

AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE BUILDING RENOVATION PASSPORTS PARA A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

EDGAR BESSA E MENESES MARTINS FERRÃO

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

Orientador: Professor Fernando Pedro Fernandes Pereira

JULHO DE 2025

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2024/2025

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil – 2024/2025 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2025*

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

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

Aos meus familiares e amigos,

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Professor Doutor Pedro Pereira, meu orientador, pela constante disponibilidade, pela orientação encorajadora e construtiva, e sobretudo pelo profundo conhecimento na área, que foram essenciais para a realização desta dissertação.

Agradeço também à Engenheira Mariana Nadais pela dedicação, proximidade e apoio contínuo ao longo de todo o processo, contribuindo decisivamente para esclarecer dúvidas e superar obstáculos metodológicos.

Ao Engenheiro Rui Miranda, agradeço pela colaboração prestada durante a visita técnica à escola, nomeadamente no apoio à instalação e funcionamento dos sensores, essencial para a componente prática desta dissertação.

A colaboração da Câmara Municipal de Lisboa, ao permitir a utilização da Escola Básica Arquiteto Gonçalo Ribeiro Telles como caso de estudo, foi determinante para o desenvolvimento desta dissertação.

À minha família, especialmente aos meus pais, deixo uma palavra de profunda gratidão pelo apoio incondicional desde o início, pela paciência e por estarem sempre ao meu lado, e à minha irmã, um agradecimento especial por trazer alegria e motivação aos meus dias ao longo de todo este percurso.

Aos meus amigos, agradeço por estarem sempre presentes, pela motivação e pelos momentos memoráveis de descontração e alegria que ajudaram a equilibrar esta etapa exigente.

A todos os que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão deste ciclo da minha vida, o meu muito obrigado.

Resumo

O setor da construção tem um papel decisivo na transição energética e climática da União Europeia, representando uma fração significativa do consumo energético e das emissões associadas. No contexto português, verifica-se um parque edificado envelhecido, com défices de desempenho energético e de conforto, o que acentua fenómenos como a pobreza energética e a ineficiência de intervenções independentes. Neste cenário, os *Building Renovation Passports* (BRPs) surgem como ferramentas promissoras para apoiar a reabilitação profunda de edifícios, permitindo o planeamento faseado de medidas, a centralização da informação e a melhoria contínua do desempenho ao longo do tempo.

A presente dissertação tem como objetivo avaliar a aplicabilidade dos BRPs em projetos de reabilitação energética, através da seleção e aplicação prática de um *Framework* metodológico adaptado ao contexto português. Após análise crítica de quatro *Frameworks* europeus, foi selecionado o da ALDREN, por integrar uma estrutura modular, compatível com a normalização europeia e orientada para edifícios não residenciais.

A metodologia foi aplicada a um edifício escolar recente, a Escola Básica Arquiteto Gonçalo Ribeiro Telles, localizada em Lisboa, tendo como foco seis compartimentos representativos (três salas de aula e três gabinetes). Foram implementados cinco módulos do ALDREN (M1, M2, M4, M7 e M8), permitindo caracterizar os espaços, simular o desempenho energético, avaliar o ambiente interior segundo o índice TAIL, identificar medidas técnicas de melhoria e construir um plano de renovação (*RenoMap*) com registo digital (*BuildLog*).

Os resultados demonstraram que é possível adaptar a metodologia ALDREN para construir um BRP coerente e funcional, ajustado às necessidades específicas de cada edifício. A análise energética e ambiental permitiu identificar oportunidades relevantes de melhoria. As medidas propostas foram organizadas de forma faseada, com base na interdependência técnica, no horizonte temporal e no contributo para o desempenho global. O estudo reforça ainda a importância da avaliação do conforto interior como componente essencial do BRP.

Apesar da ausência de dados económico-financeiros e da não participação direta do proprietário, foi possível adaptar a metodologia com base em orientações oficiais e exemplos documentados, replicando os outputs do BRP em folhas de cálculo. Este processo implicou um elevado grau de interpretação e sistematização, evidenciando a complexidade da aplicação e a necessidade de ferramentas digitais de apoio.

Conclui-se que os BRPs representam uma ferramenta promissora para a transição energética do edificado, com aplicabilidade real no contexto português. Esta investigação contribui para reduzir a distância entre o enquadramento teórico e a aplicação prática deste instrumento, apresentando um caso concreto e devidamente documentado que poderá servir de base para investigações futuras, desenvolvimento de políticas públicas e adoção alargada da metodologia.

PALAVRAS-CHAVE: Building Renovation Passports, Eficiência Energética, ALDREN, Qualidade do Ambiente Interior, NZEB.

ABSTRACT

The building sector plays a decisive role in the European Union's energy and climate transition, accounting for a significant share of energy consumption and associated emissions. In the Portuguese context, the building stock is predominantly aged, with performance and comfort deficits, which accentuate phenomena such as energy poverty and the inefficiency of isolated interventions. In this context, Building Renovation Passports (BRPs) emerge as promising tools to support deep renovation, allowing for phased planning of measures, information centralization, and continuous performance improvement over time.

This dissertation aims to assess the applicability of BRPs in energy renovation projects through the selection and practical application of a methodological *Framework* adapted to the Portuguese context. After a critical analysis of four European *Frameworks*, the ALDREN was selected due to its modular structure, compatibility with European standardization, and orientation towards non-residential buildings.

The methodology was applied to a recently renovated school building, the Escola Básica Arquiteto Gonçalo Ribeiro Telles, located in Lisbon, focusing on six representative spaces (three classrooms and three offices). Five ALDREN modules (M1, M2, M4, M7, and M8) were implemented, enabling the characterization of the spaces, energy performance simulation, assessment of indoor environment using the TAIL index, identification of technical improvement measures, and development of a phased renovation plan (*RenoMap*) with digital recording (*BuildLog*).

The results demonstrated that it is possible to adapt the ALDREN methodology to construct a coherent and functional BRP, tailored to the specific needs of each building. The energy and environmental analysis identified relevant opportunities for improvement. The proposed measures were structured in a phased manner, based on technical interdependence, implementation horizon, and contribution to overall performance. The study also reinforces the importance of comfort assessment as an essential component of the BRP.

Despite the absence of economic and financial data and the lack of direct involvement from the building owner, the methodology was successfully adapted based on official guidelines and documented examples, replicating the BRP outputs in spreadsheets. This process required a high degree of interpretation and systematization, highlighting the complexity of its implementation and the need for supporting digital tools.

It is concluded that BRPs represent a promising tool for the energy transition of the building stock, with real applicability in the Portuguese context. This research contributes to bridging the gap between theoretical framing and practical application of this instrument, presenting a concrete and well-documented case that can serve as a foundation for future research, public policy development, and broader adoption of the methodology.

KEYWORDS: Building Renovation Passports, Energy Efficiency, ALDREN, Indoor Environmental Quality, NZEB.

Índice Geral

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
Símbolos, Acrónimos e Abreviaturas	xv
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura	2
 2. ESTADO DE ARTE	 5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Regulamentação e Normas Europeias.....	6
2.2.1. DIRETIVA EUROPEIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS (EPBD) ...	7
2.2.2. PACTO ECOLÓGICO EUROPEU.....	8
2.2.3. ONDA DE RENOVAÇÃO	8
2.3. Building Renovation Passports.....	9
2.3.1. DEFINIÇÃO E ESTRUTURA.....	9
2.3.2. EVOLUÇÃO	12
2.3.3. PRINCIPAIS FRAMEWORKS NA UNIÃO EUROPEIA	13
2.3.3.1. ALDREN (UE).....	13
2.3.3.2. FLANDERS (BE): Woningpas	14
2.3.3.3. FRANCE: Passeport Efficacité Energétique (P2E)	16
2.3.3.4. GERMANY: Individueller Sanierungsfahrplan (iSFP).....	17
2.3.4. CASOS DE ESTUDO.....	19
2.3.4.1. ALDREN: Edifício de Escritórios (Politecnico di Milano, Campus de Lecco).....	19
2.3.4.2. Building Renovation Roadmapping (Grécia)	20
2.3.4.3. Reabilitação de Casas de Madeira (Estónia)	21
2.3.4.4. Comparação dos Casos de Estudo.....	23
2.4. Barreiras à implementação dos BRPs	23
2.4.1. BARREIRAS REGULATÓRIAS E POLÍTICAS	23
2.4.2. BARREIRAS FINANCEIRAS.....	24

2.4.3.	BARREIRAS TÉCNICAS E OPERACIONAIS.....	24
2.4.4.	BARREIRAS DE PERCEÇÃO E CONSCIENCIALIZAÇÃO.....	25
2.5.	Implementação dos BRPs em Portugal.....	25

3. CASO DE ESTUDO 29

3.1.	Introdução.....	29
3.2.	Descrição do Caso de Estudo	30
3.2.1.	ENQUADRAMENTO DO EDIFÍCIO	30
3.2.2.	COMPARTIMENTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE	33
3.2.2.1.	Critérios de Seleção.....	33
3.2.2.2.	Descrição dos Compartimentos.....	34
3.2.3.	FONTES DE INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO	37
3.2.4.	SÍNTESE FINAL	37

4. METODOLOGIA DO FRAMEWORK ALDREN 39

4.1.	Introdução.....	39
4.2.	Seleção do Framework.....	40
4.3.	Metodologia ALDREN (Alliance for Deep Renovation in buildings).....	41
4.3.1.	SISTEMA HARMONIZADO DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO (EVC).....	42
4.3.2.	PROTOCOLO DE VERIFICAÇÃO DE DESEMPENHO (FECHO DO GAP CALCULADO—MEDIDO)	46
4.3.3.	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR (ÍNDICE ALDREN-TAIL) ..	51
4.3.3.1.	Protocolo	52
4.3.3.2.	Térmico (T)	53
4.3.3.3.	Acústico (A).....	55
4.3.3.4.	Ar Interior (I).....	57
4.3.3.5.	Iluminação (L)	63
4.3.4.	INTEGRAÇÃO DE INDICADORES TÉCNICOS E FINANCEIROS NA VALORIZAÇÃO DE ATIVOS	65
4.3.4.1.	Indicadores de Desempenho Técnico	65
4.3.4.2.	Indicadores Económico-Financeiros.....	65
4.3.4.3.	Indicador de Risco ALDREN.....	66
4.3.5.	BUILDING RENOVATION PASSPORT (BRP) – RENOMap E BUILDLOG	67
4.3.5.1.	ALDREN BuildLog	68
4.3.5.2.	ALDREN RenoMap.....	71

5. APLICAÇÃO DO FRAMEWORK ALDREN	75
5.1. Introdução	75
5.2. Módulo M1: Building Picture.....	76
5.2.1. INTRODUÇÃO	76
5.2.2. APLICAÇÃO PRÁTICA DA ESTRUTURA M1	77
5.2.2.1. Dados Gerais	77
5.2.2.2. Envolvente Física	77
5.2.2.3. Sistemas técnicos	77
5.3. Módulo M2: Energy Rating and Target.....	77
5.3.1. INTRODUÇÃO	77
5.3.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO	78
5.3.2.1. Geometria do Modelo e Envolvente Térmica	78
5.3.2.2. Perfis de Utilização e Condições de Climatização	80
5.3.2.3. Parâmetros de Simulação	83
5.3.2.4. Valores do Desempenho Energético Atual	83
5.3.3. DETERMINAÇÃO DO VALOR DE REFERÊNCIA (REF)	84
5.3.4. CLASSIFICAÇÃO NA ESCALA A-G	85
5.4. Módulo M4: Comfort and Well-being.....	86
5.4.1. INTRODUÇÃO	86
5.4.2. EQUIPAMENTO UTILIZADO	86
5.4.3. APLICAÇÃO	86
5.5. Módulo M7: Elementary Renovation Actions (ERAs).....	90
5.5.1. INTRODUÇÃO	90
5.5.2. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS AÇÕES POTENCIAIS DE RENOVAÇÃO	90
5.5.3. PRIORIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES	91
5.6. Módulo M8: NZEB RoadMap	91
5.6.1. INTRODUÇÃO	91
5.6.2. DEFINIÇÃO E PRIORIZAÇÃO DAS ERAS	92
5.6.3. CONSTRUÇÃO DO ROTEIRO E CALENDARIZAÇÃO	92
5.6.4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO ENERGÉTICO.....	92
6. RESULTADOS	93
6.1. Introdução	93
6.2. Módulo 1: Building Picture	93

6.3. Módulo 2: Energy Rating and Target.....	94
6.4. Módulo 4: Confort and Weel-being.....	94
6.4.1. RESULTADOS DETALHADOS POR DOMÍNIO (ÍNDICE TAIL)	94
6.4.2. AVALIAÇÃO GRÁFICA POR COMPARTIMENTO.....	95
6.5. Módulo 7: Elementary Renovation Actions	96
6.6. Módulo 8: NZEB Roadmap	97
 7. CONCLUSÃO	 99
7.1. Considerações Finais.....	99
7.2. Desenvolvimentos Futuros	100
Referências Bibliográficas	103
 8. ANEXOS	 A
A1. Módulo M1: Building Picture	A
A2. Módulo M2: Energy Rating and Target	C
A3. Módulo M4: Comfort and Well-being	D
A4. Módulo M7: Elementary Renovation Actions (ERAs)	E
A5. Módulo M8: NZEB Roadmap.....	G

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama funcional de um BRP [4]	9
Figura 2- Linha de tempo da evolução dos BRPs	13
Figura 3- Processo Estruturado do Framework Woningpas	15
Figura 4- Processo Estruturado do Framework P2E	16
Figura 5- Processo Estruturado do Framework iSFP	18
Figura 6- Exemplo de documento de saída do iSFP [21]	18
Figura 7- Fluxograma de enquadramento do Capítulo 3	30
Figura 8- Vista aérea da Escola Básica Arquitecto Gonçalo Ribeiro Telles, via Google Maps e Google Earth	31
Figura 9- Esquema de organização dos blocos funcionais da Escola Básica Arquitecto Gonçalo Ribeiro Telles	31
Figura 10- Níveis do projeto (s/escala)	32
Figura 11- Planta do Piso 1, indicando os seis compartimentos seleccionados para análise	34
Figura 12- Fluxograma de enquadramento do Capítulo 4	40
Figura 13- Diagrama de síntese da estrutura lógica do ALDREN [31]	42
Figura 14- Página de capa do Certificado Europeu Voluntário ALDREN: (a) versão “standard”; (b) versão “green” [33]	44
Figura 15- Exemplo de inexistência de correlação direta entre intensidade energética real e a classificação EPC de edifícios [35]	46
Figura 16- Etapas do protocolo de verificação do desempenho energético, segundo a metodologia ALDREN, organizadas segundo o modelo RIBA [35]	47
Figura 17- Exemplo de comparação entre consumo energético previsto e medido após renovação, em usos finais elétricos e não-elétricos [35]	49
Figura 18- Representação gráfica do ndice ALDREN-TAIL, exemplificando uma classificação global [37]	52
Figura 19- Esquema ilustrativo dos principais indicadores econmicos utilizados no protocolo ALDREN [40]	67
Figura 20- Página “Read Me” do ficheiro Excel do BRP ALDREN [41]	69
Figura 21- Exemplo ilustrativo da ficha Excel do Módulo 1 (Building Picture) do BuildLog – BRP ALDREN [41]	70
Figura 22- Estrutura esquemática do ALDREN RenoMap com os seus dois componentes principais [41]	71
Figura 23- Fluxograma de enquadramento do Capítulo 5	76
Figura 24- Modelo tridimensional do edifício (salas e gabinetes), desenvolvido no DesignBuilder	78
Figura 25- Configuração geométrica do modelo no DesignBuilder	79
Figura 26- Caracterização construtiva das paredes exteriores no modelo DesignBuilder, indicando materiais e espessuras utilizadas	79
Figura 27- Elementos estticos de sombreamento introduzidos manualmente no modelo DesignBuilder	80
Figura 28- Perfil de utilização atribuído s salas	80
Figura 29- Configuração do perfil de utilização para as salas de aula no modelo DesignBuilder	81
Figura 30- Configuração do perfil de utilização para os gabinetes no modelo DesignBuilder	81
Figura 31- Perfil das cargas internas de equipamentos e iluminação nas salas de aula no modelo DesignBuilder. para: (a) Salas de aula, (b) Gabinetes	82
Figura 32- Configuração dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação no modelo DesignBuilder para: (a) Salas de aula, (b) Gabinetes	83
Figura 33- Planta com localização dos sensores nos Gabinetes	88
Figura 34- Planta com localização dos sensores nas salas de aula	88
Figura 35- Sensor instalado sobre o projetor multimdia na sala A1.03	89
Figura 36- Sensor instalado junto à secretária no gabinete B1.10.	90
Figura 37- Classificação TAIL por compartimento	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Linha de Tempo das Políticas e Regulamentações chave da UE no combate ao desempenho energético [6].....	6
Tabela 2- Principais alterações da Diretiva 2024/1275 [6, 7]	7
Tabela 7- Principais objetivos da Onda de Renovação [9]	8
Tabela 3- Principais Building Logbooks atualmente operacionais na Europa [13].....	11
Tabela 4- Definição dos seis módulos do ALDREN Buildlog [17]	14
Tabela 5- Definição dos dois módulos do ALDREN RenoMap [17]	14
Tabela 6- Comparação entre Casos de estudo	23
Tabela 8- Características físicas e funcionais das salas de aula (A1.03, A1.05 e A1.07).....	35
Tabela 9- Características físicas e funcionais dos gabinetes (B1.10, B1.11, B1.13)	35
Tabela 10- Composição construtiva dos elementos da envolvente opaca e envidraçada (salas de aula e gabinetes)	36
Tabela 11- Comparação entre Frameworks segundo critérios de aplicabilidade.....	40
Tabela 12- Critérios que justificam a escolha do Framework ALDREN	41
Tabela 13- Valores de referência em kWh/(m ² ·ano) (ALDREN REF) e metas NZEB definidos para escritórios, por zona climática [35]	43
Tabela 14- Valores de referência em kWh/(m ² ·ano) (ALDREN REF) e metas NZEB definidos para hotéis, por zona climática [35].....	43
Tabela 15- Comparação das classes energéticas alcançadas num edifício piloto na escala EVC ALDREN e na escala EPC nacional obrigatório [33]	45
Tabela 16- Quadro de tarefas do protocolo ALDREN organizadas por fase e nível de obrigatoriedade [35]	50
Tabela 17- Representação visual do índice ALDREN-TAIL.....	51
Tabela 18- Fases do protocolo TAIL para medição da IEQ [37]	53
Tabela 19- Parâmetros térmicos a medir e/ou modelar [37]	54
Tabela 20- Limites de temperatura operativa com e sem arrefecimento mecânico [37]	54
Tabela 21- Parâmetro acústico a medir e/ou modelar [37]	56
Tabela 22- Critérios de classificação acústica [37]	56
Tabela 23- Parâmetros da Qualidade do Ar Interior a medir e/ou modelar [37].....	57
Tabela 24- Critérios de classificação do dióxido de carbono (CO ₂) [37].....	58
Tabela 25- Critérios de classificação da taxa de ventilação [37]	58
Tabela 26- Critérios de classificação da humidade relativa do ar (%) [37]	59
Tabela 27- Critérios de classificação da concentração de formaldeído [37]	60
Tabela 28- Critérios de classificação da concentração de benzeno [37]	61
Tabela 29- Critérios de classificação da concentração de partículas finas PM _{2.5} [37]	61
Tabela 30- Critérios de classificação da concentração de radão [37].....	62
Tabela 31- Critérios de classificação da concentração de bolores visíveis [37]	63
Tabela 32- Parâmetros de conforto luminoso a medir e/ou modelar [37]	63
Tabela 33- Critérios de classificação do fator de luz natural (DF) [37].....	64
Tabela 34- Critérios de classificação da iluminância (lux) [37]	64
Tabela 35- Estrutura detalhada dos módulos do ALDREN BuildLog [41]	68
Tabela 36- Estrutura dos módulos do ALDREN RenoMap [41]	72
Tabela 37- Sumário de Tarefas do Protocolo RenoMap [41].....	73
Tabela 38- Fator de energia primária (PEF) para eletricidade segundo EN ISO 52000-1 [34].....	84
Tabela 39- Média anual de graus-dia de aquecimento (HDD) para países da UE (1974–2017), $\theta=18^{\circ}\text{C}$ [34]	84
Tabela 40- Zonas climáticas ALDREN segundo HDD ($\theta=18^{\circ}\text{C}$) (adaptada de ALDREN D2.2) [34].....	85
Tabela 41- Escala de classes energéticas segundo o rácio EP/Ref [34].....	85

Tabela 42- Resultados médios por tipologia	94
Tabela 43- Comparação EP/REF antes e depois da renovação (por tipologia)	97

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ALDREN – Alliance for Deep Renovation in Buildings

AM – Additive Manufacturing

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BIM – Building Information Modelling

BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method

BRP – Building Renovation Passport

CAD – Computer-Aided Design

CEN – Comité Européen de Normalisation

CO₂ – Dióxido de Carbono

COP – Coeficiente de Performance

CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

dB(A) – Decibéis ponderados A (escala de ruído)

DBL – Digital Building Logbook

DF – Daylight Factor (Fator de Luz Natural)

EP – Energia Primária

EPBD – Energy Performance of Buildings Directive

EPC – Energy Performance Certificate

ERA – Elementary Renovation Action

EVC – European Voluntary Certificate

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

GEE – Gases com Efeito de Estufa

HDD – Heating Degree Days (Graus-dia de Aquecimento)

HQE – Haute Qualité Environnementale

IA – Inteligência Artificial

IEQ – Indoor Environmental Quality

IoT – Internet of Things

iSFP – Individueller Sanierungsfahrplan (Alemanha)

ISO – International Organization for Standardization

LCA – Life Cycle Assessment

LCC – Life Cycle Cost (Custo do Ciclo de Vida)

LED – Light Emitting Diode

Leq – Nível Equivalente Contínuo de Ruído

M1–M8 – Módulos do Framework ALDREN

NZEB – Nearly Zero Energy Building

OMS – Organização Mundial de Saúde

P2E – Passeport Efficacité Énergétique (França)

PEF – Primary Energy Factor (Fator de Energia Primária)

PM_{2.5} – Partículas finas com diâmetro inferior a 2.5 µm

RCT – Recuperador de Calor de Teto

REF – Valor de Referência (cenário energético base)

ROI – Return on Investment (Retorno do Investimento)

RSL – Reference Service Life

TAIL – Temperatura, Acústica, Iluminação e Qualidade do Ar

UE – União Europeia

U – Coeficiente de Transmitância Térmica

VOC – Compostos Orgânicos Voláteis

VRF – Variable Refrigerant Flow

WELL – WELL Building Standard

WHO – World Health Organization

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Os edifícios são atualmente o maior consumidor de energia a nível mundial e continuarão a representar uma fonte crescente de necessidade energética no futuro. Na União Europeia (UE), este setor é responsável por aproximadamente 40% do consumo total de energia e por 36% das emissões de CO₂, refletindo a ineficiência energética do parque edificado europeu [1].

Para enfrentar este desafio, ao longo dos últimos anos, a UE tem promovido diversas diretrizes e estratégias europeias, como o “Pacto Ecológico Europeu” e a iniciativa “Onda de Renovação” com o intuito de contrariar essa evolução tornando a renovação energética no setor da construção e a sua descarbonização temas prioritários da atualidade política europeia para alcançar metas climáticas e de sustentabilidade da UE definidas para 2050.

Contudo, para alcançar os objetivos estabelecidos pela Diretiva Europeia de Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) 2024/1275, é essencial aumentar a taxa de renovação anual do parque edificado, que atualmente se encontra num ritmo de renovação de cerca de 1,2%, para um mínimo de 3% [2]. Grande parte do parque edificado europeu tem mais de 50 anos, o que significa que muitos edifícios não cumprem os padrões atuais de eficiência energética e conforto térmico. Em particular, Portugal enfrenta desafios significativos neste contexto, sendo um dos países europeus mais afetados pela pobreza energética, com 13,1% das famílias portuguesas a declarar não terem condições financeiras para manter as suas habitações adequadamente aquecidas durante o inverno [3]. Essa realidade é em parte reflexo de um grande número de edifícios terem sido construídos antes da introdução de regulamentos de eficiência energética, o que resulta em desempenho térmico e energético insuficiente. Esta condição representa um risco com impactos diretos na saúde e bem-estar dos ocupantes.

Adicionalmente, prevê-se que entre 75% e 85% dos edifícios atualmente existentes permaneçam em utilização em 2050, o que reforça a urgência de implementar estratégias de renovação profundas e sustentadas [4]. Neste contexto, a modernização do setor depende da adoção de ferramentas digitais, como o *Building Information Modelling* (BIM) e os *Building Renovation Passports* (BRPs), as quais tem desempenhado um papel crucial na planificação, execução e monitorização das intervenções de reabilitação. Estas ferramentas não só permitem melhorar o desempenho energético e ambiental dos edifícios, como também contribuem para a implementação de princípios de economia circular, visando reduzir o desperdício de materiais, prolongar a vida útil dos edifícios e minimizar os impactos ambientais.

1.2. OBJETIVOS

Atendendo aos desafios identificados, a presente dissertação tem como objetivo avaliar a aplicabilidade dos BRPs na reabilitação energética de edifícios, com especial atenção no seu enquadramento metodológico, operacionalização e potencial de adoção no contexto português.

Embora os BRPs tenham vindo a ser promovidos no quadro da política energética europeia, a sua aplicação prática continua pouco explorada. Na abordagem aqui desenvolvida, parte-se da análise de diversas abordagens metodológicas para, posteriormente, se selecionar uma estrutura de referência a aplicar num caso de estudo real.

Deste modo, os objetivos específicos da dissertação são os seguintes:

- Reunir e sintetizar conhecimento técnico e regulamentar sobre BRPs;
- Analisar comparativamente os principais *Frameworks* existentes;
- Selecionar e aplicar um *Framework* metodológico adequado a um caso de estudo representativo;
- Avaliar os resultados obtidos com a aplicação do BRP;
- Formular recomendações para a sua adoção progressiva em Portugal.

1.3. ESTRUTURA

A dissertação organiza-se em 7 capítulos principais, complementados por anexos com elementos de apoio e resultados.

O Capítulo 1 apresenta o enquadramento, os objetivos e a estrutura do trabalho;

O Capítulo 2 revê a literatura revê a literatura e regulamentação sobre BRPs, analisando a sua evolução, composição, principais *Frameworks* e barreiras à aplicação.

No Capítulo 3, descreve-se o edifício de estudo, caracterizando os espaços analisados e os dados recolhidos.

O Capítulo 4 apresenta os fundamentos da metodologia selecionada, justificando a sua escolha com base numa análise comparativa entre diferentes *Frameworks*.

No Capítulo 5, aplica-se essa metodologia ao caso de estudo, com base em dados reais e simulações energéticas.

O Capítulo 6 apresenta os resultados obtidos com a aplicação, organizando-os conforme definido.

Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões, sintetizando os principais resultados obtidos com a aplicação da metodologia e sugestões para o futuro.

2

ESTADO DE ARTE

2.1. INTRODUÇÃO

O setor da construção desempenha um papel fundamental na sustentabilidade ambiental e na economia global. Nos últimos anos, com as crescentes preocupações com a digitalização, eficiência energética e descarbonização do parque edificado, o setor atravessa uma transformação significativa, que exigem abordagens inovadoras aliando avanços tecnológicos, políticas públicas e regulamentações específicas.

Neste contexto, a qualidade da renovação energética do parque edificado europeu tem assumido destaque. A UE tem se focado na modernização do setor com a implementação de medidas regulatórias como a EPBD, o Pacto Ecológico Europeu e a Onda de Renovação, que estabelecem metas ambiciosas para a renovação do parque edificado promovendo maior eficiência energética até 2050.

Paralelamente, a Indústria 4.0, ou quarta revolução industrial, impulsionou tecnologias inovadoras com impactos significativos. Essas inovações emergem como um fator-chave para a evolução, focada na criação de redes inteligentes capazes de monitorizar, otimizar e comandar processos industriais em tempo real, promovendo eficiência, flexibilidade e sustentabilidade no setor da construção. Tal transformação tem originando mudanças estruturais nos métodos construtivos, na gestão de projetos e na eficiência energética dos edifícios.

Conceitos como *Internet of Things* (IoT), Inteligência Artificial (IA), *Big Data*, *Digital Twins* e *Additive Manufacturing* (AM) desempenham um papel fundamental na digitalização dos processos industriais, tornando-os mais inteligentes, automatizados e sustentáveis.

Neste enquadramento, a transformação digital do setor da construção contribui não apenas para melhorar a eficiência e qualidade das edificações, mas também para reduzir o impacto ambiental. A integração de dados e a automação dos processos permitem minimizar desperdícios materiais, reduzir tempos de execução e otimizar operações, promovendo um modelo alinhado com os princípios da economia circular.

Ainda assim, o parque edificado europeu enfrenta desafios significativos, com cerca de 75% dos 210 milhões de edifícios da UE considerados energeticamente ineficientes [4]. Apesar dos avanços tecnológicos e regulatórios, as taxas de renovação permanecem muito aquém do necessário [4]. Esta realidade sublinha a importância da qualidade nas intervenções de renovação energética, já que proprietários e investidores continuam a enfrentar múltiplas barreiras. Além da dificuldade no acesso ao financiamento, uma das principais barreiras mencionadas por proprietários e investidores é a falta de conhecimento sobre como proceder, por onde começar, que medidas adotar e sequência implementá-las [4].

Neste sentido, ferramentas como os BRPs emergem como soluções inovadoras, proporcionando um roteiro personalizado para a renovação energética dos edifícios, garantindo uma abordagem estruturada,

faseada e economicamente viável. Além de orientar proprietários e investidores ao longo do processo de reabilitação, os BRPs facilitam as intervenções progressivas com base em dados concretos e objetivos de eficiência energética.

2.2. REGULAMENTAÇÃO E NORMAS EUROPEIAS

A União Europeia enfrenta um desafio crucial no cumprimento dos objetivos estabelecidos pelo Acordo de Paris, que visam reduzir as emissões líquidas de gases com efeito de estufa (GEE) em 55% até 2030, tendo como referência valores registados em 1990 [5]. Neste cenário, o setor da construção assume particular relevância, dado que os edifícios são responsáveis por cerca de 36% das emissões totais de GEE na UE, o que torna indispensável a implementação de estratégias eficazes de descarbonização [5].

Para responder a este desafio, a UE tem desenvolvido um conjunto de regulamentações e estratégias destinadas a acelerar a transição energética do parque edificado. O objetivo passa por assegurar que os edifícios existentes e futuros cumpram padrões mais exigentes de eficiência energética e sustentabilidade. Iniciativas como a EPBD, o Pacto Ecológico Europeu e a Onda de Renovação estabelecem diretrizes claras para orientar esta transição, promovendo uma abordagem estruturada e incentivando a adoção de soluções inovadoras.

A Tabela 1 adaptado de [6] apresenta, de forma cronológica, os principais marcos legislativos e políticas que têm impulsionado esta transformação.

Tabela 1- Linha de Tempo das Políticas e Regulamentações chave da UE no combate ao desempenho energético [6]

Ano	Política/Regulamentação	Descrição
2002	Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (2002/91/EC)	Primeira EPBD, com requisitos para certificação energética e inspeção de sistemas de climatização.
2010	Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (2010/31/EU)	Revisão que introduz a exigência de edifícios <i>Near Zero Energy Buildings</i> (NZEB) para novas construções a partir de 2021.
2012	Diretiva de Eficiência Energética (2012/27/EU)	Define metas para promover a eficiência energética, incluindo a redução de 20% no consumo de energia até 2020.
2018	Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios (2018/844/EU)	Introduz requisitos para a renovação e estratégias de longo prazo para o parque imobiliário.
2019	Pacto Ecológico Europeu	Estratégia para transformar a UE numa economia sustentável e neutra em carbono até 2050.
2020	Onda de Renovação	Visa duplicar a taxa de renovação até 2030, melhorar a eficiência energética e reduzir emissões.
2021	Lei Europeia do Clima (2021/1119)	Torna vinculativas as metas de neutralidade climática até 2050 e redução de 55% das emissões de GEE até 2030 (comparação com 1990).
2021	Pacote "Objetivo 55"	Conjunto de propostas para alinhar políticas com as metas de descarbonização.
2023	Relatório sobre o Clima	Indica uma redução de 8,3% nas emissões de GEE em 2023, face a 2022.
2024	Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios Revista (2024/1275)	Aprovação a nova versão da EPBD, com requisitos reforçados para a eficiência, BRPs e certificação.

2.2.1. DIRETIVA EUROPEIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS (EPBD)

A EPBD é uma das principais regulamentações da União Europeia voltada para a eficiência energética e descarbonização do setor da construção. Esta diretiva estabelece requisitos para a construção, renovação e certificação energética de edifícios, assegurando que os projetos, novos ou reabilitados, cumpram padrões rigorosos de desempenho energético. A EPBD é periodicamente revista para acompanhar os avanços tecnológicos e alinhar metas climáticas da UE.

A sua primeira versão, aprovada em 2002 (Diretiva 2002/91/EC), introduziu exigências básicas de desempenho energético dos edifícios e tornou obrigatória a emissão dos Certificados de Desempenho Energético (EPCs) como instrumento informativo para proprietários e inquilinos [6].

A revisão de 2010 (Diretiva 2010/31/EU), reforçou essas exigências, determinando que os Estados-Membros desenvolvessem planos nacionais para aumentar o número de edifícios nZEB, incluindo a transformação de edifícios renovados para esse padrão [5].

Com a alteração de 2018 (Diretiva 2018/844), foi introduzida a Estratégias de Renovação a Longo Prazo (LTRS), com vista à modernização profunda do parque edificado europeu. Os Estados-Membros passaram a ser obrigados a definir roteiros estratégicos com metas e indicadores progressivos para 2030, 2040 e 2050, embora a definição detalhada desses indicadores tenha sido deixada a critério de cada país, permitindo flexibilidade na implementação[5].

A mais recente revisão, aprovada em 2024 (Diretiva 2024/1275), reflete o reforço do compromisso da UE com a neutralidade carbónica até 2050. As alterações mais significativas estão sintetizadas na Tabela 2, [6, 7].

Tabela 2- Principais alterações da Diretiva 2024/1275 [6, 7]

Área de Impacto EPC	Alterações Introduzidas	Objetivo
Edifícios de Zero Emissões (ZEB)	Todos os novos edifícios públicos devem ser ZEB a partir de 2028, privados a partir de 2030.	Eliminar gradualmente combustíveis fósseis aumentar a eficiência energética.
Renovação de Edifícios Existentes	Redução do consumo de energia primária em edifícios residenciais em 16% até 2030 e entre 20% e 22% até 2035. Nos edifícios não residenciais, os 16% menos eficientes devem ser renovados até 2030 e 26% até 2033.	Melhorar a eficiência energética do parque edificado existente e reduzir as emissões.
Eliminação de Combustíveis Fósseis	Proibição de subsídios para instalação de caldeiras a combustíveis fósseis a partir de 2025.	Transição para soluções de aquecimento mais sustentáveis e eletrificadas.
Expansão da Energia Solar	Novos edifícios e renovações relevantes devem integrar soluções solares.	Aumentar a adoção de energias renováveis no setor da construção.
BRPs	Implementação de um quadro comum para os BRPs em toda a UE.	Fornecer um roteiro estruturado e personalizado para a renovação faseada.
Planos Nacionais de Renovação de Edifícios	Estados-Membros devem apresentar planos nacionais de renovação até dezembro de 2025, alinhados com os Planos Nacionais de Energia e Clima (NECPs).	Criar estratégias nacionais para descarbonizar e superar barreiras operacionais.
Medidas contra a Pobreza Energética	Criação de mecanismos financeiros para cidadãos mais vulneráveis.	Garantir equidade na renovação energética e combater desigualdades sociais.

2.2.2. PACTO ECOLÓGICO EUROPEU

Lançado em 2019, o Pacto Ecológico Europeu é uma iniciativa estratégica UE que estabelece um plano abrangente para impulsionar o crescimento sustentável e a transição para uma economia verde com o objetivo de colocar a UE no caminho da neutralidade climática até 2050.

A abordagem reconhece a necessidade de integração das políticas climáticas em todas as áreas de governação, exigindo que todos os setores da economia, incluindo energia, transportes, indústria, agricultura e finanças, adotem medidas concretas para a redução de emissões e o uso eficiente dos recursos naturais [8].

No setor da construção, o Pacto destaca a renovação de edifícios como uma estratégia essencial para melhorar a eficiência energética e reduzir emissões. Nesse sentido, apoia o reforço da EPBD e viabiliza a implementação da Onda de Renovação, estratégia que visa duplicar a taxa de reabilitação até 2030, consolidando o papel central do parque edificado na descarbonização da economia europeia [8].

2.2.3. ONDA DE RENOVAÇÃO

A Onda de Renovação constitui uma iniciativa ambiciosa e multifacetada que visa transformar o setor da construção na UE, não apenas através do aumento da eficiência energética dos edifícios, mas também mediante uma abordagem integrada com objetivos sociais e económicos, promovendo inclusão e sustentabilidade no setor [9].

Lançada em 2020 pela Comissão Europeia como parte integrante do Pacto Ecológico Europeu, esta estratégia assenta em fundamentos essenciais que abrangem a redução das emissões, a criação de emprego qualificado, o combate à pobreza energética, a revisão das normas de desempenho energético e a digitalização dos processos de renovação.

A Tabela 3 sintetiza os principais objetivos da Onda de Renovação e a sua importância no contexto da transição energética e sustentável da UE [9].

Tabela 3- Principais objetivos da Onda de Renovação [9]

Objetivo	Descrição
Neutralidade carbónica até 2050	Tornar os edifícios altamente eficientes e livres de emissões, contribuindo para os objetivos da UE.
Revisão da EPBD	Estabelecer padrões mais rigorosos para eficiência energética e ampliar o conceito de renovação profunda.
Combate à pobreza energética	Priorizar a reabilitação de habitações para famílias de baixos rendimentos, assegurando conforto térmico e energia a custos acessíveis.
Crescimento económico e criação de emprego	Estimular o setor da construção sustentável e gerar até 160 000 empregos qualificados.
Digitalização e industrialização da renovação	Incentivar o uso de tecnologias digitais, como scanners 3D e pré-fabricação automatizada.

2.3. BUILDING RENOVATION PASSPORTS

2.3.1. DEFINIÇÃO E ESTRUTURA

Os BRPs são documentos digitais ou físicos personalizados que fornecem instrumentos de gestão e planeamento destinados a auxiliar proprietários, gestores imobiliários e investidores na tomada de decisões informadas sobre a renovação dos edifícios [10]. A falta de conhecimento sobre quais medidas implementar, qual a melhor ordem de intervenção e como financiar o processo são algumas das barreiras mais comuns enfrentadas pelos proprietários. Os BRPs procuram superar essas dificuldades, oferecendo um plano de ação estruturado que evita intervenções isoladas e garante um ciclo de renovação contínuo onde cada intervenção contribui para um objetivo maior de descarbonização e resiliência energética [10].

Apesar de a sua introdução ter sido objeto de debate na Europa há décadas, ainda não existe uma definição padronizada para os BRPs, sendo utilizados diferentes termos para descrever conceitos semelhantes [11]. Estes podem assumir diferentes formatos e conteúdos conforme o país, são geralmente compostos pelas seguintes etapas:

1. Avaliação do estado atual do edifício e do seu desempenho energético;
2. Definição de metas alinhadas com objetivos climáticos e de eficiência;
3. Elaboração de um plano de intervenção faseado e coerente;
4. Mecanismos de monitorização e atualização ao longo do tempo.

Os BRPs distinguem-se por incluir não só o plano técnico de reabilitação, mas também ferramentas digitais como os *Digital Building Logbooks* (DBLs) e os *Renovation Roadmaps*, que garantem a gestão contínua da informação do edifício e a adaptação das estratégias de renovação ao longo do tempo. A Figura 1, adaptada de [4], representa de forma esquemática este processo funcional.

