



ANÁLISE DA VERTENTE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL

SARA DE OLIVEIRA GASPAR

novembro de 2016

**ANÁLISE DA VERTENTE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS PRINCIPAIS
MÉTODOS DE AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL**

SARA DE OLIVEIRA GASPAR

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: José Manuel Martins Soares De Sousa

NOVEMBRO DE 2016

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
Variáveis	xxiii
Abreviaturas	xxvii
1 Introdução.....	1
2 Estado de arte	3
3 Desenvolvimento Energético Sustentável	17
4 Conforto Térmico	43
5 Alcançar o edifício ideal para 2020	53
6 Caso Prático.....	71
7 Conclusões	113
Referências Bibliográficas	117
Anexos	125

RESUMO

A melhoria das condições de vida conduziu a um importante desenvolvimento dos atributos funcionais dos edifícios, onde o conforto térmico assumiu um papel preponderante. No entanto, o garante de condições interiores de conforto térmico acarreta, normalmente, um consumo excessivo de energia, colidindo com a crescente problemática e preocupação ambiental, fator determinante na legislação e certificação energética na União Europeia.

O lançamento da Diretiva 2010/31/EU, relativa à *performance* energética dos edifícios abre caminho à diminuição das necessidades energéticas e à emissão de gases de efeito de estufa, contrariando assim a responsabilidade dos edifícios nesta matéria. Estes, até então, eram responsáveis por 40% do consumo de energia e 30% a 40% das emissões de CO₂. O aumento constante das preocupações relativas aos impactos ambientais originou o desenvolvimento de sistemas de avaliação no que concerne à sustentabilidade e ao desenvolvimento de programas e metodologias com o objetivo de diminuir o consumo nos edifícios até que se atinja um balanço energético igual a zero, permitindo o surgimento do conceito *Net Zero Energy Building*.

Neste contexto, a presente dissertação debruça-se na análise da vertente da eficiência energética nos principais métodos de avaliação sustentável – BREEAM, SBTOOL, LEED e LIDERA -, identificando os parâmetros mais determinantes bem como as suas eventuais lacunas. Assim, o documento encontra-se estruturado em três grandes partes: primeiramente pela pesquisa bibliográfica, seguindo-se a apresentação de todas as metodologias que permitem dar resposta à avaliação energética e conforto térmico e por fim a análise do desempenho energético de um edifício existente de carácter habitacional, possibilitando, com a adoção de medidas de melhoria, que este atinja até 2020 uma convergência para um edifício ideal em termos energéticos, ou seja, um *Net Zero Energy Building*.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Construção Sustentável, Desenvolvimento Energético, Sistemas de Avaliação Sustentável, REH, Conforto Térmico, Edifício com Balanço Energético Nulo.

ABSTRACT

The improvement of living conditions led to an important development of the functional attributes of the buildings where the thermal comfort played a leading role. However, to ensure the interior thermal comfort conditions, by default can cause an energy overconsumption, colliding with the increasing problems and environmental concerns, determining factor in the legislation and energy certification in the European Union.

The launch of the Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings paves the way for reduced energy needs and emission of greenhouse gases, thus contradicting the responsibility of the buildings in this area. These hitherto were accounted for 40% of energy consumption and 30% to 40% of CO₂ emissions. The constant increase of the concerns about environmental impacts led to the development of multiple evaluation systems regarding the sustainability and development of programs and methodologies with the objective to reduce the consumption in buildings until it reaches an energy balance equal to zero, allowing the emergence of the concept Net Zero Energy Building.

In this context, this dissertation focuses on the analysis of the concept of energy efficiency in key sustainable assessment methods - BREEAM, SBTOOL, LEED and LIDERA - identifying the most relevant parameters and their possible shortcomings. Thus, the document is structured in three parts: first the literature, followed by the presentation of all methodologies that allow to respond to the energy assessment and thermal comfort and finally the analysis of the energy performance of an existing building housing status, enabling, with the adoption of improvement measures, it reaches 2020 convergence to an ideal building in terms of energy, in a Net Zero Energy Building.

Keywords: Energy Efficiency, Sustainable Construction, Energetic Development, Sustainable Assessment Systems, REH, Thermal Comfort, Net Zero Energy Buildings.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho não representa exclusivamente o resultado de muitas e extensas horas de estudo, leitura e análise, consiste na concretização de um dos meus objetivos segundo o qual me propus realizar. No entanto, tal só foi possível de concretizar graças à colaboração de diversas pessoas às quais quero agradecer.

As minhas primeiras palavras de apreço dirigem-se para o meu orientador, Engenheiro José Manuel Sousa, pelo tempo disponibilizado, dedicação e profissionalismo que demonstrou e pelos conselhos que me foi dando ao longo de todo o trabalho. A sua prontidão e atenção contínua contribuíram indiscutivelmente para um melhor trabalho e proporcionaram um grande enriquecimento pessoal e profissional.

Aos meus Pais, Fernanda Gaspar e António Gaspar, por todos os sacrifícios que fizeram para a concretização desta etapa e pelo encorajamento sempre prestados. Incutiram-me o amor ao estudo e o desejo de alcançar a realização pessoal e profissional.

Ao melhor amigo e namorado, Diogo Palhais, pelo amor, carinho e dedicação com que sempre me presenteou.

Por último e não menos importantes, aos meus colegas de curso que me acompanharam durante o percurso académico, pelo apoio que me deram durante todo este período. Levo comigo momentos inesquecíveis por estes fantásticos anos.

A todos eles, o meu mais sincero obrigada.

ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objetivo da dissertação.....	1
1.3	Estrutura da dissertação.....	2
2	Estado de arte.....	3
2.1	Desenvolvimento sustentável.....	3
2.2	Construção Sustentável.....	6
2.2.1	Ciclo de vida e impactes ambientais associados.....	9
3	Desenvolvimento Energético Sustentável.....	17
3.1	Considerações gerais.....	17
3.2	Programas associados à eficiência energética.....	19
3.2.1	ENE 2020.....	20
3.2.2	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética.....	20
3.2.3	Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica.....	22
3.2.4	Programa de Eficiência na Administração Pública.....	23
3.2.5	Pacote 20-20-20.....	23
3.3	Decreto-Lei n.º 118/2013.....	23
3.3.1	Legislação complementar.....	24
3.4	Sistemas de avaliação sustentável.....	26
3.4.1	BREEAM.....	27
3.4.2	SBTOOL.....	29
3.4.3	LEED.....	30
3.4.4	LIDERA.....	32

3.4.5	Análise comparativa dos sistemas de avaliação	35
3.4.6	Eficiência Energética nos Sistemas de Avaliação Sustentável	41
4	Conforto Térmico	43
4.1	Considerações gerais	43
4.2	Modelos de Conforto Térmico Adaptativo	44
4.2.1	Modelo de Conforto Adaptativo – ASHRAE Standard 55	45
4.2.2	Modelo de Conforto Adaptativo – EN 15251	47
4.2.3	Modelo de Conforto Adaptativo – LNEC	49
5	Alcançar o edifício ideal para 2020	53
5.1	<i>Nearly Zero Energy Buildings</i>	53
5.1.1	Definição	53
5.1.2	Diretiva Europeia	54
5.1.3	<i>Passive House</i>	55
5.2	<i>Net Zero Energy Buildings</i>	57
5.2.1	Definição	58
5.2.2	Sistema de créditos.....	59
5.2.3	Balanço energético de um edifício	59
5.2.4	Condições climáticas.....	61
5.2.5	Práticas para alcançar um <i>Net Zero Energy Building</i>	61
6	Caso Prático.....	71
6.1	Caracterização do edifício em estudo.....	73
6.1.1	Descrição e localização	73
6.1.2	Levantamento dimensional	73
6.2	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação	76
6.2.1	Dados climáticos	76
6.2.2	Coeficiente de redução de perdas.....	78
6.2.3	Coeficiente de transmissão térmica	81

6.2.4	Pontes térmicas planas.....	86
6.2.5	Pontes térmicas lineares	86
6.2.6	Inércia Térmica	90
6.2.7	Características dos vãos envidraçados.....	92
6.2.8	Ventilação Natural.....	99
6.2.9	Resultados obtidos	99
6.3	Métodos de Avaliação Sustentável.....	100
6.3.1	BREEAM	100
6.3.2	SBTOOL	101
6.3.3	LEED	102
6.3.4	LIDERA.....	103
6.4	Modelos de Conforto Térmico Adaptativo	103
6.4.1	Modelo de Conforto Adaptativo - ASHRAE Standard 55.....	105
6.4.2	Modelo de Conforto Adaptativo - EN 15251.....	106
6.4.3	Modelo de Conforto Adaptativo - LNEC	107
6.5	Soluções de melhoria e análise comparativa de resultados.....	108
7	Conclusões	113
7.1	Considerações Finais.....	113
7.2	Desenvolvimentos Futuros	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - As seis dimensões do conceito ecodesenvolvimento (Souto, 2016).	3
Figura 2.2- Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável (BCSD, 2005).....	4
Figura 2.3 - Consumo equivalente da população mundial (Global Footprint Network, 2016).	5
Figura 2.4 - Agenda 21 para a Construção Sustentável (CIB, 2009).	7
Figura 2.5 – Abordagem sustentável nas fases do ciclo de vida de uma construção (Mateus, 2009).....	8
Figura 2.6 - Fases do ciclo de vida dos edifícios.	9
Figura 2.7- Ciclo das atividades da construção – Impactes ambientais (Pinheiro, 2006).	9
Figura 2.8 - Fases do LCA, segundo a norma ISO 14040 (Mateus, 2009).	11
Figura 2.9 - Componentes para a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (Kloepffer, 2008).	14
Figura 3.1 - Variação média da temperatura global, adaptado de (NASA, 2015).	17
Figura 3.2 - Níveis de CO2 na atmosfera, adaptado de (NASA, 2016).	18
Figura 3.3 - Possíveis alterações climáticas na União Europeia, adaptado de (APEA, 2009).	18
Figura 3.4- Estratégias para o desenvolvimento sustentável a nível energético (BCSD, 2005).	19
Figura 3.5 - Principais medidas e objectivos nas áreas do PNAEE (PNAEE, 2008).	21
Figura 3.6 - Vantagens das novas regras do PPEC para os consumidores (ERSE,2009).	22
Figura 3.7 - Vantagens das novas regras do PPEC para os promotores (ERSE,2009).	22
Figura 3.8 - Evolução cronológica da legislação (Garrana, 2011).	23
Figura 3.9 - BREEAM (Jersey Energy, 2016).	26
Figura 3.10 - SBTOOL (Ecochoice, 2012).	26
Figura 3.11 - LEED (Central New York Community Foundation, 2012).	26
Figura 3.12 - LIDERA (LiderA, 2016a).	26
Figura 3.13 – Categorias avaliadas no sistema LEED, adaptado de (Melanie Dawn, 2014).	31

Figura 3.14 – As seis vertentes e vinte e duas áreas do LiderA (LiderA, 2016b).....	33
Figura 3.15- Níveis de desempenho global do sistema LIDERA	33
Figura 4.1 - Valores recomendados da T_{oc} em função da T_{M} , adaptado de (ASHRAE, 2004).	45
Figura 4.2- Valores recomendados da T_{oc} para edifício com ventilação natural em função da T_{RM} , adaptado de (EN 15251, 2007).	47
Figura 4.3- Escala de sensação térmica, sti (Matias, 2010).	49
Figura 4.4 - Escala de preferência térmica, pti (Matias, 2010).....	49
Figura 4.5 - Relação dos limites de T_{conf} com a T_{MP} para ambientes com ou sem sistemas de climatização (Matias, 2010).	51
Figura 5.1 - Evolução do sistema de aquecimento, adaptado de (Gavião, 2014)	53
Figura 5.2 - Cronologia dos marcos internacionais relevantes, na eficiência energética dos edifícios.	54
Figura 5.3 - Objetivo EPBD (Aires, 2015).	55
Figura 5.4 - Princípios de uma <i>Passive House</i> (IPHA, 2014).	56
Figura 5.5 - Atingir o conceito <i>Net Zero Energy Buildings</i> (Aelenei, 2012).....	58
Figura 5.6 - Balanço térmico (Aelenei, 2011).	60
Figura 5.7 - Orientação solar na estação de aquecimento (Gonçalves & Graça, 2004).	62
Figura 5.8 - Orientação solar na estação de arrefecimento (Gonçalves & Graça, 2004).	62
Figura 5.9 - Utilização de vegetação no verão e inverno (Júnior, 2012).	63
Figura 5.10 - Sistema de ganho direto (Gonçalves & Graça, 2004).....	64
Figura 5.11 - Sistema de ganho indireto (Gonçalves & Graça, 2004).....	65
Figura 5.12 - Sistema de ganho isolado (Gonçalves & Graça, 2004).	65
Figura 5.13 - Ventilação natural (Aelenei, 2011)	66
Figura 6.1 - Habitação em estudo.....	71
Figura 6.2 – Habitação em estudo – alçado orientado a oeste.....	72
Figura 6.3 - Habitação em estudo – alçado orientado a sul.	72
Figura 6.4 - Habitação em estudo – alçado orientado a este.....	72
Figura 6.5 - Localização do edifício em estudo, coordenadas GPS: 41.251, -8.717 (Google Earth).....	73
Figura 6.6- Zona climática de inverno (Despacho n.º 15793-F/2013).....	76

Figura 6.7 - Zona climática de verão (Despacho n.º 15793-F/2013).....	76
Figura 6.8 - Marcação da envolvente das paredes e do piso (planta).	80
Figura 6.9 - Marcação da envolvente das paredes e do teto (planta).	80
Figura 6.10 - Marcação da envolvente das paredes, do pavimento e do teto (corte A-B).	80
Figura 6.11 - Constituição da parede exterior.....	81
Figura 6.12 - Constituição da parede em contacto com o edifício adjacente.....	82
Figura 6.13 – Constituição do pavimento interior.	82
Figura 6.14 - Constituição da cobertura interior.....	83
Figura 6.15 – PTP _{pilar} localizado na parede exterior.	84
Figura 6.16 - PTP _{pilar} localizado na parede em contacto com o edifício adjacente.....	85
Figura 6.17 – PTP _{caixa de estores}	85
Figura 6.18 - Ligação da fachada com a varanda.	88
Figura 6.19 - Ligação da fachada com cobertura.	88
Figura 6.20 - Ligação da fachada com caixilharia.	88
Figura 6.21 - Ligação de duas paredes verticais com ângulo saliente.....	89
Figura 6.22 - Ligação da fachada com a zona de caixa de estores.	89
Figura 6.23 - Ligação da fachada com desvão sanitário (ENU).	89
Figura 6.24 - Índice HERS (LEED, 2016).	102
Figura 6.25- Variação da temperatura exterior do mês de dezembro de 2015.....	104
Figura 6.26 – Variação da temperatura exterior do mês de janeiro de 2016.....	104
Figura 6.27 – Variação da temperatura exterior do mês de fevereiro de 2016.	104
Figura 6.28 – Variação da temperatura média exterior do mês de junho de 2016.....	104
Figura 6.29 – Variação da temperatura média exterior do mês de julho de 2016.	105
Figura 6.30 – Variação da temperatura média exterior do mês de agosto de 2016.	105
Figura 6.31 - Resultados obtidos com base o modelo de conforto térmico adaptativo ASHRAE 55.....	106
Figura 6.32- Resposta dos ocupantes na escala de sensação térmica, sti.	107
Figura 6.33 - Resposta dos ocupantes na escala de preferência térmica, pti.....	107

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Ponderação percentual das categorias no sistema BREEAM, adaptado de (Bauer, 2007)....	28
Tabela 3.2 – Classificação do BREEAM <i>Domestic Refurbishment</i> , adaptado de (BREEAM, 2013).	29
Tabela 3.3 – Percentagem das categorias do SBTOOL, adaptado de (Mateus & Bragança, 2011).....	29
Tabela 3.4 - Percentagem das categorias do SBTOOL, adaptado de (Mateus & Bragança, 2011).	30
Tabela 3.5 - Versões do LEED, adaptado de (GBC, 2016).....	30
Tabela 3.6 - Versões do LEED - continuação, adaptado de (GBC, 2016).....	31
Tabela 3.7 - Ponderação pontual e percentual de cada categoria no sistema LEED-EB (USGBC, 2013). ...	32
Tabela 3.8 - Ponderação percentual de cada categoria no sistema LiderA (LiderA, 2016c).....	34
Tabela 3.9 - Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente à gestão ambiental...	35
Tabela 3.10 - Análise comparativa dos parâmetros socioeconómicos e políticos.....	36
Tabela 3.11 - Análise comparativa dos parâmetros relativos à inovação.....	36
Tabela 3.12 - Análise comparativa dos parâmetros relativos à integração no meio.	37
Tabela 3.13 - Análise comparativa dos parâmetros relativos às cargas ambientais e impacte no ambiente externo.	38
Tabela 3.14 - Análise comparativa dos parâmetros relativos ao planeamento.....	39
Tabela 3.15 - Análise comparativa dos parâmetros relativos ao ambiente interno.	39
Tabela 3.16 – Continuação: Análise comparativa dos parâmetros relativos ao ambiente interno.....	40
Tabela 3.17 - Análise comparativa dos parâmetros relativos aos recursos.	41
Tabela 4.1 - Índices PMV (<i>Predicted Mean Vote</i>) pela escala ASHRAE (ASHRAE, 2004).....	46
Tabela 4.2 - Índices PMV (<i>Predicted Mean Vote</i>) pela escala ASHRAE (ASHRAE, 2004) - Continuação	47
Tabela 4.3- Descrição da aplicabilidade das categorias utilizadas, adaptado de (EN 15251, 2007).....	48

Tabela 4.4 - Escalas de sensação e preferência térmica antes e após a sua recodificação, adaptado de (Matias, 2010).	50
Tabela 5.1 - Requisitos de uma <i>Passive House</i> , adaptado de (Gavião, 2014).	56
Tabela 5.2 - Estratégias de controlo térmico, adaptado de (Gouveia, 2008).....	60
Tabela 5.3 - Os diferentes modos de atuação para se obter o conceito NZEB (Aelenei, 2012).....	61
Tabela 5.4 – Comparação de lâmpadas tradicionais com lâmpadas de baixo consumo, adaptado de (Adene, 2012)......	69
Tabela 6.1 - Área útil de pavimento.	74
Tabela 6.2 - Área dos envidraçados exteriores.	74
Tabela 6.3 - Área dos envidraçados exteriores (continuação).	75
Tabela 6.4 - Área dos envidraçados exteriores por orientação.....	75
Tabela 6.5 -Área de paredes exteriores.	75
Tabela 6.6- Energia solar acumulada na estação de arrefecimento nas várias orientações.	78
Tabela 6.7 - Coeficiente de redução de perdas b_{tr}	79
Tabela 6.8 - Código de cores para a marcação das envolventes.....	79
Tabela 6.9 - Pontes térmicas planas existentes no caso de estudo.	86
Tabela 6.10 - Pontes térmicas lineares existentes na habitação em estudo.	87
Tabela 6.11 - Dados de cada elemento da habitação de estudo para determinar a inércia térmica.	91
Tabela 6.12 -Classes de inércia térmica interior, I_t	91
Tabela 6.13 - Tipos de envidraçados existentes na habitação em estudo.	92
Tabela 6.14 - Fator solar e fator de seletividade angular dos envidraçados na estação de aquecimento.	92
Tabela 6.15 - Dados para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento.....	93
Tabela 6.16 - Resultados do fator solar dos envidraçados na estação de arrefecimento	94
Tabela 6.17 - Fator de sombreamento por elementos horizontais na estação de aquecimento.	95
Tabela 6.18 - Fator de sombreamento por elementos horizontais na estação de arrefecimento.	96
Tabela 6.19 - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado na estação de aquecimento.	96

Tabela 6.20 - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado na estação de aquecimento – Continuação.	97
Tabela 6.21 - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado na estação de arrefecimento.	97
Tabela 6.22 - Fator de obstrução da radiação dos vãos envidraçados na estação de aquecimento.	98
Tabela 6.23 - Fator de obstrução da radiação dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento.	98
Tabela 6.24 - Resultado de R_{ph} (h^{-1}).	99
Tabela 6.25 - Necessidades anuais de energia útil do edifício alvo do estudo.	100
Tabela 6.26 - Resultados obtidos no sistema BREEAM.	101
Tabela 6.27 - Resultados obtidos no sistema SBTOOL.	102
Tabela 6.28 - Resultado obtido com base no sistema de avaliação sustentável LIDERA.	103
Tabela 6.29 - Resultados de acordo com o Modelo Adaptativo - ASHRAE Standard 55.	105
Tabela 6.30 - Resultados de acordo com o Modelo Adaptativo – EN 15251.	107
Tabela 6.31 - Resultados de acordo com o Modelo Adaptativo – LNEC.	108
Tabela 6.32 – Perdas na habitação em estudo.	110
Tabela 6.33 - Resultados comparativos obtidos com base no REH.	110
Tabela 6.34 - Resultados comparativos obtidos com base nos sistemas de avaliação sustentável.	112

VARIÁVEIS

a	Declive
A_i	Somatório das áreas que separam o espaço interior útil do não útil
A_p	Área interior útil de pavimento
A_u	Somatório das áreas que separam o espaço não útil do ambiente exterior
b_{tr}	Coefficiente de redução de perdas
e	Espessura
$f_{a,k}$	Parcela das necessidades de energia de preparação de AQS supridas pelo sistema de referência k
$f_{i,k}$	Parcela das necessidades de energia de aquecimento supridas pelo sistema de referência k
$f_{v,k}$	Parcela das necessidades de energia de arrefecimento supridas pelo sistema de referência k
F_f	Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado
F_h	Fator de obstrução do horizonte por elementos exteriores ao edifício
$F_{m,v}$	Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar encontram-se totalmente ativos
F_o	Fator de sombreamento por elementos horizontais
F_s	Fator de obstrução da radiação solar
$F_{w,i}$	Fator de seletividade angular
g_i	Fator solar do envidraçado na estação de aquecimento
g_T	Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes ou móveis

VARIÁVEIS

g_{Tp}	Fração solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentemente ativos
g_v	Fator solar do envidraçado na estação de arrefecimento
$g_{\perp,vi}$	Fator solar do envidraçado
I_t	Inércia Térmica
M_{si}	Massa superficial útil do elemento
N_i	Valor limite das necessidades nominais de aquecimento
N_{ic}	Valores das necessidades nominais de aquecimento
N_t	Valor limite das necessidades nominais anuais de energia primária
N_{tc}	Valor das necessidades nominais anuais de energia primária
N_v	Valor limite das necessidades nominais de arrefecimento
N_{vc}	Valor das necessidades nominais de arrefecimento
Q_a	Valor da energia útil para preparação de água quente sanitária
$Q_{gu,i REF.}$	Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes
$Q_{tr,i REF.}$	Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios
$Q_{ve,i REF.}$	Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento;
r	Fator de redução da massa superficial útil
I_t	Inércia Térmica
S_i	Área da superfície interior do elemento i
T_{C-LS}	Limite da temperatura superior do intervalo de conforto
T_{C-LI}	Limite da temperatura inferior do intervalo de conforto
T_M	Temperatura média mensal exterior
T_{MP}	Temperatura média exterior ponderada
T_{MR}	Temperatura média radiante
T_{n-i}	Temperatura média exterior do dia i

T_{oc}	Temperatura operativa de conforto
U	Coeficiente de transmissão térmica
z	Altitude
z_{REF}	Altitude de referência

ABREVIATURAS

A21L	Agenda 21 Local
AIA	Avaliação dos Impactes Ambientais
APEA	Associação Portuguesa de Engenharia do Ambiente
ASHREA	<i>American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers</i>
BLAST	<i>Building Loads Analysis and System Thermodynamics</i>
BRE	<i>Building Research Establishment</i>
BREEAM	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CBS	<i>Cost Breakdown Structure</i>
CEN	Organismo Europeu de Normalização
CIB	<i>International Council for Research and Innovation in Building and Construction</i>
ECO.AP	Programa de Eficiência na Administração Pública
EIA	Estudo de Impactes Ambientais
ENE 2020	Estratégia Nacional de Energia 2020
ENU	Espaço Não Útil
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IDHEA	Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica
IUL	Índice de Utilização Líquido
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
iisBE	<i>international initiative for the Sustainable Built Environment</i>
IPHA	<i>International Passive House Association</i>

ABREVIATURAS

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCA	Análise do Ciclo de Vida
LCC	Custo do Ciclo de Vida
LCI	Inventário do Ciclo de Vida
LCIA	Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida
LCSA	Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LIDERA	Liderar pelo Ambiente
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NZEB	<i>Nearly zero energy buildings</i>
nZEB	<i>Net zero energy buildings</i>
OCDE	Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico
PDM	Plano Diretor Municipal
PE	Parlamento Europeu
PHPP	<i>Passive House Planning Package</i>
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PPEC	Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica
pti	Preferência térmica interior
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
SBTOOL	<i>Sustainable Building Tool</i>
sti	Sensação térmica interior
ZEB	<i>Zero Energy Building</i>

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Dentro das inúmeras atividades realizadas pelo homem, que apresentam consumos energéticos, o setor da construção possui relevante importância. Este exibe consumos energéticos na fase de construção e na fase de utilização, sendo que esta última apresenta um abrangente período de vida. Assim, ao longo dos últimos anos, tem-se assistido a um aumento da dependência energética na União Europeia (UE), o que proporcionou um aumento na preocupação ambiental relativamente às emissões dos gases de efeito de estufa (GEE) e às mudanças climáticas.

De modo a controlar e diminuir a energia que é despendida na manutenção do funcionamento dos edifícios sem afetar o conforto dos seus utilizadores surge um conjunto de regulamentos, programas, planos e métodos de avaliação sustentável responsáveis por estabelecer um padrão desejável para a generalidade da população. No entanto, “nenhuma das ferramentas ou sistemas desenvolvidos até hoje é amplamente aceite. O maior problema prende-se com a subjetividade associada ao conceito “sustentável”, motivada principalmente pelas diferenças políticas, tecnológicas, culturais, sociais e económicas, existentes, não só entre os países, mas também, dentro de cada país, entre as diversas regiões (...) As metodologias de avaliação da sustentabilidade encontram-se em constante evolução, de modo a corrigir as suas diferentes limitações” (Mateus, 2009).

O conceito *Net Zero Energy Building* é já uma realidade e um comprovativo sob o ponto de vista energético. Este é o caminho a seguir, a médio e longo prazo, pela União Europeia (UE) e pela Agência Internacional de Energia (IEA). Todavia, é necessário enquadrar a realidade do país, para se perceber quais as suas potencialidades e limitações. As metas a estabelecer têm de ser ambiciosas, para que os resultados obtidos possam ter capacidade de mudança.

1.2 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação, desenvolvida no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil, tem como objetivo analisar a eficiência energética nos principais métodos de avaliação sustentável – BREEAM, SBTOOL, LEED e LIDERA -, identificando os parâmetros determinantes e fragilidades de cada um dos sistemas.

Seguidamente, pretende-se definir os princípios que poderão ser aplicados num edifício existente para elevar os seus níveis de eficiência energética e conforto térmico, tornando-o um *Net Zero Energy Building*.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada em sete capítulos e que se desenvolvem da seguinte forma:

O capítulo 1 da presente dissertação refere-se à introdução. Nesse sentido, é efetuada uma apresentação do tema, descrevendo o marco conceptual que vem definir o desenvolvimento da dissertação, os objectivos do trabalho, a metodologia aplicada, bem como as expectativas e os resultados esperados. É igualmente apresentada a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 aborda o estado da arte. Para tal, é efetuada uma abordagem à evolução histórica do conceito “Desenvolvimento Sustentável” e “Construção Sustentável”.

O capítulo 3 enquadra-se no desenvolvimento energético sustentável. Assim, são descritos alguns programas associados à eficiência energética e à legislação atualmente em vigor. Apresentam-se ainda alguns métodos de avaliação da sustentabilidade de maior notoriedade no mercado nacional e internacional.

O capítulo 4 apresenta os fundamentos teóricos subjacentes à análise de conforto térmico dos edifícios, introduzindo os parâmetros de conforto térmico e os três modelos de conforto térmico adaptativo.

O capítulo 5 aborda técnicas e tecnologias existentes que permitem a poupança e a produção de energia, de modo que edifícios novos ou existentes possam convergir, até 2020, para um *Net Zero Energy Building*, constituindo assim um contributo para o conhecimento destas tecnologias e encorajando a sua aplicação.

O capítulo 6 descreve detalhadamente o edifício de carácter habitacional, tomado como caso de estudo. Numa fase inicial, é descrita a caracterização da habitação, seguindo-se a avaliação e exposição de resultados obtidos com recurso às diferentes metodologias de cálculo energético mencionadas nos capítulos anteriores que, de forma direta, influenciam o desempenho energético do edifício em estudo e, conseqüentemente, o conforto térmico dos ocupantes. Uma vez calculados e analisados estes parâmetros, são adotadas medidas de melhoria de forma a otimizar a eficiência energética do edifício e tornar o balanço energético anual nulo.

Por fim, o capítulo 7 finaliza a dissertação definindo as principais conclusões do trabalho desenvolvido, bem como possíveis trabalhos futuros no seguimento deste estudo.

