Comportamento ao fogo	Valor residual
Quantidade de matéria / recursos naturais utilizados	Flexibilidade de utilização Económico	Custo de tratamento para devolução ao ambiente natural

Neste sentido, os autores [90] desenvolveram uma base de dados onde foram quantificadas categorias de impactos ambientais das soluções construtivas mais utilizadas em Portugal, sendo então, adotada no desenvolvimento deste estudo.

A quantificação dos parâmetros funcionais pode ser efetuada através da análise das fichas técnicas dos fabricantes de materiais ou de soluções construtivas [89], sendo adotado neste estudo, o parâmetro funcional relativo ao isolamento térmico da solução construtiva, que exerce influencia no fluxo energético do ambiente interior para o ambiente exterior, através do coeficiente de transmissão térmica dos componentes da solução construtiva.

A quantificação do parâmetro económico pode ser relacionada ao custo global de uma solução construtiva ao longo do seu ciclo de vida, incluindo o custo inicial, custos de construção, custos de operação, custos de manutenção e valores residuais [89].

O parâmetro social está relacionado ao indicador específico de pobreza energética 10%, que avalia a capacidade de redução das despesas energéticas, pelas soluções construtivas propostas para os cenários de reabilitação energética.

É preciso considerar as diferentes unidades funcionais, relacionadas aos parâmetros adotados na avaliação do nível de sustentabilidade da solução construtiva, assim como a escala de quantificação, visto que alguns parâmetros apresentam os melhores desempenhos relacionados aos maiores valores quantificados, enquanto outros parâmetros apresentam os melhores desempenhos relacionados aos menores valores quantificados [89].

No sentido de evitar os efeitos de escala na agregação dos parâmetros, a MARS utiliza a normalização destes valores quantificados, de modo a determinar um valor para o desempenho de cada parâmetro numa escala adimensional compreendida entre 0 e 1, em que 0 representa o pior desempenho, enquanto 1 representa o melhor desempenho [89].

O processo de normalização utiliza a expressão de Diáz-Baltero [89], o melhor e o pior valor das soluções em análise, permitindo assim a comparação das soluções entre si, de modo a determinar os melhores desempenhos relacionados aos valores normalizados mais próximos a 1, assim como os piores desempenhos normalizados e mais próximos a 0.

Equação 1: Normalização de valores através da expressão de Diáz-Bartero [89]

$$P_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_{*i} - P_i^*}$$

P_i = Valor do parâmetro (i)

P_{*i} = Valor do desempenho da pior solução do parâmetro (i)

P_i^* = Valor do desempenho da melhor solução do parâmetro (i)

A Nota Sustentável, é resultado das notas relativas aos desempenhos ambiental, funcional e económico, multiplicadas pelos pesos relativos à importância de cada dimensão avaliada, afim de evitar que duas soluções, que apresentem desempenhos distintos em cada parâmetro, apresentem as mesmas Notas Sustentáveis.

Os autores [89] definiram a importância das três dimensões de sustentabilidade (Tabela 10), deixando em aberto, a possibilidade de alteração desses pesos de acordo com novos parâmetros envolvidos na avaliação dos desempenhos ambiental, funcional e económico.

Tabela 10: Peso dimensões sustentabilidade metodologia MARS [89]

Dimensão	Peso relativo %
Ambiental	40
Funcional	30
Económico	30

A inclusão do parâmetro social (10%) na avaliação dos desempenhos dentro das dimensões de sustentabilidade, exigiu a readequação da importância dos pesos relativos, de modo a atender aos objetivos definidos para este estudo. Neste sentido, foi atribuída maior importância ao desempenho funcional e ao desempenho social (Tabela 11), visto serem os desempenhos mais relevantes para o atendimento aos objetivos.

Tabela 11: Peso dimensões sustentabilidade metodologia MARS readequados.

Dimensão	Peso relativo %
Ambiental	25
Funcional	25
Económico	25
Social	25

Ainda segundo os autores [89], a identificação e avaliação de aspetos técnicos, sociais, ambientais e económicos, são necessárias para se efetuar a avaliação da sustentabilidade de um edifício, uma solução construtiva, produto ou material de construção. Neste sentido, a MARS avalia esses aspetos, englobando parâmetros ao nível das três dimensões da sustentabilidade, evitando erros cometidos em avaliações que consideravam a associação de construções sustentáveis, exclusivamente às questões ambientais.

Impactos LCA

Cada solução é avaliada na metodologia MARS, de acordo com o impacto individualizado de cada elemento que a constitui, contribuindo assim para o impacto da solução como um todo. Para isso, os autores [90] desenvolveram um banco de dados com os impactos ambientais e quantidade de energia incorporada ao longo do seu ciclo de vida (LCA), relativos à 47 materiais de construção, disponível para consulta e caracterização das soluções quanto ao desempenho ambiental (Anexo 4).

Os autores [89] ainda descrevem a necessidade de se atribuir pesos a cada um dos impactos ambientais, para definir o nível de importância global de cada parâmetro abordado, podendo utilizar os pesos definidos em estudo realizado pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA) de forma direta (Tabela 12) [89] ou através de extrapolação (Tabela 13) [90].

Tabela 12: Pesos impactos ambientais EPA [89]

Tipo de Impacto	Peso (%)
Aquecimento Global - GWP	16
Acidificação - AP	5
Eutrofização - EP	5
Esgotamento de recursos energéticos não renováveis - FFDP	5
Qualidade do ar interior - IAQ	11
Alteração dos habitats - HÁ	16
Água incorporada - WI	3
Emissões de gases poluentes - CAP	6
Oxidação fotoquímica - POCP	6
Toxicidade sobre a ecologia - ET	11
Destruição da camada de ozônio - OD	5
Saúde humana - UH	11

Tabela 13: Pesos extrapolados relativos aos impactos avaliados – adaptado MARS [90]

Pesos Impactos Ambientais		
Tipo de Impacto	Estudo EPA (%)	Considerar (%)
GWP	16%	38%
ODP	5%	12%
AP	5%	12%
POCP	6%	14%
EP	5%	12%
NRE	5%	12%
TOTAL	42%	100%

Ferramenta on-line Gerador de Preços

A avaliação de cada solução através da metodologia MARS, engloba a análise do investimento financeiro necessário para sua implantação, considerando o custo de manutenção, reparação e substituição ao longo do ciclo de vida, caso seja inferior ao ciclo de vida do edifício.

A definição do prazo a ser adotado para o ciclo de vida de um edifício, depende da legislação vigente no local em que se encontra o edifício e do contexto em que se realiza o estudo. Há estudos que utilizam o prazo de 30 anos, conforme Regulamento Delegado nº244/2012 [57], prazo esse também adotado neste estudo de caso.

Há outros estudos que utilizam o prazo de 60 anos, para avaliar edifícios construídos entre os anos 1953 e 1987 e reabilitados entre 2009 e 2014, justificando-se o prazo estendido, para que seja igual ou maior que a vida útil dos elementos utilizados nas soluções de reabilitação energética [56].

O sitio eletrônico da *Cype software*, Gerador de Preços, permite ao projetista inserir os dados relativos a cada solução construtiva, para avaliar os custos unitários relativos aos materiais e equipas necessários para a execução de 1m² dessa solução, além de considerar os custos indiretos complementares e custos de manutenção decenal (Anexo 5).

Estes valores, são então inseridos na metodologia MARS, para determinação da solução que apresenta o melhor desempenho económico dentre as soluções avaliadas.

Matriz de durabilidade

A norma ISO 15686-1, define a vida útil de um edifício como sendo o intervalo de tempo a se iniciar após a conclusão da obra, em que se atinge o desempenho exigido em projeto, influenciado pela realização de serviços de manutenção periódica. Nesse sentido, foi realizado um estudo para determinação da vida útil dos materiais utilizados em propostas de reabilitações de fachadas, avaliando-se a influência de agentes de degradação sob o desempenho e durabilidade desse materiais [91].

Nesse estudo, é utilizado o Método Factorial, para estimar a vida útil dos elementos de construção, através da classificação dos factores modificadores em três níveis, de acordo com o grau de influência que esta vai exercer sobre esse mesmo produto (Tabela 14).

Tabela 14: Valor de desvios sugeridos pela norma ISSO 15686-1 [91]

Valor	Desvio em relação à condição de referência
0,8	Quando o factor tem uma influência negativa sobre o elemento
1	Quando o factor não tem influência sobre o desempenho do elemento
1,2	Quando o factor tem uma influência positiva sobre o elemento

Estes valores serão então atribuídos aos principais fatores que influenciam a vida útil dos materiais propostos nos cenários de reabilitação (Anexo 6).

Ao atribuir os valores apresentados, aos Fatores Modificadores de Vida Útil, será então possível utilizar a seguinte expressão, para determinar a vida útil de determinado produto.

$$VUE = VUR \times (\sum \text{Fatores Modificadores de Vida Útil})$$

Onde;

VUE = Vida útil estimada

VUR = Vida útil referência

Avaliação resultados MARS

A Metodologia MARS, permite a avaliação de desempenhos de soluções construtivas diferentes, ao nível dos três perfis de sustentabilidade de forma clara e de simples interpretação, através da análise do gráfico radial referente a cada solução.

No exemplo a seguir (Figura 26), os gráficos radiais apresentam parâmetros de impactos ambientais, além do desempenho funcional baseado no coeficiente de transmissão térmica e do desempenho económico, baseado no custo do ciclo de vida, tendo sido calculados para as soluções avaliadas.

A solução de referência, solução 1, definida como base de comparação a cada solução construtiva individualizada, é caracterizado nos gráficos pela cor azul, facilitando assim a compreensão dos desempenhos de cada solução em cada um dos parâmetros [89].

Ao analisar os três gráficos, é possível identificar desempenhos semelhantes das soluções 1 e 2 nos 6 parâmetros ambientais e no desempenho funcional, havendo melhor desempenho económico da solução 2 e nota de sustentabilidade, determinando assim a sua escolha dentre as soluções propostas (Figura 26).

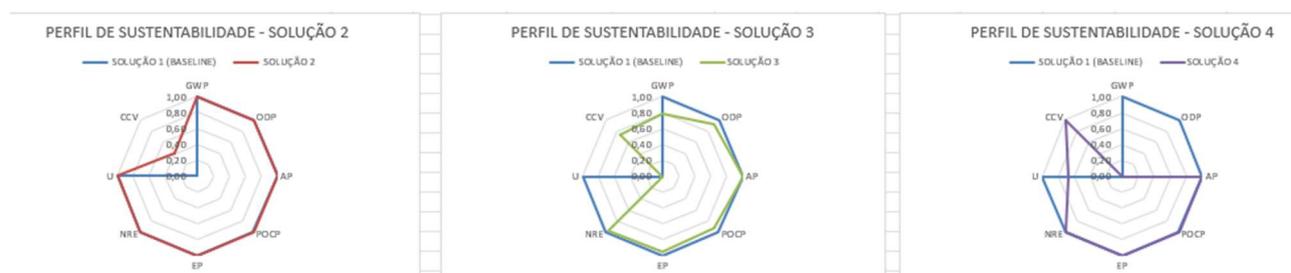


Figura 26: Exemplo de gráficos radiais referentes aos desempenhos das soluções avaliadas

A metodologia MARS [89] avaliará os edifícios descritos no capítulo 4, assim como os 3 cenários de reabilitação energética propostos, afim de se verificar os impactos ambientais, os custos financeiros relativos à construção e manutenção ao longo do ciclo de vida, o desempenho funcional e ainda, o potencial de redução de pobreza energética, através do indicador 10%, que avaliará a redução dos custos relativos aos serviços energéticos contratados, a níveis inferiores a 10% dos rendimentos familiar mensal.

Metodologia ARCAS

O Projeto ARCAS (www.arcassudoe.eu), considera a climatologia semelhante que se observa no espaço SUDOE, para o desenvolvimento de uma nova metodologia que permita, através de indicadores chave, caracterizar edifícios existentes e conceber edifícios reabilitados com base na maximização da eficiência energética, da qualidade do ar e consequentemente na promoção do bem-estar social, com foco na redução da pobreza energética.

Definiu-se a adoção inicial de indicadores mensuráveis de eficiência energética e de sustentabilidade existentes ao nível europeu, para atuação em três eixos basilares à metodologia, com foco na eficiência energética, Pobreza Energética e qualidade do ar interior. De acordo com esses eixos, foram então definidos os indicadores relacionados à geração e consumo energético, conforto térmico, qualidade energética do edifício e sustentabilidade [43].

Definiu-se o Plano de Monitorização de apartamentos localizados em bairros sociais, ao longo de 12 meses, utilizando para isso, sensores e *dataloggers* para monitorização remota de consumo energético, temperatura, concentração de CO₂, humidade relativa, pressão atmosférica, ponto de orvalho, além de ensaios *in loco*, para caracterização do desempenho acústico, luminoso, concentração de radão, taxa de infiltração, concentração de PM_{2,5}.

Os dados obtidos ao longo do período de monitorização (Anexo 7), foram inseridos na ferramenta ARCAS online ainda em fase de desenvolvimento, para a caracterização dos imóveis de acordo com os indicadores de pobreza energética, qualidade do ar e eficiência energética definidos pelos grupos de trabalho e assim, possibilitar o apoio aos Governos envolvidos na elaboração de normas e diretivas no sentido de incentivar a reabilitação energética, assim como aos profissionais responsáveis pela elaboração de projetos e execução das obras (Anexo 8).

3.1.2 Metodologia de avaliação energética dos edificadoss

Sendo os edifícios caracterizados como objetos termodinâmicos, influenciados pelos constantes fluxos energéticos entre as zonas térmicas internas e o ambiente externo, a avaliação energética dos edifícios existentes, mostra-se necessária para a caracterização do comportamento térmico dos edifícios, assim como o grau de influencia dos elementos construtivos que os constituem.

A simulação energética realizada com o auxílio de softwares, no processo de elaboração de projetos, permite aos envolvidos, uma melhor compreensão a respeito do comportamento térmico, acústico e luminoso do edifício modelado, para ser avaliado de acordo com os fatores que influenciam nos ganhos e perdas energéticas, como a localização, ocupação, ventilação, iluminação, equipamentos, HVAC, geração de energia renovável .

Nesse sentido, os *software* possibilitam aos projetistas, avaliar possíveis problemas que somente seriam identificados durante a utilização e ocupação dos edifícios já construídos, assim como o desempenho das propostas de soluções construtivas para sanar esses problemas.

O Departamento de Energia dos Estados Unidos, desenvolveu uma ferramenta para simulação energética dinâmica de edifícios, gratuita, aberta e que pode ser integrada a outros programas com interface gráfica. O EnergyPlus [92] .

O programa EnergyPlus, foi validado através do Método de Testagem para Programas de Computador para Avaliação Energética de Edifícios BESTEST/ASHARE STD 140, que é um dos métodos mais aceitos na validação e avaliação da capacidade de simulação do envolvente exterior pelos programas de simulação energética de edifícios [93].

O programa DesignBuilder, demonstra maleabilidade quanto aos dados geométricos, além de um extenso arquivo de materiais a serem aplicados nos elementos construtivos, além de diferentes dados climáticos históricos regionais, perfis de utilização, como número de utilizadores, taxa de iluminação, aquecimento, arrefecimento, ventilação e demais fluxos energéticos, permitindo ao EnergyPlus determinar as necessidades energéticas anuais para aquecimento, arrefecimento e iluminação na mesma interface, sendo a ferramenta adotada no estudo de caso [93].

Inserção de dados para simulação energética

A modelação de consumo energético necessita de informações detalhadas disponíveis, relativas às características geométricas do edifício, taxa e perfil de ocupação, características dos ocupantes, histórico do consumo energético e condições climáticas além de indicadores macroeconómicos [79].

Os modelos podem ser utilizados por diversas razões, sendo a mais comum, a determinação das necessidades de fornecimento energético regional ou nacional em função dos parâmetros

de entrada, assim como o impacto no consumo energético de uma determinada habitação em decorrência da reabilitação energética [94].

Através da modelação do consumo energético é possível quantificar o consumo energético e prever os impactos e benefícios relativos à cenários de renovações, suportando decisões no sentido de investir na renovação de edifícios antigos para atender às atuais normas de desempenho energético, ou investir na demolição para posterior construção de um novo edifício [94].

No âmbito residencial, a simulação energética pode ser aplicada ao nível de um apartamento, um edifício ou mesmo de um bairro, cidade [95], e até mesmo ao nível de todo um país, sendo que o nível de parâmetros a serem inseridos, dependerá do propósito da modelagem e da disponibilidade de dados. Quanto maior a disponibilidade de dados e detalhamento dos parâmetros, mais adequados serão os resultados. Por outro lado, o menor nível de parâmetros, facilitará o processo de simulação, apresentando resultados adequados [94].

Classificação por Zona Climática

A Organização Mundial de Meteorologia (WMO), afirma que o clima de um determinado local, é caracterizado através dos valores médios dos vários elementos climáticos em um intervalo de tempo de 30 anos, de modo a se definir o valor médio desses elementos climáticos, correspondentes ao período de 30 anos como o mais representativo e predominante no local considerado [96].

Os dados climáticos, referentes ao período de 1971 a 2000 são os últimos dados disponíveis, visto que segundo a Organização Mundial de Meteorologia (WMO), o aperfeiçoamento estatístico em períodos de 30 anos, inicia-se no primeiro ano de cada década.

A classificação por zonas climáticas de Koppen-Geiger [97], demonstra as variações climáticas em todos os continentes e permite identificar variações climáticas dentro de um mesmo país.

No caso de Portugal Continental, o clima é predominantemente temperado, do tipo C, com verão seco, do Subtipo Csa e Csb (figura 27).

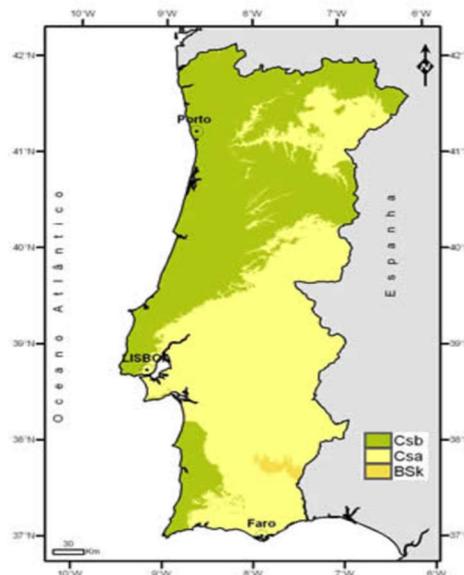


Figura 27: Caracterização climática Portugal continental [98]

O subtipo Csa apresenta clima temperado com verão quente e seco nas regiões interiores do vale do Douro, assim como ao sul do sistema montanhoso Montejunto-Estrela, enquanto o subtipo Csb apresenta clima temperado com verão quente e suave em quase todas as regiões ao norte do sistema montanhoso Montejunto-Estrela e região litoral oeste do Alentejo e Algarve [98].

O distrito de Beja, apresenta o clima Árido, do Tipo B e Subtipo BS, clima de estepe, com variedade BSk, clima de estepe fria da latitude média [98].

A classificação por zona climática adotada pelo DesignBuilder, segue a norma ASHRAE 169, utilizando dados históricos de precipitação e temperatura, para caracterizar as condições climáticas típicas em uma determinada região.

Dados climáticos históricos

A modelação geométrica do edifício precisa ser acompanhada dos dados climáticos históricos, que fornecerão informações relativas ao clima ao longo de 12 meses no local em que o edifício está localizado, permitindo simular o comportamento energético nas estações de arrefecimento e aquecimento.

O programa DesignBuilder, utiliza os dados climáticos históricos de Bragança, Coimbra, Évora, Faro, Lisboa e Porto, conforme descrito no Manual Fundamental ASHRAE, relativos à base de dados chamada Ano Meteorológico Típico (TMY), em que dados climáticos mensais disponibilizados de 1970 até 2010 e de 1995 até 2015, permitem a composição mensal de um

ano típico, através da comparação dos dados climáticos de cada mês específico ao longo dos anos, para definir cada mês característico ao longo de um ano [99].

Neste estudo, serão utilizados os dados climáticos históricos do Porto, região mais próxima ao Distrito de Braga, em que se localizam os bairros sociais monitorizados.

Características geométricas dos edifícios

Foi verificada a influencia da temperatura exterior, radiação solar e ventilação, no nível de conforto interno nos períodos de arrefecimento e aquecimento, relacionada à orientação dos edifícios, coeficiente térmico dos elementos que compõem as paredes exteriores e a área de envidraçados a receber a radiação solar [79].

Este estudo, foi desenvolvido no Bairro Social das Andorinhas, composto por edifícios construídos ao longo de 03 anos, com técnicas construtivas diferentes, tipologias, áreas e orientações solares diferentes [100]. É expectável que alguns edifícios apresentem desempenhos térmicos distintos entre si, mas ainda sim, mostrem-se ineficientes energeticamente e com elevada necessidade energética.

No âmbito do Projeto ARCAS, foi definido o Plano de Monitorização quanto ao consumo energético, qualidade do ar interior, infiltração, iluminação e acústica, para três apartamentos localizados em diferentes bairros sociais, sendo estes apartamentos localizados no piso rés do chão, primeiro piso e último piso [24].

Mostrou-se necessário reconsiderar o Plano de Monitorização, visto que a instalação de sensores eletrónicos na sala e em um dos dormitórios, dependeria da autorização dos moradores dos apartamentos. Ao longo de 4 meses, foram realizadas entrevistas com diversos moradores até a obtenção das autorizações para início da execução dos ensaios de monitorização do apartamento rés do chão esquerdo do edifício 16 localizado no Bairro Social das Andorinhas, do apartamento 3º direito do edifício E entrada 2 e apartamento 2º frente localizado no bloco F, ambos localizados no Bairro Social das Enguardas.

Neste estudo, foi realizada a modelação gráfica dos edifícios 15 e 16, construídos em banda e localizados no Bairro Social das Andorinhas, considerando os elementos construtivos da envolvente, orientação geográfica, sistemas de aquecimento, taxa de ocupação, equipamentos elétricos, ventilação e espaços adjacentes, para inserção dos dados no programa de simulação energética DesignBuilder (Figura 28).

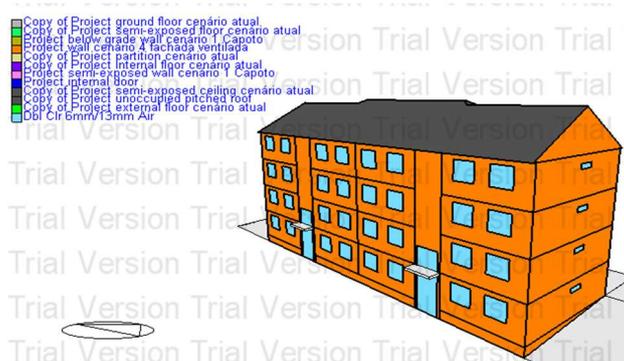


Figura 28: Modelo digitais edifícios 15 e 16, localizados no Bairro Social das Andorinhas

O programa DesignBuilder considera as características térmicas de cada uma das paredes, pavimentos, coberturas, paredes internas em cada zona, para consolidar a massa térmica total no processo de simulação. O apartamento rés do chão esquerdo do edifício 16, foi modelado como uma única zona térmica e caracterizado pelo número 1841.

Tendo definido o local do projeto, o programa DesignBuilder considerará a aplicação das condições climáticas do Porto e sua influencia no fluxo energético entre os elementos da envolvente e o ambiente exterior, ao longo do processo de simulação.

Com relação aos espaços adjacentes ao apartamento 1841, o programa DesignBuilder, identifica de forma automática a existência de fluxo energético entre apartamentos, classificando como adiabáticos na ausência de fluxo energético e não adiabático, na presença de fluxo energético, classificando como Zona Padrão ou Zona Semi-Exterior não condicionado [101].

A Zona Padrão, é ocupada e climatizada, apresentando superfícies adiabáticas que não transferem calor através da sua superfície exterior e é utilizada para modelar limites entre ambientes distintos, mas que podem ser considerados com as mesmas características térmicas, como dois apartamentos localizados no mesmo piso do edifício, separados por uma parede divisória, ou dois apartamentos sobrepostos, localizados na mesma prumada do edifício, que se apresentam separados por uma mesma laje de pavimento do piso superior [101].

A superfície não adiabática separa uma Zona Padrão, de outra Zona Semi-Exterior não condicionada, como a área da escada de acesso ao edifício, garagem de estacionamento, cobertura e vão sanitário.

Características construtivas

A caracterização dos elementos construtivos de um edifício, permite identificar as necessidades nominais de energia útil do edifício para aquecimento (Nic) e assim, avaliar possíveis cenários de reabilitação dos elementos de sua envolvente, resultando em poupança energética, melhora nas condições de conforto dos residentes e na redução dos efeitos da pobreza energética [102].

Coeficiente de transmissão térmica, U

Em um edifício, o coeficiente de transmissão térmica dos elementos constituintes da sua envolvente, é o parâmetro mais utilizado para se caracterizar a quantidade de calor transmitida através de uma unidade de área em unidade de tempo por unidade de diferença de temperatura dos ambientes separados pela envoltória. É denominado U e define a capacidade de um elemento, para transmitir calor sob condições de regime permanente [103].

Havendo diferença de temperatura entre as faces interior e exterior de um elemento, a transmissão de calor através deste elemento, dependerá da resistência térmica (Valor R), que cada camada de material que o compõe, oferecerá à essa transmissão (Figura 29). Além da resistência oferecida por cada um dos materiais, duas camadas de ar microscópicas que se encontram nas faces do elemento também afetam a transmissão de calor [104].