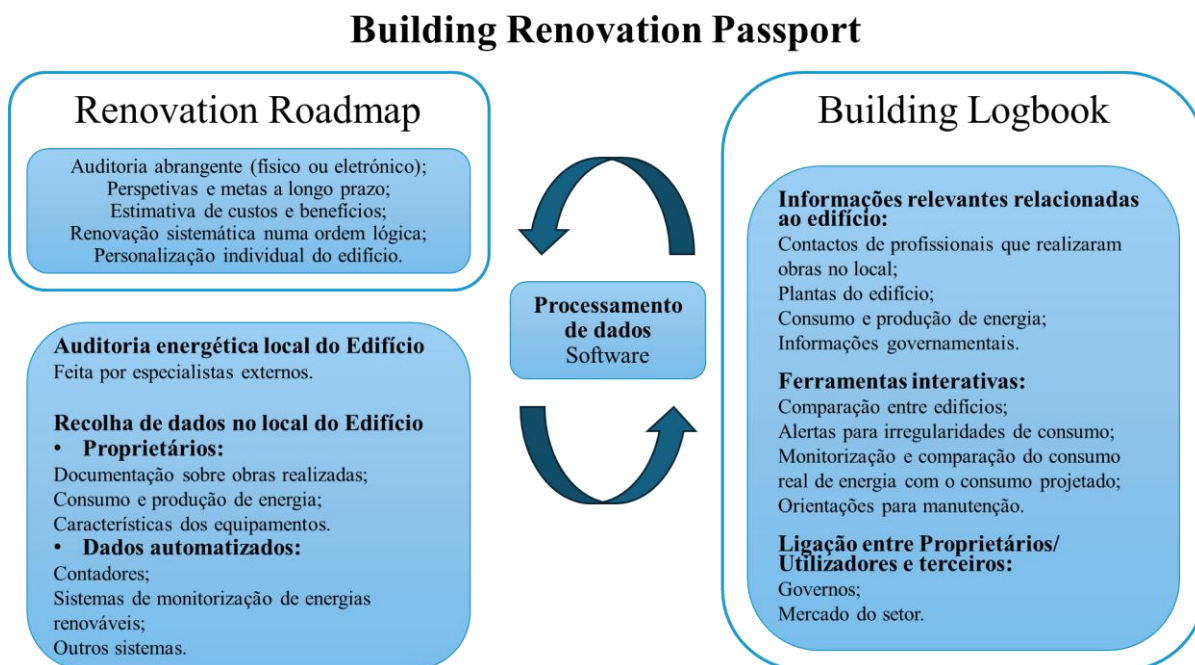


Figura 1- Diagrama funcional de um BRP [4]

Em alguns países da UE, os BRPs assumem a forma de certificados simplificados com informações energéticas essenciais, em outras abordagens, funcionam como arquivos digitais, armazenando planos de renovação, cálculos estruturais, registros de manutenção e dados de consumo energético [11]. Esta diversidade de aplicações reflete a necessidade da sua adaptação às políticas energéticas e às realidades nacionais de cada país.

Distinguem-se, assim, pela sua abordagem abrangente à renovação do edificado, contemplando não só a eficiência energética, mas também fatores determinantes da qualidade ambiental interior. Para tal, incluem um conjunto de Indicadores de Desempenho (KPIs) que permitem uma avaliação mais objetiva e transparente do impacto das renovações[11]. Entre os exemplos mais comuns destacam-se:

- Indicadores Energéticos, como o consumo de energia primária (kWh/m². ano) ou a percentagem de energia proveniente de fontes renováveis;
- Indicadores de Conforto e Qualidade do Ambiente Interior, incluindo parâmetros como temperatura interior, concentração de CO₂ ou isolamento acústico;
- Indicadores Financeiros e de Valorização, tais como retorno do investimento (ROI), valorização do imóvel (%) ou custo do ciclo de vida (LCC);
- Indicadores de Sustentabilidade e Economia Circular, como emissões de CO₂ evitadas ou taxa de reutilização de materiais.

Além disso, a eficácia dos BRPs depende da monitorização contínua dos KPIs ao longo do ciclo de vida do edifício. Tecnologias digitais, como o BIM e os DBLs permitem a atualização dinâmica dos dados do BRP, ajustando estratégias conforme mudanças tecnológicas, regulatórias ou de uso do edifício.

O BIM emerge como um pilar tecnológico essencial na modernização da gestão de edifícios, especialmente no contexto dos BRPs. Esta metodologia permite a criação, armazenamento e gestão de dados multidimensionais ao longo do ciclo de vida do edifício, integrando informações técnicas, económicas e ambientais fundamentais para a tomada de decisões na reabilitação sustentável [12].

Uma das suas principais vantagens é a sua capacidade de gerir dados estruturais e não estruturais abrangendo não apenas a geometria tridimensional do edifício, mas também atributos como os materiais utilizados, o desempenho energético e o histórico de manutenção. Essa integração possibilita uma avaliação detalhada das intervenções de renovação, garantindo que cada medida implementada esteja alinhada com os objetivos de eficiência energética e sustentabilidade [12].

Além disso, o BIM promove a interoperabilidade entre diferentes softwares e sistemas de gestão de BRPs através do formato *Industry Foundation Classes* (IFC), permitindo a troca de dados entre plataformas como o Revit e sistemas de simulação de custos, com os modelos de Custo do Ciclo de Vida (LCC). Esta capacidade contribui para otimizar a seleção de materiais e técnicas, tornando o processo de decisão mais preciso e fundamentado.

O conceito dos DBL surge como uma iniciativa estratégica integrada à política europeia “Onda de Renovação”, consolidando-se como um dos elementos centrais dos BRPs. Enquanto o BRP estabelece um plano estruturado para renovação de edifícios, o DBL complementa-o com dados dinâmicos, armazenando e gerindo informações essenciais sobre os edifícios, tais como:

- Mecanismos de financiamento sustentável, incluindo financiamentos verdes, incentivos fiscais;
- Registos de consumo energético, como detalhes de faturas e medições de sensores inteligentes;
- Histórico de manutenção de equipamentos, facilitando intervenções planeadas e otimizadas;
- Obrigações legais associadas à propriedade, garantindo conformidade regulatória.

Essas informações, disponibilizadas em tempo real, são acessíveis aos proprietários e, sob condições específicas, a utilizadores autorizados, como gestores de infraestrutura ou seguradoras [2, 13].

Embora ainda existam desafios metodológicos para a implementação dos DBLs, como a definição de indicadores prioritários, a interoperabilidade de bases de dados heterogêneas e a criação de mecanismos de governança eficazes, o seu objetivo central é claro: Estabelecer uma base de dados unificada, transparente e adaptável, capaz de impulsionar a transição verde no setor imobiliário e cumprir metas climáticas.

Com o propósito de sintetizar alguns dos principais DBLs atualmente operacionais, apresenta-se na Tabela 4 uma adaptação dos modelos analisados no artigo [13].

Tabela 4- Principais Building Logbooks atualmente operacionais na Europa [13]

País/Região	Iniciativa	Agência Responsável
Flandres, Bélgica	Woningpas	Flemish Energy Agency, Governo de Flandres
Dinamarca	Bedrebolig Fator de energia primária	Danish Energy Agency
Países Baixos	Madaster	Fundação Madaster
Alemanha	Individueller Sanierungsfahrplan (iSFP)	Governo da Alemanha
França	Passeport Efficacité Énergétique (P2E)	ADEME, The Shift Project
Itália	Fascicolo del Fabbricato	Governo Regional
Portugal	Livro de Obra	Governo de Portugal
Espanha	Libro del Edificio	Governo Regional
Suíça	Federal Register	Escritório Federal de Estatística (FSO)

Em diversos países da Europa, existem iniciativas que variam entre plataformas digitais avançadas e registos tradicionais. Algumas, como Woningpas (Flanders), Madaster (Países Baixos), iSFP (Alemanha) e P2E (França), destacam-se com DBLs, centralizando dados e facilitando a tomada de decisão para a renovação energética. Outras, como o Livro de Obra (Portugal) e o *Libro del Edificio* (Espanha), têm um caráter mais documental e burocrático, sem um foco direto na eficiência energética.

A constante atualização dos DBLs, aliada à evolução tecnológica e ao alinhamento com regulamentações emergentes, reforça sua relevância como instrumento indispensável para a gestão sustentável do património construído [13]. A sua integração fortalece a transparência e a eficiência na tomada de decisões para reabilitação energética, promovendo um impacto positivo na transição para uma economia de baixo carbono [13].

Simultaneamente, a estrutura dos BRPs é reforçada pela inclusão de *Renovation Roadmaps*, um elemento estratégico essencial para a renovação faseada e eficiente dos edifícios. Estes roteiros personalizados permitem que os proprietários planeiem intervenções de forma estruturada, garantindo que cada passo da renovação contribua para a melhoria do desempenho energético e evite efeitos *lock-in*, nos quais decisões isoladas podem comprometer melhorias futuras [2].

Os *Renovation Roadmaps* são particularmente relevantes para edifícios que exigem uma abordagem progressiva, seja por limitações financeiras, técnicas ou operacionais. A sua principal funcionalidade é fornecer um plano detalhado de intervenção, identificando as medidas mais eficazes em diferentes fases, de acordo com:

- O estado atual do edifício e a sua classificação energética;
- Os objetivos de longo prazo, alinhados com metas de descarbonização e eficiência energética;
- A viabilidade técnica e económica de cada medida, permitindo um planeamento financeiramente sustentável [14];
- A integração de soluções digitais, como BIM e DBLs, que garantem a atualização contínua dos dados e melhoram a tomada de decisão baseada em evidências [15].

2.3.2. EVOLUÇÃO

A evolução dos BRPs reflete um percurso de adaptação e inovação marcada pelas necessidades de modernização do parque imobiliário e pelos desafios de eficiência energética. A sua origem remonta à implementação da EPBD em 2002, que estabeleceu os primeiros parâmetros para a avaliação energética dos edifícios na UE. No entanto, essa abordagem inicial focava-se apenas na certificação energética, sem fornecer diretrizes concretas para melhorias progressivas ao longo do tempo.

Com o passar dos anos, especialmente a partir de 2010, emergiu a necessidade de um modelo mais dinâmico, que não apenas identificasse o desempenho energético do edifício, mas também orientasse intervenções faseadas para a sua melhoria. Esse cenário impulsionou a criação dos primeiros projetos-piloto de BRPs em diversos países, como França, Bélgica e Alemanha, onde iniciativas como o *Passport Efficacité Énergétique (P2E)*, o *Woningpas* e o *Individueller Sanierungsfahrplan (iSFP)* testaram diferentes formatos e metodologias, servindo de base para a evolução dos BRPs.

A consolidação do conceito ganhou força com a revisão da EPBD em 2018 e a implementação da estratégia Onda de Renovação em 2020. Essa atualização impulsionou a transição dos EPCs de meros documentos de avaliação para instrumentos mais completos e interativos, integrando recomendações personalizadas de renovação e promovendo a padronização dos BRPs na Europa [11]. Além disso, destacou a importância da digitalização, promovendo a adoção de tecnologias como o BIM e sistemas de monitorização contínua, permitindo que os BRPs fornecessem orientações baseadas em dados e adaptáveis à evolução tecnológica e regulatória.

Atualmente, os BRPs têm-se destacado no mercado europeu como uma ferramenta estratégica em evolução contínua. A sua trajetória demonstra uma transformação que vai além do simples monitoramento do desempenho energético, passando para uma abordagem integrada e estratégica que combina eficiência energética, economia circular e digitalização para acelerar a transição para um parque edificado descarbonizado.

A evolução dos BRPs pode ser dividida em três fases principais:

- Fase Inicial (2002-2010): Foco em certificação estática (EPCs) e introdução do conceito EPBD;
- Fase Projetos-Piloto (2010-2018): Testes de modelos na Europa;
- Fase de Consolidação (2018-Presente): Padronização, ALDREN e integração de tecnologias digitais.

Essa transformação pode ser visualmente representada na Figura 2 através da linha do tempo, que destaca as principais fases da sua evolução.

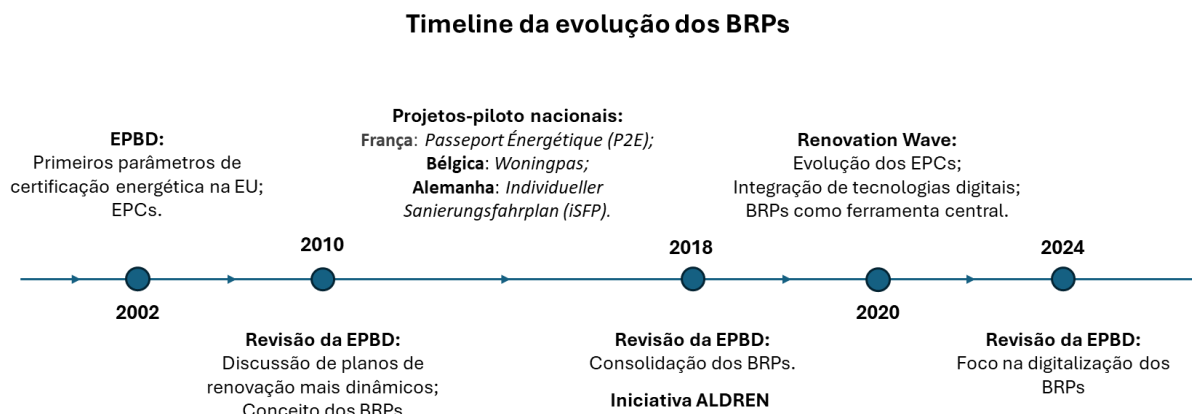


Figura 2- Linha de tempo da evolução dos BRPs

2.3.3. PRINCIPAIS FRAMEWORKS NA UNIÃO EUROPEIA

A necessidade de harmonização dos BRPs dentro do contexto europeu levou ao desenvolvimento de abordagens diferenciadas, desde projetos financiados pela União Europeia, como o ALDREN, até programas nacionais estruturados como o Woningpas (Bélgica), Passeport Efficacité Énergétique (França) e o Individueller Sanierungsfahrplan (Alemanha).

Os Frameworks abordados nos subcapítulos seguintes representam as principais iniciativas em curso na Europa, destacando as metodologias utilizadas, os benefícios proporcionados e as lições aprendidas na implementação dos BRPs. O conhecimento gerado por estas experiências é essencial para definir um modelo otimizado de um BRP, contribuindo para o sucesso da transição energética do setor da construção.

2.3.3.1. ALDREN (UE)

O projeto ALDREN (*Alliance for Deep RENovation*) foi desenvolvido no âmbito do programa *Horizon 2020* da União Europeia, com o objetivo de superar barreiras técnicas, financeiras e regulatórias que impedem a renovação profunda de edifícios existentes. Lançado em 2017, o ALDREN surgiu como resposta à necessidade de combinar métodos de avaliação energética e promover intervenções estruturais no parque edificado europeu, em específico de edifícios não residenciais, que representam 25% da área construída da UE mas são frequentemente negligenciados em estratégias de eficiência energética.[16] O consórcio, liderado pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) da França, reuniu oito instituições de sete países, incluindo o *Politecnico di Milano* e a *Danish Technical University*, para criar um método integrado de avaliação energética aplicável em toda a UE [17].

As soluções desenvolvidas no ALDREN estruturam-se em três eixos principais:

- Integração de Eficiência Energética e Qualidade Ambiental interior (IEQ): Procura vincular intervenções de baixo consumo energético a ambientes interiores saudáveis e confortáveis, reconhecendo que a saúde dos ocupantes é tão crítica quanto a redução de emissões [17];
- Valorização Económica e Financeira dos Edifícios Renovados: Propõe mecanismos para atrair investidores privados [17];
- Harmonização Transnacional com Padrões CEN/ISO: padroniza a avaliação energética através do *European Voluntary Certification Scheme* (EVCS), baseado em medições, métodos de cálculo alinhados às normas e formatos digitais compatíveis entre plataformas, facilitando a comparação entre países [17].

O ALDREN BRP constitui o componente principal do projeto, integrando módulos interligados, cada um dedicado a um aspeto específico. Está organizado em duas ferramentas complementares:

O *Buildlog*, funciona como um repositório digital que documenta o estado atual do edifício e o seu histórico de informações. A Tabela 5, adaptada de [17], detalha os seis módulos, e os seus objetivos gerais, destacando como cada componente contribui para a criação de um roteiro de renovação eficaz e adaptável.

Tabela 5- Definição dos seis módulos do ALDREN *Buildlog* [17]

Módulo	Descrição Geral
M1. Building Picture	Caracterização geral do edifício
M2. Energy rating and target	Avaliação energética e metas de desempenho
M3. Energy verification	Monitorização do desempenho energético real
M4. Comfort and well-being	Avaliação do conforto interior e qualidade ambiental (IEQ)
M5. Cost value and risk	Avaliação financeira e económica do edifício
M6. Documentation and BIM	Gestão documental e integração com modelos digitais (BIM)

O ALDREN *RenoMap*, sendo um plano estratégico que define ações de renovação faseadas, enquanto o *BuildLog* documenta o estado atual do edifício, o *RenoMap* traça um caminho claro para transformá-lo em um NZEB, evitando efeitos de *lock-in* (intervenções isoladas que limitam futuras melhorias). A Tabela 6, adaptada de [17], detalha os dois módulos e os seus respetivos objetivos.

Tabela 6- Definição dos dois módulos do ALDREN *RenoMap* [17]

Módulo	Descrição Geral
M7. Elementary Renovation Actions (ERAs)	Identificação das ações elementares específicas para a renovação energética faseada.
M8. NZEB Roadmap	Plano estruturado e faseado das intervenções até atingir o nível NZEB.

A primeira aplicação prática ocorreu num edifício de escritórios do *Politecnico di Milano (Lecco Campus)*. O edifício serviu como laboratório experimental para validar a metodologia ALDREN, demonstrando a sua viabilidade para a renovação profunda de edifícios não residenciais [17].

2.3.3.2. FLANDERS (BE): Woningpas

Desenvolvido na região de Flandres, Bélgica, o *Woningpas* é uma iniciativa desenvolvida pela Flemish Energy Agency (VEA) em parceria com entidades governamentais, como a Agência de Resíduos (OVAM) e o Departamento de Ambiente. Com o objetivo principal de digitalizar informações e orientar a renovação energética de habitações unifamiliares, funciona como uma plataforma centralizada que integra dados como consumo energético, histórico de obras, licenças de construção, subsídios e medições técnicas, indo além dos EPCs tradicionais [11]. A sua versão inicial ("*light*"), lançada em 2018, focou na digitalização estática de informações, mas a longo prazo evoluiu para um sistema dinâmico aplicável também a edifícios não residenciais [18].

A ferramenta destaca-se por oferecer um repositório centralizado que oferece um histórico completo do imóvel. Nele são armazenados dados essenciais, como os certificados de desempenho energético aprimorados (EPC+), detalhes das obras realizadas, informações sobre o solo e o consumo energético, o que permite o acesso fácil a documentos obrigatórios para a sua venda ou aluguer, aumentando a transparência e a confiança no mercado imobiliário.

Além disso, o *Woningpas* fornece uma orientação personalizada para a renovação por meio de um roteiro de renovação “*step-by-step*”, alinhado com a meta regional de eficiência energética E60 até 2050. Essa funcionalidade não apenas orienta os proprietários sobre quais medidas adotar, mas também oferece estimativas detalhadas de custos, projeções de economia de energia e um guia dos passos administrativos necessários para subsidiar os projetos de reabilitação [11].

A interface de fácil compreensão, enriquecida com gráficos, esquemas, cores e ícones facilita a identificação dos elementos mais relevantes mesmo para um usuário não especializado. Essa abordagem visual torna a interpretação de dados complexos mais acessível, permitindo que proprietários, arquitetos e inquilinos compreendam e compartilhem informações de forma segura e eficiente [11].

O *Woningpas* apoia-se na plataforma MAGDA, um sistema de interoperabilidade que conecta automaticamente dados entre entidades governamentais, garantindo atualizações em tempo real de licenças, certificados e inspeções. Além disso, a sua arquitetura modular, desenvolvida em Liferay DXP, permite a incorporação de novos temas por meio de módulos (*portlets*), mantendo a usabilidade e adaptando-se a futuras necessidades [18].

A Figura 3 ilustra o processo estruturado do *Framework*, desde o cadastro inicial e auditoria técnica até a geração automatizada do roteiro de renovação e monitoramento contínuo.

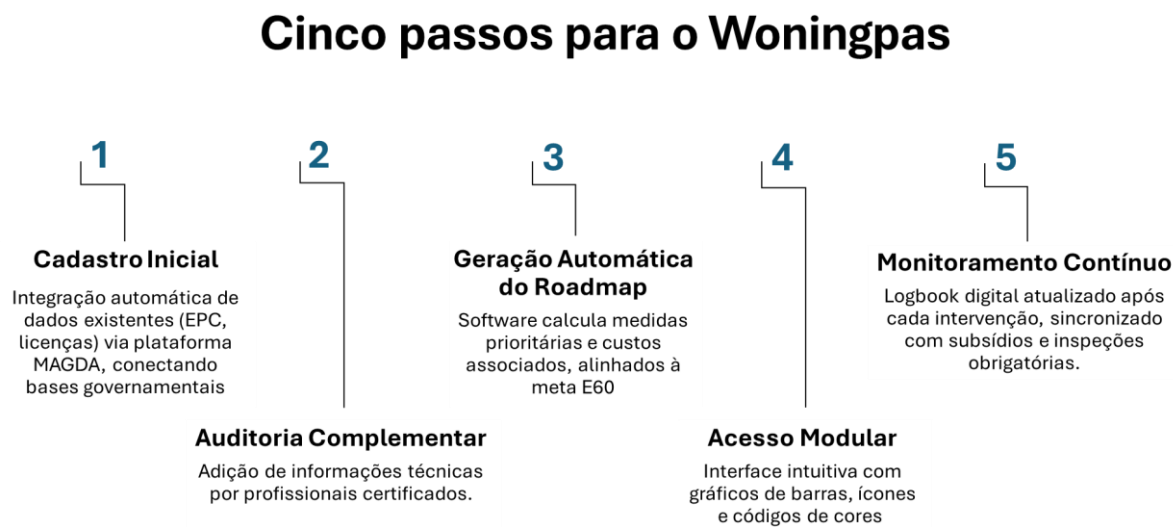


Figura 3- Processo Estruturado do *Framework* Woningpas

Em suma, o *Woningpas* combina gestão centralizada de dados, orientação personalizada para renovação, um design intuitivo e tecnologicamente integrado, contribuindo significativamente para a modernização do parque edificado flamengo e para o cumprimento das metas de sustentabilidade na região.

2.3.3.3. FRANCE: Passeport Efficacité Energétique (P2E)

Desenvolvido pelo The Shift Project, um *think tank* francês dedicado à economia sustentável, em colaboração com múltiplos stakeholders (governo, profissionais da construção e associações técnicas), o *Passeport Efficacité Énergétique* (P2E) é uma iniciativa central do Plano de Ação para Eficiência Energética da França. Alinhado à Lei de Transição Energética para o Crescimento Verde (2015), o P2E visa transformar todo o parque imobiliário francês em padrões de Baixo Consumo de Energia até 2050, com metas intermediárias como a renovação de todos os edifícios classificados como F ou G (segundo o Certificado de Desempenho Energético) até 2025 [11].

O P2E funciona como uma plataforma digital de código aberto que centraliza dados essenciais para a renovação energética, como certificados, histórico de obras, manutenções e subsídios, criando um repositório unificado para proprietários e profissionais. Diferente de outras iniciativas, o modelo francês adota uma abordagem única: padroniza medidas técnicas com base no estado tecnológico atual do edifício, estabelecendo *benchmarks* setoriais que servem como referência nacional [11].

O processo inicia-se com uma auditoria energética detalhada, realizada por profissionais certificados, que define um cenário de renovação alinhado às necessidades do proprietário. Os resultados são apresentados em relatórios com layouts gráficos simplificados, como gráficos de barras e códigos de cores (ex: vermelho para alto consumo, verde para eficiência), tornando as etapas do plano acessíveis mesmo a quem não possui conhecimento técnico [11].

Para viabilizar financeiramente as renovações, a plataforma simplifica o acesso a subsídios governamentais, com links diretos para solicitação de financiamento [19].

Além disso, o P2E integra-se ao *Carnet Numérique de Suivi et d'Entretien du Logement*, um caderno digital obrigatório para novos edifícios desde 2017, funcionando como uma extensão especializada para gestão de eficiência, permitindo o armazenamento online de dados de manutenção, substituições de equipamentos e consumo energético [11]. A Figura 4 apresenta o processo do *Framework* P2E, estruturado em quatro etapas principais.

Quatro passos para o P2E

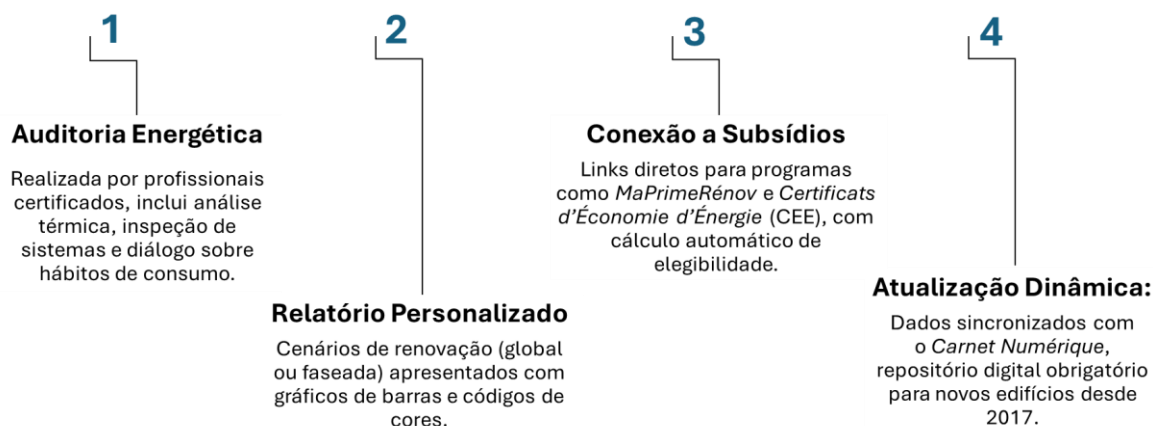


Figura 4- Processo Estruturado do *Framework* P2E

Dessa forma, o P2E não apenas orienta tecnicamente, mas também remove barreiras práticas para a realização de obras sustentáveis.

2.3.3.4. GERMANY: Individueller Sanierungsfahrplan (iSFP)

Na Alemanha, ao longo dos últimos anos, foram tomadas várias iniciativas, tanto a nível local como nacional, a fim de melhorar a compreensão da qualidade da habitação.

O *Individualer Sanierungsfahrplan* (iSFP) é uma ferramenta desenvolvida pelo governo alemão em parceria com institutos de pesquisa como *Institute for the Energy and Environmental Protection* (Ifeu) e a Agência Alemã de Energia (Dena), com o objetivo de orientar proprietários na realização de renovações energéticas profundas para um horizonte de 15 a 20 anos [4].

Integrado à Estratégia Federal de Eficiência para Edifícios, o iSFP está em conformidade com as metas nacionais de redução de emissões de CO₂ no setor da construção. Destaca-se por padronizar os processos de renovação, estabelecendo *benchmarks* que facilitam a comparação entre edifícios e funcionam como referências para o mercado. Segundo informações divulgadas pela Agência Alemã de Energia (Dena), a aplicação do iSFP tem sido decisivo para eficiência energética do parque edificado alemão, demonstrando o seu potencial como modelo a ser adotado por outros países que procuram acelerar a transição para uma economia de baixo carbono.

O iSFP inicia-se com uma auditoria energética detalhada, realizada por consultores certificados que, simultaneamente, dialogam com os proprietários para entender as suas prioridades e necessidades específicas. Baseando-se no “princípio do melhor possível” (*bestmöglich Prinzip*), o plano é desenvolvido de forma a adaptar as intervenções técnicas às condições financeiras e estruturais do imóvel. Após a coleta de dados, são elaborados cenários de renovação com diferentes combinações de medidas, considerando sequências ideais de intervenção e análises financeiras. Essa fase acaba com uma seleção colaborativa onde os *trade-offs* são discutidos com o proprietário e o plano é ajustado conforme as condições reais.

Durante o processo, um relatório técnico impresso desempenha um papel essencial, reunindo informações detalhadas como cronogramas ilustrados, especificações dos materiais e contatos de fornecedores certificados. Posteriormente, as medidas de renovação são implementadas, frequentemente com o apoio de subsídios do banco público KfW. Finalmente, o plano de renovação passa por revisões periódicas, permitindo que sejam efetuados ajustes e atualizações de acordo com os avanços tecnológicos e as mudanças nos incentivos governamentais [4, 20].

O resultado é um roteiro personalizado, dividido em etapas de curto e longo prazo, que inclui custos estimados e subsídios disponíveis. Os proprietários podem usufruir de financiamento subsidiado pelo KfW, que oferece condições vantajosas para projetos que seguem o iSFP.

Com o propósito de estruturar todo este processo elaborou-se a Figura 5.

Sete passos para o iSFP

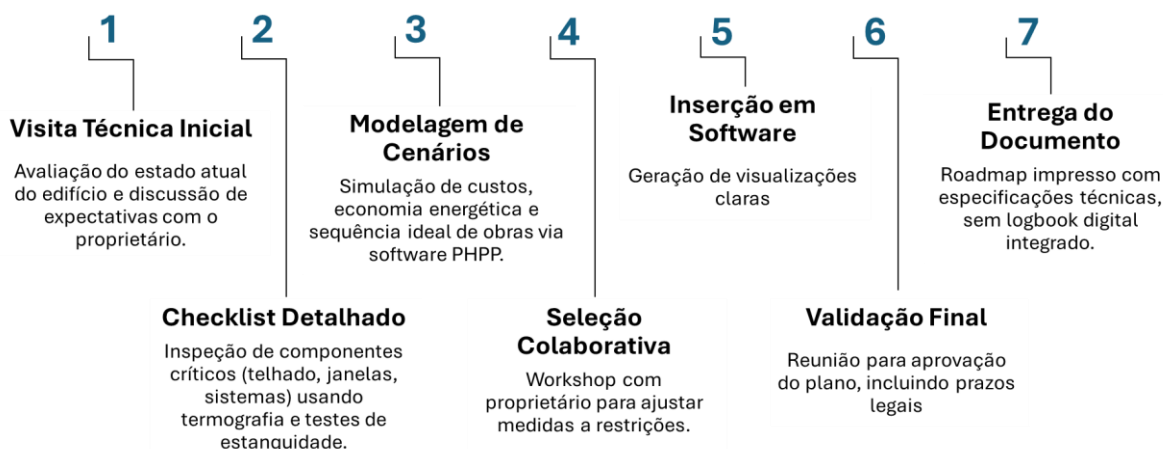


Figura 5- Processo Estruturado do *Framework* iSFP

O custo inicial da auditoria (parcialmente subsidiado) e a complexidade do processo são reconhecidos como barreiras, motivando a criação de uma plataforma digital integrada para simplificar a adesão.

Ao combinar avaliação técnica rigorosa, análise econômica detalhada e um plano de ação faseado, o iSFP não apenas simplifica a tomada de decisão para os proprietários, mas também reforça a implementação de políticas públicas que incentivem a renovação energética.

A Figura 6, adaptada de [21], apresenta um exemplo do documento de saída do iSFP, onde se sintetizam as fases de intervenção, os custos associados e os ganhos em desempenho energético.

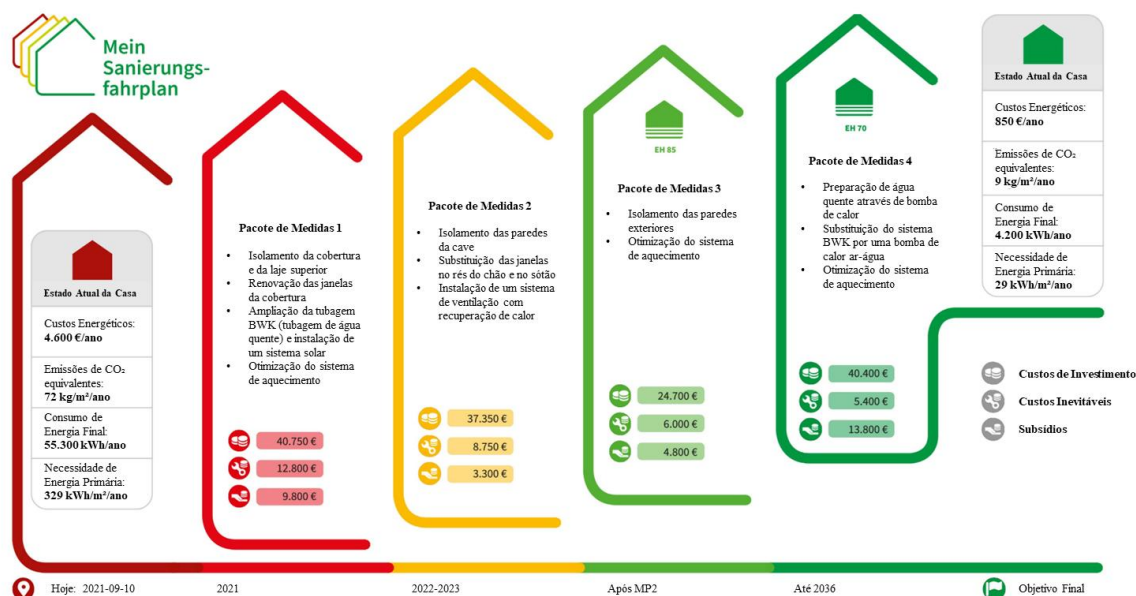


Figura 6- Exemplo de documento de saída do iSFP [21]

Dessa forma, o *Framework* desempenha um papel crucial na transformação do setor da construção na Alemanha, contribuindo para a descarbonização do ambiente construído e promovendo um mercado imobiliário mais sustentável.

2.3.4. CASOS DE ESTUDO

Neste capítulo, analisam-se três casos de estudo que ilustram a aplicabilidade dos BRPs em diferentes contextos e tipos de edifícios, com o objetivo de compreender os impactos das estratégias de renovação na eficiência energética, conforto ambiental e sustentabilidade económica.

Os casos de estudo analisados são:

1. ALDREN: Edifício de Escritórios no Politecnico di Milano (Itália): Aplicação de um BRP para um edifício de escritórios, com foco na redução do consumo energético e melhoria da Qualidade Ambiental Interna (IEQ) [17];
2. *Building Renovation Roadmapping* (Grécia): Desenvolvimento de um *Framework* automatizado para apoiar a tomada de decisão na renovação energética de edifícios residenciais nZEB [14];
3. Reabilitação de Casas de Madeira na Estónia: Análise das necessidades de renovação e eficácia das soluções implementadas para a reabilitação de 208 edifícios históricos de madeira [22].

2.3.4.1. ALDREN: Edifício de Escritórios (Politecnico di Milano, Campus de Lecco)

O projeto ALDREN foi aplicado a um edifício de escritórios localizado no campus de Lecco do Politecnico di Milano, construído originalmente em 1990 e submetido a uma primeira renovação em 2014. Este edifício possui dois pavimentos, com uma distribuição regular de janelas na fachada, e abriga espaços administrativos e salas de reunião. O estudo foi realizado com o objetivo de desenvolver um BRP específico para esse imóvel, identificando ações de renovação elementares (ERAs) e estabelecendo um roteiro faseado de renovação até 2050, em conformidade com as diretrizes da iniciativa “Onda de Renovação” da União Europeia [17].

A implementação do ALDREN seguiu um protocolo estruturado em cinco etapas principais, conforme detalhado a seguir:

1. Entrevista inicial com os proprietários: Definição dos módulos do BRP a serem aplicados, considerando necessidades específicas do edifício [17];
2. Recolha de dados técnicos: Inspeções no local para levantamento de informações sobre a envolvente térmica, sistemas prediais e qualidade ambiental interna [17];
3. Modelagem energética e avaliação de desempenho: Simulação computacional no TRNSYS 18 para estimar cenários pós-renovação [17];
4. Definição do *RenoMap*: Identificação das ações de renovação relevantes e priorização de intervenções [17];
5. Entrega do BRP digital e impresso: Relatório final detalhando as intervenções recomendadas e os respetivos impactos energéticos, financeiros e ambientais [17].

Os resultados do estudo demonstraram que a aplicação de um roteiro de renovação estruturado permite otimizar o processo de reabilitação energética, garantindo uma abordagem custo-efetiva e evitando o efeito *lock-in*. Entre os principais resultados alcançados, destacam-se:

- Economia de energia: A implementação das medidas propostas permitiu uma redução de 30,49 kWh/m² por ano em energia primária, correspondente a uma poupança de 50% no consumo de energia final, o que representa uma melhoria significativa no desempenho energético do edifício [17, 23];
- Redução do impacto ambiental: As emissões de CO₂ foram reduzidas para 1.68 kg/m²·ano, evidenciando os benefícios ambientais da intervenção [23];
- Custo estimado da renovação: O investimento total foi estimado em 685.000€, equivalente a 151,08€/m², contemplando desde a substituição de janelas até a modernização dos sistemas de ventilação e climatização [17].

Uma das diferenças do ALDREN foi a incorporação de indicadores de qualidade ambiental interna (*Indoor Environmental Quality*, IEQ), avaliados por meio do *TAIL Index*, que mede quatro aspetos essenciais:

- Conforto térmico: Melhoria na estabilidade das temperaturas internas e redução de oscilações sazonais [17];
- Qualidade interior do ar: Implementação de sistemas de ventilação aprimorados, reduzindo contaminantes internos [17];
- Conforto acústico: Redução de ruídos provenientes de equipamentos AVAC e fontes externas [17];
- Iluminação natural: Otimização da iluminação interna por meio da substituição de esquadrias e adoção de vidros de alto desempenho [17].

Os resultados mostraram que, após a renovação, o edifício passou da classe energética B para a classe energética A, tornando-se mais eficiente e confortável para os seus ocupantes [17].

O projeto piloto do ALDREN evidenciou que a implementação de BRPs é uma solução viável e eficaz para promover renovações profundas e sustentáveis no setor de edifícios não residenciais. A metodologia desenvolvida no projeto fornece um roteiro claro para a reabilitação gradual dos imóveis, permitindo que os proprietários tomem decisões informadas e maximizem os benefícios das intervenções.

Além disso, o ALDREN contribui diretamente para os objetivos do “Pacto Ecológico Europeu” e da Estratégia de renovação de longo prazo da União Europeia, facilitando o cumprimento das metas de descarbonização até 2050. A replicabilidade da metodologia permite a sua aplicação em diferentes tipologias de edifícios, potencializando a sua adoção em larga escala [17].

2.3.4.2. Building Renovation Roadmapping (Grécia)

O caso de estudo divulgado em 2024 por Nikolaos Mpouzianas apresenta um *Framework* metodológico automatizado para aprimorar a eficiência energética dos edifícios e viabilizar planeamentos de renovação sustentáveis. Esse método integra BIM, EPCs e um sistema automatizado de *Roadmapping* para gerar cenários de apoio a tomadas de decisão dos proprietários.

A validação do *Building Renovation Roadmapping* foi realizada num edifício residencial de 317,7 m² localizado em Tessalônica, Grécia, pertencente ao Centro de Pesquisa e Tecnologia Hellas (CERTH) [14]. Este edifício é um NZEB, já equipado com tecnologias avançadas de eficiência energética, incluindo uma envolvente bem isolada, sistemas AVAC eficientes, coletores solares térmicos e painéis fotovoltaicos de 9,57 kWp [14].

A metodologia do estudo consistiu na aplicação do *Roadmapping Tool* para avaliar possíveis melhorias na edificação. Como o edifício já apresentava alto desempenho energético, a principal recomendação

gerada pelo modelo foi a substituição do aquecedor elétrico para aquecimento de água por uma bomba de calor mais eficiente [14].

O Building Renovation Roadmapping funciona de maneira integrada, combinando três módulos principais:

- Parser BIM: Extrai dados de um arquivo BIM-IFC (*Building Information Model - Industry Foundation Class*), estruturando um modelo de dados compreensível do edifício [14];
- Módulo de Classificação Energética (*Asset Rating, AR*): Realiza cálculos energéticos e simula o desempenho térmico do edifício, classificando-o conforme as normas ISO 52000 [14];
- Ferramenta de Planeamento de Renovação (*Roadmapping Tool*): Analisa as diferentes categorias de renovação e sugere cenários de modernização para melhorar o desempenho energético [14].

O fluxo de trabalho ocorre em três etapas principais:

1. Diagnóstico Inicial: O sistema verifica o estado atual do edifício, avaliando indicadores como coeficiente de transmissão térmica (U), eficiência dos sistemas de aquecimento e arrefecimento e participação das energias renováveis [14];
2. Criação de Cenários de Renovação: O algoritmo propõe intervenções prioritárias, considerando viabilidade técnica e retorno financeiro [14];
3. Elaboração do Plano de Renovação: O modelo elabora um roteiro faseado com ações recomendadas para otimizar o desempenho energético da edificação [14].

A análise realizada no edifício NZEB resultou num plano de renovação direcionado à melhoria da eficiência do aquecimento de água [14]. Os principais indicadores de desempenho energético calculados pelo modelo foram:

- Redução do consumo de energia primária: O *retrofit* proposto permitiu uma economia significativa, reduzindo o consumo de energia primária em 48,3% [14];
- Economia financeira: A substituição do aquecimento elétrico por uma bomba de calor eficiente gerou uma redução de 176€ anuais na conta de energia [14];
- Redução de emissões de CO₂: A implementação do cenário recomendado eliminou emissões associadas ao aquecimento de água, resultando em zero emissões diretas na edificação [14];
- Custo estimado da renovação: O custo total para a substituição do sistema de aquecimento de água foi de 1.700€, com um período de retorno estimado de 9,7 anos [14].

O estudo demonstrou que a aplicação de um sistema automatizado de *roadmapping* melhora significativamente o planeamento de renovação energética, tornando-o mais acessível e eficaz para proprietários e gestores de edifícios. Os principais benefícios incluem:

- Automatização da criação de cenários: A ferramenta evita a necessidade de auditorias energéticas manuais, reduzindo custos e tempo de planeamento [14];
- Integração BIM e EPCs: A modelagem BIM fornece um banco de dados detalhado do edifício, permitindo análises energéticas mais precisas [14];
- Personalização e Priorização de Intervenções: O sistema gera um roteiro de renovação adaptado às necessidades específicas de cada imóvel [14].