2 ESTADO DE ARTE

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

“Há só uma terra, mas não só um mundo. Todos nós dependemos de uma biosfera para conservar nossas vidas. Mesmo assim, cada comunidade, cada país luta pela sobrevivência e pela prosperidade quase sem levar em consideração o impacto que causa sobre os demais”.

Relatório de Brundtland, Nosso Futuro Comum (adaptado de Bruntland, 1987)

As crises do petróleo na década de setenta despertaram a preocupação e a consciência do ser humano com o meio ambiente. Assim, em 1972, as Nações Unidas organizaram a Conferência Mundial de Estocolmo, evidenciando as perspectivas dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, surgindo um novo conceito denominado por “ecodesenvolvimento” proposto por Maurice Strong e Inacy Sachs (Aulicino, 2008). Segundo Inacy Sachs, ecodesenvolvimento é definido como o “desenvolvimento que é socialmente desejável, economicamente viável e ecologicamente prudente” (Sachs, 2008). Por sua vez, este conceito dá origem ao conceito de Desenvolvimento Sustentável.

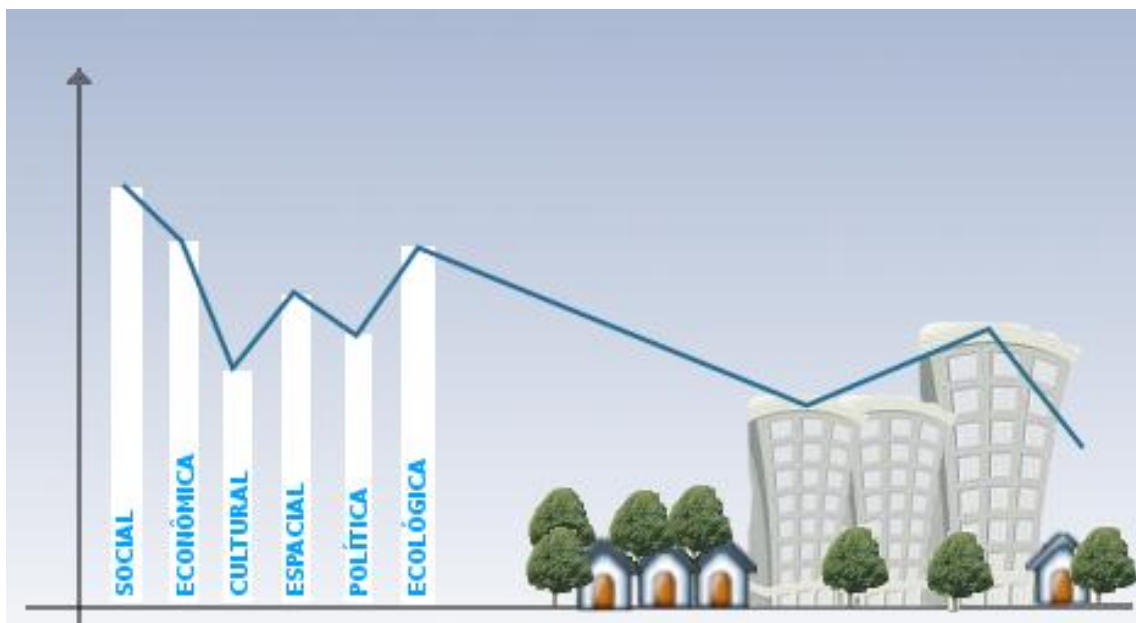


Figura 2.1 - As seis dimensões do conceito ecodesenvolvimento (Souto, 2016).

Em 1987, elaborou-se o *Our Common Future* – o Nosso Futuro Comum -, mais conhecido pelo relatório de Bruntland ao qual define o desenvolvimento sustentável como o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações do futuro satisfazerem as suas próprias necessidades”, apresentando uma visão complexa das causas dos problemas socioeconómicos e ecológicos da sociedade e as inter-relações entre a economia, ambiente e sociedade (Bruntland, 1987).

Em suma, as preocupações ambientais deixam de se centrar no controlo da poluição e passam a focar-se na delineação de estratégias da sua prevenção. Deste modo, compreende-se que o objetivo principal do desenvolvimento sustentável é obter um equilíbrio entre três vertentes fulcrais: a social, a económica e a ambiental, ver Figura 2.2 (BCSD, 2005).

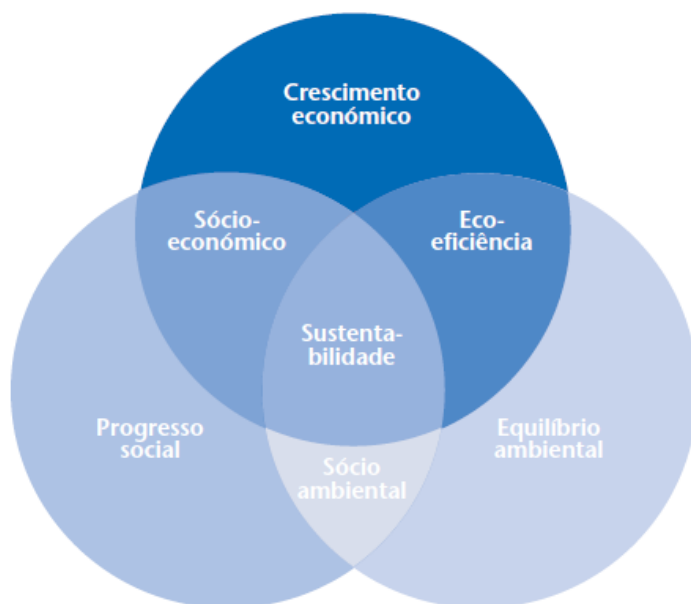


Figura 2.2- Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável (BCSD, 2005).

Com o objetivo de apoiar o desenvolvimento sócio-económico e evitar a degradação ambiental, as Nações Unidas organizaram, em Junho de 1992, a *United Nations Conference on Environment and Development*, também designada por ECO-92, Rio-92, Cúpula ou Cimeira da Terra. A partir desta conferência, os representantes de cento e dezoito países comprometeram-se a adotar um dos instrumentos mais relevantes do desenvolvimento sustentável, a Agenda 21 (Dias, 2015).

A Agenda 21 é um plano de ação que define um conjunto de diretrizes para garantir a sobrevivência humana, constituindo um equilíbrio entre a igualdade, prosperidade e qualidade de vida dentro do que é ecologicamente possível e deve ser assumido a nível global, nacional e local, ou seja, esta agenda tem como princípio “pensar globalmente e agir localmente”. Dos 40 capítulos que constituem este documento, destaca-se o capítulo 28 que introduz a Agenda 21 Local (A21L) definida como um “instrumento de gestão para a sustentabilidade de um local, partindo de um diagnóstico de situação

atual, de referência, estabelece metas a alcançar nas vertentes da proteção do ambiente, desenvolvimento sócio-económico e coesão social, desenvolvido por autores locais”. Este documento possibilita maior facilidade na definição de metas e monitorização dos indicadores selecionados, maior capacidade para adoção de modelo de governação mais eficiente nas organizações locais, induzindo competitividade entre as regiões e substituição do papel das políticas de impostos ambientais por ações de responsabilidade ambiental local, como a educação, a saúde pública e a responsabilidade social (Silva & et al., 2007).

Passados dez anos da Cimeira da Terra no Rio de Janeiro, as Nações Unidas organizaram a Cimeira Mundial do Desenvolvimento Sustentável em Joanesburgo, onde reafirmaram a importância da procura do desenvolvimento sustentável como um tema central da agenda internacional. Como resultado desta Cimeira, o conceito de Desenvolvimento Sustentável foi mais alargado, fortalecendo a relação entre a pobreza, o ambiente e a utilização dos recursos naturais, bem como aumento da parceria entre os países (Pinheiro, 2006). No entanto, a realidade está ainda bastante distante dos ideais defendidos pelo princípio do Desenvolvimento Sustentável. Segundo várias previsões, mantendo o cenário atual, em 2030 haverá um consumo equivalente aos recursos ambientais de 2 planetas, ver Figura 2.3. Hoje em dia esse consumo já é de 1,6 planetas, o que significa que o planeta demora 1 ano e 6 meses a regenerar aquilo que é consumido num ano (Global Footprint Network, 2016). Deste modo, a humanidade caminha para uma realidade totalmente insustentável, pelo que é urgente assumir compromissos mundiais que permitam alterar radicalmente o rumo do planeta.

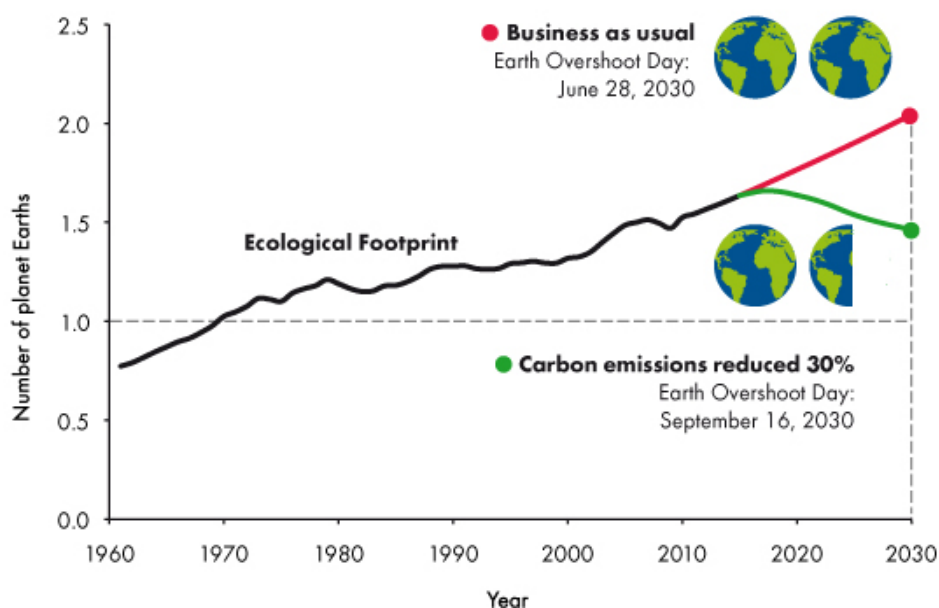


Figura 2.3 - Consumo equivalente da população mundial (Global Footprint Network, 2016).

2.2 CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A indústria da construção civil tem como objetivo a realização de um produto que satisfaça a funcionalidade exigida pelo dono de obra com as condições indispensáveis de segurança para o efeito das ações, quer humanas quer naturais, e com as características de durabilidade que permitam a redução da deterioração ao longo do seu ciclo de vida, tendo em conta com a estética, o preço e o impacto ambiental do tipo de material que se utiliza. Este sector é responsável por uma quantidade substancial de utilização global de recursos e emissões de resíduos, sendo razoável refletir que, num futuro próximo, continuarão a produzir grandes impactos negativos sobre o meio ambiente. Deste modo, pode-se afirmar que o sector da construção civil desempenha um papel importante em termos de desenvolvimento sustentável (Pinheiro, 2008).

Em 1994, realizou-se a Primeira Conferência Internacional sobre a Construção Sustentável onde Charles Kibert definiu a construção sustentável como a “criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos”, Figura 2.4. Consequentemente, a avaliação da sustentabilidade das soluções construtivas e dos edifícios onde estas são implementadas, traduziu-se numa ferramenta decisiva na análise do desempenho ambiental da construção, assim a *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB) definiu os seguintes princípios básicos para a Construção Sustentável: redução do consumo de recursos, maximização da reutilização de recursos, reciclar materiais em fim de vida do edifício e usar recursos recicláveis, proteger os sistemas naturais e a sua função em todas as atividades, eliminar os materiais tóxicos e os sub-produtos em todas as fases do ciclo de vida e desenvolver a qualidade ambiental interna e externa (Kibert, 1994).

No que diz respeito ao sector da construção civil é possível apontar três interpretações da Agenda 21:

- A primeira é a Agenda Habitat, assinada na Conferência das Nações Unidas em Istambul, em 1996 e esta abrange uma preocupação com o “abrigo para todos” e o “desenvolvimento de assentamentos humanos sustentáveis num mundo urbanizado” (Lucas, 2011);
- A segunda é a Agenda 21 para a Construção Sustentável, redigida pelo CIB, em 2000. Este documento define medidas para reduzir os impactos ambientais dos edifícios desde a fase de projeção até à fase de demolição. Tem como principais objetivos criar um quadro global e uma terminologia que potencie todas as agendas nacionais, regionais e sub-sectoriais, criar uma Agenda para as atividades do CIB neste campo, e para coordenar o CIB com as organizações especializadas suas associadas e disponibilizar um documento de referência para a definição das atividades de investigação e desenvolvimento no sector da construção (CIB, 1999);

- A terceira é a Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento, de 2002, ao qual refere-se a uma atualização e evolução da Agenda anteriormente descrita. No entanto, a terceira agenda procura dar foco à realidade dos países em desenvolvimento observando os desafios específicos que surgem nestes locais (Pleassis, 2002).

Na figura 2.4 é possível analisar a ligação entre a construção e o desenvolvimento sustentável devido às ações e desafios da Agenda 21 para a Construção Sustentável.

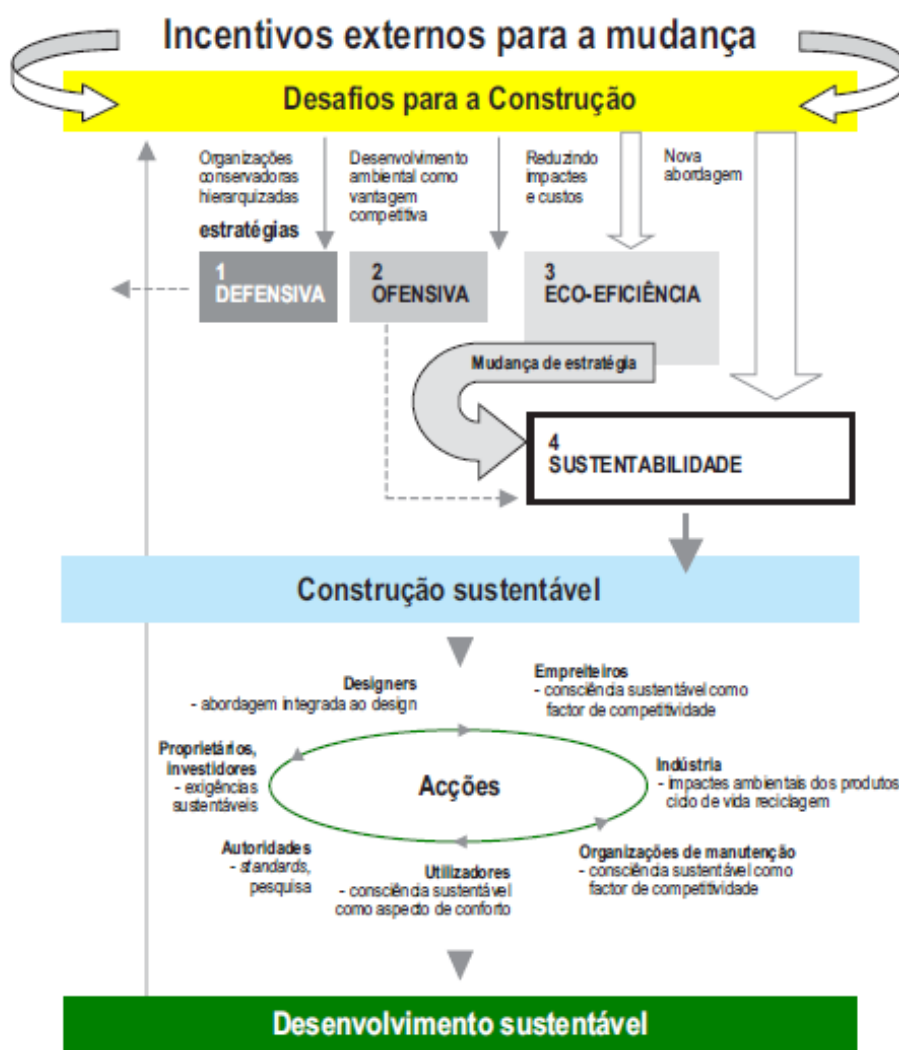


Figura 2.4 - Agenda 21 para a Construção Sustentável (CIB, 2009).

A construção sustentável além de melhorar o impacto ambiental das construções também melhora o conforto dos seus utilizadores e a qualidade de vida em geral da população global. De acordo com o projeto da Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), intitulado “*Sustainable Building*”, considera-se sustentável o edifício que respeita as seguintes prioridades (Mateus, 2009):

- Uso eficiente de recursos;
- Eficiência energética, incluindo a redução dos gases de efeito de estufa;

- Prevenção da poluição, incluindo a qualidade do ar interior e a diminuição do ruído;
- Harmonização com o ambiente, incluindo a Avaliação do Impacte Ambiental (AIA);
- Abordagem integrada e sistémica dos diversos aspectos da construção relacionados com o desenvolvimento sustentável.

Mais recentemente, em 2009, Mateus apresenta todas as prioridades que se devem ter em conta durante a fase de um projeto de construção sustentável (Torgal, 2010):

- Economizar energia e água;
- Maximizar a durabilidade;
- Minimizar a produção de resíduos;
- Assegurar a salubridade dos edifícios;
- Utilizar materiais eco-eficientes;
- Planear a conservação e a reabilitação;
- Garantir as condições de higiene e segurança nos trabalhos;
- Minimizar os custos de ciclo de vida.

Esta lista de prioridades é muito importante e deverá ser aplicada por intermédio de uma abordagem que integre todas as fases que compõem o ciclo de vida de uma construção: projeto, construção, operação/manutenção e demolição/deposição, Figura 2.5.

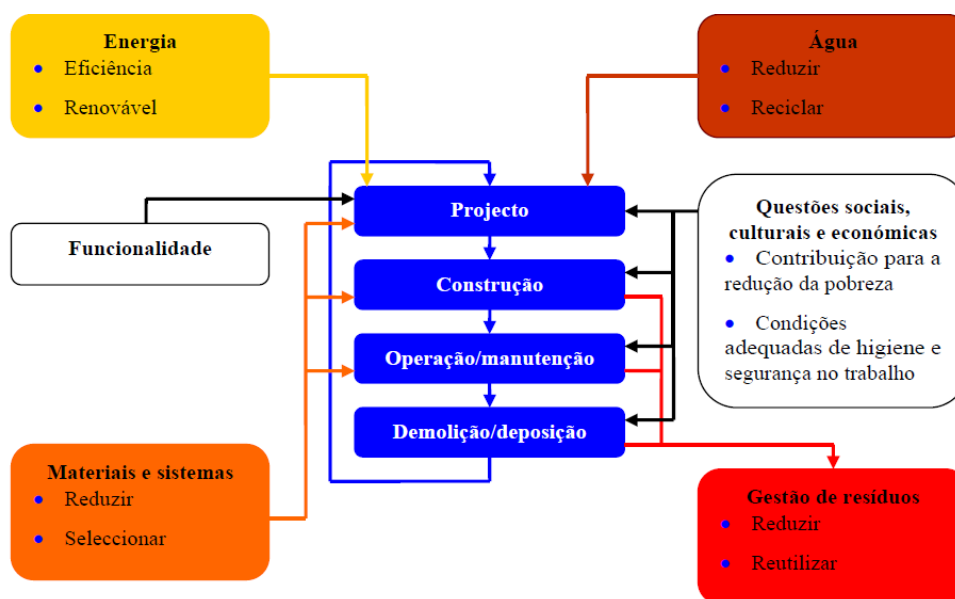


Figura 2.5 – Abordagem sustentável nas fases do ciclo de vida de uma construção (Mateus, 2009).

2.2.1 Ciclo de vida e impactes ambientais associados

“A forma como as estruturas construídas são obtidas e erigidas, usadas e operadas, mantidas e reparadas, modernizadas e reabilitadas, e finalmente desmanteladas (e reutilizadas) ou demolidas (e recicladas), constituem o ciclo completo das atividades construtivas sustentáveis”. Assim, o ciclo de vida de uma construção inicia-se na fase de conceção e perpetua-se até à sua demolição, Figura 2.6 (Pinheiro, 2006):

- Conceção - ideia, estudo prévio, anteprojecto, projecto base, projecto de execução e autorização;
- Construção - construção do edificado;
- Operação – manutenção e/ou reabilitação;
- Demolição – desativação e remoção de todo o edifício.



Figura 2.6 - Fases do ciclo de vida dos edifícios.

Na Figura 2.7 apresenta-se resumidamente os impactes decorrentes em cada uma das fases do ciclo de vida das construções.

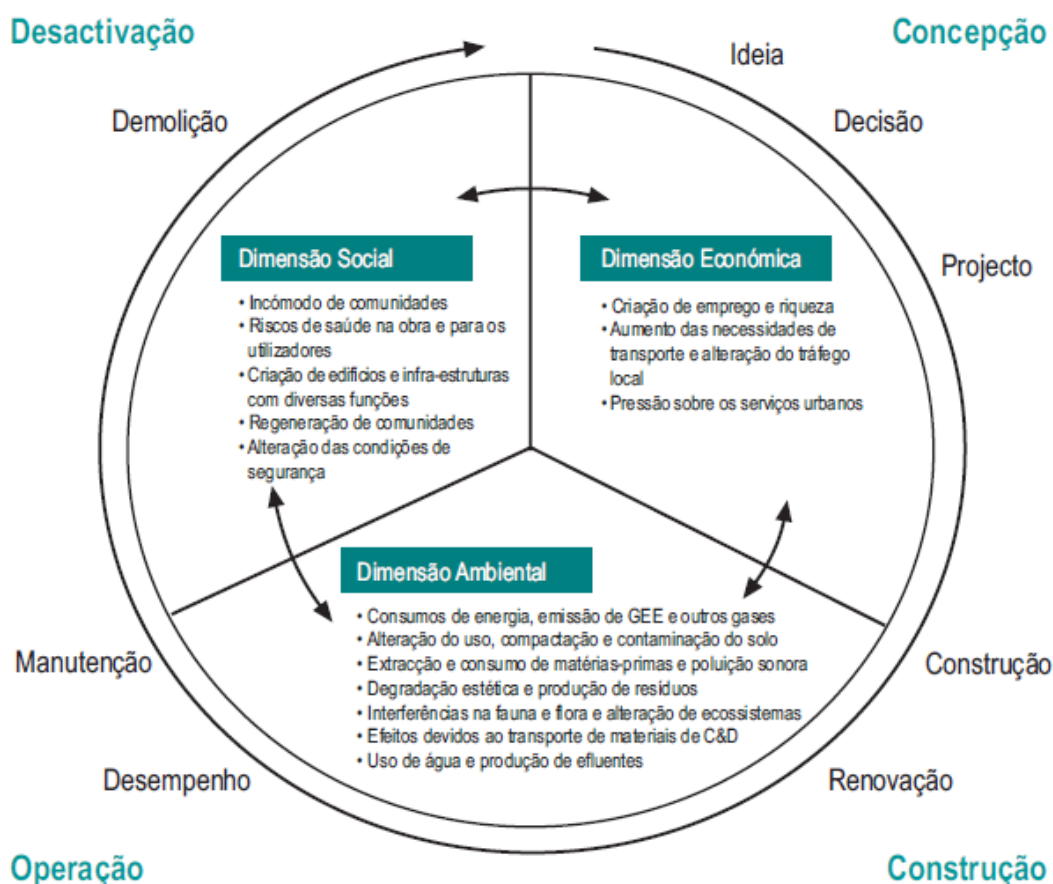


Figura 2.7- Ciclo das atividades da construção – Impactes ambientais (Pinheiro, 2006).

Fase de conceção

Para a sustentabilidade do empreendimento a fase de conceção é considerada de extrema importância, pois é nesta fase que se tomam as principais decisões, entre medidas e estratégias, que terão uma forte influência nas restantes. Assim, é possível atingir um melhor desempenho nos três aspetos cruciais da sustentabilidade (ambiente, sociedade e economia), sendo fundamental fazer-se um estudo de estratégias de forma a encontrar as melhores soluções para o desempenho do edifício ao longo do seu ciclo de vida como, por exemplo, a adoção de soluções passivas para a conservação de energia e conforto ambiental. Nesta fase procede-se a uma análise das condicionantes inerentes à realização do projeto, como a viabilidade económica do investimento, as restrições regulamentares, a análise das necessidades do usuário entre outras e, dependendo do tipo de atividade a que se destina a construção, poderá ser necessário realizar um Estudo de Impactes Ambientais (EIA) e a respetiva Avaliação dos Impactes Ambientais (AIA) (Pinheiro, 2006).

Fase de construção

Na fase de construção são colocadas em prática o conjunto de medidas e estratégias definidas na etapa anterior e abrange todas as ações desde a elaboração do concurso até à recepção da obra por parte do proprietário, tornando-se a fase que apresenta mais impacto visível no local e na sua envolvente devido à ocupação de solo, utilização de recursos, consumo de energia e água, realização de escavações, transporte e edificação propriamente dita (Pinheiro, 2006).

Fase de operação

A fase de operação inicia-se na recepção da obra por parte do proprietário e termina até ao fim da utilização do edificado. Deste modo, esta fase é considerada a mais duradoura do ciclo de vida e, consequentemente, a que apresenta maior impacto ambiental devido ao nível de consumo de energia e água, às emissões poluentes e à acumulação de materiais (Pinheiro, 2006).

Fase de demolição

Na fase de demolição é realizada a desativação e remoção do edifício, provocando um acréscimo de produção de resíduos. Desta forma, deve-se assegurar que todos esses resíduos sejam encaminhados para a reciclagem, de modo que o seu impacto no meio ambiente seja minimizado (Pinheiro, 2006).

2.2.1.1 Análise de ciclo de vida (LCA¹)

A análise de ciclo de vida é um método quantitativo e qualitativo que tem como objetivo avaliar o conteúdo em recursos e os impactes ambientais associados ao ciclo de vida de um produto

¹ Acrónimo da expressão inglesa *Life Cycle Assessment*.

manufaturado, que compreende as fases da aquisição de matérias-primas, da produção, da operação e do processamento de resíduos. Por conseguinte, a *International Organization for Standardization (ISO)* criou a norma EN ISO 14040 para consolidar os procedimentos e métodos relacionados com a LCA (Couto, 2014).

Na Figura 2.8 é possível observar a iteração entre as fases da análise do ciclo de vida implementadas pela norma EN ISO 14040.

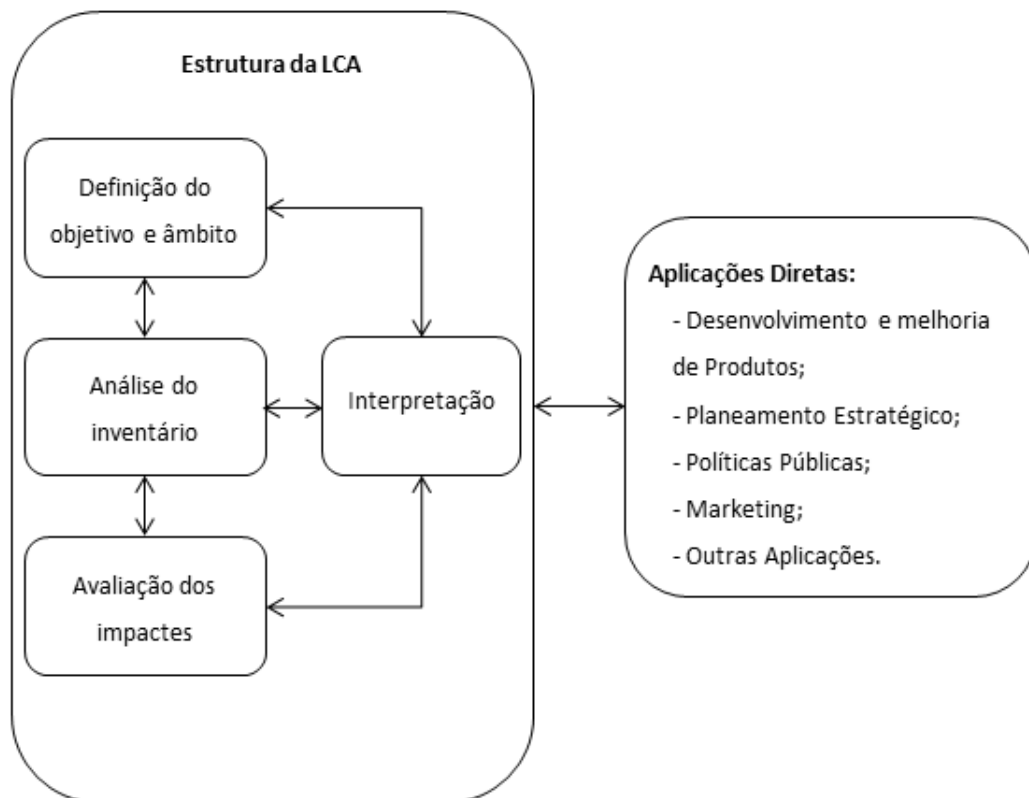


Figura 2.8 - Fases do LCA, segundo a norma ISO 14040 (Mateus, 2009).

Definição do objetivo e âmbito

A primeira fase define os objetivos do estudo em conformidade com a aplicação pretendida, sendo identificados os objetivos, o público-alvo da avaliação, as diversas etapas que constituem o ciclo de vida de um edifício, as condições de fronteira e a metodologia para a alocação dos impactes, o consumo de matérias-primas nos diversos processos e é definida a unidade funcional que será avaliada (Mateus, 2009).