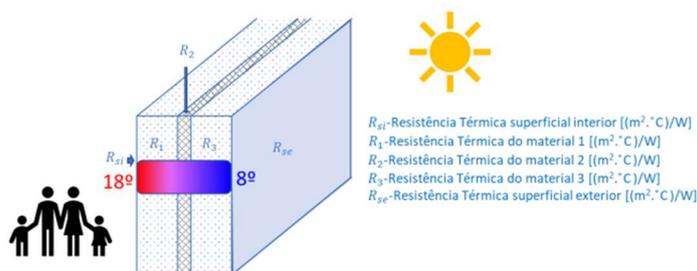


Figura 29: Coeficiente de transmissão térmica de elementos opacos

O U é calculado (Figura 30) através do somatório do inverso das resistências térmicas superficiais (interior e exterior) e das resistências térmicas das camadas que compõem o elemento [105]. Depende dos fenômenos de convecção e da direção do fluxo de calor que pode ser no sentido horizontal, vertical ascendente e descendente (Tabela 15).

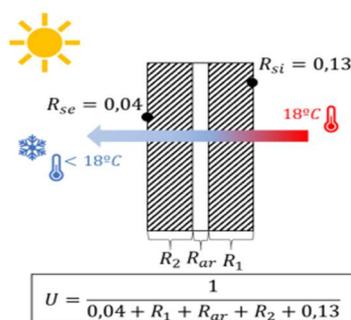


Figura 30: Resistência térmica superficial – fluxo horizontal [106]

Tabela 15: Resistências térmicas superficiais e sentido do fluxo de calor [106]

Sentido do fluxo de calor		Resistência Térmica [(m ² .°C)/W]	
		Exterior Ser	Interior ou face exterior em contacto com ENU Rsi
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente		0,17

Com relação à resistência térmica de um material, a mesma está relacionada a sua condutibilidade térmica (λ) e espessura da camada (e).

Equação 2: Equação para cálculo de resistência térmica de materiais [106]

$$R = \frac{e}{\lambda} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$$

Em que:

R - Resistência térmica da camada [(m² . °C)/W];

e - Espessura da camada [m];

λ - Condutibilidade térmica do material [W/(m. °C)].

A condutibilidade térmica é uma característica do próprio material, que deve ser informada pelo fabricante, mas que também pode ser obtida por exemplo na publicação do LNEC [107]a respeito de coeficientes de transmissão térmica de elementos das envolventes dos edifícios.

Em situação como as do caso de estudo por exemplo, em que os elementos são constituídos por materiais heterogêneos, como blocos de betão autoclavados, argamassa comum de areia e cimento, tinta acrílica, laje maciça de betão, contrapiso de areia e cimento, piso de paquete de madeira, o cálculo do U estará consignado à espessura e resistência térmica de cada camada que compõe o elemento, seja esse uma laje, parede ou cobertura (Figura 31) [101].

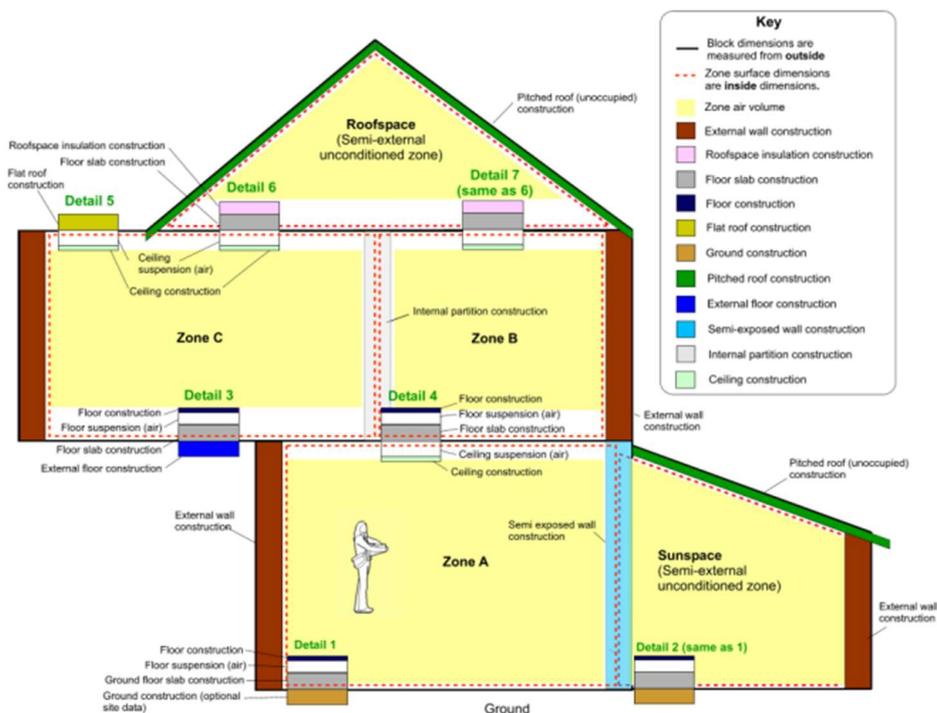


Figura 31: Composição heterogênea de elementos construtivos [101]

Ao modelar o projeto no programa DesignBuilder, considerando a composição heterogênea dos elementos, é importante considerar a ordem de inserção das informações, já que o programa obedece uma hierarquia que parte do Nível do Edifício, em que toda informação inserida, será aplicada ao projeto como um todo, independente do número de edifícios modelados, passando pelo Nível do Bloco, em que as informações serão aplicadas exclusivamente ao bloco especificado, até o Nível do Zoneamento, em que as informações serão aplicadas exclusivamente ao zoneamento pretendido [101].

O programa DesignBuilder, permite ao projetista aplicar ao projeto, outros fatores que possam influenciar no resultado de necessidade normais de energia útil para aquecimento, como a presença de pontes térmicas, infiltração de ar exterior, vãos envidraçados, existência ou não de sistemas de proteção aos ganhos solares, perfil de abertura de janelas e estores, taxa de metabolismo, iluminação, equipamentos elétricos, AVAC e até geração de energia através de sistemas eólicos e fotovoltaicos [95].

Pontes Térmicas

O termo Ponte Térmica, faz referência à área na parede exterior do edifício que apresenta maior transferência de calor que as área adjacentes. Tipicamente ocorre em pontos de isolamento reduzido, perfuração do isolamento por material com maior condutividade térmica, mas também no enquadramento de vãos envidraçados, no encontro de elementos

estruturais como pilares, vigas e lajes de betão com a fachada exterior sem o devido isolamento térmico [108] (Figura 32).

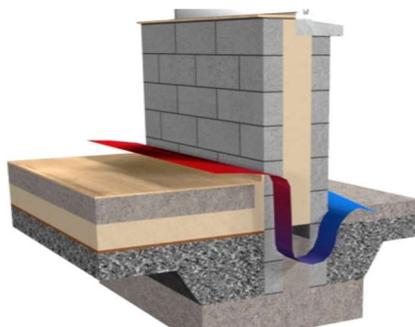


Figura 32: Fluxo de calor do interior para o ambiente exterior [109]

A temperatura interior próxima ao local da ponte térmica é mais baixa, possibilitando o surgimento de condensação e humidade, resultando em proliferação de bolores, redução da qualidade do ar interior com possíveis reflexos no bem estar dos residentes e em último caso, podendo resultar em danos estruturais.

No Decreto-Lei nº101-D/2020, encontram-se os valores de Ψ tipificados para as várias soluções de pontes térmicas lineares, para as diferentes soluções construtivas com isolamento térmico, assim como, para as soluções construtivas já existentes e sem isolamento térmico [105].

É possível modelar projetos no DesignBuilder, considerando ou não a existência de pontes térmicas lineares nos encontros entre paredes, entre paredes e laje de pavimento, entre paredes e laje de cobertura, ao Nível do Zoneamento específico, ou seja, pode ser aplicado a todas as superfícies do apartamento [101].

Infiltração do ar exterior

O fluxo descontrolado de ar exterior através de frestas e vãos na fachada exterior para o interior do edifício, é denominado Infiltração de Ar e se difere da ventilação natural, por apresentar controle do fluxo de ar que entra ou sai do edifício [110]. No mesmo sentido, é relacionada à resistência da envolvente do edifício à infiltração de ar exterior, com as janelas fechadas. Quanto maior a taxa de infiltração devido a diferença de pressão através da envolvente, menor a infiltração [111].

A taxa de infiltração é definida em trocas de ar por hora, sendo adotada no programa DesignBuilder sob pressão de operação padrão 0,5 trocas de ar por hora [105].

Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados influenciam diretamente nos ganhos térmicos dos edifícios devido à maior captação de ganhos solares por radiação, através da energia que efetivamente atinge o ambiente interior através do vão envidraçado, os quais são determinados pelo fator solar do vidro (g) e coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado (U_w) [112]. Os envidraçados avaliados neste estudo, apresentam vidros simples de 6mm, incolor, sem informações sobre fabricante e caixilhos em alumínio.

Fator solar

O fator solar do vidro, também conhecido como $g_{\perp,vi}$ e Coeficiente de Ganhos Solares (SHGC), indica a quantidade de energia por radiação que entra no espaço, contabilizando o efeito do vão envidraçado e sistemas de proteção solar, conforme descrito na norma EN410 e informado pelo fabricante do vidro.

Nos casos em que não houver informações fornecidas pelo fabricante, o $g_{\perp,vi}$, poderá então ser obtido através de consulta ao Decreto-Lei nº101/2020, de acordo com as características do vidro [105].

No caso de haver sistema de proteção solar, o mesmo deve ser considerado no cálculo do fator solar global do vão envidraçado g_T , através das seguintes expressões aplicáveis aos envidraçados simples e duplos.

Equação 3: Cálculo do fator global do vão envidraçado simples

$$g_T = g_{\perp,vi} \times \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,85}$$

Equação 4: Cálculo do fator global do vão envidraçado duplo

$$g_T = g_{\perp,vi} \times \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75}$$

Onde:

g_{Tvc} – Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente ou móvel, totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro [105]. Neste estudo foi considerado $g_{Tvc} = 0,07$ para os vãos envidraçados dos dormitórios e sala, devido aos sistemas de proteção solar exterior.

$g_{\perp,vi}$ – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro, conforme informação do fabricante. Entende-se como vidro corrente “o vidro simples incolor de 6mm ou o vidro duplo incolor com um pano de 4 a 8 mm e o outro pano de 5mm” [105]. Neste estudo, foi considerado $g_{\perp,vi} = 0,85$ para o vão envidraçado da cozinha sem estores.

O coeficiente de transmissão térmica leva em consideração o conjunto composto por vidro e caixilho, sendo este denominado U_w , normalmente fornecido pelo fabricante para os conjuntos mais novos, mas que podem ser consultados no manual do LNEC, ITE50 para modelos mais antigos e sem especificações de fabricantes, como no caso do caso de estudo [107], sendo adotado o valor de $U_w = 6,0$ [W/(m².°C)] para os envidraçados sem sistemas de proteção solar e $U_w = 3,8$ [W/(m².°C)] para os envidraçados com dispositivos de proteção solar. Nos casos em que os vãos envidraçados possuam sistemas de proteções solares, os mesmos devem ser considerados ativos por 12 horas no período noturno (U_n) e 12 horas não ativas no período diurno (U_w), definindo-se assim, o coeficiente médio de transmissão térmica dia e noite U_{wdn} , através da equação:

Equação 5: Coeficiente médio de transmissão térmica dia e noite

$$U_{wdn} = \frac{U_w + U_n}{2} \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

Neste estudo, foi calculado o valor de $U_{wdn} = 3,57$ [W/(m².°C)] para os envidraçados da sala e dormitórios.

O coeficiente U_n , considera a resistência térmica que a proteção solar garante, conforme a expressão:

Equação 6: Coeficiente de transmissão térmica com sistemas de proteção solares ativos

$$U_n = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$$

Onde:

U_n – Coeficiente de transmissão térmica da janela com os dispositivos de proteção solar ativados [W/(m².°C)]; Neste estudo, foi calculado o valor de $U_n = 2,914$ [W/(m².°C)];

ΔR – Resistência térmica adicional devido à proteção solar ativada [(m².°C)/W]

A resistência térmica adicional ΔR varia de acordo com o material utilizado no sistema de proteção solar dos envidraçados. Neste estudo, os sistemas de proteção solar dos envidraçados, são compostos por persianas de régua plásticas de cor clara e com reduzida permeabilidade ao ar, sendo por isso, adotado $\Delta R = 0,08$ [(m².°C)/W] [112].

Transmitância a luz visível VT

A transmitância visível (VT), é a medida da quantidade de luz na porção visível do espectro que passa através do vidro [113]. O valor é informado pelo fabricante e está relacionado à

espessura e composição do vidro, sendo expresso através de números que variam de 0 a 1, em que a menor quantidade de luz que permeia o vidro tenderá a 0, enquanto a maior quantidade de luz que permeia o vidro, tenderá a 1 [114]. Para o vidro simples, incolor, sem identificação de fabricante e com 6 mm de espessura, utilizado neste estudo, foi adotado $VT = 0,89$ (Figura 33), enquanto para os vidros duplos, incolores, com 6 mm de espessura e caixa de ar de 12 cm, foi adotado $VT = 0,78$ [115].

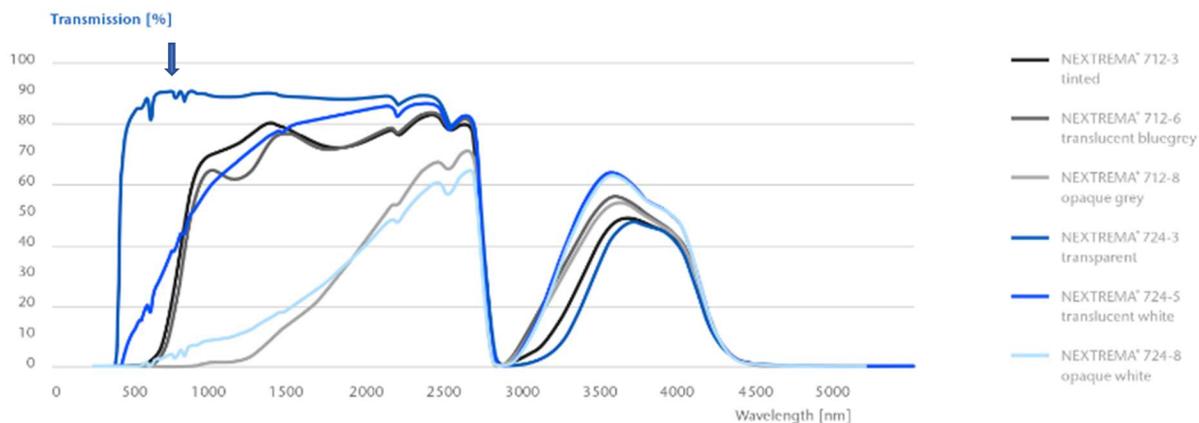


Figura 33: Transmitância visual de vidros [114]

Perfil de utilização dos edifícios

O modo como o edifício é utilizado pelos residentes, considerando a quantidade de pessoas que nele residem, período de tempo que permanecem no edifício, equipamentos elétricos e iluminação artificial que utilizam, temperatura interior ao edifício, assim como o caudal de ventilação natural e utilização de sistemas de aquecimento, determina o seu perfil de utilização e interfere diretamente nos resultados da simulação energética devido aos ganhos internos [101].

Seria necessário realizar um inquérito alargado para aferir os dados relativos ao hábitos diários dos residentes, para caracterizar o perfil de utilização, o que se mostra inviável no que se refere ao período de duração e comprometimento dos residentes no preenchimento diário do inquérito a respeito do período em que manteve as janelas abertas ou o iluminação ativa. Sendo assim, no processo de simulação energética, foram utilizados os dados descritos em normas internacionais e legislações nacionais, de modo a possibilitar a caracterização do perfil de utilização baseado em dados oficiais.

Ganhos internos

A norma EN ISO 13790, assim como o Decreto-Lei nº101-B/2020, [105] definem que a soma dos ganhos internos metabólicos, iluminação e equipamentos elétricos, correspondem a $4\text{W}/\text{m}^2$ para edifícios residenciais [116].

Os ganhos internos podem ser modelados em níveis diferentes de detalhamento no programa DesignBuilder, desde o mais simples (Lumped), em que é adotado um único valor equivalente à todos os ganhos internos referentes à ocupação, equipamentos, miscelânea, preparação de alimentos e iluminação, até o nível mais detalhado (Detailed), em que cada ganho é especificado individualmente por equipamento e por zona, o que exige demasiado tempo de modelação [93,101]. No caso de estudo, foi adotado o nível mais simples (Lumped), com ganhos de $4\text{ W}/\text{m}^2$.

Modelação de perfis de utilização

O programa DesignBuilder, permite determinar o tempo de ocupação dos apartamentos pelos residentes, utilização de equipamentos, iluminação, utilização de AVAC, controle de temperatura através de sistemas de aquecimento e arrefecimento, diariamente ao longo da semana e a cada mês ao longo do ano (7/12 Schedule), ou com maior flexibilidade utilizando uma versão adaptada do EnergyPlus (Compact Schedule), ou para dias específicos (Day schedule) [101].

No caso de estudo, foi adotado o perfil 7/12, para modelar a fração de tempo em que os sistemas de proteção solar se encontram totalmente ativados ao longo do período de arrefecimento, com o intuito de para reduzir os ganhos solares por radiação [117].

O programa DesignBuilder apresenta em sua base de dados, perfis pré estabelecidos para simulações energéticas residenciais sendo adotada o perfil TM 59 Double Bed, para os demais perfis do apartamento 1841 modelado no caso de estudo.

Renovação do ar interior

O ar exterior que entra no espaço interior ao apartamento através da envolvente do edifício, apresenta relevante impacto na carga energética, na necessidade energética do apartamento e no custo energético para manter o nível de conforto térmico, assim como na qualidade do ar interior. Ocorre através de quaisquer aberturas na envolvente, assim como pelas frestas de janelas e portas sem qualquer controle por parte dos moradores [101].

A infiltração representa um importante aspeto no cálculo de perda de calor, sendo necessário determinar a carga térmica resultante da passagem do ar exterior para o interior do apartamento, que dependem do fluxo de infiltração de ar, que ocorre pela diferença de pressão causada pelo rácio de temperatura exterior e interior ao apartamento [118].

A ASHRAE 55-2020 trata a infiltração e a ventilação, como “troca de ar” do exterior com o ar interior ao edifício, definindo a ventilação através da introdução intencional do ar exterior para o interior do edifício, podendo esta ser natural através das janelas e portas, ou forçada através de sistema de ventilação mecânica [118]. Por outro lado, a infiltração é classificada pela introdução não intencional e descontrolada de ar exterior para o interior do edifício, através de frestas e aberturas existentes na envolvente do edifício, como janelas e portas devido o rácio de pressão entre o exterior e interior do edifício [118].

Quanto ao perfil de abertura de janelas, foi adotado o perfil de janelas permanentemente fechadas ao longo do ano, afim de se considerar somente a influência da infiltração de ar, equivalente a 0,5 trocas de ar por hora [105], para edifícios novos, sujeitos a grandes renovações ou sujeitos a renovações do sistema de ventilação.

Sistemas técnicos

O programa DesignBuilder disponibiliza uma vasta gama de templates de AVAC predefinidos e que podem ser dimensionados de forma simplificada ou detalhada no que se refere à ventilação mecânica, aquecimento, arrefecimento, controle de humidade, aquecimento de águas sanitárias, ventilação natural, distribuição da temperatura do ar e custo [101,119].

Foi adotado o template de AVAC “*radiator heating, natural ventilation*”, para simular o sistema de aquecimento ambiente através de radiador elétrico móvel e o sistema de aquecimento de AQS, existentes no apartamento avaliado neste estudo.

O sistema de aquecimento de águas sanitárias através de caldeira a gás, foi configurado para fornecimento de água quente somente quando acionado, com coeficiente de performance CoP 0,80 [117], indicado para equipamentos instalados até 1995 e ventilação natural desconsiderada de modo a se privilegiar somente a influencia da infiltração de ar.

Necessidades nominais anuais de energia útil

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic) e arrefecimento (Nvc) se referem à quantidade de energia útil necessária para a manutenção da temperatura

interior à habitação a 18°C durante 24 horas ao longo das estações de aquecimento e arrefecimento [105].

A determinação das necessidades de energia útil para aquecimento de um edifício (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}), passam pela caracterização do zoneamento climático e pela contabilização das transferências de calor por transmissão pelas envolventes, transferência de calor por renovação do ar, ganhos térmicos associados às fontes internas de calor e ganhos térmicos associados à radiação solar pela envolvente exterior opaca e envidraçados, expressos em kWh/m².ano [106].

O valor das necessidades de energia útil para aquecimento, é obtido através da seguinte equação:

Equação 7: Necessidades de energia útil para aquecimento N_{ic}

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})/A_p \text{ (kWh/(m}^2 \cdot \text{ano))}$$

Onde:

$Q_{tr,i}$ - Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios [kWh]

$Q_{ve,i}$ - Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh]

$Q_{gu,i}$ - Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh]

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m²]

Transferência de calor por transmissão pela envolvente

A transmissão pela envolvente [105] representa a quantidade de calor que atravessa os elementos construtivos, impulsionada pelo diferencial de temperatura entre o exterior e o interior da habitação, sendo obtido através da seguinte equação:

Equação 8: Transferência de calor por transmissão pela envolvente [112]

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times GD \times H_{tr,I} \text{ (kWh)}$$

Onde:

GD – É a soma das diferenças entre a temperatura exterior e a temperatura interior de 18°C para toda a estação de aquecimento, para cada região NUTS III (°C.dia);

$H_{tr,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento ($W/^\circ C$), representa a potência transferida pela envolvente por cada $^\circ C$ de diferença entre a temperatura interior e a exterior, sendo o fluxo de calor realizado no sentido da temperatura mais elevada para a temperatura mais baixa.

O Coeficiente global de transferência de calor por transmissão de calor na estação de aquecimento ($H_{tr,i}$), é dado pela contabilização dos coeficientes de transmissão das diferentes componentes da envolvente (Figura 34), conforme a seguinte equação:

Equação 9: Coeficiente global de transferência de calor

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \text{ (W/}^\circ C\text{)}$$

Onde:

H_{ext} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior ($W/^\circ C$);

H_{enu} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis ($W/^\circ C$);

H_{adj} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes ($W/^\circ C$);

H_{ecs} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo ($W/^\circ C$).

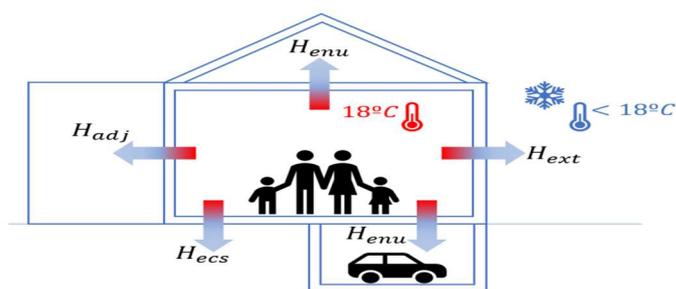


Figura 34: Transferência de calor por transmissão através da envolvente

Transferência de calor pela envolvente exterior

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior é determinado de acordo com a seguinte equação [106]:

Equação 10: coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente exterior

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \text{ (W/}^\circ C\text{)}$$

Onde:

U_i – Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$);

A_i – Área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício [m^2];

ψ_j – Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear [$W/(m \cdot ^\circ C)$];

B_j – Comprimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício [m].

O coeficiente de transmissão de calor pela envolvente exterior é então determinado considerando todos os elementos constituintes da mesma (paredes, coberturas, pavimentos, pontes térmicas planas, pontes térmicas lineares, vãos opacos e vãos envidraçados).

Transferência de calor pela envolvente interior

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através do envolvente interior é determinado de acordo com a seguinte equação [106]:

$$H_{enu,adj} = b_{tr} \times (\sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j]) [W/^\circ C]$$

Equação 11: coeficiente de transferência de calor por transmissão através do envolvente interior

Onde:

b_{tr} – Coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou edifício adjacente.

A determinação do coeficiente de transmissão de calor da envolvente interior é similar ao da envolvente exterior, com a diferença de se afetar pelo coeficiente de redução de perdas. Como a envolvente está em contacto com um espaço interior, a quantidade de trocas pela envolvente é condicionada pela temperatura no interior desse espaço refletida no respetivo b_{tr} .

Transferência de calor pela envolvente em contacto com o solo

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com o solo é determinado de acordo com a seguinte equação:

Equação 12: coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com o solo

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bfi} \cdot A_i] + \sum_j [z_j \cdot P_j \cdot U_{bwj}] [W/^\circ C]$$

Em que:

U_{bfi} – Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];

A_i – Área do pavimento em contacto com o solo i , medida pelo interior do edifício [m^2];

z_j – Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j [m];

P_j – Desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j , medido pelo interior [m];

U_{bwj} – Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j [$W / (m^2 \cdot ^\circ C)$].

Transferência de calor por ventilação ou renovação de ar

A transferência de calor através da renovação do ar [105], ocorre pelo facto do caudal insuflado não se encontrar a uma temperatura igual à temperatura do espaço interior, sendo obtida pela seguinte equação:

Equação 13: transferência de calor através da renovação do ar

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i} [kWh]$$

Em que:

GD – Número de graus-dia de aquecimento especificados para cada região NUTS III [$^\circ C \cdot dia$];

$H_{ve,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento [$W / ^\circ C$].

O coeficiente $H_{ve,i}$ pode ser determinado pela seguinte equação:

Equação 14: Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot Pd [W / ^\circ C]$$

Em que:

$R_{ph,i}$ – Taxa de renovação do ar interior por hora na estação de aquecimento [h^{-1}];

A_p – Área de pavimento [m^2];

Pd – Pé direito [m].

O valor da taxa nominal de renovação do ar na estação de aquecimento $R_{ph,i}$ deve ser igual ou superior a 0,5 renovações por hora [112].