2.3.4.3. Reabilitação de Casas de Madeira (Estónia)

As casas de madeira são um elemento arquitetónico predominante em regiões rurais dos países nórdicos e bálticos, desempenhando um papel crucial na identidade cultural e no património construído. Entretanto, para garantir a sua longevidade e eficiência energética, torna-se essencial a implementação de

estratégias de renovação estruturadas. O estudo conduzido por Alois Andreas Põdra apresenta uma avaliação detalhada do estado técnico, das necessidades de renovação e da eficácia das soluções implementadas em 208 casas de madeira na Estônia [22]. O objetivo central foi desenvolver diretrizes que possam ser incorporadas a um passaporte de renovação digital, garantindo que as intervenções sejam estrategicamente planejadas e sustentáveis.

A pesquisa analisou casas construídas entre 1851 e 1950, agrupando-as em duas categorias principais: casas unifamiliares (41%) e edifícios multifuncionais rurais (31%), um tipo de construção tradicional com áreas multifuncionais [22]. O estudo destacou que os três elementos construtivos mais vulneráveis são as paredes externas, os telhados e as fundações, com necessidades de renovação estimadas em 77%, 63% e 63% das edificações, respectivamente [22].

As principais causas de deterioração identificadas incluem:

- Humidade excessiva: A principal responsável pela degradação estrutural, afetando paredes inferiores, fundações e coberturas [22];
- Erosão da argamassa e fissuras nas fundações: Encontradas em 51% dos casos, causadas por ciclos de congelamento e degelo e pela infiltração de água [22];
- Falhas na estrutura do telhado: Danos identificados em 55% dos edifícios, com necessidade de substituição completa da cobertura em 17% dos casos [22];
- Deslocamento de paredes: Ocorre devido à deterioração da madeira e falta de manutenção preventiva [22].

Os consultores técnicos destacaram que muitas recomendações priorizam apenas a preservação estética, negligenciando aspetos fundamentais como melhoria do desempenho térmico e eficiência energética, evidenciando a necessidade de um roteiro estruturado de renovação.

A análise das recomendações técnicas indicou que as intervenções propostas frequentemente não abordam integralmente os problemas estruturais e energéticos. Entre as principais soluções aplicadas, destacam-se:

- Substituição de paredes inferiores: 72% das casas apresentavam degradação severa da madeira devido à umidade e à infestação por insetos [22];
- Reparação de fundações: Em 20% dos edifícios, as fundações estavam em estado crítico e precisavam ser totalmente reconstruídas [22];
- Reforma da cobertura: 25000 casas estimadas necessitam de renovação do telhado, sendo que 4500 requerem reconstrução completa devido a danos críticos [22];
- Isolamento térmico das paredes: Implementado em 36% dos projetos, apesar de sua importância para a redução do consumo energético [22].

Os impactos da renovação foram analisados a partir da implementação de medidas corretivas e preventivas. Os principais indicadores de desempenho obtidos foram:

- Redução do consumo de energia primária após a substituição de sistemas de aquecimento ineficientes [22];
- Diminuição nas contas de energia, evidenciando a viabilidade econômica das melhorias implementadas [22];
- Redução dos níveis de ruído interno, aumentando o conforto acústico das residências [22];
- Melhoria no conforto térmico e qualidade do ar interno, graças à modernização dos sistemas de ventilação e ao reforço do isolamento térmico [22].

Em termos de impacto nacional, os resultados foram escalados para o volume total de edificações rurais da Estônia, estimando que:

- Cerca de 40.000 casas de madeira construídas antes de 1945 compõem o parque edificado rural da Estónia [22].
- 31000 casas possuem paredes externas deterioradas [22];
- 25000 casas necessitam de renovação do telhado, com 4500 exigindo reconstrução completa [22];

Estes dados demonstram a urgência de um planeamento coordenado, que permita intervenções eficientes e financeiramente viáveis.

2.3.4.4. Comparação dos Casos de Estudo

Os três casos de estudo analisados evidenciam abordagens distintas, mas complementares, para a renovação energética de edifícios. Cada metodologia apresenta vantagens específicas de acordo com o tipo de edifício e os objetivos da renovação. O ALDREN destaca-se como um modelo eficaz para edifícios não residenciais, fornecendo um plano estruturado de renovação faseada que melhora a eficiência energética e valoriza economicamente os ativos. O *Roadmapping* Automatizado propõe uma abordagem digitalizada, baseada em tecnologia BIM e análise de dados, permitindo a identificação otimizada das melhores medidas de renovação. Por outro lado, a investigação das casas de madeira na Estónia demonstra a relevância da conservação patrimonial aliada à reabilitação, evidenciando a necessidade de um equilíbrio entre preservação estética e melhoria da eficiência energética. Em síntese, é apresentada a Tabela 7 com foco nas principais vantagens e desafios de cada estudo de caso.

Tabela 7- Comparação entre Casos de estudo

Caso de Estudo	Vantagens	Desafios
Projeto Piloto ALDREN	Estrutura de BRP detalhada, integração de eficiência energética e qualidade ambiental, valorização económica, alinhamento com normas CEN/ISO.	Investimento inicial elevado, necessidade de especialistas, dificuldades no acesso a financiamento.
<i>Roadmapping</i> Automatizado	Processo de renovação digitalizado, integração BIM/EPC, priorização otimizada de medidas de intervenção.	Dependência de dados detalhados, resistência do setor à adoção de novas tecnologias, necessidade de adaptação a diferentes contextos nacionais.
Casas de Madeira na Estónia	Diagnóstico técnico aprofundado, conciliação entre reabilitação e preservação patrimonial, identificação clara das necessidades de intervenção.	Abordagem com menor prioridade para a eficiência energética, falta de recomendações sobre conforto térmico e qualidade do ar, dificuldades no acesso a financiamento.

2.4. BARREIRAS À IMPLEMENTAÇÃO DOS BRPs

Algumas das barreiras existentes foram mencionadas e analisadas ao longo do estado de arte, tanto técnicos quanto administrativos, financeiros e sociais. Podem ser classificados nas seguintes categorias abordadas no subcapítulo.

2.4.1. BARREIRAS REGULATÓRIAS E POLÍTICAS

A adoção dos BRPs enfrenta desafios significativos no âmbito regulatório e político. A falta de uma estrutura legislativa unificada e de políticas de incentivo dificulta a sua aplicação nos diferentes Estados-

Membros da União Europeia. Além disso, mudanças constantes nas políticas nacionais, a falta de incentivos financeiros e a resistência dos *stakeholders* dificultam a adoção dessa ferramenta. Projetos como o *Renocally* demonstraram que o apoio institucional e a clareza regulatória são essenciais para uma implementação bem-sucedida [24, 25].

- Falta de regulamentação padronizada a nível europeu

Embora a União Europeia reconheça a importância dos BRPs, ainda não há um quadro legal unificado que exija a sua implementação obrigatória nos Estados-Membros, o que limita sua adoção [24].

- Ausência de integração com os EPCs

Muitos países já utilizam as EPCs para avaliar a eficiência energética dos edifícios, mas os BRPs ainda não foram plenamente incorporados a esse sistema. Isso gera redundância de informações e dificulta a sua adoção[11].

- Falta de incentivo governamental

Sem subsídios ou vantagens fiscais específicas para a adoção dos BRPs, os proprietários e investidores não veem benefícios concretos na implementação dessa ferramenta [26].

- Ambiente regulatório instável

Em muitos países, mudanças frequentes na legislação e a ausência de um compromisso de longo prazo por parte dos governos dificultam a implementação e manutenção dos BRPs [25].

2.4.2. BARREIRAS FINANCEIRAS

A viabilidade financeira é um dos principais desafios para a implementação dos BRPs, sem um modelo de negócios sustentável e sem incentivos financeiros claros, a sua adoção torna-se limitada. Além disso, o alto custo inicial, a falta de financiamento adequado e a incerteza sobre o retorno do investimento dificultam a adesão dessa ferramenta, especialmente para pequenos locais e proprietários de imóveis individuais [25].

- Custos iniciais elevados

A implementação dos BRPs requer investimentos substanciais, tanto para o desenvolvimento de plataformas digitais quanto para a capacitação de profissionais, tornando a sua adoção desafiante sem suporte financeiro adequado [11].

- Falta de um modelo de negócios sustentável

Ainda não há um modelo econômico claro que demonstre retornos financeiros diretos para os proprietários e investidores que utilizam BRPs, limitando a sua atratividade e adoção em larga escala [24].

2.4.3. BARREIRAS TÉCNICAS E OPERACIONAIS

Os desafios técnicos e operacionais incluem a fragmentação de dados do setor da construção, a falta de interoperabilidade entre plataformas digitais e a necessidade de atualizar constantemente as informações sobre o estado dos edifícios. Além disso, há uma escassez de profissionais qualificados para desenvolver e implementar BRPs de forma eficaz [25].

- Fragmentação dos dados do setor da construção

Os dados sobre o estado dos edifícios estão dispersos entre diferentes entidades, dificultando a criação de um repositório centralizado para BRPs [24].

- Ausência de métodos de cálculo padronizados para avaliação do impacto dos BRPs

Diferentes países utilizam variadas metodologias para avaliar o impacto das renovações, reduzindo a comparabilidade dos dados e dificultando a criação de métricas unificadas [26].

- Falta de capacitação profissional

A escassez de auditores energéticos e profissionais treinados para desenvolver informações sobre BRPs é um obstáculo significativo para a expansão dessa ferramenta [25].

2.4.4. BARREIRAS DE PERCEÇÃO E CONSCIENCIALIZAÇÃO

Além dos desafios regulatórios, financeiros e técnicos, a falta de conhecimento e aceitação dos BRPs por parte dos proprietários e profissionais do setor representa um obstáculo significativo. A percepção de que os BRPs são complexos, burocráticos e pouco vantajosos a curto prazo reduz a sua adoção voluntária. Além disso, sem uma estratégia de consciencialização eficaz, os benefícios dessa ferramenta permanecem pouco compreendidos pelo mercado [25].

- Baixo nível de conhecimento sobre os BRPs entre proprietários e profissionais do setor

A falta de campanhas de conscientização e capacitação profissional resulta num baixo nível de conhecimento sobre os BRPs, limitando sua adoção voluntária e sua relevância no mercado imobiliário [11].

- Percepção de complexidade e burocracia

Os BRPs são vistos como um processo adicional e muitas vezes complexo, o que desencoraja proprietários e investidores de edifícios a utilizá-los [24].

- Falta de confiança nos benefícios dos BRPs

Muitos proprietários e investidores duvidam da efetividade dos BRPs, pois os seus benefícios geralmente materializam-se a longo prazo, enquanto os custos de implementação são imediatos [27].

2.5. IMPLEMENTAÇÃO DOS BRPs EM PORTUGAL

A renovação energética dos edifícios representa um dos desafios mais importantes para Portugal no contexto das metas ambientais e da sustentabilidade energética da UE. O estudo da *iBRoad*, “*Understanding Potential User Needs*” [28] traz uma análise detalhada sobre a percepção dos proprietários, compradores e autoridades públicas portuguesas relativamente à reabilitação energética. A investigação teve como objetivo identificar as barreiras e oportunidades para a adoção de planos individuais de renovação de edifícios, com destaque nas duas ferramentas principais do BRP: o *Building Renovation Roadmap* e o *Logbook* [28].

Com base nas análises realizadas sobre este estudo, pode-se perceber um cenário misto. Por um lado, há um reconhecimento crescente da importância da eficiência energética, por outro, persistem obstáculos financeiros, burocráticos e informativos que dificultam a adoção acentuada das estratégias propostas.

1. O interesse dos portugueses na renovação energética

Os dados revelam que 61% dos inquiridos acreditam que podem reduzir o consumo energético através de renovações e 73% reconhecem que há mais a fazer para tornar as suas casas mais eficientes [28]. Além disso, 94% dos compradores consideram a eficiência energética um fator importante na decisão de compra, um dos valores mais elevados registados entre os países analisados no estudo da *iBRoad* [28].

Contudo, a preocupação com o conforto térmico parece ter mais peso do que a motivação puramente energética: 51% dos inquiridos valorizam mais o conforto do que a poupança de energia [28]. Este dado sugere que as estratégias de renovação devem conciliar o conforto com a eficiência energética, para que sejam mais atrativas para os proprietários.

2. Principais barreiras à renovação energética em Portugal

Apesar do reconhecimento da importância da renovação energética, as dificuldades financeiras e a falta de informação continuam a ser os principais impedimentos para a sua implementação [28].

2.1. O custo elevado das obras:

- 47% dos proprietários mencionam que os custos elevados das obras são o maior obstáculo [28];
- 81% dos que renovam utilizam poupanças próprias, enquanto apenas 1% recorre a subsídios do governo [28];
- Apenas 16% dos inquiridos recorreram ou recorreriam a empréstimos [28].

Os números demonstram que a maioria das renovações é financiada sem apoios públicos significativos, tornando as melhorias energéticas inacessíveis para muitas famílias. Este cenário indica uma necessidade urgente de políticas públicas que facilitem o financiamento das renovações, através de subsídios ou incentivos fiscais.

2.2. Falta de informação e confiança nos programas existentes:

- Embora 47% dos portugueses consultem o EPC para obter informações sobre eficiência energética, muitos não o consideram uma ferramenta totalmente confiável [28];
- 63% dos compradores encontram dificuldades em obter informações sobre os custos energéticos e de aquecimento das casas que pretendem comprar [28];
- A confiança em especialistas varia, mas muitos proprietários confiam mais em familiares e amigos (50%) do que em auditores energéticos (22%) [28].

Esta falta de clareza na informação demonstra a necessidade de ferramentas mais robustas e confiáveis, como o *Logbook*, que pode ajudar a centralizar e organizar os dados energéticos dos edifícios.

3. A Importância do *Logbook*

O *Logbook* foi apontado como uma ferramenta essencial para a melhoria da transparência e da eficiência na renovação energética. Foi amplamente valorizada pelos inquiridos, com 62% a considerarem essencial, na sua constituição, a inclusão do Certificado de Desempenho Energético, enquanto 59% e 58% destacaram a relevância de informações detalhadas sobre as características do edifício e especificações técnicas, respetivamente [28].

No entanto, a questão do acesso ao *Logbook* revelou divergências: 49% dos inquiridos defenderam que potenciais compradores deveriam poder consultá-lo, 44% acreditam que o documento deveria ser transferido entre proprietários, enquanto 29% consideram que a sua gestão deveria ser da responsabilidade municipal [28]. Adicionalmente, apenas 19% dos questionados manifestaram disponibilidade para pagar pelo acesso a esta ferramenta, demonstrando que a sua implementação deverá ser sustentada por políticas públicas que promovam a sua gratuitidade ou incorporação em processos obrigatórios [28].

Paralelamente, o *Building renovation roadmap* representa uma abordagem estruturada para a reabilitação energética progressiva dos edifícios, fornecendo aos proprietários uma visão clara sobre as etapas necessárias para melhorar a eficiência energética a longo prazo. Entre os aspetos mais valorizados pelos inquiridos, destacam-se a inclusão de estimativas de custos para cada fase da renovação (67%) e a indicação dos benefícios esperados em termos de redução da fatura energética (60%), além de informação técnica para evitar erros durante o processo de reabilitação (56%) [28]. Quando questionados sobre o

período ideal para um plano faseado, 62% dos participantes apontaram para um horizonte temporal de cinco anos [28]. Contudo, à semelhança do que ocorre com o *Logbook*, a disposição para financiar autonomamente esta ferramenta é reduzida, sendo que 53% mostraram interesse, mas sem intenção de pagar, e apenas 20% estariam dispostos a fazê-lo [28]. Estes dados evidenciam a necessidade de incentivos financeiros para assegurar a adoção generalizada do roteiro de renovação.

Portugal dispõe de um volume significativo de informação sobre o desempenho energético dos edifícios, incluindo dados sobre consumo por fonte de energia, ano de construção, ocupação e localização. No entanto, persistem lacunas na recolha de dados sobre conforto térmico, emissões de carbono e qualidade do ar interior, aspetos fundamentais para a avaliação da eficiência energética real dos edifícios.

As autoridades públicas reconhecem a relevância da renovação energética, apesar disso, a implementação de programas de renovação energética em Portugal enfrenta três desafios principais: a falta de apoios financeiros, a desinformação dos cidadãos sobre os benefícios e incentivos disponíveis e os processos burocráticos complexos que dificultam a obtenção de licenças e subsídios [28].

Os resultados do estudo iBRoad evidenciam que, embora os portugueses reconheçam a importância da renovação energética, muitos não têm os meios nem a informação necessária para realizá-la. Demonstrando que a implementação dos BRPs em Portugal está dependente de um compromisso forte por parte das entidades públicas e do setor privado.

3

CASO DE ESTUDO

3.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo visa apresentar o caso de estudo selecionado no âmbito desta dissertação, cuja finalidade é explorar a aplicabilidade de um *Framework* de apoio à renovação energética profunda em edifícios existentes. A escolha recaiu sobre a Escola Básica Arquiteto Gonçalo Ribeiro Telles, localizada em Lisboa, por se tratar de um edifício de ensino recentemente intervencionado no âmbito de um programa municipal, constituindo um exemplo representativo no contexto da reabilitação do parque edificado escolar em Portugal.

A intervenção no edifício da Escola Básica Arquiteto Gonçalo Ribeiro Telles foi concluída em 2023, na sequência de uma intervenção de reabilitação profunda que consistiu na demolição praticamente integral da estrutura pré-existente e na construção de raiz de um novo edifício escolar, cumprindo os requisitos técnicos e regulamentares em vigor. Esta intervenção configura, na prática, uma edificação quase nova, ainda que formalmente integrada no âmbito da reabilitação.

A relevância deste caso de estudo relaciona-se com a oportunidade de observar, num contexto real de utilização, as características construtivas e funcionais de um edifício escolar alvo de uma intervenção recente, procurando avaliar o seu potencial de melhoria adicional através de estratégias estruturadas de renovação. A escolha de um edifício público afeto à função educativa reforça o interesse do estudo no contexto português, dado o elevado número de estabelecimentos escolares com necessidades de reabilitação.

A aplicação do *Framework* ALDREN incidirá em seis compartimentos específicos do edifício: três salas de aula e três gabinetes, onde foi possível instalar sensores para monitorização da qualidade do ar interior. Esta seleção permite representar dois tipos distintos de espaços funcionais – ensino e trabalho técnico – possibilitando uma análise comparativa das respetivas condições ambientais e energéticas.

Nas secções seguintes são apresentados, respetivamente, a caracterização geral do edifício, a seleção e descrição dos compartimentos analisados e os principais dados técnicos de base para a aplicação da metodologia no Capítulo 5.

A

Figura 7 ilustra as principais etapas seguidas no âmbito do caso de estudo, desde a definição dos espaços alvo até à recolha e organização da informação necessária para fases posteriores de avaliação.

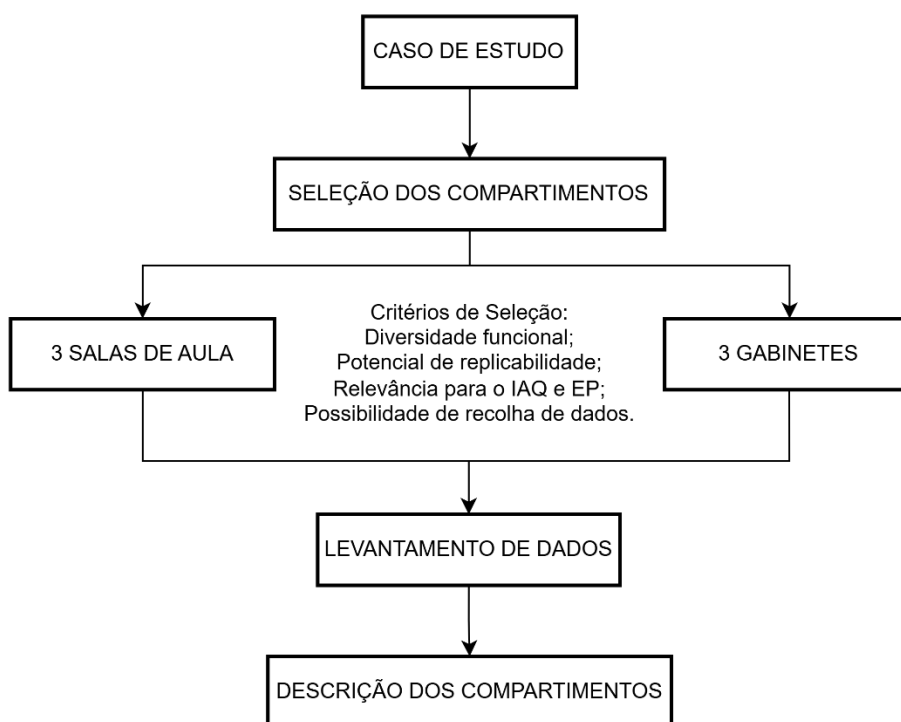


Figura 7- Fluxograma de enquadramento do Capítulo 3

3.2. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

3.2.1. ENQUADRAMENTO DO EDIFÍCIO

A Escola Básica Arquitecto Gonçalo Ribeiro Telles localiza-se no Bairro da Boavista, na freguesia de Benfica, em Lisboa. Esta zona insere-se num contexto urbano marcado pela presença significativa de habitação social, originalmente promovida pela Fundação Salazar e atualmente gerida pela Câmara Municipal de Lisboa (CML). A intervenção no edifício enquadra-se no Programa de Reabilitação de Escolas do 1.º Ciclo do Ensino Básico e da Educação Pré-escolar da CML, que visa modernizar e tornar mais eficientes os equipamentos escolares da cidade. A sua reabilitação envolveu um investimento de 11 milhões de euros, o maior já destinado a uma escola básica (EB) em Lisboa, criando um espaço educativo com capacidade para acolher 267 alunos e respondendo eficientemente às necessidades da comunidade local, com instalações modernizadas e adaptadas às exigências atuais [29].

A Figura 8 combina a perspetiva em planta e em três dimensões obtidas a partir das plataformas Google Maps e Google Earth.



Figura 8- Vista aérea da Escola Básica Arquitecto Gonçalo Ribeiro Telles, via Google Maps e Google Earth

A infraestrutura escolar organiza-se em seis blocos distintos, distribuídos por dois pisos principais, conforme a planta apresentada na Figura 9, retirada do projeto de execução. A organização funcional favorece a separação entre zonas de uso intensivo e zonas de circulação, contando ainda com um conjunto alargado de utilidades e espaços verdes, além de diversos ambientes educativos e de apoio no recinto.

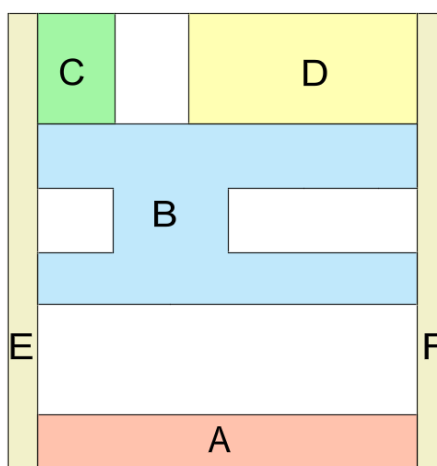


Figura 9- Esquema de organização dos blocos funcionais da Escola Básica Arquitecto Gonçalo Ribeiro Telles

No piso 0, encontra-se o bloco A, que abriga a portaria e o recreio coberto (funcionando como ponto de acolhimento e entrada), e o bloco B, que integra salas de música, salas CAF (Componente de Apoio à Família), sala da Associação de Pais e instalações sanitárias, acolhendo atividades extracurriculares e de apoio comunitário. Os blocos E e F localizam-se nas laterais do edifício e destinam-se à circulação, garantindo a fluidez de deslocação entre as diversas áreas. Cada um destes blocos de circulação integra uma escada e uma rampa que ligam os dois níveis principais (Piso 0 e Piso 1), facilitando o acesso vertical.

No Piso 1, o Bloco A é composto por salas de aula do ensino básico e instalações sanitárias, enquanto o Bloco B alberga as salas de jardim de infância, salas de professores e auxiliares, sala AVD (Atividades da Vida Diária), sala de multideficiência, sala *Snoezelen*, gabinetes de apoio e a biblioteca, constituindo um núcleo inclusivo e multifuncional.

O Bloco C, situado ao nível do Piso 1 (cota 117.5m), é composto pelo refeitório (cantina), cozinha, despensas e vestiários, formando o núcleo de suporte às necessidades alimentares da escola. Este bloco dispõe de um acesso independente para cargas e descargas, ligado por um percurso exterior ao ponto de recolha de resíduos sólidos urbanos na via pública adjacente. Por sua vez, o Bloco D corresponde ao pavilhão polidesportivo, incluindo balneários, e uma sala de eventos musicais, promovendo atividades físicas e culturais. Ambos os espaços do Bloco D foram concebidos para possível utilização por utentes externos à comunidade escolar, possuindo uma entrada dedicada no canto sudeste do edifício que permite o seu acesso independente fora do horário letivo. Além disso, distribuem-se pela escola diversos espaços técnicos e de serviço (arrumos, instalações de limpeza, áreas de gestão de resíduos), garantindo a organização e manutenção das condições de higiene em todas as zonas.

A implantação geral do edifício tira partido da topografia existente, distribuindo os espaços por três níveis altimétricos principais, ilustrados na Figura 10. O primeiro nível, o Piso 0 (cota ~113,88 m), corresponde ao nível de entrada principal, aos pátios de recreio inferiores e a parte dos espaços funcionais. O segundo nível, Piso 1 (cota ~117,5 m), acomoda os restantes núcleos funcionais da escola (salas de aula, biblioteca, cantina, ginásio, etc.). Finalmente, existe um Piso Técnico (terceiro nível, cota ~121,70 m) dedicado às instalações especiais do edifício, nomeadamente a central de aquecimento de águas e os equipamentos de AVAC, localizados em pátios técnicos associados aos Blocos C e D. Ao nível da cota natural do terreno (~120 m) dispõem-se os logradouros ajardinados e os campos de jogos exteriores, integrando o complexo escolar na morfologia do terreno e proporcionando amplas zonas de recreio ao ar livre.

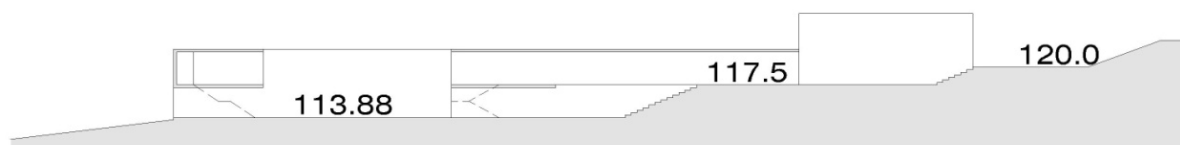


Figura 10- Níveis do projeto (s/escala)

O projeto da escola reflete uma preocupação significativa com a sustentabilidade, adotando soluções que promovem a eficiência energética e o conforto ambiental. Para tal, foram implementados diversas estratégias passivas, tais como aquecimento e arrefecimento natural, ventilação cruzada e aproveitamento de iluminação natural, reduzindo a dependência de sistemas mecânicos convencionais [30]. A construção adotou um sistema estrutural predominantemente pesado – estrutura em betão armado e alvenarias de enchimento – conferindo forte inércia térmica ao edifício, característica que garante boas condições de conforto no verão e contribui para a retenção do calor interior nos períodos frios de inverno. A seleção de materiais e revestimentos foi orientada por considerações de durabilidade e resistência ao desgaste e vandalismo, cruciais num edifício escolar público de uso intensivo. Adicionalmente, as aberturas envidraçadas foram dimensionadas e orientadas de forma a otimizar a iluminação natural dos espaços interiores, estando associadas a dispositivos de sombreamento (palas e estores) para controlo da radiação solar, de modo a evitar ganhos térmicos excessivos nos períodos quentes, sem comprometer a luminosidade necessária.

3.2.2. COMPARTIMENTOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE

3.2.2.1. Critérios de Seleção

Os compartimentos selecionados para a análise foram definidos segundo critérios que permitissem uma avaliação diversificada e representativa dos diferentes perfis de utilização existentes na escola. Os principais critérios considerados incluem:

- **Diversidade funcional:** Escolha de espaços com diferentes níveis de ocupação e utilização diária, de modo a representarem distintas necessidades energéticas e requisitos de conforto ambiental;
- **Potencial de replicabilidade:** Seleção de espaços que frequentemente existem noutros edifícios escolares, permitindo aplicar resultados e conclusões em contextos semelhantes;
- **Relevância para o conforto e desempenho energético:** Inclusão de espaços onde questões relacionadas com iluminação, ventilação, temperatura e qualidade do ar interior são particularmente relevantes para a atividade desenvolvida;
- **Possibilidade técnica de recolha de dados:** Escolha de compartimentos onde foi possível instalar sensores para monitorização e recolha de dados relativos à qualidade do ambiente interior.

Com base nestes critérios, foram escolhidos seis compartimentos específicos para a análise detalhada: três salas de aula (A1.03, A1.05 e A1.07) e três gabinetes administrativos (B1.10, B1.11 e B1.13). Estes espaços representam duas categorias funcionais distintas, permitindo uma análise comparativa das condições ambientais e energéticas associadas a cada tipologia de utilização.

A localização exata destes compartimentos no edifício está assinalada na planta do Piso 1 ilustrada na Figura 11, o que facilita a compreensão da sua disposição e orientação no conjunto do complexo.

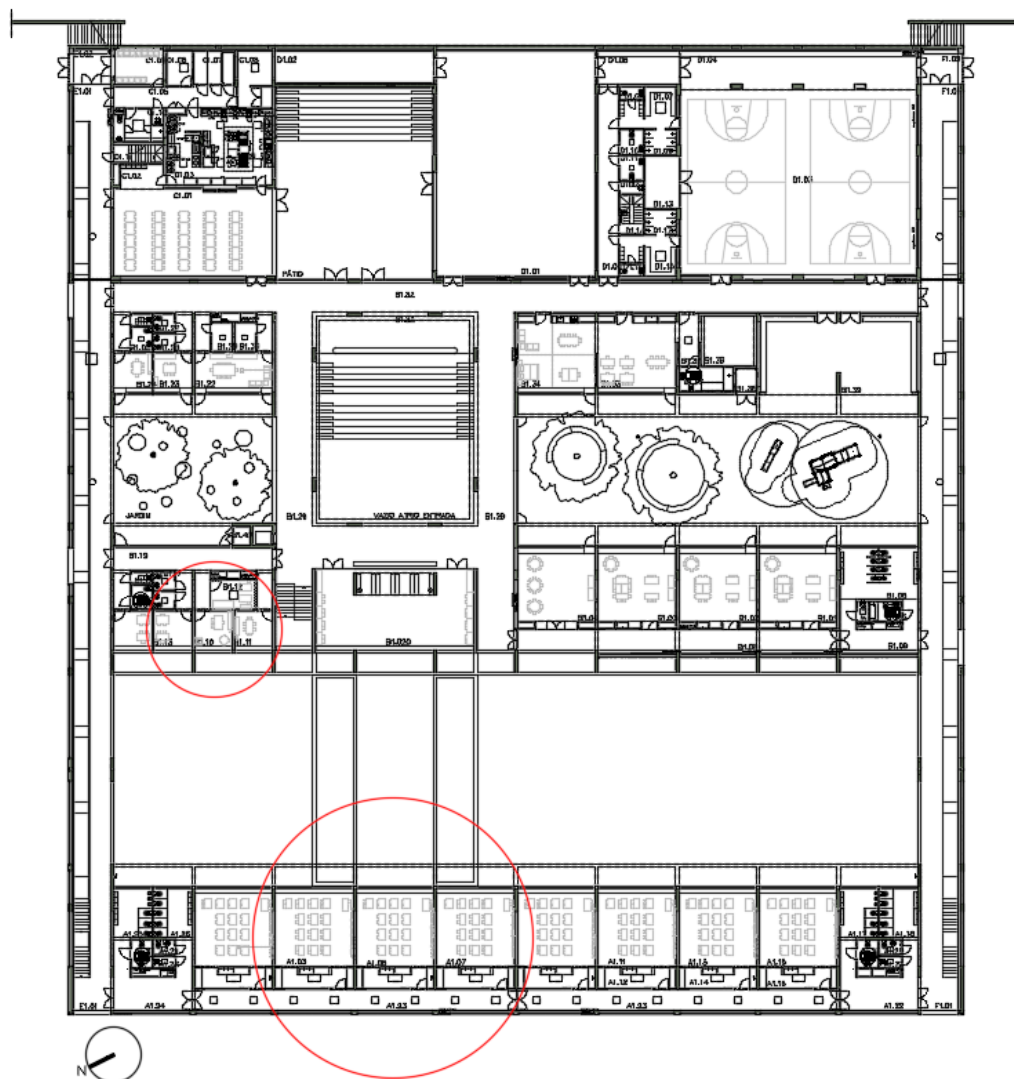


Figura 11- Planta do Piso 1, indicando os seis compartimentos selecionados para análise

3.2.2.2. Descrição dos Compartimentos

- Salas de Aula (A1.03, A1.05 e A1.07):

Estes compartimentos, localizados no Bloco A (Piso 1), correspondem a salas de aula padrão do 1.º ciclo do ensino básico. Trata-se de salas de dimensão média (cerca de 64 m² cada), normalmente ocupada por cerca de 18 alunos e um professor durante grande parte do dia letivo. Esta elevada taxa de ocupação equivale aproximadamente a 3.56 m² por pessoa. Cada sala possui janelas amplas que asseguram uma abundância de iluminação natural, um fator importante para o conforto visual e bem-estar dos alunos, além de reduzir a necessidade de iluminação artificial durante o dia. Essas janelas permitem também ventilação natural sempre que necessário, embora esta seja feita de forma controlada para não prejudicar o conforto térmico. Adicionalmente, as aberturas envidraçadas estão equipadas com dispositivos de sombreamento (palas e estores) que evitam ganhos solares excessivos nos períodos quentes.

Em termos de equipamentos, cada sala está equipada com mobiliário escolar tradicional e alguns equipamentos básicos, gerando cargas internas moderadas. Sendo espaços dedicados à atividade intelectual e permanência prolongada de crianças, a qualidade ambiental interior é especialmente relevante para o desempenho e saúde dos ocupantes. Do ponto de vista energético, uma sala de aula representa um compartimento de ocupação regular, que é aquecido nas épocas frias (mantendo-se tipicamente em torno de 20 °C no inverno) através de um sistema de aquecimento assegurado por insuflação de ar previamente aquecido por baterias térmicas terminais integradas nas unidades de ventilação com recuperação de calor e potencialmente arrefecido ou ventilado nas épocas quentes para manter condições de conforto.

A Tabela 8, resume os principais parâmetros físicos e de utilização das salas de aula selecionadas.

Tabela 8- Características físicas e funcionais das salas de aula (A1.03, A1.05 e A1.07)

Parâmetro	Caracterização do Espaço
Área útil (m ²)	64
Pé-direito (m)	2.7–3.0
Volume (m ³)	185
Ocupação (pessoas)	18
Densidade ocupacional (pessoa/m ²)	0.28
Densidade de equipamentos (kW)	9 W/m ² (1 computador + 1 projetor)
Cargas internas (iluminação) (kW)	10 W/m ²
Ventilação	Mecânica c/recuperador de calor + ventilação natural auxiliar
Climatização	Aquecimento ativo (bateria terminal); Sem arrefecimento ativo

- Gabinetes (B1.10, B1.11 e B1.13):

Estes gabinetes, localizados no Bloco B (Piso 1), são salas de pequenas dimensões (cerca de 12m² cada) destinadas a funções administrativas, reuniões pontuais e trabalho individual. Normalmente acomoda um a dois ocupantes de forma intermitente ao longo do dia, podendo mesmo permanecer vazio durante parte do tempo, consoante a organização escolar. Sendo espaços significativamente mais reduzidos em comparação com as salas de aula, apresentam também cargas internas mais baixas. Cada gabinete possui uma janela para o exterior, garantindo iluminação natural e possibilitando ventilação natural sempre que necessário. Embora, devido à sua menor dimensão e volume de ar, estes espaços tendem a aquecer ou arrefecer mais rapidamente do que as salas maiores.

Em termos de sistemas, cada gabinete dispõe de ventilação mecânica por extração e encontra-se equipado com um sistema de ar condicionado do tipo mural (mini VRF), capaz de fornecer aquecimento no inverno e arrefecimento no verão.

A Tabela 9 apresenta os principais parâmetros físicos e funcionais dos gabinetes em análise.

Tabela 9- Características físicas e funcionais dos gabinetes (B1.10, B1.11, B1.13)

Parâmetro	Caracterização do Espaço
Área útil (m ²)	12.25
Pé-direito (m)	3.0
Volume (m ³)	37
Ocupação (pessoas)	1–2
Densidade ocupacional (pessoa/m ²)	0.12
Densidade de equipamentos (kW)	3.7W/m ² (1 computador portátil)
Cargas internas (iluminação) (kW)	10W/m ²

Ventilação	Mecânica (extração) + ventilação natural auxiliar
Climatização	Ar condicionado mural (mini VRF) – aquecimento e arrefecimento

Para uma compreensão mais detalhada das características construtivas dos compartimentos selecionados – tanto nas salas de aula como nos gabinetes – procede-se em seguida à identificação da composição dos elementos que constituem a sua envolvente opaca e envidraçada. A principal diferença entre as duas tipologias localiza-se ao nível da relação dos respetivos pavimentos com os espaços adjacentes: nas salas de aula, o pavimento situa-se sobre um terraço coberto não climatizado, enquanto nos gabinetes o pavimento está assente sobre espaços interiores aquecidos. Esta distinção influencia diretamente o comportamento térmico desses elementos.

A Tabela 10, apresentada a seguir, sintetiza a composição técnica dos principais elementos construtivos que delimitam os compartimentos em análise, incluindo as paredes, cobertura, vãos envidraçados e pavimentos, com indicação das camadas constituintes de cada elemento

Tabela 10- Composição construtiva dos elementos da envolvente opaca e envidraçada (salas de aula e gabinetes)

Elemento	Composição Técnica
Paredes exteriores	Parede dupla em alvenaria composta por: • Betão armado estrutural (pano interior); • Isolamento térmico XPS (50 mm, tipo Dow Wallmate); • Caixa de ar ventilada (30 mm); • Alvenaria simples de blocos de betão BBE (50×20×10 cm).
Paredes interiores	Alvenaria dupla composta por: • Bloco de betão (25 cm); • Isolamento acústico Danofon (28 mm); • Caixa de ar ventilada (30 mm); • Alvenaria cerâmica (70 mm); • Bandas acústicas de espuma de polietileno nos pontos de contacto.
Cobertura	Cobertura plana invertida composta por: • Laje de betão armado estrutural; • Camada de forma com betão leve; • Betonilha de regularização (30 mm); • Barreira de Vapor em Polietileno de Baixa densidade; • Isolamento térmico em Lã de Rocha Vulcânica (80mm); • Manta geotêxtil em poliéster (200 g/m²); • Tela de PVC impermeável.
Vãos envidraçados	Caixilharia de alumínio com corte térmico • Vidro duplo 6/12/6 mm; • Estores interiores móveis.
Pavimento (Salas)	Sistema sobre espaço não aquecido composto por: • Laje de betão armado estrutural; • Betonilha de regularização em argamassa (15 mm); • Isolamento térmico XPS de alta densidade (60 mm, tipo Roofmate SL-A); • Lajetas de betão armado (60 mm); • Parquet de madeira maciça (25 mm), colado e envernizado com acabamento acetinado.
Pavimento (Gabinetes)	Sistema sobre compartimento interior aquecido composto por: • Laje de betão armado estrutural; • Betonilha de regularização em argamassa (15 mm); • Parquet de madeira maciça (25 mm), colado e envernizado com acabamento acetinado.

3.2.3. FONTES DE INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO

A caracterização técnica e construtiva da Escola Básica Arquiteto Gonçalo Ribeiro Telles e dos compartimentos selecionados foi efetuada com base em informação digital disponibilizada, complementada por uma visita presencial ao local. As fontes documentais utilizadas apresentam algumas limitações em termos de detalhe, pelo qual foi necessário consolidar os dados recorrendo a documentação técnica adicional. Seguidamente enumeram-se as principais fontes utilizadas:

- Desenhos Técnicos (AutoCAD)

Conjunto de desenhos bidimensionais do projeto de execução (plantas dos pisos, cortes e alçados principais) que permitiram compreender a organização espacial do edifício. Esses desenhos serviram de base para identificar os compartimentos, bem como as suas dimensões gerais e disposições. Embora não incluíssem pormenores construtivos das camadas dos elementos da envolvente ou informações de sistemas técnicos, o que limitou a profundidade da caracterização apenas com este recurso.

- Modelo BIM (Revit)

Modelo digital tridimensional do edifício, fornecido numa versão simplificada em formato *Autodesk Revit*. Através deste modelo foi possível obter as propriedades geométricas e espaciais relevantes dos compartimentos (nomeadamente áreas, volumes e pés-direitos). No entanto, o seu nível de detalhe era essencialmente geométrico, não incluindo propriedades de materiais ou desempenho térmico dos elementos construtivos, pelo que a sua contribuição se restringiu à componente dimensional e espacial.

- Documentação do Projeto (Memória Descritiva e Caderno de Encargos)

Adicionalmente, foi consultada a documentação técnica original do projeto de arquitetura, em particular a memória descritiva e o caderno de encargos da especialidade de arquitetura. Estes documentos forneceram informações pormenorizadas sobre as soluções construtivas adotadas (constituição das paredes, coberturas, pavimentos, caixilharias, etc.) e sobre os sistemas de climatização e ventilação previstos. Esta fonte revelou-se fundamental para colmatar as lacunas de informação deixadas pelas fontes anteriores, permitindo uma caracterização termoenergética mais rigorosa dos compartimentos analisados.