Inventário de Ciclo de Vida (LCI²)

O desenvolvimento do Inventário do Ciclo de Vida, é uma fase da análise que exige muito tempo, visto que é necessário fazer a recolha, descrição e análise dos dados, discriminando os *inputs* e *outputs* do sistema. Esta recolha de dados deve ser efetuada nas empresas e é inevitável elaborar um ou mais questionários. Todavia, existe uma determinada percentagem de dados, necessário a uma análise LCA comum, que se encontra disponível na internet ou em bases de dados como, por exemplo, Simapro, Gabi, Athena, Ecoinvent, entre outros (Mateus, 2009).

Avaliação dos impactes (LCIA³)

Na terceira fase procede-se a uma avaliação do contributo do produto para as categorias de impacte ambiental como, por exemplo, para o aquecimento global.

Esta fase, segundo a norma NP ISO 14040, está subdividida em duas etapas obrigatórias, classificação e caracterização, e duas opcionais, normalização e agregação. Caso as etapas obrigatórias não estejam incluídas no estudo, este é denominado por inventário de ciclo de vida (LCI) e não por análise LCA (Mateus, 2009).

Interpretação

A fase da Interpretação é considerada uma das mais importantes, pois interage com todas as fases descritas anteriormente e é utilizada ao longo de todo o processo da LCA. Esta fase tem como objetivo analisar os processos e materiais que mais contribuem para os impactes de um produto e são realizadas as análises de sensibilidade e incerteza (Mateus, 2009).

2.2.1.2 Custo do ciclo de vida (LCC⁴)

O LCC corresponde a uma contabilização de todos os custos associados ao ciclo de vida de um produto ou sistema, desde a extração das matérias-primas até à última fase do seu ciclo de vida. Esta contabilização é apresentada de duas formas: valor líquido atual (*net present value*) e custo anual (Gvozdenović, 2014).

Definição do objetivo e âmbito

Na primeira fase é necessário desenvolver uma estrutura de divisão de custos, mais conhecida por *cost breakdown structure* (CBS), com a finalidade de facilitar a recolha de dados e a sua atualização ao longo do ciclo de vida. A taxa de desconto ou *discount rate* é imprescindível, sobretudo quando se analisam

² Acrónimo da expressão inglesa *Life Cycle Inventory*.

³ Acrónimo da expressão inglesa *Life Cycle Impact Assessment*.

⁴ Acrónimo da expressão inglesa *Life Cycle Cost*.

sistemas ou produtos com longa duração de vida que impliquem fluxos de custos no futuro (UNEP, 2011).

LCI

Na segunda fase, os custos são relacionados com o nível de cada processo unitário que compõe o sistema, obrigando à correta adoção de taxas de câmbio e realçando a importância da utilização de uma taxa de desconto apropriada (UNEP, 2011).

LCIA

Nesta fase os custos obtidos são anexados por categorias de custos (UNEP, 2011).

Interpretação

A interpretação dos resultados, neste caso, de custo corresponde ao passo final do custo do ciclo de vida (UNEP, 2011).

2.2.1.3 Avaliação do Ciclo de Vida Social (SLCA⁵)

Segundo a UNEP/SETAC, a avaliação do ciclo de vida social é definida como "uma técnica de avaliação de impacto social que tem como objetivo avaliar os aspectos sociais e socioeconómicos dos produtos e os seus potenciais impactos positivos e negativos ao longo de seu ciclo de vida" (UNEP, 2011).

Os principais problemas numa SLCA são: relacionar quantitativamente os indicadores para a unidade funcional do sistema, obter dados específicos dos indicadores, decidir entre muitos indicadores, quantificar adequadamente todos os impactos e avaliar os resultados (Kloepffer, 2008).

Definição do objetivo e âmbito

Numa primeira fase é definida a unidade funcional (mais uma vez destacando-se a importância da mesma), uma descrição mais detalhada da utilidade e finalidade do produto ou sistema, uma primeira visão geral das partes interessadas e a criação dos limites do estudo (UNEP, 2011).

LCI

Nesta fase efetua-se uma primeira identificação das subcategorias que deverá incluir a consulta às partes interessadas. Existem cinco subcategorias: trabalhadores/empregados, comunidade local, sociedade (a nível local ou global), consumidores e restantes intervenientes na cadeia de valor (UNEP, 2011).

⁵ Acrónimo da expressão inglesa *Social Life Cycle Assessment*.

LCIA

Ainda existe pouca informação em relação à terceira fase, todavia esta fase tem como objetivo atingir a integração da informação do LCI em subcategorias e categorias e a aplicação de valores de desempenho social para compreensão da magnitude e desvio dos dados reunidos no LCI, em relação a valores de referência (UNEP, 2011).

Interpretação

A avaliação do ciclo de vida social termina com a análise e interpretações de todas as constatações e resultados, confrontando-os com os objetivos definidos, alcançando conclusões e recomendações que podem ser direcionadas às partes interessadas. Esta fase também contempla a verificação de integridade, sensibilidade e consistência dos dados (UNEP, 2011).

2.2.1.4 Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida (LCSA⁶)

Segundo a UNEP, a LCSA corresponde à avaliação de todos os impactos ambientais, sociais e económicos positivos e negativos, de modo que permita apoiar a tomada de decisão, tendo em vista a utilização de produtos mais sustentáveis ao longo do seu ciclo de vida (UNEP, 2011).

A avaliação de sustentabilidade do ciclo de vida corresponde ao conjunto de três avaliações distintas descritas anteriormente: LCA, LCC e a SLCA, como expresso na Figura 2.9 (Kloepffer, 2008).



Figura 2.9 - Componentes para a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (Kloepffer, 2008).

A LCSA apresenta as seguintes vantagens (UNEP, 2011):

- Permite que os profissionais organizem, de forma estruturada, a informação ambiental, económica e social;
- Ajuda a esclarecer *trade-offs* entre os três pilares da sustentabilidade, fornecendo uma visão mais ampla dos impactos positivos e negativos ao longo do ciclo de vida, o que permite às empresas visualizar o espectro completo do impacto real dos seus produtos e serviços;

⁶ Acrónimo da expressão inglesa *Life Cycle Sustainable Assessment*.

- Fornece meios às empresas para identificar os pontos fracos de um produto e, conseqüentemente, permite novas melhorias relativamente ao seu ciclo de vida;
- Ajuda as empresas a escolher tecnologias e produtos sustentáveis;
- Ajuda os consumidores a determinar não só quais os produtos que poderão ser individualmente mais eficientes em termos económicos, eco-eficientes ou socialmente responsáveis, mas quais os produtos sustentáveis, ou seja, os que melhor cumprem esses três requisitos no seu conjunto;
- Permite desenvolver métodos de rotulagem de produtos mais abrangentes que os atualmente utilizados;
- Quanto maior for a abrangência e transparência da rotulagem e a sua comunicação aos consumidores, maior é a credibilidade das empresas.

3 DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO SUSTENTÁVEL

“À medida que uma sociedade se torna mais desenvolvida, aumenta o consumo de energia, embora nem sempre de um modo eficiente” (ADENE, 2012).

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Desde “a era pré-industrial, 1750, o ser humano tem vindo a transformar os recursos existentes no planeta como forma de obter energia”, conduzindo a uma acentuada dependência das principais fontes não renováveis: carvão, petróleo e, mais recentemente, o gás natural. A maior preocupação do usufru deste tipo de fontes prende-se no crescimento e agravamento do efeito de estufa, em consequência da emissão de gases provocado pela queima dos combustíveis fósseis, contribuindo para as alterações climáticas, também designado por aquecimento global (OECD/IEA, 2013).

Segundo a NASA, ao longo dos anos a temperatura da superfície global tem sofrido drásticas alterações, sendo o ano de 2015 classificado como o mais quente, apresentando uma variação média da temperatura global de +0,87°C em relação à era pré-industrial, conforme ilustra a Figura 3.1 (NASA, 2015).

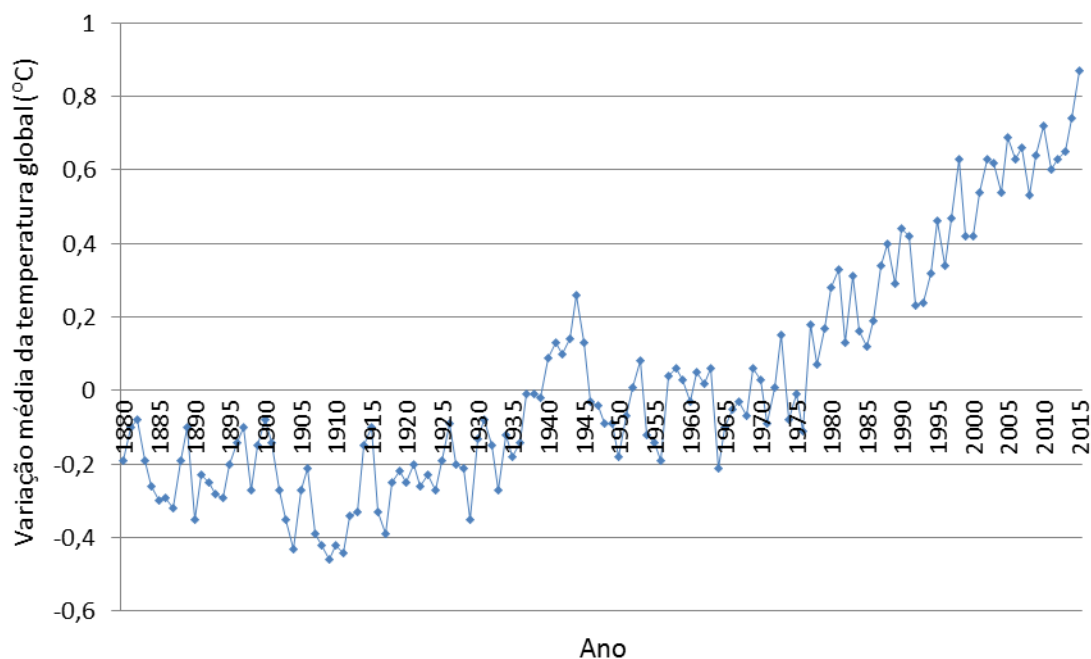


Figura 3.1 - Variação média da temperatura global, adaptado de (NASA, 2015).

O dióxido de carbono (CO₂) é considerado o gás de efeito estufa mais comum e é responsável por 64% do aquecimento global. A sua concentração na atmosfera é, atualmente, 40% maior do que no início da industrialização e, presentemente, essas emissões continuam a crescer a um ritmo muito elevado, sendo que os níveis de CO₂ relativos a 2016 chegaram a um nível histórico de 404 ppm em Junho de 2016, como é possível observar na Figura 3.2. Este valor é preocupante sendo que o máximo admissível está estabelecido em 450 ppm (NASA, 2016).

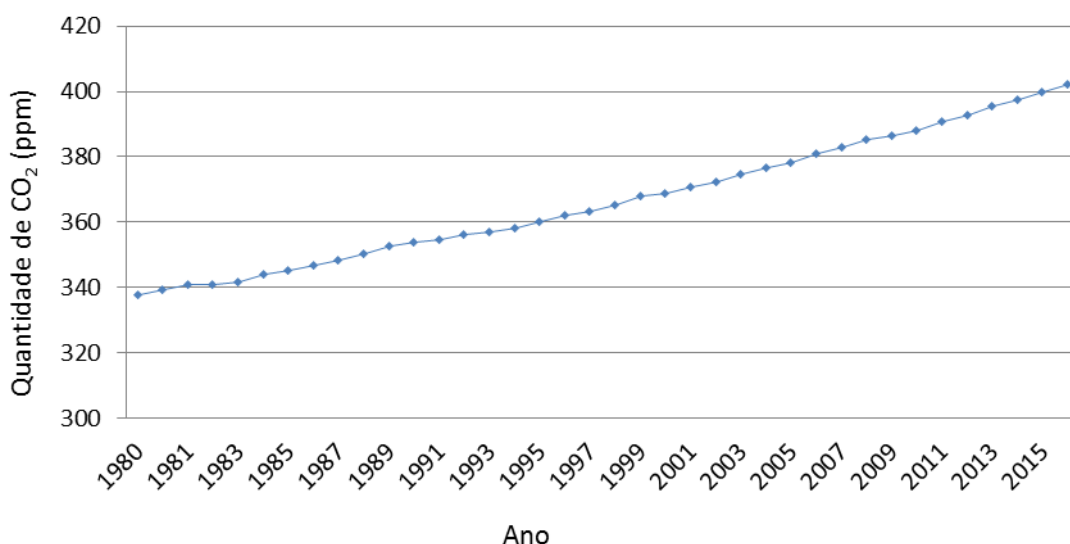


Figura 3.2 - Níveis de CO₂ na atmosfera, adaptado de (NASA, 2016).

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), mesmo que a concentração dos gases com efeito de estufa (GEE) sejam estabilizados atualmente, a temperatura global média vai aumentar entre 1,8 e 4°C (no pior cenário 6,4°C) até 2100 uma vez que os processos climáticos estão relacionados a longas escalas de tempo, a não ser que se tomem medidas para limitar as emissões dos GEE (APEA, 2009).

A Associação Portuguesa de Engenharia do Ambiente (APEA) apresenta algumas consequências do aumento da temperatura e do CO₂ em determinados países da União Europeia, Figura 3.3.



Subida da temperatura no verão (secas), subida da precipitação no inverno (inundações), subida do nível do mar e menor rendimento das colheitas.
Subida da temperatura, menor precipitação anual, maior risco de secas e menor rendimento das colheitas.
Subida do nível do mar e lagos, mais tempestades e inundações, subida da temperatura no verão, aumento de pragas, aumento do degelo e sobreposição das condições climáticas das estações.
Subida de precipitação no inverno, maior risco de secas no verão, maior risco de erosão do solo e menor rendimento da colheita.

Figura 3.3 - Possíveis alterações climáticas na União Europeia, adaptado de (APEA, 2009).

Para alcançar o desenvolvimento sustentável a nível energético é importante reduzir o consumo energético e a forma como se explora o fornecimento de energia, pois uma concepção eficiente pode significar poupanças consideráveis ao longo do seu ciclo de vida útil. Assim, o aumento da utilização das energias renováveis, a fixação do CO₂ e a intensificação da eficiência energética e da cogeração são soluções a privilegiar para minimizar os impactos negativos mencionados anteriormente e atingir uma forte sustentabilidade energética, Figura 3.4 (BCSD PORTUGAL, 2005).

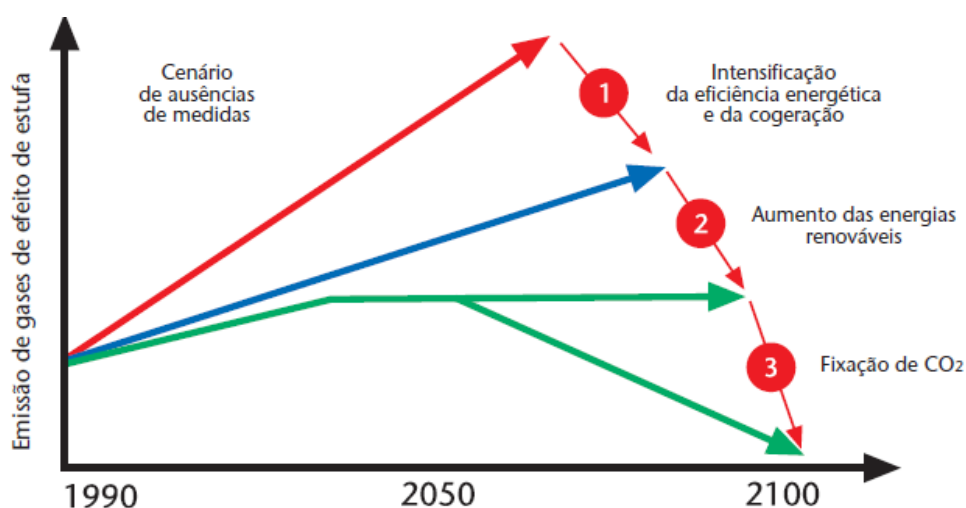


Figura 3.4- Estratégias para o desenvolvimento sustentável a nível energético (BCSD, 2005).

Neste sentido, a redução das necessidades energéticas do edifício é fundamental, tornando-se evidente a valorização da promoção da eficiência energética, que tem como princípios (BCSD PORTUGAL, 2005):

- Utilização de soluções passivas como, por exemplo, sombreamento;
- Otimização dos ganhos solares e da térmica da envolvente;
- Uso de sistemas de tratamento e renovação do ar interior;
- Uso de sistemas de iluminação e ventilação natural;
- Eliminação de pontes térmicas presentes no modelo tradicional;
- Utilização de equipamentos eficientes;
- Aproveitamento de águas pluviais para uso em sanitários;
- Utilização de novos materiais e sistemas construtivos com menores consumos energéticos associados.

3.2 PROGRAMAS ASSOCIADOS À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A mentalidade da sociedade evolui com a evolução da tecnologia, por isso os padrões de conforto exigidos são cada vez mais rigorosos, tornando-se cada vez mais forçoso melhorar a condição ambiente interior dos edifícios. Associado a esse bem-estar, estão obviamente, os gastos energéticos, muitas

vezes difíceis de contornar, devido à forma de vida das pessoas. Neste âmbito, é essencial alertar os utilizadores para consumos desmedidos de energia que futuramente causarão repercussões não só económicas, mas também ambientais que se farão sentir cada vez mais. A utilização de energias renováveis torna-se uma mais-valia, pois permite atenuar o problema e contribuir para a sustentabilidade deste setor.

A melhoria da eficiência energética dos edifícios é fundamental para a sustentabilidade energética do país. Deste modo, a União Europeia, no âmbito de uma política que pretende um modelo energético racional e sustentável, desenvolveu planos e programas que definem um conjunto de objetivos sustentáveis (Andrade, 2012).

3.2.1 ENE 2020

A Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020) “define uma agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira do país através da aposta nas energias renováveis e da promoção integrada da eficiência energética, garantindo a segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental do modelo energético” e tem como principais objetivos: reduzir a dependência energética do País face ao exterior para 74% em 2020 (atualmente é de 83-85%, em média); cumprir os compromissos assumidos por Portugal no contexto das políticas europeias de combate às alterações climáticas, permitindo, para 2020, 31% do consumo de energia final tenha origem em fontes renováveis e a redução de 20% do consumo de energia final; reduzir o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas; consolidar o *cluster* das energias renováveis em Portugal, assegurando em 2020 um valor acrescentado bruto de 3 800 milhões de euros e criando mais 100 000 postos de trabalho a crescer aos 35 000 já existentes; dar continuidade ao desenvolvimentos dos sectores associados à promoção da eficiência energética, assegurando a criação de 21 000 novos postos de trabalho e gerar um investimento previsível de 13 000 milhões de euros até 2020 e exportações adicionais de 400 milhões de euros e promover o desenvolvimento sustentável criando condições para o cumprimento das metas da redução de emissões assumidas por Portugal no quadro europeu (Silva, 2010).

3.2.2 Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética - Portugal Eficiência 2015 (PNAEE) foi aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 Maio 2008 e tem como principal objetivo projetar programas que incidam na adoção de novas tecnologias e sistemas organizativos em áreas de atuação, bem como mudanças de comportamentos e valores que permitam obter um consumo mais sustentável. Este plano pretende atuar essencialmente, em sete áreas distintas - transportes, residencial e serviços, indústria, estado, fiscalidade, comportamentos, incentivos e financiamentos. Para tal, o plano

agrupa um conjunto de programas em que cada um deles apresenta um conjunto de medidas focadas na procura energética, Figura 3.5 (PNAEE, 2008).

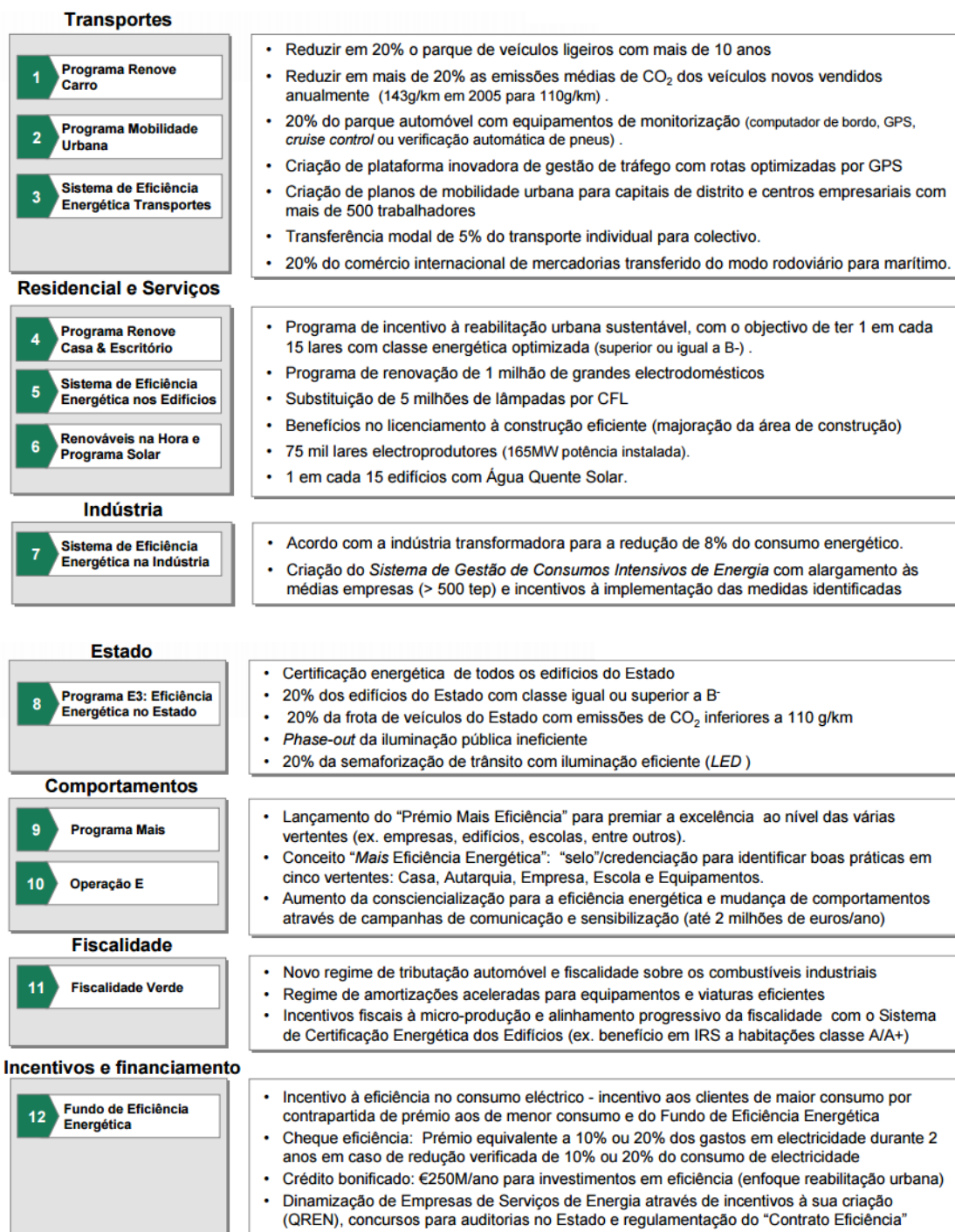


Figura 3.5 - Principais medidas e objectivos nas áreas do PNAEE (PNAEE, 2008).

3.2.3 Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica

O Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica (PPEC), promovido pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), tem como objetivos promover (ERSE,2009):

- A adopção de comportamentos mais eficientes e a aquisição de equipamentos mais eficientes que o *standard* de mercado;
- A redução na factura de energia eléctrica dos consumidores
- A redução das emissões de GEE;
- A redução dos custos do sector eléctrico e os investimentos em infra-estruturas de redes e em produção.

As Figura 3.6 e Figura 3.7 apresentam as vantagens das novas regras do Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica para os consumidores e para os fornecedores, respetivamente.

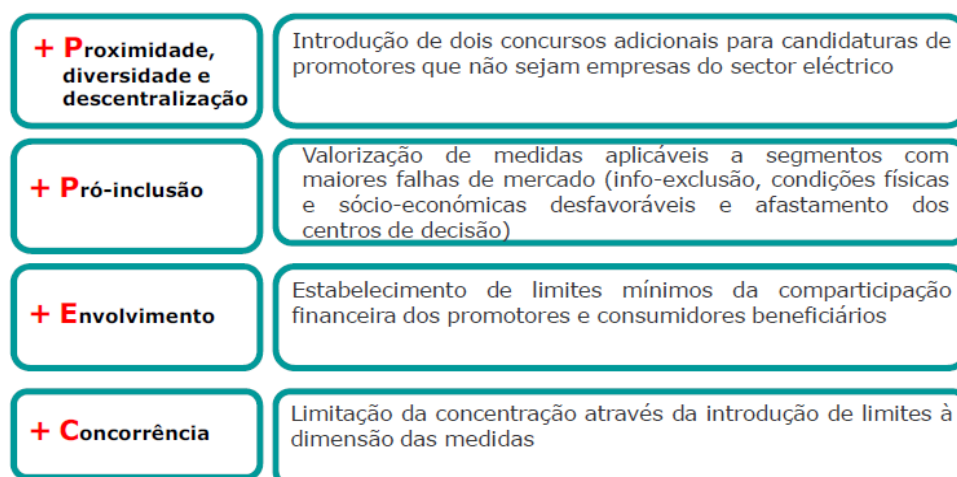


Figura 3.6 - Vantagens das novas regras do PPEC para os consumidores (ERSE,2009).

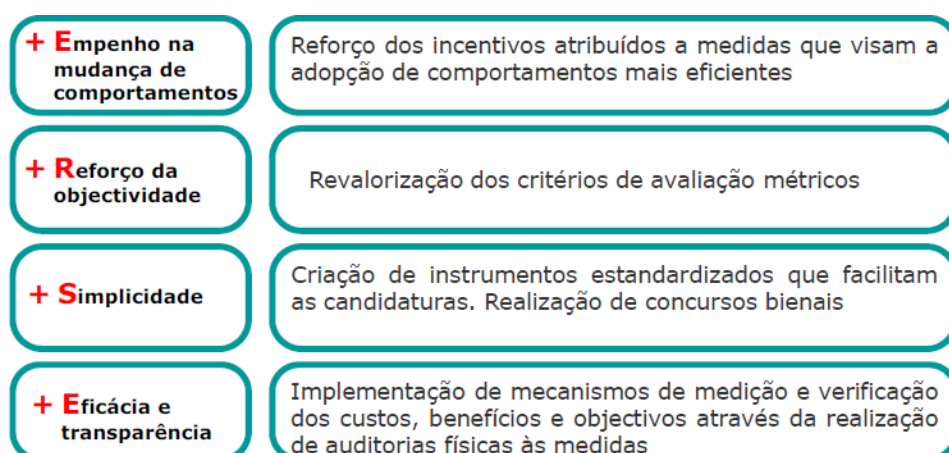


Figura 3.7 - Vantagens das novas regras do PPEC para os promotores (ERSE,2009).

3.2.4 Programa de Eficiência na Administração Pública

O Programa de Eficiência na Administração Pública (ECO.AP) traduz um conjunto de medidas a curto, médio e longo prazo com o objetivo de se alcançar, até 2020, um aumento da eficiência energética na ordem dos 30%, promovendo a gestão racional dos serviços energéticos, principalmente através da contratação de empresas de serviços energéticos (Adene, 2016).

3.2.5 Pacote 20-20-20

A política energética europeia, conhecida por “ Pacote 20-20-20” e incluída no Pacote Clima-Energia da União Europeia, tem como objetivos reduzir as emissões de GEE pelo menos 20% (ou 30% caso se chegue a acordo a nível internacional quanto às metas globais) em relação ao ano 1990, aumentar para 20% a quota-parte das energias renováveis no consumo de energia e aumentar a eficiência energética em 20%, com vista a limitar o aumento do aquecimento global a 2°C (Pezzuitto, 2013).

3.3 DECRETO-LEI N.º 118/2013

O Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto surge como a transposição da Diretiva n.º 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010 e estabelece os requisitos de desempenho térmico e energético, bem como a metodologia de caracterização do desempenho dos edifícios. A sua implementação tem como objetivo abranger, de forma mais assertiva e eficiente, uma diversificada gama de edifícios (DL n.º 118/2013).

O presente decreto permitiu a aglomeração de três regulamentos – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) e Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) – que desde 2006 estavam em vigor, Figura 3.8, promovendo-se a harmonização terminológica, conceptual e a simplificação (DL n.º 118/2013).