Ganhos térmicos úteis

Os ganhos térmicos úteis de uma habitação na estação de arrefecimento, resultam dos ganhos térmicos por cargas internas e ganhos solares através da radiação incidente nas envolventes

exteriores opacas e envidraçadas [105]. A determinação dos ganhos úteis é então obtida pela equação seguinte [112]:

Equação 15: ganhos térmicos úteis [112]

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \text{ [kWh]}$$

Onde:

$Q_{int,v}$ - Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor;

$Q_{sol,v}$ – Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente nas envolventes exteriores opacas e envidraçados.

Os ganhos térmicos por fontes internas, são influenciados pelos ganhos térmicos médios, pela duração da estação de arrefecimento e com a área interior útil de pavimento, de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{int,v} = q_{int} \cdot A_p \cdot L_v / 1000 \text{ [kWh]}$$

Onde:

q_{int} = Ganhos térmicos internos médios, definidos em $4W/m^2$ [105];

A_p = Área interior útil de pavimento;

L_v = Duração média da estação de arrefecimento [120]

Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente nas envolventes exteriores opacas e envidraçados, são determinados através da seguinte equação:

Equação 16: Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente nas envolventes [105]

$$Q_{sol,v} = \sum_j [G_{solj} \times \sum_n F_{s,vnj} \cdot A_{s,vnj}] \text{ [kWh]}$$

G_{sol} = Energia solar média que incide numa superfície com orientação j ao longo da estação de arrefecimento [105];

$F_{s,vnj}$ = Fator de obstrução da superfície do elemento n com orientação j na estação de arrefecimento;

$A_{s,vnj}$ = Área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com orientação j ;

J – índice correspondente à cada umas das orientações;

n – índice correspondente a cada uma das superfícies com orientação j

Necessidades nominais de energia primária

As necessidades nominais de energia primária de um edifício de habitação resultam da soma das necessidades nominais específicas de energia primária relacionadas com o aquecimento, arrefecimento, produção de AQS e ventilação mecânica, deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável [112].

Capítulo 4 – Aplicação de metodologia multicritério e simulação energética para mitigar os efeitos da Pobreza Energética em edifícios sociais

Os bairros sociais reúnem as características construtivas e componentes sócio económicos, necessários para que a pobreza energética se apresente com maior intensidade, motivo pelo qual, são objeto deste estudo, com foco no contributo para o processo de redução dos níveis de necessidade energética dos edifícios sociais, através da avaliação de diferentes cenários de reabilitação de envolventes quanto ao potencial para elevar o nível de eficiência energética dos edifícios de bairros sociais.

4.1 Cenários de renovação energética

Conforme já abordado no Capítulo 1, as economias europeias, que se encontravam devastadas após a Segunda Guerra Mundial para realizarem os investimentos necessários para reconstruir seu parque edificado, ainda enfrentavam a escassez de recursos energéticos como combustíveis. Esta situação exigiu o desenvolvimento de estudos, por cientistas e pesquisadores, no sentido de identificar alternativas para melhorar o isolamento térmico dos edifícios e reduzir o consumo de combustíveis.

Esses estudos resultaram no desenvolvimento do primeiro sistema de isolamento térmico a ser aplicado pelo exterior da envolvente do edifício, em 1940 na Suécia. O sistema ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*) [121].

O sistema foi então utilizado na Alemanha em silos de milho, passando pelos EUA nos anos 1960 e 1970, sendo aplicado pela primeira vez em um edifício português na década de 1990 [121].

Nesse mesmo período, estudos foram desenvolvidos no sentido de avaliar a eficiência energética de edifícios. Nesse sentido, considerou-se que um edifício seria energeticamente ineficiente sem os investimentos necessário, fazendo com que os ocupantes tivessem que gastar mais dinheiro em aquecimento e serviços energéticos em comparação com ocupantes de um edifício que tivesse recebido maior investimento em medidas de eficiência energética [4].

A renovação energética do parque edificado passou a ter relevância em âmbito europeu, a partir da publicação da Diretiva 2002/91/EC, sendo reformulada via Diretiva 2010/31/EU e transposta em âmbito nacional através do Decreto-Lei n°118/2013, que apresentou o

Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação – REH, sendo este posteriormente revogado e substituído pelo Decreto-Lei n°101-D de 07 de dezembro de 2020 [105].

Com base no Decreto-Lei n°101-D/2020 e nas boas práticas adotadas pelo Mercado, foram propostos 03 cenários de reabilitação energética para os edifícios sociais avaliados no caso de estudo, considerando somente a aplicação de sistemas passivos com aplicação de isolamento térmico pelo exterior e pelo interior, de modo a reduzir as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic), que ultrapassam 70kWh/m².ano, conforme certificado energético SCE156211016 (Anexo 9) relativo ao apartamento rés do chão direito do edifício 22 localizado no Bairro Social das Andorinhas, que apresenta as mesmas características do apartamento rés do chão esquerdo do edifício 16 localizado no mesmo bairro, para valores próximos ou inferiores aos valores referenciais, definidos em 27KWh/m².ano no mesmo certificado energético.

Em todos os cenários, foi adotada a mesma solução de reabilitação dos vãos envidraçados, composta por caixilhos em PVC e folha pivotante, com vidro duplo de 6mm, incolor e caixa de ar de 13 mm, com sistema de proteção solar externo, com régua de PVC, pouco permeáveis em cor média (Tabela 16).

Tabela 16: Caracterização de soluções de reabilitação dos vãos envidraçados

Envidraçados - vidros duplos 6mm, transparentes, incolores, 12 mm caixa de ar									
Local	Envidraçado m ²	Orientação cardinal	U _w LNEC (W/m ² .°C)	U _n calculado (W/m ² .°C)	U _w dn DB calculado (W/m ² .°C)	Fator solar global (SHGC)	VT	Estore	ΔR
Sala	3,16	N	2,1	1,797	1,949	0,04	0,78	sim	0,08
Área de Serviço	1,85	N	2,7	2,700	2,700	0,75	0,78	não	0
Área de Serviço	2,21	N	2,7	2,700	2,700	0,75	0,78	não	0
Dorm. 01	2,492	S	2,1	1,797	1,949	0,04	0,78	sim	0,08
Dorm. 02	2,49	S	2,1	1,797	1,949	0,04	0,78	sim	0,08
Total	12,202								

Em todos os cenários, foi utilizado o valor de coeficiente de transmissão térmica U_w [107] para envidraçados sem sistemas de proteção solar e realizado o cálculo do coeficiente de transmissão térmica médio U_n, para os vãos envidraçados localizados na sala e dormitórios com sistemas de proteção solar. As paredes divisórias entre os fogos e caixa de escada, são compostas por betão armado com 15cm de espessura, argamassadas em ambos os lados com 2cm de argamassa convencional. Sendo proposto para todos os cenários, o isolamento com

placas de poliestireno expandido moldado (EPS) com 8 cm de espessura, revestidas com argamassa convencional de 2 cm de espessura a ser aplicada pela caixa de escada, caracterizado de acordo com a Figura 35.

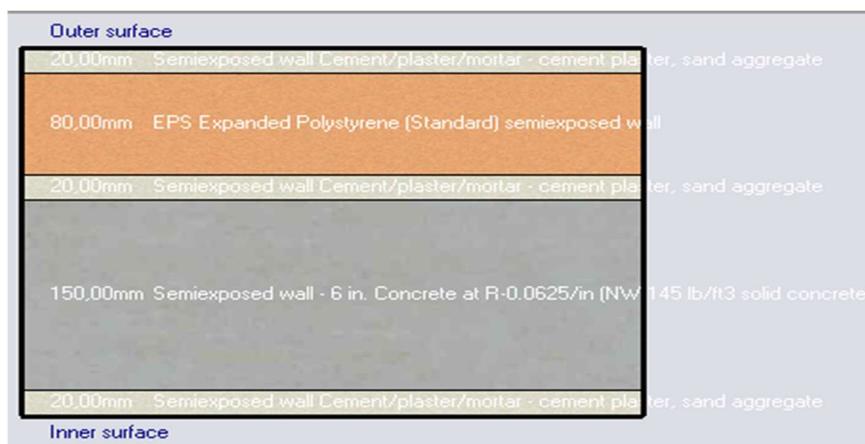


Figura 35: Caracterização de proposta de reabilitação em parede divisória ENU

A análise de resultados não se limitou somente ao desempenho energético aferido em cada um dos cenários, mas também, aos custos financeiros referentes à sua implementação, manutenção e substituição quando necessário, além do potencial de redução da pobreza energética através da redução dos custos financeiros relativos aos serviços energéticos, que é o objetivo principal dessa dissertação [89].

4.1.1 Aplicação de material isolante térmico na envolvente exterior

As boas práticas adotadas pelo mercado e na literatura, indicam a aplicação de material isolante térmico pelo exterior da envolvente do edifício, como o método mais efetivo para proteção aos agentes climáticos e atmosféricos, reduzir pontes térmicas, sem interferir na inércia térmica das fachadas e conseqüentemente, reduzir as necessidades energéticas para aquecimento do ambiente interior [122]. Ainda sim, sob certas circunstâncias, é indicada a aplicação de material isolante térmico pela face interior da envolvente, ou seja, pelo interior dos apartamentos localizados em edifícios histórico, cujas fachadas não podem sofrer intervenções desta natureza.

Dentre os métodos de isolamento descritos pelo LNEC [107], foram adotados o sistema ETICS, aplicado diretamente sobre a fachada e protegido por camada de argamassa armada, o sistema de Fachada Ventilada, fixado à fachada por suporte tendo caixa de ar entre a camada de isolamento e ao acabamento da nova fachada exterior [121,123], além o sistema de isolamento pelo interior, aplicado sob parede falsa de gesso.

ETICS

O sistema ETICS é composto por vários constituintes (Figura 36) que devem ser dimensionados de acordo com as características específicas de cada edifício, incluindo as características geométricas, a localização geográfica, dados climáticos, coeficiente de transmissão térmica e exigências regulamentares de segurança contra incêndio ou de comportamento face à ação da água.



Figura 36: Materiais que compõem o sistema ETICS [122]

Segundo o LNEC [107], materiais classificados como isolantes térmicos, apresentam condutibilidade térmica inferior a $0,065 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ e resistência térmica superior a $0,03(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$. O coeficiente de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação é $0,5 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{C}$, para elementos opacos verticais em zona climática de inverno I1 (Tabela 17).

Tabela 17: Coeficientes de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação

$U_{ref} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$		Zona Climática					
		Portugal Continental			Regiões Autónomas		
Envolvente		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Condição fronteira exterior ou interior com $B_{stu} > 0,7$	Elementos opacos verticais	0,5	0,4	0,35	0,7	0,6	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,4	0,35	0,3	0,45	0,4	0,35
Condição fronteira interior com $B_{stu} \leq 0,7$	Elementos opacos verticais	0,8	0,7	0,6	0,9	0,8	0,7
	Elementos opacos horizontais	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6
Vão envidraçado		2,8	2,4	2,2	2,8	2,4	2,2
Elementos em contato com o solo		0,5			0,5		

Para este estudo, foram calculados os valores de coeficientes de transmissão térmica, para as envolventes em todos os cenários de reabilitação energética (Anexo 10).

O sistema ETICS utiliza placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou placas de lã mineral de massa volumétrica elevada (MW), que apresentam espessuras de 30 a 80 mm a depender do tipo de material que compõe o pano de alvenaria e sua espessura, conforme publicação

LNEC [107] (Anexo 11) e apresentam durabilidade superior a 20 anos em estudo [124], que avaliou diversos edifícios reabilitados energeticamente com sistemas ETICS, sem a realização de manutenções periódicas na maioria dos casos (Anexo 12).

A fachada exterior (Figura 37) é composta por blocos de betão autoclavados com 24cm de espessura, argamassados em ambos os lados com 2cm de argamassa convencional. Sendo então adotado o isolamento com placas de poliestirenos expandido moldado (EPS) com 6cm de espessura, revestidas por argamassa com 2cm de espessura.

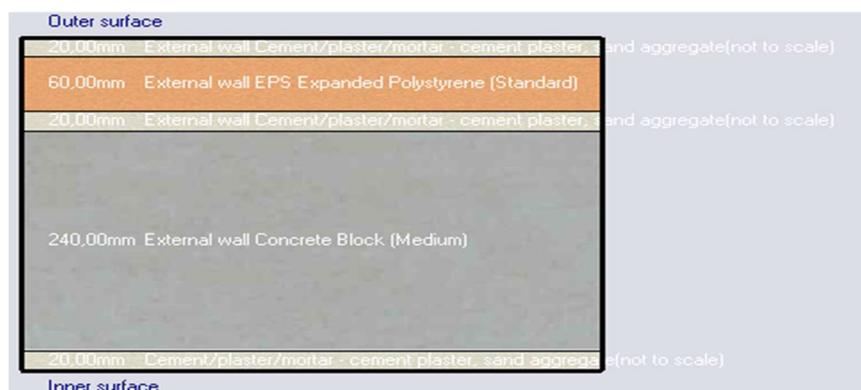


Figura 37: Composição sistema ETICS proposto em simulação energética

Fachada ventilada

A fachada ventilada constitui um sistema de cobertura da fachada exterior, composta pela aplicação de isolamento térmico diretamente na fachada em conjunto com painéis montados sobre estrutura metálica e ancorada na parede exterior, deixando um espaço de ar para a circulação do ar, pelo chamado efeito chaminé (Figura 38).

O efeito chaminé descreve a movimentação de ar resultante da diferença térmica entre o ambiente exterior e o espaço de ar da fachada ventilada. O ar aquecido é menos denso que o ar frio e a medida que o ar aquece, cria uma diferença de pressão na fachada do edifício, tendo baixa pressão no ponto mais baixo e alta pressão no ponto mais alto e variando o sentido de entrada de ar no períodos de arrefecimento e aquecimento [125].

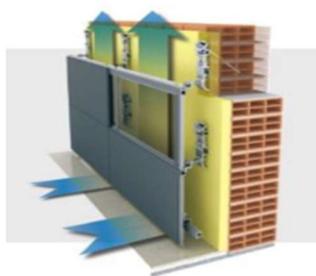


Figura 38: Fachada ventilada demonstrando o efeito “chaminé” do fluxo de ar.

São utilizados como isolante térmico, placas de lã mineral de massa volúmica elevada (MW), placas de poliestireno expandido moldado (EPS), placas de poliestireno expandido extrudido (XPS), placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB), espuma rígida de poli-isocianurato (PIR) ou de poliuretano (PUR) [107].

Na fachada exterior (Figura 39) foi adotado o isolamento com placas de poliestirenos expandido moldado (EPS) com 6cm de espessura aplicadas diretamente sobre a fachada, recobertas por estrutura portante de painéis de aglomerado de madeira e betão Beton Wood com 1,2cm de espessura e caixa de ar de 5cm de espessura entre os painéis e o isolamento.

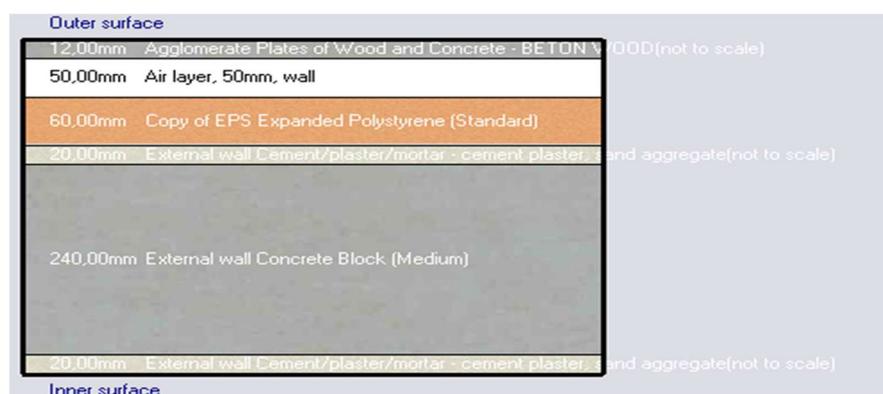


Figura 39: Composição sistema Fachada Ventilada proposto para simulação energética

Tem como benefícios a eliminação de condensação na superfície, garantindo a integridade do sistema de isolamento térmico através da ventilação natural, além da eliminação de pontes térmicas e da manutenção da integridade da fachada original [126]

Isolamento pelo interior

A aplicação de isolamento térmico pela face interior da envolvente do edifício (Figura 40), é a solução mais indicada para edifícios históricos, em que as fachadas devem ser conservadas em seu estado original como ocorre por exemplo em Portugal, mas também em casos de apartamentos localizados num edifício, cujo proprietário realizará a reabilitação energética, enquanto os proprietários das restantes frações do edifício não. O isolamento pelo interior apresenta como desvantagens, a redução da área útil interior do ambiente em que é aplicado, a incapacidade de tratar pontes térmicas nos encontros de vigas, pilares, paredes e lajes, assim como impede a infiltração de água através de fissuras existentes na envolvente opaca, apresentando redução de sua vida útil e do desempenho térmico esperado.

São utilizados como isolantes térmicos, placas de lã mineral de massa volúmica elevada (MW), placas de poliestireno expandido moldado (EPS), placas de poliestireno expandido extrudido

(XPS), placas de aglomerado de cortiça expandida (ICB), espuma rígida de poli-isocianurato (PIR) ou de poliuretano (PUR) [107].



Figura 40: Isolamento térmico aplicado pelo interior do apartamento

Foi adotado o isolamento pelo interior através do sistema Pladur Enairgy Standard Isopop, composto por painel transformado EPS, Isopop R.38, 10N 10+60 "PLADUR" (Anexo 13), formado por uma placa de gesso laminado com 10 milímetros de espessura, com os bordos longitudinais afinados que tem colada uma lâmina de poliestireno expandido de 60 milímetros de espessura recoberta por argamassa de gesso com 6 milímetros de espessura (Figura 41).

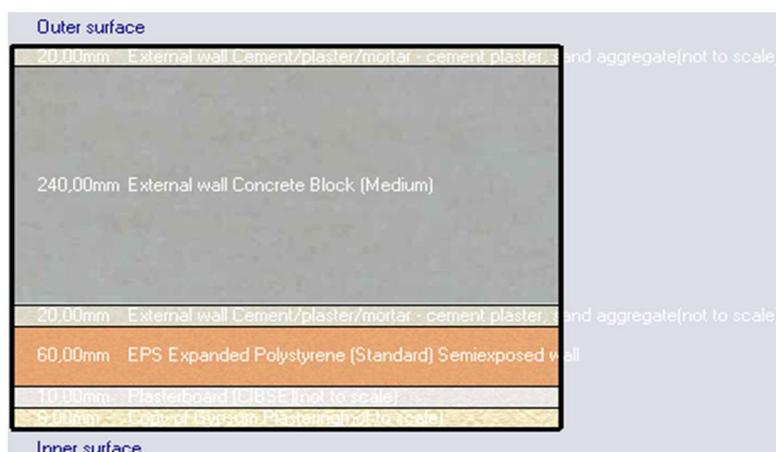


Figura 41: Composição elementos sistema Isolamento Interior para simulação energética

O isolamento pelo interior reduz o espaço útil do ambiente, devido à espessura do material isolante aplicado sobre as paredes. É ainda preciso considerar o estado de conservação da face exterior da envolvente, pois a presença de fissuras, ocasionará a infiltração de água e frio através da envolvente, resultando em humidade e danos no isolamento, reduzindo sua vida útil e seu desempenho, exigindo a sua substituição.

4.2 Evolução dos preços da energia

Em relatório publicado bianualmente pela Comissão Europeia a respeito dos preços e custos da energia na Europa [127] desde 2014, é apresentada a evolução dos preços retalhistas da

eletricidade para os agregados familiares desde 2010, com aumentos médios de 2,3% ao ano até 2019, devido à componente energética composta pelos preços grossistas e custos de comercialização no fornecimento de energia, e em menor parte pelas tarifas da rede, impostos e taxas.

Os impostos e taxas aplicados aos preços retalhistas, são determinados pelas diferentes políticas e instrumentos orçamentais dos Estados Membros, que podem coibir o consumo energético através da cobrança de impostos ambientais pagos pelos agregados familiares no valor de 1€/MWh no Luxemburgo, e 118€/MWh na Dinamarca, ou apoiar as energias renováveis, no valor de 3€/MWh na Suécia, e 67€/MWh na Alemanha.

No mesmo relatório [127], o preço grossista médio de Portugal em 2019 de 214€/MWh, valor superior à média da União Europeia e muito superior aos 170€/MWh aplicados na França. Com relação ao preço do gás natural, Portugal apresenta 95€/MWh, França 82€/MWh e a média da União Europeia é 70€/MWh.

Com relação aos preços retalhistas, a Direção Geral de Energia e Geologia disponibiliza em seu sitio eletrónico, o histórico de preços praticados ao longo dos semestre de acordo com a banda de consumo (Tabela 18) [128].

Tabela 18: Relação de preços retalhistas praticados em Portugal

Bandas de consumo	Consumo anual de eletricidade (kWh)		Preços em €/kWh					
			2020		2021		2022	
	Mín.	Máx.	1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre	1º semestre	2º semestre
			Preços incluindo impostos e taxas		Preços incluindo impostos e taxas		Preços incluindo impostos e taxas	
Banda - DA	< 1 000		€ 0,39	€ 0,39	€ 0,40	€ 0,42	€ 0,42	
Banda - DB	1000	<2500	€ 0,23	€ 0,24	€ 0,23	€ 0,24	€ 0,24	
Banda - DC	2500	<5000	€ 0,21	€ 0,21	€ 0,21	€ 0,22	€ 0,22	
Banda - DD	5000	<15000	€ 0,20	€ 0,20	€ 0,20	€ 0,21	€ 0,21	
Banda - DE	>= 15 000		€ 0,19	€ 0,19	€ 0,19	€ 0,20	€ 0,20	

Segundo o certificado energético SCE156211016 (Anexo 9), utilizado como referência neste estudo, o apartamento rés do chão direito, localizado no edifício 22 do Bairro Social das Andorinhas, apresenta estimativa para Nic igual a 72,9 kWh/m²/ano ou 4.504,49 kWh/ano, enquadrado na Banda DC de consumo, resultando em custos energéticos anuais de €990,98.

O certificado ainda apresenta o valor limite admissível para Nic igual a 27kWh/m².ano ou 1.668,33 kWh/ano, enquadrado na Banda DB de consumo, resultando em custos energéticos anuais de €400,39.

A simulação energética do apartamento rés do chão localizado no edifício 16, apresentou Nic igual a 3.255 kWh/ano, enquadrado na Banda DC de consumo, resultando em custos energéticos anuais de €716,10, muito superiores aos valores referenciais e incompatíveis aos rendimentos da população portuguesa mais vulnerável.

4.3 Seleção dos bairros sociais e edifícios de estudo

O setor de habitação social no Município de Braga, é composto por 749 habitações em 04 bairros sociais e em edifícios dispersos pela cidade, administrados através da empresa Bragahabit, que dispõe de equipas multidisciplinares para atender às solicitações diárias apresentadas pelos residentes, tanto no que se refere às manutenções corretivas simples quanto às manutenções emergenciais [73].

Conforme determinado no Projeto ARCAS, qualquer edifício reabilitado energeticamente nos últimos anos, deveria ser descartado, já que sua necessidade energética não representaria a realidade dos demais edifícios do bairro. O Bairro de Santa Tecla, foi inteiramente reabilitado energeticamente no ano de 2021 através da aplicação de sistema de isolamento pelo exterior, tendo que ser descartado dos ensaios [24].

O Bairro do Picoto, se encontra em disputa judicial entre a Câmara Municipal de Braga e a Arquidiocese, com relação à propriedade da área em que foi construído o bairro, que pode vir a ser demolido. Por esse motivo, também foi descartado. Restando os bairros sociais das Andorinhas e Enguardas.

Seguindo o cronograma determinado no Projeto ARCAS, o objeto do estudo foi apresentado ao departamento de manutenção e conservação patrimonial em novembro de 2021, para obtenção da concordância para a realização dos ensaios de monitorização, mediante o convencimento dos inquilinos residentes.

As autorizações foram obtidas após a realização de reuniões individuais com 35 residentes ao longo de 04 meses, sendo um apartamento no Bairro da Andorinhas e dois apartamentos no Bairro Social das Enguardas.

Enguardas

Construído entre 1976 e 1978, o bairro social das Enguardas, está localizado na freguesia de S. Vitor, composto por 07 edifícios de propriedade da Segurança Social e 178 fogos, divididos em 11 edifícios construídos em banda com 4 pisos, de propriedade da Bragahabit (Figura 42).



Figura 42: Bloco E localizado no Bairro Social das Enguardas

Os ensaios de monitorização estão a ser realizados em 02 apartamentos, localizados no 2º piso do edifício F e 3º piso do edifício E.

Andorinhas

Construído entre 1983 e 1986, o bairro social das Andorinhas está localizado na freguesia de S. Vicente, com 224 fogos, divididos entre 32 edifícios construídos em banda, apresentando até 4 pisos, fogos com tipologias T2, T3 e T4, sendo identificado o piso rés do chão com utilização de moradia nos blocos 01 a 30 e como comércio nos blocos 31 a 33 (Figura 43) [100].

Os edifícios sociais são compostos por elementos construtivos que não atendem as atuais exigências de desempenho energético para edifícios, apresentando reduzido desempenho energético com presença de fissuras nas fachadas, presença de bolores, caixilhos em alumínio com envidraçado simples e caixa de estore sem isolamento e permeável ao ar.



Figura 43: Edifícios 15 e 16 do Bairro Social das Andorinhas

Os ensaios de monitorização estão a ser realizados no apartamento localizado no piso rés do chão esquerdo do bloco 16, composto por 04 pisos e 8 fogos.