- Relatório RSECE – Verificação do Desempenho Energético

Foi igualmente consultado o relatório elaborado no âmbito da verificação regulamentar do desempenho energético do edifício, segundo o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios). Este documento serviu para complementar a informação relativa às características técnicas dos sistemas energéticos instalados na escola (nomeadamente dados sobre climatização, ventilação mecânica e condicionamento de ar).

3.2.4. SÍNTESE FINAL

Neste subcapítulo apresentou-se uma descrição detalhada do edifício selecionado como caso de estudo, a Escola Básica Arquiteto Gonçalo Ribeiro Telles, com especial destaque para seis compartimentos interiores específicos: três salas de aula (A1.03, A1.05 e A1.07) e três gabinetes (B1.10, B1.11, B1.13). A escolha destes espaços justificou-se por abranger duas tipologias funcionais distintas no contexto escolar (áreas de ensino e de administração), o que permite analisar as condições de operação em ambientes de sala de aula e gabinete administrativo.

Procedeu-se à caracterização técnica de cada um dos compartimentos selecionados, utilizando os dados disponíveis das diversas fontes de informação mencionadas. Com toda a informação técnica já reunida, estão criadas as condições base para que, no Capítulo 4, se proceda à escolha e descrição do *Framework* metodológico a aplicar, e que no Capítulo 5 se avance para a sua aplicação prática centrada nestes

espaços, com especial incidência na simulação termoenergética e na avaliação da qualidade do ambiente interior, visando identificar o potencial de melhoria do desempenho ambiental e apoiar futuras intervenções de reabilitação.

4

METODOLOGIA DO FRAMEWORK ALDREN

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo visa selecionar e aplicar uma metodologia estruturada, ou *Framework*, para apoiar a renovação energética profunda no edifício escolhido como caso de estudo, a Escola Básica Arquiteto Gonçalo Ribeiro Telles.

O objetivo central consiste em demonstrar, através de uma aplicação prática, como a utilização de um *Framework* específico pode auxiliar a tomada de decisão informada e estruturada em projetos de reabilitação energética no contexto português.

Para alcançar este objetivo, será conduzida inicialmente uma análise comparativa das diferentes abordagens metodológicas existentes, estabelecendo critérios claros que permitam selecionar o *Framework* mais adequado à realidade portuguesa, ao tipo específico de edifício em análise e à natureza e profundidade dos dados disponíveis. Após a seleção da metodologia, serão efetuadas as adaptações necessárias à sua aplicação parcial e orientada ao contexto específico dos compartimentos selecionados.

A aplicação do *Framework* seguirá uma estrutura modular, permitindo uma avaliação detalhada e sistemática das condições existentes, definição de cenários futuros, proposta de ações concretas e o planeamento faseado para alcançar níveis superiores de desempenho energético e conforto ambiental.

A Figura 12 ilustra o processo de seleção e estruturação metodológica adotado neste capítulo.

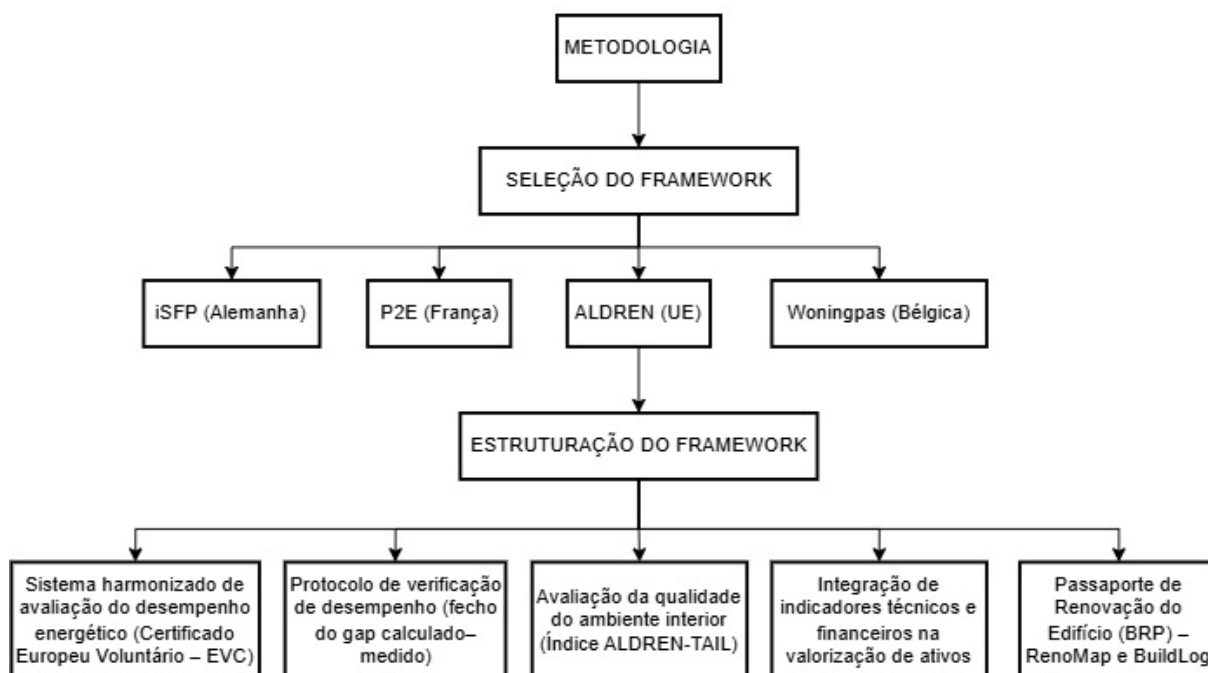


Figura 12- Fluxograma de enquadramento do Capítulo 4

4.2. SELEÇÃO DO FRAMEWORK

Com base na análise efetuada no Capítulo 2 – Estado de Arte, foram considerados quatro *Frameworks* europeus com abordagens metodológicas relevantes para apoiar a renovação energética profunda em edifícios existentes:

- ALDREN (UE);
- Individueller Sanierungsfahrplan - iSFP (Alemanha);
- Passeport Efficacité Energétique -P2E (França);
- Woningpas (Flandres, Bélgica).

A seleção do *Framework* a aplicar no presente caso de estudo foi sustentada numa comparação criteriosa entre estas quatro abordagens, tendo em conta critérios estruturais, técnicos e contextuais. A Tabela 11 apresenta essa comparação, baseada em fontes oficiais e documentação técnica disponível.

Tabela 11- Comparação entre *Frameworks* segundo critérios de aplicabilidade

Critério/ Framework	ALDREN (UE)	iSFP (Alemanha)	P2E (França)	Woningpas (Bélgica)
Estrutura Modular	Sim (M1–M8)	Parcial (etapas auditadas)	Não (Baseado em indicadores)	Não (Formato repositório digital)
Alinhamento com EPBD/Políticas UE	Sim	Sim	Sim	Sim
Avaliação Energética Detalhada	Elevada	Elevada	Moderada	Limitada (Baseada no EPC)
Avaliação de Conforto Interior	Sim (TAIL Index)	Referência genérica (Bem-Estar)	Referência sem metodologia técnica	Não

Roadmap de Renovação Faseada	Sim (NZEB Roadmap)	Sim (Planeamento faseado)	Sim (Via software)	Sim (Recomendações digitais)
Tipologia de Edifício Visada	Edifícios não residenciais (Hotéis e Escritórios)	Habitações familiares	Habitações familiares	Habitação unifamiliar

A análise mostra que, embora os *Frameworks* iSFP, P2E e Woningpas apresentem abordagens relevantes e alinhadas com a política europeia, o ALDREN destaca-se especialmente pela sua estrutura modular completa, que permite selecionar apenas os módulos relevantes para uma aplicação parcial; pela integração do conforto ambiental através do TAIL Index, ausente nos restantes modelos; e pela orientação a edifícios de serviços e administrativos, com possibilidade de adaptação à realidade escolar portuguesa.

Com base nesta comparação, a Tabela 12 apresenta os critérios definidos que justificam a escolha final do *Framework* ALDREN para aplicação no presente trabalho.

Tabela 12- Critérios que justificam a escolha do *Framework* ALDREN

Critério	Justificação
Abrangência modular e flexibilidade	Estrutura modular clara, com possibilidade de adaptação ao caso de estudo e ao contexto português.
Compatibilidade com sistemas nacionais	Alinhado com a Diretiva Europeia EPBD e compatível com regulamentação energética portuguesa.
Profundidade técnica e operacional	Permite análise detalhada do desempenho energético e avaliação integrada de conforto e bem-estar dos ocupantes.
Tipologia de edifício	Apesar de não ter sido aplicado em edifícios escolares, é direcionado a edifícios não residenciais, nomeadamente hotéis e edifícios de serviços e administrativos (escritórios), com potencial de adaptação a tipologias escolares [17].

4.3. METODOLOGIA ALDREN (ALLIANCE FOR DEEP RENOVATION IN BUILDINGS)

A metodologia ALDREN constitui um quadro voluntário e abrangente desenvolvido no âmbito de um projeto europeu financiado pelo programa Horizonte 2020 (H2020), com o objetivo de apoiar processos de tomada de decisão e investimento em intervenções de reabilitação energética profunda em edifícios, com especial incidência no setor não residencial [31].

O objetivo central da metodologia consiste em ultrapassar barreiras de mercado associadas à implementação de estratégias de reabilitação profunda, através da disponibilização de métricas fiáveis de sustentabilidade, que integrem simultaneamente o desempenho energético, a qualidade do ambiente interior e a valorização económica dos edifícios.

A abordagem ALDREN estrutura-se em módulos técnicos complementares e em ferramentas de reporte integradas, que possibilitam a sua aplicação de forma sistematizada. Estão definidos quatro módulos principais – desempenho energético, verificação energética, conforto e qualidade do ambiente interior (IEQ), e análise custo-valor-risco – apoiados por dois instrumentos de reporte: o EVC e o BRP [31].

A Figura 13 ilustra a estrutura funcional da metodologia ALDREN, organizada em seis blocos principais (T2.1 a T2.6), que representam a lógica sequencial e interdependente das suas componentes técnicas e operacionais.

A tarefa T2.2, centrada na avaliação energética (*Energy rating & targets*), constitui a base da caracterização técnica, sendo complementada pela T2.3, que visa mitigar o desfazamento entre o desempenho simulado e o desempenho real medido. Paralelamente, o módulo T2.4 introduz o conceito de *health & wellbeing*, incorporando critérios de conforto e qualidade ambiental interior, enquanto T2.5 estabelece a ligação entre o desempenho técnico e a valorização financeira do ativo. A integração dos resultados num Passaporte de Renovação é consolidada em T2.6, assegurando a comunicação dos dados recolhidos de forma estruturada e acessível aos diferentes intervenientes. Finalmente, o T2.1 funciona como eixo transversal de harmonização e articulação dos diferentes blocos com a lógica do EVC.

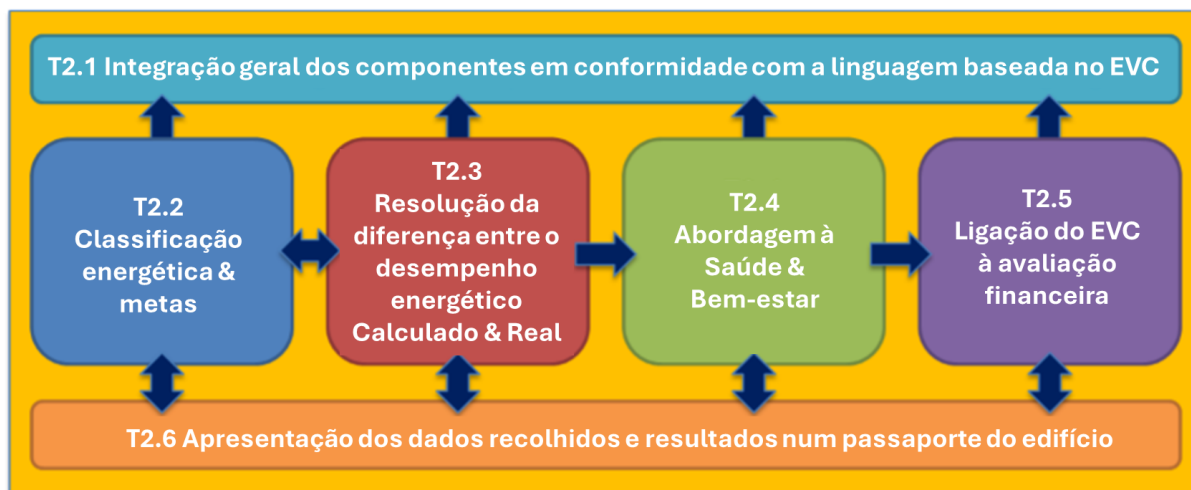


Figura 13- Diagrama de síntese da estrutura lógica do ALDREN [32]

Nas secções seguintes apresentam-se com maior detalhe, os principais componentes da metodologia, incluindo a sua lógica interna, objetivos operacionais, ferramentas desenvolvidas e a sua respetiva aplicação prática no contexto do caso de estudo.

4.3.1. SISTEMA HARMONIZADO DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO (EVC)

O Certificado Europeu Voluntário (EVC) proposto pelo ALDREN constitui o núcleo de um sistema harmonizado de avaliação do desempenho energético de edifícios, alinhado com o Esquema Voluntário Comum previsto no artigo 11(9) da EPBD. Trata-se de um certificado complementar aos certificados energéticos nacionais, de adesão voluntária, que fornece uma síntese padronizada do desempenho atual do edifício e recomendações de melhoria rumo ao nível NZEB[17].

O EVC visa criar uma métrica comparável e transparente à escala europeia, superando as discrepâncias entre metodologias nacionais e aumentando a confiança dos investidores em renovações profundas [33]. Para tal, baseia-se em normas europeias recentes (CEN/ISO), desenvolvidas no âmbito do Mandato M/480, e numa metodologia de cálculo harmonizada, que contempla:

- Simulação dinâmica horária detalhada [34];
- Consideração das condições climáticas reais do local [34];
- Inclusão do desempenho real dos sistemas técnicos e da envolvente térmica [34];
- Utilização de perfis de utilização padronizados representativos da ocupação média de longo prazo [34].

Essas boas práticas permitem obter resultados de cálculo mais próximos do consumo real do edifício, conferindo maior fiabilidade à classificação atribuída.

A classificação energética no EVC é apresentada numa escala comum de A a G, definida com base no consumo de energia primária não renovável. Foram estabelecidos valores de referência específicos para edifícios de escritórios e hotéis, ajustados por clima (três zonas climáticas europeias), tendo como ancoragem o nível de custo ótimo de energia para cada tipo de edifício [35].

As Tabela 13 e Tabela 14 apresentam os limiares definidos para cada tipo de edifício e zona climática, permitindo posicionar o desempenho do edifício num referencial europeu unificado, em vez de *benchmarks* nacionais díspares.

Tabela 13- Valores de referência em kWh/(m²·ano) (ALDREN REF) e metas NZEB definidos para escritórios, por zona climática [36]

Zona climática	ALDREN REF	ALDREN NZEB
Quente	70	25
Moderada	130	46
Fria	170	60

Tabela 14- Valores de referência em kWh/(m²·ano) (ALDREN REF) e metas NZEB definidos para hotéis, por zona climática [36]

Zona climática	ALDREN REF	ALDREN NZEB
Quente	200	70
Moderada	270	95
Fria	310	109

Importante salientar que a obtenção da classe “A” no EVC não é, por si só, sinónimo automático de um edifício NZEB. O ALDREN introduz um conjunto adicional de indicadores de excelência energética, o que configura uma verdadeira “corrida de obstáculos até ao NZEB”, exigindo o cumprimento de requisitos suplementares [34].

A distinção entre edifícios que apenas cumprem os requisitos básicos e os que atingem efetivamente os critérios de excelência NZEB é comunicada através de duas versões do certificado: o EVC “standard” e o EVC “green” [35].

A Figura 14 mostra o modelo gráfico das páginas de capa do EVC, nas suas duas variantes:

- A versão “*standard*”, atribuída a edifícios com bom desempenho energético;
- A versão “*green*”, reservada a edifícios que cumprem integralmente os critérios NZEB definidos pelo ALDREN.

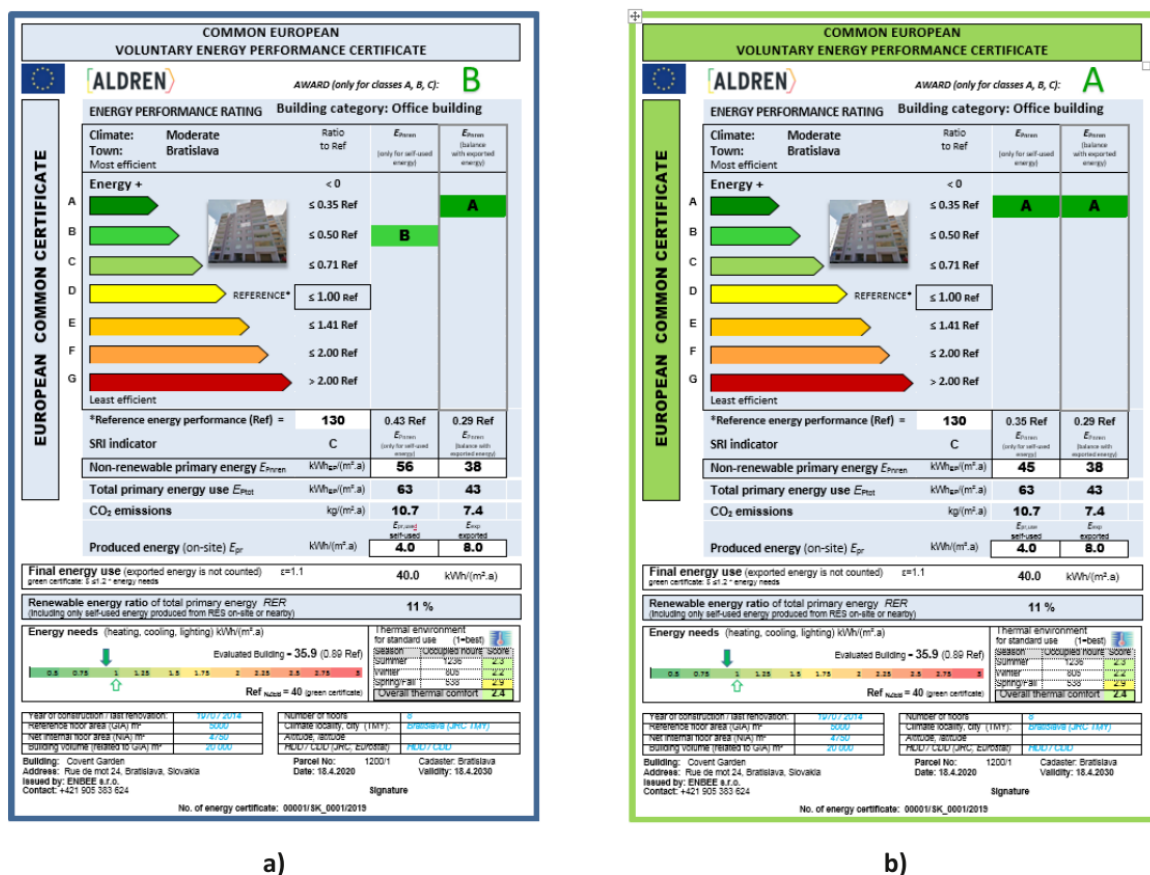


Figura 14- Página de capa do Certificado Europeu Voluntário ALDREN: (a) versão “standard”; (b) versão “green” [34]

O conteúdo do EVC abrange todos os indicadores-chave de desempenho (consumo de energia primária, contributo renovável, emissões, etc.) e inclui uma lista resumida de medidas de renovação recomendadas para melhorar a classe energética rumo ao NZEB[17]. Estas recomendações funcionam como ponte para um plano mais detalhado incluído no Passaporte de Renovação.

Adicionalmente, o ALDREN propõe uma extensão do certificado, designada EVC+, que agrega novas secções relativas:

- Ao desempenho energético medido (com base em consumos reais monitorizados);
- À qualidade ambiental interior, com base no índice TAIL;
- Aos impactos financeiros associados às ações de renovação.

Deste modo, o EVC+ fornece uma visão integrada do edifício, contemplando energia, conforto e valorização económica, tanto antes como após a renovação. Esta abordagem vai além do que é usualmente contemplado nos EPC nacionais obrigatórios.

É importante salientar que o EVC ALDREN não concorre com os certificados nacionais obrigatórios, mas funciona como complemento e incentivo à renovação profunda em contexto voluntário [34]. Enquanto os EPCs nacionais comparam o edifício face ao parque edificativo nacional e servem propósitos regulatórios, o EVC procura informar decisões de investimento com maior rigor e ambição técnica [34].

A Tabela 15, adaptada de [34], exemplifica a aplicação da escala ALDREN num edifício piloto na Eslováquia, evidenciando não só o seu nível de exigência superior em comparação com a escala nacional do certificado energético, mas também a sua capacidade de refletir melhorias graduais no desempenho energético ao longo das diferentes etapas de renovação

Tabela 15- Comparação das classes energéticas alcançadas num edifício piloto na escala EVC ALDREN e na escala EPC nacional obrigatório [34]

Etapas	Original (como construído)	Atual (parcialmente renovado)	Renovação profunda 1	Renovação profunda 2 (aquecimento urbano)
PE não renovável (sem sistema fotovoltaico)	174.3	164.6	59.2	71.4
PE não renovável (apenas autoconsumo do sistema fotovoltaico)	174.3	164.6	47.8	59.6
PE não renovável (exportação do sistema fotovoltaico)	174.3	164.6	43.8	56.1

PE- Energia Primária

Poupanças	-	5.6%	73.4%	65.9%
-----------	---	------	-------	-------

Etapas	Original (como construído)	Atual (parcialmente renovado)	Renovação profunda 1	Renovação profunda 2 (aquecimento urbano)
Classe energética ALDREN (sem sistema fotovoltaico)	E	E	B	C
Classe energética ALDREN (apenas autoconsumo do sistema fotovoltaico)	E	E	A	B
Classe energética ALDREN (exportação do sistema fotovoltaico)	E	E	A	B

NZEB ALDREN (Classe A): 46

Classe oficial do CE (2020)	Original (como construído)	Atual (parcialmente renovado)	Renovação profunda 1	Renovação profunda 2 (aquecimento urbano)
Classe oficial do CE (2020) (Sem sistema fotovoltaico)	B	B	A0	A1
Classe oficial do CE (2020) (apenas autoconsumo do sistema fotovoltaico)	B	B	A0	A0
Classe oficial do CE (2020) (exportação do sistema fotovoltaico)	B	B	A0	A0

Classe NZEB oficial (A0): 61

Em síntese, o sistema harmonizado de avaliação energética do ALDREN, materializado pelo EVC e a sua versão expandida EVC+, oferece uma “linguagem comum” de desempenho energético na UE, contribuindo para uma maior transparência para proprietários e investidores e tornando mais robusta a fundamentação técnica e financeira de projetos de renovação [34].

4.3.2. PROTOCOLO DE VERIFICAÇÃO DE DESEMPENHO (FECHO DO GAP CALCULADO—MEDIDO)

Um dos elementos diferenciadores da metodologia ALDREN é o protocolo de Verificação do desempenho (*Performance Verification*), concebido especificamente para mitigar o desvio entre o desempenho energético calculado e o desempenho realmente medido após a renovação (*Performance Gap*). Reconhece-se que frequentemente existe uma diferença significativa entre o desempenho previsto em projeto (ou indicado num certificado) e os consumos reais do edifício em utilização, devido a fatores como padrões de uso diferentes dos previstos, falhas de execução ou sistemas ineficientes [36]. Este desvio pode levar ao descrédito dos certificados energéticos enquanto indicadores confiáveis de eficiência energética dos edifícios [36].

A Figura 15 ilustra o fenómeno de "performance gap" associado aos certificados energéticos convencionais, evidenciando que muitas vezes não existe uma correlação direta entre a intensidade energética real dos edifícios e a respetiva classe EPC atribuída [36]. Este cenário compromete a fiabilidade dos certificados enquanto referência no mercado imobiliário, dado que edifícios classificados com notas supostamente mais eficientes (por exemplo, classes B ou C) podem apresentar consumos reais superiores aos de edifícios em classes inferiores (E ou F).

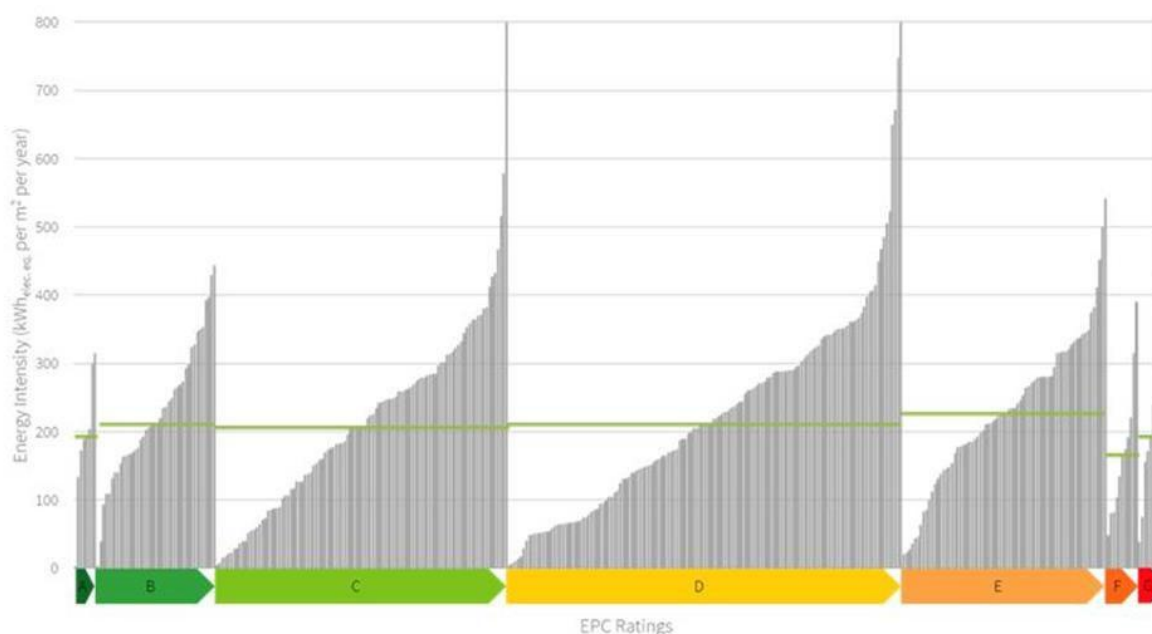


Figura 15- Exemplo de inexistência de correlação direta entre intensidade energética real e a classificação EPC de edifícios [36]

Para ultrapassar este problema, a ALDREN adota a filosofia *Design for Performance*, inspirada em abordagens pioneiras como o sistema australiano NABERS. Esta filosofia integra, desde a fase de projeto até à fase de operação pós-renovação, um conjunto articulado de ações que visam assegurar que as

poupanças energéticas previstas se concretizem efetivamente [37]. Na prática, o desempenho previsto na fase de conceção da renovação é validado por medições ao longo do primeiro ano de utilização do edifício renovado, permitindo aferir se as metas definidas foram efetivamente alcançadas [37]. Esta verificação confere maior confiança a investidores, promotores e proprietários quanto ao desempenho futuro do edifício renovado, reduzindo o risco de desvios negativos (*underperformance*) e aumentando a atratividade de investimentos em renovações profundas [37].

A Figura 16, adaptada de [36], apresenta detalhadamente as etapas metodológicas do protocolo de verificação de desempenho da ALDREN, organizado em cinco fases principais claramente definidas com o Plano de Trabalho da RIBA:

- *Decision (Set Requirements)* – Definição rigorosa dos requisitos e objetivos energéticos;
- *Develop Design* – Desenvolvimento preliminar das soluções de renovação;
- *Detailed Design* – Projeto detalhado e validação técnica das soluções selecionadas;
- *Works* – Execução das obras e verificação de conformidade com o projeto;
- *In use* – Monitorização e verificação contínua durante a fase de operação.

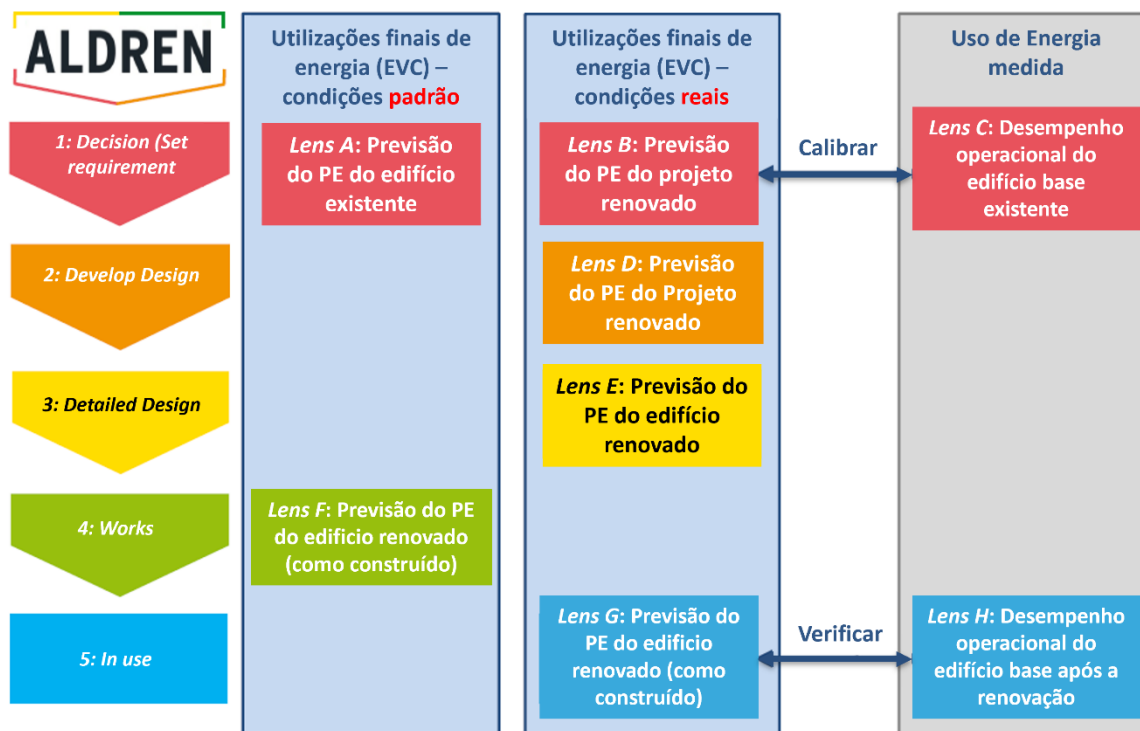


Figura 16- Etapas do protocolo de verificação do desempenho energético, segundo a metodologia ALDREN, organizadas segundo o modelo RIBA [36]

A primeira etapa consiste na determinação do desempenho energético do edifício antes da renovação, combinando três análises complementares:

- *Lens A* – Simulação do desempenho energético em condições normativas padrão, com base em condições convencionados (ocupação típica, clima normalizado), correspondendo ao cálculo tradicional do EVC [36];

- *Lens B* – Simulação do desempenho em condições reais de operação, integrando dados sobre ocupação, horários de uso, condições climáticas locais e perfis de funcionamento dos sistemas técnicos [32];
- *Lens C* – Levantamento do consumo energético medido real, preferencialmente com dados mensais e subcontagem por uso (iluminação, climatização, etc.) [32].

Com o modelo calibrado do edifício existente, avança-se para o planeamento das medidas de renovação. Estas são discutidas com o dono de obra e podem incluir melhorias na envolvente térmica, sistemas técnicos e sistemas de controlo.

- *Lens D/E* – Simulação do desempenho energético do edifício renovado, em duas fases distintas: (1) durante a conceção e (2) após ajustes finais no projeto[36];
- *Lens F* – Cálculo do desempenho padronizado do edifício renovado (em condições normativas), para efeitos de classificação final no certificado EVC [36].

Durante as obras e o comissionamento, o protocolo ALDREN prevê ações de garantia da qualidade, incluindo:

- Verificação de coerência entre o projeto e a execução (*as-built*) [36];
- Correção de eventuais desvios que prejudiquem a meta energética [36];
- Adequada configuração dos sistemas de gestão técnica (*Building Management Systems – BMS*) [36];
- Instalação de subcontadores conforme especificado em projeto [36].

Estas medidas visam garantir que o edifício construído corresponde ao que foi modelado e que medições futuras sejam possíveis e fiáveis.

Iniciado o período de operação do edifício renovado, entra-se na fase “*In Use*” do protocolo:

- *Lens G* – Simulação do edifício renovado, tal como construído e operado, em condições reais [36];
- *Lens H* – Medição real dos consumos energéticos do edifício ao longo do primeiro ano de operação, com discriminação mensal e por uso final [36].

A comparação entre as *Lens G* e *H* permite realizar a etapa final de verificação do desempenho energético, identificando desvios, causas e possíveis correções. Este processo encerra na determinação do consumo real do edifício renovado, corrigido e normalizado para condições padrão.[36] Este valor é utilizado para atualizar a classe energética no EVC pós-renovação, demonstrando se a meta projetada foi efetivamente atingida.

A Figura 17, adaptada de [36], apresenta a comparação entre o consumo energético previsto (simulado) e o medido durante o primeiro ano de operação, tanto para usos finais elétricos como não-elétricos. Estes resultados, extraídos da fase “*In Use*” do protocolo ALDREN, ilustram de forma prática o fenómeno da “*performance gap*” e reforçam a importância de uma verificação sistemática do desempenho pós-renovação.

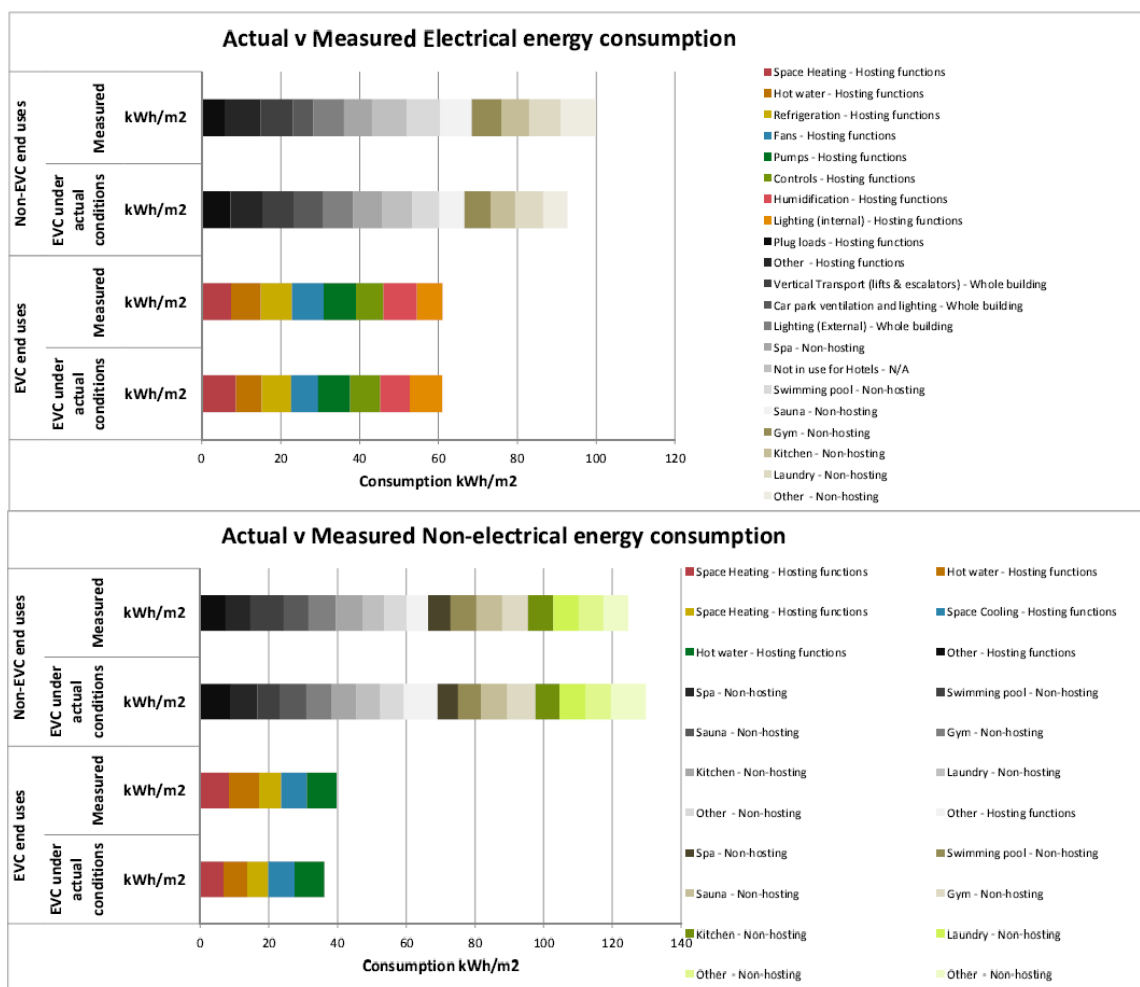


Figura 17- Exemplo de comparação entre consumo energético previsto e medido após renovação, em usos finais elétricos e não-elétricos [36]

A seguinte Tabela 16, adaptada de [36], apresenta as tarefas do protocolo ALDREN organizadas segundo as cinco fases principais do Plano de Trabalho da RIBA. Cada tarefa é classificada como obrigatória ou opcional, permitindo certa flexibilidade de implementação, de acordo com a tipologia do edifício, orçamento disponível e nível de exigência pretendido.

Estas tarefas abrangem desde a simulação energética inicial do edifício existente (*Lens A e B*), passando pela definição e modelação do projeto de renovação (*Lens D, E, F*), até à medição e verificação final do desempenho real após a intervenção (*Lens G e H*).

O protocolo inclui ainda tarefas específicas para a calibração de modelos, instalação de subcontadores, comissionamento técnico e aplicação de ferramentas como o método europeu QUANTUM (verificação da qualidade e desempenho operacional dos edifícios) ou DesOps (*Design for Operational Performance*), promovendo uma abordagem baseada em dados reais e validação empírica [36].

Tabela 16- Quadro de tarefas do protocolo ALDREN organizadas por fase e nível de obrigatoriedade [36]

Etapa principal	Tarefa	Obrigatório / Opcional	Tarefa do Protocolo ALDREN
<i>Decision (Set Requirements)</i>	0	Obrigatório	Obter compromisso das partes interessadas para participação no processo ALDREN
	1	Obrigatório	Simulação do edifício: Classificação do ativo e previsão do uso de energia em condições reais (LENS A, B)
	2	Opcional	Auditoria energética do edifício (LENS C)
<i>Develop Design</i>	3	Obrigatório	Calibração do modelo do edifício existente para corresponder ao desempenho medido
	4	Obrigatório	Decidir a lista de melhorias no edifício (envolvente, equipamentos, controlo)
	5	Obrigatório	Cálculo na fase de conceção da classificação do ativo para o edifício renovado em condições padrão (LENS D)
	6a	Escolher entre/ ambas 6a ou 6b	Modelação dinâmica para simular a conceção do edifício e do sistema AVAC (LENS D)
	6b	Escolher entre/ ambas 6a ou 6b	Decidir os pontos de dados a testar pela bancada de testes QUANTUM e garantir a mensurabilidade (criação do DesOps)
	7	Obrigatório	Definir a meta de desempenho operacional do edifício base e incluir na documentação contratual
	8	Obrigatório	Revisão independente da conceção para confirmar o rigor da modelação (ou revisão da eficiência das propostas QUANTUM)
	9a	Escolher entre/ ambas 9a ou 9b	Projeto final incluindo plano de validação (disposição de contadores e metas) e DesOps preliminar
<i>Detailed Design</i>	9b	Escolher entre/ ambas 9a ou 9b	Aplicação dos testes QUANTUM no projeto
	10	Obrigatório	Revisão do DesOps durante a fase de construção
<i>Works</i>	11	Obrigatório	Justificar a classificação perante propostas de engenharia de valor
	12a	Escolher entre/ ambas 12a ou 12b	Entrega, comissionamento e afinação intensiva na fase inicial de operação – DesOps finalizado
	12b	Escolher entre/ ambas 12a ou 12b	Entrega, comissionamento e aplicação dos testes QUANTUM – DesOps finalizado
	13	Obrigatório	Cálculo da classificação do ativo após conclusão da renovação em condições padrão (LENS E)
	14	Obrigatório	Monitorizar o desempenho medido face ao previsto em condições reais
<i>In use</i>	15	Obrigatório	Diagnosticar e implementar melhorias (LENS G)
	16a	Escolher entre/ ambas 12a ou 12b	Simulação avançada do desempenho previsto após um ano de operação em condições reais (LENS F)
	16b	Escolher entre/ ambas 12a ou 12b	Previsão do desempenho energético após um ano de operação em condições reais (via QUANTUM)
	17	Obrigatório	Comparar energia medida com os cálculos em várias resoluções (LENS F vs LENS G)

Em síntese, o protocolo de verificação do desempenho ALDREN implementa um ciclo completo de medição e calibração, antes e depois da renovação, de modo a eliminar o fosso entre teoria e prática. Como resultado, espera-se uma maior confiabilidade nos certificados energéticos e nas previsões de poupança, o que por sua vez promove um maior investimento [37]. Este foco no desempenho real distingue a metodologia ALDREN de abordagens tradicionais e representa uma evolução na garantia de qualidade das renovações energéticas, podendo inspirar futuras políticas que valorizem o desempenho energético real e não apenas o calculado em projeto.