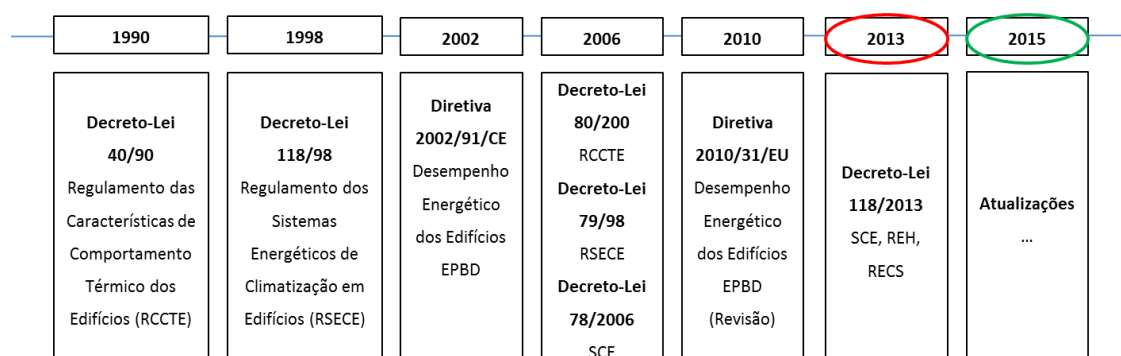


Figura 3.8 - Evolução cronológica da legislação.

Com a implementação do Decreto-Lei n.º 118/2013 é possível analisar os edifícios de acordo com a sua função de utilização, sendo desenvolvidos dois grupos distintos de avaliação, um composto pelos edifícios de serviço e outros pelos edifícios de habitação, sendo que cada um passa a ser regulamentado por um método específico que atende as suas necessidades. Deste modo, os edifícios habitacionais passam a ser regulamentados pelo REH e os edifícios de serviços pelo RECS. No entanto, ao longo deste documento apenas se dará enfoque ao REH (DL n.º 118/2013).

Segundo o Artigo 22º do Decreto-Lei n.º 118/2013, o REH “estabelece os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento técnico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente” (DL n.º 118/2013).

De acordo com o REH, o consumo de energia em edifícios divide-se em três necessidades energéticas indispensáveis: necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) e as necessidades anuais globais de energia primária (N_{tc}), sendo que a última permite determinar a classe energética de um edifício de acordo com a expressão 3.1 (DL n.º 118/2013):

$$R_t = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (3.1)$$

Em que,

R_t – Classe energética;

N_{tc} - Valor das necessidades nominais anuais de energia primária;

N_t - Valor limite para as necessidades nominais anuais de energia primária.

Para a dissertação em estudo foi utilizada a versão mais atualizada, o Decreto-Lei n.º 250/2015.

3.3.1 Legislação complementar

De modo a complementar o Decreto-Lei n.º 118/2013, foram elaborados os seguintes despachos e portarias:

- O Despacho n.º 15793 – C/2013 publica os “modelos associados aos diferentes tipos de pré - certificado e certificado do sistema de certificação energética (SCE) a emitir para os edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes” (Despacho n.º 15793-C/2013);

- O Despacho n.º 15793 – D/2013 define quais são os “fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária” (Despacho n.º 15793-D/2013);
- O Despacho n.º 15793 – E/2013 define quais são as “regras de simplificação que se de utilizam nos edifícios sujeitos a grandes intervenções” e existentes, caso se verifique a impossibilidade de obter informações importantes sobre o edifício, tais como, a envolvente, parâmetros térmicos, ventilação, eficiência dos sistemas técnicos e contribuição dos sistemas solares térmicos (Despacho n.º 15793-D/2013);
- Despacho n.º 15793 – F/2013 publica “os parâmetros para o zonamento climático e os respetivos dados” (Despacho n.º 15793-F/2013);
- O Despacho n.º 15793 – H/2013 identifica as “regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, de acordo com o tipo de sistema” (Despacho n.º 15793-H/2013);
- O Despacho n.º 15792 – I/2013 publica os métodos “de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária” (Despacho n.º 15793-I/2013);
- O Despacho n.º 15793 – J/2013 publica as regras para determinar a classe energética de um edifício (Despacho n.º 15793-J/2013);
- O Despacho n.º 15793 – K/2013 publica os parâmetros térmicos para o cálculo dos valores de coeficiente global de transferência de calor, coeficiente de transmissão térmica superficial, coeficiente de transmissão térmica linear, coeficiente de absorção da radiação solar, fator de utilização de ganhos, quantificação da inércia térmica, fator solar de vãos envidraçados, fator de obstrução da radiação solar, fração envidraçada, fator de correção da seletividade angular dos envidraçados, coeficiente de redução de perdas e taxa de renovação do ar (Despacho n.º 15793-K/2013);
- O Despacho n.º 15793 – L/2013 define a metodologia a utilizar para o apuramento da viabilidade económica. Determina qual o período de retorno do investimento feito para as medidas de melhoria (Despacho n.º 15793-L/2013);
- A Portaria n.º 349 – A/2013 define as competências da entidade gestora do SCE, do perito qualificado e do técnico de instalação e de manutenção. Esta portaria também define as

categorias dos edifícios, os tipos de pré-certificados e certificados e as responsabilidades de emissão dos mesmos (Portaria n.º 349-A/2013);

- A Portaria n.º 349 – B/2013 “define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré -certificados e certificados SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção” (Portaria n.º 349-B/2013);
- A Portaria no 349 – C/2013 “determina os elementos que devem existir nos procedimentos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas de edificação, bem como a autorização de utilização (Portaria n.º 349-C/2013).

3.4 SISTEMAS DE AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL

O principal objetivo dos sistemas de avaliação e reconhecimento da construção sustentável é garantir a sustentabilidade dos edifícios durante todo o seu ciclo de vida, promovendo e tornando possível uma melhor interligação entre os parâmetros ambientais, sociais e económicos. Estes sistemas são baseados na legislação local, regulamentos e soluções construtivas convencionais, encontrando-se numa constante evolução.

Para uma melhor compreensão dos sistemas de avaliação, é importante descrever alguns dos sistemas implementados, entre eles: o BREEAM, o SBTOOL, o LEED e o LIDERA, ilustrando-se cada os dos seus logótipos da Figura 3.9 à Figura 3.12.



Figura 3.9 - BREEAM (Jersey Energy, 2016).



Figura 3.10 - SBTOOL (Ecochoice, 2012).



Figura 3.11 - LEED (Central New York Community Foundation, 2012).



Figura 3.12 - LIDERA (LiderA, 2016a).

3.4.1 BREEAM

De modo a minimizar os efeitos negativos dos edifícios nos ambientes locais e globais, o *Building Research Establishment* (BRE) desenvolveu no Reino Unido, em 1990, o sistema de avaliação sustentável BREEAM, *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*. Esta ferramenta tornou-se a mais ampla e mais reconhecida para o aperfeiçoamento do desempenho ambiental do edifício, tanto para edifícios novos como para os já existentes, e tem com objetivos (Bre Global, 2011):

- Definir parâmetros e padrões para as melhores práticas em projetos de construção sustentável;
- Diferenciar os edifícios de menor impacto ambiental no mercado;
- Analisar os impactos ambientais nas várias fases do ciclo de vida;
- Incentivar a utilização de melhores práticas ambientais;
- Realçar a importância e os benefícios de edifícios com menor impacto ambiental aos proprietários, ocupantes, projetistas e operadores.

Desde o seu lançamento foram criadas várias versões de modo a avaliar os vários tipos de construção. Neste momento, este sistema de avaliação permite avaliar o desempenho ambiental de vários tipos de construção, tais como (BREEAM, 2016):

- BREEAM Nova Construção (*BREEAM New Construction*)
 - BREEAM Tribunais (*Courts*)
 - BREEAM Centro de Dados (*Data Centres*)
 - BREEAM Casas Ecológicas (*EcoHomes*)
 - BREEAM Educação (*Education*)
 - BREEAM Saúde (*Healthcare*)
 - BREEAM Industrial (*Industrial*)
 - BREEAM Multi-Residencial (*Multi-Residencial*)
 - BREEAM Escritórios (*Offices*)
 - BREEAM Outros Edifícios (*Other Buildings*)
 - BREEAM Prisões (*Prisons*)
 - BREEAM Centro Comerciais (*Retail*)
- BREEAM Aglomerados Populacionais (*Communities*)

CAPÍTULO 3

- BREEAM Existentes (*In Use*)
- BREEAM Reabilitação (*Refurbishment*);
 - BREEAM Reabilitação de Habitação (*Domestic Refurbishment*);
 - BREEAM Reabilitação de Edifícios de carácter não habitacional (*Non Domestic Refurbishment*)
- Código para Habitações Sustentáveis (*Code for Sustainable Dwellings*).

O presente trabalho objetivou realizar uma análise de acordo com os critérios definidos pelo BREEAM *Domestic Refurbishment* ou, em português BREEAM Reabilitação Doméstica. Este sistema de avaliação de desempenho ambiental é constituído por 34 critérios e em alguns deles introduz requisitos mínimos obrigatórios (BREEAM, 2013).

Numa primeira fase, a avaliação de sustentabilidade realiza-se através do estudo dos critérios de cada uma das nove categorias principais ponderadas pelo método, obtendo-se um determinado número de créditos em cada uma delas. Posteriormente, segundo a ponderação percentual de cada categoria demonstrada na Tabela 3.1, os créditos são somados e, conseqüentemente, o edifício é avaliado de acordo com uma escala de certificado.

Tabela 3.1 - Ponderação percentual das categorias no sistema BREEAM, adaptado de (Bauer, 2007).

Categoria	Descrição	%
Energia	Energia e dióxido de carbono operacional (CO ₂).	19
Saúde e Bem-estar	Questões relacionadas com o ruído, o conforto, iluminação, etc.	15
Materiais	Impactes relacionados com os materiais de construção.	12,5
Gestão	Política de gestão e comissionamento.	12
Utilização do solo e ecologia	Tipo de construção no solo, valor ecológico e valorização do local.	10
Contaminação	Poluição do ar e da água.	10
Transporte	CO ₂ e localização relacionada com transporte.	8
Resíduos	Gestão de resíduos e eficiência dos recursos de construção.	7,5
Água	Fatores relacionados com o consumo de água e eficiência.	6

Tabela 3.2 – Classificação do BREEAM *Domestic Refurbishment*, adaptado de (BREEAM, 2013).

Classificações BREEAM <i>Domestic Refurbishment</i>	Percentagem (%)
Não Classificado	< 30
Aprovado	≥ 30
Bom	≥ 45
Muito Bom	≥ 55
Excelente	≥ 70
Extraordinário	≥ 85

“Uma característica que distingue o BREEAM de outras ferramentas voluntárias de sustentabilidade é a forma como os critérios são definidos. Nas restantes ferramentas os critérios determinam-se por objectivos finais, enquanto o BREEAM determina uma ação específica a considerar. Por exemplo, enquanto o LEED determina como um dos seus objectivos a redução do consumo de água potável em 20%, o BREEAM determina, através dos seus critérios, os tipos de sistemas eficientes que deverão ser especificados no projeto” (JESUS, 2010).

3.4.2 SBTOOL

O SBTool, *Sustainable Building Tool*, foi desenvolvido pela associação sem fins lucrativos *international initiative for the Sustainable Built Environment* (iisBE) e é uma ferramenta que permite, desde a fase mais preliminar à concepção, a avaliação e certificação da sustentabilidade dos edifícios existentes. Esta ferramenta engloba nove categorias, apresentadas na Tabela 3.3 Tabela 3.4 (Aulicino, 2008).

Tabela 3.3 – Percentagem das categorias do SBTOOL, adaptado de (Mateus & Bragança, 2011).

Categorias	Percentagem (%)
C1 - Alterações Climáticas e Qualidade Ar Exterior	4
C2 – Uso do solo e biodiversidade	7
C3 – Energia	11
C4 – Materiais e Resíduos Sólidos	10
C5 – Água	2

Tabela 3.4 - Percentagem das categorias do SBTOOL, adaptado de (Mateus & Bragança, 2011).

Categorias (continuação)	Percentagem (%)
C6 – Conforto e Saúde dos Utilizadores	20
C7 - Acessibilidades	10
C8 – Sensibilização e educação para a Sustentabilidade	3
C9 – Custos do ciclo de vida	33

Os valores normalizados da avaliação são convertidos numa escala de A+ a E, sendo que a melhor prática é representada pela letra A ou A+ e a prática convencional pela letra D (Aulicino, 2008).

3.4.3 LEED

Em 1994 foi desenvolvido, pelos esforços *United States Green Building Council (USGBC)*, o *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*. Esta ferramenta possui um grande prestígio internacional demonstrado pela sua aplicação em mais de cento e trinta países e tem como objetivo estabelecer um padrão comum de avaliação dos edifícios e servir como exemplo para a construção “verde” (Lucas, 2011).

Atualmente existem diferentes versões desta ferramenta, conforme apresenta a Tabela 3.5 e a Tabela 3.6, sendo que o presente trabalho dá ênfase à versão LEED-H.

Tabela 3.5 - Versões do LEED, adaptado de (GBC, 2016).

Versões	Tipo de edifício aplicável
LEED-NC (<i>New Construction and Major Renovations</i>)	Novas construções e renovação com alguma dimensão.
LEED-H (<i>Home</i>)	Habitações.
LEED-EB (<i>Existing Buildings</i>)	Edifícios existentes. Manutenção e operação numa escala consistente, com o objectivo de minimizar os impactos ambientais e maximizar a eficiência operacional.
LEED-CI (<i>Commercial Interiors</i>)	Espaços comerciais interiores.

Tabela 3.6 - Versões do LEED - continuação, adaptado de (GBC, 2016).

Versões (continuação)	Tipo de edifício aplicável
LEED-S (<i>Schools</i>)	Escolas
LEED-HC (<i>Healthcare</i>)	Espaços de cuidados de saúde.
LEED-R (<i>Retail</i>)	Espaços comerciais.
LEED-CS (<i>Core and Shell Development</i>)	Construção de elementos dos edifícios, como a estrutura e os sistemas dos edifícios.
LEED-ND (<i>Neighborhood Development</i>)	Desenvolvimento urbano.

No seguimento de melhorar o sistema LEED, surge uma nova atualização com o objectivo de encontrar um sistema mais abrangente e socialmente inclusivo. Os recursos disponíveis incluem uma linguagem atualizada e um cartão de pontuação (*scorecards*), destacando-se as categorias ilustradas na Figura 3.13 (USGBC, 2013).



Figura 3.13 – Categorias avaliadas no sistema LEED, adaptado de (Melanie Dawn, 2014).

Cada uma destas categorias de avaliação integra um conjunto de pontos que, no seu somatório, perfazem um total de 110 pontos aos quais é atribuído uma classificação. O somatório de pontos obtidos, levam à atribuição de diversos níveis de certificação: “certificado” (40-49 pontos), “prata” (50-59 pontos), “ouro” (60-79 pontos) e “platina” (79-110 pontos) (Melanie Dawn, 2014).

As ponderações são atribuídas a cada categoria consoante o grau de importância que o sistema lhe confere e estas variam de acordo com o tipo de construção a que se destina. No presente caso, estas pontuações referem-se a edifícios já existentes. As categorias referentes a este tipo de edifício são apresentadas na Tabela 3.7 (USGBC, 2013).

Tabela 3.7 - Ponderação pontual e percentual de cada categoria no sistema LEED-EB (USGBC, 2013).

Categoria	Pontos	Porcentagem (%)
Localização e transporte	15	13,6
Espaços sustentáveis	10	9,1
Uso eficiente da água	12	10,9
Energia e atmosfera	38	34,5
Materiais e recursos	8	7,3
Qualidade do ambiente interior	17	15,5
Inovação	6	5,5
Prioridade regional	4	3,6

Após o ano 2000, foram estabelecidas revisões regulares do sistema de certificação a cada 3 ou 5 anos, podendo ser feitas revisões num período mais curto caso alguma regulamentação local assim o exigir. A certificação atribuída a um determinado edifício tem um período válido máximo de cinco anos e após este limite, é feita uma nova avaliação utilizando um programa do USGBC, baseado na avaliação da operação e gestão do próprio edifício (USGBC, 2013).

3.4.4 LIDERA

O LiderA - Liderar pelo Ambiente - foi desenvolvido em 2000 por Manuel Duarte Pinheiro no Instituto Superior Técnico (IST). É uma ferramenta que tem por base um conjunto de princípios e critérios relacionados com a sustentabilidade, sociedade, economia e ambiente que apoiam o desenvolvimento de soluções em projetos desde a fase de projeto até à sua construção e utilização, procurando sempre uma integração equilibrada de todos os critérios (LiderA, 2016b).

O sistema estabelece seis princípios de bom desempenho ambiental que abrangem as seis vertentes consideradas no sistema (LiderA, 2016c):

- Princípio 1 - Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
- Princípio 2 - Fomentar a eficiência no uso de recursos;
- Princípio 3 – Reduzir o impacte das cargas (quantidade e toxicidade);
- Princípio 4 – Assegurar a qualidade do ambiente;

- Princípio 5 - Fomentar as vivências sócio-económicas sustentáveis;
- Princípio 6 - Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos.

As seis vertentes de avaliação dividem-se em 22 categorias que por sua vez são constituídas por 43 critérios que avaliam os edifícios em função do seu desempenho a nível da sustentabilidade, conforme ilustra a Figura 3.14 (LiderA, 2016b).



Figura 3.14 – As seis vertentes e vinte e duas áreas do LiderA (LiderA, 2016b).

A verificação e a quantificação de cada um dos critérios permite avaliar o desempenho ambiental do edifício em estudo, sendo atribuídas classificações de desempenho com 10 níveis desde G até A++ e em casos especiais pode ser atribuída classificação A+++, sendo que o nível E representa a prática usual, Figura 3.15.

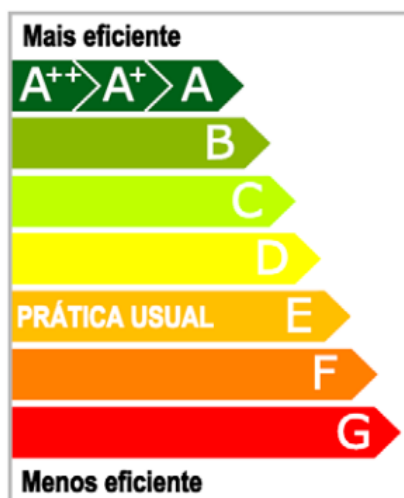


Figura 3.15- Níveis de desempenho global do sistema LIDERA

Esta avaliação baseia-se na percentagem que cada uma das categorias do método apresenta, conforme apresenta a Tabela 3.8 (LiderA, 2016c).

Tabela 3.8 - Ponderação percentual de cada categoria no sistema LiderA (LiderA, 2016c).

Categoria	Critério	Percentagem (%)
Integração local	Solo	7
	Ecosistemas naturais	5
	Paisagem e património	2
Consumo de recursos	Energia	17
	Água	8
	Materiais	5
	Produção Alimentar	2
Cargas ambientais	Efluentes	3
	Emissões atmosféricas	2
	Resíduos	3
	Ruído exterior	3
	Poluição ilumino-térmica	1
Conforto ambiental	Qualidade do ar	5
	Conforto térmico	5
	Iluminação e acústica	5
Vivência sócio económica	Acesso para todos	5
	Diversidade económica	4
	Amenidades e interação social	4
	Participação e controlo	4
	Custo de ciclo de vida	2
Uso sustentável	Gestão ambiental	6
	Inovação	2

3.4.5 Análise comparativa dos sistemas de avaliação

Para facilitar uma análise comparativa dos quatro sistemas em estudo, fez-se um levantamento de todos os parâmetros que fazem parte de cada sistema tendo sido organizados por área de avaliação.

Área de avaliação: Gestão ambiental

Na área da gestão ambiental, pode-se comprovar, através da análise Tabela 3.9, que o sistema LEED é o que abrange o maior número de parâmetros relativos a esta área. Desta forma, este sistema apresenta um maior desenvolvimento quando comparado com os outros sistemas em análise.

Tabela 3.9 - Análise comparativa dos parâmetros de cada sistema relativamente à gestão ambiental.

Sistemas \ Parâmetros	BREEAM	SBTOOL	LEED	LIDERA
Procedimento Ambiental	✓			✓
Medição e Verificação		✓	✓	
Acreditação Profissional			✓	
Manutenção				
Conteúdos Recicláveis	✓		✓	
Controlo dos Resíduos de Construção			✓	
Reutilização de Materiais (RCD)			✓	
Reforço de Sistemas de Climatização			✓	
Total de Parâmetros analisados	2	1	6	1

Área de avaliação: Aspetos socioeconómicos e políticos

Hoje em dia torna-se primordial uma interação entre a sociedade e os órgãos políticos de cada país, sendo que muitos dos problemas ambientais passam pela sensibilização da participação ativa das sociedades.

No que diz respeito aos “Aspetos socioeconómicos e políticos” (ver Tabela 3.10), destaca-se o sistema de avaliação nacional, o LiderA. Os restantes sistemas como o BREEAM e o LEED menosprezam esta área de avaliação uma vez que integram apenas um parâmetro.

Tabela 3.10 - Análise comparativa dos parâmetros socioeconómicos e políticos.

Parâmetros \ Sistemas	BREEAM	SBTOOL	LEED	LIDERA
Aspectos económicos		✓		
Aspectos Globais de Política	✓			
Diversidade Económica Local				✓
Amenidades e Interação Social				✓
Densidade de Desenvolvimento e Interação da Comunidade		✓	✓	
Acesso para todos				✓
Custos no Ciclo de Vida				✓
Controlo do Utilizador		✓		
Participação e Controlo				✓
Total de Parâmetros analisados	1	3	1	5

Área de avaliação: Inovação

Os únicos sistemas que apostam na avaliação da área da inovação são o BREEAM, o LEED e o LIDERA, Tabela 3.11. No entanto, ao longo dos anos, o parâmetro inovação e o processo de *design* tem-se tornado numa elevada ferramenta de processo construtivo e de minimização de energia e consumo de recursos por parte dos edifícios. Isto acontece tendo em consideração a arquitetura e disposição dos elementos construtivos, tornando assim possível, a construção de edifícios cada vez mais sustentáveis.

Tabela 3.11 - Análise comparativa dos parâmetros relativos à inovação.

Parâmetros \ Sistemas	BREEAM	SBTOOL	LEED	LIDERA
Inovação e Processo de Design	✓		✓	✓
Total de Parâmetros analisados	1	0	1	1

Área de avaliação: Integração no meio

A área da integração no meio abrange parâmetros mais direcionados para a construção e execução do processo de construção.

Segundo a análise à Tabela 3.12, pode-se verificar que o parâmetro “ocupação do solo” faz parte dos quatro sistemas de avaliação. Quanto ao número de parâmetros avaliados, destacam-se os sistemas BREEAM e LEED que contemplam seis parâmetros na sua avaliação. Quanto aos sistemas LIDERA e SBTOOL, estes avaliam 3 e 4 parâmetros, respetivamente.

Tabela 3.12 - Análise comparativa dos parâmetros relativos à integração no meio.

Sistemas	BREEAM	SBTOOL	LEED	LIDERA
Parâmetros				
Características Locais e Culturais		✓		
Paisagem e Património		✓		✓
Contexto de Implantação	✓		✓	
Requalificação de Terrenos Devolutos			✓	
Ocupação do Solo	✓	✓	✓	✓
Ambiente Externo	✓	✓		
Transporte (Localização)	✓		✓	
Transporte (Emissões de CO ₂)	✓		✓	
Ecologia Local	✓		✓	✓
Total de Parâmetros analisados	6	4	6	3

Área de avaliação: Cargas ambientais e impacte no ambiente externo

Os estudos comprovam que é no setor da construção que se verifica um maior impacto ambiental a nível de produção de resíduos, de consumo de energia, emissões de CO₂ e consumo de recursos naturais. Deste modo, a área das cargas ambientais e impacte no ambiente externo é uma das áreas que engloba o maior número de parâmetros, evidenciando uma elevada preocupação dos sistemas de avaliação com o ambiente e com o impacto das construções na envolvente externa ao edifício, sendo de elevada importância analisar estes parâmetros com minuciosidade.

Analisando a Tabela 3.13, verifica-se que os sistemas LIDERA e SBTOOL são os mais completos, avaliando 6 e 7 parâmetros, respetivamente. Imediatamente a seguir segue-se os sistemas LEED e BREEAM.

O parâmetro “emissões atmosféricas” está presente em todos os sistemas de avaliação, pois é um dos parâmetros mais importantes nesta área, tratando-se de um tema que, desde o Protocolo de Quioto, se tem vindo a debater.

Tabela 3.13 - Análise comparativa dos parâmetros relativos às cargas ambientais e impacte no ambiente externo.

Sistemas \ Parâmetros	BREEAM	SBTOOL	LEED	LIDERA
Resíduos de Construção	✓	✓	✓	✓
Resíduos de Uso do Edifício		✓		✓
Emissões Atmosféricas	✓	✓	✓	✓
Espaços Externos		✓		
Impacto na Envolvente		✓		
Efluentes		✓	✓	✓
Poluição do Ar	✓		✓	
Poluição da Água	✓			
Poluição Ilumino-térmica		✓	✓	✓
Ruído e Odores				✓
Total de Parâmetros analisados	4	7	5	6

Área de avaliação: Planeamento

Esta área abrange parâmetros fundamentais com o objetivo de garantir uma construção sustentável, tais como, durabilidade, funcionalidade e planeamento. No entanto, e segundo a análise à Tabela 3.14, apenas o sistema SBTOOL abrange o maior número de parâmetros relativos ao planeamento, com um total de 5 parâmetros.

Tabela 3.14 - Análise comparativa dos parâmetros relativos ao planeamento.

Parâmetros \ Sistemas	BREEAM	SBTOOL	LEED	LIDERA
Planeamento de Construção		✓		
Planeamento de Operação do Edifício		✓		
Adaptabilidade		✓		
Controlo de Qualidade			✓	
Flexibilidade		✓		
Durabilidade		✓		
Total de Parâmetros analisados	0	5	1	0

Área de avaliação: Ambiente interno

A área de avaliação “Ambiente interno” relaciona uma série de parâmetros, tais como, ventilação interna, monitorização da distribuição do ar, qualidade do ar interior, conforto térmico, conforto higrotérmico, ruído interior, conforto acústico, luminosidade e pontos de vista, conforto iluminação, conforto visual, conforto olfativo e saúde.

De acordo com a análise da Tabela 3.15 e da Tabela 3.16, verifica-se que o sistema que abrange o maior número de parâmetros é o SBTOOL, seguidos do BREEAM, LEED e LIDERA. Também é possível verificar que um dos parâmetros mais relevantes da avaliação ao ambiente interno de um edifício é o “conforto térmico”, sendo este abrangido por todos os sistemas em estudo. Os parâmetros com menos grau de importância por parte dos sistemas são a “monitorização da distribuição de ar”, a “luminosidade” e o “ruído interior”.

Tabela 3.15 - Análise comparativa dos parâmetros relativos ao ambiente interno.

Parâmetros \ Sistemas	BREEAM	SBTOOL	LEED	LIDERA
Ventilação Interna		✓	✓	
Monitorização da Distribuição do Ar			✓	
Qualidade do Ar Interior		✓	✓	✓

Tabela 3.16 – Continuação: Análise comparativa dos parâmetros relativos ao ambiente interno.

Sistemas	BREEAM	SBTOOL	LEED	LIDERA
Parâmetros				
Conforto Térmico	✓	✓	✓	✓
Conforto Higrotérmico	✓	✓		
Ruído Interior				✓
Conforto Acústico	✓	✓		✓
Luminosidade e Pontos de Vista			✓	
Conforto Iluminação	✓	✓	✓	✓
Conforto Visual	✓	✓		
Conforto Olfativo	✓			
Saúde	✓	✓		
Total de Parâmetros analisados	7	8	6	5

Área de avaliação: Recursos

No âmbito da área dos recursos são analisados os seguintes parâmetros: materiais, materiais ecológicos, prioridade regional, conservação da água e energia, aproveitamento de águas residuais e pluviais, eficiência da água existente na envolvente e dos sistemas prediais, energia renovável e produção de produtos alimentares.

Em conformidade com a Tabela 3.17, é possível verificar que neste aglomerado de parâmetros os materiais, a conservação da água e de energia apresentam maior consciencialização, sendo avaliados pelos quatro sistemas em estudo.

O sistema que contém maior número de parâmetros na sua análise é o sistema LEED, com um total de 10 parâmetros. Posteriormente, segue-se o sistema LIDERA com 7 parâmetros e o BREEAM e o SBTOOL com o mesmo número de parâmetros, 3.

Tabela 3.17 - Análise comparativa dos parâmetros relativos aos recursos.

Parâmetros \ Sistemas	BREEAM	SBTOOL	LEED	LIDERA
Materiais	✓	✓	✓	✓
Materiais Ecológicos			✓	✓
Prioridade Regional			✓	✓
Conservação da Água	✓	✓	✓	✓
Conservação de Energia	✓	✓	✓	✓
Aproveitamento de Águas Residuais			✓	
Aproveitamento de Água Pluviais			✓	
Eficiência da Água Existente na Envolvente			✓	✓
Eficiência dos Sistemas Prediais			✓	
Energia Renovável			✓	
Produção Local de Produtos Alimentares				✓
Total de Parâmetros analisados	3	3	10	7

3.4.6 Eficiência Energética nos Sistemas de Avaliação Sustentável

A eficiência energética corresponde à categoria com maior relevância em todos os sistemas de avaliação em estudo. De acordo com a informação descrita ao longo deste subcapítulo é possível verificar que os sistemas LEED, BREEAM, LIDERA e SBTOOL apresentam nesta categoria uma ponderação de 28%, 19%, 17% e 12,8%, respetivamente, tendo em conta que:

- No sistema BREEAM o edifício é avaliado, sobretudo, segundo a taxa de emissões de CO₂;
- No sistema LIDERA a maioria da pontuação é obtida segundo a classificação de eficiência energética atingida (A e A+), resultando da análise realizada pelo um perito qualificado da ADENE;
- O sistema LEED embora também possa analisar a eficiência energética do edifício através da avaliação executada por outra entidade, tem em conta a avaliação de outros indicadores, tais como: isolamento térmico, desempenho térmico pelos vãos envidraçados, eficiência dos

CAPÍTULO 3

equipamentos de climatização, infiltração de ar, eficiência do sistema de aquecimento de água, eficiência dos equipamentos de iluminação, eficiência dos eletrodomésticos, energias renováveis e sistema de distribuição de aquecimento e arrefecimento.