4.4 Dados necessários à simulação energética

Dados climáticos

Conforme já abordado anteriormente, o programa Design Builder utiliza dados climáticos históricos de Bragança, Coimbra, Évora, Faro Lisboa e Porto, relativos à base de dados chamada Ano Meteorológico Típico (TMY), sendo Porto, a localidade da estação meteorológica WMO AP.085450 (Figura 44), mais próxima à cidade de Braga e por isso, adotada nas simulações energéticas [96].

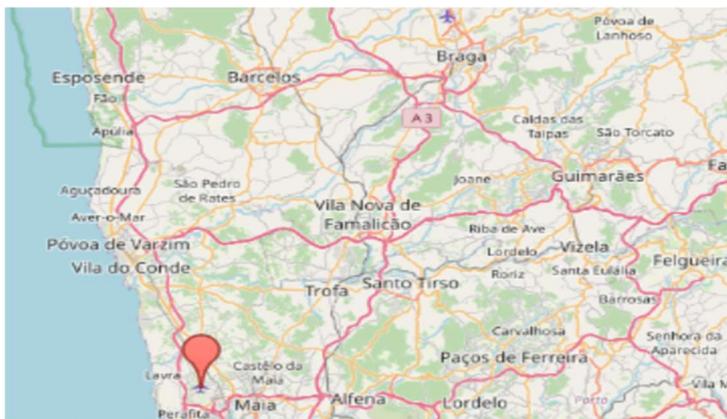


Figura 44: Estação meteorológica AP.085450 – localizada no Porto

Classificação por zonas climáticas

A localização do edifício influencia o seu desempenho energético na medida em que a severidade do clima, influencia as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício.

O zoneamento climático do País, é baseado na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos – NUTS, de nível III, cuja composição por municípios é determinada pelo Decreto-Lei nº 85/2009 e pela Lei nº 21/2010, enquadrando o município de Braga dentro da zona de Cávado (Tabela 19) [120].

Tabela 19: Braga está classificada dentro da região NUTS III de Cávado

Nuts III	Municípios
Minho-Lima	Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira

Alto Trás-os-Montes	Alfândega da Fé, Boticas, Bragança, Chaves, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vimioso, Vinhais
Cávado	Amares, Barcelos, Braga, Esposende, Terras de Bouro, Vila Verde
Ave	Cabeceiras de Basto, Fafe, Guimarães, Mondim de Basto, Póvoa de Lanhoso, Vieira do Minho, Vila Nova de Famalicão, Vizela

Portugal é dividido em três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) (tabela 20) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3), para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente.

Tabela 20: Critérios para a determinação da zona climática de inverno

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento (Figura 45) [129]

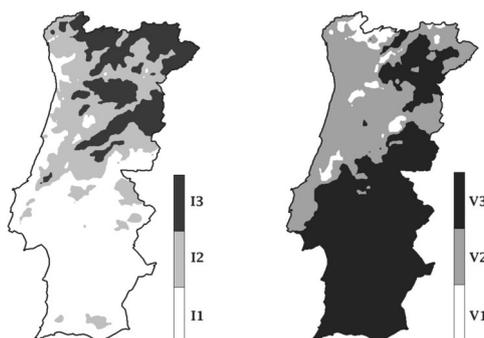


Figura 45: Zonas climáticas de inverno e verão em Portugal Continental

Caracterização dos edifícios

A implantação dos edifícios permite identificar 15 edifícios, com fachadas orientadas a 79° Nordeste, incluindo os edifícios 15 e 16, destacado na Figura 46, e 17 edifícios com fachadas orientadas a 171° Oeste.



Figura 46: Implantação edifícios Bairro Social das Andorinhas

O DesignBuilder permite a utilização de arquivo com extensão DWG, mediante a conversão para extensão DXF, para auxiliar na modelação de paredes e demais elementos construtivos dos edifícios, permitindo maior fidelidade ao projeto existente (Figura 47).

Ao modelar os ambientes dos edifícios, os mesmos foram enumerados automaticamente pelo software DesignBuilder, sendo 1841 o apartamento monitorizado e objeto das avaliações e simulações energéticas [93,101].

Os edifícios 15 e 16 foram inteiramente modelados em banda, considerando as influências térmicas do vão sanitário localizado abaixo do piso rés do chão, dos fogos adjacentes e da cobertura (Figura 47).

O apartamento 1841, é de tipologia T2, com 01 casa de banho completa, cozinha integrada à área de serviços, sala de estar e de jantar, tendo sido modelado como uma única zona térmica com as paredes internas modeladas sem engastar nas paredes externas e divisórias entre fogos (Figura 47), de modo a proporcionar massa térmica ao projeto sem criar novas zonas térmicas, enquanto a escada foi modelada como Zona Semi-Exterior e sem climatização [101].

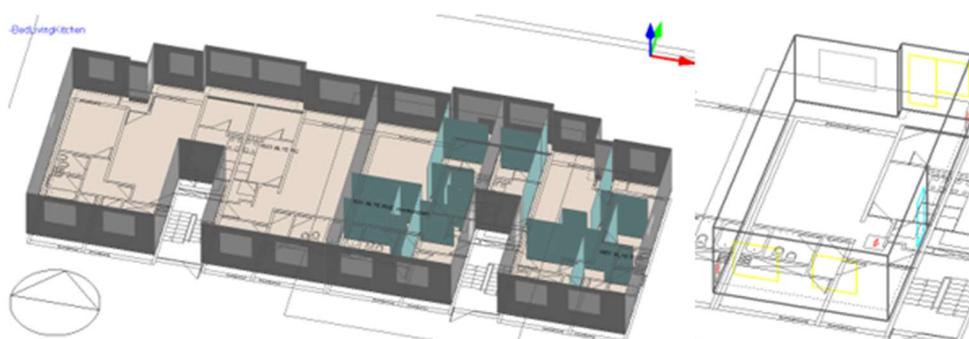


Figura 47: Apartamentos modelados como zonas térmicas únicas, com destaque para as zonas adiabáticas adjacentes ao apartamento 1841

Os elementos construtivos foram caracterizados de acordo com as informações coletadas *in loco*, em consulta aos desenhos técnicos e aos certificados energéticos relativos aos edifícios adjacentes aos edifícios modelados, fornecidos pela Bragahabit [73].

As envoltentes opacas são constituídas por blocos de betão autoclavados, recobertos em ambas as faces por argamassa de cimento e areia (Tabela 21).

Tabela 21: Caracterização envoltente opaca apartamento 1841

Cenário 1 - atual não reabilitado					
Elemento	Espessura (m)	Material	U (W/m ² .°C)	Área (m ²)	Orientação
Fachada Área de Serviço	0,02	Argamassa areia, cimento e areia	0,683	7,963	N
	0,24	Bloco betão autoclavado			
	0,02	Argamassa areia, cimento e areia			
Fachada Área de Serviço lateral	0,02	Argamassa areia, cimento e areia	0,683	1,505	N
	0,24	Bloco betão autoclavado			
	0,02	Argamassa areia, cimento e areia			
Fachada Sala	0,02	Argamassa areia, cimento e areia	0,683	11,622	N
	0,24	Bloco betão autoclavado			
	0,02	Argamassa areia, cimento e areia			
Fachada Dormitórios	0,02	Argamassa areia, cimento e areia	0,683	19,773	S
	0,24	Bloco betão autoclavado			
	0,02	Argamassa areia, cimento e areia			
Parede betão semi exposed wall	0,02	Argamassa areia, cimento e areia	2,8	16,599	
	0,15	concreto			
	0,02	Argamassa areia, cimento e areia			

Com exceção a casa de banho que dispõe de sistema de ventilação mecânica, ainda que danificado, todos os demais ambientes dispõem de janelas para ventilação natural. O sistema

de aquecimento ambiente é composto por radiador elétrico, enquanto o aquecimento das águas sanitárias, é realizado por caldeira a gás.

O apartamento apresenta janelas em caixilharia de alumínio sem corte térmico, com folhas de correr, vidros simples, incolor com 6 mm de espessura, com características obtidas através de cálculos, consultas à catálogos de fabricantes [114,115], ITE50 e normativas (Tabela 22).

Tabela 22: Caracterização dos envidraçados existentes no apartamento monitorizado

Envidraçados - genérico 6mm, estore persiana de régua plástico média sem enchimento									
Local	Envidraçado m ²	Orientação cardinal	Uw LNEC (W/m ² .°C)	Un calculado (W/m ² .°C)	Uwdn calculado (W/m ² .°C)	Fator solar global (SHGC)	VT	Estore	ΔR
Sala	3,16	N	3,8	2,914	3,357	0,07	0,89	sim	0,08
Área de Serviço	1,85	N	6,0	6,000	6,000	0,85	0,89	não	0
Área de Serviço	2,21	N	6,0	6,000	6,000	0,85	0,89	não	0
Dorm. 01	2,492	S	3,8	2,914	3,357	0,07	0,89	sim	0,08
Dorm. 02	2,49	S	3,8	2,914	3,357	0,07	0,89	sim	0,08
Total	12,202								

Conforme já abordado anteriormente, a simulação energética foi realizada de modo a caracterizar as necessidades nominais anuais de energia útil para o aquecimento do ambiente interior em 18°C no inverno e 25° no verão, considerando ganhos internos de 4 W/m², infiltração de ar de 0,5 trocas de ar por hora [105], com *template* para aberturas (*crack template*) muito pobre (*very poor*).

Com relação ao perfil de ativação dos sistemas de proteção solar existentes nas janelas dos quartos e na janela da sala, o mesmo foi definido conforme o Decreto-Lei n°101-D/2020 (figura 48), que orienta pela ativação dos sistemas de proteção solar no período de arrefecimento, de acordo com a orientação dos envidraçados externos [105]. Neste estudo, os envidraçados, foram considerados ativos em 60%, no período de arrefecimento.

Category	Residential spaces						
Region	General						
Schedule type	1-7/12 Schedule						
Design Days							
Design day definition method	2-Profiles						
Heating design day profile	On						
Cooling design day profile	On						
Profiles							
Month	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
Jan	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Apr	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%
May	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%
Jun	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%
Jul	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%
Aug	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%
Sep	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%	Andorinhas 60%
Oct	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Nov	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Dec	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off

Figura 48: Perfil de ativação sistemas de proteção solar

A simulação energética, apresenta o apartamento 1841 com necessidades energéticas anuais iguais a 3.415,66 kWh (Anexo 14). Ao se dividir este valor pela área do apartamento 70,49m², se obtém o valor de necessidades energéticas anuais iguais a 48,46 kWh/ano.m², valor este muito superior ao valor referenciado no certificado energético SCE156211016, comprovando assim, as elevadas necessidades energéticas anuais para aquecimento da habitação social, que se relacionam aos objetivos deste estudo.

Foram então realizadas simulações energéticas para cada um dos cenários de reabilitação das envolventes, propostos no item 3.12, considerando os mesmos perfis de utilização, ativação de sistemas de proteção solar, ganhos internos e taxa de infiltração, em que foi possível identificar os seguintes valores de necessidades energéticas anuais (Tabela 23).

Tabela 23: Simulações energéticas de cenários de reabilitação energética propostos

28/05/2023	Consumo anual (KWh/ano)	Área (m ²)	Nic (KWh/m ² .ano)
Cenário 2 - ETICS	631,267	70,49	8,955
Cenário 3 - Interior	778,257	69,93	11,129
Cenário 4 - F. Vent.	393,883	70,49	5,587

Em todos os cenários avaliados, os valores das necessidades energéticas anuais foram inferiores ao valor de 27kWh/m².ano caracterizados no certificado energético SCE156211016 como valor de referência ao cenário de reabilitação energética (Anexo 7).

Foram disponibilizados os resultados das simulações energéticas referentes aos cenários de reabilitação energética avaliados neste estudo (Anexos 15,16 e 17).

Capítulo 5 – Redução das necessidades energéticas e pobreza energética

Neste capítulo é realizada a avaliação dos resultados obtidos nos processos de simulação energética realizados através do programa DesignBuilder, assim como os resultados da avaliação minuciosa de cada componente que constitui as soluções construtivas propostas, obtidos através da metodologia MARS, afim de identificar a que apresente o melhor desempenho sustentável e maior potencial de redução da pobreza energética.

5.1 Redução das necessidades energéticas e da pobreza energética

A simulação energética permitiu avaliar as necessidades energéticas de um edifício caracterizado pela ineficiência energética, considerando 03 cenários de reabilitação da envolvente, de modo a identificar o cenário que apresentou a maior redução das necessidades energéticas (tabela 24).

Tabela 24: Comparativo resultados simulações energéticas relativas aos cenários propostos

28/05/2023	Consumo anual (KWh/ano)	Área (m ²)	Nic (KWh/m ² .ano)	Redução Nic (KWh/m ² .ano)
Cenário 1 - Atual	3.415,66	70,62	48,366	0
Cenário 2 - ETICS	631,267	70,62	8,938	82%
Cenário 3 - Interior	778,257	69,93	11,129	77%
Cenário 4 - F. Vent.	393,883	70,62	5,577	88%

Em todos os cenários avaliados, foi possível identificar a redução do consumo energético anual em comparação ao cenário inicial, sendo que o cenário 4, composto pelo sistema Fachada Ventilada, apresentou o menor valor de necessidades energéticas anuais para aquecimento, em comparação aos demais cenários avaliados. O sistema mais utilizado pelo mercado de reabilitação energética de habitações, dentro das “boas práticas”, o sistema ETICS caracterizado no cenário 2, apresentou o segundo menor valor de necessidades energéticas anuais para aquecimento, mas ainda inferior ao valor apresentado pelo sistema caracterizado no cenário 4, com isolamento pelo interior.

A metodologia MARS, permitiu avaliar cada um dos cenários no que se refere ao desempenho ambiental, económico, funcional e social, sendo os dois últimos, os mais relevantes para a

definição do cenário com melhores condições de mitigar a pobreza energética e conferir poupança financeira aos residentes dos edifícios reabilitados energeticamente.

Os três cenários de reabilitação de fachada exterior foram caracterizados de acordo com a composição de cada elemento construtivo, considerando seu peso individualizado em Kg/m² para totalizar o impacto ambiental de cada cenário proposto. Da mesma forma, foi caracterizado o custo para construção de cada cenário proposto, assim como o custo de manutenção necessária para se obter o desempenho esperado (Anexo 18).

Cabe ressaltar, que o edifício existente caracterizado no cenário 1, apresenta impactos ambientais relativos ao processo construtivo que perduram por todo o ciclo de vida do edifício, sendo por isso, acrescidos aos impactos ambientais caracterizados em cada cenário de reabilitação energética proposto, para aplicação da Metodologia MARS.

Foram então considerados para efeito de cálculo, apenas os custos de operação e manutenção na composição do custo de ciclo de vida do cenário 1, assim como o coeficiente de transmissão térmica da fachada exterior, visto a necessidade de caracterização do cenário inicial, como parâmetro de comparação para os demais cenários de reabilitação energética avaliados.

Desconsiderar os impactos incorporados ao cenário 1, influenciaria na normatização dos parâmetros avaliados, nos cálculos dos desempenhos dentro dos parâmetros de sustentabilidade e nas Notas Sustentáveis dos cenários de reabilitação energética avaliados na Metodologia MARS.

Conforme verificado na Matriz Factorial [91], os cenários de reabilitação contemplam materiais cujas vidas úteis, ultrapassam os 30 anos especificados para a análise de ciclo de vida do edifício, não havendo justificativas para serem considerados custos de substituição neste estudo, mas somente os custos de reparação de fendas em paramento exterior com emboço para todos os cenários, com exceção do cenário de parede ventilada que não necessita de reparações desta natureza.

Isto posto, a caracterização dos cenários de reabilitação energética propostos, quanto aos impactos ambientais devidamente normalizados, apresentou o cenário 1, não reabilitado, com o melhor desempenho ambiental (IA), já que os demais cenários incorporaram seus impactos ambientais aos apresentados pelo cenário 1 (Anexo 19). Dessa maneira, o cenário composto pelo isolamento aplicado pelo interior, apresentou o melhor desempenho dentre os cenários de reabilitação energética.

Quanto ao desempenho funcional (IF), o mesmo foi baseado no coeficiente de transmissão térmica (U) da fachada exterior em cada cenário avaliado, resultando no melhor desempenho do cenário composto pelo isolamento tipo fachada ventilada (Anexo 20), tendo o cenário composto pelo isolamento aplicado pelo interior, apresentando o segundo melhor desempenho, sendo este, ligeiramente superior ao apresentado pelo cenário composto pelo isolamento aplicado pelo exterior, tipo ETICS.

O desempenho económico (IE), composto pelo total de custos ao longo do ciclo de vida, apresentou o cenário sem reabilitação, com o melhor desempenho, visto que seu custo de construção não foi considerado, mas somente o custo de manutenção. Isto posto, o cenário composto pelo sistema com isolamento pelo interior, apresentou o melhor desempenho (Anexo 21) dentre os cenários propostos de reabilitação energética, enquanto o cenário composto pelo isolamento aplicado pelo exterior, tipo ETICS, apresentou o segundo melhor desempenho.

Os valores de necessidades energéticas anuais obtidos através das simulações energéticas (Tabela 24), foram enquadrados nas bandas de consumo energético (Tabela 18), para identificação da tarifa energética aplicável a cada cenário avaliado, caracterizando assim, o custo financeiro energético anual [128].

Nesse sentido, o cenário composto pelo sistema ETICS, apresentou custo energético anual de €123,11, o cenário composto pelo sistema de isolamento pelo interior, apresentou custo energético anual de €380,57 e o cenário composto pelo sistema fachada ventilada, apresentou custo energético anual de €286,39 (Tabela 25).

Tabela 25: Desempenho Social das soluções avaliadas através da Metodologia MARS

DESEMPENHO INDICADOR 10% (10%)							
SOLUÇÃO	Nic (kWh/ano)	Nic (kWh/m ² .ano)	Tarifa energética/kWh Banda DC	Custo energético anual	110%	Custo energético mensal	Poupança em 30 anos
Solução 1 - Não reabilitado	3 415,66	48,36677995	0,22 €	751,16 €	0,00	62,60 €	0,00 €
Solução 2 - ETICS	631,27	8,93892665	0,42 €	266,85 €	0,8284	22,24 €	14 529,17 €
Solução 3 - Interior	778,26	11,12908623	0,42 €	328,99 €	0,7221	27,42 €	12 665,07 €
Solução 4 - Fachada Ventilada	393,88	5,577499292	0,42 €	166,50 €	1,0000	13,88 €	17 539,62 €

O indicador 10%, relacionado ao desempenho social, define como limiar para enquadramento em situação de pobreza energética, o pagamento em custos energéticos equivalentes a 10% do rendimento bruto familiar. Neste sentido, a definição deste limiar se mostra necessária para atender a 18,4% da população portuguesa em risco de pobreza, com rendimentos anuais inferiores a €6.653,00 ou €554,00 mensais [130], que lhes permite suportar custos energéticos equivalentes a €665,30 anuais ou €55,40 mensais. Ou seja, o cenário de reabilitação energética deve apresentar o maior potencial para redução dos custos energéticos para valores inferiores a €665,30 anuais ou €55,40 mensais.

Neste sentido, o cenário composto pelo sistema Fachada Ventilada, se apresenta com maior potencial de redução dos custos energéticos, ao reduzir em 88%, os custos energéticos apresentados pelo cenário não reabilitado, resultando em custos energéticos €166,50 anuais ou €13,80 mensais, inferiores aos limites de custos energéticos suportados pela população portuguesa em risco de pobreza [130].

Os custos energéticos anuais apresentados pelos cenários de reabilitação energética avaliados, foram então normalizados, de modo a se obter o Desempenho Social (10%), que juntamente com os resultados relativos aos desempenhos ambiental (IA), funcional (IF) e económico (IE), foram então multiplicados pelos pesos atribuídos a cada desempenho e somados (Tabela 12), para então totalizar a nota sustentável (NS).

Conforme já abordado anteriormente, a atribuição dos pesos é adequada à importância relativa de cada um dos índices avaliados para atender os objetivos deste estudo. O desempenho funcional está relacionado ao coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca da habitação, enquanto o desempenho social, está relacionado à capacidade de redução dos custos energéticos, sendo por isso, necessário atribuir maior importância aos índices social e funcional.

Considerando então a aplicação dos pesos relativos aos desempenhos, o cenário composto pelo isolamento aplicado pelo interior da envolvente caracterizado na solução 3, apresentou a melhor nota sustentável (NS), através da Metodologia MARS (Tabela 26), enquanto o sistema ETICS apresentou a segunda melhor nota sustentável e o sistema de fachada ventilada, apresentou a terceira nota sustentável.

Tabela 26: Nota Sustentável das soluções avaliadas sob pesos relativos específicos

NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE (NS)					
SOLUÇÃO	DESEMPENHO AMBIENTAL (IA)	DESEMPENHO FUNCIONAL (IF)	DESEMPENHO ECONÔMICO (IE)	DESEMPENHO SOCIAL (I10%)	NS
Solução 1 - Não reabilitado	1,00	0,00	1,00	0,00	0,5000
Solução 2 - ETICS	0,10	0,713	0,45	0,83	0,5225
Solução 3 - Interior	0,24	0,713	0,46	0,72	0,5338
Solução 4 - Fachada Ventilada	0,00	1,00	0,00	1,00	0,5007

A representação gráfica dos resultados, permite visualizar o desempenho de cada uma das soluções em comparação com a solução 1, assim como identificar no cenário composto pelo isolamento aplicado pelo interior, o melhor desempenho global (Figura 49).

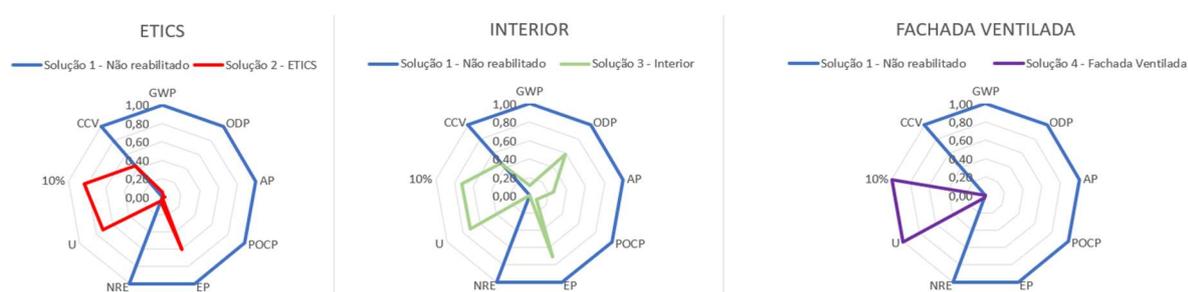


Figura 49: Representação gráfica dos desempenhos obtidos pelos cenários avaliados

A simulação energética se mostrou uma ferramenta essencial no processo de caracterização do edifício de habitação social, apresentado no caso de estudo quanto ao desempenho energético, para então, avaliar diferentes cenários propostos de reabilitação energética, com objetivo de reduzir as necessidades energéticas anuais, a valores compatíveis aos rendimentos da população mais vulnerável ao fenómeno da pobreza energética [130].

Os resultados obtidos através da simulação energética, comprovaram os benefícios energéticos possíveis de serem atribuídos aos imóveis que vierem a sofrer intervenções nas envolventes, dentro dos cenários de reabilitação propostos, o que vai de encontro com parte do objetivo desse trabalho.

A utilização da metodologia MARS, permitiu avaliar o impacto ambiental, económico, funcional e social (Tabela 26) de cada um dos cenários propostos, possibilitando assim, agregar à nota sustentável (NS), o maior potencial de redução das necessidades energéticas anuais para aquecimento, com resultado direto na criação de poupança financeira, em benefício dos residentes deste edifício reabilitado, não mais enquadrado em situação de pobreza energética de acordo com o indicador 10%, atingindo assim, todos os objetivos propostos no Capítulo 1.

Capítulo 6 - Conclusão

A avaliação dos resultados apresentados no capítulo anterior, permite definir tecnicamente a melhor solução no que se refere ao desempenho global de sustentabilidade, permitindo assim compreender, a existência de outros critérios e fatores que influenciam nas escolhas das empresas públicas gestoras dos bairros sociais, na adoção do sistema ETICS nas obras de reabilitação.

6.1 Avaliação sob a perspetiva das entidades gestoras dos bairros sociais

A pobreza energética é um fenómeno que atinge mais de 10% da população europeia, relacionado com a baixa qualidade construtiva dos edificados, período de construção, sistema construtivo, localização geográfica, características climáticas, reduzidos rendimentos familiares, elevadas tarifas energéticas, disponibilidade de fontes energéticas variadas, entre outros fatores abordados ao longo deste estudo.

A redução das necessidades energéticas anuais para aquecimento dos edifícios, assim como preparação de alimentos, AQS, iluminação e equipamentos elétricos, além da manutenção da temperatura interior dentro da faixa de conforto, através de sistemas passivos e ativos, é comprovadamente a forma mais eficiente de se mitigar os impactos da pobreza energética, atenuando assim, impactos em toda a sociedade, seja através da redução de doenças, invalidez, óbitos, afastamentos e internamentos hospitalares, ou seja através de redução dos casos de depressão, aumento da autoestima e bem estar.

No contexto dos bairros sociais em que muitos dos edifícios apresentam apartamentos privados e apartamentos administrados por entidades gestoras, a reabilitação energética das envolventes é uma realidade distante em decorrência dos baixos rendimentos dos proprietários e das receitas auferidas através das rendas pagas pelos inquilinos, insuficientes para fazerem frente aos custos das entidades gestoras dos bairros sociais.

Estão englobados os custos administrativos e os custos de manutenções emergenciais, sendo muitas vezes suportados, através de apoios junto à Câmara Municipal, já que a elaboração de projetos e contratação obras de reabilitação, dependem de apresentação de candidaturas aos apoios do Governo ou contatos de financiamento junto aos órgãos ligados à União Europeia, conforme demonstrado no Capítulo 4.