4.3.3. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR (ÍNDICE ALDREN-TAIL)

Para assegurar que as renovações energéticas profundas não comprometam o conforto e a saúde dos ocupantes, a ALDREN desenvolveu um índice integrado de Qualidade do Ambiente Interior designado ALDREN-TAIL. O acrónimo TAIL representa os quatro domínios principais que influenciam diretamente o ambiente interior: Térmico (T), Acústico (A), Qualidade do Ar Interior (I) e Luminoso (L) [31].

O índice TAIL oferece uma avaliação global da qualidade ambiental interna dos edifícios, antes e após a renovação energética, permitindo verificar se a reabilitação, além de energeticamente eficiente, vem acompanhada de níveis adequados de conforto e bem-estar. Trata-se de um conceito inovador, pois até então não existia um índice único que integrasse todos estes aspetos de IEQ (*Indoor Environmental Quality*) num só indicador [38].

A lógica do TAIL parte do reconhecimento de que renovações profundas, ao intervirem no isolamento térmico, estanqueidade do ar, sistemas de ventilação e iluminação, inevitavelmente influenciam o ambiente interior[38]. Por exemplo, uma melhoria na envolvente térmica pode reduzir desconfortos térmicos, mas uma maior estanqueidade pode prejudicar a renovação de ar se não forem previstos ventiladores adequados. Da mesma forma, a substituição de janelas pode melhorar o isolamento acústico, mas também reduzir a luz natural. Assim, o ALDREN recomenda avaliar explicitamente estes fatores em paralelo com a energia, de forma padronizada, através do índice TAIL.

O índice ALDREN-TAIL é constituído por 12 parâmetros quantificáveis que caracterizam os quatro componentes de IEQ (T, A, I, L). Para cada parâmetro, foram definidos quatro intervalos de qualidade, alinhados com as categorias da norma europeia EN 16798-1:2019 [39]. Essas categorias são usualmente designadas por Categoria I, II, III, IV – onde I indica ambiente interior de alta qualidade, e IV indica qualidade insatisfatória, normalmente inaceitável do ponto de vista de conforto ou saúde [38].

O ALDREN adotou uma representação visual simples como verificado na Tabela 17, utilizando códigos de cor: verde para qualidade elevada (I), amarelo para média (II), laranja para moderada (III) e vermelho para baixa (IV) [38].

Tabela 17- Representação visual do índice ALDREN-TAIL

Categoria	Cor associada	Significado
I	Verde	Qualidade elevada
II	Amarelo	Qualidade média
III	Laranja	Qualidade moderada
IV	Vermelho	Qualidade baixa/inaceitável

Cada um dos quatro componentes TAIL é avaliado individualmente com base nos seus parâmetros específicos e recebe um nível próprio de qualidade (cor). Posteriormente, determina-se o nível global de qualidade ambiental interior do edifício, representado por um único índice TAIL categorizado igualmente de I (verde) até IV (vermelho). É importante referir que, na metodologia ALDREN, o nível global é determinado pelo pior desempenho entre os quatro componentes (princípio da não compensação) [39]. Ou seja, para obter um TAIL global de nível I, é necessário que todos os quatro domínios (T, A, I, L) estejam nesse nível. Se algum dos domínios apresentar um desempenho inferior (por exemplo, acústica moderada), o índice global será limitado por esse fator. Esta regra do “mínimo denominador” cria incentivos à melhoria equilibrada de todas as vertentes do ambiente interior e evitar que se negligencie uma delas em prol de outra [39].

A Figura 18 [38], ilustra graficamente o índice ALDREN-TAIL, evidenciando como o resultado global final é influenciado pelo domínio com o desempenho mais fraco.

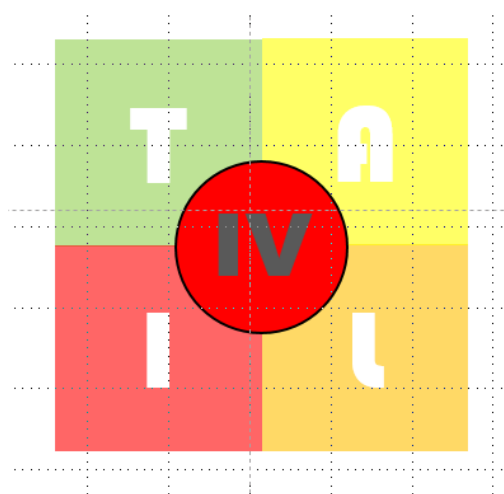


Figura 18- Representação gráfica do índice ALDREN-TAIL, exemplificando uma classificação global [38]

Os parâmetros específicos do índice TAIL foram definidos com base numa revisão abrangente das normas europeias, sistemas de certificação ambiental e *Frameworks* reconhecidos (por exemplo, EN, Level(s), BREEAM, WELL, HQE), escolhendo indicadores comprovadamente relevantes para o conforto e a saúde dos ocupantes [38].

Os parâmetros medidos e critérios de categorização para cada um dos quatro domínios do TAIL são resumidos a seguir, conforme detalhados nos anexos técnicos do protocolo ALDREN.

4.3.3.1. Protocolo

Para aplicação prática, o ALDREN estabeleceu um protocolo de avaliação TAIL detalhado, que indica de forma clara quando, onde e como medir cada parâmetro, bem como as condições para complementar essas medidas com modelação ou inspeção visual sempre que necessário [38].

A avaliação TAIL deve ser realizada antes e depois da renovação energética, preferencialmente em duas estações do ano distintas (verão e inverno). Quando isso não for possível, deve-se garantir pelo menos uma estação idêntica nas duas fases [38].

O processo de medição decorre em quatro fases distintas, organizadas cronologicamente conforme detalhado na Tabela 18, adaptado de [38].

Tabela 18- Fases do protocolo TAIL para medição da IEQ [38]

Fase	Atividade
Preparação	Reunião com gestor do edifício, levantamento de documentação, visita técnica
Dia 1	Instalação de dispositivos de medição (temperatura, CO ₂ , ruído, iluminação, etc.)
Dia 8	Recolha de amostras passivas e dados dos sensores (partículas, ruído, etc.)
Dia 30	Recolha dos sensores de longa duração

Este processo permite captar a variabilidade temporal e o comportamento real do edifício em uso normal. Os critérios para seleção de salas e locais de medição é realizado em salas representativas (escritórios ou quartos de hotel), com foco em:

- Diferentes andares do edifício;
- Diferentes orientações solares;
- Diversidade de sistemas (AVAC, janelas, sombreamento);
- Diferentes tipologias construtivas.

É sugerido que os pontos de medição abranjam pelo menos 10% da área útil do edifício [38].

Quanto à localização dos sensores, devem ser abordados os seguintes critérios:

- Os sensores devem estar no centro da sala, a uma altura representativa do trato respiratório;
- Evitar proximidade de janelas, radiadores ou condutas de ventilação;
- Presença de bolores ou humidade visível deve ser identificada por inspeção visual, realizada por um técnico qualificado [38].

Sempre que não for viável realizar medições completas, podem ser utilizadas simulações computacionais para estimar os seguintes parâmetros:

- Temperatura;
- Humidade relativa;
- CO₂;
- Fator de luz natural (Daylight Factor).

Estas simulações devem usar modelos fiáveis e bem documentados, com dados de entrada baseados em plantas, materiais e especificações reais do edifício [38].

A aplicação prática deste protocolo em fase de pré e pós-renovação fornece um instrumento essencial para avaliar o impacto real das medidas implementadas na qualidade do ambiente interior e no bem-estar dos ocupantes.

4.3.3.2. Térmico (T)

O parâmetro térmico do índice TAIL tem como objetivo avaliar o nível de conforto térmico no interior dos edifícios, em função da temperatura operativa medida ou simulada em condições reais de utilização [38].

A avaliação térmica requer a recolha de dados referentes à temperatura do ar interior nas diferentes estações do ano, quer por medição in situ, quer por modelação energética. A Tabela 19, adaptado de [38], resume os parâmetros a considerar, bem como o método de recolha previsto para cada um.

Tabela 19- Parâmetros térmicos a medir e/ou modelar [38]

Parâmetro	Medido	Modelado
Temperatura do ar interior na estação de aquecimento (°C)	✓	✓
Temperatura do ar interior na estação de arrefecimento (°C)	✓	✓
Temperatura do ar interior nas estações intermédias (°C)	✓	✓

Fontes normativas/certificações: EN 16798, Level(s), HQE, LiderA, NABERS, CASBEE

A Tabela 20 adaptada de [38], apresenta os intervalos de temperatura estabelecidos para edifícios com e sem arrefecimento mecânico, distinguindo as condições de inverno (aquecimento) e verão (arrefecimento). Nos edifícios com climatização ativa, aplicam-se valores fixos centrados em temperaturas de referência, definidos com base em condições-padrão de ocupação (atividade de escritório sedentária) e em níveis térmicos representados pelo valor de clo. Este parâmetro, que expressa a resistência térmica do vestuário, é tipicamente assumido como clo = 1.0 no inverno (vestuário mais quente) e clo = 0.5 no verão (vestuário leve), influenciando diretamente a perceção de conforto térmico. Em edifícios sem climatização mecânica, utiliza-se o modelo adaptativo de conforto térmico conforme a EN 16798, onde os limites são calculados com base na temperatura exterior média recente [38].

Tabela 20- Limites de temperatura operativa com e sem arrefecimento mecânico [38]

Ambiente Térmico	
Parâmetro	Critérios de avaliação
	Durante o período de ocupação (horário laboral em escritórios e qualquer hora ocupada em hotéis), a temperatura deve situar-se dentro dos intervalos definidos.
	Edifícios com climatização mecânica
	Estação de aquecimento (clo = 1.0, trabalho de escritório, HR = 50%):
	• Categoria I: 22 ±1°C • Categoria II: 22 ±2°C • Categoria III: 22 ±3°C • Categoria IV: Todos os restantes valores
	Estação de arrefecimento (clo = 0.5, trabalho de escritório, HR = 50%):
Temperatura do ar (°C)	• Categoria I: 24.5 ±1°C • Categoria II: 24.5 ±1.5°C • Categoria III: 24.5 ±2.5°C • Categoria IV: Todos os restantes valores
	Edifícios sem climatização mecânica
	Estação de aquecimento (clo = 1.0, HR = 50%):
	• Categoria I: 22 ±1°C • Categoria II: 22 ±2°C • Categoria III: 22 ±3°C • Categoria IV: Todos os restantes valores
	Estação de arrefecimento: A temperatura operativa (Θ _o) depende da temperatura média exterior (Θ _{rm}), segundo os seguintes limites:

-
- Categoria I:
 - Limite superior: $\Theta_o = 0.33\Theta_{rm} + 18.8 + 2$
 - Limite inferior: $\Theta_o = 0.33\Theta_{rm} + 18.8 - 2$
 - Categoria II:
 - Limite superior: $\Theta_o = 0.33\Theta_{rm} + 18.8 + 3$
 - Limite inferior: $\Theta_o = 0.33\Theta_{rm} + 18.8 - 3$
 - Categoria III:
 - Limite superior: $\Theta_o = 0.33\Theta_{rm} + 18.8 + 4$
 - Limite inferior: $\Theta_o = 0.33\Theta_{rm} + 18.8 - 4$
 - Categoria IV:
 - Limite superior: $\Theta_o = 0.33\Theta_{rm} + 18.8 + 5$
 - Limite inferior: $\Theta_o = 0.33\Theta_{rm} + 18.8 - 5$
 - (Todas as outras condições fora dos limites anteriores)

Notas:

Categoria Levels(s) permite outra abordagem:

- Categoria I: $\pm 2^\circ\text{C}$
 - Categoria II: $\pm 3^\circ\text{C}$
 - Categoria III: $\pm 4^\circ\text{C}$
 - Categoria IV: não definido
-

De acordo com o protocolo, as medições da temperatura interior devem ser realizadas com *data loggers* calibrados, com uma precisão mínima de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Os sensores devem ser instalados:

- A uma altura entre 1,1 m e 1,7 m (zona de respiração);
- Afastados de janelas, portas, radiadores ou difusores de ar;
- Num total de salas representativas do edifício, selecionadas por orientação solar, ocupação e tipologia de uso.

O intervalo de registo recomendado é de 1 a 10 minutos, durante um período mínimo de uma semana por estação (inverno e verão).

O período de análise deve ser restrito às horas efetivas de ocupação, nomeadamente:

- Escritórios: 9h00–17h00, dias úteis;
- Hotéis: 0h00–6h00 (ou período noturno ocupado)

Em edifícios onde se aplique o modelo adaptativo, é essencial recolher ou consultar a temperatura exterior média diária (Θ_{rm}), obtida pela estação meteorológica local ou sensor próprio.

4.3.3.3. Acústico (A)

O parâmetro acústico do índice TAIL tem como objetivo avaliar o nível de ruído de fundo nos espaços interiores, causado por sistemas técnicos e pela envolvente construtiva, em situações de ocupação normal. Trata-se de um fator crítico para o conforto dos utilizadores, especialmente em ambientes onde o silêncio e a concentração são determinantes.

A metodologia ALDREN adota como indicador principal o nível sonoro contínuo equivalente ponderado (A), medido em decibéis [dB(A)], em condições controladas e espaços desocupados [38]. A Tabela 21, adaptada de [38] identifica o parâmetro acústico relevante e o respetivo método de recolha.

Tabela 21- Parâmetro acústico a medir e/ou modelar [38]

Parâmetro	Medido	Modelado
Nível de ruído (dB(A))	✓	
Fontes normativas/certificações: EN 16798, HQE, BREEAM, OsmoZ, KLIMA, IVE, LEED, WELL, NABERS		

A Tabela 22, adaptada de [38], apresenta os critérios de classificação acústica por tipologia de espaço, com base nos limiares de ruído recomendados por normas internacionais. Estes limites são aplicáveis durante o horário laboral em escritórios e nos períodos de vigília e repouso em hotéis [38].

Tabela 22- Critérios de classificação acústica [38]

Parâmetro	Critérios para a classificação
	Nível de ruído (Leq,Tr,A) em espaços desocupados durante o horário de trabalho em escritórios e durante o período de vigília e de repouso em hotéis.
	Escritórios pequenos • Categoria I: < 30 dB(A) • Categoria II: < 35 dB(A) • Categoria III: < 40 dB(A)
Nível de ruído (proveniente de equipamentos instalados)	Escritórios abertos (landscape offices) • Categoria I: < 35 db(a) • Categoria II: < 40 db(a) • Categoria III: < 45 db(a)
	Quartos de hotel • Categoria I: < 25 dB(A) • Categoria II: < 30 dB(A) • Categoria III: < 35 dB(A)

Estes limites baseiam-se em normas de conforto acústico interiores e são particularmente focados no ruído gerado por equipamentos (ventilação, AVAC, eletrodomésticos) ou infiltração sonora exterior, durante horas típicas de ocupação (horário laboral para escritórios; dia e noite para hotéis, considerando o repouso dos hóspedes). A medição é realizada com o edifício desocupado, para isolar o ruído intrínseco do edifício e permitir comparações fiáveis antes e após a renovação [38].

A classificação final resulta então do confronto dos níveis medidos com os limiares das categorias acima, devendo cumprir os valores-limite da categoria atribuída.

As medições devem ser efetuadas com sensores de ruído ou sonómetros integradores, com precisão mínima de ± 1 dB(A). As condições de recolha devem garantir que se regista apenas o ruído de fundo técnico, excluindo o ruído gerado por pessoas. Por exemplo, à noite nos escritórios ou em horários de limpeza nos hotéis. O protocolo sugere monitorizar por 5 dias (segunda a sexta) em escritórios e 7 dias contínuos em hotéis, com registos a cada 1 minuto [38].

Durante a análise, calculam-se os níveis equivalentes contínuos (Leq) e contabiliza-se o tempo (ou fração de tempo) em que os níveis excedem os critérios de cada categoria. Devem ser garantidas condições

representativas de funcionamento dos equipamentos técnicos (AVAC, impressoras, etc.). Em alguns casos, podem ser necessárias medições complementares com equipamentos desligados, de modo a isolar as fontes de ruído fixas. Cada sala recebe a categoria do pior valor registado que persista (semelhante à lógica de percentil usada noutros parâmetros) [38].

4.3.3.4. Ar Interior (I)

Este é o domínio mais extenso do índice, englobando parâmetros de conforto (CO₂, taxa de ventilação) e poluentes químicos e biológicos com impacto na saúde.

A Tabela 23, adaptada de [38], apresenta os parâmetros exigidos para avaliação da qualidade do ar, bem como a indicação sobre se devem ser medidos diretamente ou modelados por simulação.

Tabela 23- Parâmetros da Qualidade do Ar Interior a medir e/ou modelar [38]

Parâmetro	Medido	Modelado
Dióxido de carbono – CO ₂ (ppm)	✓	✓
Taxa de ventilação (L/s)	✓	✓
Formaldeído (µg/m ³)	✓	
Benzeno (µg/m ³)	✓	
Partículas PM2.5 (µg/m ³)	✓	
Radão (Bq/m ³) – apenas em zonas críticas	✓	
Humidade relativa do ar interior (%)	✓	✓
Mofo visível (cm ²) – inspeção visual	✓	–

A seguir, são apresentadas individualmente as tabelas de critérios de avaliação por parâmetro, cada uma antecedida por uma breve explicação sobre a sua relevância, o enquadramento normativo e a metodologia de medição, conforme descrito no protocolo ALDREN. Estas tabelas não foram adaptadas, mantendo-se fiéis ao conteúdo original.

- Dióxido de carbono (CO₂): EN 16798, Level(s), LEED, WELL, OsmoZ

O dióxido de carbono (CO₂) é um indicador essencial da qualidade do ar em espaços interiores. A sua concentração reflete a taxa de renovação de ar e o nível de ocupação.

A avaliação é feita com base no excesso de CO₂ no ar interior relativamente ao ar exterior, durante os períodos de ocupação máxima. A concentração exterior pode ser medida localmente ou assumida como 400 ppm por defeito. A Tabela 24, adaptada de [38], apresenta os limiares de classificação definidos no protocolo ALDREN, com base na diferença entre os valores interior e exterior.

Tabela 24- Critérios de classificação do dióxido de carbono (CO₂) [38]

Qualidade do Ar Interior	
Parâmetro	Critérios para a classificação
Dióxido de carbono (CO ₂)	Concentração máxima de CO₂ acima dos níveis exteriores durante a ocupação total. Pode assumir-se uma concentração exterior de referência de 400 ppm ou usar o valor medido. • Categoria I: ≤ 550 ppm • Categoria II: > 550 e ≤ 800 ppm • Categoria III: > 800 e ≤ 1350 ppm • Categoria IV: > 1350 ppm

As medições devem ser efetuadas com sensores NDIR ou FTIR calibrados, com uma precisão mínima de ± 50 ppm. Os sensores devem ser instalados nas salas selecionadas, efetuando registos contínuos com intervalos entre 1 e 10 minutos, durante os mesmos períodos em que é feita a medição da temperatura.

- Em escritórios, a medição deve focar o horário laboral (por exemplo, das 9h às 17h).
- Em hotéis, o foco é no período noturno (0h–6h), quando os quartos estão fechados e ocupados.

É recomendável registar simultaneamente a ocupação real do espaço ou, na ausência desta, considerar períodos-tipo. A concentração de CO₂ no ar exterior deve ser medida, sempre que possível; caso contrário, assume-se o valor de referência de 400 ppm.

Após a recolha dos dados, calcula-se a diferença entre CO₂ interior e exterior e determina-se a percentagem do tempo em que os valores medidos se mantêm dentro de cada limiar. A categoria final é atribuída se, em pelo menos 95% do tempo, a concentração se mantiver abaixo do limite superior da categoria pretendida. Por exemplo, para atingir a Categoria II, é necessário que, em 95% do tempo, a concentração de CO₂ não ultrapasse os 800 ppm acima do valor de referência e que nenhum valor ultrapasse os 1350 ppm.

- Taxa de ventilação: EN 16798

A taxa de ventilação de ar novo é um parâmetro fundamental para garantir a renovação adequada do ar interior. A Tabela 25, adaptada de [38], apresenta os critérios de classificação da taxa de ventilação, com os limiares definidos por caudal de ar exterior por pessoa e por metro quadrado.

Tabela 25- Critérios de classificação da taxa de ventilação [38]

Qualidade do Ar Interior	
Parâmetro	Critérios para a classificação
Taxa de ventilação (renovação de ar exterior)	Valores de projeto para edifícios com baixa poluição (por defeito, caso as emissões não sejam conhecidas), tendo em conta também a densidade de ocupação (m²/pessoa). • Categoria I: 10 L/s/pessoa e 2.0 L/s/m² • Categoria II: 7 L/s/pessoa e 1.4 L/s/m² • Categoria III: 4 L/s/pessoa e 0.8 L/s/m² • Categoria IV: 2.5 L/s/pessoa e 0.6 L/s/m²

As medições da taxa de ventilação devem ser realizadas através de medições instantâneas do caudal de ar em cada grelha de ventilação, utilizando um anemómetro calibrado. Estas medições devem ser efetuadas em duas rondas: uma no início e outra no fim do período de monitorização dos restantes parâmetros, como temperatura e CO₂, com o objetivo de captar possíveis variações.

- Caso as duas medições sejam consistentes, calcula-se a média;
- Em caso de divergência, investigam-se causas (como posição de damper, horários de ventilação) ou realizam-se medições adicionais.

A taxa total de ventilação é obtida somando os caudais medidos por sala e normalizando os valores por número de ocupantes (L/s por pessoa) e por área de pavimento (L/s por m²). Estes valores são depois comparados com os limiares definidos na tabela acima, determinando a categoria de desempenho correspondente [38].

Em edifícios naturalmente ventilados, esta medição não é aplicável. A qualidade da ventilação nesses casos lê-se indiretamente através das medições de CO₂, perceção de odores e eventualmente por ensaios com traçadores de CO₂ [38].

- Humidade relativa do ar: EN 16798, Level(s)

A avaliação da humidade relativa do ar é importante pois valores extremos podem provocar desconforto e problemas de saúde. A Tabela 26, adaptada de [38], apresenta os limiares de classificação da humidade relativa, com base no risco para a saúde e desconforto associado, considerando valores percentuais mínimos ou máximos consoante o contexto de utilização.

Tabela 26- Critérios de classificação da humidade relativa do ar (%) [38]

Qualidade do Ar Interior	
Parâmetro	Critérios para a classificação
Humidade relativa do ar (%)	Avaliação do risco para a saúde em função da humidade relativa, diferenciando entre escritórios e hotéis. Em escritórios (risco de secura ocular): • Categoria I: Sem risco, $\geq 40\%$ • Categoria II: Risco moderado, $\geq 30\%$ e $< 40\%$ • Categoria III: Em risco, $\geq 10\%$ e $< 30\%$ • Categoria IV: Risco elevado, $< 10\%$ Em hotéis (risco devido a ácaros do pó doméstico): • Categoria I: Sem risco, $\leq 50\%$ • Categoria II: Risco moderado, $> 50\%$ e $\leq 60\%$ • Categoria IV: Risco elevado, $> 60\%$ (Não há Categoria III definida neste contexto)

A humidade relativa é, em geral, medida pelo mesmo equipamento utilizado para o registo de temperatura, ou seja, sondas termo-higrométricas com precisão de $\pm 5\%$ RH. O registo deve ser contínuo, com intervalos de 1 a 10 minutos, durante um período mínimo de 1 mês.

Os dados devem ser filtrados pelas mesmas janelas temporais de ocupação utilizadas para os restantes parâmetros. Sempre que possível, devem também ser recolhidos dados de humidade relativa exterior, obtidos na estação meteorológica local, para identificar possíveis influências do ambiente exterior nos níveis registados no interior.

A análise baseia-se na percentagem de tempo em que a HR interior se situa fora dos limiares de cada categoria, com uma tolerância de 5% do tempo para excedências ligeiras em relação aos limites estabelecidos. Por exemplo, num escritório, se mais de 5% do tempo a HR estiver abaixo de 30%, a categoria desce para III.

- Formaldeído: WHO Guidelines, HQE, WELL

O formaldeído (HCHO) é um composto orgânico volátil (COV) frequentemente presente nos ambientes interiores, emitido por mobiliário, materiais derivados de madeira, colas e produtos de limpeza. É classificado como substância cancerígena e pode provocar efeitos adversos à saúde, mesmo em baixas concentrações.

A sua avaliação é feita com base na concentração média de formaldeído no ar interior, medida em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), recolhida por amostragem passiva durante um período padronizado. A Tabela 27, adaptada de [38], apresenta os limiares de classificação por categoria de desempenho [38].

Tabela 27- Critérios de classificação da concentração de formaldeído [38]

Qualidade do Ar Interior	
Parâmetro	Critérios para a classificação
	Concentração no ar interior ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Formaldeído	• Categoria I: $< 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ • Categoria II e III: entre 30 e $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ • Categoria IV: $\geq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$

A medição do formaldeído é efetuada com amostradores passivos, colocados em salas selecionadas. Os dispositivos devem ser suspensos ao centro da sala, entre 1,5 m e 2 m de altura, afastados de superfícies que possam interferir na medição, como colas, madeiras ou paredes. O período de exposição é de 5 dias úteis (segunda a sexta) em escritórios e 7 dias contínuos em Hotéis [38].

Quando aplicável, recomenda-se repetir a medição após a renovação, idealmente na mesma época do ano. A classificação da sala é determinada pela concentração média obtida, e, caso se pretenda um valor global da qualidade química do ar, considera-se a pior categoria entre formaldeído e outros poluentes, como o benzeno [38].

- Benzeno (C_6H_6): WHO Guidelines, HQE, WELL

O benzeno é um composto orgânico volátil (COV) classificado como carcinogénico pela Organização Mundial de Saúde. Pode estar presente em ambientes interiores devido a infiltrações provenientes do exterior ou fontes internas como tintas, colas e alguns materiais de acabamento. A Tabela 28, adaptada de [38], apresenta os limiares de concentração de benzeno no ar interior.

Tabela 28- Critérios de classificação da concentração de benzeno [38]

Qualidade do Ar Interior	
Parâmetro	Critérios para a classificação
Benzeno	Concentração no ar interior ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	• Categoria I: $< 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	• Categoria II e III: entre 2 e $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	• Categoria IV: $\geq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

A medição da concentração de benzeno é realizada através de amostragem passiva, utilizando os mesmos procedimentos e equipamentos utilizados para o formaldeído.

- PM_{2.5}: WHO Guidelines, Level(s), LEED

As partículas finas (PM_{2.5}) são frações de poeiras com diâmetro inferior a 2,5 micrómetros, capazes de penetrar profundamente no sistema respiratório e provocar efeitos adversos significativos à saúde, como doenças cardiovasculares e respiratórias. A Tabela 29, adaptada de [38], apresenta os critérios de avaliação da concentração média no ar interior de PM_{2.5}.

Tabela 29- Critérios de classificação da concentração de partículas finas PM_{2.5} [38]

Qualidade do Ar Interior	
Parâmetro	Critérios para a classificação
Partículas finas PM _{2.5}	Concentração no ar interior ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	• Categoria I: $< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	• Categoria II e III: entre 10 e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	• Categoria IV: $\geq 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Notas adicionais para medições com contadores óticos: podem ser considerados intervalos de tempo mais curtos.
	Em escritórios (média de 8 horas):
	• Categoria I: nunca excede $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	• Categoria II: excede $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 dia por semana
	• Categoria III: excede $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2 ou 3 dias por semana
	• Categoria IV: excede $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 4 ou 5 dias por semana
	Em hotéis (média móvel de 24h):
	• Categoria I: nunca excede $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (limite OMS)
	• Categoria II: excede $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em menos de 10% do tempo semanal

A medição pode ser efetuada por dois métodos, o método gravimétrico, utilizando um amostrador gravimétrico com uma bomba que puxa o ar através de um filtro específico, após o período de amostragem (5 dias úteis em escritórios, 7 dias em hotéis), os filtros são pesados e analisados, e o método ótico, realizado com sensores óticos laser de PM (nephelómetros), que, após calibração, permite registos contínuos. A programação dos equipamentos deve considerar o período representativo de exposição, para

escritórios, o funcionamento durante o horário laboral e para hotéis, uma medição contínua ou adaptada aos períodos típicos de ocupação.

A análise final consiste na comparação dos valores médios e das frequências de excedência com os limiares definidos na tabela, sendo atribuída a categoria correspondente. É recomendável cruzar os resultados com dados de partículas exteriores, de modo a distinguir entre fontes internas e externa.

- Radão: WHO Guidelines, HQE, IVE

O radão é um gás radioativo natural, incolor e inodoro, que pode infiltrar-se nos edifícios a partir do solo, acumulando-se especialmente em caves e pisos térreos. É reconhecido como a segunda principal causa de cancro do pulmão. A sua presença é relevante apenas em zonas geológicas classificadas como críticas ou de risco moderado/alto. A Tabela 30, adaptada de [38], apresenta os limiares de concentração média de radão, medidos durante dois meses, normalmente no inverno.

Tabela 30- Critérios de classificação da concentração de radão [38]

Qualidade do Ar Interior	
Parâmetro	Critérios para a classificação
Concentração de radão (relevante apenas em zonas de risco e em espaços no rés-do-chão)	Concentração média durante 2 meses (Bq/m ³):
	• Categoria I: < 100 Bq/m³ (limite recomendado pela OMS) • Categoria II e III: entre 100 e 300 Bq/m³ • Categoria IV: ≥ 300 Bq/m³

Nos edifícios localizados em zonas de risco de radão, deve ser realizada uma avaliação nos espaços ocupados ao nível do solo ou em caves habitadas. Para tal, utilizam-se dosímetros passivos, que devem ser colocados em locais seguros nas salas do piso térreo, a uma altura representativa da zona de respiração, longe de janelas ou fontes de ventilação direta e permanecer por pelo menos 2 meses contínuos, preferencialmente no inverno [38].

Após a exposição, os dosímetros são enviados para um laboratório, onde são analisados por métodos como a leitura de traços nucleares (*alpha track detectors*). A concentração média medida em Bq/m³ é depois comparada com os limites definidos para cada categoria.

- Bolors: EN 16798, Level(s)

A presença de fungos ou bolors visíveis em superfícies interiores é considerado um indicador de risco sanitário e patologia construtiva. Está frequentemente associada a problemas de humidade, deficiências na ventilação ou falhas na envolvente. A sua presença pode agravar sintomas respiratórios, alergias e asma. A Tabela 31, adaptada de [38], apresenta os critérios de classificação da presença de bolors visíveis, com base na extensão das áreas afetadas, expressa em centímetros quadrados (cm²).

Tabela 31- Critérios de classificação da concentração de bolores visíveis [38]

Qualidade do Ar Interior	
Parâmetro	Critérios para a classificação
Bolores visíveis	Presença de bolores visíveis ou danos por humidade:
	• Categoria I: Sem mofo visível
	• Categoria II: Danos menores por humidade, pequenas áreas com mofo (<400 cm ²)
	• Categoria III: Componentes interiores danificados, áreas maiores com mofo (<2.500 cm ²)
	• Categoria IV: Áreas muito grandes com mofo visível (≥2.500 cm ²)

A avaliação é feita através de inspeção visual técnica, realizada por um profissional qualificado, antes e depois da renovação. Devem ser observadas todas as salas monitorizadas e zonas propensas a humidade. Regista-se fotograficamente e estima-se a área afetada. A sala é classificada de acordo com a maior área de bolor identificada. Após a renovação, repete-se o processo para avaliar a melhoria ou reincidência [38].

4.3.3.5. Iluminação (L)

Na componente iluminação(L), os parâmetros abrangem níveis de iluminação natural e artificial. A Tabela 32, adaptada de [38], apresenta os dois parâmetros avaliados neste domínio, bem como a indicação de se devem ser medidos ou modelados.

Tabela 32- Parâmetros de conforto luminoso a medir e/ou modelar [38]

Parâmetro	Medido	Modelado
Fator de luz natural (%) (Daylight Factor)		✓
Iluminância (lux)	✓	✓

Fontes normativas/certificações: EN 16798-1, BREEAM, HQE, WELL, CASBEE, Level(s)

- Fator de iluminação natural (Daylight Factor, DF):

O fator de luz natural (DF) é um indicador da quantidade de luz natural disponível no interior, comparando-a com a luz exterior. Mede-se em percentagem e permite avaliar o potencial de autonomia luminosa dos espaços, a profundidade de penetração da luz e a necessidade de iluminação artificial.

A Tabela 33, adaptada de [38], apresenta os limiares de classificação do fator de luz natural (DF). conforme definidos no protocolo ALDREN.

Tabela 33- Critérios de classificação do fator de luz natural (DF) [38]

Visual	
Parâmetro	Critérios para classificação
Fator de luz natural	Fator de Luz Natural (DF): • Categoria I: Forte >7% • Categoria II: Médio entre 4% e 7% • Categoria III: Baixo entre 2% e 4% • Categoria IV: Nulo <2%
	Indicador UDI (Useful Daylight Illuminance): Horas com níveis de luz natural insuficientes (<100 lux) e horas com excesso de luz (>2.000 lux) que causam desconforto visual por encadeamento.

- Iluminância interior (lux)

A iluminância refere-se à quantidade de luz que incide sobre uma superfície, medida em lux. A tabela seguinte apresenta os limiares de classificação da iluminância diurna (escritórios e hotéis), baseados na percentagem do tempo em que os valores se mantêm na gama útil de 300–500 lux, e os limites definidos para a iluminância noturna em quartos de hotel, avaliando o impacto da luz exterior durante o período de repouso.

A Tabela 34, adaptada de [38], apresenta os limiares de classificação da iluminância (lux) conforme os valores definidos no protocolo ALDREN.

Tabela 34- Critérios de classificação da iluminância (lux) [38]

Visual	
Parâmetro	Critérios para a classificação
Iluminância (lux)	Escritórios e hotéis durante o dia (9h às 17h): Percentagem do tempo com níveis de iluminância entre 300 e 500 lux na altura do plano de trabalho • Categoria I: 60–100% • Categoria II: 40–60% • Categoria III: 10–40% • Categoria IV: <10%
	Hotéis durante a noite (0h às 6h): Para evitar distúrbios durante o sono • Categoria I: 100% do tempo com <100 lux • Categoria II: 0–50% do tempo com >100 lux • Categoria III: 51–90% do tempo com >100 lux • Categoria IV: ≥90% do tempo com >100 lux

- Fator de luz natural (DF)

O DF é preferencialmente calculado por simulação anual, considerando geometria, orientação e propriedades dos materiais, conforme a EN 15193-1.

- Iluminância

Colocam-se luxímetros portáteis em cinco pontos por sala (centro e cantos), a uma altura de plano de trabalho e medem-se níveis de luz em três períodos do dia (manhã, meio-dia, tarde), durante 2 dias. No

total, são obtidas 30 medições por sala (5 pontos $\times$ 3 períodos $\times$ 2 dias), permitindo avaliar homogeneidade e média. Para a iluminação noturna, usam-se luxímetros logger com registo a cada minuto, colocados em quartos de hotel durante várias noites, para detetar picos de luz e calcular o tempo com valores acima de 100 lux.

Todos os sensores devem ter precisão de ± 3 lux (ou $\pm 3\%$) e resolução mínima de 1 lux. É recomendado medir também a iluminação exterior, para contextualizar os valores obtidos.

4.3.4. INTEGRAÇÃO DE INDICADORES TÉCNICOS E FINANCEIROS NA VALORIZAÇÃO DE ATIVOS

Para promover a renovação profunda dos edifícios, é importante mostrar como as melhorias no desempenho energético e na qualidade do ambiente interior podem traduzir-se em valor económico real para os proprietários e investidores [31]. Este capítulo explora essa integração, com foco na metodologia proposta pelo projeto europeu ALDREN, que desenvolveu um quadro voluntário para ligar o desempenho técnico à valorização financeira de edifícios. Detalha-se a identificação dos principais indicadores técnicos e financeiros, a abordagem do ALDREN para os calcular e incorporar no *Building Renovation Passport*.

4.3.4.1. Indicadores de Desempenho Técnico

A valorização de um ativo imobiliário deve considerar indicadores de desempenho técnico que caracterizam a qualidade do próprio edifício. No contexto de reabilitação energética, destacam-se sobretudo: desempenho energético, conforto e qualidade do ambiente interior, além de outras condições técnicas do edifício, todas elas já abordadas em capítulos anteriores. Os indicadores técnicos fornecem a base sobre o edifício – quão eficiente, confortável e bem gerido ele é [40]. No entanto, para efeitos de valorização de ativos, esses dados precisam ser traduzidos em impactos económicos: custos, lucros e riscos para o proprietário ou investidor.

4.3.4.2. Indicadores Económico-Financeiros

A avaliação financeira de um edifício recorre a diversos indicadores de valor, custo e risco. No âmbito do ALDREN, foram definidos três tipos principais de indicadores económicos inter-relacionados – Custos, Valor e Riscos – que servem para diferentes propósitos dentro do Passaporte de Renovação [40]

O Valor de Mercado (*Market Value – MV*) corresponde ao montante pelo qual o edifício pode ser transacionado em condições normais de mercado [40]. Este valor depende de fatores como a localização, as dinâmicas da procura e a situação económica, sendo utilizado para efeitos de compra e venda, crédito hipotecário ou demonstração contabilística, conforme estipulado no Regulamento (UE) n.º 575/2013 [40].

Já o Valor de Empréstimo Hipotecário (*Mortgage Lending Value – MLV*) constitui uma estimativa prudente, de longo prazo, do valor do imóvel para fins de concessão de crédito [40]. Tem por base uma apreciação conservadora da sua comercialização futura, considerando a utilização atual, as alternativas viáveis e os aspetos sustentáveis do edifício [40].

O Valor de Investimento (*Investment Worth*), por sua vez, representa o valor do edifício para um investidor específico, com base nos benefícios que este poderá retirar do ativo ao longo do tempo (p. ex., receitas, poupanças operacionais, conforto) [40]. Este valor é particularmente relevante no caso de

edifícios com boas características técnicas (como eficiência energética), que podem não estar devidamente refletidas nos comparáveis de mercado [40].

Quanto aos Custos de Ciclo de Vida, estes abrangem todas as despesas associadas à construção, renovação e operação do edifício ao longo de um período determinado, atualizadas a valor presente. Incluem:

- Custos de energia e receitas (consumo e eventuais receitas de produção local) [40];
- Custos operacionais (água, resíduos, seguros, etc.) [40];
- Custos de manutenção (conservação de sistemas e equipamentos) [40];
- Custos de substituição (renovação de componentes com vida útil limitada) [40];
- Custos ambientais, nomeadamente associados às emissões de GEE [40].

O Custo Global assim obtido permite comparar o edifício no estado atual com diferentes cenários de renovação, funcionando como base para análise de rentabilidade. A metodologia ALDREN propõe que estes custos sejam reportados no Passaporte de Renovação como elemento de apoio à decisão, sem serem traduzidos numa classificação de mérito direta [40].

4.3.4.3. Indicador de Risco ALDREN

Por fim, o Indicador de Risco ALDREN sintetiza, de forma qualitativa, o grau de exposição do ativo a riscos financeiros decorrentes do seu desempenho técnico [40]. Este indicador visa complementar a avaliação tradicional, permitindo antecipar potenciais desvalorizações associadas a fraca eficiência energética ou qualidade interior. São considerados quatro vetores principais:

- Desempenho energético, cuja inadequação implica maior probabilidade de obsolescência técnica e custos operacionais mais elevados [40];
- Desempenho de saúde e bem-estar (IEQ), cuja insuficiência pode comprometer a ocupação e satisfação dos utilizadores [40];
- Gestão de custos, que reflete a existência (ou ausência) de controlo efetivo sobre as despesas operacionais [40];
- Gestão da informação, que avalia a qualidade e disponibilidade dos dados técnicos do edifício [40].

Este rating de risco, reportado de forma sintética no EVC, traduz a robustez do edifício face às exigências atuais e futuras, reforçando a confiança de investidores e financiadores no processo de valorização de ativos.

A Figura 19, adaptada de [41], mostra os principais indicadores financeiros considerados no protocolo ALDREN. Estão organizados em três grupos – custos, riscos e valor – e ajudam a relacionar o desempenho técnico do edifício com o seu valor económico ao longo do tempo.