- No sistema SBTOOL o edifício é avaliado, sobretudo, segundo a energia produzida através de fontes renováveis.

4 CONFORTO TÉRMICO

Para construir um edifício energeticamente eficiente é necessário ter em conta inúmeros fatores, que possam criar condições favoráveis e, conseqüentemente, proporcionar um conforto térmico adequado.

O conforto térmico de um edifício deve ser alcançado de forma natural. Para tal, é essencial considerar três grandes fatores de avaliação do conforto, nomeadamente, o clima, os materiais de construção e o uso que cada ocupante faz do edifício. Assim, as soluções termicamente eficientes devem ser analisadas com base não só no consumo direto de energia mas também na pegada ecológica que geram.

4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O conforto térmico baseia-se em critérios relacionados com questões físicas, psicológicas e sociais e é definido de acordo com três abordagens diferentes:

- Psicológica: o conforto térmico é “a condição da mente que expressa satisfação com o seu ambiente térmico” (ASHRAE, 2004);
- Energética: o conforto térmico é alcançado quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente tendem a anular-se (Fanger, 1970);
- Termofisiológica: o conforto térmico é definido como a mínima taxa dos sinais nervosos dos recetores (Mayer, 1993).

Devido à multidisciplinaridade do conceito é necessário fazer um estudo aos parâmetros físicos - temperatura do ar, temperatura média radiante, humidade do ar e velocidade do ar - e parâmetros individuais - atividade física e vestuário do ocupante (Matias, 2010):

- Temperatura do ar, T_a (°C): é o mais simples indicativo de calor ou frio de um compartimento em condições normais, sendo um dos parâmetros mais importantes na definição de conforto térmico e deve ser considerada na determinação das trocas de calor por convecção entre o meio ambiente e corpo humano. No entanto, esta temperatura é influenciada pela estratificação do ar devida à diferença de densidade entre ar frio e quente, dimensões da sala, tipo de aquecimento e temperatura média radiante;

- Temperatura média radiante, T_{MR} (°C): corresponde à temperatura das superfícies envolventes pesadas em função das suas áreas, posicionamento e capacidade de emitir calor.

O desconforto pode ser criado tanto por superfícies com baixa temperatura no Inverno, como com alta temperatura no Verão;

- Humidade do ar: a humidade do ar pode ser apresentada em termos absolutos ou relativos. A humidade absoluta é um parâmetro essencial na determinação de calor por evaporação do corpo humano para o ambiente e representa a pressão parcial de vapor de água, p_v (kPa).

De acordo com a EN ISO 7726:2011, para se determinar a pressão parcial de vapor de água é necessário conhecer o valor da humidade relativa do ar, HR (%), e a temperatura do ar.

- Velocidade do ar, v_a (m/s): a velocidade do ar é uma grandeza definida pela sua direção e intensidade. Este parâmetro intervém na perceção, quer de conforto térmico global, quer de desconforto localizado e, geralmente, é difícil de quantificar devido às flutuações rápidas que sofre.

O aumento da velocidade de ar em ambientes térmicos quentes conduz à redução da sensação de calor.

- Atividade física: a atividade física desenvolvida por um ser humano pode ser calculada pela taxa de metabolismo, que se traduz por determinada quantidade de energia produzida por unidade de tempo (J/s^2).
- Vestuário: o vestuário dá ao homem resistência térmica relativamente ao ambiente circundante. A transferência de calor através do vestuário pode ser influenciada pela postura e por movimentos corporais.

4.2 MODELOS DE CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO

A fim de avaliar o conforto térmico nos compartimentos dos edifícios, apresentam-se três tipos de modelos de conforto térmico adaptativo distintos:

- Modelo adaptativo baseado na ASHRAE Standard 55;
- Modelo adaptativo baseado na EN 15251;
- Modelo adaptativo desenvolvido pelo LNEC.

4.2.1 Modelo de Conforto Adaptativo – ASHRAE Standard 55

A norma ASHRAE Standard 55, desenvolvida pela *American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers* (ASHREA), baseia os seus modelos a partir do balanço energético do corpo humano, considerando que a sensação térmica é unicamente influenciada por quatro fatores ambientais - humidade, radiação térmica, temperatura e velocidade do ar - e dois factores individuais - atividade e roupa. Esta norma inclui um modelo adaptativo de avaliação do conforto térmico, representado na Figura 4.1, que consiste na determinação dos intervalos relativos às temperaturas interiores de conforto mensais, sendo estas comparadas com as temperaturas interiores reais (Almeida, 2010).

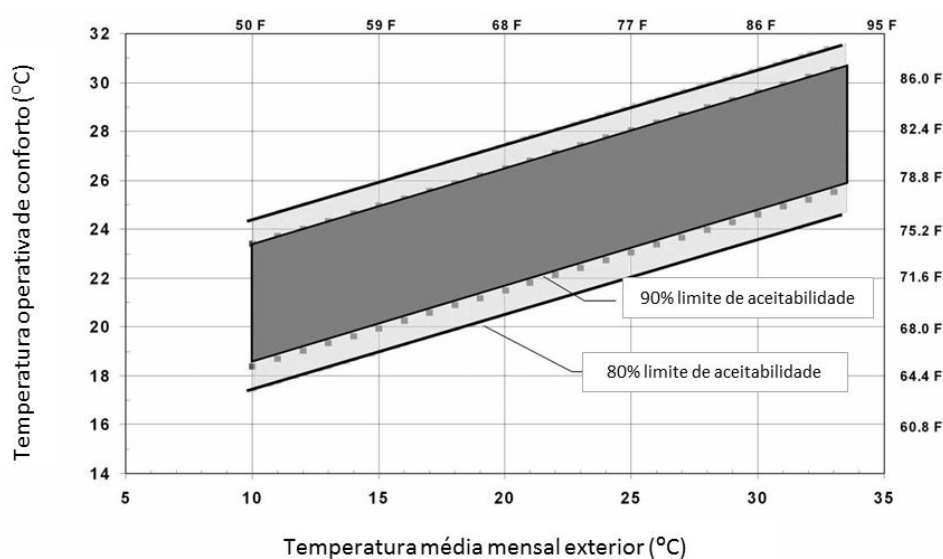


Figura 4.1 - Valores recomendados da T_{oc} em função da T_M, adaptado de (ASHRAE, 2004).

De acordo com a análise da Figura 4.1, a zona de conforto correspondente a 80% de aceitabilidade tem uma largura de banda de ±3,5 °C em torno da temperatura operativa de conforto (T_{oc}) e aplica-se a edifícios existentes. Enquanto a zona de conforto correspondente a 90% de aceitabilidade tem uma largura de banda de ±2,5 °C em torno da temperatura operativa de conforto e aplica-se a edifícios novos onde são exigidos níveis elevados de conforto (ASHRAE, 2004).

Segundo De Dear, a T_{oc} é calculada em função da temperatura média mensal exterior, T_M, pela seguinte expressão (Almeida, 2010):

$$T_{oc} = 17,8 + 0,31 \cdot T_M \text{ (}^\circ\text{C)} \tag{4.1}$$

Em que,

T_{oc} – Temperatura operativa de conforto;

T_M – Temperatura média mensal exterior.

O modelo adaptativo ASHRAE Standard 55 é válido para as seguintes condições (ASHRAE, 2004):

- A temperatura média mensal exterior, T_M , é variável entre 10 °C e 33,5 °C, como é possível analisar na Figura 4.1;
- O ambiente térmico dos compartimentos dos edifícios deve ser regulado pelos seus ocupantes, com a abertura e fecho dos vãos envidraçados de fácil acesso;
- Os edifícios não podem dispor de qualquer sistema mecânico de refrigeração. Podem, no entanto, ter instalados sistemas mecânicos de ventilação como, por exemplo, um ventilador;
- Os edifícios podem ter sistema de aquecimento. No entanto, se este estiver em funcionamento o modelo de conforto adaptativo não é válido;
- Os ocupantes do edifício devem ter um nível de atividade entre 1 e 1,3 met (unidade para quantificar o calor libertado por uma pessoa durante a atividade física: 1 met = 58,2 W/m²) e podem ser livres para adaptar o seu vestuário às condições ambientais interiores e exteriores.

Na definição dos intervalos de conforto recorre-se às equações 4.2 e 4.3 de forma a caracterizar o intervalo de conforto admissível (Almeida, 2010):

$$T_{c-LS} = 0,31 \cdot T_M + 20,3 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (4.2)$$

$$T_{c-LI} = 0,31 \cdot T_M + 15,3 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (4.3)$$

Em que,

T_{c-LS} - Limite superior do intervalo de conforto;

T_{c-LI} - Limite inferior do intervalo de conforto;

T_M - Temperatura média mensal exterior.

De modo a avaliar sensação térmica ASHRAE corresponde a um índice desenvolvido com base no “voto de conforto” de pessoas expostas ao mesmo ambiente ao qual pode variar entre +3 (muito quente) e -3 (muito frio), correspondendo o valor 0 à neutralidade térmica, ver Tabela 4.1 e Tabela 4.2 (ASHRAE, 2004).

Tabela 4.1 - Índices PMV (*Predicted Mean Vote*) pela escala ASHRAE (ASHRAE, 2004).

Designação ASHRAE	Equivalente numérico
Muito Quente	+3
Quente	+2

Tabela 4.2 - Índices PMV (Predicted Mean Vote) pela escala ASHRAE (ASHRAE, 2004) - Continuação

Designação ASHRAE	Equivalente numérico
Ligeiramente Quente	+1
Neutro	0
Ligeiramente Frio	-1
Frio	-2
Muito Frio	-3

4.2.2 Modelo de Conforto Adaptativo – EN 15251

O Organismo Europeu de Normalização (CEN) elaborou a norma de conforto europeia, EN 15251, que define requisitos para avaliação da qualidade do ambiente interior em edifícios novos e existentes, de um ponto de vista térmico, da qualidade do ar, da iluminação e do ruído. Esta norma é aplicável a edifícios sem sistemas de aquecimento e de arrefecimento instalados.

O algoritmo adaptativo adotado por esta norma estabelece a distinção de quatro categorias de edifícios, Tabela 4.3, às quais dependem da expectativa do ocupante face à temperatura de conforto calculada pelo modelo, correspondendo a um edifício de classe I um menor intervalo de conforto e a um edifício de classe III um maior intervalo de conforto, como se pode analisar na Figura 4.2 (EN 15251, 2007).

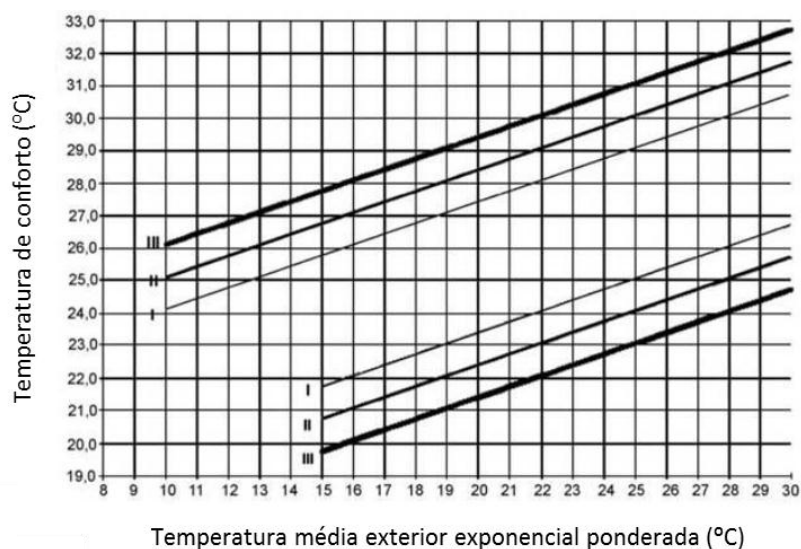


Figura 4.2- Valores recomendados da T_{oc} para edifício com ventilação natural em função da T_{RM} , adaptado de (EN 15251, 2007).

Tabela 4.3- Descrição da aplicabilidade das categorias utilizadas, adaptado de (EN 15251, 2007).

Categoria	Nível de expectativa	Tipo de espaço	Limite de conforto
I	Alto	Edifícios ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis.	$\pm 2^{\circ}\text{C}$
II	Normal	Edifícios novos e reabilitados.	$\pm 3^{\circ}\text{C}$
III	Moderado	Edifícios existentes.	$\pm 4^{\circ}\text{C}$
IV	Valores fora das categorias anteriores.	Só deverá ser aceite para uma parte limitada do ano.	$\pm >4^{\circ}\text{C}$

À medida que a categoria diminui, de categoria IV para a categoria I, mais exigente é o controlo, o que implica uma utilização de energia mais elevada. Deste modo, a categoria I é utilizada apenas em situações especiais como, por exemplo, hospitais. Enquanto a utilização da categoria IV deve ser evitada ao máximo, porque não possui qualquer requisito. A cada categoria corresponde um intervalo de conforto em torno das temperaturas de conforto interiores diárias, fornecidas por aplicação deste modelo adaptativo (EN 15251, 2007).

Segundo a norma EN 15251, a expressão adotada no cálculo da temperatura operativa de conforto (T_{oc}) é estabelecida em função da temperatura média exterior ponderada, T_{MP} . A expressão que rege o modelo adaptativo da EN 15251 é traduzida pela equação (4.4) (EN 15251, 2007):

$$T_{oc} = 0,33 \times T_{MP} + 18,8 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (4.4)$$

Em que,

T_{oc} – Temperatura operativa de conforto;

T_{MP} – Temperatura média exterior ponderada.

O cálculo da temperatura média exterior ponderada, T_{MP} , é estabelecido com base nos valores das temperaturas médias diárias da semana precedente, aplicando a seguinte equação (4.5) (CIBSE,2006):

$$T_{MP} = \frac{(T_{n-1} + 0,8.T_{n-2} + 0,6.T_{n-3} + 0,5.T_{n-4} + 0,4.T_{n-5} + 0,3.T_{n-6} + 0,2.T_{n-7})}{3,8} \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (4.5)$$

Em que,

T_{MP} – Temperatura média exterior ponderada;

T_{n-i} – Temperatura média exterior do dia i .

4.2.3 Modelo de Conforto Adaptativo – LNEC

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) desenvolveu um modelo de conforto adaptativo que caracteriza “as condições aceitáveis de conforto térmico para edifícios (...), tendo em conta o clima e as características sociais e culturais da população portuguesa”. O estudo deste modelo de conforto adaptativo permitiu conjecturar que as normas atualmente em vigor, ASHRAE e EN 15251, avaliam as condições de conforto térmicas, considerando apenas a sensação térmica dos utentes inquiridos. Enquanto o presente modelo de conforto adaptativo tem em conta, para além da sensação térmica, a preferência térmica dos utentes inquiridos (Matias, 2010).

De modo a avaliar a sensação e preferência térmica humana de um determinado compartimento foram desenvolvidas duas escalas, uma de sensação térmica e outra de preferência térmica, sti e pti, respetivamente. Estas escalas foram desenvolvidas com base nas respostas dos inquiridos expostos ao mesmo tipo de ambiente, conforme ilustra a Figura 4.3 e Figura 4.4 (Matias, 2010).

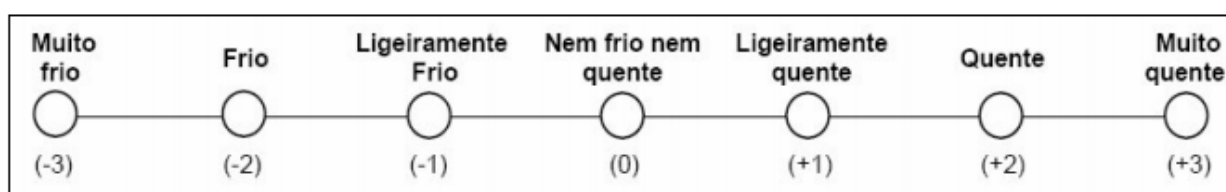


Figura 4.3- Escala de sensação térmica, sti (Matias, 2010).

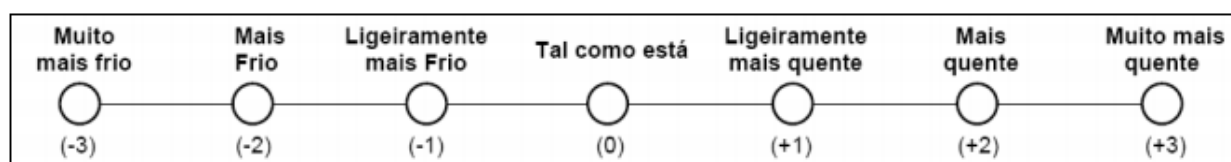


Figura 4.4 - Escala de preferência térmica, pti (Matias, 2010).

A sensação térmica é a forma como o corpo do ser humano deduz a temperatura do ar. Esta sensação pode diferir da temperatura real devido a um conjunto de fatores (humidade relativa do ar, densidade atmosférica e a velocidade de propagação do vento) que alteram a transferência de energia (calor) entre o meio ambiente e o corpo. A preferência térmica é um parâmetro que resulta da avaliação da sensação térmica. Uma vez que as duas variáveis, sti e pti, se encontram ordenadas em escalas diferentes, procedeu-se à sua recodificação com o objetivo de as homogeneizar, assumindo os valores apresentados na Tabela 4.4 (Matias, 2010):

Tabela 4.4 - Escalas de sensação e preferência térmica antes e após a sua recodificação, adaptado de (Matias, 2010).

Categoria numérica	Escala de percepção térmica original		Escala recodificada sti_r e pti_r	Categoria numérica
	sti	pti		
-3	Muito frio	Muito mais frio	Desconfortável	1
-2	Frio	Mais frio		
-1	Ligeiramente frio	Ligeiramente mais frio	Ligeiramente desconfortável	2
0	Nem quente nem frio	Tal como está	Confortável	3
+1	Ligeiramente quente	Ligeiramente mais quente	Ligeiramente desconfortável	2
+2	Quente	Mais quente	Desconfortável	1
+3	Muito quente	Muito mais quente		

O modelo adaptativo foi desenvolvido com base em resultados obtidos em estudos de campo, sendo efetuadas diversas análises detalhadas das sensações e preferência térmicas indicadas pelos inquiridos. Estas análises estatísticas permitiram o desenvolvimento de um índice de conforto térmico, C_{onf} . Este índice resulta da média entre as respostas dadas por cada inquirido relativamente à percepção térmica já recodificada, sti (sensação térmica) e pti (preferência térmica), conforme demonstra a Tabela 4.4, sendo definida uma nova distribuição de frequências que variam entre 1 (desconforto) e 3 (conforto), com intervalos de 0,5 (Matias, 2010).

Para aplicar este modelo adaptativo a um caso prático é necessário ter em conta se o espaço analisado é climatizado ou não e conhecer determinados parâmetros: taxa de metabolismo (M), resistência térmica associada ao vestuário (I_{cl}), velocidade do ar (V_a), temperatura operativa interior (T_{op}) que corresponde à temperatura de conforto (T_{conf}) e temperatura exterior exponencialmente ponderada (T_{MP}). Posteriormente, toda esta informação deve ser analisada para que se possa verificar, inequivocamente, as condições de conforto se encontram dentro dos limites que definem as gamas de temperatura de conforto aceitáveis, tendo em atenção se o espaço em estudo tem sistema de climatização ativada (ON), desativada (OFF) ou se não possui nenhum sistema de climatização.

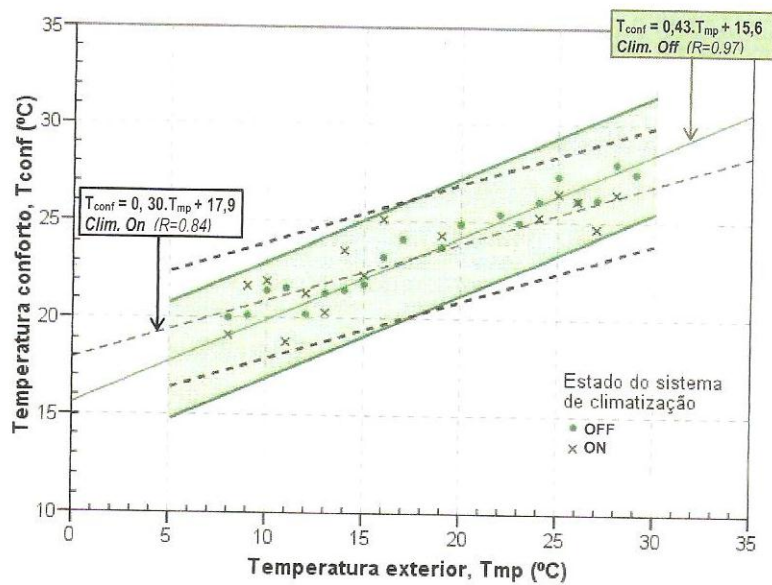


Figura 4.5 - Relação dos limites de T_{conf} com a T_{MP} para ambientes com ou sem sistemas de climatização (Matias, 2010).

5 ALCANÇAR O EDIFÍCIO IDEAL PARA 2020

“The best energy is less energy”

Wolfgang Feist (Gavião, 2014)

O Homem sempre utilizou os recursos existentes no planeta para a realização das suas atividades, como por exemplo, pescar e caçar para se alimentar e utilizar a energia solar para se aquecer e para os fins de iluminação. No entanto, com o passar dos tempos, o número de habitantes do planeta ganhou outra dimensão e as atividades que outrora não apresentavam perigo eminente para a Terra passaram a apresentar devido à excessiva utilização dos recursos. Para tal, foi necessário implementar medidas com o objetivo de minimizar os impactos ambientais negativos, Figura 5.1.

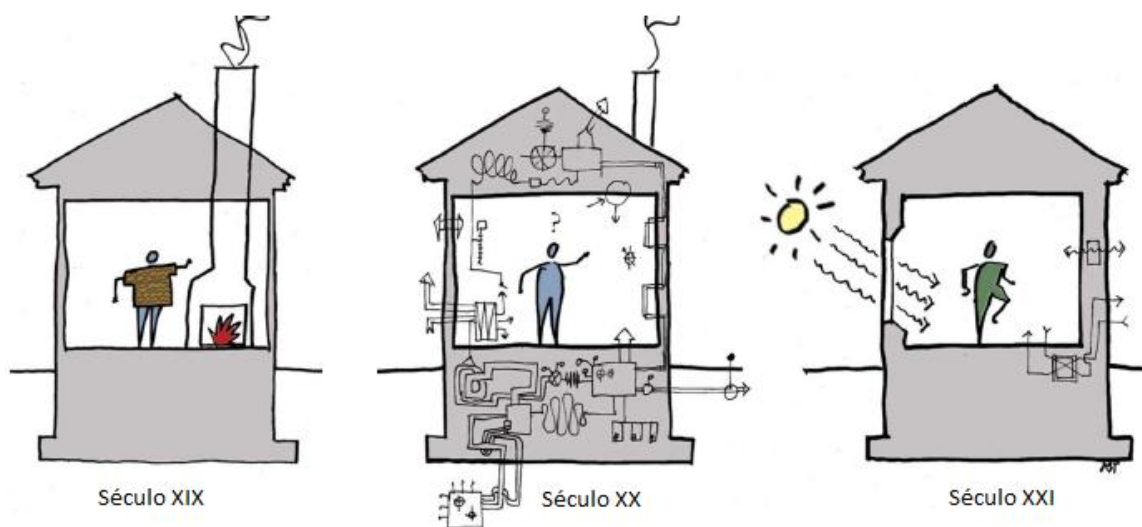


Figura 5.1 - Evolução do sistema de aquecimento, adaptado de (Gavião, 2014)

5.1 **NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS**

5.1.1 Definição

A definição de um edifício com necessidades quase nulas de energia, acrónimo da expressão inglesa um *Nearly Zero Energy Building* (NZEB) foi implementado em 2010 pela Diretiva 2010/31/EU. Segundo o artigo 2 da diretiva, um NZEB corresponde a um “edifício com um desempenho energético muito

elevado” em que as necessidades de energia “deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades” (Diretiva 2010/31/EU).

Existem várias questões fundamentais que devem ser esclarecidas para que o conceito NZEB fique totalmente claro (Boermans, 2011):

- Como manter a definição NZEB suficientemente flexível de modo a construir edifícios sobre os padrões de baixa energia?
- Como definir corretamente a quota das energias renováveis?
- Como determinar o melhor equilíbrio entre a eficiência energética e as energias renováveis?
- Quais os consumos de energia que devem ser contabilizados para efeito de quantificação do consumo de energia total anual do edifício?

5.1.2 Diretiva Europeia

Ao longo dos anos a União Europeia tem-se focado em desenvolver e implementar políticas com a finalidade de aumentar a eficiência energética nos edifícios e diminuir as emissões de GEE. Deste modo, no dia 13 de Setembro de 1993 foi divulgada a Diretiva 93/76/CEE que visa limitar as emissões de CO₂ para a atmosfera através do aumento da eficiência energética (Diretiva 1993/76/CEE).

Posteriormente, em 1997, concretizou-se o Protocolo de Quioto que tinha como objetivo limitar a emissão de seis gases poluentes (o dióxido de carbono, o metano, o óxido nitroso, os hidrocarbonetos fluorados, os hidrocarbonetos perfluorados e o hexafluoreto de enxofre) de vários países industrializados para o período de 2008 a 2012 (Garrana, 2011). A diretiva 2006/32/CE vem revogar a diretiva 93/76/CEE e refere o potencial de poupança de energia como consequência da implementação de medidas de eficiência energética que podem levar à redução da dependência energética externa (Diretiva 2006/32/CE).

No dia 23 de Abril de 2009 foi publicada a Diretiva 2009/28/CE que concerne a promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis e, por fim, em Maio de 2010 foi publicada a Diretiva europeia 2010/31/EU, sendo esta a diretiva em vigor atualmente para o desempenho energético dos edifícios.

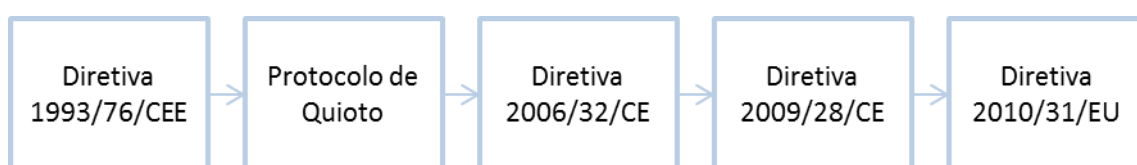


Figura 5.2 - Cronologia dos marcos internacionais relevantes, na eficiência energética dos edifícios.

Diretiva Europeia de desempenho energético dos edifícios (Diretiva 2010/31/EU)

A Diretiva 2010/31/EU, *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD), do Parlamento Europeu (PE) e do Conselho, de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios, é focada nos objetivos propostos para 2020 e introduz o conceito de edifícios de elevado desempenho energético e consequentemente de necessidades quase nulas de energia, NZEB, referindo aspetos significativos relativos a estes. Segundo o artigo 9.º, os Estados Membros asseguram que (Diretiva 2010/31/EU):

- Todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia, o mais tardar, até 31 de Dezembro de 2020;
- Os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia após 31 de Dezembro de 2018.

Com a implantação da Diretiva 2010/31/EU, a Comissão Europeia em conjunto com os Estados-Membros pretendem alcançar os objetivos ilustrados na Figura 5.3:

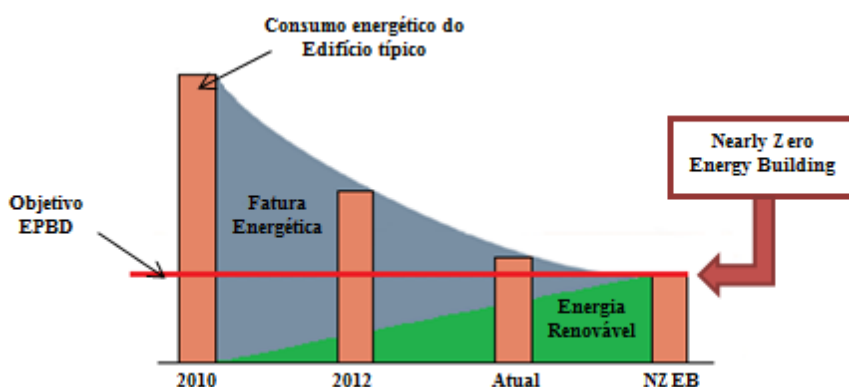


Figura 5.3 - Objetivo EPBD (Aires, 2015).