Diante do contexto descrito, é compreensível o atual estado de degradação identificado em 28,9% dos edifícios portugueses (Figura 12), muitos destes, localizados em bairros sociais, incluindo os edifícios avaliados neste estudo, em que é possível identificar nas suas envolventes, a presença de inúmeras fissuras em longas extensões, possibilitando a criação de pontes térmicas e infiltração de água, que se acumula no piso do interior dos apartamentos, gerando impactos negativos aos residentes destes edifícios (Figura 50).



Figura 50 - Fachada degradada dos edifícios 15 e 16 localizados no Bairro Social das Andorinhas

Diante da impossibilidade de efetuar manutenção preventiva, corretiva ou ainda de reabilitar as envolventes dos edifícios, optou-se por realizar perfurações na fachada exterior, para a instalação de drenos metálicos de 1 polegada, com o objetivo de escoar a água acumulada no interior dos apartamentos e captada através de calha metálica instalada na face interna da envolvente junto ao piso interior, protegida por parede de gesso acartonado.

A solução paliativa adotada, ignora que a infiltração de água pela fachada exterior, é responsável por diversas patologias estruturais, como a carbonatação, eflorescência e lixiviação, devido ao contato da água com o aço contido nas estruturas de betão, como pilares, vigas e lajes, resultando no processo de corrosão do aço em que a expansão do volume do aço no interior do betão, acarretará em fissuras no betão, com possível redução na capacidade de carga das estruturas em betão armado [131] e danos ao sistema de reabilitação energética que vier a ser aplicado, seja pelo interior ou pelo exterior da envolvente (Figura 51) [132].



Figura 51: Estrutura de betão com perda de capacidade de carga [132]

Diante deste cenário, recentemente foi criado o 1º Direito – Programa de Apoio a Habitação [133], com o objetivo de apoiar financeiramente à fundo perdido ou empréstimo, através do Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana - IHRU, famílias para acenderem à habitação adequada e entidades para promoverem soluções habitacionais, através de candidaturas que englobam desde a reabilitação de frações e edifícios habitacionais, até a aquisição de terrenos, construção de edifícios habitacionais e aquisição de frações ou edifícios habitacionais.

A Bragahabit e a Câmara Municipal de Braga [134], já apresentaram candidaturas e firmaram contratos junto ao IRHU [135,136] para a reabilitação energética do Bairro Social das Andorinhas através da aplicação de sistemas pelo exterior das envolventes compostos por ETICS e Fachada Ventilada, garantindo assim a reabilitação energética das unidades habitacionais do bairro, incluindo as pertencentes aos privados, desde que elegíveis ao financiamento concedido sob forma de coparticipação não reembolsável ou empréstimo bonificado.

Para atender os objetivos do 1º Direito [137], é necessário que a contratação do projeto de reabilitação energética de edifícios sociais pelas entidades gestoras, considere os custos de investimento para a construção da solução construtiva, os custos de manutenção periódica, os impactos ambientais, a durabilidade, a capacidade de redução das necessidades energéticas para manutenção da temperatura interior de conforto e ainda a redução dos gastos financeiros com tarifas energéticas por parte dos inquilinos e residentes.

Neste sentido, a metodologia desenvolvida e apresentada ao longo deste trabalho, possibilita aos projetistas, avaliar o desempenho de cada proposta de solução construtiva, considerando as necessidades específicas relativas ao bairro social em questão e de sua entidade gestora,

que exercerão influência na determinação dos pesos relativos dados a cada desempenho avaliado e consequente, na escolha da melhor solução construtiva.

O sistema de reabilitação aplicado pelo interior da envolvente, apresentou a maior nota sustentável, mas não atende às necessidades específicas relativas ao Bairro Social das Andorinhas e de sua entidade gestora, visto não proteger a envolvente exterior da ação das intempéries, resultando em novas fissuras, infiltração de água e pontes térmicas, exigindo a reparação periódica de fissuras nas envolventes, afim de garantir o desempenho do sistema de isolamento aplicado.

Por outro lado, o sistema de reabilitação ETICS apresentou a segunda melhor nota sustentável e se mostra o mais indicado na ótica da entidade gestora dos bairros sociais, por proteger a fachada exterior da ação das intempéries e possíveis infiltrações, reduzir as pontes térmicas, sem interferir na inércia térmica da envolvente do edifício e ainda apresentar o maior potencial para reduzir as necessidades energéticas anuais para aquecimento e mitigar a pobreza energética.

É possível perceber que a escolha pelo sistema ETICS, não se baseia exclusivamente em critérios técnicos e económicos, mas também pelo impacto psicossocial causado nos residentes dos edifícios, devido à nova aparência exterior dos antigos edifícios degradados, ao longo de anos sem a necessidade de manutenção (figura 52).

É notório, que esse tipo de reabilitação, tem o efeito de valorizar não apenas o bairro e os imóveis próximos, impactando o bem estar dos residentes, assim como os índices de depressão e doenças mentais [138], mas também atraindo novos comércio e serviços para se instalarem no bairro reabilitado e ainda possibilitando retorno político junto aos eleitores residentes em todo o bairro beneficiado com a reabilitação energética.



Figura 52: Bairro Pendão em Sintra antes e depois da reabilitação pelo sistema ETICS

O aspeto económico é suportado pelo estudo realizado pelo Instituto Fraunhofer [124], que descreve o desempenho de diversos edifícios construídos em cidades localizadas na Alemanha a partir de 1960 e reabilitados com a aplicação de sistema ETICS, sem qualquer manutenção preventiva ao longo de 20 anos desde sua aplicação e ainda sim, mantendo seu aspeto estético e o desempenho que lhe é esperado (Figura 53).



Figura 53: ETICS ao longo de mais de 20 anos sem manutenção [124]

Esse desempenho alargado, não descarta a necessidade de um plano de manutenção por parte das entidades gestoras, que contemple a execução de serviços de pintura, aplicação de resina sintética, substituição de áreas danificadas ou até a aplicação de nova camada ETICS, nos projetos de reabilitação energética no âmbito dos bairros sociais, já que assim apresentarão o desempenho térmico esperado ao longo de pelo menos 20 anos.

A garantia do desempenho térmico ao longo de pelo menos 20 anos, através do plano de manutenção, possibilitará à entidade gestora, ter a previsibilidade de intervenções preventivas, dentro de um horizonte temporal claramente definido, de modo a reduzir os atendimentos emergenciais, as compras de materiais para reparações não programadas e as recorrentes solicitações dos inquilinos, por intervenções.

Permitirá ainda, a manutenção dos baixos níveis de pobreza energética apresentados neste estudo, através da redução das necessidades energéticas anuais para aquecimento em 82%, o que equivale a consumir 632,27kWh/ano ante aos atuais 3.415,66kWh/ano.

A redução é expressiva e vai no sentido de beneficiar os residentes dos bairros sociais, muitos deles enquadrados pelo INE e PORTADA, no universo de 18,4% de portugueses que se encontram abaixo do limiar de pobreza, com rendimentos mensais inferiores a €554 [139] e que deixarão de comprometer 11,30% de seus rendimentos e passarão a comprometer 2,04%, ou seja, terão a possibilidade de constituir uma poupança financeira devido a redução de 83% nos custos energéticos, pois passaram a residir em edifícios energeticamente eficientes.

6.2 Estudos futuros

Os esforços da União Europeia no sentido de orientar os Estados Membros, através de normativas e diretivas como o Pacto Ecológico Europeu e o *Next Generation*, objetivando a redução dos impactos da pobreza energética, redução do consumo energético, descarbonização das economias europeias, redução das emissões de gases de efeito estufa e promoção do crescimento sustentável, foram impactados inicialmente pelos efeitos do aquecimento global, que alteraram as condições climáticas em todo o mundo.

Ainda foram impactados pelos efeitos da Pandemia de COVID 19, que resultou na adoção de medidas restritivas impostas por quase todos os governos mundiais, denominadas *lockdown*, através do toque de recolher obrigatório da população, que permaneceu em suas residências durante meses, até o início das campanhas de vacinação e abrandamento dos quadros de ocupação de leitos hospitalares, o que resultou na elevação do consumo energético residencial.

A guerra iniciada pela Rússia ao invadir a Ucrânia, mereceu a adoção de sanções económicas e comerciais à Rússia, impostas pela União Europeia na tentativa de impactar financeiramente o Governo russo e assim influenciar na elaboração de um acordo de paz entre as duas nações.

As sanções não resultaram no acordo de paz, mas assim, na interrupção parcial do fornecimento de gás natural proveniente da Rússia e transportado por sistema de gasoduto russo, ao longo do território ucraniano para abastecimento de residências e empresas em diversos países europeus [140], agravando os efeitos da pobreza energética em todo o território europeu.

Esse agravamento obrigou aos Governos, a buscarem alternativas energéticas de forma emergencial afim de minimizar os impactos económicos e sociais na véspera do período de inverno, relegando os impactos ambientais, como demonstrado pelo Governo da Alemanha ao autorizar a expansão da mina de carvão (lignite), *Garzweiler*, no Estado da Renânia do Norte-Vestfália, com conseqüente derrubada da milenar Floresta de Hambach [141].

A França, através de seu Presidente Emmanuel Macron, anunciou em fevereiro o “renascimento da energia nuclear” na França, através da reativação de 32 reatores nucleares, além da construção de outros 06 até 2050, sob a alegação de defesa da liberdade e independência energética em relação ao Governo russo [142].

Portugal, apesar de ter investido no alargamento da geração de energia através de fontes renováveis, inclusive investindo no encerramento da última central de geração energética a utilizar carvão como combustível, está sofrer com a instabilidade relativa ao fornecimento de gás natural proveniente da Nigéria, devido às condições climáticas que causaram inundações e a paralisação na produção e fornecimento de gás, ocorrida em outubro.

Essa busca por fontes alternativas elevou as tarifas energéticas portuguesas em 35% no mês de agosto, impactando fortemente os rendimentos familiares e o Orçamento do Estado, insuficiente para fazer frente aos impactos socioeconómicos, através de apoios sociais extraordinários [143], realidade essa, enfrentada por outros países como Alemanha, França e Inglaterra, que deverão avaliar outras alternativas energéticas, visto a impossibilidade de adoção imediata de fontes energéticas renováveis em níveis nacionais.

Por fim, vimos as autoridades ucranianas a tentarem reabilitar os sistemas de infraestrutura elétrica, afim de permitir à população, a utilização de sistemas de aquecimento num país que enfrenta temperaturas inferiores a -10°C no período de inverno, afim de evitar a morte de milhares de pessoas pelo frio, inclusive disponibilizando tendas públicas infláveis para que a população possa buscar aquecimento e alimentos, de forma paliativa.

Essa realidade enfrentada pelos ucranianos, em maior ou menor escala, está diante de todos os países europeus, que por um lado, se veem comprometidos com as metas climáticas que incluem a substituição gradual das fontes energéticas a carvão e geradoras de gases de efeito estufa, por fontes renováveis de energia limpa, mas que por outro lado, precisam atender às necessidades energéticas internas, de modo a impedirem o colapso das economias e a morte de milhares de habitantes pelas baixas temperaturas do inverno.

A pobreza energética, que é objeto de estudos desde a década de 1970, passa a contar com a inédita influência de fatores geopolíticos, que podem elevar o termo *“heat or eat”* aos patamares equivalentes aos encontrados somente na Segunda Guerra Mundial.

A redução do fornecimento de gás, a inexistência de fontes energéticas alternativas para atender ao mercado europeu a curto prazo, o processo de elevação das tarifas energéticas, processo inflacionário e perda de poder de compra da população devido aos baixos rendimentos e ao processo inflacionário, deverão ser considerados nos estudos futuros que já estão a ser realizados, incluindo o Projeto ARCAS e que certamente identificarão o aumento

da pobreza energética, apesar dos apoios emergenciais dos Governos e da própria União Europeia.

A própria União Europeia certamente levará em consideração todos esses eventos que impactarão o planeamento europeu quanto a realização da transição energética até 2050, sendo necessário reavaliar as metas e prazos acordados anteriormente, afim de adequa-los à atual conjuntura geopolítica, pois se antes a pobreza energética atingia 10% da população europeia, hoje, somente na Ucrânia já se registam milhões de pessoas sem condições de contratar serviços energéticos [144] e que poderá ainda ser alterada a qualquer momento, devido à instabilidade geopolítica global, que envolvem ainda os possíveis conflitos armados envolvendo China e Hong-Kong, Coreia do Norte, Japão e Coreia do Sul, além da possibilidade do alargamento do conflito russo para todo o território europeu.

Referências Bibliográficas

1. Liddell, C.; Morris, C.; Thomson, H.; Guiney, C. Excess Winter Deaths in 30 European Countries 1980-2013: A Critical Review of Methods. *Journal of Public Health (United Kingdom)* 2016, 38, 806–814.
2. Rademaekers, koen; Ferreira, A. Selecting Indicators to Measure Energy Poverty Under the Pilot Project ‘ Energy Poverty – Assessment. 2016.
3. Simcock, N., T.H., P.S., & B.S. *Energy Poverty and Vulnerability*; Simcock, N., Thomson, H., Petrova, S., Bouzarovski, S., Eds.; Routledge, 2017; ISBN 9781315231518.
4. Boardman, B. Fuel Poverty Is Different. *Policy Studies* 1991, 12, 30–41, doi:10.1080/01442879108423600.
5. Bouzarovski, S.; Petrova, S.; Sarlamanov, R. Energy Poverty Policies in the EU: A Critical Perspective. *Energy Policy* 2012, 49, 76–82, doi:10.1016/j.enpol.2012.01.033.
6. Scarpellini, S.; Rivera-Torres, P.; Suárez-Perales, I.; Aranda-Usón, A. Analysis of Energy Poverty Intensity from the Perspective of the Regional Administration: Empirical Evidence from Households in Southern Europe. *Energy Policy* 2015, 86, 729–738, doi:10.1016/J.ENPOL.2015.08.009.
7. Agarez, R.C. *Cem Anos de Políticas Públicas Para a Habitação Em Portugal: Notas Para Uma História Em Construção*; 2018; ISBN 9789722727112.
8. Diretiva (UE) 2018/ Do Parlamento Europeu e Do Conselho, de 30 de Maio de 2018, Que Altera a Diretiva 2010/31/UE Relativa Ao Desempenho Energético Dos Edifícios e a Diretiva 2012/27/UE Sobre a Eficiência Energética.
9. DIRECTIVE 2002/91/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2002 on the Energy Performance of Buildings.
10. DIRECTIVA 2009/72/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO.
11. Regulamento (UE)2018/1999 Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R1999&from=PT> (accessed on 20 October 2022).
12. Setembro, D.; Agosto, D. Presidência Do Conselho de Ministros - DL 85/2019. 2009, 7364–7374.
13. República Portuguesa *Diário Da República*, 1.^a Série PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS 53/2020; 2021; pp. 10–46;.
14. Simcock, N.; Thomson, H.; Petrova, S.; Bouzarovski, S. *Energy Poverty and Vulnerability - A Global Perspective*; 2018; ISBN 9781138294455.
15. Thomson, H.; Snell, C.; Bouzarovski, S. Health, Well-Being and Energy Poverty in Europe: A Comparative Study of 32 European Countries. *Int J Environ Res Public Health* 2017, 14, doi:10.3390/IJERPH14060584.
16. Robinson, C.; Bouzarovski, S.; Lindley, S. ‘Getting the Measure of Fuel Poverty’: The Geography of Fuel Poverty Indicators in England. *Energy Res Soc Sci* 2018, 36, 79–93, doi:10.1016/j.erss.2017.09.035.
17. Print Green Deal: Energy Saving for Your Home - GOV.UK Available online: <https://www.gov.uk/green-deal-energy-saving-measures/print> (accessed on 30 January 2022).
18. Geels, F.W. The Impact of the Financial-Economic Crisis on Sustainability Transitions: Financial Investment, Governance and Public Discourse. *Environ Innov Soc Transit* 2013, 6, 67–95, doi:10.1016/j.eist.2012.11.004.
19. Horta, A.; Gouveia, J.P.; Schmidt, L.; Sousa, J.C.; Palma, P.; Simões, S. Energy Poverty in Portugal: Combining Vulnerability Mapping with Household Interviews. *Energy Build* 2019, 203, 109423, doi:10.1016/j.enbuild.2019.109423.

20. Briones, B.& Royal Decree-Law 12/2021, of 24 June Adopting Urgent Measures in the Field of Energy Taxation and Energy Generation, and on the Regulation Fee Management and the Water Rate, Has Been Published. - Bartolome & Briones Available online: <https://www.bartolomebriones.com/en/blog/royal-decree-law-12-2021-of-24-june-adopting-urgent-measures-in-the-field-of-energy-taxation-and-energy-generation-and-on-the-regulation-fee-management-and-the-water-rate-has-been-published> (accessed on 30 November 2022).
21. Laws, C. CMS Analysis | Royal Decree-Law 17/2021 Available online: <https://cms.law/en/esp/publication/measures-to-mitigate-the-impact-of-the-rise-in-natural-gas-prices-on-the-retail-gas-and-electricity-markets> (accessed on 30 November 2022).
22. Economics and Political Science, T.L.S. of Grenelle II - France - Climate Change Laws of the World Available online: <https://climate-laws.org/geographies/france/laws/grenelle-ii> (accessed on 30 November 2022).
23. LOI N° 2010-788 Du 12 Juillet 2010 Portant Engagement National Pour l'environnement (1) - Légifrance Available online: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000022470434/> (accessed on 4 February 2022).
24. ARCAS, P. Proyecto ARCAS - Arquitectura Para El Clima Available online: <https://arcassudoeu.wordpress.com/proyecto/> (accessed on 19 January 2022).
25. Halkos, G.E.; Gkampoura, E.C. Evaluating the Effect of Economic Crisis on Energy Poverty in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2021, *144*, 110981, doi:10.1016/J.RSER.2021.110981.
26. González-Eguino, M. Energy Poverty: An Overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015, *47*, 377–385, doi:10.1016/j.rser.2015.03.013.
27. Health Matters: Air Pollution - GOV.UK Available online: <https://www.gov.uk/government/publications/health-matters-air-pollution/health-matters-air-pollution> (accessed on 8 February 2022).
28. Simoes, S.G.; Gregório, V.; Seixas, J. Mapping Fuel Poverty in Portugal. *Energy Procedia* 2016, *106*, 155–165, doi:10.1016/j.egypro.2016.12.112.
29. Horta, A.; Gouveia, J.P.; Schmidt, L.; Sousa, J.C.; Palma, P.; Simões, S. Energy Poverty in Portugal: Combining Vulnerability Mapping with Household Interviews. *Energy Build* 2019, *203*, doi:10.1016/J.ENBUILD.2019.109423.
30. Gouveia, J.P.; Seixas, J.; Palma, P.; Simões, S.G. FCT-NOVA | LIGAR-Eficiência Energética Para Todos! Relatório Final Junho de 2018.
31. Thomson, H.; Snell, C. Quantifying the Prevalence of Fuel Poverty across the European Union. *Energy Policy* 2013, *52*, 563–572, doi:10.1016/J.ENPOL.2012.10.009.
32. Halkos, G.E.; Gkampoura, E.C. Coping with Energy Poverty: Measurements, Drivers, Impacts, and Solutions. *Energies (Basel)* 2021, *14*, doi:10.3390/EN14102807.
33. Eurostat European Union Statistics on Income and Living Conditions - Microdata - Eurostat Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/european-union-statistics-on-income-and-living-conditions> (accessed on 31 January 2023).
34. The EU Energy Poverty Observatory (EPOV) Observing Energy Poverty Available online: https://energy-poverty.ec.europa.eu/observing-energy-poverty_en (accessed on 31 January 2023).
35. Programme, I.S.; Regional, E.; Fund, D. Report on Energy Poverty Assessment and Action Areas in the SUDOE Territory Project : New Evaluation Method for Homes of Social , Sustainable and Energy Efficient Interest – Architecture for Climate - in the Sudo Territory (ARCAS).

36. Papada, L.; Kaliampakos, D. A Stochastic Model for Energy Poverty Analysis. *Energy Policy* 2018, *116*, 153–164, doi:10.1016/J.ENPOL.2018.02.004.
37. Legendre, B.; Ricci, O. Measuring Fuel Poverty in France: Which Households Are the Most Fuel Vulnerable? *Energy Econ* 2015, *49*, 620–628, doi:10.1016/J.ENERG.2015.01.022.
38. Scottish Government Chapter 4 The UK’s Technical Definitions: Boardman and the LIHC Indicator. 2018.
39. Statista France: Home Temperature Suggestions by Room 2022 | Statista Available online: <https://www.statista.com/statistics/1235647/temperature-in-french-household/#statisticContainer> (accessed on 4 February 2023).
40. Ademe Our Organisation - The French Agency for Ecological Transition Available online: <https://www.ademe.fr/en/ademe-the-french-ecological-transition-agency/our-organisation/> (accessed on 4 February 2023).
41. ALDREN | ALliance for Deep RENovation in Buildings Available online: <https://aldren.eu/> (accessed on 22 February 2022).
42. Diário da República Despacho (Extrato) n.º 9216/2021. 2021.
43. Arcas, I.S. D2.2 Methodology for Measurement and Evaluation of Energy Efficiency Indicators and Sustainability 2019.
44. Simoes, S.G.; Gregório, V.; Seixas, J. Mapping Fuel Poverty in Portugal. *Energy Procedia* 2016, *106*, 155–165, doi:10.1016/J.EGYPRO.2016.12.112.
45. DIRETIVA (UE)2018/2002.
46. Milne, G.; Boardman, B. Making Cold Homes Warmer: The Effect of Energy Efficiency Improvements in Low-Income Homes A Report to the Energy Action Grants Agency Charitable Trust. *Energy Policy* 2000, *28*, doi:10.1016/S0301-4215(00)00019-7.
47. (Directive 2009/28EC). 2009.
48. Directive 2010/31/UE Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN> (accessed on 20 October 2022).
49. Directiva 2012/27/UE Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN> (accessed on 20 October 2022).
50. European Commission Building and Renovating: The European Green Deal. 2019, 1–10, doi:10.2775/466559.
51. Europeia, C. Impulsionar Uma Vaga de Renovação Na Europa Para Tornar Os Edifícios Mais Ecológicos, Criar Emprego e Melhorar as Condições de Vida. 2020.
52. Resolução Do Conselho de Ministros 53/2020 Available online: <https://dre.tretas.org/dre/3766632/resolucao-do-conselho-de-ministros-107-2019-de-1-de-julho> (accessed on 20 October 2022).
53. AWH van Oorschot, J.; Hofman, E.; Halman, J.I. Upscaling Large Scale Deep Renovation in the Dutch Residential Sector: A Case Study. 1876–6102, doi:10.1016/j.egypro.2016.09.165.
54. Bertoldi, P.; Economidou, M.; Palermo, V.; Boza-Kiss, B.; Todeschi, V. How to Finance Energy Renovation of Residential Buildings: Review of Current and Emerging Financing Instruments in the EU. *Wiley Interdiscip Rev Energy Environ* 2021, *10*, doi:10.1002/WENE.384.
55. Copenhagen Economics Multiple Benefits of Investing in Energy Efficient Renovation of Buildings: Impact on Public Finances. 2012, 1–80.
56. Almeida, M.; Ferreira, M.; Barbosa, R. Relevance of Embodied Energy and Carbon Emissions on Assessing Cost Effectiveness in Building Renovation-Contribution from

- the Analysis of Case Studies in Six European Countries. *Buildings* 2018, 8, doi:10.3390/BUILDINGS8080103.
57. Almeida, M.; Barbosa, R.; Malheiro, R. Effect of Embodied Energy on Cost-Effectiveness of a Prefabricated Modular Solution on Renovation Scenarios in Social Housing in Porto, Portugal. *Sustainability (Switzerland)* 2020, 12, doi:10.3390/su12041631.
 58. Vitor Abranches *DomusSocial-Empresa de Habitação e Manutenção Do Município Do Porto, EEM Gestão de Obras Públicas Da Câmara Municipal Do Porto, EEM RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO BAIRRO ENG. MACHADO VAZ-PORTO*; Porto, 2017;
 59. Rose, J.; Thomsen, K.E.; Domingo-Irigoyen, S.; Bolliger, R.; Venus, D.; Konstantinou, T.; Mlecnik, E.; Almeida, M.; Barbosa, R.; Terés-Zubiaga, J.; et al. Building Renovation at District Level – Lessons Learned from International Case Studies. *Sustain Cities Soc* 2021, 72, doi:10.1016/J.SCS.2021.103037.
 60. Fanger, P.O. Thermal Environment - Human Requirements. *Environmentalist* 1986, 6, 275–278, doi:10.1007/BF02238059.
 61. SimScale Thermal Comfort Basics: What Is ASHRAE 55? | SimScale Blog Available online: <https://www.simscale.com/blog/what-is-ashrae-55-thermal-comfort/> (accessed on 26 October 2022).
 62. Direção Geral de Energia e Geologia - DGEG DGEG - Balanço Energético 2020.
 63. Observatório Da Energia, A. Ficha Técnica Título Energia Em Números-Edição 2021.
 64. EUR-Lex - 32018L0844 - EN - EUR-Lex Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0844> (accessed on 18 October 2022).
 65. DGEG, D.G. de E. e G.- Diretiva Do Desempenho Energético Dos Edifícios.
 66. INE; LNEC *O Parque Habitacional e a Sua Reabilitação - Análise e Evolução 2001-2011*; 2013;
 67. Instituto Nacional de Estatística - INE *Caracterização Da Habitação Social Em Portugal-2015*; 2015;
 68. Primeiro, O.; Coelho, P.P. Decreto-Lei Num. 102/2011. *Diário da República* 2011, 4564–4566.
 69. Negócios, J. de Mais de 30% Dos Proprietários Teme Congelamento Das Rendas Devido à Inflação - Imobiliário - *Jornal de Negócios* Available online: <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/imobiliario/detalhe/mais-de-30-dos-proprietarios-teme-congelamento-das-rendas-devido-a-inflacao> (accessed on 28 November 2022).
 70. Lei 31/2012 Available online: <https://files.dre.pt/1s/2012/08/15700/0441104452.pdf> (accessed on 21 October 2022).
 71. Correia, D.; Santos, N.; Olinda Garcia, M.; Hoekstra, J.; Kalamees, P.; Santos Silva, M. TENLAW: Tenancy Law and Housing Policy in Multi-Level Europe National Report for PORTUGAL.
 72. Bragahabit *Plano Plurianual 2015-2018*; Braga, 2014;
 73. Bragahabit Parque Habitacional - BragaHabit - Empresa Municipal de Habitação de Braga. Available online: <https://www.bragahabit.pt> (accessed on 19 January 2022).
 74. Dodoo, A.; Gustavsson, L.; Tettey, U.Y.A. Final Energy Savings and Cost-Effectiveness of Deep Energy Renovation of a Multi-Storey Residential Building. *Energy* 2017, 135, 563–576, doi:10.1016/j.energy.2017.06.123.