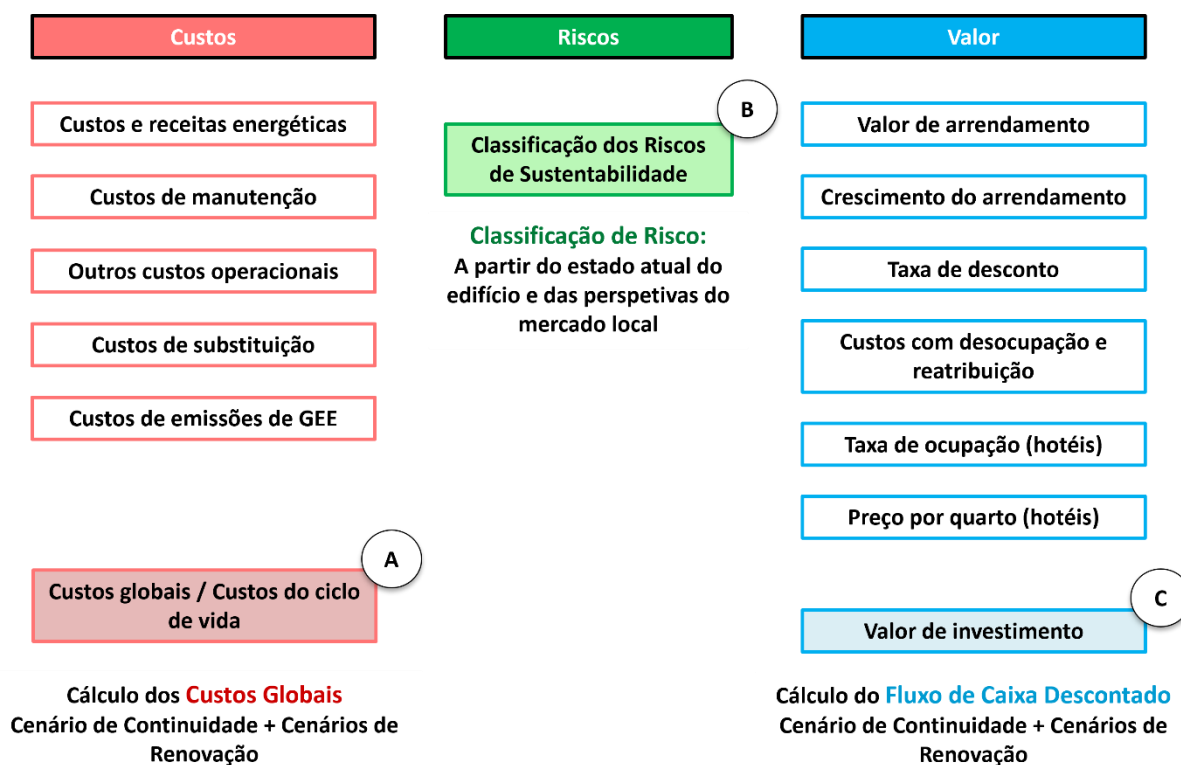


Figura 19- Esquema ilustrativo dos principais indicadores económicos utilizados no protocolo ALDREN [41]

4.3.5. BUILDING RENOVATION PASSPORT (BRP) – RenoMap E BUILDLOG

Como componente integrador, o projeto ALDREN propõe o Building Renovation Passport, uma ferramenta dinâmica que consolida a informação relevante do edifício e estabelece um roteiro detalhado para a sua renovação profunda. O BRP da ALDREN é composto por dois elementos complementares: o *BuildLog*, um registo de dados do edifício, e o *RenoMap*, um plano estruturado de renovação energética [31]. Cada um destes elementos está subdividido em módulos temáticos específicos, que agrupam diferentes conjuntos de indicadores técnicos. Em conjunto, fornecem ao proprietário uma visão clara e detalhada da situação atual do edifício, bem como um plano coerente das medidas a implementar para alcançar níveis elevados de desempenho ao longo do tempo, nomeadamente o padrão NZEB [31].

Essencialmente, o BRP desenvolvido pelo projeto ALDREN foi pensado para se tornar uma solução europeia comum, isto é, “um instrumento complementar ao certificado energético (EVC ALDREN) capaz de estimular renovações custo-eficazes através de roteiros de longo prazo” [42]. O seu valor acrescentado reside não apenas no cumprimento das diretivas europeias, mas sobretudo no esforço de harmonização, evitando a propagação de múltiplos esquemas de passaporte de renovação incompatíveis, situação frequentemente observada em outros sistemas voluntários de certificação [42].

Do ponto de vista funcional, o BRP materializa-se num formulário estruturado que agrega toda a informação técnica relevante sobre o edifício e as estratégias de renovação previstas. Este formulário foi concebido em formato digital (uma folha Excel com múltiplas páginas), podendo também ser utilizado em formato impresso.

Em termos de implementação, o BRP ALDREN foi testado em 20 edifícios-piloto distribuídos por 6 países europeus, totalizando uma área total de mais de 220 000 m². Estes testes confirmaram a sua

viabilidade e utilidade prática, bem como a adaptação do conteúdo às necessidades dos profissionais do setor e dos proprietários [33].

4.3.5.1. ALDREN BuildLog

Este elemento corresponde ao livro digital de registos (*logbook*) do edifício, reunindo os dados técnicos e administrativos ao longo do ciclo de vida do imóvel. O *BuildLog* da ALDREN organiza a informação em seis módulos principais (M1 a M6), independentes, mas interligados por partilharem dados comuns para evitar repetições de informação.

A Tabela 35, adaptada de [42], apresenta detalhadamente a sua estrutura modular, com indicação clara dos objetivos específicos e das subcategorias relevantes para cada módulo.

Tabela 35- Estrutura detalhada dos módulos do ALDREN *BuildLog* [42]

Módulo	Subcategorias	Descrição Geral
M1. Building Picture	M1.1. Características do edifício; M1.2. Envolvente; M1.3. Dados dos sistemas técnicos.	Documenta informações gerais do edifício, incluindo: • Geometria (área útil, número de pisos); • Localização (coordenadas geográficas, orientação solar); • Sistemas técnicos (AVAC, iluminação, redes elétricas).
M2. Energy rating and target	M2.1. Características para avaliação do desempenho energético; M2.2. Sistema envolvente do edifício; M2.3. Desempenho energético calculado; M2.4. EPC Nacional; M2.5. Classificação ALDREN EVC; M2.6. Energia renovável; M2.7. Energia medida.	Analisa o desempenho energético atual e futuro: • Simulações para consumo teórico; • Certificação (EPC nacional e ALDREN EVC); • Integração de energias renováveis; • Comparação entre dados simulados e medidos
M3. Energy verification	M3.1. Quantidade; M3.2. Uso final; M3.3. Dados meteorológicos reais.	Valida a eficácia das intervenções: • Monitorização de consumo por uso final (ex.: climatização vs. iluminação); • Ajuste de modelos com dados climáticos reais (ex.: temperatura externa).
M4. Comfort and well-being	M4.1. Ambiente térmico; M4.2. Qualidade do ar interior; M4.3. Ambiente acústico; M4.4. Ambiente visual; M4.5. Outros.	Avalia o conforto interno via índice TAIL: • Térmico (Temperaturas médias e variações sazonais); • Qualidade do ar (Concentração de CO₂ e VOCs); • Acústico (Níveis de ruído (dB)); • Visual (Iluminação natural/artificial (lux)).
M5. Cost value and risk	M5.1. Custo real; M5.2. Valor de mercado; M5.3. Avaliação de risco.	Quantifica impactos económicos: • Custos de intervenções e operação;

		• Valorização pós-renovação; • Riscos.
M6. Documenta- tion and BIM	M6.1. Documentação de gestão do edifício.	Centraliza documentos críticos: • Plantas atualizadas (CAD/BIM); • Manuais de operação de siste- mas; • Certificados de conformidade de materiais.

Cada indicador no ficheiro Excel do BRP ALDREN é assinalado com uma cor específica, correspondente à sua origem metodológica ou fonte de referência. A legenda que codifica estas cores encontra-se organizada na folha inicial do ficheiro, designada por “Read Me”.

A Figura 20- Página “Read Me” do ficheiro Excel do BRP ALDREN [42] Figura 20, retirada de [42], apresenta essa folha introdutória, que fornece instruções gerais de preenchimento, esclarece o significado dos diferentes tipos de células e identifica, através de um código cromático, a proveniência de cada parâmetro (por exemplo, normas ISO/CEN, metodologia ALDREN, indicadores para edifícios de escritórios ou hotéis, entre outros). A imagem visual à direita representa, de forma simbólica, a articulação entre os diversos módulos do BRP e a sua integração num sistema digital coerente, reforçando a lógica estruturada e interligada desta ferramenta no apoio ao planeamento da renovação energética dos edifícios.

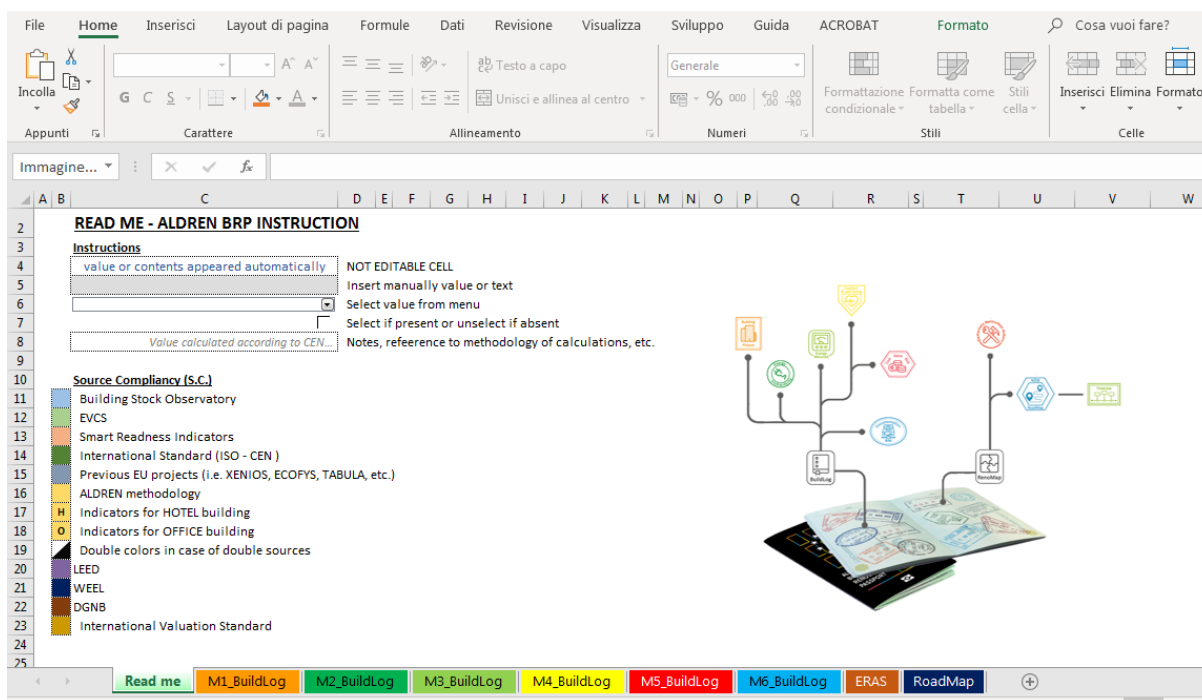


Figura 20- Página “Read Me” do ficheiro Excel do BRP ALDREN [42]

A Figura 21, retirada de [42], apresenta um exemplo ilustrativo da folha de cálculo correspondente ao Módulo 1 – Building Picture, tal como disponibilizada no ficheiro Excel do BRP ALDREN. Esta estrutura permite o registo normalizado da informação relevante, com campos organizados por secções e

preenchimento manual ou automático. As cores associadas aos indicadores identificam a respetiva fonte metodológica, conforme definido na folha de instruções (“Read Me”) do ficheiro.

	A	B	C	D	E	F
1	 					
2	BuildLog MODULE 1					
4	S.C. CODE		INDICATORS	VALUE	UNIT	
6	1 BUILDING FEATURES					
7		1.1	Building category	Non Residential - OFFICE		
8		1.1.1	Building Name	Building X		
9		1.1.2	Building Owner Name	Dr. Surname Name		
10		1.1.3	Year of construction	1980		
11		1.1.4	Year of last renovation	2000		
12	2 LOCATION DATA					
13		2.1	Country	Italy		-
14		2.2	City	Milan		-
15		2.3	Province	Milan		-
16		2.4	Postal Code	20123		-
17		2.5	Address	via XXXXX		-
18		2.8	Land parcel no.	123456		-
19	3 WEATHER DATA					
20		3.1	Climate locality	Milan		-
21		3.2	Climate zone	Zone 5		-
22	4 BUILDING GEOMETRY					
23		4.1	Reference floor area for main category	0		
24		4.2	Building volume	0		
25		4.3	Shape factor A/V	#DIV/0!		
26		4.4	Number of floors	0		
27	5 ENVELOPE					
28	5.1 WALL					
29		5.1.2	External wall main structure	Select		
30		5.1.3	Average U-value for overall building envelope	0		
31		5.1.4	Presence of insulation	Select		-
32		5.1.5	Thickness of insulation			mm
33	5.2 WINDOW					
34		5.2.2	Average U-value of windows	0		W/m ² K
35		5.2.3	Facade protection elements	Select		-
36		5.2.4	Glazed facade	Select		-
37		5.2.6	Window solar shading control	Select		-
38	5.3 FLOORS					
39		5.3.1	Total no. of floors	0		-
40		5.3.2	Average U-value of floors	0		W/m ² K
41		5.3.3	Structure slab	Select		-
42	5.4 ROOF					
43		5.4.1	Average U-value of roofs	0		
44		5.4.2	Roof main structure	Select		
45	6 TECHNICAL BUILDING SYSTEM					
46	6.1 SPACE HEATING					
47		6.1.1	Type of heating system	Select		-
48		6.1.2	Generation 1	Select		-
49		6.1.3	Average Efficiency rate of generation at 6.1.2	0		-
50	6.2 SPACE COOLING					
51		6.2.1	Type of cooling system	Select		-
52		6.2.2	Average Efficiency rate of cooling system at 6.2.1	0		-
53	6.3 DOMESTIC HOT WATER					
54		6.3.1	no. of boiler	0		
55	6.4 VENTILATION					
56		6.4.1	Typology of ventilation system	Select		-
57	6.6 RENEWABLE ENERGY					
58		6.6.1	Amount of on-site renewable energy generation	Select		-
59	6.7 METERING					
60		6.7.1	Storage of locally generated energy	Select		-
61	6.8 ELECTRIC VEHICLE CHARGING					
62		6.8.1	EV Charging - point	☐		-

Figura 21- Exemplo ilustrativo da ficha Excel do Módulo 1 (Building Picture) do BuildLog – BRP ALDREN [42]

Importa ainda destacar que a estrutura do *BuildLog* foi desenhada para garantir interoperabilidade com os restantes módulos do BRP. Esta organização facilita a integração dos dados recolhidos nas fases seguintes, nomeadamente na construção do *RenoMap*, permitindo uma transição fluida entre a caracterização do edifício e o planeamento estratégico da sua renovação.

4.3.5.2. ALDREN RenoMap

O *RenoMap* constitui o segundo componente do BRP ALDREN e corresponde a um roteiro estratégico e faseado para a renovação energética profunda dos edifícios. Esta ferramenta apoia o auditor energético e o proprietário na definição de um plano claro de intervenções, identificando as ações prioritárias, os resultados esperados e o calendário de execução mais adequado, com vista à progressiva aproximação ao nível NZEB.

No Passaporte ALDREN, o *RenoMap* está estruturado em dois módulos interligados:

- M7 – Elementary Renovation Actions (ERAs);
- M8 – NZEB Roadmap

A Figura 22, [42] apresenta de forma esquemática a estrutura modular do *RenoMap*. As ERAs dizem respeito à identificação de medidas técnicas específicas que podem ser implementadas de forma faseada. Já o *NZEB Roadmap* estrutura essas intervenções ao longo do tempo, definindo uma linha temporal coerente.

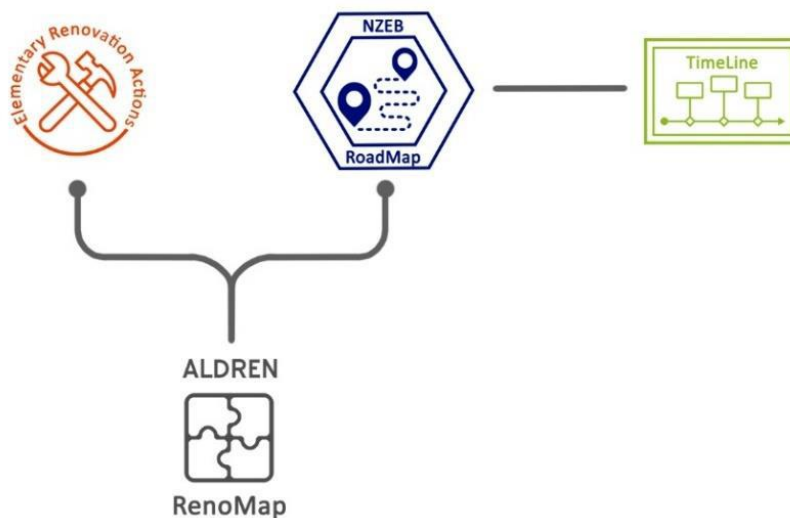


Figura 22- Estrutura esquemática do ALDREN *RenoMap* com os seus dois componentes principais [42]

A Tabela 36 adaptada de [42] apresenta detalhadamente a estrutura modular do *RenoMap*, com indicação clara dos objetivos específicos e das funções principais de cada um dos seus dois componentes.

Tabela 36- Estrutura dos módulos do ALDREN *RenoMap* [42]

Módulo	Descrição
M7. Elementary Renovation Actions (ERAs)	Define intervenções específicas e viáveis (ERAs): - Substituição de janelas, instalação de painéis solares, modernização de sistemas AVAC; Critérios: - Impacto energético (kWh/m²/ano), custo (€/m²), retorno do investimento (ROI); Priorização: - Combinação de dados técnicos e preferências do proprietário.
M8. NZEB Roadmap	Estrutura um roteiro personalizado para alcançar o NZEB. Etapas: - Renovações imediatas e renovações a longo prazo; KPIs: - Redução de CO₂ (ton/ano), aumento da classe energética; Cronograma: - Prazos alinhados a incentivos fiscais e ciclos de manutenção; Visualização gráfica: - Linha do tempo interativa com metas para 2030, 2040 e 2050.

De forma integrada, o *RenoMap* da metodologia ALDREN foi concebido para responder a um conjunto alargado de objetivos.

Em primeiro lugar, permite identificar todas as ações elementares de renovação energética (ERAs) recomendadas para o edifício, que, quando implementadas em conjunto, possibilitam a sua aproximação ao desempenho-alvo NZEB. Estas ERAs abrangem intervenções na envolvente (como isolamento térmico ou substituição de janelas), modernização de sistemas técnicos (como equipamentos AVAC e sistemas de controlo inteligente), integração de fontes de energia renovável (por exemplo painéis solares), e ainda melhorias no conforto interior e na qualidade ambiental (como ventilação e iluminação natural), quando aplicável [31].

Em segundo lugar, o *RenoMap* permite avaliar o potencial máximo de melhoria energética do edifício mediante a aplicação integral das ERAs, definindo assim um cenário de referência que representa o estado “profundamente renovado”, servindo de meta de longo prazo [31].

A terceira função consiste em agrupar as ERAs em pacotes de intervenção coerentes, otimizando as compatibilidades técnicas entre medidas, a substituição de componentes com degradação relevante, as prioridades do proprietário, os tempos de retorno do investimento e os ganhos de desempenho energético associados. Este agrupamento é essencial para orientar as decisões no projeto de renovação inicial [31].

Em quarto lugar, o *RenoMap* possibilita a elaboração de um plano temporal estruturado, que define a distribuição das intervenções ao longo do tempo, de forma faseada e adaptada a oportunidades concretas, como períodos de desocupação ou disponibilidade de capital para investimento [31].

Por fim, permite ainda estimar o desempenho energético e ambiental dos estados intermédios resultantes da aplicação progressiva dos pacotes, fornecendo ao proprietário uma visão clara sobre os ganhos incrementais de cada fase. Esta abordagem dá suporte à tomada de decisões fundamentadas, permitindo eventualmente integrar mais ações numa fase específica, caso se justifique pelo impacto obtido [31].

Em síntese, o *RenoMap* define o percurso ótimo de renovação adaptado a cada edifício, respondendo de forma estruturada às questões-chave: o que renovar, como intervir e quando executar, sempre com o objetivo de atingir metas ambiciosas de energia e conforto, evitando soluções que conduzam a situações de *lock-in* técnico ou económico.

Para garantir a aplicabilidade prática do *RenoMap*, o projeto ALDREN definiu um protocolo estruturado composto por oito etapas sequenciais, que vão desde o levantamento inicial com o proprietário até à definição final da estratégia de renovação. Cada etapa define claramente os objetivos, a obrigatoriedade da tarefa, os instrumentos de apoio a utilizar e os resultados esperados.

A Tabela 37 adaptada de [42] apresenta uma síntese detalhada das tarefas que compõem o Protocolo *RenoMap*, com base na documentação técnica do projeto ALDREN.

Tabela 37- Sumário de Tarefas do Protocolo *RenoMap* [42]

Nº	Etapas	Obrigatoriedade	Breve Descrição	Entradas	Resultados
1	Entrevista inicial	Opcional	Recolha preliminar de dados e expectativas do proprietário.	Guia de entrevistas	Notas internas
2	Auditoria detalhada ao edifício	Obrigatória	Verificação e complementação dos dados iniciais com base no LOGBOOK. Definição das ações de renovação. Recomendação do nível NZEB. Avaliação do nível de limitação da vida útil.	Tabela de ERAs v0 Guia de auditoria Guia de avaliação	Tabela de ERAs v1
3	Entrevista final com o proprietário	Obrigatória	Validação das ERAs com o utilizador final	Guia de avaliação	Tabela de ERAs v2
4	Conclusão da avaliação	Obrigatória	Avaliação final para completar os indicadores das ERAs na tabela correspondente.	Guia de avaliação	Tabela de ERAs consolidada
5	Cálculo dos pontos de referência	Obrigatória	Simulação energética do edifício antes da renovação. Simulação com o edifício renovado com todas as ERAs definidas. Preenchimento dos rótulos no modelo do roteiro final.	LOGBOOK Tabela de ERAs Roteiro passo-a-passo v0	Roteiro passo-a-passo v1
6	Processamento da estratégia de renovação	Obrigatória	Identificação das ações primárias de renovação com base na vida útil, vontade do proprietário, eficiência energética e outros indicadores. Agrupamento em pacotes de ERAs e definição da linha temporal.	Guia de estratégia	Roteiro passo-a-passo v2

7	Cálculo do desempenho energético dos pacotes	Obrigatória	Simulação energética do edifício com os pacotes de ERAs selecionados.	Guia de estratégia	Roteiro passo-a-passo v3
8	Resultados para apoio à decisão	Obrigatória	Escolha da configuração final de renovação. Visualização na curva de rótulos.		Roteiro passo-a-passo consolidado

5

APLICAÇÃO DO FRAMEWORK ALDREN

5.1. INTRODUÇÃO

A aplicação do Framework ALDREN ao presente caso de estudo exigiu a realização de adaptações específicas, decorrentes de duas características particulares do edifício analisado:

- A escala reduzida da análise, limitada a seis compartimentos representativos (três salas de aula e três gabinetes);
- A disponibilidade parcial de dados técnicos e operacionais.

Neste contexto, optou-se por uma implementação parcial e faseada da metodologia, centrada nos módulos que melhor se adequam à natureza dos dados recolhidos e aos objetivos definidos para a dissertação. Foram assim aplicados cinco módulos do ALDREN: M1 – Building Picture, M2 – Energy Rating and Target, M4 – Comfort and Well-being, M7 – Elementary Renovation Actions (ERAs) e M8 – NZEB Roadmap. Esta abordagem permitiu realizar uma avaliação integrada do desempenho energético e ambiental dos espaços analisados, identificar oportunidades de melhoria técnica e funcional e construir um plano estratégico de renovação orientado para o longo prazo.

A Figura 23 representa o percurso metodológico seguido na aplicação do *Framework* ALDREN ao caso de estudo, estruturado com base na seleção e articulação dos módulos M1, M2, M4, M7 e M8.

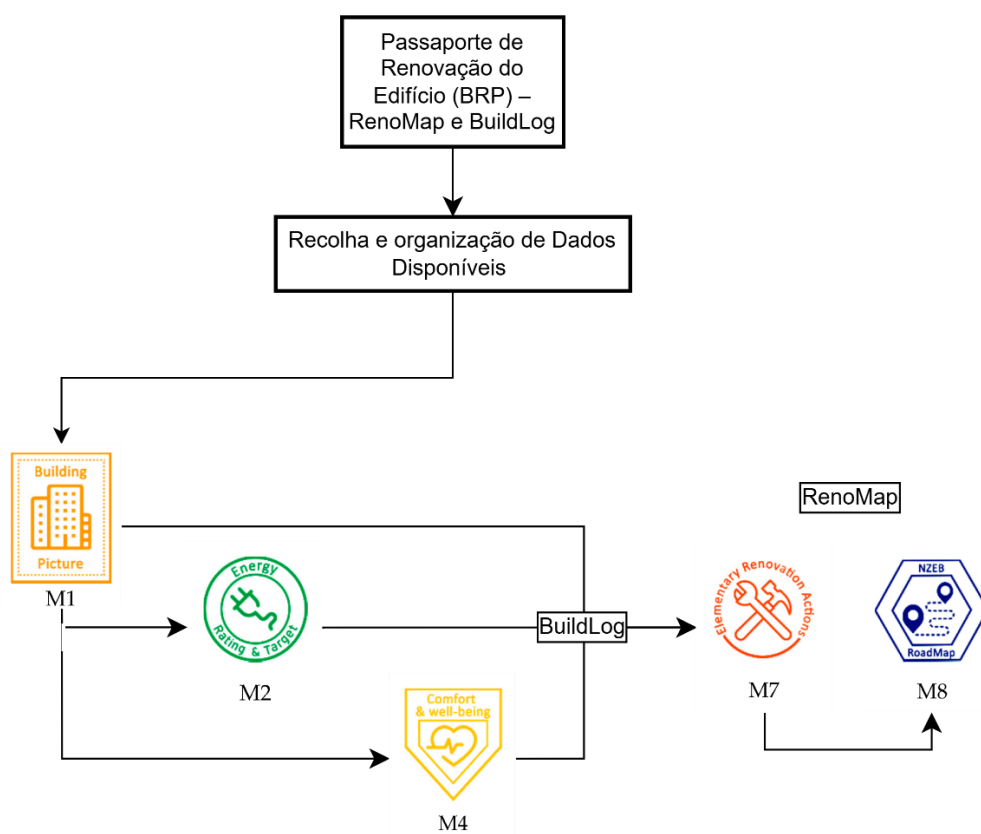


Figura 23- Fluxograma de enquadramento do Capítulo 5

5.2. MÓDULO M1: BUILDING PICTURE

5.2.1. INTRODUÇÃO

O Módulo M1: Building Picture é o primeiro módulo do *BuildLog* e estabelece o retrato atual do edifício, reunindo informação geral sobre o mesmo e servindo de base para avaliações subsequentes. Como já abordado na Tabela 35, este módulo abrange três subcategorias principais:

- M1.1 Características do edifício – informações gerais e tipologia da construção;
- M1.2 Envolvente – descrição da envolvente;
- M1.3 Sistemas técnicos – dados sobre os sistemas técnicos instalados.

De acordo com a metodologia ALDREN, a recolha de dados é meramente descritiva, não implicando cálculos, e alguns dos indicadores registados no M1 são automaticamente utilizados noutros módulos [17]. Os dados foram recolhidos a partir do modelo digital BIM (Revit), complementados por desenhos técnicos e verificação através de visita técnica, conforme descrito anteriormente no Capítulo 4.

A informação geométrica e construtiva recolhida em M1.2 (áreas de pavimentos, fachadas, janelas, materiais, etc.) e a descrição dos equipamentos em M1.3 (presença e tipos de aquecimento, arrefecimento e ventilação) servem de *input* direto para o Módulo 2 – Energy Rating & Target, onde são utilizados para simulação e avaliação do desempenho energético atual de cada compartimento.

A aplicação do Módulo M1 não visa apresentar resultados, mas sim organizar e registar a informação técnica necessária à implementação estruturada do *Framework* ALDREN, através da respetiva ficha M1 integrada no *BuildLog*.

5.2.2. APLICAÇÃO PRÁTICA DA ESTRUTURA M1

5.2.2.1. Dados Gerais

Os dados relativos à função, dimensão e ocupação de cada compartimento foram organizados segundo os campos previstos no separador M1.1 do *BuildLog*. Esta informação encontra-se detalhada no subcapítulo 3.2.2.2., nomeadamente nas Tabela 8 e Tabela 9, que apresentam as áreas úteis, pé-direito e número de utilizadores por espaço.

5.2.2.2. Envolvente Física

A caracterização dos elementos da envolvente térmica, incluindo fachadas, coberturas, pavimentos e vãos envidraçados, foi consolidada neste módulo com base nos elementos descritos no subcapítulo 3.2.2.2., em particular na Tabela 10, que resume os principais constituintes construtivos dos compartimentos. Adicionalmente, foram consideradas informações complementares relativas à orientação das fachadas, áreas envidraçadas e condições de contacto (solo, cobertura, etc.), essenciais para a modelação energética realizada no M2, ainda que não tenham sido representadas diretamente nessa tabela.

5.2.2.3. Sistemas técnicos

A informação que diz respeito aos sistemas técnicos (climatização, ventilação e iluminação) encontra-se pormenorizada no subcapítulo 3.2.2.2., onde são descritos o tipo de emissor térmico, o sistema de ventilação presente e a tipologia de luminárias utilizadas, podendo ser consultada na Tabela 8 e Tabela 9, incluindo os valores de densidade de equipamentos (kW), cargas internas de iluminação (kW), tipo de ventilação e sistema de climatização utilizado.

5.3. MÓDULO M2: ENERGY RATING AND TARGET

5.3.1. INTRODUÇÃO

O Módulo M2 visa a avaliação do desempenho energético dos compartimentos, com recurso a simulação dinâmica, permitindo quantificar os consumos anuais de energia final por uso final e proceder à sua conversão em energia primária não renovável.

A caracterização geométrica, construtiva, funcional e técnica destes espaços foi previamente sistematizada no Módulo M1, conforme descrito no subcapítulo 5.2., servindo de base à modelação energética e garantindo coerência com os requisitos do *BuildLog*. Com esta informação, foi realizada uma simulação dinâmica, permitindo identificar as necessidades energéticas específicas de cada compartimento e compará-las com os referenciais de desempenho definidos pela metodologia ALDREN.

Este subcapítulo descreve os principais passos metodológicos realizados na aplicação prática do Módulo M2, preparando a base para obter os principais indicadores energéticos. Os resultados obtidos fornecem a informação necessária para a atribuição de uma classe energética ao edifício (*Asset Rating*) e permitem identificar o potencial de melhoria em relação às metas definidas pela ALDREN, nomeadamente, a redução dos consumos de energia primária para atingir níveis próximos ou inferiores à referência NZEB.

5.3.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO

A metodologia seguida na aplicação do Módulo M2 envolveu várias etapas, realizadas com recurso ao software DesignBuilder (Versão *Student* com motor de cálculo EnergyPlus). Os procedimentos adotados incluíram a criação da geometria do modelo, a definição da envolvente térmica, a caracterização dos perfis de utilização e das condições de climatização, a configuração dos parâmetros de simulação e, por fim, a extração dos valores de desempenho energético.

5.3.2.1. Geometria do Modelo e Envolvente Térmica

Para reproduzir a configuração do edifício real, o modelo tridimensional foi dividido em dois blocos principais, correspondendo respetivamente ao conjunto de salas de aula e ao conjunto de gabinetes, conforme a disposição existente. Cada bloco foi subdividido em zonas térmicas correspondentes aos compartimentos selecionados. No caso das salas de aula, cada compartimento foi modelado através de duas zonas térmicas interligadas por uma ampla abertura, de modo a refletir a existência de dois pés-direitos distintos no mesmo espaço físico. Esta abordagem permitiu representar com maior rigor o comportamento térmico do volume real, assegurando a continuidade espacial entre as zonas.

A Figura 24 apresenta a geometria tridimensional do modelo desenvolvido no software DesignBuilder, correspondente à configuração real do edifício.

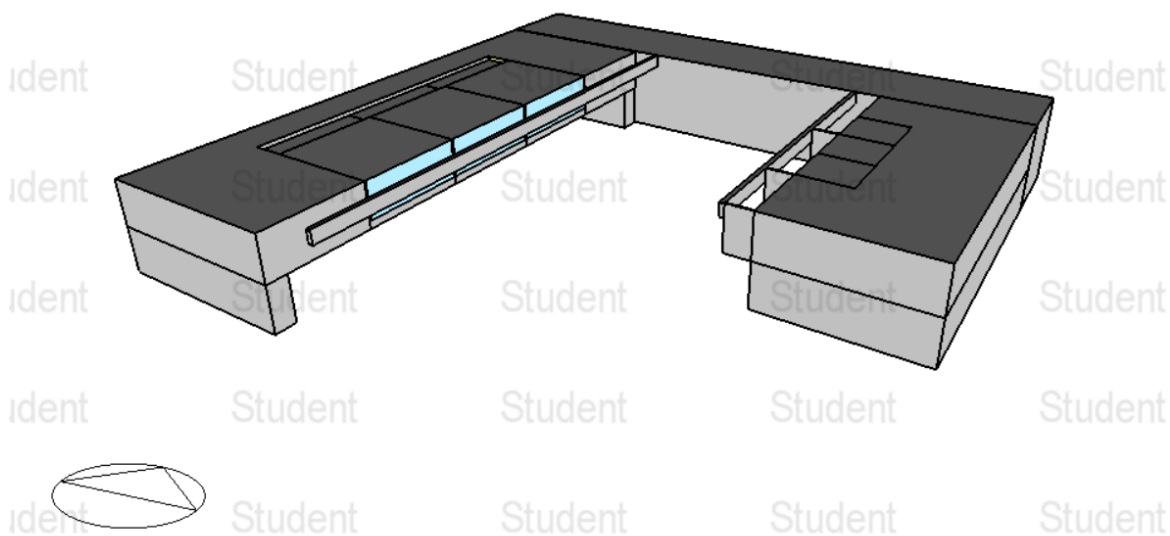


Figura 24- Modelo tridimensional do edifício (salas e gabinetes), desenvolvido no DesignBuilder

Para assegurar que o software interpretasse corretamente as dimensões interiores fornecidas, ajustou-se a convenção geométrica do modelo através da opção “*UK NCM internal perimeter*” no *Template* de geometria. Deste modo, as espessuras dos elementos construtivos foram aplicadas externamente às zonas desenhadas, preservando as medidas internas inseridas. Adicionalmente, os métodos de cálculo de áreas e volumes da simulação foram configurados para considerar as medidas interiores, opção “*I-Inner*”, conforme apresentado na Figura 25.



Figura 25- Configuração geométrica do modelo no DesignBuilder

Em seguida, procedeu-se à inserção dos elementos da envolvente térmica no modelo. Definiram-se paredes exteriores e interiores, lajes de pavimento, coberturas planas, bem como todas as aberturas envidraçadas nas fachadas e portas interiores existentes. Cada elemento foi caracterizado individualmente, com recurso às camadas de materiais e respetivas espessuras especificadas no projeto original da escola. A título exemplificativo, a Figura 26 mostra a configuração detalhada das paredes exteriores.

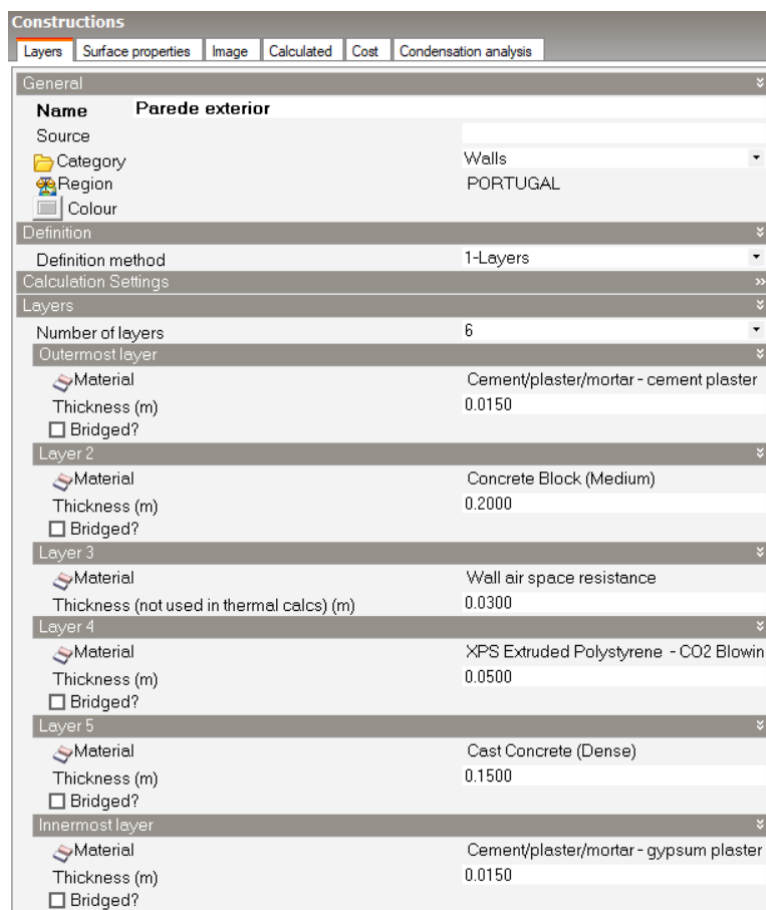


Figura 26- Caracterização construtiva das paredes exteriores no modelo DesignBuilder, indicando materiais e espessuras utilizadas

Devido às limitações da versão *Student* do DesignBuilder no que respeita à modelação de sombreamentos paramétricos, optou-se por introduzir manualmente elementos estáticos de sombra. Para representar o efeito, adicionou-se uma superfície vertical exterior delgada junto às fachadas envidraçadas, simulando adequadamente o comportamento das palas existentes. Este elemento foi posicionado com

dimensões e orientação compatíveis com a realidade, permitindo representar a redução da radiação solar direta incidente nos vãos dos compartimentos, tal como se verifica no contexto real. A representação gráfica destes elementos pode ser observada na Figura 27.

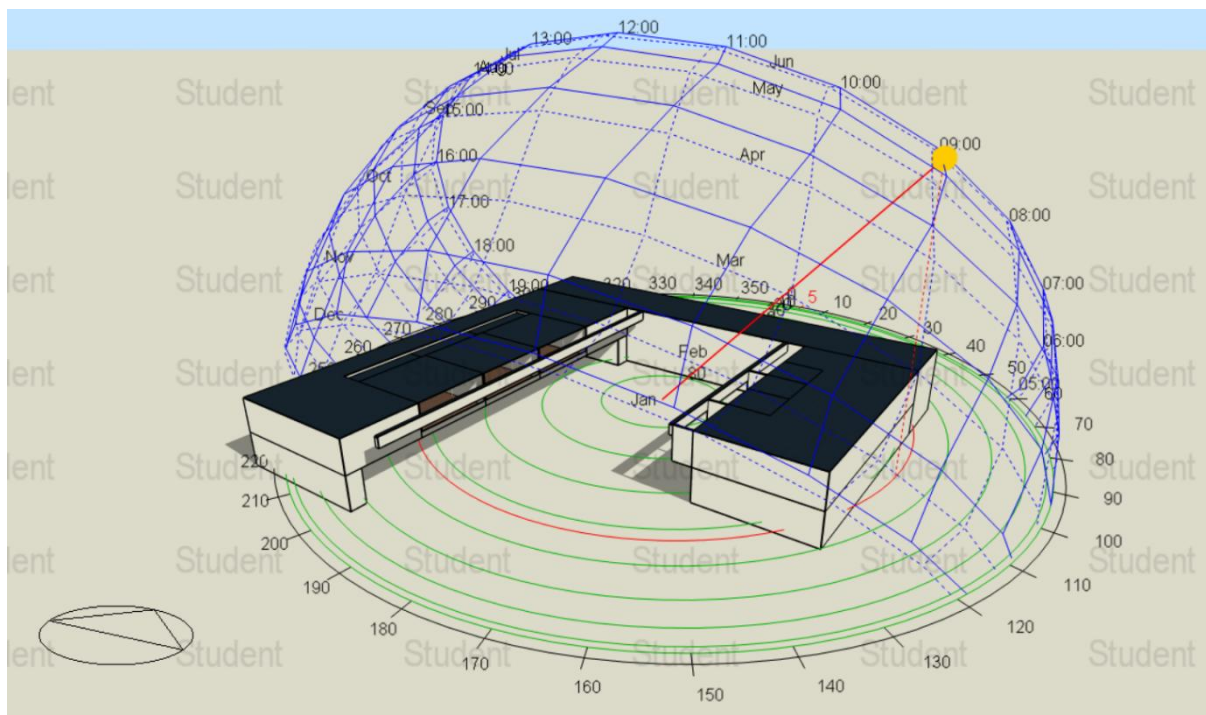


Figura 27- Elementos estáticos de sombreamento introduzidos manualmente no modelo DesignBuilder.

5.3.2.2. Perfis de Utilização e Condições de Climatização

Após a definição da geometria e da envolvente térmica, procedeu-se à atribuição dos perfis de utilização específicos para as salas de aula e gabinetes, de acordo com a caracterização realizada no Capítulo 3. Considerando que cada sala foi modelada através de duas zonas térmicas interligadas, definiu-se um perfil de ocupação típico com aproximadamente 18 alunos (0.28 pessoas/m^2) durante o horário letivo, aplicando-se este perfil apenas à zona térmica principal. A zona térmica auxiliar permaneceu sem ocupação nem ganhos internos, prevenindo assim uma duplicação indesejada de cargas internas durante a simulação. A configuração detalhada do perfil de utilização atribuído às salas de aula encontra-se representada nas Figura 28 e Figura 29.