5.1.3 *Passive House*

A *Passive House* corresponde a um conceito construtivo eficiente sob o ponto de vista energético, ecológico, confortável e economicamente acessível e teve origem em 1988 num projeto realizado pelos professores Bo Adamson e Wolfgang Feist. Consequente, este conceito deu início à discussão e desenvolvimento do conceito NZEB, descrito anteriormente (IPHA, 2014).

Este tipo de edifício apresenta um controlo rigoroso das pontes térmicas e das infiltrações de ar, um grau elevado de isolamento, sistemas de caixilharias e vidros de elevado desempenho e um bom aproveitamento da radiação solar. Assim, a *Passive House* permite uma redução no consumo para aquecimento e arrefecimento de 90% ou 75%, em comparação com um convencional edifício existente ou padrões definidos pelos regulamentos para novos edifícios, respetivamente (Gavião, 2014).

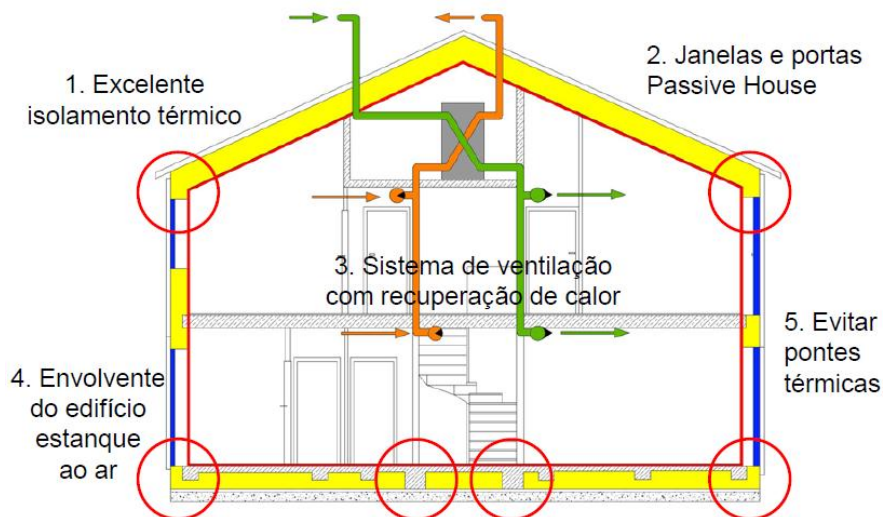


Figura 5.4 - Princípios de uma *Passive House* (IPHA, 2014).

Para se construir uma *Passive House* é necessário que esta cumpra determinados requisitos fundamentais, conforme enuncia a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Requisitos de uma *Passive House*, adaptado de (Gavião, 2014).

Parâmetro	Requisito
Necessidades de aquecimento	< 15 kWh/(m ² .a)
Necessidade de arrefecimento	< 15 kWh/(m ² .a)
Necessidades totais de energia primária	< 120 kWh/(m ² .a)
Estanqueidade ao ar (Renovações de ar)	< 0,6 h ⁻¹
Excesso de temperatura, superior a 26 °C	< 10% do tempo
Temperatura no interior do edifício no Inverno	> 20 °C
Temperatura no interior do edifício no Verão	26 °C

5.1.3.1 *Passive House Planning Package*

O *Passive House Planning Package* (PHPP) baseia-se, fundamentalmente, na ISO 13790 e é o principal *software* de validação e certificação de qualidade para casas passivas. Este *software*, baseado numa folha de cálculo no Microsoft Office Excel, pode ser aplicado em qualquer tipo de edifício em qualquer fase do mesmo, todavia a sua utilização deve ser feita o mais atempadamente possível tendo em vista a resolução e correção de determinados erros (Gauna et al, 2014).

Para se obter os dados relativos ao balanço energético do edifício é necessário proceder à introdução de dados relativos ao edifício em estudo: dados gerais do edifício, dados climáticos relativos ao local, calores do coeficiente de transmissão térmica dos materiais dos elementos da envolvente, tipos de janelas e sombreamento, ventilação, aquecimento e lista dos equipamentos e eletrodomésticos utilizados e respetivas características (Gavião, 2014).

5.2 NET ZERO ENERGY BUILDINGS

Com a crise de petróleo, no final dos anos 70 e início dos anos 80, surgiu o conceito “Zero Energy Buildings” (ZEB), sendo este tema bastante discutido e, ao longo dos anos, diferentes tipos de conceitos ZEB foram descritos. Este conceito de edifício é pensado para ser uma solução eficaz para diminuir uso de energia e as emissões de GEE no setor da construção (Marszal & Heiselberg, 2009).

Segundo Torcellini, et al., o conceito ZEB pode ser definido com base no objetivo do projeto, as intenções do investidor, preocupação sobre as alterações climáticas e emissões de GEE para a atmosfera ou dos custos associados à energia. Tendo em conta estes parâmetros apresenta-se quatro definições do conceito ZEB (Tavares, 2013):

- *Net Zero Site Energy* – “Produz, no mínimo, tanta energia (através de fontes renováveis) quanto aquela que consome ao longo de um ano (energia contabilizada no local)”;
- *Net Zero Source Energy* – “Produz, no mínimo, tanta energia (através de fontes renováveis) quanto aquela que consome ao longo de um ano (energia contabilizada na fonte de produção)”;
- *Net Zero Energy Cost* – “O custo associado à compra de energia à rede necessária para a utilização do edifício ao longo de um ano é compensada pela venda à rede da energia produzida pelo edifício”;
- *Net Zero Energy Emissions* – “Produção e exportação suficiente de energia sem emissões (energia de fonte renovável) para compensar a energia obtida a partir de combustíveis que produzam emissões de GEE para a atmosfera ao longo de um ano (*Zero Carbon Building*)”.

Em 2007, Kilkis considera que a definição ZEB proposta por Torcellini, et al. está incompleta, pois, para além dos parâmetros considerados por este autor, deve-se ter em conta a importância da qualidade da energia na avaliação completa do impacto do edifício no ambiente. Desta forma, Kilkis apresenta uma nova definição para o conceito ZEB (Kilkis, 2007):

- *Net Zero Exergy Buildings* – Edifícios que, ao longo de um ano, apresentam um somatório das trocas de qualidade, entre um edifício e a rede, nulo. As trocas podem ser ao nível elétrico ou outro nível qualquer, que se dê entre este sistema.

Mais recentemente, tornou-se essencial desenvolver um conceito que permita e exija uma redução de custos e um aumento da eficiência energética na União Europeia, os *Nearly Zero Energy Buildings*. No entanto, este conceito, por si só, não chega, pois um NZEB apresenta um saldo energético ligeiramente negativo e o que se pretende na realidade é a criação de um edifício em que o diferencial entre a energia produzida e consumida, num ano, seja igual a zero. Consequente, surge o conceito *Net Zero Energy Building* (nZEB).

5.2.1 Definição

Um nZEB corresponde a um edifício, de comércio ou de habitação, com balanço energético zero. À partida, este conceito pode ser considerado uma utopia, mas se nada é impossível, assume-se então o oposto e tudo é possível. Desta forma, conforme o ilustrado na Figura 5.5, para que um edifício atinja este conceito é necessário que este respeite uma estratégia composta por dois passos fundamentais: reduzir a necessidade de energia através da implementação de medidas de eficiência energética, que por sua vez começa pela integração do *design* solar passivo (reduzir o valor do eixo dos xx) e produzir energia através de sistemas de captação das energias renováveis (aumentar a componente do eixo dos yy) (Gonçalves & Graça, 2004).

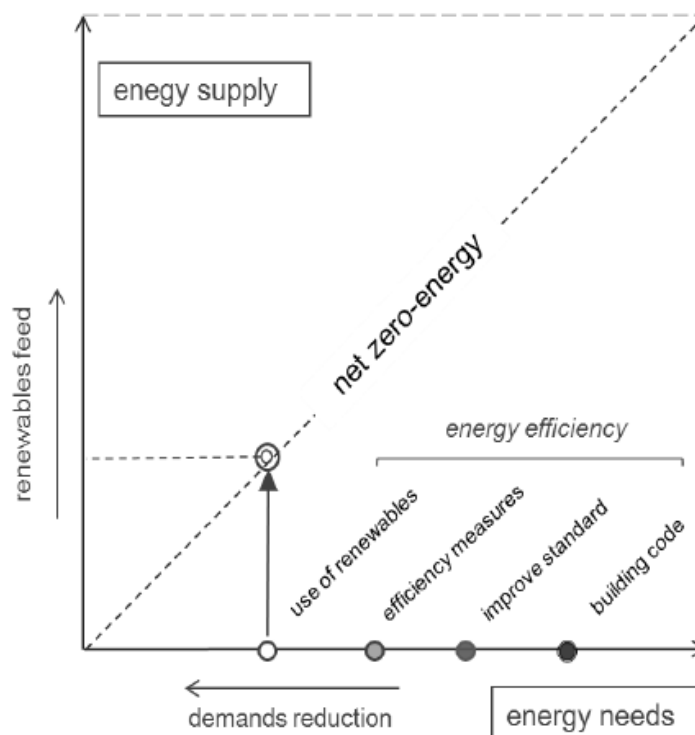


Figura 5.5 - Atingir o conceito *Net Zero Energy Buildings* (Aelenei, 2012).

5.2.2 Sistema de créditos

Para classificar um edifício como um nZEB é necessário avaliar se existe um equilíbrio entre a quantidade de energia elétrica fornecida à rede e a percentagem de energia que é alimentada a partir desta. Estas quantidades de energia são avaliadas por meio de um “sistema de créditos” que converte as unidades físicas em unidades métricas. Desta forma, pode-se obter o valor da exportação e da importação de energia através das seguintes fórmulas (Sartori et al, 2010):

$$\text{Importação} = \sum_i \text{energia recebida da rede (i)} \times \text{créditos (i)} \quad (5.1)$$

$$\text{Exportação} = \sum_i \text{fornecimento da energia à rede (i)} \times \text{créditos (i)} \quad (5.2)$$

Em que,

i- Portadores de energia como, por exemplo, eletricidade.

Para um edifício ser nZEB, o equilíbrio entre a importação e exportação ao longo de um período de tempo deve ser zero ou positivo, traduzindo-se na fórmula 5.3 (Sartori et al, 2010):

$$\text{nZEB} = |\text{Exportação}| - |\text{Importação}| \geq 0 \quad (5.3)$$

5.2.3 Balanço energético de um edifício

Ao longo dos anos, as exigências de conforto térmico têm vindo a aumentar, tornando-se importante a realização de um estudo detalhado das perdas e ganhos térmicos que ocorrem através da envolvente dos edifícios, de modo a aumentar a fiabilidade dos métodos de previsão das necessidades de energia de climatização.

O balanço energético corresponde a uma equação de equilíbrio entre os ganhos e as perdas energéticas, permitindo obter as necessidades de aquecimento ou arrefecimento dos espaços de forma a garantir as exigências de conforto térmico dos seus ocupantes. Este parâmetro permite uma correta compreensão dos impactes que a utilização destes tem nas suas necessidades nominais de energia, sendo este balanço influenciado pelo desempenho térmico das soluções adotadas para a sua envolvente (Marszal & Heiselberg, 2009).

Para a realização do balanço energético de um edifício é necessário ter em conta os seguintes parâmetros (Aelenei, 2011):

- Ganhos por radiação através dos envidraçados;
- Trocas por condução pela cobertura;

- Trocas por condução e infiltração pela caixilharia;
- Trocas por condução pelas paredes;
- Trocas por condução com espaços não aquecidos como, por exemplo, a garagem.

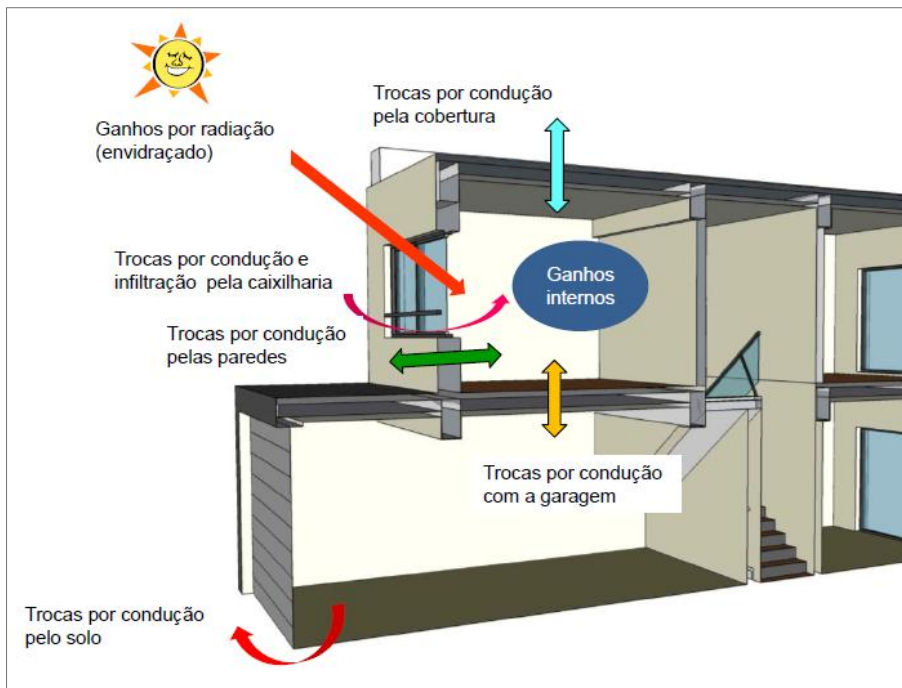


Figura 5.6 - Balanço térmico (Aelenei, 2011).

Consoante a altura do ano, pode ser do interesse do ser humano maximizar ou minimizar os diferentes tipos de ganhos e perdas ilustrado na Figura 5.6. Desta forma, deve-se adotar algumas estratégias de controlo térmico de acordo com a estação, Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Estratégias de controlo térmico, adaptado de (Gouveia, 2008).

Estratégia	Inverno		Verão	
	Promover ganhos	Evitar perdas	Evitar ganhos	Promover perdas
Condução	-	Minimizar a condução		<i>Earth cooling</i>
Convecção	-	Minimizar as infiltrações		Ventilação
Radiação	Ganhos solares	-	Proteção solar	Arrefecimento

5.2.4 Condições climáticas

A variabilidade das condições climáticas influencia diretamente na definição de edifícios de balanço energético nulo, em particular em edifícios residenciais, visto que condicionam as necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) e de arrefecimento (N_{vc}), mas também o potencial de produção de energia renovável (Aelenei et al., 2013).

Portugal usufruir de um clima mediterrâneo parcialmente influenciado pelo Oceano Atlântico, apresentando condições bastante favoráveis para o aproveitamento de energia solar, como resultado de um enorme potencial de irradiação solar, cerca de 40% superior ao presente na Europa Central. Consequentemente, é possível equilibrar as necessidades energéticas dependentes do clima com o potencial de produção de energia renovável (Aelenei et al., 2013).

Segundo Aelenei et al. (2010), os edifícios correntes não reabilitados têm grande potencial para alcançar este tipo de equilíbrio, usando apenas um número suficiente de colectores solares e painéis solares fotovoltaicos. No entanto, esta solução não vai de encontro com a estratégia enunciada em 5.2.1 (Aelenei et al., 2010).

5.2.5 Práticas para alcançar um *Net Zero Energy Building*

O conceito NZEB é uma preocupação atual e como facilmente se percebe nem sempre foi tido em conta pelo que a maioria dos edifícios já existentes não o engloba. Desta forma, inicialmente é necessário subdividir todas as categorias sobre as quais se pode atuar de forma a se conseguir conduzir o resultado final na direção de um NZEB, Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Os diferentes modos de atuação para se obter o conceito NZEB (Aelenei, 2012).

Categoria	Subcategoria
Integração	Orientação do edifício, fator de forma, exposição do edifício ao vento e utilização de vegetação.
Estratégia	Sistemas passivos, ventilação natural, câmara solar, aspiradores estáticos, torre de vento e construções enterradas.
Tecnologia	Otimização térmica da envolvente e otimização dos ganhos solares
Sistemas Eficientes	Iluminação, sistemas de climatização e de produção de águas quentes sanitárias.

5.2.5.1 Integração

Numa primeira fase é necessário fazer um estudo sobre a integração da obra no meio em que esta se irá estabelecer. Posteriormente, com a aplicação deste conceito, surge o conceito de arquitetura bioclimática que “consiste em pensar e projetar um edifício tendo em conta toda a envolvência climatérica e características ambientais do local em que se insere” (Lanham, et al., 2004). No entanto, este conceito não pode ser padronizado e aplicado a todas os edifícios existentes, visto que determinados fatores são modificados devido ao tipo de habitação, à localização e aos fatores climáticos específicos da zona em que o edifício se insere.

Orientação do Edifício

Na fase inicial de um planeamento, deve-se analisar pormenorizadamente a orientação do edifício, pois o seu posicionamento deve ter em conta a exposição solar. A correta orientação do edifício permitirá maximizar os ganhos solares que irão reduzir as necessidades nominais de aquecimento durante o Inverno e a devida correta exposição de painéis solares, eventualmente colocados na cobertura, poderá contribuir para a redução das necessidades energéticas anuais, indo de encontro ao proposto pelo conceito de NZEB. Normalmente é importante ter um edifício com a maior fachada voltada a Sul para receber o máximo de energia possível, tendo no entanto sombreamentos programados para a estação de arrefecimento. A trajetória solar vai variando ao longo do ano e, de acordo com a Figura 5.7 e a Figura 5.8, pode-se verificar que na estação de aquecimento o sol apresenta um ângulo de incidência mais baixo do que na estação de arrefecimento (Gonçalves & Graça, 2004).

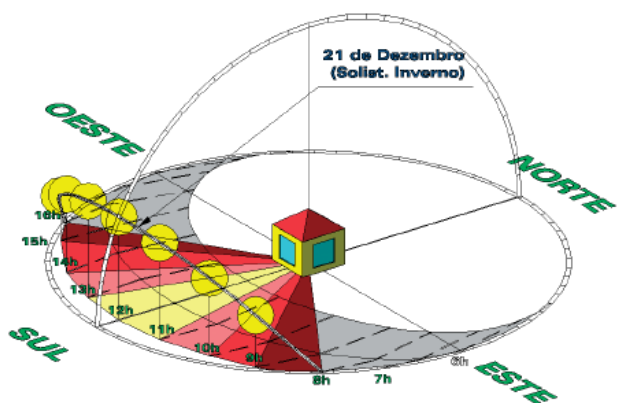


Figura 5.7 - Orientação solar na estação de aquecimento (Gonçalves & Graça, 2004).

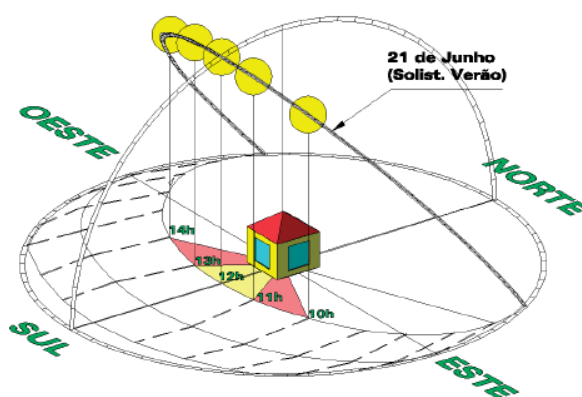


Figura 5.8 - Orientação solar na estação de arrefecimento (Gonçalves & Graça, 2004).

Fator de Forma

A forma de um edifício é um parâmetro bastante importante na eficiência do mesmo, porque é através das superfícies que estão em contacto com o exterior que existem maiores transferências de energia. Deste modo, o fator de forma (FF), que corresponde ao coeficiente entre o somatório das áreas das envolventes interiores e exteriores (S) e o respetivo volume interior (V), condiciona as transferências de energia para se atingirem as temperaturas de conforto (Baiona, 2014).

Exposição do Edifício ao Vento

A orientação do edifício deve também contar com os ventos dominantes do local, uma vez que, a correta orientação permite o aproveitamento do vento e, conseqüentemente, promove a dissipação das cargas térmicas, melhorando o conforto térmico na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento, a ação do vento garante a renovação de ar nos edifícios, evitando o sobreaquecimento (Curado, 2014).

Utilização de Vegetação

Uma estratégia simples no controle da temperatura na estação de arrefecimento é a utilização de vegetação, conforme ilustra a Figura 5.9, na proximidade dos envidraçados. No entanto, esses elementos devem ser utilizados de forma equilibrada a fim de não prejudicar a iluminação nos ambientes internos e os ganhos diretos na estação de aquecimento.

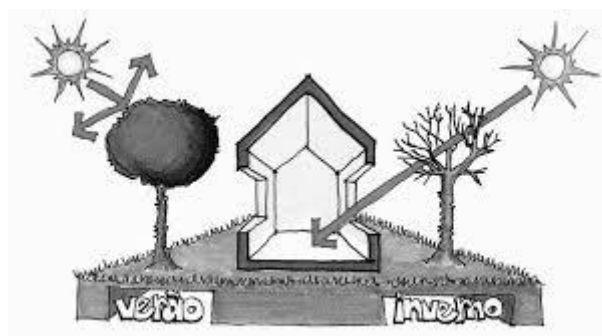


Figura 5.9 - Utilização de vegetação no verão e inverno (Júnior, 2012).

5.2.5.2 Estratégia

Sistemas Solares Passivos

Os sistemas solares passivos são definidos como dispostos construtivos integrados nos edifícios que permitem quer o seu aquecimento quer o seu arrefecimento através de meios naturais de transferência

de calor/energia, tornando o edifício energeticamente mais eficiente. Estes sistemas podem ser divididos em dois grupos (Aires, 2015):

- Sistemas de arrefecimento passivo;
- Sistemas de aquecimento passivo

No caso do sistema de arrefecimento passivo, este tem como objetivo tirar o máximo de partido de fontes frias, permitindo que o interior do edifício arrefeça ou da integração de proteções que evitarão o seu aquecimento. Os sistemas de arrefecimento passivo mais utilizados são: ventilação natural, proteção solar, arrefecimento por radiação e arrefecimento pelo solo (Gonçalves & Graça, 2004).

Por sua vez os sistemas de aquecimento passivo pretendem maximizar a captação do sol na estação de aquecimento (inverno). Este aquecimento pode ser atingido através de sistema ganho direto (vãos envidraçados bem dimensionados e orientado), sistema de ganho indireto (parede de trombe, colunas de água, parede massiva, entre outros) ou através de sistema de ganho isolado (espaço estufa ou coletor de ar) (Gonçalves & Graça, 2004):

- Sistema de ganho direto, Figura 5.10:

“No sistema de ganho direto, o espaço a aquecer dispõe de vãos envidraçados bem orientados por forma a possibilitar a incidência da radiação no espaço e nas massas térmicas envolventes (paredes e pavimentos). De notar que a construção corrente em Portugal tem em geral massa suficiente, sendo que uma boa orientação dos vãos conduz à utilização deste tipo de sistemas sem qualquer complexidade adicional”.

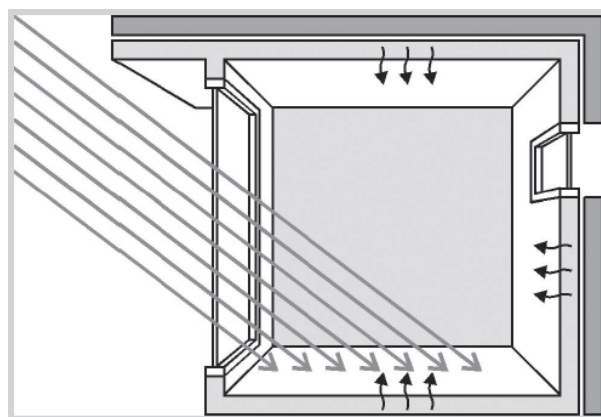


Figura 5.10 - Sistema de ganho direto (Gonçalves & Graça, 2004).

- Sistema de ganho indireto, Figura 5.11:

“Nos sistemas de ganho indireto, a massa térmica dos sistemas é interposta entre a superfície de ganho e o espaço a aquecer. A massa térmica absorve a energia solar nela incidente, sendo

posteriormente transferida para o espaço. Esta transferência pode ser imediata ou desfasada, conforme a estratégia de circulação (ou não) do ar que for adoptada”.

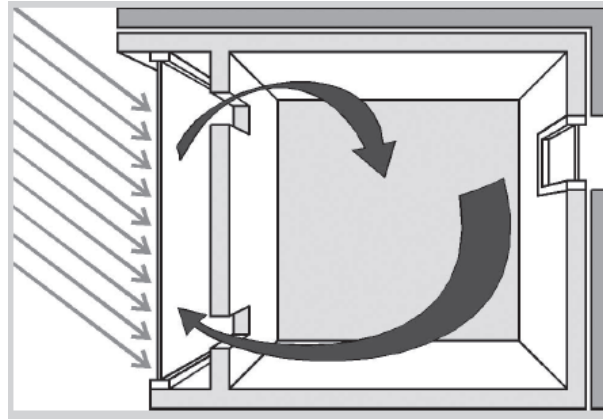


Figura 5.11 - Sistema de ganho indireto (Gonçalves & Graça, 2004).

- Sistema de ganho isolado, Figura 5.12:

“Nos sistemas de ganho isolado, a captação dos ganhos solares e o armazenamento da energia captada não se encontram nas áreas ocupadas dos edifícios, pelo que operam independentemente do edifício. Os espaços estufa são exemplos deste sistema e utilizam a combinação dos efeitos de ganho direto e indireto. A energia solar é transmitida ao espaço adjacente à estufa por condução através da parede de armazenamento que os separa e ainda por convecção, no caso de existirem orifícios que permitem a circulação de ar”.

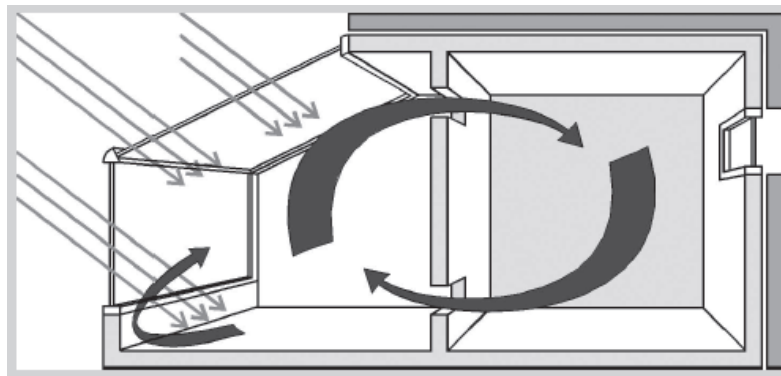


Figura 5.12 - Sistema de ganho isolado (Gonçalves & Graça, 2004).

Ventilação Natural

No verão, a ventilação natural pode contribuir para a melhoria do conforto térmico quando esta é utilizada para a redução das necessidades de arrefecimento, através da abertura das janelas, Figura 5.13. No entanto, no Inverno, a ventilação também é responsável por uma parte significativa de perdas de calor, assim é estabelecido um valor mínimo da taxa de renovação horária para garantir condições de salubridade e de conforto (Aelenei, 2011).

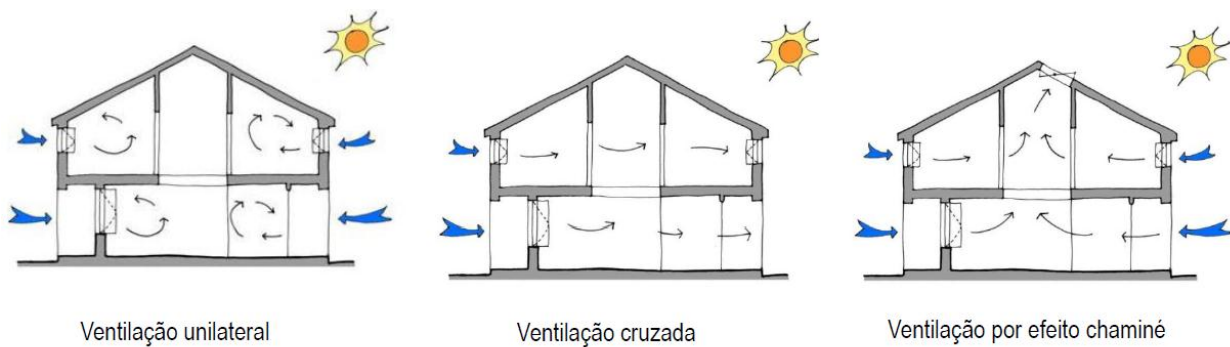


Figura 5.13 - Ventilação natural (Aelenei, 2011)

Aspiradores Estáticos

Os aspiradores estáticos são dispositivos instalados na saída de ar proveniente do interior e para se obter maior rentabilidade do aparelho é necessário que o ar exterior esteja a mover-se de modo constante. Posteriormente, ao ser atravessado horizontalmente pelo ar exterior, irá originar um efeito de sucção que consequentemente será responsável pela aceleração da velocidade do processo de ventilação (Mendonça, 2005).

Câmara Solar

O sistema da câmara solar proporciona uma ajuda no movimento do ar através da instalação de uma câmara solar na parte superior do edifício. Esta câmara deve ter um captador de cor escura e protegido por um telhado de vidro. Assim, o ar localizado no interior da câmara é aquecido, diminuindo a sua densidade e produzindo um efeito de sucção nas aberturas inferiores que estão em contacto com o ambiente interior (Mendonça, 2005).