75. van Oorschot, J.A.W.H.; Hofman, E.; Halman, J.I.M. Upscaling Large Scale Deep Renovation in the Dutch Residential Sector: A Case Study. *Energy Procedia* 2016, *96*, 386–403, doi:10.1016/j.egypro.2016.09.165.
76. Palma, P.; Gouveia, J.P.; Barbosa, R. How Much Will It Cost? An Energy Renovation Analysis for the Portuguese Dwelling Stock. *Sustain Cities Soc* 2022, *78*, 103607, doi:10.1016/J.SCS.2021.103607.
77. Böhringer, C.; Rutherford, T.F. Combining Bottom-up and Top-Down. *Energy Econ* 2008, *30*, 574–596, doi:10.1016/j.eneco.2007.03.004.
78. Kavgić, M.; Mavrogianni, A.; Mumović, D.; Summerfield, A.; Stevanović, Z.; Djurović-Petrović, M. A Review of Bottom-up Building Stock Models for Energy Consumption in the Residential Sector. *Build Environ* 2010, *45*, 1683–1697, doi:10.1016/J.BUILDENV.2010.01.021.
79. Swan, L.G.; Ugursal, V.I. Modeling of End-Use Energy Consumption in the Residential Sector: A Review of Modeling Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009, *13*, 1819–1835.
80. TABULA WebTool Available online: <https://webtool.building-typology.eu/#bm> (accessed on 19 October 2022).
81. Ballarini, I.; Corgnati, S.P.; Corrado, V. Use of Reference Buildings to Assess the Energy Saving Potentials of the Residential Building Stock: The Experience of TABULA Project. *Energy Policy* 2014, *68*, 273–284, doi:10.1016/J.ENPOL.2014.01.027.
82. BREEAM Introduction BREEAM Available online: https://www.breeam.com/communitiesmanual/content/00_introduction/03_introduction.htm (accessed on 19 January 2022).
83. WELL v2 Certification | The WELL Building Standard | IWBI Available online: <https://www.wellcertified.com/certification/v2/> (accessed on 19 January 2022).
84. LEED What Is LEED? | U.S. Green Building Council Available online: <https://www.usgbc.org/help/what-leed> (accessed on 19 January 2022).
85. Abruña, F. USGBC: U.S. Green Building Council Available online: <https://www.usgbc.org/> (accessed on 29 November 2022).
86. iiSBE SBTool 2012 | International Initiative for a Sustainable Built Environment Available online: <https://www.iisbe.org/sbmethod> (accessed on 29 November 2022).
87. Medio Ambiente PRESENTACIÓN DE LEVEL S., doi:10.2779/00768.
88. WELL Certificação WELL, Uma Abordagem Holística Sobre Elementos Do Ambiente Construído - GBC Brasil Available online: <https://www.gbcbrasil.org.br/certificacao-well-uma-abordagem-holistica-sobre-elementos-do-ambiente-construido/> (accessed on 19 January 2022).
89. Bragança, L.; Mateus, R. *MARS-METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO RELATIVA DA SUSTENTABILIDADE*; 2019;
90. Bragança, L.; Mateus, R. *Life-Cycle Analysis of Buildings: Environmental Impact of Building Elements*; 2012; ISBN 978-989-96543-3-4.
91. Doutora, P.; Helena, M.; Corvacho, P. *DURABILIDADE DAS FACHADAS VENTILADAS Aplicação Da Norma ISO 15686-1 FRANCISCO MELO VAZ PINTO MENDES Relatório de Projecto Submetido Para Satisfação Parcial Dos Requisitos Do Grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL-ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES*;
92. EnergyPlus Available online: <https://energyplus.net/> (accessed on 26 October 2022).
93. Ibarra, D.; Reinhart, C. DesignBuilder Available online: https://web.mit.edu/sustainabledesignlab/projects/TeachingResources/EnergyModelling_GettingStarted.pdf (accessed on 26 October 2022).

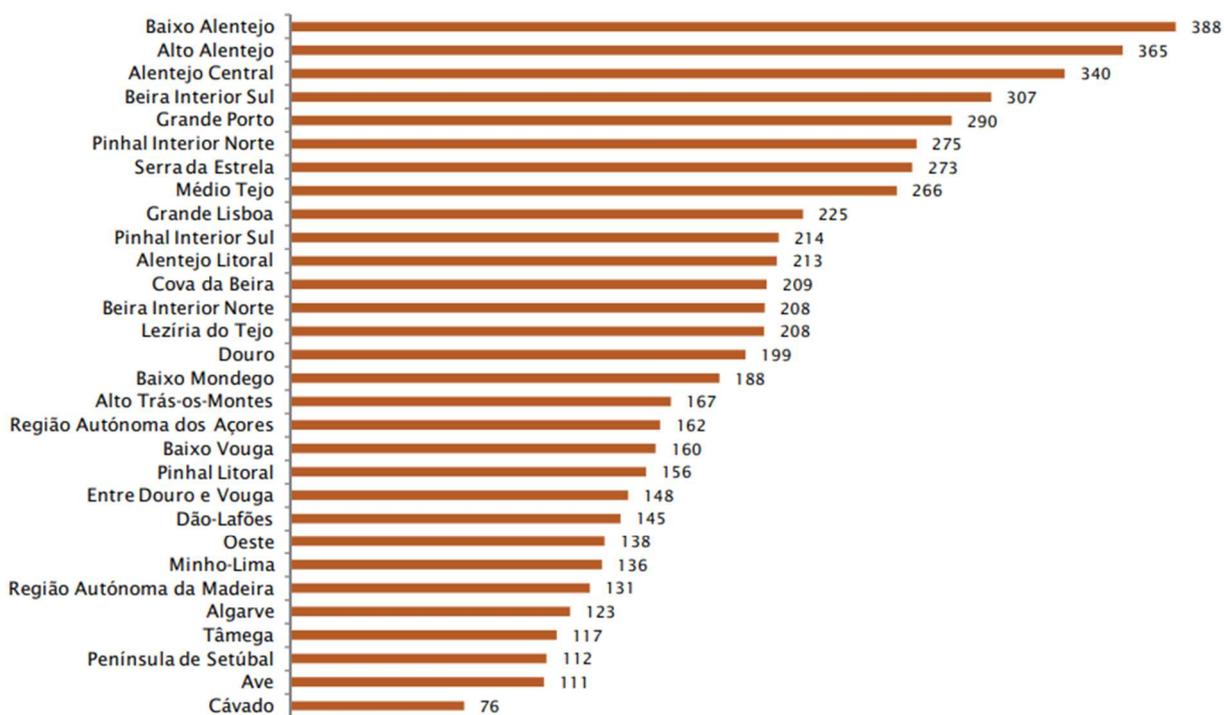
94. Lukas G.SwanV. IsmetUgursal Modeling of End-Use Energy Consumption in the Residential Sector: A Review of Modeling Techniques.
95. Gouveia, J.P.; Seixas, J.; Long, G. Mining Households' Energy Data to Disclose Fuel Poverty: Lessons for Southern Europe. *J Clean Prod* 2018, *178*, 534–550, doi:10.1016/J.JCLEPRO.2018.01.021.
96. Health Organization, W. World Meteorological Organization. *Int Organ* 1963, *17*, 505–506, doi:10.1017/S0020818300033919.
97. Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B.; Rubel, F. World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated. *Meteorologische Zeitschrift* 2006, *15*, 259–263, doi:10.1127/0941-2948/2006/0130.
98. Instituto Português Do Mar e Da Atmosfera Available online: <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/> (accessed on 25 October 2022).
99. DesignBuilder DesignBuilder Help - Test Reference Year Data.
100. Silva, M.C.; Khan, S.; Cruz, R.V. Registos (Semi)Ocultos e Manifestos Nos Modos de Vida e de Habitar: O 'Bairro Social' Das Andorinhas Em Braga. *SOCIOLOGIA ON LINE* 2020, 44–73, doi:10.30553/SOCIOLOGIAONLINE.2020.22.3.
101. DesignBuilder DesignBuilder Manual. In.
102. Diário Da República n.º 234/2013, 3º Suplemento, Série II de 2013-12-03 | DRE Available online: <https://dre.pt/dre/detalhe/diario-republica/234-2013-726160> (accessed on 4 November 2022).
103. Willoughby, J. Insulation. *Plant Engineer's Reference Book* 2002, 30–31, doi:10.1016/B978-075064452-5/50085-7.
104. Direção Geral de Energia e Geologia 3.0 *Guia SCE-Parâmetros de Cálculo_V1*;
105. Diário da República Diário Da República, 1.ª Série PRESIDENCIAL DL101-D/2020.
106. Direção Geral de Energia e Geologia - DGEG Guia SCE-Indicadores de Desempenho Energético (REH). 2020, 50.
107. Manual ITE50 – [20-21] Ecologia e Sustentabilidade Das ... Available online: https://elearning.uminho.pt/webapps/blackboard/execute/content/file?cmd=view&content_id=_1033476_1&course_id=_44734_1 (accessed on 11 November 2022).
108. Improving Thermal Bridges and Airtightness in Existing Buildings [Passipedia EN] Available online: https://passipedia.org/planning/refurbishment_with_passive_house_components/thermal_envelope/improving_thermal_bridges_and_airtightness_in_existing_buildings (accessed on 7 November 2022).
109. Friday Five - Quinn Building Products Available online: <https://www.2020architects.co.uk/quinn-lite-thermal-blocks/> (accessed on 7 November 2022).
110. ATTMA, T.A.T.T.& M.A.- What Is Air Tightness Testing? 2022. <https://www.bcta.group/attma/what-is-air-tightness-testing/>
111. HM Government *The Building Regulation 2010*; 2010;
112. Direção Geral de Energia e Geologia DGEG Manual SCE - Manual Técnico Para a Avaliação Do Desempenho Energético Dos Edifícios Aprovado.
113. Understanding Visual Transmittance in Windows Available online: <https://www.bayviewwindows.ca/blog/understanding-window-visual-transmittance/energy-efficiency> (accessed on 9 November 2022).
114. Technical Properties of NEXTREMA® Heat-Resistant Glass | SCHOTT Available online: https://www.schott.com/en-gb/products/nextrema/technical-details?gclid=CjwKCAjwvJyjBhApEiwAWz2nLcVDQyEf4WhsaaR9LX5Ug6dQEeTxq7NmMchrrZailZwajt63WqP3iRoCCfUQAvD_BwE (accessed on 19 May 2023).

115. Double Glazing Glass Types and Performance | Stake Glass Available online: <https://www.stakeglass.co.nz/Glass-Products/Double-Glazing/Double-Glazing-Glass-Types-and-Performance/> (accessed on 22 May 2023).
116. Jokisalo, J.; Kurnitski, J. Performance of EN ISO 13790 Utilisation Factor Heat Demand Calculation Method in a Cold Climate. *Energy Build* 2007, 39, 236–247, doi:10.1016/J.ENBUILD.2006.06.007.
117. SCE Pág, M. Manual SCE.
118. Younes, C.; Shdid, C.A.; Bitsuamlak, G. Air Infiltration through Building Envelopes: A Review. *J Build Phys* 2012, 35, 267–302.
119. Comité Européen de Normalisation (CEN) EN 16798-1 Energy Performance of Buildings - Ventilation for Buildings - Part 1: Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics. *Cen* 2019, 18-22+95.
120. Da, M.; Ciência, E.E. Despacho N°15793. 2013.
121. Gomes, J. ETICS Como Sistema de Reabilitação de Fachadas, 2015.
122. Associação Portuguesa dos Fabricantes de Argamassas e ETICS - APFAC *Manual ETICS - Sistema de Isolamento Térmico Pelo Exterior*;
123. Designing the Exterior Wall: An Architectural Guide to the Vertical Envelope - Linda Brock - Google Livros Available online: https://books.google.pt/books?id=py9cCwAAQBAJ&pg=PT291&pg=PT291&dq=Edwin+Horbach+insulation&source=bl&ots=qB_UYyrXer&sig=ACfU3U0ptUTqHhXbTykU7tZMf248YJbZKw&hl=pt-PT&sa=X&ved=2ahUKewiTz6G60d_1AhU_EWMBHfO5BRcQ6AF6BAgmEAM#v=onepage&q=Edwin%20Horbach%20insulation&f=false (accessed on 1 February 2022).
124. Fraunhofer Institute For Building Physics IBP Instituto Fraunhofer.Pdf.
125. What Is a Ventilated Facade? Operation and Advantages | Stonesize® Available online: <https://stonesizepanels.com/ventilated-facade> (accessed on 11 November 2022).
126. Ventilated Facades – Energia2020 Available online: <http://www.energia2020.unige.it/en/la-sustainable-energy-building-seb/facciate-ventilate/> (accessed on 11 November 2022).
127. European Commission *Preços e Custos Da Energia Na Europa*; 2019;
128. Preços de Eletricidade e Gás Natural Available online: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/precos-de-energia/precos-de-eletricidade-e-gas-natural/> (accessed on 20 November 2022).
129. Despacho nº15793/K Despacho N°15793/K.
130. INE O Risco de Pobreza Aumentou Para 18,4% Em 2020. *Rendimentos e Condições de Vida* 2021, 1–22.
131. Horizonte, B. Monografia PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL CAUSADAS POR INFILTRAÇÕES E PERCOLAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS Autor: Mauruzan Anselmo Orientador: Profº Adriano de Paula e Silva. 2016.
132. Speranza Engenharia Interdição de Prédio Em Niterói - Corrosão de Armadura (Aço) Em Pilar Com Esmagamento Do Concreto - Speranza Engenharia e Consultoria - Construção Civil Available online: <http://speranzaengenharia.ning.com/page/interdicao-de-predio-em-niteroi-corrosao-de-armadura-em-pilar> (accessed on 17 February 2023).
133. Ministério da Saúde Decreto-Lei n.º 75/2013 de 4 de Junho. *Diário da República*, 1.ª série 2013, 3218–3219.
134. Jornal de Notícias BragaHabit Recorre a Programa 1.º Direito Para Obras No Bairro Das Andorinhas Available online:

- <https://www.jn.pt/local/noticias/braga/braga/bragahabit-recorre-a-programa-1-direito-para-obras-no-bairro-das-andorinhas-14031793.html> (accessed on 16 February 2023).
135. Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana, I.P. Contrato Câmara Municipal x IHRU.Pdf 2021.
 136. Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana, I.P. Contrato Bragahabit x IHRU.Pdf 2021.
 137. Direito, P.; Execução, R. De Programa 1.º Direito. 2020.
 138. Mind.org How Can Housing Affect Mental Health? - Mind Available online: <https://www.mind.org.uk/information-support/guides-to-support-and-services/housing/housing-and-mental-health/> (accessed on 1 December 2022).
 139. Infografia: Pobreza | Pordata Available online: <https://www.pordata.pt/publicacoes/infografias/pobreza-235> (accessed on 26 November 2022).
 140. Reuters Gazprom to Shut down Nord Stream 1 Pipeline for 72 Hours | Reuters Available online: <https://www.reuters.com/business/energy/nord-stream-1-nominations-fall-zero-aug-31-0200-cet-2022-08-30/> (accessed on 25 October 2022).
 141. Frontliner Alemanha Destrói Floresta de 12 Mil Anos e Vilarejos Para Extração de Carvão Available online: <https://www.frontliner.com.br/alemanha-destroi-floresta-de-12-mil-anos-e-vilarejos-para-extracao-de-carvao/> (accessed on 25 October 2022).
 142. DW.PT Macron Anuncia “Renascimento Da Energia Nuclear” Na França – DW – 10/02/2022 Available online: <https://www.dw.com/pt-br/macron-anuncia-renascimento-da-energia-nuclear-na-fran%C3%A7a/a-60737729> (accessed on 25 October 2022).
 143. Eletricidade Fica 35% Mais Cara Em Portugal e Espanha Na Terça-Feira - Energia - Jornal de Negócios Available online: <https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/energia/detalhe/eletricidade-sobe-35-em-portugal-e-espanha-na-terca-feira> (accessed on 26 November 2022).
 144. Nations, U. Ukraine: Missile Strikes Threaten Millions Facing Cold and Hungry Winter | UN News Available online: <https://news.un.org/en/story/2022/12/1131392> (accessed on 7 December 2022).

Anexos

Anexo 1: Índice de envelhecimento do parque edificado português



Fonte: INE, Censos 2011

Anexo 2 – Balanço anual combustíveis - DGE

Total	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
IMPORTAÇÕES	22 125 140	26 442 595	25 519 711	27 709 072	25 257 621	24 267 603	20 710 235
Produção Doméstica	6 502 377	5 845 907	6 578 009	5 819 080	6 416 352	6 486 804	6 656 607
Variação de Stocks	-322 263	121 645	-142 433	217 141	474 064	59 278	-870 320
SAÍDAS	7 434 363	9 532 921	9 937 710	10 191 291	8 724 154	8 225 432	7 446 215
Exportações	5 824 427	7 851 037	8 076 593	8 135 242	6 553 117	5 816 348	6 239 579
Navegação Marítima Internacional	608 118	633 381	737 259	775 593	807 209	950 981	683 561
Aviação Internacional	1 001 818	1 048 503	1 123 858	1 280 456	1 363 828	1 458 103	523 075
CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA	21 515 417	22 633 936	22 302 443	23 119 720	22 475 755	22 469 697	20 790 947
Para Novas Formas de Energia	2 866 283	3 786 052	3 495 683	4 011 997	3 665 942	3 088 232	2 783 721
Produtos de Petróleo	-11 751	239 744	22 515	-95 304	123 524	205 847	232 207
Hidrogénio e Petroquímica	41 525	42 582	60 690	45 553	160	27 951	24 057
Electricidade	2 282 149	2 922 921	2 838 006	3 449 261	2 920 058	2 183 925	1 852 157
Cogeração	554 360	580 805	574 472	612 487	622 200	670 508	675 303
Consumo do Sector Energético	1 749 256	1 906 019	1 964 787	2 036 843	1 850 366	1 774 466	1 663 218
Consumo como Matéria-Prima	1 204 700	1 045 649	878 139	890 564	455 357	890 866	878 077
Acerdos	-30 882	-25 823	-17 146	-76 321	34 317	67 083	20 131
CONSUMO FINAL	15 726 060	15 922 039	15 980 980	16 256 637	16 469 773	16 649 050	15 445 800
Agricultura e pescas	430 984	449 051	446 941	459 392	468 895	480 445	511 199
Indústria	4 705 753	4 778 876	4 722 279	4 888 785	4 861 657	4 909 067	4 812 687
Transportes	5 507 346	5 608 029	5 700 633	5 819 084	5 882 643	6 014 142	5 034 975
Serviços	2 209 072	2 246 194	2 260 280	2 263 699	2 336 470	2 345 106	2 077 269
Doméstico	2 872 905	2 839 889	2 850 847	2 825 677	2 920 108	2 900 290	3 009 670

Anexo 3 – Projeto Tabula

The screenshot shows the TABULA WebTool interface. On the left is a sidebar with navigation options: Selection Building, Selection System, Building Data, System Data, Charts 1, Charts 2, Charts 3, Comparison Charts, Calculation PDF 1, Calculation PDF 2, Calculation PDF 3, Heating System (AT Oil B, SUH 01; AT Oil B, C, Gen 01; AT Bio_WPB, WP, Gen 01), Hot water System (AT Oil B, SUH 01; AT Oil B, C, Gen 01; AT Bio_WPB, WP, Gen 01), and Ventilation System (AT - Gen 01; AT - Gen 01). The main area displays a grid of building images categorized by Country (Austria), Region (national/Gesamt-Österreich), Construction Year Class (1919, 1919...1944, 1945...1960, 1961...1980), and Additional Classification (generic/Standard/allgemein typisch). The building types are SFH (Single Family House), TH (Terraced House), MFH (Multi Family House), and AB (Apartment Block). A right-hand panel shows details for the selected building: Building Size Class: SFH, Construction Period: 1919, Reference Floor Area: 159 m², Heat Supply System: single family house / oil central heating, poor efficiency, Climate Region: Default (national / whole country), and Energy need for heating (net/gross) energy need for heating [kWh/(m²*a)] bar chart.

Anexo 4 – LCA impactos

MATERIAL	Embodied Energy						
	GWP	ODP	AP	POCP	EP	NRE	RE
Coluna1	Coluna3	Coluna4	Coluna5	Coluna6	Coluna7	Coluna8	Coluna9
Aluminum, 50% recycled	4,28E+00	1,84E-06	3,80E-02	2,23E-03	1,21E-03	6,82E+01	0,00E+00
Bitumen asphalt	5,81E-01	7,27E-07	1,94E-03	1,98E-04	3,02E-04	5,33E+01	9,73E-02
Cellulose (fibers for thermal insulation)	1,36E-01	1,72E-08	8,33E-04	7,57E-05	4,13E-04	5,87E+01	1,37E+00
Cement bonded wood fibres panel	6,92E-01	2,92E-08	1,91E-03	1,03E-04	5,64E-03	5,39E+00	1,46E+00
Cement mortar (argamassa assentamento/acabamento)	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	2,10E-01
Ceramic brick	2,20E-01	1,58E-08	5,48E-04	4,00E-05	6,71E-05	2,58E+00	2,55E-01
Ceramic roof tile	8,16E-01	8,41E-08	2,90E-03	1,55E-04	2,85E-04	1,46E+01	7,41E-01
Ceramic wall or floor tile	7,63E-01	8,16E-08	2,93E-03	1,36E-04	2,75E-04	1,40E+01	3,64E-01
Concrete	1,10E-01	3,55E-09	1,79E-04	6,49E-06	2,84E-05	5,56E-01	6,24E-03
Concrete block, light (aerated)	4,15E-01	2,18E-08	6,69E-04	4,29E-05	8,47E-05	3,25E+00	2,03E-01
Concrete block, light (expanded clay)	4,29E-01	3,74E-08	2,75E-03	1,14E-04	1,62E-04	4,94E+00	1,60E-01
Concrete reinforced	1,48E-01	3,55E-09	5,56E-04	5,28E-05	5,76E-05	1,24E+00	7,39E-03
Concrete roof tile	2,12E-01	1,11E-08	4,47E-04	2,34E-05	7,64E-05	1,73E+00	1,09E-01
Copper	1,94E+00	1,53E-07	6,46E-02	2,26E-03	3,97E-03	3,03E+01	5,70E+00
Corck	1,59E+00	1,91E-07	3,80E-06	7,22E-04	4,82E-03	2,88E+01	1,26E+02
Expanded perlite	9,92E-01	2,21E-07	3,04E-03	1,49E-04	3,13E-04	1,63E+01	5,60E-01
Expanded polystyren (EPS)	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
Extruded polystyren (XPS)	3,86E+00	1,38E-07	1,38E-02	1,58E-03	5,00E-03	9,69E+01	1,62E+00
Glass	9,73E-01	8,01E-08	8,51E-03	2,86E-04	6,53E+04	1,15E+01	2,03E-01
Glass Fiber	1,03E+00	1,30E-07	2,22E-03	1,56E-04	1,87E-04	1,33E+01	0,00E+00
Glass fiber wool	1,50E+00	2,15E-07	6,42E-03	5,57E-04	1,18E-03	4,50E+01	4,14E+00
Glass foam	1,58E+00	1,52E-07	3,94E-03	1,76E-04	5,21E-04	3,51E+01	1,29E+00
Glued laminated wood	3,63E-01	5,08E-08	2,43E-03	2,12E-04	2,00E-03	6,29E+00	3,11E+01
Glued laminated wood (outdoor use)	2,54E-01	3,55E-08	1,70E-03	1,48E-04	1,40E-03	4,40E+00	2,18E+01
Gravel	4,28E-03	4,08E-10	2,34E-05	1,01E-06	4,15E-06	5,69E-02	1,04E-03
Iron	1,50E+00	5,04E-08	5,77E-03	8,73E-04	6,52E-04	2,44E+01	5,70E-01
Lime mortar (argamassa gesso)	6,10E-01	2,08E-08	8,64E-04	3,91E-05	1,31E-04	3,26E+00	3,27E-01
MDF panel	8,58E-01	1,03E-07	5,68E-03	4,57E-04	1,05E+01	1,59E+01	1,17E+01
Mineral/rock wool	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
OSB panel Cradle-to-gate	4,72E-01	4,19E-08	2,64E-03	1,93E-04	2,22E-03	9,22E+00	2,82E+01
Paint water base	2,46E+00	3,69E-07	1,69E-02	7,72E-04	4,23E-03	4,78E+01	3,33E+00
Paint, synthetic base	2,51E+00	5,78E-07	2,02E-02	9,47E-04	0,00547	7,15E+01	4,46E+00
Plasterboard	3,50E-01	3,89E-08	1,09E-03	4,69E-05	1,73E-04	5,74E+00	3,21E-01
Polycarbonate	7,78E+00	3,27E-09	2,49E-02	1,39E-03	2,40E-03	1,07E+02	4,80E+02
Poliéster (UP)	1,97E+01	3,24E-09	1,96E-01	7,42E-03	1,80E-02	2,25E+02	5,52E-01
Poliurethane expanded, rigid	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
Polyethylene	1,14E+00	0,00E+00	1,69E-02	4,57E-04	1,63E-03	6,80E+01	0,00E+00
Polypropylene	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01
Polyvinyl chloride (PVC)	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,59E-04	5,94E+01	9,34E-01
PVC	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,59E-04	4,69E+01	9,34E-01
Rubber	3,16E+00	3,09E-09	1,03E-02	6,76E-04	7,64E-04	8,53E+01	5,40E-01
Sawn timber	8,46E-02	1,88E-08	6,17E-04	1,23E-04	1,06E-03	1,92E+00	2,95E+01
Soil/clay (local)	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Steel for construction (reinforcing bar)	1,25E+00	6,16E-08	5,57E-03	8,29E-04	1,30E-03	3,27E+01	1,52E-01
Steel in profile	5,71E-01	5,40E-08	3,04E-03	1,85E-04	4,86E-04	8,66E+00	1,16E-01
Stone (granite)	2,63E-01	3,43E-08	1,56E-03	4,66E-05	3,13E-04	7,58E+00	8,35E-01
Stone (lime)	1,92E-03	2,26E-10	3,37E-05	5,38E-07	7,79E-06	2,80E-02	4,05E-04
Stone plate	4,35E-01	5,53E-08	2,56E-03	7,85E-05	5,07E-04	1,36E+01	1,61E+00
Urea-formaldehyde expanded	8,72E-02	4,31E-09	8,62E-04	1,87E-05	1,53E-04	2,29E+01	2,02E-03
Varnish	1,75E+00	3,00E-07	9,26E-03	6,13E-04	1,82E-03	3,75E+01	4,39E-01
Zinc plate	2,46E+00	1,37E-07	4,02E-02	1,44E-03	2,41E-03	2,84E+01	5,60E-01
Pavement in wood	-4,86E+01	8,36E-07	3,84E-02	2,66E-03	6,06E-03	1,49E+02	6,65E+02
Pavement in wood descontado plasterboard	-4,90E+01	7,97E-07	3,73E-02	2,61E-03	5,89E-03	1,43E+02	6,65E+02

Anexo 5 – Gerador de Preços

NAS010 m² Isolamento térmico pelo exterior em fachada para sistemas ETICS.