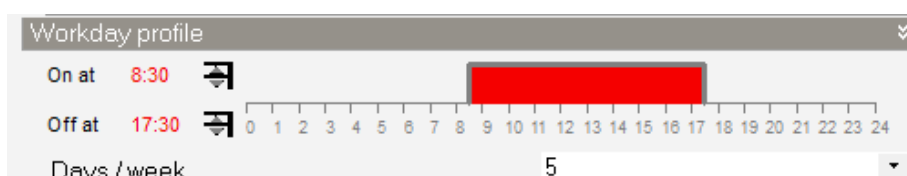


Figura 28- Perfil de utilização atribuído às salas

The screenshot shows the 'Activity Template' window in DesignBuilder. The 'Template' section is set to 'Copia a usar nas salas (Teaching Areas)'. The 'Sector' is 'D1 Non-residential Institutions - Education', 'Zone type' is '1-Standard', and 'Zone multiplier' is '1'. Both 'Include zone in thermal calculations' and 'Include zone in Radiance daylighting calculations' are checked. The 'Occupancy' section has 'Occupied?' checked, 'Occupancy density (people/m2)' set to '0.2800', and 'Schedule' set to 'D1_Edu_ClassRm_Occ'. The 'Metabolic' section has 'Activity' set to 'Lighter manual work', 'Factor (Men=1.00, Women=0.85, Children=0.75)' set to '0.75', and 'CO2 generation rate (m3/s-W)' set to '0.0000000382'. The 'Clothing' section has 'Clothing schedule definition' set to '1-Generic summer and winter clothing', 'Winter clothing (clo)' set to '1.00', and 'Summer clothing (clo)' set to '0.50'. The 'Comfort Radiant Temperature Weighting' section has 'Calculation type' set to '1-Zone averaged'. The 'Air Velocity' section has 'Air velocity schedule' set to 'Default Air Velocity for Comfort Calculations'.

Figura 29- Configuração do perfil de utilização para as salas de aula no modelo DesignBuilder.

Para os gabinetes, o perfil de utilização foi definido considerando valor de referência indicado no exemplo de aplicação num caso de estudo no documento do protocolo ALDREN que estabelece uma densidade nominal de ocupação de 0,1 pessoas por m² para edifícios de escritórios. A ocupação foi igualmente definida para o horário laboral habitual (das 8:30h às 17:30h). Os restantes parâmetros, como horários de iluminação, ventilação e temperaturas de referência, foram configurados com base nas especificidades do edifício e não diretamente na tabela de referência

A parametrização adotada para os gabinetes encontra-se representada detalhadamente na Figura 30.

The screenshot shows the 'Activity Template' window in DesignBuilder. The 'Template' section is set to 'Copia a usar nos Gabinetes (Office and consu)'. The 'Sector' is 'D1 Non-residential Institutions - Education', 'Zone type' is '1-Standard', and 'Zone multiplier' is '1'. Both 'Include zone in thermal calculations' and 'Include zone in Radiance daylighting calculations' are checked. The 'Occupancy' section has 'Occupied?' checked, 'Occupancy density (people/m2)' set to '0.1000', and 'Schedule' set to 'D1_Edu_CellOff_Occ'. The 'Metabolic' section has 'Activity' set to 'Lighter office work', 'Factor (Men=1.00, Women=0.85, Children=0.75)' set to '0.85', and 'CO2 generation rate (m3/s-W)' set to '0.0000000382'. The 'Clothing' section has 'Clothing schedule definition' set to '1-Generic summer and winter clothing', 'Winter clothing (clo)' set to '1.00', and 'Summer clothing (clo)' set to '0.50'. The 'Comfort Radiant Temperature Weighting' section has 'Calculation type' set to '1-Zone averaged'. The 'Air Velocity' section has 'Air velocity schedule' set to 'Default Air Velocity for Comfort Calculations'.

Figura 30- Configuração do perfil de utilização para os gabinetes no modelo DesignBuilder.

Para além da ocupação humana, foram configuradas as cargas internas de iluminação e de equipamentos em cada compartimento, representando os ganhos internos de calor conforme o uso real de cada espaço. Em cada sala de aula, foi considerada uma densidade de potência de 9 W/m^2 , correspondente à presença de um computador tipo torre e um projetor. Nos gabinetes, a carga de equipamentos foi definida como $3,7 \text{ W/m}^2$, equivalente à utilização de um computador portátil num espaço de trabalho individual. A parametrização do perfil no DesignBuilder correspondente à sala de aula é apresentada na Figura 31.

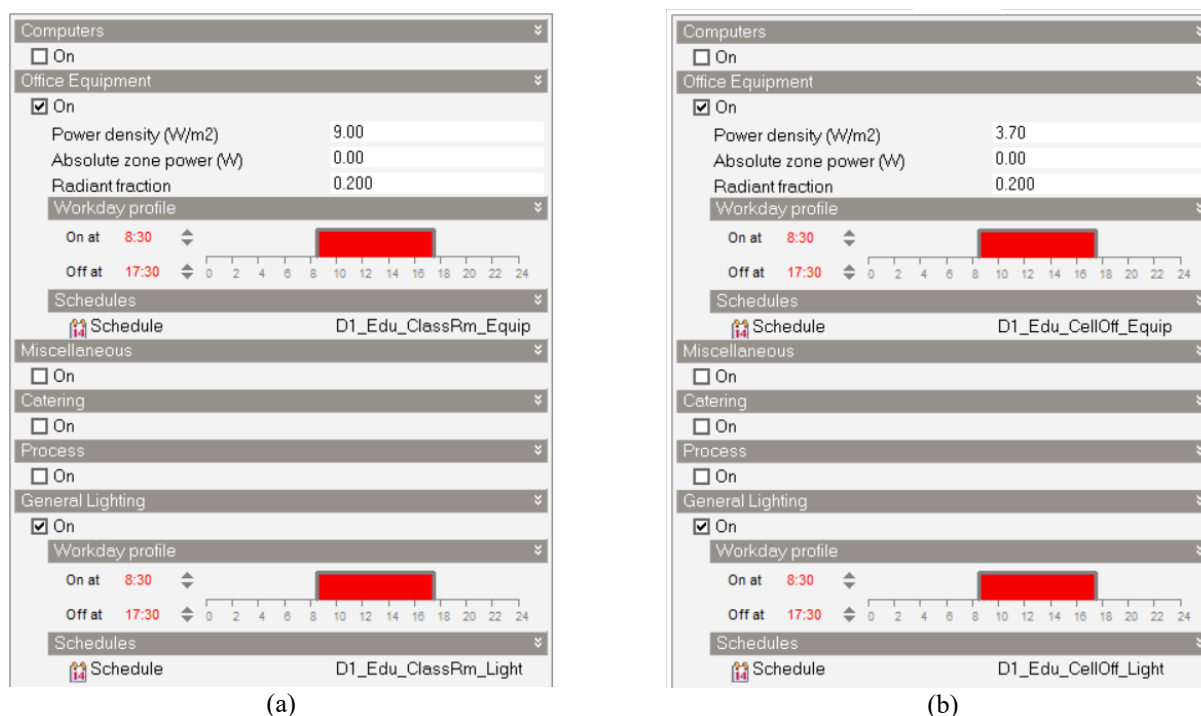


Figura 31- Perfil das cargas internas de equipamentos e iluminação nas salas de aula no modelo DesignBuilder. para: (a) Salas de aula, (b) Gabinetes

Relativamente à ventilação, nas salas de aula optou-se por uma ventilação mista, combinando ventilação natural (abertura manual de janelas e entradas de ar) com ventilação mecânica com recuperador de calor. Nos gabinetes, adotou-se uma ventilação híbrida, que combina ventilação natural com um sistema mecânico de extração de ar.

Em termos de climatização (aquecimento e arrefecimento), durante a estação fria, foi considerada uma temperatura de conforto em torno dos 20°C durante o período de ocupação, valor típico para salas de aula e gabinetes aquecidos no inverno. Para as salas de aula, assumiu-se que não existe sistema ativo de arrefecimento, situação comum em edifícios escolares nacionais, sendo a dissipação de calor garantida por ventilação natural, ventilação mecânica e estratégias passivas. Já os gabinetes possuem um sistema de climatização ativo de climatização, assegurado por unidades murais do tipo mini VRF, com capacidade simultânea de aquecimento e arrefecimento.

Na ausência de dados técnicos específicos sobre os equipamentos instalados, os coeficientes de desempenho (COP) foram atribuídos por aproximação, com base em valores típicos de sistemas utilizados em edifícios escolares. Para os gabinetes, assumiu-se um $\text{COP} = 4.0$, representativo de sistemas mini-VRF em funcionamento normal. Para as salas de aula, foi considerado um $\text{COP} = 3.0$ no modo de aquecimento, valor conservador face à incerteza sobre a tecnologia concreta instalada.

As configurações de ventilação e climatização adotadas nos gabinetes podem ser observadas na Figura 32.

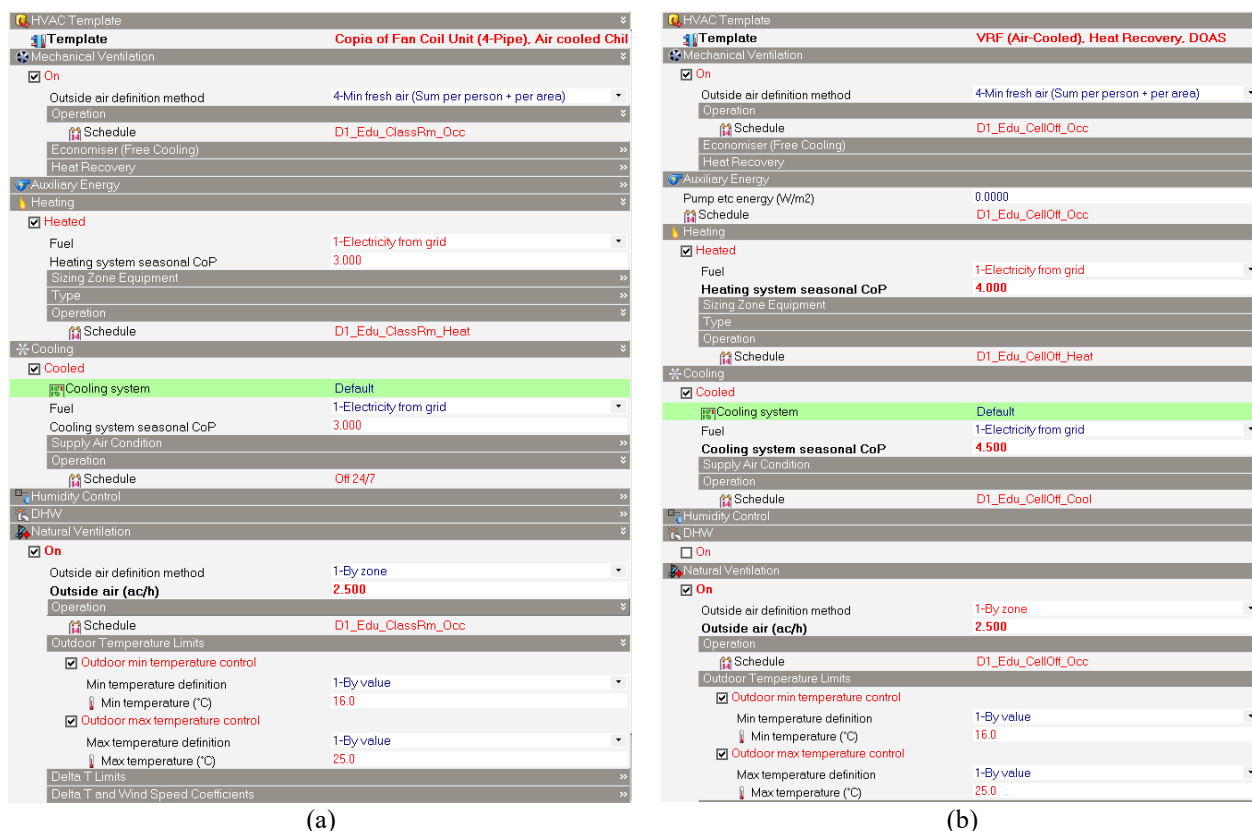


Figura 32- Configuração dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação no modelo DesignBuilder para: (a) Salas de aula, (b) Gabinetes

5.3.2.3. Parâmetros de Simulação

A simulação energética foi configurada com os seguintes parâmetros técnicos:

- Software utilizado: DesignBuilder V7.3.3.003 (motor de cálculo EnergyPlus);
- Clima: Ficheiro climático horário PRT_LISBOA_INETI;
- Intervalo de cálculo temporal (*timestep*): 2 passos por hora (30 minutos);
- Método de cálculo solar e sombreamento: “Full exterior” e “Polygon clipping”;
- Outputs ativados: Ganhos internos (incluindo solares); Transferência térmica por superfícies; Energia AVAC e cargas latentes; Dados ambientais e de conforto (relatório ambiental + fornecimento de ar novo); Zonas desocupadas não incluídas nos totais e médias de edifício.

5.3.2.4. Valores do Desempenho Energético Atual

Concluída a simulação, extraíram-se os valores de consumo final anual para os compartimentos analisados e calculou-se o consumo específico por unidade de área útil (kWh/m²·ano). Para converter o consumo final em energia primária não renovável (EP_{nren}), foi aplicado um fator de conversão de 2.3. Este

valor, apresentado na Tabela 38, corresponde ao Fator de energia primária (PEF) definido para a eletricidade, conforme a norma EN ISO 52000-1, e é utilizado para garantir a compatibilidade dos resultados com os critérios europeus de avaliação energética [35].

Tabela 38- Fator de energia primária (PEF) para eletricidade segundo EN ISO 52000-1 [35]

Tipo de fator	Eletricidade
PEF não renovável (fpnren)	2.3

Estes resultados servirão como base para o cálculo da classe energética e para avaliação da distância face às metas estabelecidas pela ALDREN.

5.3.3. DETERMINAÇÃO DO VALOR DE REFERÊNCIA (REF)

Para efeitos de comparação, define-se um valor de referência (Ref) de energia primária não renovável, representando o desempenho mínimo aceitável para cada tipologia de edifício e zona climática. Este valor corresponde ao limite superior da classe D e é utilizado como base para o cálculo do rácio EP/Ref.

De acordo com os dados climáticos médios apresentados na Tabela 39, Portugal apresenta um valor de 1271 graus-dia de aquecimento (HDD), o que posiciona Lisboa na zona climática 2 – Moderada, segundo classificação estabelecida pela metodologia ALDREN na Tabela 40 [35].

Tabela 39- Média anual de graus-dia de aquecimento (HDD) para países da UE (1974–2017), $\theta=18^{\circ}\text{C}$ [35]

País	HDD (Graus-dia/ano)
Malta	556
Chipre	788
Portugal	1271
Grécia	1720
Espanha	1861
Itália	2063
França	2498
Croácia	2509
Bulgária	2659
Bélgica	2822
Hungria	2860
Irlanda	2864
Países Baixos	2869
Eslovénia	3042
Luxemburgo	3070
Reino Unido	3121
Roménia	3146
Alemanha	3202
Eslováquia	3390
Dinamarca	3449
Chéquia	3501
Polónia	3561
Áustria	3715
Lituânia	4056
Letónia	4229
Estónia	4405
Suécia	5353
Finlândia	5778

Tabela 40- Zonas climáticas ALDREN segundo HDD ($\theta=18^{\circ}\text{C}$) (adaptada de ALDREN D2.2) [35]

Zona Climática ALDREN	Intervalo HDD (graus-dia/ano)
Zona 1 – Quente	≤ 1200
Zona 2 – Moderada	1201–4000
Zona 3 – Fria	> 4000

Conforme indicado na Tabela 13, para esta zona climática, a ALDREN define um valor de referência (Ref) de $130 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ de energia primária não renovável, e uma meta NZEB de $46 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$, que constitui o objetivo orientador para intervenções de renovação profunda.

(Nota: Como a metodologia ALDREN foi desenvolvida para edifícios de escritórios e hotéis, adota-se aqui o referencial de escritórios para a avaliação das salas de aula e dos gabinetes, por se tratarem de espaços não residenciais com perfil funcional semelhante.)

Com o desempenho energético obtido e o valor de referência definido, calcula-se então a razão EP/Ref, que indica a relação entre o consumo de energia primária dos compartimentos analisados (EP) e o valor de referência (Ref). Este rácio serve de indicador base para o posicionamento dos compartimentos na escala de classes energéticas.

5.3.4. CLASSIFICAÇÃO NA ESCALA A-G

Os compartimentos analisados são classificados segundo uma escala de eficiência energética que varia da classe A+ à G, conforme os intervalos predefinidos do rácio EP/Ref. Valores inferiores a 1 indicam um desempenho melhor do que a referência (classes C, B e A), enquanto valores superiores a 1 indicam pior desempenho (classes E, F e G).

Os limites entre classes são definidos por uma progressão geométrica de razão $\sqrt{2}$ (aproximadamente 1,414), partindo do valor de referência. A Tabela 41 [35] apresenta os intervalos correspondentes a cada classe, incluindo a classe A+, reservada a compartimentos com balanço energético positivo ($\text{EP} < 0$), isto é, edifícios que produzem mais energia do que consomem anualmente.

Tabela 41- Escala de classes energéticas segundo o rácio EP/Ref [35]

Classe Energética	Intervalo do rácio EP/Ref
A+	$\text{EP} < 0$
A	$\text{EP/Ref} \leq 0,35$
B	$0,35 < \text{EP/Ref} \leq 0,50$
C	$0,50 < \text{EP/Ref} \leq 0,71$
D	$0,71 < \text{EP/Ref} \leq 1,00$
E	$1,00 < \text{EP/Ref} \leq 1,41$
F	$1,41 < \text{EP/Ref} \leq 2,00$
G	$\text{EP/Ref} > 2,00$

5.4. MÓDULO M4: COMFORT AND WELL-BEING

5.4.1. INTRODUÇÃO

O Módulo M4 do *Framework* ALDREN – *Comfort and Well-being* – avalia a Qualidade do Ambiente Interior (IEQ), com base no índice TAIL, que integra quatro domínios: Temperatura (T), Acústica (A), Qualidade do Ar Interior (I) e Iluminação (L). Este índice permite caracterizar o conforto e bem-estar dos ocupantes, promovendo uma abordagem integrada da reabilitação que vai além da eficiência energética.

No caso de estudo, o módulo teve como objetivo avaliar as condições reais dos compartimentos escolares selecionados, através de uma monitorização com sensores multiparâmetro. A recolha de dados decorreu de forma contínua, durante cerca de quatro semanas, permitindo a posterior classificação do desempenho segundo os critérios do protocolo ALDREN, conforme descrito no Capítulo 4.3.3.

Apesar do alcance da monitorização, verificaram-se algumas limitações técnicas relacionadas com o posicionamento de sensores em certos compartimentos, o que implicou a exclusão de parâmetros específicos da análise final, conforme descrito nas secções seguintes.

5.4.2. EQUIPAMENTO UTILIZADO

Para a monitorização ambiental dos compartimentos selecionados, foi instalado um dispositivo multifuncional em cada espaço, com capacidade para registar, de forma contínua, os quatro domínios do índice TAIL definidos pela metodologia ALDREN. Cada sensor integrava os seguintes módulos de medição:

- Temperatura do ar (°C);
- Humidade relativa (%);
- Concentração de dióxido de carbono (CO₂) (ppm);
- Partículas finas (PM_{2.5}) (µg/m³);
- Nível sonoro (dB(A));
- Iluminância (lux);
- Formaldeído (HCHO) (µg/m³).

Os equipamentos registavam automaticamente os dados em intervalos regulares de 10 minutos com sincronização para a plataforma digital *Digital Building Twin* da FEUP. Através desta plataforma online, foi possível aceder e exportar os registos organizados por compartimento e por parâmetro, assegurando a rastreabilidade e consistência dos dados analisados.

Importa referir que, apesar da abrangência dos sensores utilizados, não foi possível obter registos relativos à concentração de benzeno, à taxa de ventilação efetiva, nem à concentração de radão, parâmetros previstos no protocolo ALDREN para uma avaliação completa do domínio da Qualidade do Ar Interior (I).

Verificaram-se ainda limitações pontuais no posicionamento de alguns sensores, o que afetou a representatividade dos dados recolhidos para determinados parâmetros, como será detalhado na secção seguinte.

5.4.3. APLICAÇÃO

A aplicação do Módulo M4 foi realizada nos mesmos compartimentos analisados nos restantes módulos do *Framework* ALDREN, conforme descrito no Capítulo 3.2.2.2. Os sensores multiparâmetro

registaram continuamente os parâmetros do índice TAIL, durante o funcionamento normal da escola, assegurando a representatividade dos dados.

Os dados foram armazenados localmente e sincronizados com a plataforma *Digital Building Twin* da FEUP. Após a exportação, foram organizados por compartimento e por parâmetro, permitindo a análise em folhas de cálculo e posterior aplicação dos critérios do protocolo ALDREN. A cada domínio foi atribuída a categoria correspondente ao pior subparâmetro registado. O índice TAIL global de cada compartimento correspondeu ao desempenho mais desfavorável entre os quatro domínios.

No entanto, não foi possível assegurar os critérios ideais de instalação, em particular no que respeita à altura e ao afastamento de fontes de interferência. Esta limitação resultou de condicionantes operacionais associadas ao funcionamento contínuo da escola, à necessidade de ligação à corrente elétrica e à segurança dos ocupantes. Ainda assim, os dispositivos foram colocados em locais acessíveis e discretos, assegurando a estabilidade da recolha ao longo de todo o período de monitorização.

Para a avaliação acústica, conforme o protocolo ALDREN, foram considerados apenas períodos de desocupação com os sistemas técnicos em funcionamento. Para esse efeito, consideraram-se os intervalos temporais de aproximadamente 1h50 antes do início das atividades e 1h30 após o seu término, assegurando a ausência de ocupantes e a presença de ruído de fundo técnico.

Relativamente à Iluminância, os sensores instalados nas salas de aula encontram-se em zonas elevadas, sobre os projetores multimédia, comprometendo a representatividade das medições. Assim, a avaliação foi realizada apenas nos gabinetes, onde os sensores se encontravam ao nível do plano de trabalho.

Adicionalmente, em alguns compartimentos foram registados valores CO₂ inferiores a 400 ppm (valor mínimo típico do ar exterior), esta ocorrência aponta para possíveis erros de calibração. Nestes casos, os dados foram excluídos da avaliação da Qualidade do Ar Interior.

Quanto ao radão, a sua medição não foi necessária, dado que todos os compartimentos analisados se encontram localizados no primeiro piso do edifício, sem contacto direto com o solo.

Por fim, no domínio da Acústica, identificou-se uma limitação técnica do equipamento, cuja resolução mínima era de 45 dB(A). Este valor impede a distinção entre as categorias I, II e III nos gabinetes (classificados como escritórios pequenos, com limiares entre 30 e 40 dB(A)). Assim, não foi possível atribuir-lhes uma classificação fiável.

Já nas salas de aula, consideradas espaços amplos, a fronteira entre as categorias III (<45 dB(A)) e IV (≥45 dB(A)) é compatível com a sensibilidade do sensor, permitindo a avaliação neste contexto.

Para clarificar a distribuição dos sensores ao longo do edifício, foi elaborada uma planta esquemática com a indicação dos compartimentos analisados e da respetiva posição dos dispositivos. As Figura 33 e Figura 34 apresentam esta planta com a localização dos seis sensores utilizados, permitindo identificar a disposição dos equipamentos no contexto real da escola.

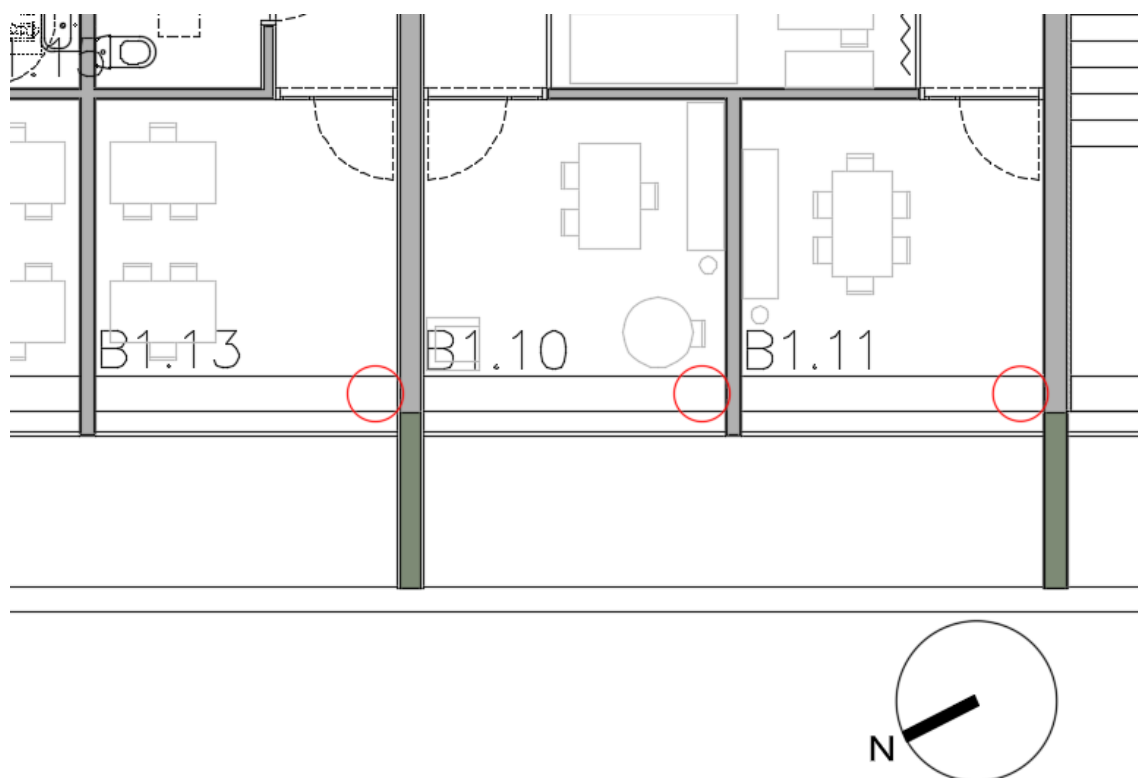


Figura 33- Planta com localização dos sensores nos Gabinetes

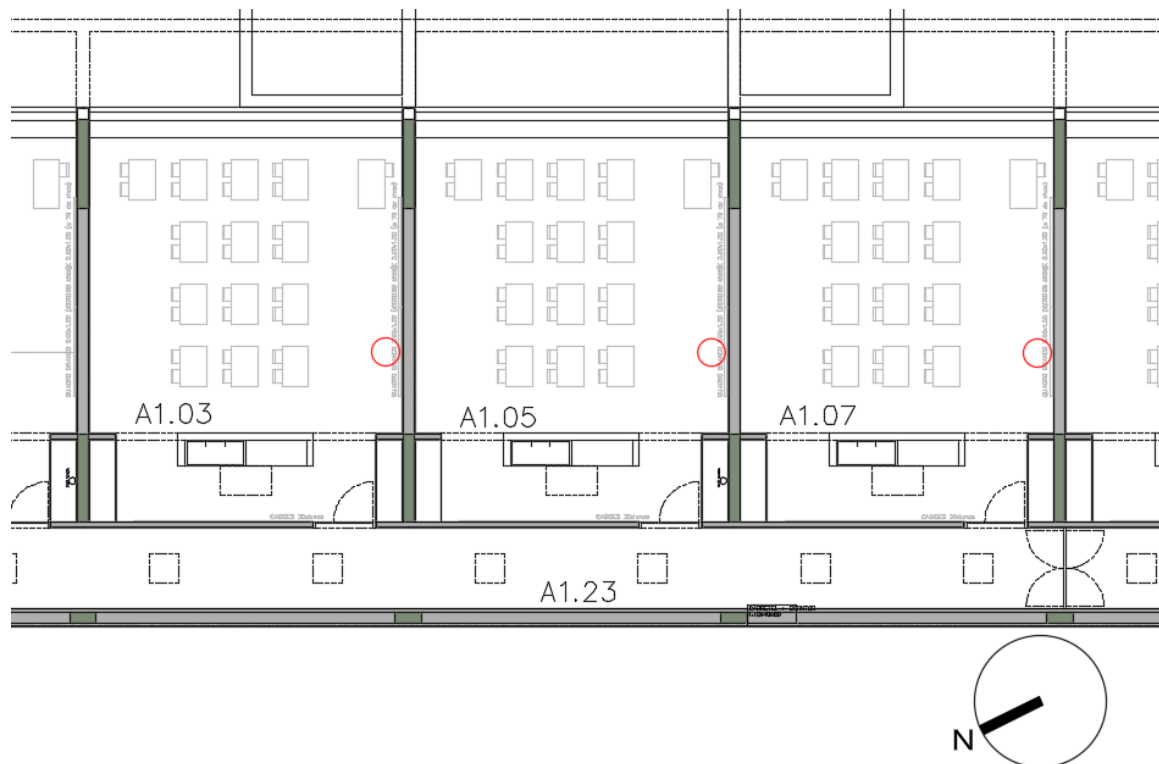


Figura 34- Planta com localização dos sensores nas salas de aula

No caso das salas de aula, os sensores foram instalados sobre os projetores multimédia, em zonas elevadas, fora do alcance das crianças. Esta solução permitiu garantir simultaneamente a segurança dos ocupantes, a ligação elétrica contínua e uma posição neutra no ponto de vista ambiental. A Figura 35 apresenta um exemplo da instalação na sala de aula A1.03.



Figura 35- Sensor instalado sobre o projetor multimédia na sala A1.03

Nos gabinetes, os dispositivos foram colocados junto às secretárias, em superfícies estáveis e próximas de tomadas elétricas. A Figura 36 ilustra a instalação realizada no gabinete B1.10.



Figura 36- Sensor instalado junto à secretária no gabinete B1.10.

A avaliação qualitativa dos dados recolhidos e a classificação de cada compartimento segundo o índice TAIL serão apresentadas no Capítulo 6, onde se analisam os resultados por domínio de conforto e por espaço monitorizado.

5.5. MÓDULO M7: ELEMENTARY RENOVATION ACTIONS (ERAs)

5.5.1. INTRODUÇÃO

O Módulo M7 visa identificar e priorizar intervenções elementares e viáveis que melhorem o desempenho energético e ambiental do edifício Integrado no *RenoMap* – componente central do BRP – este módulo liga o diagnóstico dos módulos anteriores (M1, M2 e M4) à definição de um plano faseado de reabilitação rumo ao desempenho NZEB.

No caso em estudo, a seleção das ERAs baseou-se numa avaliação qualitativa da eficácia energética, do conforto interior e da viabilidade técnica, uma vez que não estavam disponíveis dados económicos detalhados nem houve envolvimento direto do proprietário.

5.5.2. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS AÇÕES POTENCIAIS DE RENOVAÇÃO

Foram identificadas 10 ERAs com base nos dados dos Módulos M1, M2 e M4, com o objetivo de colmatar deficiências técnicas nos espaços analisados.

A análise centrou-se no desempenho real dos sistemas construtivos e técnicos, já que o edifício apresenta um estado de conservação recente e funcional. Os gabinetes revelaram consumos energéticos elevados por área útil e classificações desfavoráveis no domínio térmico. No domínio acústico, não foi possível

atribuir uma categoria devido à limitação dos sensores, cuja resolução mínima inviabilizou a avaliação. A iluminância foi avaliada apenas nos gabinetes. Nas salas de aula, identificaram-se falhas nos domínios térmico e acústico, com base em medições consideradas válidas. As intervenções propostas incidem na envolvente opaca e envidraçada, nos sistemas de ventilação, climatização, conforto acústico e iluminação.

Como o edifício foi renovado recentemente, não foram propostas ações a curto prazo. As ERAs foram definidas numa lógica de médio a longo prazo, respeitando os ciclos de vida dos sistemas existentes e evitando intervenções prematuras.

5.5.3. PRIORIZAÇÃO DAS INTERVENÇÕES

A priorização das ERAs seguiu uma matriz de avaliação técnica, que organizou as ações segundo a sua relevância e articulação com outras intervenções, preparando a base para o plano de renovação faseada (Módulo M8).

Foram considerados apenas critérios técnicos, com base no desempenho energético e ambiental, avaliando:

- Potencial: Impacto estimado da ação na melhoria do desempenho energético ou do conforto ambiental (0: baixo, 1: moderado, 2: elevado);
- Urgência: Grau de necessidade de implementação a curto prazo, face às deficiências identificadas (0: não urgente, 1: média, 2: alta);
- Interações: Relações técnicas e funcionais entre ações que recomendam a sua coordenação ou execução faseada.

Tendo em conta que o edifício foi recentemente renovado e apresenta um estado geral funcional, não foram propostas ações com caráter urgente. Por esse motivo, o critério “urgência” foi uniformemente classificado com o valor 0 para todas as ERAs, refletindo um horizonte de execução a médio ou longo prazo.

A ausência de dados financeiros limitou a introdução de critérios económicos. Ainda assim, a matriz permite estruturar uma proposta de renovação técnica consistente. A definição das ERAs e a respetiva matriz de priorização será apresentada no Capítulo 6.

5.6. MÓDULO M8: NZEB ROADMAP

5.6.1. INTRODUÇÃO

O Módulo M8 do *Framework* ALDREN tem como objetivo principal a elaboração de um roteiro de reabilitação com vista à convergência do edifício para o nível NZEB. Este roteiro baseia-se nas ERAs previamente definidas no Módulo M7, organizando-as de forma temporal e coerente, tendo em conta a interação entre as medidas, o seu impacto no desempenho energético e ambiental, e a sua urgência.

No presente caso de estudo, a construção do roteiro NZEB teve como base as ações selecionadas no M7, bem como os resultados obtidos nos Módulos M1, M2 e M4. As ações foram aplicadas em conjunto, simulando o seu efeito acumulado nos compartimentos analisados, com comparação entre o estado inicial (M2) e o estado após renovação (M8). A avaliação quantitativa dos resultados encontra-se detalhada no Capítulo 6.

5.6.2. DEFINIÇÃO E PRIORIZAÇÃO DAS ERAS

Com base no Módulo M7, foram identificadas dez ERAs, classificadas quanto ao seu potencial de impacto, urgência e interdependência técnica. A priorização foi orientada por uma matriz de decisão baseada nos resultados dos módulos M2 e M4, em conjunto com a análise técnica de viabilidade. A apresentação detalhada das ações, com a respetiva justificação técnica e fase proposta de implementação, encontra-se no Capítulo 6.

5.6.3. CONSTRUÇÃO DO ROTEIRO E CALENDARIZAÇÃO

As ações identificadas foram organizadas sequencialmente com base na sua interdependência técnica, prioridade e duração estimada de implementação.

Dado que o edifício foi recentemente intervencionado, optou-se por um roteiro de reabilitação com horizonte temporal dilatado, centrado em medidas a médio e longo prazo. Assim, foram adotados horizontes temporais faseados, alinhados com exemplos da aplicação da metodologia ALDREN, organizados da seguinte forma:

- Médio Prazo: 2030–2035;
- Longo Prazo: 2036–2041.

Esta calendarização reflete uma abordagem progressiva, permitindo uma implementação coordenada das ERAs com base nas suas interdependências e no impacto esperado sobre o desempenho do edifício. O planeamento detalhado encontra-se igualmente representado no Capítulo 6.

5.6.4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO ENERGÉTICO

A simulação energética do cenário renovado permitiu avaliar quantitativamente o impacto das ERAs na eficiência energética dos compartimentos. Para cada tipologia, foi comparado o rácio EP/REF antes (M2) e após renovação (M8), evidenciando reduções significativas, especialmente nos gabinetes. Os resultados completos encontram-se apresentados no Capítulo 6.

6

RESULTADOS

6.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo reúne os resultados obtidos com a aplicação prática dos módulos do *Framework* ALDREN no caso de estudo selecionado. Cada módulo foi desenvolvido de acordo com as diretrizes técnicas e operacionais da metodologia, sendo adaptado à realidade física e funcional dos compartimentos analisados.

Todos os resultados foram sistematizados em folhas separadas de um ficheiro Excel, organizadas por módulo (M1 a M8) e por tipologia (gabinetes e salas de aula).

Com o objetivo de garantir clareza, os resultados são apresentados de forma modular, seguindo a estrutura sequencial da metodologia. Neste capítulo, apresentam-se apenas os resultados síntese mais relevantes de cada módulo, remetendo-se os quadros e ficheiros completos para os respetivos anexos.

Complementarmente, cada subsecção inclui uma breve reflexão crítica sobre os resultados obtidos, identificando as principais implicações, vantagens e limitações de cada módulo no contexto do caso de estudo.

6.2. MÓDULO 1: BUILDING PICTURE

A caracterização técnica dos compartimentos analisados encontra-se apresentada no Anexo A1, sob a forma de fichas organizadas por tipologia, elaboradas com base nos dados recolhidos durante a aplicação do Módulo M1 da metodologia ALDREN.

Uma das principais mais-valias deste módulo foi a normalização da informação técnica, o que facilitou significativamente a sua integração nos módulos seguintes, nomeadamente nas simulações energéticas (M2) e na avaliação das condições de conforto e bem-estar (M4).

Embora existissem registos técnicos disponíveis, como plantas e memória descritiva, a falta de detalhe em alguns desses documentos exigiu validação complementar no local e cruzamento com outras fontes (como o modelo Revit), o que representou um esforço adicional nesta fase.

Ainda assim, a estrutura metodológica mostrou-se suficientemente flexível para se adaptar ao caso de estudo. A sua aplicação prática permitiu, assim, consolidar o Módulo M1 como uma etapa preparatória essencial no processo de desenvolvimento de um BRP, assegurando uma base informativa fiável.

6.3. MÓDULO 2: ENERGY RATING AND TARGET

A Tabela 42 apresenta os resultados médios por tipologia, com base nos valores obtidos através da simulação energética. São apresentados os consumos de energia primária não renovável (EP_{nren}), a razão entre estes consumos e o de referência (EP/REF) e a respetiva classe energética segundo a metodologia ALDREN.

Tabela 42- Resultados médios por tipologia

Tipologia	EP _{nren} (kWh/m ² ·ano)	EP/Ref	Classe ALDREN
Gabinetes	121.4	0.93	D
Salas de Aula	90.8	0.70	C

A tabela completa com os resultados por compartimento encontra-se no Anexo A2, incluindo os indicadores EP_{final}, EP_{nren}, razão EP/REF e classe energética atribuída.

Os resultados demonstram diferenças relevantes entre as tipologias analisadas, com os gabinetes a registarem consumos energéticos superiores e uma classificação inferior à das salas de aula. Esta discrepância está associada, por um lado, à presença de sistemas de climatização com arrefecimento ativo nos gabinetes, ao contrário das salas, que apenas dispõem de aquecimento. Por outro lado, a orientação dos vãos envidraçados desempenha um papel importante: os gabinetes, orientados a oeste, estão sujeitos a maior exposição solar nas horas mais quentes do dia, enquanto as salas de aula, voltadas a este, beneficiam de ganhos solares mais suaves durante o período da manhã.

Adicionalmente, a menor área e volume interior dos gabinetes implica uma menor inércia térmica simulada, o que, segundo o modelo energético utilizado, contribui para uma maior frequência de ativação dos sistemas AVAC devido a variações mais rápidas da temperatura interna.

Apesar destas diferenças, ambos os espaços apresentam valores EP/REF inferiores a 1, o que indica um desempenho superior ao cenário de referência. No entanto, as classes energéticas atribuídas (C e D) revelam margem de melhoria significativa, justificando a aplicação de medidas de eficiência energética que serão aprofundadas nos módulos seguintes.

A atribuição de classes energéticas C e D, mesmo após uma reabilitação recente, levanta questões sobre a eficácia das soluções aplicadas no edifício, reforçando a importância de avaliações detalhadas como as promovidas pelo ALDREN para detetar oportunidades de melhoria.

6.4. MÓDULO 4: CONFORT AND WEEL-BEING

6.4.1. RESULTADOS DETALHADOS POR DOMÍNIO (ÍNDICE TAIL)

A classificação da qualidade ambiental interior foi realizada com base no protocolo ALDREN, utilizando o índice TAIL. A classificação por domínio e por compartimento encontra-se organizada em tabelas próprias no Anexo A3, segundo os critérios técnicos definidos para cada parâmetro.

Em alguns casos, não foi possível avaliar certos domínios devido a limitações técnicas ou operacionais identificadas no Capítulo 5.4.3. A Iluminância foi avaliada apenas nos gabinetes, dado o posicionamento inadequado dos sensores nas salas. O ruído nos gabinetes não pôde ser classificado por limitação do sensor (valores mínimos ≥ 45 dB(A)). Em certos compartimentos, os valores de CO₂ foram desconsiderados por apresentarem concentrações inferiores a 400 ppm, indicativas de erro de calibração. A

avaliação do radão foi considerada não aplicável, uma vez que todos os espaços analisados se localizavam no primeiro piso. Estes casos estão assinalados como “ND” nas figuras e tabelas de resultado.

6.4.2. AVALIAÇÃO GRÁFICA POR COMPARTIMENTO

A Figura 37 apresenta a classificação visual dos compartimentos de acordo com os resultados do índice TAIL, destacando a categoria global obtida em cada espaço, atribuída com base na metodologia ALDREN.