Torre de Vento

Neste sistema, os ventos dominantes são aproveitados por uma torre que se localiza na cobertura, desenvolvendo pressões capazes de forçar o ar interior a ser renovado através de uma abertura localizada no elemento opaco em contato com o exterior (Mendonça, 2005)

Construções Enterradas

As construções enterradas aproveitam a variação de temperatura que existe entre o solo e o ar exterior durante a estação de arrefecimento. Deste modo, instalam-se túneis de refrigeração ao longo da envolvente com uma torre de ar capaz de captar o ar exterior, encaminhando-o de modo a fazer a ventilação natural do edifício (Mendonça, 2005).

5.2.5.3 Tecnologias

Otimização Térmica da Envolvente

A redução das necessidades energéticas tem como principal objetivo limitar os ganhos de calor na estação de arrefecimento e da perda de calor durante a estação de aquecimento que ocorrem através de trocas entre o interior e o exterior. Estas trocas realizam-se grande parte pela envolvente pelo que é necessário de extrema importância otimizar a envolvente, tendo em conta a inércia e a zona opaca do edifício (Isolani, 2008).

A inércia térmica é definida pela capacidade que o edifício possui de contrariar as variações de temperatura no seu interior, devido à sua capacidade de acumular calor nos elementos de construção da envolvente (Isolani, 2008).

As paredes constituídas por materiais pesados e densos apresentam melhores comportamentos térmicos quando comparadas com paredes constituídas por materiais mais leves, pois o balanço térmico depende da massa superficial útil por unidade de área útil do elemento. Desta forma, os materiais mais pesados e densos apresentam uma elevada capacidade térmica, amortecendo e contrariando os picos climáticos exteriores, ou seja, quando mais pesados e densos forem os materiais, caso não exista isolamento térmico, mais forte será a sua inércia e, conseqüentemente, melhor sensação de bem-estar fornecem (Isolani, 2008).

Otimização dos Ganhos Solares

Os vãos envidraçados são a estrutura dos edifícios que mais dinâmica tem com o clima interior e exterior do edifício, desempenhando um papel muito importante no que respeita à iluminação e eficiência energética. No seu dimensionamento deve-se ter em conta a orientação solar da fachada em que se encontram e os cálculos térmicos devem ser determinados na fase de projeto, devendo maximizar os benefícios destes e minimizar os inconvenientes. Estima-se que cerca de 25%-30% das necessidades de aquecimento no Inverno de uma habitação são devidas às perdas de calor pelos vãos envidraçados. Assim sendo, o seu planeamento deve ser cuidado, para que ao beneficiar de um aspeto, não se prejudique outro (Andrade, 2009).

Do ponto de vista da eficiência energética nos edifícios, as propriedades a ter em conta na escolha de um envidraçado são o coeficiente de transmissão térmica (U) e o fator solar (gT) (DL nº 118/2013):

- Quanto menor for o coeficiente de transmissão térmica menos transferência de calor ocorre através do vidro a que este está associado;
- Quanto menor for o fator solar, menor será a energia solar que atravessa o envidraçado.

5.2.5.4 Sistemas Eficientes

Iluminação

Hoje em dia, a luz é parte integrante da nossa vida e, em média, cerca de 20% da energia total utilizada num edifício é consumida em necessidades energéticas associadas à iluminação. Deste modo, para conseguir uma boa iluminação no interior do edifício, de modo a não ter tantos gastos energéticos, é fundamental analisar as necessidades de cada compartimento, pois essa necessidade varia consoante o tamanho e localização dos envidraçados associados ao compartimento em estudo. Existem diferentes tipologias de lâmpadas (Adene, 2012):

- Lâmpadas incandescentes: são as que apresentam maior consumo elétrico, as mais baratas e as de menor duração, aproximadamente 1000 horas;
- Lâmpadas de halogéneo: muito parecidas com as anteriores, no entanto apresentam uma maior duração e qualidade especial da sua luz;
- Lâmpadas fluorescentes tubulares: muito mais luminosas e mais caras que as lâmpadas incandescentes, mas consomem até menos 80% de eletricidade do que estas para a mesma emissão luminosa e têm uma duração entre 8 a 10 vezes superior;
- Lâmpadas fluorescentes compactas (baixo consumo): são mais caras que as lâmpadas tradicionais, se bem que a sua poupança em eletricidade permite amortizar um maior investimento muito antes de terminar o seu tempo de vida útil (entre 8000 e 10000 horas);
- Lâmpadas LED: um LED é constituído por várias camadas de material semicondutor. A sua potência varia de 0,1 W a 3 W. Apresentam “poupanças até 90% de energia na substituição de lâmpadas incandescentes, embora mais caras do que as lâmpadas de baixo consumo, conseguem assegurar mais de 30000h de funcionamento, 100% de luz imediata quando se ligam e um elevado número de ciclos de ligar/desliga”.

A Tabela 5.4 apresenta um caso exemplificativo, fazendo uma comparação entre a lâmpada tradicional de 60 W e uma lâmpada fluorescente compacta de 11 W (Adene, 2012):

Tabela 5.4 – Comparação de lâmpadas tradicionais com lâmpadas de baixo consumo, adaptado de (Adene, 2012).

Tipo de Lâmpada	Tradicional - 60 W	Baixo consumo - 11 W
Vida útil (horas)	1000	8000
Custo de 1 lâmpada (€)	1,20	7,00
Preço do kWh (€)	0,14	0,14
Consumo de energia (kWh) <i>Funcionamento de 8000h</i>	$8000 \times 60 = 480$	$8000 \times 11 = 88$
Custo total das lâmpadas (€)	$1,20 \times 8 = 9,60$	$7,00 \times 1 = 7,00$
Custo da energia (€)	$480 \times 0,14 = 67,20$	$88 \times 0,14 = 12,32$
Custo total	$9,60 + 67,20 = 76,80$	$7,00 + 12,32 = 19,32$

Poupança de 57,48 €

Sistemas de Climatização e de Produção de Águas Quentes Sanitárias

Os eletrodomésticos (forno elétrico, máquina de lavar loiça, frigorífico, micro-ondas, sistemas de ar condicionado, entre outros) que uma habitação possui representam um consumo de 50% da energia total consumida. Desta forma, deve-se optar pela utilização de equipamentos eficientes e de baixo consumo (Adene, 2012).

Uma boa solução será a utilização de equipamentos de classe A, visto que estes são mais eficientes energeticamente e consomem menor quantidade de água (caso esta seja por ele utilizada). Na compra de um equipamento destes é necessário ter em conta a sua dimensão e capacidade de carga, de forma a melhor se adaptar às necessidades do utilizador (Adene, 2012).

6 CASO PRÁTICO

“We must leave oil before it leaves us”

Fatih Birol (Gavião, 2014)

O presente capítulo dedica-se à exposição de resultados obtidos com recurso a diferentes metodologias de cálculo energético que, de forma direta, influenciam o desempenho energético do edifício em estudo e, conseqüentemente, o conforto térmico dos ocupantes.

No que diz respeito à avaliação do desempenho energético, as metodologias utilizadas foram o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e os Métodos de Avaliação Sustentável – BREEAM, SBTOOL, LEED e LIDERA. Quanto ao conforto térmico, este foi analisado de acordo com os Modelos de Conforto Adaptativo – ASHRAE, EN 15251 e LNEC.

Uma vez calculados e analisados estes parâmetros, obter-se-ão conclusões sobre a viabilidade das metodologias utilizadas. Posteriormente, procurar-se-ão possíveis formas de otimização energética para que o edifício em estudo apresente um balanço energético anual nulo.

As seguintes figuras (Figura 6.1 à Figura 6.4) apresentam a modelação em 3D da habitação em estudo realizadas no *software Google Sketchup*.



Figura 6.1 - Habitação em estudo.

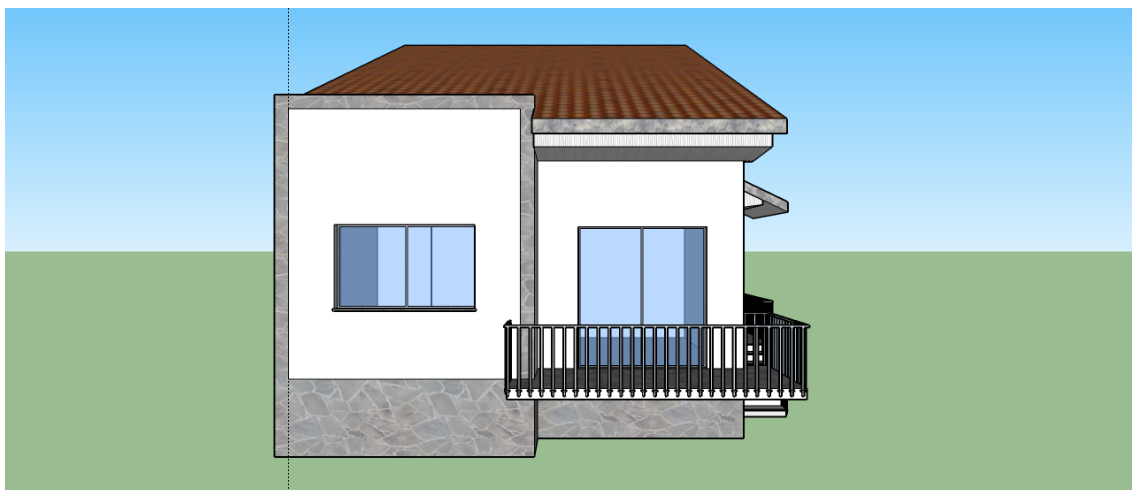


Figura 6.2 – Habitação em estudo – alçado orientado a oeste.

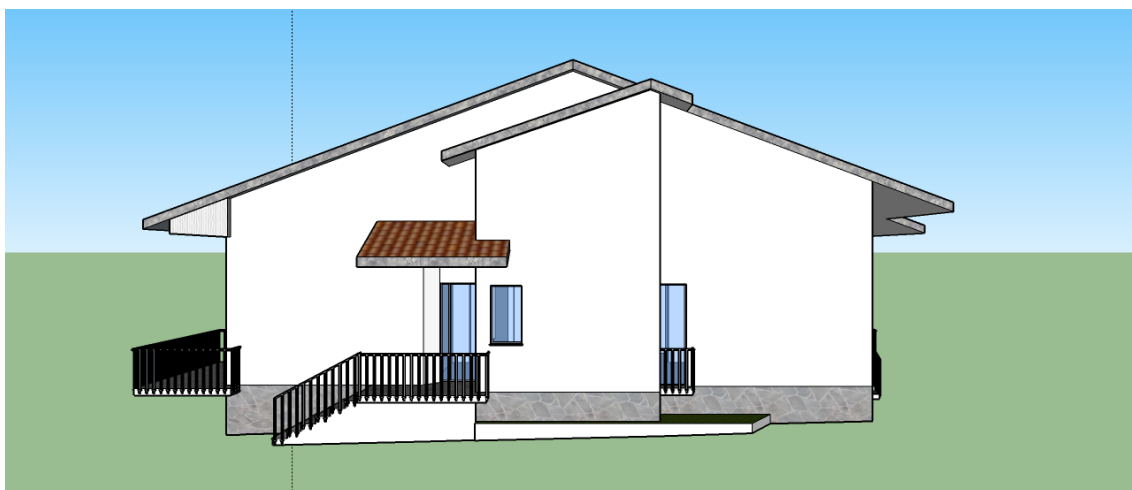


Figura 6.3 - Habitação em estudo – alçado orientado a sul.



Figura 6.4 - Habitação em estudo – alçado orientado a este.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO EM ESTUDO

6.1.1 Descrição e localização

O edifício em estudo corresponde a uma habitação unifamiliar de tipologia T3, localizado na Rua do Corgo em Lavra, Matosinhos (zona costeira do distrito do Porto). Este encontra-se a uma altitude de 41 metros e a uma distância da costa marítima de 500 metros, conforme ilustra a Figura 6.5.

A habitação é gemida e desenvolve-se em piso térreo, sendo constituída por duas casas de banho, três quartos, sala, cozinha e um compartimento para apoio de tratamento de roupa (ver Anexo I), sendo a sua fachada principal orientada a Sul.



Figura 6.5 - Localização do edifício em estudo, coordenadas GPS: 41.251, -8.717 (Google Earth).

6.1.2 Levantamento dimensional

Pé-direito

O pé-direito da habitação em questão mantém-se constante ao longo de toda a sua planta e foi medido desde o revestimento do piso até ao teto, tomando um valor de 2,80 m.

Área útil de pavimento

A área útil de pavimento é definida pelo somatório das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, de todos os compartimentos de uma fração autónoma de um edifício. Assim, estas medições estão preconizadas nas plantas que foram disponibilizadas no Anexo I e estão representadas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Área útil de pavimento.

Compartimento	Área (m²)
Cozinha	12,49
Sala	15,38
Apoio de tratamento de roupa	2,54
WC de serviço	2,54
WC	5,84
<i>Hall</i>	3,98
Quarto 1	12,44
Quarto 2	12,44
Quarto 3	12,44
Corredor	7,41
Total	87,50

Envolvente exterior

Área dos envidraçados exteriores

As áreas de envidraçados foram medidas diretamente dos desenhos apresentadas no Anexo I e estão apresentadas individualmente e por orientação, Tabela 6.2./Tabela 6.3e Tabela 6.4, respetivamente.

Tabela 6.2 - Área dos envidraçados exteriores.

Compartimento	Designação	Caixilharia	Tipo de vidro	Orientação	Área (m²)
Cozinha	Vão envidraçado	Metálica	Simples	Este	1,44
	Porta	Metálica	Duplo	Este	1,65
Sala	Vão envidraçado	Metálica	Simples	Este	2,40
	Vão envidraçado	Metálica	Simples	Sul	1,43
<i>Hall</i>	Porta	Metálica	Duplo	Sul	1,65
	Vão envidraçado	Metálica	Duplo	Sul	0,44

Tabela 6.3 - Área dos envidraçados exteriores (continuação).

Compartimento	Designação	Caixilharia	Tipo de vidro	Orientação	Área (m ²)
Quarto 1	Vão envidraçado	Metálica	Simples	Sul	0,78
	Vão envidraçado	Metálica	Simples	Oeste	0,78
Quarto 2	Vão envidraçado	Metálica	Duplo	Oeste	4,40
Quarto 3	Vão envidraçado	Metálica	Duplo	Oeste	2,40

Tabela 6.4 - Área dos envidraçados exteriores por orientação.

Envidraçado por tipo de vidro	Área por orientação (m ²)
Este	5,55
Sul	4,42
Oeste	7,58

Área de paredes exteriores

As áreas das paredes exteriores estão representadas na Tabela 6.5 por orientação solar.

Tabela 6.5 -Área de paredes exteriores.

Elemento	Orientação	Área (m ²)
Parede exterior	Este	12,13
Parede exterior	Sul	36,81
Parede exterior	Oeste	13,66

A parede em contato com o edifício adjacente tem uma área total de 40,88 m².

Envolvente interior

Pavimento interior

O pavimento interior apresenta uma área de 87,50 m².

Cobertura interior

A cobertura interior apresenta a mesma área que o pavimento interior, 87,50 m².

6.2 REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Este subcapítulo apresenta um estudo sobre o desempenho energético de um edifício de habitação unifamiliar com base no REH. Para o efeito, aplicou-se os valores de referência e expressões definidas pelo próprio regulamento com auxílio de uma adaptação das folhas de cálculo apresentadas no Anexo II.

Todas as expressões e valores tabelados não referenciados neste subcapítulo são provenientes do REH.

6.2.1 Dados climáticos

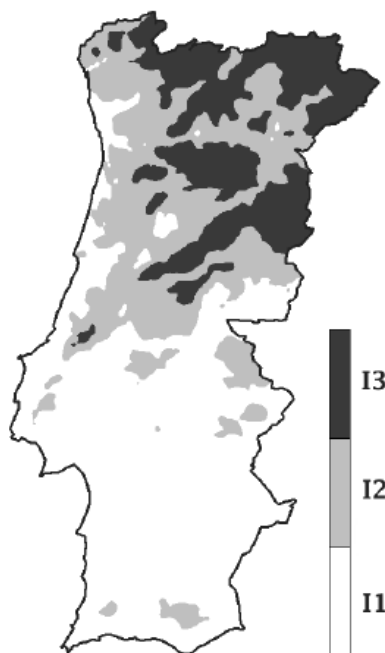


Figura 6.6- Zona climática de inverno
(Despacho n.º 15793-F/2013).

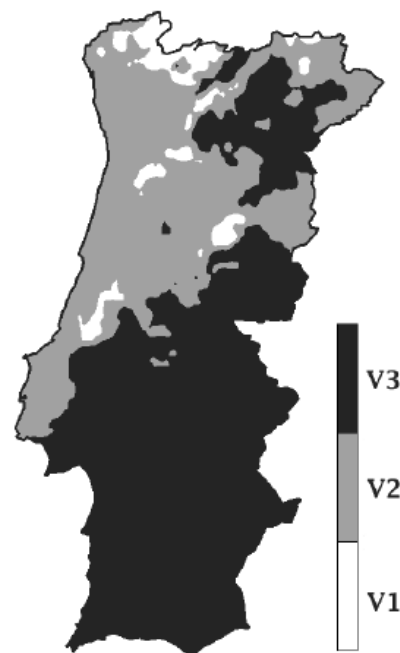


Figura 6.7 - Zona climática de verão
(Despacho n.º 15793-F/2013).

Segundo o Despacho n.º 15793-F/2013, cada concelho de Portugal tem a sua própria zona climática, Figura 6.6 e Figura 6.7, sendo determinada com base na seguinte expressão:

$$X = X_{REF} + \alpha \cdot (z - z_{REF}) \quad (6.1)$$

Em que,

z – Altitude;

z_{REF} – Altitude de referência;

α – Declive.

De acordo com a informação da localização do edifício, admitiu-se:

$$z = 41 \text{ m} = 0,041 \text{ km (Google Earth)}$$

$$z_{\text{REF}} = 94 \text{ m} = 0,094 \text{ km}$$

Dados climáticos na estação de aquecimento

Para definir a zona climática na estação de aquecimento foi necessário determinar a duração da estação de aquecimento, o número de graus-dias e a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul:

Duração da estação de aquecimento

$$M_{\text{REF}} = 6,2 \text{ meses}$$

$$\alpha = 2 \text{ mês/km}$$

$$M = 6,2 + 2 \times (0,041 - 0,094) = 6,1 \text{ meses}$$

Número de graus-dias de aquecimento

$$GD_{\text{REF}} = 1250 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 1600 \text{ }^\circ\text{C/km}$$

$$GD = 1250 + 1600 \times (0,041 - 0,094) = 1165,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul

$$G_{\text{SUL}} = 130 \text{ kWh/m}^2 \text{ por mês}$$

Definição da zona climática na estação de aquecimento

$$GD = 1165,2 \text{ }^\circ\text{C} \leq 1300 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sendo o número de graus-dias inferior a 1300 °C, a habitação pertence à zona climática **I1**.

Dados climáticos na estação de arrefecimento

Para definir a zona climática na estação de arrefecimento foi necessário determinar a temperatura exterior média e a energia solar acumulada durante a estação em estudo:

Temperatura exterior média da estação de arrefecimento

$$\theta_{\text{ext,v,REF}} = 20,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0 \text{ }^\circ\text{C/km}$$

$$\theta_{\text{ext},v} = 20,9 + 0 \times (0,041 - 0,094) = 20,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Energia solar acumulada durante a estação de arrefecimento

A Tabela 6.6 apresenta o índice de energia solar acumulado durante a estação de arrefecimento para cada uma das orientações.

Tabela 6.6- Energia solar acumulada na estação de arrefecimento nas várias orientações.

	0°	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I_{SOL} (kWh/m ²)	800	220	359	490	490	425	490	490	350

Definição da zona climática na estação de arrefecimento

$$20 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \theta_{\text{ext},v} = 20,9 \text{ } ^\circ\text{C} \leq 22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como a temperatura exterior média está entre 20°C e 22°C, a habitação pertence à zona climática **V2**.

6.2.2 Coeficiente de redução de perdas

De acordo com o REH, o coeficiente de redução de perdas (b_{tr}) traduz a redução da transmissão de calor, no cálculo das perdas de calor por transmissão, em elementos que separam o espaço com condições de referência de espaços com temperatura ambiente diferente do ar exterior, como é o caso dos elementos da envolvente interior. Na impossibilidade de determinar com precisão o valor da temperatura do local não aquecido útil, admite-se que para alguns tipos de espaços não úteis, o b_{tr} , pode tomar valores tabelados no Despacho n.º 15793-K/2013, em função da taxa de renovação de ar e da razão:

$$\frac{A_i}{A_u} \tag{6.2}$$

Em que,

A_i - Somatório das áreas que separam o espaço interior útil do não útil.

A_u - Somatório das áreas que separam o espaço não útil do ambiente exterior.

Desta forma, para calcular o b_{tr} dos ENU's existentes na habitação em estudo (desvão sanitário e desvão não útil), foi necessário determinar o A_i , o A_u e o seu volume, tendo em consideração a existência de aberturas de ventilação permanentemente abertas. Todos os dados anteriormente descritos estão apresentados na Tabela 6.7.





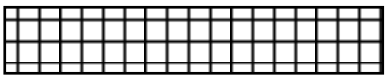

Tabela 6.7 - Coeficiente de redução de perdas b_{tr} .

Compartimento	A_i (m ²)	A_u (m ²)	A_i/A_u	Intervalo A_i/A_u	V_{ENU} (m ³)	Intervalo V_{ENU}	Ventilação	b_{tr}
Desvão não útil	78,93	84,21	0,94	$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	192,01	$50 < V_{ENU} \leq 200$	Forte (F)	1,00
Desvão sanitário	104,33	26,19	3,98	$2 \leq A_i/A_u < 4$	155,25	$50 < V_{ENU} \leq 200$	Fraco (f)	0,50
Edif. adjacente	-	-	-	-	-	-	-	0,60

De acordo com o Despacho n.º 15793-K/2013, “para os elementos de construção que separam o espaço com condições de referência de um espaço fechado de um edifício adjacente, deve ser utilizado um valor do coeficiente de redução de perdas $b_{tr}=0,60$ ”.

A interpretação da envolvente dos edifícios é crucial para o cálculo das perdas e ganhos térmicos. Desta forma, a ADENE gerou um código de cores para marcação das envolventes, Tabela 6.8: “a cor vermelha é utilizada para marcar envolventes (paredes, coberturas e pavimentos) em contacto com o exterior, a cor amarela para marcação de envolventes em contacto com espaços não úteis com b_{tr} superior a 0,7, a cor azul para marcação de envolventes em contacto com edifícios adjacentes e com espaços não úteis com b_{tr} inferior ou igual a 0,7 e a cor verde para marcação de envolventes sem requisitos” (Correia, 2015).

Tabela 6.8 - Código de cores para a marcação das envolventes.

Descrição	Código
Envolvente exterior	
Envolvente interior com requisitos de exterior	
Envolvente interior com requisitos de interior	
Envolvente sem requisitos	
Em planta identificar pavimento (com a respetiva cor)	
Em planta identificar cobertura (com a respetiva cor)	

Da Figura 6.8 à Figura 6.10 são apresentadas as marcações das envolventes relativamente ao caso de estudo.

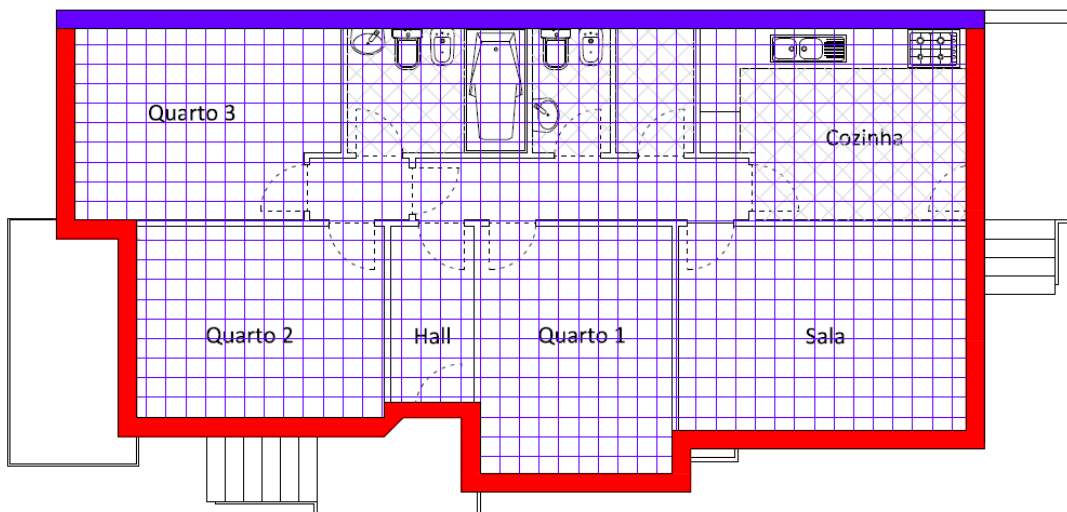


Figura 6.8 - Marcação da envolvente das paredes e do piso (planta).

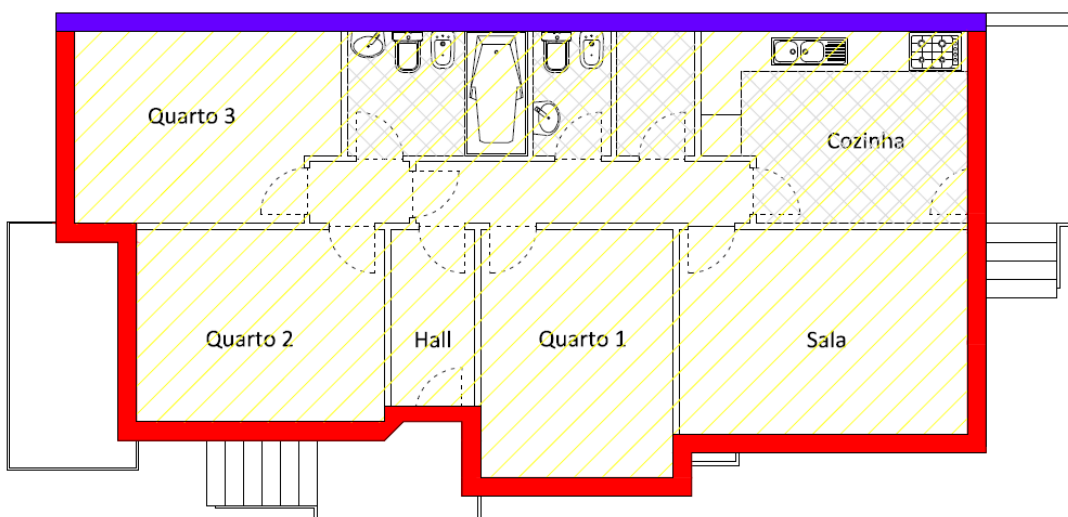


Figura 6.9 - Marcação da envolvente das paredes e do teto (planta).

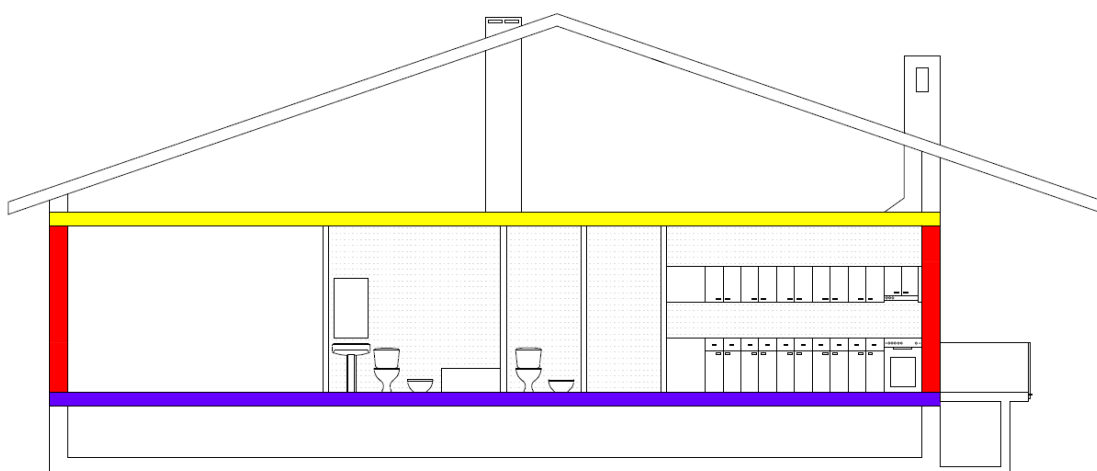


Figura 6.10 - Marcação da envolvente das paredes, do pavimento e do teto (corte A-B).

6.2.3 Coeficiente de transmissão térmica

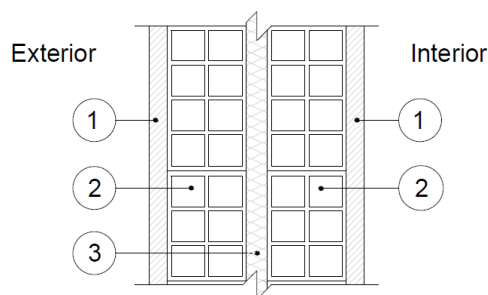
O REH preconiza valores máximos e de referência para os coeficientes de transmissão térmica (U) da envolvente dos edifícios em função da zona climática em que se situam. Estes valores de referência estão tabelados na Portaria n.º 349-B/2013.