14,15€

Isolamento térmico pelo exterior em fachada para sistemas ETICS, formado por painel rígido de poliestireno expandido, segundo NP EN 13163, de superfície lisa e bordo lateral recto, de cor branca, de 60 mm de espessura, com resistência ao envelhecimento e permeável ao vapor de água, resistência térmica 1,58 m²C/W, condutibilidade térmica 0,038 W/(m°C), colocado topo a topo e fixado com argamassa cola e fixações mecânicas. O preço não inclui a camada de regularização nem a camada de acabamento.

Unitário	Ud	Descrição	Rend	Preço unitário	Importância
mt16aaa010	kg	Argamassa cola para fixação de materiais isolantes.	4,000	0,19	0,76
mt16pep010ad	m ²	Painel rígido de poliestireno expandido, segundo NP EN 13163, de superfície lisa e bordo lateral recto, de cor branca, de 60 mm de espessura, com resistência ao envelhecimento e permeável ao vapor de água, resistência térmica 1,58 m ² C/W, condutibilidade térmica 0,038 W/(m°C), Euroclasse E de reacção ao fogo.	1,050	8,77	9,21
mt16aaa021a	Ud	Bucha de expansão e prego de polipropileno, com aro de estanquidade, para fixação mecânica de painéis isolantes.	6,000	0,08	0,48
mo054	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0,106	16,68	1,77
mo101	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0,106	15,58	1,65
	%	Custos directos complementares	2,000	13,87	0,28
Custo de manutenção decenal: 0,28€ nos primeiros 10 anos.				Total:	14,15

Referência e título da norma	Aplicabilidade _(a)	Obrigatoriedade _(b)	Sistema _(c)
EN 13163:2012+A1:2015 Produtos de isolamento térmico para aplicação em edifícios — Produtos manufacturados em poliestireno expandido (EPS) — Especificação	10.7.2015	10.7.2016	

Anexo 6 – Matriz de Durabilidade

Factores Modificadores da vida útil			Condições relevantes exemplares
Fatores de qualidade	Fator A	Qualidade dos componentes	Qualidade e características das placas e das fixações
			Qualidade da empresa
			Condições de fabrico
	Fator B	Qualidade do projeto	Aplicação de acabamentos
			Processos de qualidade implementados
			Qualidade das peças desenhadas e escritas
			Nível de detalhe do projecto
	Fator C	Qualidade da Execução	Compatibilidade do sistema ao edifício
			Qualificação do projectista para o sistema em causa
Apoio técnico dos fabricantes			
Qualificação da mão-de-obra			
Processos de aplicação			
Fatores ambientais	Fator D	Características ambiente interior	Adequabilidade das ferramentas
			Condições climáticas aquando da aplicação
			Apoio do projectista
			Nível de fiscalização
	Fator E	Características ambiente exterior	Humidade
			Condensação
			Ventilação
			Qualidade do ar interior
			Temperatura
			Humidade
Fatores operacionais	Fator F	Condições de uso	Temperatura
			Água
			Gelo
			Chuvas ácidas
			Vento
	Fator G	Nível de manutenção	Exposição das fachadas
			Altura do edifício
			presença de sais
			Choques
			Impactos
Fator F	Condições de uso	Riscagens	
		Tipo de utilizadores	
		Vandalismo	
		Existência de plano de manutenção	
		Qualidade e frequência das intervenções	
Fator G	Nível de manutenção	Facilidade de acesso	
		Necessidade de produtos especiais	
		Necessidade de apoio técnico	

Anexo 7 – Monitorização temperatura interna ao apartamento rés do chão esquerdo, localizado no edifício 16 do Bairro Social das Andorinhas, que apresentou valores mínimos de temperatura de 12°C e máximos de 27°C.



Anexo 8 - Matriz de classificação indicadores ARCAS

AXIS	INDICATORS	SUBINDICATORS	CLASS.4	CLASS.3	CLASS.2	CLASS.1
AXIS 1: ENERGY EFFICIENCY/AUTONOMY.	HLC	-				
	Confort conditions	-				
	Primary energy consumption	-	(4,9)	(2,4)	(1,2)	< 10
	Renewable energy self-sufficiency ratio	-				
	Renewable energy self-consumption ratio	-				
	Bbio	-				
	GWP	-				
	Embodied Energy	-				
AXIS 2: ENERGY POVERTY.	10%	-				
	2M	-				
	LIHC	-				
	Index of Vulnerable Homes	-				
AXIS 3: HEALTH/AIR QUALITY.	TAIL	Thermal confort				
		Acoustic confort				
		Indoor air quality				
		Luminous confort				



**Certificação Energética
e Ar Interior
EDIFÍCIOS**

Certificado Energético

Edifício de Habitação

SCE156211016
Válido até 29/08/2027



IDENTIFICAÇÃO POSTAL
Morada BR ANDORINHAS, BL 22, RC DTO
Localidade BRAGA
Freguesia BRAGA (S. VICENTE)
Concelho BRAGA GPS 41.556836, -8.429101

IDENTIFICAÇÃO PREDIAL/FISCAL
Conservatória do Registo Predial Omissa
Nº de Inscrição na Conservatória -
Artigo Matricial nº 1508 Fração Autónoma B

INFORMAÇÃO ADICIONAL
Área útil de Pavimento 61,79 m²

Este certificado apresenta a classificação energética deste edifício ou fração. Esta classificação é calculada comparando o desempenho energético deste edifício nas condições atuais, com o desempenho que este obteria nas condições mínimas (com base em valores de referência ou requisitos aplicáveis para o ano assinalado) a que estão obrigados os edifícios novos. Saiba mais no site da ADENE em www.adene.pt.

DESCRIÇÃO SUCINTA DO EDIFÍCIO OU FRAÇÃO

Fração de habitação de um edifício multifamiliar composto por quatro pisos, localizada no concelho de Braga, numa zona urbana abastecida por gás natural. A habitação localiza-se no Rés-do-Chão, possui fachadas nas orientações Norte e Sul, e é sombreada pelas construções vizinhas e pela arquitetura do próprio edifício. O apartamento é de tipologia T2, composto por sala, cozinha, marquise, despensa, dois quartos, uma instalação sanitária e circulações interiores, apresenta inércia térmica forte e a ventilação processa-se de forma natural. A caixa de escadas, a marquise e o desvão sanitário foram considerados como locais não aquecidos. Não existem sistemas centralizados de climatização de Verão ou de Inverno. A produção de águas quentes sanitárias é assegurada por um esquentador alimentado a gás natural.

COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DA HABITAÇÃO

Descreve e classifica o comportamento térmico dos elementos construtivos mais representativos desta habitação. Uma classificação de 5 estrelas, expressa a referência adequada para esses elementos, tendo em conta, entre outros factores, as condições climáticas onde o edifício se localiza.

Tipo	* Descrição das Principais Soluções	* Classificação
PAREDES	Parede simples de alvenaria de blocos de betão celular autoclavado Parede simples sem isolamento térmico	★★★★★ ☆☆☆☆☆
COBERTURAS		
PAVIMENTOS	Pavimento sem isolamento térmico	☆☆☆☆☆
JANELAS	Janela Simples com Caixilharia metálica sem corte térmico com vidro simples e com proteção solar pelo exterior Janela Simples com Caixilharia metálica sem corte térmico com vidro simples e sem proteção solar	☆☆☆☆☆ ★☆☆☆☆

Soluções sem isolamento, referem-se a soluções onde não existe isolamento térmico ou que não foi possível comprovar a sua existência. A classificação de janelas, inclui o contributo de eventuais dispositivos de oclusão noturna.

Pior ☆☆☆☆☆
 Melhor ★★★★★

Esta secção do certificado energético apresenta, em detalhe, os elementos considerados pelo Perito Qualificado no processo de certificação do edifício/fração. Esta informação encontra-se desagregada entre os principais indicadores energéticos e dados climáticos relativos ao local do edifício, bem como as soluções construtivas e sistemas técnicos identificados em projeto e/ou durante a visita ao imóvel. As soluções construtivas e sistemas técnicos encontram-se caracterizados tendo por base a melhor informação recolhida pelo Perito Qualificado e apresentam uma indicação dos valores referenciais ou limites admissíveis (quando aplicáveis).

RESUMO DOS PRINCIPAIS INDICADORES

Sigla	Descrição	Valor / Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	72,9 / 27,0
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	1,1 / 8,5
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	1.783,0 / 1.783,0
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,0
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	0,0 / 0,0*
Eren, ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)	0,0
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{ep} /m ² .ano)	218,8 / 107,2

* respeitante à contribuição mínima a que estão sujeitos os edifícios novos ou grandes intervenções, quando aplicável

DADOS CLIMÁTICOS

Descrição	Valor
Altitude	162 m
Graus-dia (18° C)	1479
Temperatura média exterior (I / V)	9,1 / 20,7 °C
Zona Climática de inverno	I2
Zona Climática de verão	V2
Duração da estação de aquecimento	6,8 meses
Duração da estação de arrefecimento	4,0 meses

PAREDES, COBERTURAS, PAVIMENTOS E PONTES TÉRMICAS PLANAS

Descrição dos Elementos Identificados	Área Total e Orientação [m ²]	Coeficiente de Transmissão Térmica* [W/m ² .°C]		
		Solução	Referência	Máximo
Paredes				
PE1 - Parede de fachada na sala e quartos, em blocos de betão autoclavado de 24 cm, revestidos pelo interior e exterior a reboco, de cor clara, com uma espessura total da parede de 0,25 m.	11 N 6,4	0,60 ★★★★☆	0,40	-
PI1 - Parede interior em contacto com a caixa de escadas (local não aquecido), em betão armado de 15 cm de espessura, revestida a reboco.	11,6	2,43 ☆☆☆☆☆	0,70	-
PI2 - Parede interior em contacto com a marquise (local não aquecido), em blocos de betão autoclavado de 10 cm, revestida a reboco.	6,3	1,04 ★★☆☆☆	0,70	-
Pavimentos				
Pavimento interior, em betão armado de 15 cm de espessura, em contacto com o desvão sanitário (local não aquecido), revestido na face superior a madeira e cerâmico.	61,8	2,34 ☆☆☆☆☆	0,60	-
Pontes Térmicas Planas				
PTP Caixa de Estore - Ponte Térmica Plana de Caixa de Estore constituída por um espaço-de-ar revestido pelo exterior a fibrocimento e pelo interior a madeira	1,3 N 0,8	3,30 ☆☆☆☆☆	0,40	-

VÃOS ENVIDRAÇADOS

Descrição dos Elementos Identificados	Área Total e Orientação [m ²]	Coef. de Transmissão Térmica* [W/m ² .°C]		Fator Solar	
		Solução	Referência	Vidro	Global
Vãos de caixilharia simples inseridos nos quartos e sala, em caixilharia de alumínio sem corte térmico, de correr, com vidro simples incolor, sem classificação de permeabilidade ao ar. Para proteção solar estão instaladas persianas exteriores de réguas de cor clara.	2,4 N  1,6	4,10 	2,40	0,85	0,07
Vão interior de caixilharia simples em contacto com a marquise (local não aquecido), em caixilharia de alumínio sem corte térmico, giratória, com vidro simples incolor, sem classificação de permeabilidade ao ar. O envidraçado não possui dispositivos de proteção solar.	3,1	3,98 	2,40	-	-

* Menores valores representam soluções mais eficientes.

Anexo 10 – Coeficientes de transmissão térmica adotados nas simulações térmicas

Coeficiente de transmissão térmica external wall - atual				Coeficiente de transmissão térmica concrete wall			
	espessura	condutibilidade termica	resistividade termica		espessura	condutibilidade termica	resistividade termica
Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615	Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615
bloco betão autoclavado leve	0,24	0,19	1,263157895	Betão armado	0,15	2,3	0,065217391
Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615	Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615
Rsi			0,13	Rsi			0,13
Ser			0,04	Rse			0
Resistência térmica total			1,293927126	Resistência térmica total			0,095986622
Coeficiente de transmissão térmica			0,683094112	Coeficiente de transmissão térmica			2,809094325
				Considerar regra 2x Rsi			

Coeficiente de transmissão térmica external wall ETICS				Coeficiente de transmissão térmica concrete wall			
	espessura	condutibilidade termica	resistividade termica		espessura	condutibilidade termica	resistividade termica
Argamassa armada não tradicional	0,02	1	0,02	Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615
EPS	0,06	0,042	1,428571429	Betão armado	0,15	2,5	0,0600
Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615	argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615
bloco betão autoclavado leve	0,24	0,19	1,263157895	EPS	0,08	0,042	1,904761905
argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615	Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615
Rsi			0,13	Rsi			0,13
Ser			0,04	Rse			0
Resistência térmica total			2,742498554	Resistência térmica total			2,010915751
Coeficiente de transmissão térmica			0,34334781	Coeficiente de transmissão térmica			0,44035099
				Considerar regra 2x Rsi			2,345

Coeficiente de transmissão térmica external wall isolamento pelo interior				Coeficiente de transmissão térmica concrete wall isolamento pelo interior			
	espessura	condutibilidade termica	resistividade termica		espessura	condutibilidade termica	resistividade termica
Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615	argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615
bloco betão autoclavado leve	0,24	0,19	1,263157895	Betão armado	0,15	2,3	0,065217391
Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615	argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615
EPS	0,06	0,042	1,428571429	EPS	0,08	0,042	1,904761905
Plasterboard	0,012	0,25	0,048	Argamassa não tradicional	0,02	0,55	0,036363636
Gesso	0,06	0,4	0,15				
				Rsi			0,13
				Rse			0
Rsi			0,13				
Ser			0,04				
				Resistência térmica total			2,037112163
				Coeficiente de transmissão térmica			0,4353292
Resistência térmica total			2,770498554	Considerar regra 2x Rsi			
Coeficiente de transmissão térmica			0,340078385				

Coeficiente de transmissão térmica external wall Ventilada				Coeficiente de transmissão térmica concrete wall parede ventilada			
	espessura	condutibilidade termica	resistividade termica		espessura	condutibilidade termica	resistividade termica
Betonwood	0,012	0,26	0,046153846	Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615
Ar	0,05	0,025	2	Betão armado	0,15	2,3	0,065217391
EPS	0,06	0,042	1,428571429	Argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615
argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615	EPS	0,08	0,042	1,904761905
bloco betão autoclavado leve	0,24	0,19	1,263157895	Argamassa não tradicional	0,02	0,55	0,036363636
argamassa tradicional	0,02	1,3	0,015384615				
				Rsi			0,13
				Rse			0
Rsi			0,13				
Ser			0,04				
				Resistência térmica total			2,037112163
Resistência térmica total			4,7686524	Coeficiente de transmissão térmica			0,4353292
Coeficiente de transmissão térmica			0,202484386	Considerar regra 2x Rsi			2,345

Anexo 11 – Definição espessura de material isolante térmico – ITE50

Isolante térmico			Pano de alvenaria				Parede de betão
			tijolo furado	blocos de betão normal	blocos de betão leve	pedra	
Produto (massa vol.) [kg/m ³]	λ [W/(m.°C)]	esp. [mm]	Espessura da alvenaria [m]				
			0,20 a 0,24	0,20 a 0,30	0,20 a 0,30	0,40 a 0,60	0,10 a 0,20
EPS (15-20)	0,040	30	0,67	0,78	0,67	0,90	0,98
		40	0,58	0,65	0,58	0,74	0,79
		60	0,45	0,49	0,45	0,54	0,56
		80	0,37	0,40	0,37	0,42	0,44
MW (100-180)	0,042	30	0,69	0,80	0,69	0,93	1,0
		40	0,59	0,68	0,59	0,76	0,82
		60	0,46	0,51	0,46	0,56	0,59
		80	0,38	0,41	0,38	0,44	0,46

IBP REPORT

539

42 (2015) NEW RESEARCH RESULTS IN BRIEF

Kristin Lengsfeld, Martin Krus,
Hartwig Künzel, Helmut Künzel

Fraunhofer Institute for Building Physics IBP

Nobelstrasse 12, 70569 Stuttgart, Germany
Phone +49 711 970-00
info@ibp.fraunhofer.de

Holzkirchen Branch
Fraunhoferstr. 10, 83626 Valley, Germany
Phone +49 8024 643-0

Kassel Branch
Gottschalkstr. 28a, 34127 Kassel, Germany
Phone +49 561 804-1870
www.ibp.fraunhofer.de

Literature

- [1] Krus, M., Röske, D.: Aufdoppelung von WDVS – Hygrothermische Berechnung der Einsatzgrenzen unterschiedlicher Systeme. [Application of an additional insulation layer on ETICS – Hygrothermal calculations determining the limits of application for different systems]. *Bauphysik* vol. 33, June 2011 (issue 3, pp. 142–149).
- [2] Künzel, H.: Funktionsicherheit und Lebensdauer wärmedämmender Maßnahmen. [Functional reliability and lifespan of thermal insulation measures]. *VDI Bericht* no. 355, 1980.
- [3] Lengsfeld, K.: Beurteilung der Langzeitbewahrung von ausgeführten Wärmedämmverbundsystemen. [Assessing the long-term performance of applied ETICS]. Valley: Fraunhofer IBP, 2015. (IBP-Bericht HTB 06/2015).

© Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nachdruck oder Verwendung von Textteilen oder Abbildungen nur mit unserer schriftlichen Genehmigung

ASSESSING THE LONG-TERM PERFORMANCE OF APPLIED EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS (ETICS)

BACKGROUND

External thermal insulation composite systems (ETICS) have been in use since the early 1960s. In the beginning, these insulation systems were only applied using polystyrene hard-foam boards and synthetic resin plasters. Later on, mineral systems were also used. As early as in the 1970s, the Holzkirchen branch of the Fraunhofer Institute for Building Physics IBP was commissioned at several times to examine completed buildings to determine the reliability of these systems under practical conditions. Investigation results on the durability of ETIC systems were published in IBP reports 192, 316, 382, 438 and 461.

ASSESSMENT

The present IBP publication reports on the condition of external thermal insulation composite systems (ETICS), which had been evaluated at regular intervals since 1975, the last examination dating back to the autumn of 2014 – a detailed account of the examination results is given in [3]. Based on a selected number of larger buildings, information regarding the long-term performance of ETICS can be obtained, including specific information on the type of renovations that have become necessary in the meantime.

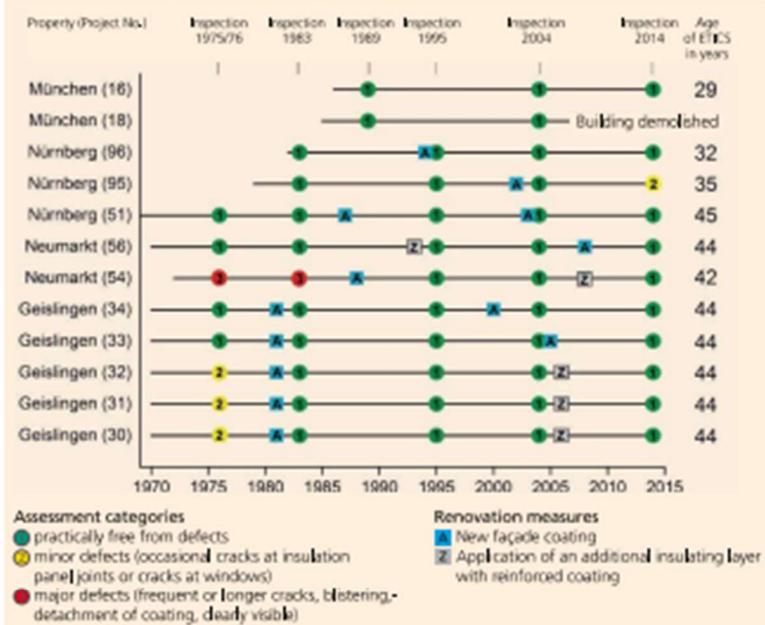
Just like in previous investigations, the condition of the examined façades was assessed according to three levels of quality. As merely visual flaws (caused by soiling or microbial infestation) are not classified as a technical defect, these are not included. The diagram on page 2 gives an overview of the examined properties and the time schedule regarding construction/ installation, on-site inspection, and status assessment.

Thin layers of render and the use of soft insulating materials beneath the rigid render are often supposed to be possible causes for damage due to mechanical stress. However, no evidence for this theory could be found during repeated on-site inspections.

The age of the examined ETIC systems ranges from 29 to 45 years. Within the last ten years, five buildings did not undergo any renovation. Four buildings were renovated by the installation of an additional insulation layer on their ETICS, but for no other reason than for energy retrofit. Two buildings were repainted. Following the 2014 on-site inspection, the condition of the façades of ten out of eleven buildings can be classified in category 1 “practically free from defects”. Only one façade, which had been repainted, is locally affected by minor or major defects (category 2).



Diagram 1 Time schedule of application, on-site inspection and renovation of ETICS – including indication of the façade condition



CONCLUSIONS

The findings from repeated inspections of 12 residential buildings featuring different ETIC systems can be summarized as follows:

There are systems that did not receive any renovation coating during 14 up to 29 years, yet do not show any technical defects like cracks, blistering or larger areas of render detachment. A building in Munich (Fig. 1–3), which was not refurbished since the application of the mineral insulation system in the 1990s, can still be classified in category 1. However, significant grey discolorations due to soiling may occur (just like with conventionally rendered façades), and in most cases a certain extent of weathering of the paint coats can be determined. In addition, other typical phenomena may occur at ETIC systems: for instance, insulation fixings or individual panel joints can become apparent at the surface and at the building's

edge; also, increased susceptibility to microbial infestation may become evident.

As long as 21 years ago, the thermal insulation of one property was enhanced by adding another composite layer; another five properties had additional thermal insulation applied six or eight years ago – without any deficiencies. Only near the ground, some isolated cases of algae formation at the façade were noted. Grey discolorations are more common on surfaces exposed to weathering and next to busy roads. In [1] it is pointed out that the material of an additional insulation layer needs to be compatible or well matched to the existing ETICS with regard to their hygric properties.

In one system, several defects occurred due to an inappropriate paint coat that was applied twelve years ago. This façade is partially covered with blisters and net-like

Table 1 Maintenance and renewal of the external treatment of façades

Type of external treatments	Values estimated by building experts 1980 [2]	
	Years until first renovation or renewal	Mean values
Mineral exterior render	15 – 50	35
Paint	5 – 20	10
Synthetic resin render on masonry or insulating layers	10 – 25	18
Asbestos cement cladding	10 – 30	20
Determined at completed buildings 1970–2014 [3]		
ETICS	15 – 29	22

cracks, and discolorations are evident. This example proves the importance of carefully selecting system compatible materials.

The evaluation of ageing behavior and maintenance requirements is similar for façades provided with ETIC systems and for conventionally rendered external walls. In Table 1 estimated maintenance intervals are compiled for various external treatments of façades, based on the survey conducted among building experts in 1980 [2] and on the current assessment results. The new findings suggest that the average value for ETICS is slightly higher (22 years compared to 18 years).

Given these figures, the amount of maintenance required for the investigated ETICS is minimal. The durability of renewed paint coats can be rated as very good, mostly remaining free from defects over a longer period of time, which is comparable to the performance of rendered façades without thermal insulation.

1–3 West façade of property no. 16 in Munich, 4 years (left), 19 years (centre) and 29 years (right) after application of the ETIC system, no intermediate renovation of the façade.