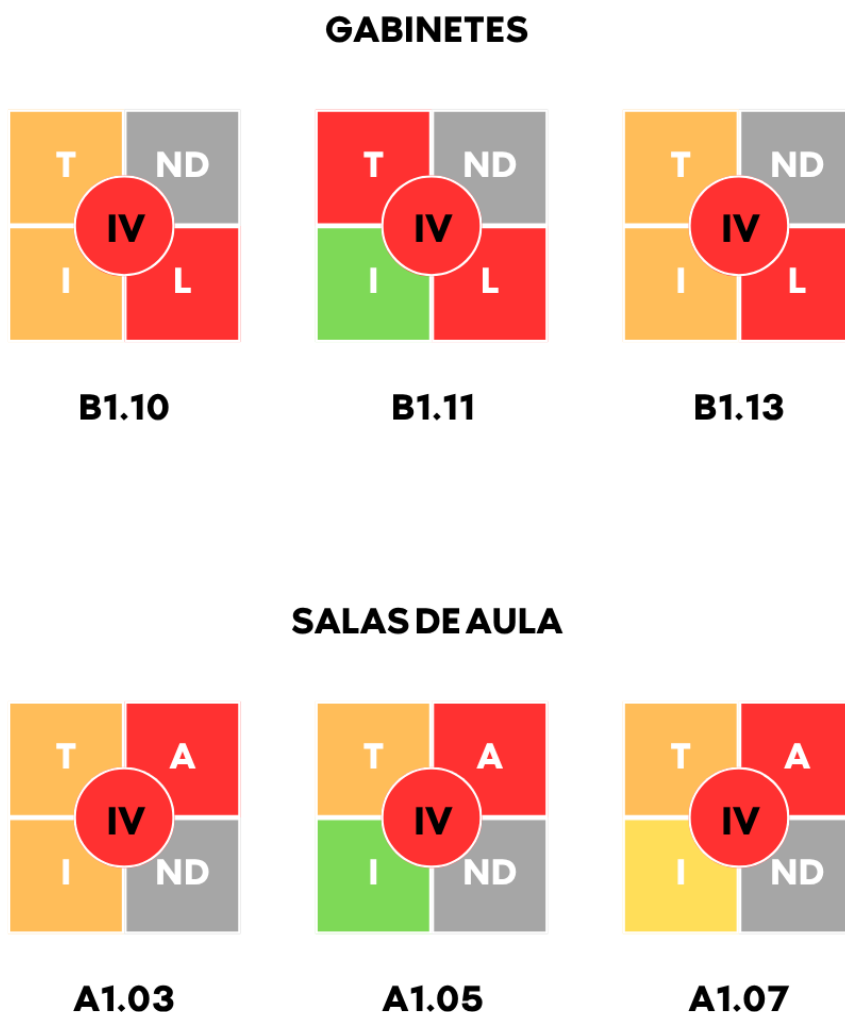


Figura 37- Classificação TAIL por compartimento

Apesar das limitações técnicas em alguns domínios, os resultados obtidos evidenciam tendências claras ao nível da qualidade ambiental. A maioria dos compartimentos obteve a classificação global IV, revelando um desempenho abaixo do desejável para edifícios escolares.

Nos gabinetes, o domínio iluminância foi classificado como Categoria IV em todos os espaços (B1.10, B1.11 e B1.13), devido a valores excessivos fora do intervalo de referência [300–500 lux], penalizando o conforto visual. A temperatura obteve Categoria IV em B1.11 e Categoria III nos restantes, refletindo

instabilidade térmica. No domínio CO₂, apenas o B1.13 apresentou valores válidos (Categoria I); nos restantes, os dados foram anulados por erros de calibração. Os parâmetros formaldeído e HR obtiveram Categoria I em todos os gabinetes, enquanto o PM2.5 variou entre Categoria I e II/III.

Nas salas de aula, o domínio mais penalizador a acústica, com Categoria IV atribuída a todos os compartimentos (A1.03, A1.05 e A1.07), refletindo níveis de ruído incompatíveis com um ambiente letivo adequado. Importa, no entanto, referir que esta avaliação foi realizada com base em medições pontuais efetuadas 1h30 antes e 1h30 após o horário de utilização dos espaços, com os sistemas ligados, para simular o cenário previsto no protocolo ALDREN (edifício desocupado).

Apesar da tentativa de replicar essas condições, é provável que ruídos residuais tenham influenciado negativamente os resultados. Assim, recomenda-se cautela na interpretação dos resultados do domínio acústico, bem como a eventual realização de medições complementares em condições mais controladas, caso se pretenda uma avaliação mais precisa.

A temperatura foi classificada de forma uniforme em Categoria III, revelando um conforto térmico aceitável, mas com margem para melhoria, especialmente em períodos de variação sazonal.

No parâmetro CO₂, as salas A1.03 e A1.05 obtiveram Categoria I, indicando boa renovação do ar, enquanto a A1.07 foi classificada como Categoria II, sugerindo ventilação ligeiramente insuficiente durante os períodos de maior ocupação. O domínio formaldeído apresentou um desempenho consistente em todas as salas, com Categoria I atribuída, tal como os domínios PM2.5 e humidade relativa (HR), ambos também com classificação favorável (Cat. I) na maioria dos casos. A iluminância não foi avaliada nas salas devido a limitações no posicionamento dos sensores (“ND”).

Os resultados deste módulo confirmam a importância da monitorização ambiental contínua, permitindo a deteção de situações críticas que não seriam identificáveis apenas por inspeção visual ou análise técnica. A aplicação do Módulo M4 reforça o potencial dos BRPs na reabilitação orientada para o conforto e bem-estar dos utilizadores.

6.5. MÓDULO 7: ELEMENTARY RENOVATION ACTIONS

A identificação das ERAs resultou da análise integrada dos resultados obtidos nos módulos anteriores (M1 a M4), segundo a metodologia do Módulo M7 do *Framework* ALDREN. As ações foram definidas com base na comparação entre o desempenho atual dos elementos construtivos e sistemas técnicos e os valores de referência NZEB, complementada por critérios de impacto energético (M2), conforto ambiental (M4) e viabilidade técnica. As tabelas encontram-se no Anexo A4

Ações com maior potencial de melhoria incluem:

- A substituição dos vãos envidraçados (E.5), com transmitância térmica elevada ($U = 2.685 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), o que compromete o desempenho energético (M2) e o conforto acústico (M4);
- O reforço do isolamento da envolvente opaca (E.1, E.2), necessário para cumprir as metas NZEB;
- A introdução de sistema de arrefecimento nas salas (C.2), justificada pelo sobreaquecimento registado no Módulo M4;
- A substituição do sistema de aquecimento nas salas (H.1 cuja eficiência foi considerada insuficiente face aos limiares NZEB;
- A substituição por iluminação LED (L.1), recomendada com base nos consumos e na classificação da iluminância nos gabinetes.

Importa referir que, na ausência de dados reais sobre os sistemas de AVAC existentes, os valores de desempenho (COP) utilizados para a análise foram arbitrados com base em referências técnicas e valores típicos, como descrito no Capítulo 5.

Todas as ERAs foram classificadas com grau de urgência 0, refletindo a recente reabilitação do edifício e o enquadramento das ações como melhorias de médio/longo prazo. A matriz de interdependência técnica permitiu ordenar as intervenções segundo a sua sequência lógica e funcional.

A abordagem ALDREN destaca-se por estruturar a seleção e priorização das medidas, promovendo a coordenação entre sistemas e facilitando a definição de estratégias faseadas. Entre as limitações identificadas, salienta-se a ausência de análise económica detalhada e a dependência de dados técnicos específicos, que podem não estar sempre disponíveis.

Este módulo contribui diretamente para os objetivos da dissertação, ao demonstrar a utilidade do ALDREN na formulação de um plano técnico coerente de reabilitação, elemento central num BRP. A utilização da matriz técnica permitiu ordenar as ERAs de forma lógica, facilitando a sua implementação faseada, conforme desenvolvido no módulo seguinte (M8).

6.6. MÓDULO 8: NZEB ROADMAP

A Tabela 43 apresenta a comparação dos valores de razão EP/REF antes e depois da aplicação das ERAs, por tipologia. Esta síntese permite quantificar o impacto energético agregado das intervenções definidas no Módulo M7 e projetadas no âmbito da transição para NZEB, conforme indicado pelo Módulo M8 do *Framework* ALDREN.

Tabela 43- Comparação EP/REF antes e depois da renovação (por tipologia)

Tipologia	EP/REF Antes	Classe Antes	EP/REF Depois	Classe Depois
Gabinetes	0,93	D	0,63	C
Salas de Aula	0,70	C	0,62	C

Verifica-se uma redução significativa na razão EP/REF, em particular nos gabinetes, cuja melhoria de desempenho permite a transição da classe D para C. Embora nas salas de aula a classe final se mantenha, o decréscimo na razão EP/REF reflete um avanço energético relevante.

A folha completa do Módulo M8 encontra-se incluída no Anexo A5, onde se apresentam os rácios energéticos antes e depois da renovação para cada compartimento, bem como as respetivas percentagens de redução. Estão também incluídas as ERAs consideradas, organizadas por fases de aplicação (curto, médio e longo prazo) e acompanhadas da respetiva justificação técnica, em conformidade com as diretrizes da metodologia ALDREN.

Este módulo consolida os resultados dos anteriores, traduzindo-os num roteiro estratégico de reabilitação faseada, que apoia a tomada de decisão técnica e política. A integração entre metas energéticas, conforto interior e priorização técnica reforça o papel dos BRPs enquanto instrumentos operacionais para a transição energética dos edifícios existentes.

Apesar da coerência técnica do roadmap, importa reconhecer algumas limitações. Os valores de desempenho (ex. COP) foram arbitrados na ausência de dados reais, e as simulações assumem a implementação integral das ERAs com parâmetros ideais, o que representa um cenário teórico. A calendarização

das fases baseou-se exclusivamente em critérios técnicos e de interdependência funcional, não sendo complementada por uma análise económica ou orçamental.

Adicionalmente, a sua elaboração foi realizada sem consulta direta ao proprietário do edifício, pelo que as metas e prazos definidos devem ser entendidos como indicativos e estratégicos, carecendo de ajustamento em contexto real de decisão.

7

CONCLUSÃO

7.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação teve como objetivo principal avaliar a aplicabilidade dos BRPs em projetos de reabilitação energética de edifícios, com destaque no enquadramento metodológico, na preparação prática e no potencial de adoção destes instrumentos no contexto português. Para atingir este propósito, foi realizada inicialmente uma revisão abrangente da literatura e do quadro regulamentar, identificando os desafios atuais, como a baixa taxa de renovação do parque edificado e a necessidade de melhoria do desempenho energético e ambiental dos edifícios existentes, bem como as principais abordagens de BRPs desenvolvidos na Europa.

Esta análise de estado de arte permitiu compreender a evolução do conceito de BRP, desde os primeiros Certificados Energéticos estáticos até às abordagens mais integradas e digitais promovidas por iniciativas recentes. Em seguida, procedeu-se à comparação crítica de vários *Frameworks*, destacando-se quatro em particular – ALDREN, iSFP, P2E e Woningpas – avaliados segundo critérios de abrangência técnica, alinhamento com políticas europeias e adequação ao contexto nacional. Com base nessa comparação, o *Framework* da ALDREN foi selecionado para aplicação num caso de estudo representativo, devido à sua estrutura modular completa (Módulos M1–M8), à integração de avaliação de conforto interior (índice TAIL) e à definição de um *Roadmap* faseado de renovação (NZEB Roadmap), características que o tornam especialmente adequado para demonstrar um BRP alinhado com as metas europeias de descarbonização.

A metodologia adotada consistiu na aplicação de seis módulos da ALDREN (M1, M2, M4, M7, M8), com o objetivo de caracterizar os espaços, avaliar o desempenho energético e ambiental, identificar ações de melhoria e propor um plano de reabilitação faseado. A recolha de dados foi realizada através de modelos digitais, uma visita ao local e monitorização ambiental com sensores. A avaliação energética (M2) permitiu estimar o consumo de energia primária não renovável e atribuir uma classe energética a cada tipologia. A qualidade do ambiente interior (M4) foi avaliada segundo o índice TAIL, identificando parâmetros críticos de conforto e bem-estar. Com base nestas análises, foram propostas medidas de melhoria técnica (ERAs) e elaborado um *Roadmap* de renovação com horizonte temporal a médio/longo prazo (M7 e M8).

Concluiu-se que os BRPs apresentam um elevado potencial de aplicabilidade, na medida em que permitem estruturar de forma integrada a informação técnica, energética e ambiental do edifício, facilitando a definição de estratégias de intervenção progressiva. No entanto, a sua implementação prática exige uma base de dados fiável, competências técnicas especializadas e, idealmente, o apoio de ferramentas digitais de gestão de edifícios. O estudo contribuiu, assim, para reduzir a lacuna existente entre a teoria dos BRPs e a sua aplicação prática, apresentando um exemplo concreto e devidamente documentado de

como este instrumento pode ser implementado num edifício real em Portugal, ainda que com uma aplicação metodológica adaptada, uma vez que foi necessário ajustar os outputs do modelo ALDREN às especificidades do caso de estudo e à disponibilidade limitada de dados reais.

Os principais resultados confirmam que os BRPs podem apoiar decisões mais informadas, ao integrar avaliação energética e de conforto com propostas técnicas estruturadas. O caso de estudo revelou melhorias viáveis em termos de eficiência e qualidade do ambiente interior, reforçando a utilidade de um plano de renovação faseado e personalizado. Este processo permite evitar intervenções descoordenadas e identificar prioridades técnicas com base em critérios objetivo.

Criticamente, reconhece-se que a ausência de dados económicos e o não envolvimento direto do proprietário limitou o alcance da aplicação. Além disso, a complexidade da metodologia revelou-se um desafio significativo, agravado pela inexistência de *templates* prontos a utilizar, exigindo adaptações manuais constantes, apesar das orientações e protocolos existentes. Este processo implicou replicar em folhas de cálculo os exemplos documentados, exigindo um esforço acrescido de interpretação, sistematização e gestão da disponibilidade limitada de dados reais. Ainda assim, os BRPs revelam-se ferramentas promissoras para a transição energética do parque edificado, contribuindo para edifícios mais eficientes, confortáveis e alinhados com as metas climáticas europeias. A aplicação realizada constitui um contributo relevante para a demonstração prática do conceito de BRP, ajudando a reduzir a distância entre a teoria e a aplicação real em contexto nacional.

7.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Apesar dos contributos significativos deste trabalho, vários aspetos merecem ser aprofundados em futuras investigações. A experiência prática e as limitações identificadas permitiram delinear algumas áreas importantes para futuros desenvolvimentos:

- Implementação do módulo M3 (Energy Verification): A aplicação deste módulo permitirá validar, com base em dados reais, a eficácia das medidas implementadas, identificar eventuais desvios face às previsões e melhorar o rigor do processo de renovação;
- Integração do módulo M5 (Cost, Value & Risk): A inclusão deste módulo permitirá avaliar os custos e benefícios das intervenções propostas, apoiar decisões de investimento e melhorar a viabilidade prática dos BRPs;
- Alargamento a outras tipologias de edifícios: A aplicação dos BRPs a contextos residenciais, históricos ou de serviços permitirá testar a flexibilidade e robustez do *Framework*, bem como adaptar a metodologia a diferentes realidades técnicas e construtivas;
- Desenvolvimento de ferramentas digitais e interfaces acessíveis: A criação de plataformas que automatizem partes do BRP e apresentem os resultados de forma clara e interativa poderá facilitar a sua adoção por técnicos, gestores e proprietários. Projetos de investigação e desenvolvimento poderão focar-se em ferramentas de software que gerem automaticamente partes do BRP, atualizem os dados em tempo real e permitam simulações iterativas de cenários de renovação, transformando o BRP num documento ainda mais dinâmico ao longo do ciclo de vida do edifício;
- Promoção de políticas públicas e capacitação técnica: Sugere-se a definição de um enquadramento regulamentar específico para os BRPs em Portugal, bem como o apoio a programas de formação destinados aos diferentes intervenientes envolvidos no processo de renovação.

Em conclusão, a continuidade e expansão da investigação sobre BRPs são fundamentais para consolidar o seu papel na transição energética do ambiente construído. As recomendações acima destacam

caminhos promissores para o aperfeiçoamento da metodologia, a sua adaptação a diferentes contextos e a facilitação da sua aplicação prática. Desta forma, os BRPs poderão afirmar-se, nos próximos anos, como um pilar estratégico das políticas de reabilitação, contribuindo para edifícios mais eficientes, confortáveis e resilientes, em benefício das gerações presentes e futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. European Parliament. *A ação da UE para reduzir o consumo energético*. 2024 18/02/25]; Available from: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20221128STO58002/poupar-energia-acao-da-ue-para-reduzir-o-consumo-energetico>.
2. BPIE, *Building Renovation Passports: Consumer's journey to a better home*. 2017: <https://www.bpie.eu>.
3. Nicoletti, F., et al., *Building renovation Passport: A new methodology for scheduling and addressing financial challenges for low-income households*. Energy and Buildings, 2025. **331**.
4. BPIE, *Building Renovation Passports: Customised roadmaps towards deep renovation and better homes*, in BPIE. 2016.
5. Beltrán-Velamazán, C., et al., *Comparison of Frameworks for the Assessment of Decarbonisation of European National Building Stocks*. Environmental and Climate Technologies, 2023. **27**(1): p. 506-515.
6. European Commission. *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*. 2024 20/02/25]; Available from: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
7. European Commission. *Questions and Answers on the revised Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*. 2024 20/02/2025]; Available from: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_24_1966.
8. Council of the European Union. *European Green Deal*. 20/02/25]; Available from: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/>.
9. European Commission. *Renovation Wave*. 2024 20/02/2025]; Available from: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en.
10. BPIE, *Enabling local authorities to lead the decarbonisation of existing buildings*. 2024, BPIE.
11. Sesana, M.M. and G. Salvalai, *A review on Building Renovation Passport: Potentialities and barriers on current initiatives*. Energy and Buildings, 2018. **173**: p. 195-205.
12. Tuscher, M., Hanák, M., Navrátilová, V., & Tichá, A. *Usage of Building Passports and BIM in Multi-Criteria Evaluation*. in *CENTERIS – International Conference on ENTERprise Information Systems; ProjMAN – International Conference on Project Management; HCist – International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies* 2023. 2024. Elsevier.
13. Gómez-Gil, M., A. Espinosa-Fernández, and B. López-Mesa, *Review and Analysis of Models for a European Digital Building Logbook*. Energies, 2022. **15**(6).
14. Mpouzianas, N., et al., *Building renovation Roadmapping: an automated methodology framework for energy efficiency improvement and sustainable renovation planning*. International Journal of Sustainable Energy, 2024. **43**(1).
15. BPIE, *Accelerating deep renovation in the EU with Renovation Passports*. 2024.
16. Sesana, M.M., M. Rivallain, and G. Salvalai, *Overview of the Available Knowledge for the Data Model Definition of a Building Renovation Passport for Non-Residential Buildings: The ALDREN Project Experience*. Sustainability, 2020. **12**(2).
17. Sesana, M., et al., *ALDREN: A Methodological Framework to Support Decision-Making and Investments in Deep Energy Renovation of Non-Residential Buildings*. Buildings, 2020. **11**(1).
18. European Commission. *Building Passport Flanders - Woningpas*. 2024 22/02/25].
19. The Shift Project. *Passeport Efficacité Énergétique (P2E)*. 2024 24/02/25]; Available from: <https://theshiftproject.org/experience-p2e/>.
20. Verbraucherzentrale. *Individueller Sanierungsfahrplan (iSFP): Modernisieren mit Köpfchen*. 2025 05/03/2025]; Available from: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/energetische-sanierung/individueller-sanierungsfahrplan-isfp-modernisieren-mit-koepfchen-59828>

21. (BMWK), B.f.W.u.K. *iSFP – Individueller Sanierungsfahrplan für Wohngebäude*. 2024 19/03/2025]; Available from: <https://www.gebaeudeforum.de/realisieren/isfp/>.
22. Põdra, A.A., et al., *Technical State, Renovation Need and Performance of Renovation Solutions of Estonian Wooden Log Houses*. Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering, 2024. **34**(1): p. 35-52.
23. Consortium, A. *POLIMI – Politecnico di Milano – ALDREN Project*. 2020 05/04/2025]; Available from: <https://aldren.eu/project/polimi/>.
24. Buchholz, M. and T. Lützkendorf, *European building passports: developments, challenges and future roles*. Buildings and Cities, 2023. **4**(1): p. 902-919.
25. BPIE. *Renocally – Lessons learned from effectively implementing building renovation passports* 2025 14/03/2025]; Available from: <https://www.bpie.eu/news/renocally-lessons-learned-from-effectively-implementing-building-renovation-passports/>.
26. Carvalho, C., et al., *Energy Performance Certificates Policy needs and best practices*. 2024.
27. Mellwig, P., et al. *iBRoad2EPC - Upgrading EPCs to support Europe's climate ambitions*. in *Eceee Summer Study Proceedings*. 2022.
28. BPIE, *Understanding potential user needs*. 2018: iBRoad.
29. Câmara Municipal de Lisboa. *Câmara investiu 30 milhões de euros em escolas e creches*. 2023 25/03/2025]; Available from: <https://informacao.lisboa.pt/noticias/detalhe/camara-investiu-este-ano-30-milhoes-de-euros-em-escolas-e-creches>.
30. Trienal de Arquitectura de Lisboa. *Escola Básica Arquitecto Gonçalo Ribeiro Telles*. 2024 25/03/2025]; Available from: <https://www.trienaldelisboa.com/ohl/espaco/escola-basica-arquitecto-goncalo-ribeiro-telles/>.
31. Consortium, A. *ALliance for Deep RENovation in buildings (ALDREN)*. 2020 05/04/2025]; Available from: <https://aldren.eu/>.
32. European Commission. *ALliance for Deep RENovation in buildings (ALDREN) Implementing the European Common Voluntary Certification Scheme, as back-bone along the whole deep renovation process*. 2022 8/04/2025]; Available from: <https://cordis.europa.eu/project/id/754159/results>.
33. European Commission. *ALliance for Deep RENovation in buildings (ALDREN) Implementing the European Common Voluntary Certification Scheme, as back-bone along the whole deep renovation process*. 2022 09/04/2025]; Available from: <https://cordis.europa.eu/project/id/754159>.
34. Bendžalová, J., *European Common Voluntary Certification Scheme and energy ratings*. ALDREN, 2020.
35. Bendžalova, J., Ligier, S., Zirngibl, J., & Muskatova, D., *D2.2 - ALDREN Methodology note on energy rating procedure*. 2020, ALDREN Consortium: Brussels.
36. Cohen, R., Waring, G., & Ansari, S., *D2.3: Methodology note on addressing the gap between calculated and actual Energy Performance*. 2019, ALDREN Consortium: Brussels.
37. Cohen, R., Waring, G., & Ansari, S., *Closing the energy gap in renovations of offices and hotels*. ALDREN, 2020.
38. Wargocki, P., Mandin, C., & Wei, W., *D2.4 – ALDREN Methodology note on addressing health and wellbeing*. 2019, ALDREN Consortium: Brussels.
39. Wei, W., Mandin, C., & Wargocki, P., *Application of ALDREN-TAIL index for rating the indoor environmental quality of buildings undergoing deep energy renovation*. ALDREN, 2020.
40. Yona KAMELGARN (CERTIVEA), N.S.C., Jana BENDZALOVA (ENBEE), *D2.5 - ALDREN Methodology note on linking the EVCS to financial valuation*. 2019, ALDREN Consortium: Brussels.
41. Greslou, O., & Bendžalová, J., *Linking ALDREN's energy and IEQ performance assessments to financial value of buildings*. ALDREN, 2020.
42. Salvalai, G., Sesana, M. M., & Ligier, S., *D2.6 – ALDREN Methodology note on rendering of the collected data and results in a building renovation passport*. 2019, ALDREN Consortium: Brussels.

ANEXOS

A1. MÓDULO M1: BUILDING PICTURE

- Gabinetes

Código	Indicador	Valor	Unidade
1.	CARACTERIZAÇÃO DO COMPARTIMENTO		
1.1	Categoria	Não Residencial - Escolar	-
1.2	Nome	Gabinetes	-
1.3	Proprietário	Câmara Municipal de Lisboa	-
1.4	Ano de construção	2019	-
1.5	Ano da última renovação	2019	-
2.	LOCALIZAÇÃO		
2.1	País	Portugal	-
2.2	Cidade	Lisboa	-
2.3	Distrito/Freguesia	Benfica	-
2.4	Código postal	1500-524 Lisboa	-
2.5	Morada	Bairro da Boavista, nº 4	-
3.	DADOS CLIMÁTICOS		
3.1	Localidade climática	Lisboa	-
3.2	Zona climática	I1 , V2	-
4.	GEOMETRIA DO COMPARTIMENTO		
4.1	Área útil de referência	12.25	m ²
4.2	Pé direito	3	m
4.3	Volume do compartimento	37	m ³
4.4	Factor de forma A/V	0.34	-
4.5	Pisos	1	uni
4.6	Nº de utilizadores	2	-
5.	ENVOLVENTE		
5.1	PAREDES EXTERIORES		
5.1.1	Tipo de parede exterior	Alvenaria dupla de betão com XPS e caixa de ar	-
5.1.2	Valor médio U da envolvente	0.427	W/m ² .K
5.1.3	Presença de isolamento térmico	Sim	-
5.1.4	Espessura do isolamento	50	mm
5.2	VÃOS ENVIDRAÇADOS		
5.2.1	Valor médio U das janelas	2.685	W/m ² .K
5.2.2	Elementos de proteção solar da fachada	Estores interiores móveis	-
5.2.3	Controlo de sombreamento	Manual	-
5.3	PAVIMENTOS		
5.3.1	Tipo de pavimento	Laje sobre espaço aquecido com acabamento em madeira	-
5.3.2	Valor médio U do pavimento	1.393	W/m ² .K
5.4	COBERTURA		
5.4.1	Tipo de cobertura	Cobertura plana invertida com isolamento em lã mineral	-
5.4.2	Valor médio U da cobertura	0.345	W/m ² .K
6.	SISTEMAS TÉCNICOS		
6.1	AQUECIMENTO		
6.1.1	Tipo de sistema de aquecimento	Ar condicionado (mini VRF)	-
6.1.2	Coeficiente de desempenho	COP = 4.0	-
6.2	ARREFECIMENTO		
6.2.1	Tipo de sistema de arrefecimento	Ar condicionado (mini VRF)	-
6.2.2	Coeficiente de desempenho	COP = 4.0	-
6.3	VENTILAÇÃO		
6.3.1	Tipologia de ventilação	Mista – natural + mecânica por extração	-
6.4	ÁGUA QUENTE SANITÁRIA		
6.4.1	Tipo de Sistema de AQS	N/A	-

• Salas de Aula

Código	Indicador	Valor	Unidade
1.	CARACTERIZAÇÃO DO COMPARTIMENTO		
1.1	Categoria	Não Residencial - Escolar	-
1.2	Nome	Salas	-
1.3	Proprietário	Câmara Municipal de Lisboa	-
1.4	Ano de construção	2019	-
1.5	Ano da última renovação	2019	-
2.	LOCALIZAÇÃO		
2.1	País	Portugal	-
2.2	Cidade	Lisboa	-
2.3	Distrito/Freguesia	Benfica	-
2.4	Código postal	1500-524 Lisboa	-
2.5	Morada	Bairro da Boavista, nº 4	-
3.	DADOS CLIMÁTICOS		
3.1	Localidade climática	Lisboa	-
3.2	Zona climática	I1, V2	-
4.	GEOMETRIA DO COMPARTIMENTO		
4.1	Área útil de referência	64	m ²
4.2	Pé direito	2.7 ; 3	m
4.3	Volume do compartimento	185	m ³
4.4	Factor de forma A/V	0.35	-
4.5	Pisos	1	uni
4.6	Nº de utilizadores	20	-
5.	ENVOLVENTE		
5.1	PAREDES EXTERIORES		
5.1.1	Tipo de parede exterior	Alvenaria dupla de betão com XPS e caixa de ar	-
5.1.2	Valor médio U da envolvente	0.427	W/m ² .K
5.1.3	Presença de isolamento térmico	Sim	-
5.1.4	Espessura do isolamento	50	mm
5.2	VÃOS ENVIDRAÇADOS		
5.2.1	Valor médio U das janelas	2.685	W/m ² .K
5.2.2	Elementos de proteção solar da fachada	Estores interiores móveis	-
5.2.3	Controlo de sombreamento	Manual	-
5.3	PAVIMENTOS		
5.3.1	Tipo de pavimento	Laje sobre espaço não aquecido com isolamento e acabamento em madeira	-
5.3.2	Valor médio U do pavimento	0.375	W/m ² .K
5.4	COBERTURA		
5.4.1	Tipo de cobertura	Cobertura plana invertida com isolamento em lã mineral	-
5.4.2	Valor médio U da cobertura	0.345	W/m ² .K
6.	SISTEMAS TÉCNICOS		
6.1	AQUECIMENTO		
6.1.1	Tipo de sistema de aquecimento	Unidade de ventilação com recuperador de calor térmico (RCT)	-
6.1.2	Eficiência do aquecimento	COP = 3.0	-
6.2	ARREFECIMENTO		
6.2.1	Tipo de sistema de arrefecimento	N/A	-
6.2.2	Coeficiente de desempenho	N/A	-
6.3	VENTILAÇÃO		
6.3.1	Tipologia de ventilação	Mista – natural + mecânica com recuperador de calor térmico (RCT)	-
6.4	ÁGUA QUENTE SANITÁRIA		
6.4.1	Tipo de Sistema de AQS	N/A	-

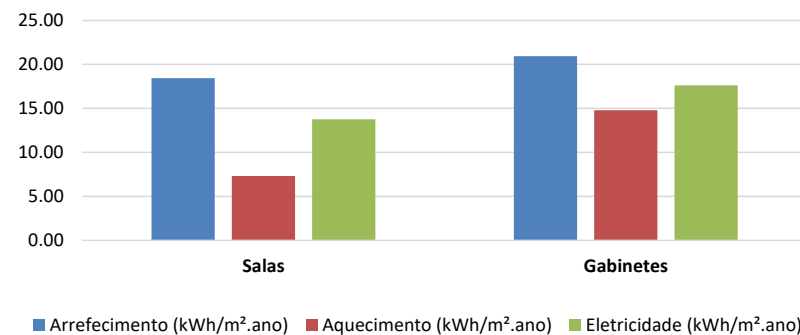
A2. MÓDULO M2: ENERGY RATING AND TARGET

Compartimento	Arrefecimento (kWh/ano)	Aquecimento (kWh/ano)	Eletricidade (kWh/ano)	Energia final total (kWh/ano)	Energia primária nren (kWh/ano)	Área útil (m²)	Consumo Específico (kWh/m².ano)	Rácio EP/REF	Classe
Sala A1.03	1175.36	524.98	888.51	2588.85	5954.355	64.61	92.16	0.71	C
Sala A1.05	1207.34	443.14	888.51	2538.99	5839.677	64.61	90.38	0.70	C
Sala A1.07	1188.68	448.36	888.51	2525.55	5808.765	64.61	89.91	0.69	C
Gabinete B1.10	242.53	185.92	215.91	644.36	1482.028	12.25	120.98	0.93	D
Gabinete B1.11	272.29	171.81	215.91	660.01	1518.023	12.25	123.92	0.95	D
Gabinete B1.13	255.11	185.49	215.91	656.51	1509.973	12.25	123.26	0.95	D

	VALOR
Fator de conversão	2.3
REF	130

Compartimento	Arrefecimento (kWh/m².ano)	Aquecimento (kWh/m².ano)	Eletricidade (kWh/m².ano)	Energia final (kWh/m².ano)
Salas	18.43	7.31	13.75	39.49
Gabinetes	20.95	14.78	17.63	53.36

Consumo de energia por serviço (kWh/m².ano)



A3. MÓDULO M4: COMFORT AND WELL-BEING

	T	A	I				L	
Compartimento	Temperatura	Ruído	CO ₂	Formaldeído	PM2.5	HR	Iluminância	Classificação
B1.10	Categoria III	ND	ND	Categoria I	Categoria II/III	Categoria I	Categoria IV	Categoria IV
B1.11	Categoria IV	ND	ND	Categoria I	Categoria I	Categoria I	Categoria IV	Categoria IV
B1.13	Categoria III	ND	Categoria I	Categoria I	Categoria II/III	Categoria I	Categoria IV	Categoria IV
A1.03	Categoria III	Categoria IV	Categoria I	Categoria I	Categoria I	Categoria I	ND	Categoria IV
A1.05	Categoria III	Categoria IV	Categoria I	Categoria I	Categoria I	Categoria I	ND	Categoria IV
A1.07	Categoria III	Categoria IV	Categoria II	Categoria I	Categoria I	Categoria I	ND	Categoria IV

B1.10	T	A	I				L	Gabinetes
	Temperatura	Ruído	CO ₂	Formaldeído	PM2.5	HR	Iluminância	
	Categoria III	ND	ND	Categoria I	Categoria II/III	Categoria I	Categoria IV	
	Categoria III	ND	Categoria III				Categoria IV	
B1.11	T	A	I				L	
	Temperatura	Ruído	CO ₂	Formaldeído	PM2.5	HR	Iluminância	
	Categoria IV	ND	ND	Categoria I	Categoria I	Categoria I	Categoria IV	
	Categoria IV	ND	Categoria I				Categoria IV	
B1.13	T	A	I				L	
	Temperatura	Ruído	CO ₂	Formaldeído	PM2.5	HR	Iluminância	
	Categoria III	ND	Categoria I	Categoria I	Categoria II/III	Categoria I	Categoria IV	
	Categoria III	ND	Categoria III				Categoria IV	
A1.03	T	A	I				L	Salas de Aula
	Temperatura	Ruído	CO ₂	Formaldeído	PM2.5	HR	Iluminância	
	Categoria III	Categoria IV	Categoria I	Categoria I	Categoria II/III	Categoria I	ND	
	Categoria III	Categoria IV	Categoria III				ND	
A1.05	T	A	I				L	
	Temperatura	Ruído	CO ₂	Formaldeído	PM2.5	HR	Iluminância	
	Categoria III	Categoria IV	Categoria I	Categoria I	Categoria I	Categoria I	ND	
	Categoria III	Categoria IV	Categoria I				ND	
A1.07	T	A	I				L	
	Temperatura	Ruído	CO ₂	Formaldeído	PM2.5	HR	Iluminância	
	Categoria III	Categoria IV	Categoria II	Categoria I	Categoria I	Categoria I	ND	
	Categoria III	Categoria IV	Categoria II				ND	

A4. MÓDULO M7: ELEMENTARY RENOVATION ACTIONS (ERAs)

- ERAs

ERA #	Elemento Intervencionado	Ação de Renovação Elementar	Estado Atual	Meta NZEB	Aplicabilidade	Comentário Técnico
Envolvente (E)						
E.1	Paredes Exteriores	Isolamento térmico das paredes exteriores	$U = 0.427 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$U \leq 0.17 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	Salas e Gabinetes	Melhoria possível (M2: Perdas)
E.2	Cobertura	Isolamento térmico da cobertura	$U = 0.345 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	Salas e Gabinetes	Melhoria possível (M2: Perdas)
E.5	Vão Envidraçados	Substituição das janelas	$U = 2.685 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$U_w \leq 1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	Salas e Gabinetes	Melhoria necessária (M2: Perdas / M4: Acustica Salas)
E.9	Elementos de Proteção Solar	Sombreamento exterior eficaz	Estores interiores móveis	Proteção exterior fixa ou automat.	Salas e Gabinetes	Recomendável
E.10	Superfícies interiores	Aplicação de painéis acústicos nas paredes e/ou tetos	Sem tratamento específico	Tempo de reverberação reduzido	Salas	Necessário (M4: ruído excessivo Salas)
Ventilação (V)						
V.1	Sistema de Ventilação	Ventilação com recuperação de calor	Salas: ventilação mista com RCT + natural auxiliar; Gabinetes: ventilação mista com extração mecânica + natural (sem RCT)	Eficiência $\geq 75\%$	Gabinetes	Melhoria possível nos Gabinetes(M2)
Aquecimento (H)						
H.1	Sistema de Aquecimento	Substituição do sistema de aquecimento	$COP = 4.0$ (Gabinetes); $COP = 3.0$ (Salas)	$COP \geq 4.0$ / $\eta \geq 90\%$	Salas e Gabinetes	Melhoria possível nas salas (M2)
Arrefecimento (C)						
C.1	Sistema de Arrefecimento	Substituição do sistema de arrefecimento	$COP = 3.5$ (Gabinetes)	$COP \geq 3.5$	Gabinetes	Conforme / limiar atingido
C.2	Sistema de Arrefecimento (Salas)	Introdução de sistema de arrefecimento passivo ou eficiente	Inexistente	$COP \geq 3.5$	Salas	Necessário (M4: Desconforto térmico por sobreaquecimento)
Iluminação (L)						
L.1	Sistema de Iluminação	Substituição por iluminação LED	Não especificado	$\leq 10 \text{ W/m}^2$ (gabinetes), 15 W/m^2 (salas)	Salas e Gabinetes	Melhoria possível (M2: Consumo / M4: Iluminação Gabinetes)

- Priorização das ERAs

ERA #	Ação	Potencial	Urgência	Interação com
E.1	Isolamento das paredes exteriores	2	0	E.2, E.5
E.2	Isolamento da cobertura	2	0	E.1, E.5
E.5	Substituição das janelas	2	0	E.1, E.2, E.9
E.9	Instalação de sombreamento exterior	1	0	E.5
E.10	Tratamento acústico das superfícies interiores	1	0	–
V.1	Melhoria do sistema de ventilação (RCT)	1	0	H.1, C.2
H.1	Substituição do sistema de aquecimento nas salas	2	0	V.1
C.1	Sistema de arrefecimento dos gabinetes	0	0	–
C.2	Introdução de arrefecimento nas salas	2	0	V.1
L.1	Substituição por iluminação LED eficiente	1	0	–

Potencial: 0 (baixo) a 2 (elevado) impacto técnico

Urgência: 0 (não urgente) a 2 (alta urgência técnica ou funcional)

Interações: identifica ações que estão logicamente relacionadas entre si (técnica ou funcionalmente)

A5. MÓDULO M8: NZEB ROADMAP

- Planeamento Faseado das ERAs

ERA #	Descrição	Fase Proposta	Justificação Técnica	Período Previsto de Implementação
E.1	Isolamento das paredes exteriores	Fase 2 (Médio Prazo)	Redução de perdas térmicas – complementar às janelas	2030-2035
E.2	Isolamento da cobertura	Fase 2 (Médio Prazo)	Complementar à ação nas paredes – melhoria global da envolvente	2030-2035
E.5	Substituição das janelas	Fase 2 (Médio Prazo)	Elevado impacto energético e conforto acústico (M2/M4)	2030-2035
V.1	Melhoria do sistema de ventilação nos gabinetes	Fase 2 (Médio Prazo)	Melhoria da qualidade do ar nos gabinetes – ausência de RCT	2030-2035
H.1	Substituição do sistema de aquecimento nas salas	Fase 2 (Médio Prazo)	Prioritário para melhoria da eficiência térmica no inverno	2030-2035
C.2	Introdução de arrefecimento nas salas	Fase 2 (Médio Prazo)	Conforto térmico crítico nas salas – inexistente atualmente	2030-2035
E.9	Instalação de sombreamento exterior	Fase 2 (Médio Prazo)	Redução de ganhos solares – complementar a E.5	2030-2035
L.1	Substituição por iluminação LED eficiente	Fase 2 (Médio Prazo)	Eficiência energética e conforto visual	2030-2035
E.10	Tratamento acústico das superfícies interiores	Fase 2 (Médio Prazo)	Correção de desconforto acústico nas salas (M4)	2030-2035
C.1	Sistema de arrefecimento dos gabinetes	Fase 3 (Longo Prazo)	Já cumpre requisitos mínimos – pode ser adiado	2036-2041

- Resultados Pós-Renovação

Compartimento	Arrefecimento (kWh/ano)	Aquecimento (kWh/ano)	Elettricidade (kWh/ano)	Energia final total (kWh/ano)	Energia primária nren (kWh/ano)	Área útil (m²)	Consumo Específico (kWh/m².ano)	Rácio EP/REF	Classe
Sala A1.03	1017.18	246.22	822.69	2086.09	4798.007	64.61	74.26	0.57	C
Sala A1.05	1205.63	332.16	822.69	2360.48	5429.104	64.61	84.03	0.65	C
Sala A1.07	1185.77	356.47	822.69	2364.93	5439.339	64.61	84.19	0.65	C
Gabinete B1.10	149.53	127.16	149.94	426.63	981.249	12.25	80.10	0.62	C
Gabinete B1.11	197.71	105.79	149.94	453.44	1042.912	12.25	85.14	0.65	C
Gabinete B1.13	152.84	125.78	149.94	428.56	985.688	12.25	80.46	0.62	C

VALOR	
FATOR	2.3
REF	130

Compartimento	Rácio EP/REF		
	Estado Atual (M2)	Após Renovação (M8)	Redução (%)
Sala 1	0.71	0.57	14%
Sala 2	0.70	0.65	5%
Sala 3	0.69	0.65	4%
Gabinete 1	0.93	0.62	31%
Gabinete 2	0.95	0.65	30%
Gabinete 3	0.95	0.62	33%