Anexo 13 – Ficha técnica PLADUR Enairgy Isopop

AISLAMIENTO TÉRMICO



ENAIRGY
ISOPOP

Panel transformado con altas prestaciones térmicas. Está compuesto por una placa Pladur® N, Pladur® H1 o Pladur® I y un panel de poliestireno expandido Pladur Isopop® adhesivado a su dorso, de diferentes espesores y conductividad térmica $\lambda = 0,038$ y $\lambda = 0,032$ W/mK, para Isopop® 38 e Isopop® 32 respectivamente. La gama Pladur Enairgy Isopop® está dividida en tres familias de productos en función de su nivel de resistencia térmica: STANDARD, ADVANCED y EFFICIENT, de menor a mayor exigencia de aislamiento térmico.

Aplicación: Trasdosado interior de los elementos de la envolvente vertical del edificio (fachadas, medianerías, cerramientos de patios interiores y muros de sótano). Trasdosado de muros o tabiques de distribución o separación dentro de un edificio.

NIVEL	PRODUCTO ESPESOR	RESISTENCIA TÉRMICA (m ² K/W)	LONGITUD ESTÁNDAR (m)	ANCHO (m)	BORDE	ESPESOR	AISLANTE TIPO	TIPO DE PLACA	REACCIÓN AL FUEGO	UNIDADES PALE	NORMATIVA	MARCADO
 STANDARD Reformas o complemento de aislamiento térmico	ENAIRGY ISOPOP® R0,55 10/13+20	R 0,55	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	20	Isopop® 38	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	40	EN 13950	CE/D/AF/A+/ACERM*
	ENAIRGY ISOPOP® R0,65 10/13+20	R 0,65	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	20	Isopop® 32*	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	36		CE/D/AF/A+/ACERM*
	ENAIRGY ISOPOP® R0,80 10/13+30	R 0,80	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	30	Isopop® 38	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	30		CE/D/AF/A+/ACERM*
	ENAIRGY ISOPOP® R1,10 10/13+40	R 1,10	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	40	Isopop® 38	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	24		CE/D/AF/A+/ACERM*
	ENAIRGY ISOPOP® R1,30 10/13+40	R 1,30	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	40	Isopop® 32*	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	22		CE/D/AF/A+/ACERM*
	ENAIRGY ISOPOP® R1,60 10/13+60	R 1,60	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	60	Isopop® 38	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	17		CE/D/AF/A+/ACERM*
	ENAIRGY ISOPOP® R1,90 10/13+60	R 1,90	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	60	Isopop® 32*	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	16		CE/D/AF/A+/ACERM*
	ENAIRGY ISOPOP® R2,15 10/13+80	R 2,15	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	80	Isopop® 38	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	13		CE/D/AF/A+/ACERM*
 ADVANCED Aislamiento térmico medio-alto	ENAIRGY ISOPOP® R2,55 10/13+80	R 2,55	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	80	Isopop® 32*	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	13	EN 13950	CE/D/AF/A+/ACERM*
	ENAIRGY ISOPOP® R2,65 10/13+100	R 2,65	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	100	Isopop® 38	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	10		CE/D/AF/A+/ACERM*
	ENAIRGY ISOPOP® R3,15 10/13+100	R 3,15	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	100	Isopop® 32*	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	10		CE/D/AF/A+/ACERM*
 EFFICIENT Aislamiento térmico muy alto	ENAIRGY ISOPOP® R3,80 10/13+120	R 3,80	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	120	Isopop® 32*	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	9	EN 13950	CE/D/AF/A+/ACERM*
	ENAIRGY ISOPOP® R4,40 10/13+140	R 4,40	3,00/2,8/2,7/2,6/2,5	1,2	BA	140	Isopop® 32*	N10 /N13 /H1 13 A 13	B-s1, d0	7		CE/D/AF/A+/ACERM*

*La conductividad y resistencia térmica del poliestireno están certificadas con la marca de calidad ACERMI.

Anexo 14 – Simulação energética Cenário 1 apartamento não reabilitado.

Timestamp: 2023-05-27 20:47:18

Annual Building Sensible Heat Gain Components

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Input Heated Surface Heating [kWh]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [kWh]	People Sensible Heat Addition [kWh]	Lights Sensible Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Addition [kWh]	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Removal [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [kWh]
RESDOCHAO:1823BL1SRC	7398.974	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5378.693	11398.955	2.078	8.348	0.099	0.000	-4413.46	-31.65	-13805.50	-5936.43
RESDOCHAO:1841BL16RCCEMTRZD	3415.662	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2520.703	1196.570	36.906	40.084	0.127	0.000	-1594.28	-7.46	-5521.75	-86.44
RESDOCHAO:1851BL16RCD	5119.138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2827.250	4221.604	17.864	31.851	0.000	0.000	-2261.86	-3.91	-8328.07	-1623.87
ANDAR1:BL1SANDAR1	3634.447	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5378.693	10737.409	1.585	0.380	0.000	0.000	-5280.62	-769.62	-9295.27	-4407.00
ANDAR1:2285BL161ESQ	1465.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2520.703	1690.853	43.507	4.466	0.000	0.000	-1751.35	-399.32	-3176.41	-397.48
ANDAR1:2895BL161DIR	2858.827	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2827.250	4122.204	10.759	6.326	0.000	0.000	-2519.90	-234.90	-5269.05	-1801.52
ANDAR2:ZONE2	952.469	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5378.693	10543.548	0.562	0.155	0.000	0.000	-5560.28	-1599.11	-1103.44	-8612.60
ANDAR2:ZONE1	1307.462	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5378.676	4398.110	47.262	0.917	0.000	0.000	-4153.20	-874.43	-1002.38	-5102.42
ANDAR3:ZONE2	2131.907	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5378.693	10105.337	82.892	0.412	0.000	0.000	-5310.57	-2542.40	-2028.29	-7817.97
ANDAR3:ZONE1	2607.220	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5378.676	4245.415	238.212	1.473	0.000	0.000	-4053.73	-1806.51	-4782.80	-1801.52
VAOSANTARIO:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	218.281	6.233	1047.904	0.000	0.000	-354.67	-917.75	0.000
BL1DESCADA:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6255.439	828.133	0.085	0.011	0.000	-1642.84	-2401.84	-1954.10	-1084.88
BL16DESCADA:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6391.664	977.781	0.154	0.055	0.000	0.000	-1565.22	-1519.71	-1817.54	-2467.13
ROOF1:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9381.821	0.955	0.000	0.000	-3862.07	-221.20	-5299.51	-5299.51
Total Facility	30891.141	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	42968.031	75307.108	11887.644	101.840	1048.195	0.000	-40107.31	-16429.06	-56247.26	-49420.04

Anexo 15 – Simulação energética Cenário 2, apartamento reabilitado com aplicação de sistema ETICS.

Timestamp: 2023-05-27 09:31:55

Annual Building Sensible Heat Gain Components

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Input Heated Surface Heating [kWh]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [kWh]	People Sensible Heat Addition [kWh]	Lights Sensible Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Addition [kWh]	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Removal [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [kWh]
RESDOCHAO:1823BL1SRC	1155.865	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5242.447	9852.296	0.001	3.438	0.233	0.000	-2799.97	-5.98	-7899.56	-5548.53
RESDOCHAO:1841BL16RCCEMTRZD	631.267	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2474.534	1008.125	39.721	12.312	0.007	0.000	-1012.99	-5.28	-3032.32	-115.36
RESDOCHAO:1851BL16RCD	1312.702	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2738.035	1080.324	30.568	22.174	387.920	0.000	-1153.49	-1.53	-4416.71	-0.09
ANDAR1:BL1SANDAR1	277.366	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5242.447	9178.454	0.003	0.014	0.217	0.000	-3760.47	-1034.10	-7967.26	-1936.46
ANDAR1:2285BL161ESQ	138.212	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2474.534	1421.937	12.750	0.213	377.763	0.000	-1329.70	-498.61	-2597.10	-0.02
ANDAR1:2895BL161DIR	357.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2738.035	3524.217	3.027	0.536	0.074	0.000	-1762.23	-351.03	-4171.52	-338.08
ANDAR2:ZONE2	26.980	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5242.447	9057.105	15.066	0.009	0.085	0.000	-3946.90	-2324.74	-2518.24	-5551.73
ANDAR2:ZONE1	99.840	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5242.426	3783.967	87.287	0.104	0.013	0.000	-3120.39	-1519.80	-2161.41	-2412.03
ANDAR3:ZONE2	49.118	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5242.447	8664.767	40.951	0.008	0.119	0.000	-3925.50	-1719.88	-1283.98	-7067.92
ANDAR3:ZONE1	146.688	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5242.426	3633.245	177.308	0.068	0.000	0.000	-3148.84	-1220.91	-1095.08	-3724.91
VAOSANTARIO:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	71.287	3.077	730.366	0.000	0.000	-149.95	-660.78	0.000
BL1DESCADA:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5387.032	188.065	0.022	0.053	0.000	0.000	-1125.26	-1863.65	-1392.80	-1193.41
BL16DESCADA:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5448.629	249.160	0.029	0.079	0.000	0.000	-1061.73	-1802.05	-1233.39	-1600.64
ROOF1:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	13393.746	0.187	0.000	0.000	0.000	-2525.91	-313.56	-10554.46
Total Facility	4195.077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	41879.778	62040.099	14308.941	42.190	1496.930	0.000	-28147.47	-15017.43	-40743.70	-40053.64

Anexo 16 – Simulação energética Cenário 3, apartamento reabilitado com aplicação de isolamento pelo interior da envolvente.

Timestamp: 2023-05-27 21:09:56

Annual Building Sensible Heat Gain Components

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Terminal Unit Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Input Heated Surface Heating [kWh]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [kWh]	People Sensible Heat Addition [kWh]	Lights Sensible Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Addition [kWh]	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Removal [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [kWh]
RESDOCHAO:1823BL1SRC	1476.178	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5169.564	9837.310	0.001	4.175	0.106	0.000	-2654.55	-8.03	-7139.62	-6685.04
RESDOCHAO:1841BL16RCCEMTRZD	778.257	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2450.496	1007.228	42.478	14.999	0.013	0.000	-969.29	-10.03	-2759.79	-554.35
RESDOCHAO:1851BL16RCD	1538.507	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2689.427	1090.265	34.968	26.524	0.091	0.000	-1094.75	-3.89	-3996.85	-284.20
ANDAR1:BL1SANDAR1	552.066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5169.564	9257.344	0.008	0.030	0.031	0.000	-3454.20	-914.30	-6985.46	-3625.04
ANDAR1:2285BL161ESQ	254.371	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2450.496	1464.280	15.198	0.501	0.021	0.000	-1235.95	-445.44	-2280.53	-222.93
ANDAR1:2895BL161DIR	585.654	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2689.427	3569.685	4.390	1.117	0.100	0.000	-1621.16	-307.06	-3647.32	-1274.73
ANDAR2:ZONE2	114.173	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5169.564	9163.349	26.174	0.026	0.081	0.000	-3597.63	-1799.22	-2245.20	-6831.23
ANDAR2:ZONE1	301.571	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5169.539	3881.485	116.767	0.279	0.000	0.000	-2850.73	-1099.18	-1912.10	-3607.63
ANDAR3:ZONE2	168.963	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5169.564	8773.618	60.867	0.025	0.021	0.000	-3546.51	-1267.85	-1202.13	-8156.55
ANDAR3:ZONE1	385.275	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5169.539	3735.629	234.520	0.155	0.000	0.000	-2852.76	-910.44	-1019.90	-4742.01
VAOSANTARIO:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	80.114	3.598	642.745	0.000	0.000	-127.37	-599.08	0.000
BL1DESCADA:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5412.418	268.600	0.024	0.118	0.000	0.000	-1037.95	-1654.67	-1232.88	-1755.55
BL16DESCADA:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5473.290	363.647	0.033	0.176	0.000	0.000	-986.40	-1608.08	-1097.24	-2145.25
ROOF1:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	11809.973	0.331	0.000	0.000	0.000	-2853.34	-307.25	-8649.71
Total Facility	6155.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	41297.182	62665.902	13057.705	51.819	643.500	0.000	-25901.86	-13008.93	-36425.37	-48534.20

Anexo 17 – Simulação energética Cenário 4, apartamento reabilitado com aplicação de sistema Fachada Ventilada.

Timestamp: 2023-05-27 21:22:40

Annual Building Sensible Heat Gain Components

	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Heating [kWh]	HVAC Zone Eq & Other Sensible Air Cooling [kWh]	Terminal Unit Sensible Air Heating [kWh]	Terminal Unit Sensible Air Cooling [kWh]	HVAC Input Heated Surface Heating [kWh]	HVAC Input Cooled Surface Cooling [kWh]	People Sensible Heat Addition [kWh]	Lights Sensible Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Addition [kWh]	Window Heat Addition [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Addition [kWh]	Infiltration Heat Addition [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Addition [kWh]	Equipment Sensible Heat Removal [kWh]	Window Heat Removal [kWh]	Interzone Air Transfer Heat Removal [kWh]	Infiltration Heat Removal [kWh]	Opaque Surface Conduction and Other Heat Removal [kWh]
RESDOCHAO:1823BL1SRC	1170.539	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5155.590	9704.189	0.001	3.081	0.174	0.000	-2847.76	-3.67	-8346.79	-4835.19
RESDOCHAO:1841BL16RCCEMTRZD	393.883	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2445.875	2278.105	27.026	8.504	0.036	0.000	-1168.69	-4.71	-3335.82	-644.17
RESDOCHAO:1851BL16RCD	1370.404	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2680.121	1033.970	31.511	20.787	726.499	0.000	-1171.67	-0.71	-4690.92	-0.08
ANDAR1:BL1SANDAR1	227.732	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5155.590	8993.651	0.004	0.007	0.002	0.000	-3864.26	-1136.91	-8473.80	-902.00
ANDAR1:2285BL161ESQ	92.837	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2445.875	1370.901	12.828	0.108	738.675	0.000	-1372.50	-523.93	-2764.79	-0.00
ANDAR1:2895BL161DIR	283.138	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2680.121	3433.022	2.701	0.340	217.906	0.000	-1801.44	-375.13	-4440.66	-0.02
ANDAR2:ZONE2	12.702	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5155.590	8860.640	11.316	0.001	0.217	0.000	-4072.30	-2569.96	-2666.86	-4731.13
ANDAR2:ZONE1	50.097	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5155.565	3630.762	83.466	0.059	0.000	0.000	-3228.78	-1673.58	-2285.38	-1732.22
ANDAR3:ZONE2	25.240	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5155.590	8462.378	31.335	0.000	0.324	0.000	-4062.58	-1908.59	-1330.47	-6372.91
ANDAR3:ZONE1	80.914	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5155.565	3474.816	166.312	0.038	0.078	0.000	-3264.85	-1368.88	-1132.39	-3111.53
VAOSANITARIO:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	65.206	2.785	798.024	0.000	0.000	-154.42	-711.59	0.000
BL1ESCADA:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5357.366	192.280	0.019	0.092	0.000	-1161.53	-1899.05	-1479.68	-1009.41
BL1ESCADA:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5416.157	264.699	0.025	0.016	0.000	-1100.76	-1796.60	-1320.75	-1462.78
ROOF1:ZONE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14326.343	0.126	0.000	0.000	-2386.55	-317.21	-11622.71	
Total Facility	3707.487	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	41185.481	62015.956	15215.026	35.879	2482.044	0.000	-29117.11	-15802.68	-43297.10	-36424.14

Anexo 18 – Caracterização de elementos em cada solução construtiva avaliada

SOLUÇÃO 1 - BASELINE - Edifício atual não reabilitado											Tempo para intervenção (anos)	Custo de manutenção vida útil edifício - 30 anos
Construction	MATERIAIS	kg/m²	GWP	ODP	AP	POCP	EP	NRE	CC	Custo manutenção (10 anos)		
External wall	Paint, synthetic base	0,60	2,51E+00	5,78E-07	2,02E-02	9,47E-04	0,00547	7,15E+01	8,401	14,701	10	44,101
	Cement mortar (argamassa assentamento/acabamento)	105,23	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	25,081	1,101	10	3,301
	Concrete block, light (aerated)	214,75	4,15E-01	2,18E-08	6,69E-04	4,29E-05	8,47E-05	3,25E+00	31,681	1,581	10	4,741
	Total External wall	320,58	3,12E+00	6,08E-07	2,12E-02	1,00E-03	1,33E-04	7,61E+01	65,161	17,381		52,141
Semioexposed wall	Paint, synthetic base	0,60	2,51E+00	5,78E-07	2,02E-02	9,47E-04	0,00547	7,15E+01	8,401	14,701	10	44,101
	Cement mortar (argamassa assentamento/acabamento)	111,60	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	22,161	1,001	10	3,001
	Concrete reinforced	348,21	1,48E-01	3,55E-09	5,56E-04	5,28E-05	5,76E-05	1,24E+00	309,001	12,381	10	37,141
	Total Semioexposed wall	460,41	2,85E+00	5,90E-07	2,11E-02	1,01E-03	1,08E-04	7,41E+01	339,561	28,081		84,241
Total	780,99	5,97E+00	1,20E-06	4,23E-02	2,02E-03	2,40E-04	1,50E+02	404,72 €	45,461		136,381	

SOLUÇÃO 2 - Sistema ETICS											Tempo para intervenção (anos)	Custo de manutenção vida útil edifício - 30 anos
Construction	MATERIAIS	kg/m²	GWP	ODP	AP	POCP	EP	NRE	CC	CO (10 anos)		
External wall	Paint, synthetic base	0,90	2,51E+00	5,78E-07	2,02E-02	9,47E-04	0,00547	7,15E+01	8,401	14,701	10	44,101
	Cement mortar (argamassa assentamento/acabamento)	118,13	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	25,081	2,591	10	7,771
	Aluminum, 50% recycled	1,00	4,28E+00	1,84E-06	3,80E-02	2,23E-03	1,21E-03	6,82E+01			10	20,761
	ETICS Expanded polystyrene (EPS)	1,20	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02			10	0,001
Semioexposed wall	Paint, synthetic base	0,90	2,51E+00	5,78E-07	2,02E-02	9,47E-04	0,00547	7,15E+01	8,401	14,701	10	44,101
	Cement mortar (argamassa assentamento/acabamento)	111,60	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	22,161	1,001	10	3,001
	Concrete reinforced	348,21	1,48E-01	3,55E-09	5,56E-04	5,28E-05	5,76E-05	1,24E+00	309,001	12,381	10	37,141
	Total Semioexposed wall	461,31	6,99E+00	7,00E-07	3,60E-02	7,76E-03	1,35E-03	1,79E+02	350,951	28,311		84,931
Total	797,89	1,85E+01	3,26E-06	1,10E-01	1,77E-02	3,93E-03	4,28E+02	478,56 €	54,701		162,301	

SOLUÇÃO 3 - ISOLAMENTO INTERIOR											Tempo para intervenção (anos)	Custo de manutenção vida útil edifício - 30 anos
Construction	MATERIAIS	kg/m²	GWP	ODP	AP	POCP	EP	NRE	CC	CO (10 anos)		
External wall	Paint, synthetic base	0,90	2,51E+00	5,78E-07	2,02E-02	9,47E-04	0,00547	7,15E+01	8,401	14,701	10	44,101
	Cement mortar (argamassa assentamento/acabamento)	105,23	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	25,081	2,591	10	7,771
	Concrete block, light (aerated)	214,75	4,15E-01	2,18E-08	6,69E-04	4,29E-05	8,47E-05	3,25E+00	31,681	1,581	10	4,741
	Total External wall	320,58	3,12E+00	6,08E-07	2,12E-02	1,00E-03	1,33E-04	7,61E+01	65,161	17,381		52,141
Semioexposed wall	Reparação de fissuras RYY040	0,90	2,51E+00	5,78E-07	2,02E-02	9,47E-04	0,00547	7,15E+01	25,151		10	14,641
	Interior sistema construtivo								37,681	4,881		
	Plasterboard	10,00	3,50E-01	3,89E-08	1,09E-03	4,69E-05	1,73E-04	5,74E+00			10	0,001
	Lime mortar (argamassa gesso)	16,80	6,10E-01	2,08E-08	8,64E-04	3,91E-05	1,31E-04	3,26E+00	2,021	0,341	10	1,021
	Total External wall	354,58	1,07E+01	1,38E-06	5,82E-02	8,79E-03	1,68E-03	2,62E+02	130,011	24,091		72,271
	Paint, synthetic base	0,90	2,51E+00	5,78E-07	2,02E-02	9,47E-04	0,00547	7,15E+01	8,401	14,701	10	44,101
	Cement mortar (argamassa assentamento/acabamento)	111,60	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	22,161	1,001	10	3,001
	Expanded polystyrene (EPS)	1,20	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	11,391	0,231	10	0,691
	Concrete reinforced	348,21	1,48E-01	3,55E-09	5,56E-04	5,28E-05	5,76E-05	1,24E+00	309,001	12,381	10	37,141
	Total Semioexposed wall	461,31	6,99E+00	7,00E-07	3,60E-02	7,76E-03	1,35E-03	1,79E+02	350,951	28,311		84,931
Total	816,49	1,77E+01	2,06E-06	9,42E-02	1,65E-02	3,02E-03	4,41E+02	480,96 €	52,401		157,201	

SOLUÇÃO 4 - FACHADA VENTILADA										Tempo para intervenção (anos)	Custo de manutenção vida útil edifício - 30 anos	
Construction	MATERIAIS	kg/m²	GWP	ODP	AP	POCP	EP	NRE	CC	CO (10 anos)		
External wall	Cement bounded wood fibres	16,20	6,32E-01	2,32E-08	1,91E-03	1,03E-04	5,64E-03	5,39E+00				
	Aluminum, 50% recicladed		4,28E+00	1,84E-06	3,80E-02	2,23E-03	1,21E-03	6,82E+01				
	Expanded polystyren (EPS)	0,90	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	20,901	0,421	10	1,261
	Fachada ventilada sistema								79,381	8,901	10	26,701
	Paint, synthetic base	0,60	2,51E+00	5,78E-07	2,02E-02	9,47E-04	0,00547	7,15E+01	13,921	24,611	10	73,831
	Cement mortar (argamassa)	105,23	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	25,081	2,591	10	7,771
	Concrete block, light (aerated)	214,75	4,15E-01	2,18E-08	6,69E-04	4,23E-05	8,47E-05	3,25E+00	31,681	1,581	10	4,741
	Total External wall	337,68	1,22E+01	2,59E-06	7,60E-02	1,01E-02	8,22E-03	2,55E+02	170,961	38,101		114,301
	Paint, synthetic base	0,90	2,51E+00	5,78E-07	2,02E-02	9,47E-04	0,00547	7,15E+01	8,401	14,701	10	44,101
	Concrete reinforced	348,21	1,48E-01	3,55E-09	5,56E-04	5,28E-05	5,76E-05	1,24E+00	309,001	12,381	10	37,141
Semisexposed wall	Expanded polystyren (EPS)	1,20	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	11,391	0,231	10	0,691
	Cement mortar (argamassa assentamento/acabamento)	111,60	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	22,161	1,001	10	3,001
	Total Semisexposed wall	461,91	6,99E+00	7,00E-07	3,60E-02	7,76E-03	1,35E-03	1,79E+02	350,951	28,311		84,931
	Total	799,59	1,92E+01	3,29E-06	1,12E-01	1,78E-02	9,57E-03	4,34E+02	521,91 €	66,411		199,231

Anexo 19 – Caracterização Impactos Ambientais - MARS

RESUMO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DAS 4 SOLUÇÕES							
SOLUÇÃO	GWP	ODP	AP	POCP	EP	NRE	
Solução 1 - Edifício não reabilitado	5,97E+00	1,20E-06	4,23E-02	2,02E-03	2,40E-04	1,50E+02	
Solução 2 - ETICS	1,85E+01	3,26E-06	1,10E-01	1,77E-02	3,93E-03	4,28E+02	
Solução 3 - Interior	1,77E+01	2,06E-06	9,42E-02	1,65E-02	3,02E-03	4,41E+02	
Solução 4 - Fachada Ventilada	1,92E+01	3,29E-06	1,12E-01	1,78E-02	9,57E-03	4,34E+02	
Melhor Valor	5,97E+00	1,20E-06	4,23E-02	2,02E-03	2,40E-04	1,50E+02	
Pior valor	1,92E+01	3,29E-06	1,12E-01	1,78E-02	9,57E-03	4,41E+02	

VALORES NORMALIZADOS DAS CATEGORIAS DE IMPACTO AMBIENTAL (IA)							
SOLUÇÃO	GWP	ODP	AP	POCP	EP	NRE	IA
Solução 1 - Não reabilitado	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Solução 2 - ETICS	0,05	0,01	0,03	0,01	0,60	0,04	0,10
Solução 3 - Interior	0,11	0,59	0,25	0,08	0,70	0,00	0,24
Solução 4 - Fachada Ventilada	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00

Anexo 20 – Caracterização desempenho funcional - MARS

DESEMPENHO FUNCIONAL (IF) (U fachada exterior)			
SOLUÇÃO	U (W/m²C)	U	IF
Solução 1 - Não reabilitado	0,68	0,00	0,00
Solução 2 - ETICS	0,34	0,71	0,71
Solução 3 - Interior	0,34	0,71	0,71
Solução 4 - Fachada Ventilada	0,20	1,00	1,00
Melhor valor	0,20		
Pior valor	0,68		

Anexo 21 – Caracterização desempenho económico – MARS

DESEMPENHO ECONÔMICO (IE)					
SOLUÇÃO	CUSTO CONSTRUÇÃO CC (EUR/m²)	CUSTO OPERAÇÃO CO (EUR/m²) 10 anos	CUSTO MANUTENÇÃO CR (30 anos)	CUSTOS CICLO DE VIDA (30 anos)	IE
Solução 1 - Não reabilitado	0,001	45,461	136,381	136,381	1,00
Solução 2 - ETICS	73,841	54,101	162,301	236,141	0,45
Solução 3 - Interior	76,241	52,401	157,201	233,441	0,46
Solução 4 - Fachada Ventilada	117,19	66,411	199,231	316,421	0,00
Melhor valor				136,381	
Pior valor				316,42 €	