Para determinar o coeficiente de transmissão térmica é necessário consultar o ITE50 para saber os valores da condutibilidade e da resistência dos materiais que constituem os elementos.

6.2.3.1 Envolvente Opaca

Parede exterior

A parede exterior dupla apresenta uma espessura de 30 cm e é constituída (do interior para o exterior) por: reboco tradicional com 2,5 cm de espessura, pano de alvenaria de tijolo cerâmico furado com 11 cm de espessura, poliestireno expandido com 3 cm de espessura, pano de alvenaria de tijolo com 11 cm de espessura e reboco tradicional com 2,5 cm de espessura, conforme ilustra a Figura 6.11.



Legenda:

- 1 - Revestimento exterior aderente (reboco);
- 2 - Pano exterior de alvenaria;
- 3 - Isolamento térmico;
- 4 - Pano interior de alvenaria;
- 5 - Revestimento interior (reboco).

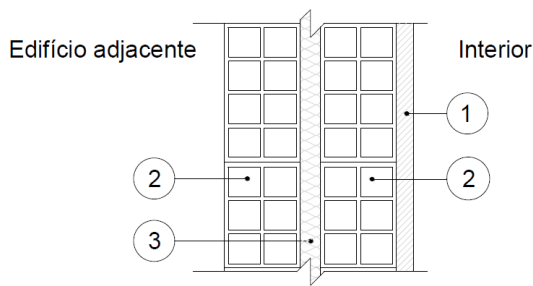
Figura 6.11 - Constituição da parede exterior.

$$\begin{aligned}
 R_t &= R_{se} + R_{si} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{alvenaria} + \frac{e_{xps\ de\ 30}}{\lambda_{xps\ de\ 30}} + R_{alvenaria} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} \\
 &= 0,04 + 0,13 + \frac{0,025}{1,30} + 0,27 + \frac{0,03}{0,037} + 0,27 + \frac{0,025}{1,30} \\
 &= 1,56\ m^2 \cdot ^\circ C/W
 \end{aligned}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,56} = 0,64\ W/m^2 \cdot ^\circ C \leq 0,50\ W/m^2 \cdot ^\circ C \quad \text{Não Verifica!}$$

Parede em contacto com o edifício adjacente

A parede em contacto com o edifício adjacente apresenta uma espessura de 30 cm e é constituída (do interior para o exterior) por: pano de alvenaria de tijolo cerâmico furado com 11 cm de espessura, poliestireno expandido com 3 cm de espessura, pano de alvenaria de tijolo com 11 cm de espessura e reboco tradicional com 2,5 cm de espessura, conforme ilustra a Figura 6.12.



Legenda:

- 1 - Reboco;
- 2 - Alvenaria;
- 3 - Isolamento térmico/acústico;

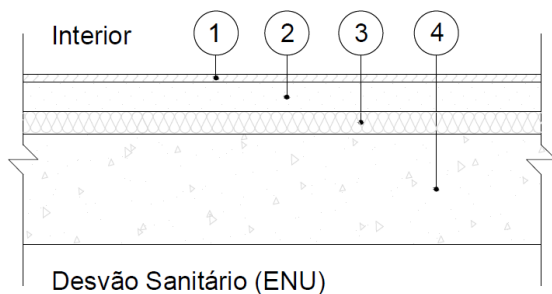
Figura 6.12 - Constituição da parede em contacto com o edifício adjacente

$$\begin{aligned}
 R_t &= R_{si} + R_{si} + R_{alvenaria} + \frac{e_{xps\ de\ 30}}{\lambda_{xps\ de\ 30}} + R_{alvenaria} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} \\
 &= 0,13 + 0,13 + 0,27 + \frac{0,03}{0,037} + 0,27 + \frac{0,025}{1,30} \\
 &= 1,63\ m^2 \cdot ^\circ C/W
 \end{aligned}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,65} = 0,61\ W/m^2 \cdot ^\circ C \leq 0,50\ W/m^2 \cdot ^\circ C \text{ Não Verifica!}$$

Pavimento interior em contacto com o desvão sanitário (ENU)

O pavimento interior está em contacto com o desvão sanitário e é constituído (do interior para o exterior) por: revestimento em ladrilho cerâmico com 1 cm de espessura, camada de enchimento em betonilha leve de agregados de argila expandida com 40 mm de espessura, camada de isolamento térmico em poliestireno extrudido com 30 mm de espessura e laje aligeirada de blocos cerâmicos com 15 cm de espessura, conforme ilustra a Figura 6.13.



Legenda:

- 1 - Revestimento interior (ladrilho cerâmico);
- 2 - Camada de enchimento;
- 3 - Isolamento térmico;
- 4 - Laje aligeirada de blocos cerâmicos.

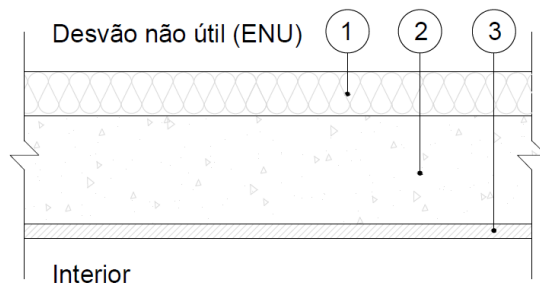
Figura 6.13 – Constituição do pavimento interior.

$$\begin{aligned}
 R_t &= R_{si} + R_{si} + \frac{e_{revestimento}}{\lambda_{revestimento}} + \frac{e_{camada\ de\ enchimento}}{\lambda_{camada\ de\ enchimento}} + \frac{e_{xps\ de\ 30}}{\lambda_{xps\ de\ 30}} + R_{laje\ aligeirada} \\
 &= 0,17 + 0,17 + \frac{0,01}{1,30} + \frac{0,04}{0,85} + \frac{0,03}{0,037} + 0,17 = 1,39\ m^2 \cdot ^\circ C/W
 \end{aligned}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,25} = 0,72 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq 0,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ Verifica!}$$

Cobertura interior em contacto com o desvão não útil (ENU)

A Figura 6.14 ilustra a cobertura interior que é constituída (do interior para o exterior) por: camada de reboco com 2 cm de espessura, laje aligeirada de blocos cerâmicos com 15 cm de espessura e camada de isolamento térmico em poliestireno expandido com 60 mm de espessura.



Legenda:

- 1 – Isolamento xps 60;
- 2 - Laje
- 3 - Revestimento interior (reboco);

Figura 6.14 - Constituição da cobertura interior.

- Sentido ascendente

$$\begin{aligned} R_t &= R_{si} + R_{se} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{laje\ aligeirada} + \frac{e_{xps\ de\ 60}}{\lambda_{xps\ de\ 60}} \\ &= 0,10 + 0,10 + \frac{0,02}{1,30} + 0,17 + \frac{0,06}{0,037} \\ &= 2,00 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} \end{aligned}$$

$$U_{ascendente} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,97} = 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ Não Verifica!}$$

- Sentido descendente

$$\begin{aligned} R_t &= R_{si} + R_{se} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{laje\ aligeirada} + \frac{e_{xps\ de\ 60}}{\lambda_{xps\ de\ 60}} \\ &= 0,17 + 0,17 + \frac{0,02}{1,30} + 0,17 + \frac{0,06}{0,037} \\ &= 2,15 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} \end{aligned}$$

$$U_{descendente} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{2,15} = 0,47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ Não Verifica!}$$

Pontes térmicas planas

Conforme a planta do Anexo I, é possível verificar que na habitação em estudo existe pontes térmicas planas apenas na zona dos pilares e na zona de caixa de estores. Não se consideraram as vigas porque estas estão faceadas com o teto.

De acordo com o REH, se o coeficiente de transmissão térmica das pontes térmica planas ser menor ou igual a $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, as seguintes verificações são dispensadas:

- $U_{PTP} \leq U_{m\acute{a}x}$
- $U_{PTP} \leq 2 \times U_{cor}$

- PTP (pilares) nas paredes exteriores

As PTP localizadas nas paredes exteriores são constituídas (do interior para o exterior) por: reboco com 2 cm de espessura, pilar 20 cm x20 cm, camada de isolamento térmico em poliestireno extrudido com 30 mm de espessura, uma forra de tijolo com 3 cm e reboco tradicional com 2 cm de espessura, conforme ilustra a Figura 6.15.

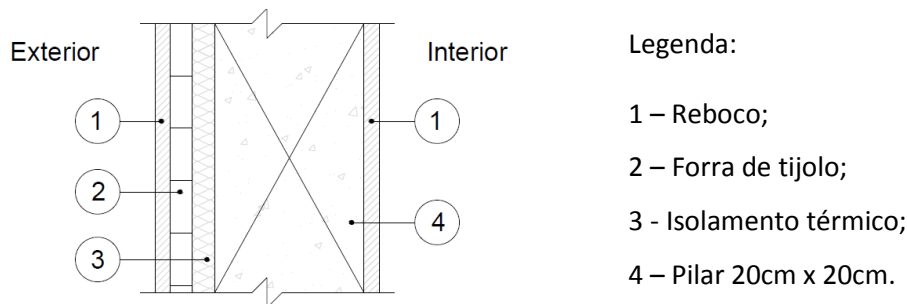


Figura 6.15 – PTP_{pilar} localizado na parede exterior.

$$R_t = R_{se} + R_{si} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + R_{alvenaria} + \frac{e_{xps\ de\ 30}}{\lambda_{xps\ de\ 30}} + \frac{e_{bet\tilde{a}o}}{\lambda_{bet\tilde{a}o}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$= 0,04 + 0,13 + \frac{0,02}{1,30} + 0,07 + \frac{0,03}{0,037} + \frac{0,2}{1,65} + \frac{0,02}{1,30}$$

$$= 1,20 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$U_{PTP} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,20} = 0,83 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq 0,90 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ Verifica!}$$

- PTP (pilares) na parede em contacto com o edifício adjacente

As PTP localizadas na parede em contacto com o edifício adjacente são constituídas (do interior para o exterior) por: reboco com 2 cm de espessura, pilar 20 cm x20 cm, camada de isolamento térmico em

poliestireno extrudido com 30 mm de espessura e uma forra de tijolo com 5 cm, conforme ilustra a Figura 6.16.

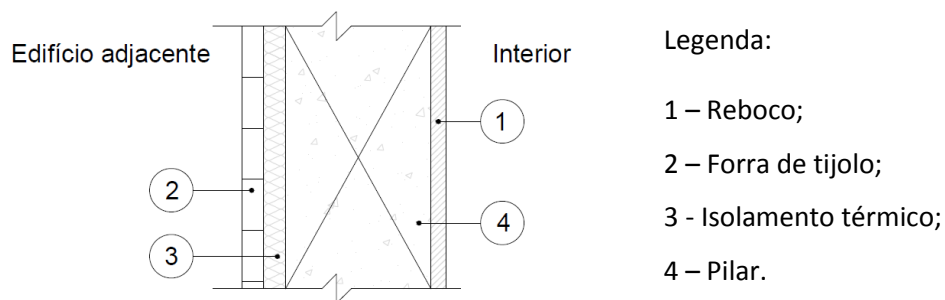


Figura 6.16 - PTP_{pilar} localizado na parede em contacto com o edifício adjacente.

$$R_t = R_{si} + R_{si} + R_{alvenaria} + \frac{e_{xps\ de\ 30}}{\lambda_{xps\ de\ 30}} + \frac{e_{betão}}{\lambda_{betão}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$= 0,13 + 0,13 + 0,07 + \frac{0,03}{0,037} + \frac{0,2}{1,65} + \frac{0,02}{1,30}$$

$$= 1,28\ m^2 \cdot ^\circ C/W$$

$$U_{PTP} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{1,29} = 0,78\ W/m^2 \cdot ^\circ C \leq 0,90\ W/m^2 \cdot ^\circ C \text{ Verifica!}$$

- PTP (caixa de estores) nas paredes exteriores

As PTP na zona da caixa de estores são constituídas (do interior para o exterior) por: reboco com 2,5 cm de espessura, camada de isolamento térmico em poliestireno extrudido com 30 mm de espessura, caixa de estores, camada de isolamento térmico em poliestireno extrudido com 30 mm de espessura e uma camada de reboco com espessura igual a 2,5 cm, conforme ilustra a Figura 6.17.

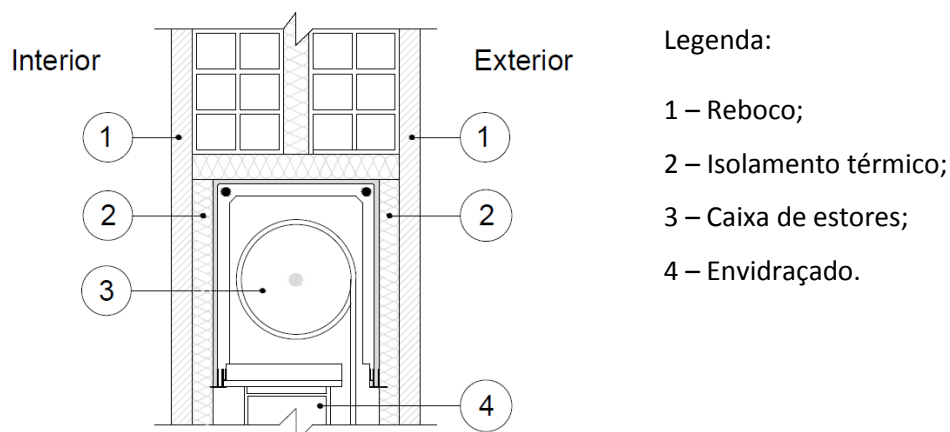


Figura 6.17 – PTP_{caixa de estores}

Dado retirado da ficha técnica do fornecedor Stormax.

$$U_{PTP} = 0,75 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \leq 0,90 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ Verifica!}$$

6.2.3.2 Envidraçados

O valor do coeficiente de transmissão térmica superficial dos envidraçados exteriores foi obtido pela consulta da ficha técnica do fornecedor Vitrochaves.

$$U_{Vidro \text{ simples}} = 6,96 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{Vidro \text{ duplo}} = 3,36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

É importante referir que, segundo a Portaria n.º 379-A/2015, os envidraçados dos edifícios construídos antes de 31 de dezembro de 2015 não estão sujeitos a requisitos (Vitrochaves, 2016).

6.2.4 Pontes térmicas planas

Como foi referido anteriormente, as únicas pontes térmicas planas (PTP) existentes no caso de estudo localizam-se na zona dos pilares e na caixa de estores. Desta forma, na Tabela 6.9 são demonstrados os dados necessários para avaliar as PTP's.

Tabela 6.9 - Pontes térmicas planas existentes no caso de estudo.

PTP	Localização	Orientação	Área (m ²)
Pilares	Paredes exterior	Este	0,56
		Sul	0,56
		Oeste	0,56
	Parede em contacto com o edifício adjacente	Norte	1,12
Caixa de estores	Paredes exterior	Este	0,80
		Sul	0,33
		Oeste	1,16

6.2.5 Pontes térmicas lineares

As pontes térmicas lineares correspondem às zonas onde dois elementos construtivos diferentes se interseam originando uma zona que apresenta uma resistência térmica significativamente alterada. Desta forma, é necessário determinar qual será o coeficiente de transmissão térmica linear (ψ) a utilizar,

e a extensão que a ligação dos dois elementos possui. No preenchimento da folha de cálculo utilizaram-se os coeficientes de transmissão térmica linear tabelados.

Na fracção autónoma em estudo apresentam-se cinco pontes térmicas lineares exteriores, Tabela 6.10:

- Ligação da fachada com varanda;
- Ligação da fachada com cobertura;
- Ligação da fachada com caixilharia;
- Ligação de duas paredes verticais com ângulo saliente;
- Ligação da fachada com a zona de caixa de estores;
- Ligação da fachada com ENU.

Tabela 6.10 - Pontes térmicas lineares existentes na habitação em estudo.

Tipo de Ligação	Descrição	ψ [W/(m.°C)]	B (m)
Fachada com varanda (Figura 6.18)	Isolamento entre os panos de alvenaria	0,55	4,86
Fachada com cobertura (Figura 6.19)	Isolamento entre os panos de alvenaria <i>Nota: Isolamento sobre a laje de cobertura</i>	1,00	30,95
Fachada com caixilharia (Figura 6.20)	Isolamento entre os panos de alvenaria	0,25	56,14
Duas paredes verticais (Figura 6.21)	Com ângulo saliente	0,50	16,80
Zona de caixa de estores (Figura 6.22)	-	0,30	6,10
Fachada com ENU (Figura 6.23)	Isolamento sobre o pavimento	0,35	30,95

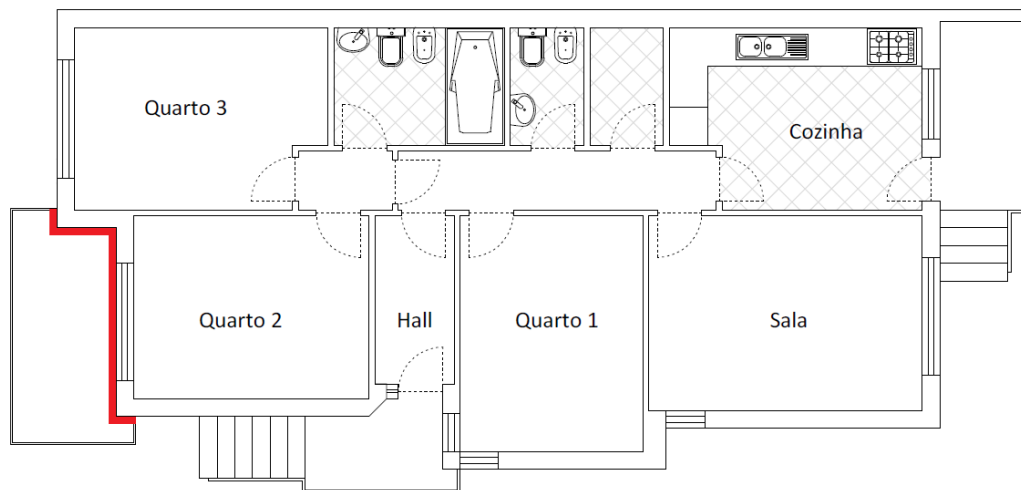


Figura 6.18 - Ligação da fachada com a varanda.

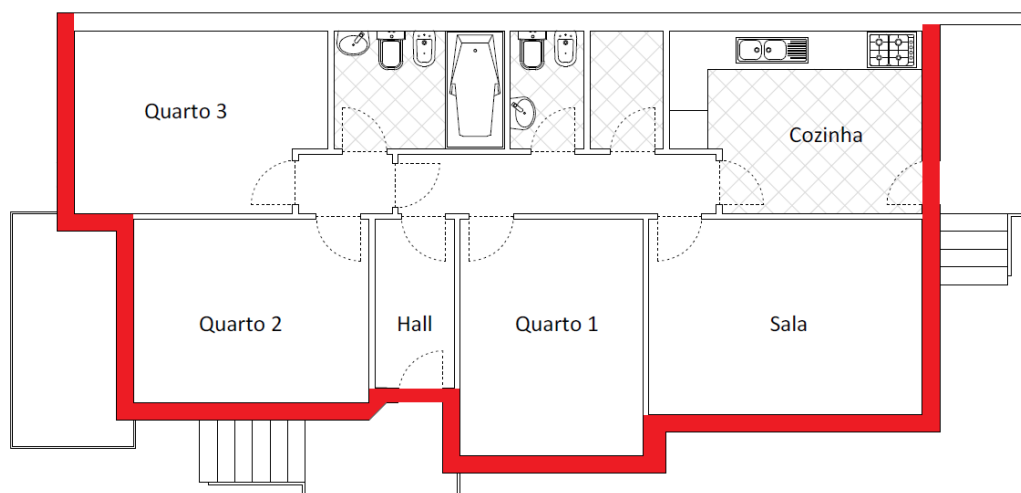


Figura 6.19 - Ligação da fachada com cobertura.

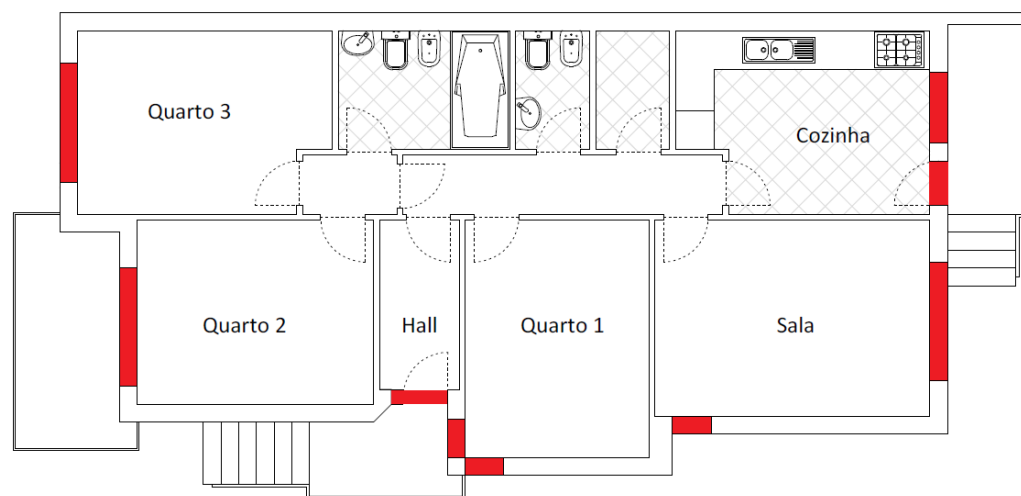


Figura 6.20 - Ligação da fachada com caixilharia.

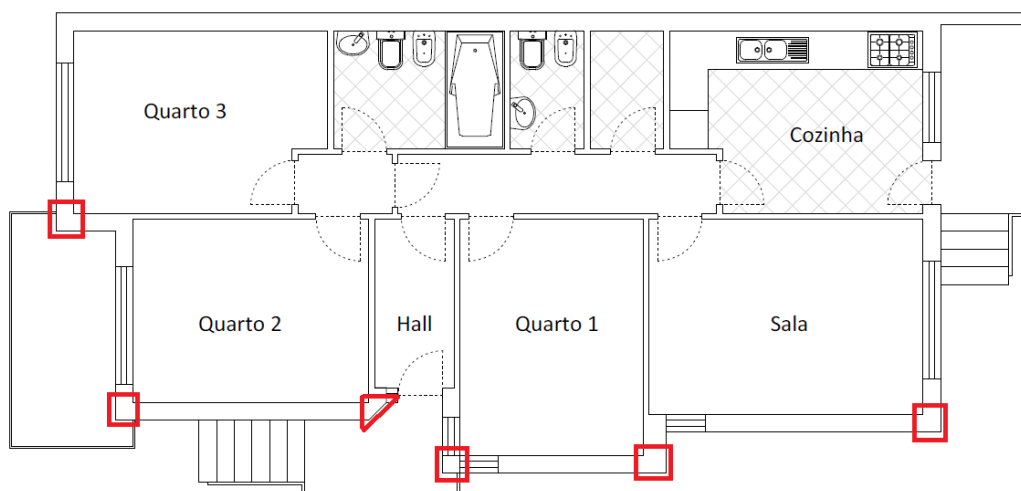


Figura 6.21 - Ligação de duas paredes verticais com ângulo saliente.

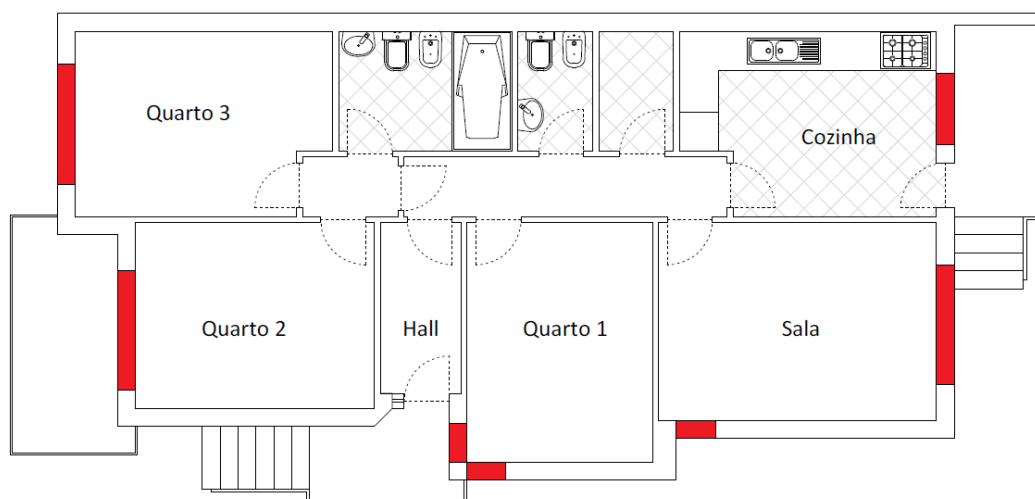


Figura 6.22 - Ligação da fachada com a zona de caixa de estores.

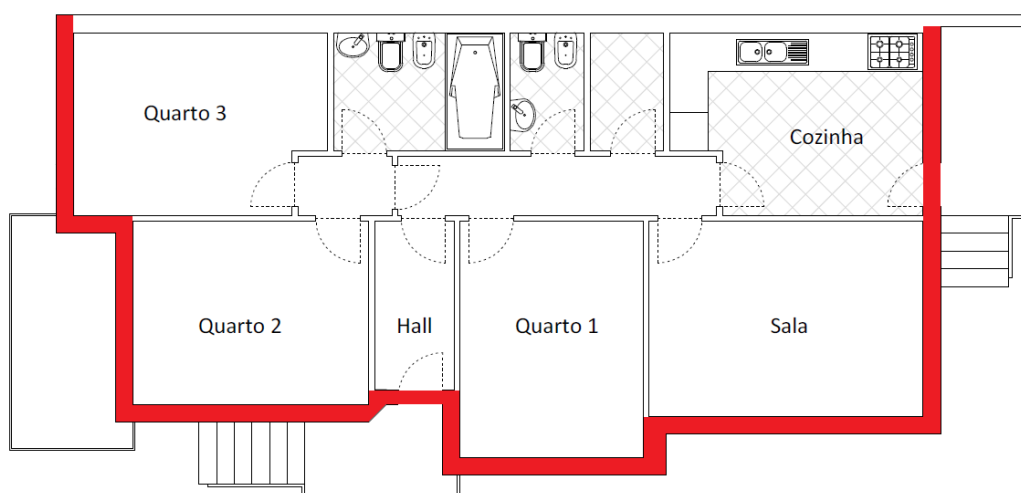


Figura 6.23 - Ligação da fachada com desvão sanitário (ENU).

6.2.6 Inércia Térmica

A inércia térmica de um edifício é a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior, ou seja, de reduzir a transferência ou transmissão de calor. Isto acontece devido à sua capacidade de acumular calor nos elementos construtivos. Desta forma, se o edifício apresentar uma elevada inércia térmica significa que o edifício irá reter uma grande parte do calor que é incidido para posteriormente, em horas de menor incidência, possa ser libertado.

Segundo o Despacho n.º 15793-K/2013, a classe de inércia térmica do edifício determina-se de acordo com o valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento, I_t , sendo calculado através da expressão (6.3).

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad (6.3)$$

Em que,

I_t – Inércia térmica;

M_{si} - Massa superficial útil do elemento i , [kg/m²];

r - Fator de redução da massa superficial útil;

S_i - Área da superfície interior do elemento i , [m²];

A_p - Área interior útil de pavimento, [m²].

É importante referir que “o fator de redução da massa superficial útil, r , depende da resistência térmica do revestimento superficial interior, com inclusão da resistência térmica de uma eventual caixa-de-ar associada, R'' ”.

Paredes exteriores

As paredes exteriores apresentam uma massa superficial útil de 120 kg/m² e uma resistência térmica do revestimento superficial interior de 0,019 (m².°C)/W, conseqüentemente o fator de redução toma o valor de 1.

Parede em contacto com o edifício adjacente

A parede em contacto com o edifício adjacente também apresenta uma massa superficial útil de 120 kg/m² e uma resistência térmica do revestimento superficial interior de 0,019 (m².°C)/W, conseqüentemente o fator de redução toma o valor 1.

Pavimento sobre espaços não úteis

O pavimento sobre o desvão sanitário apresenta uma massa superficial útil de 74 kg/m^2 e uma resistência térmica do revestimento superficial interior de $0,008 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$, conseqüentemente o fator de redução toma o valor 1.

Cobertura interior sob ENU

A cobertura interior apresenta uma massa superficial útil de 150 kg/m^2 e uma resistência térmica do revestimento superficial interior de $0,019 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$, assim o fator de redução toma o valor 1.

Paredes de compartimentação

As paredes de compartimentação apresentam uma massa superficial útil de 134 kg/m^2 e uma resistência térmica do revestimento superficial interior de $0,019 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$, conseqüentemente o fator de redução toma o valor 1.

Tabela 6.11 - Dados de cada elemento da habitação de estudo para determinar a inércia térmica.

Elemento	Msi (kg/m ²)	r	Si (m ²)
Paredes exteriores	120	1	66,57
Parede em contacto com edifício adjacente	120	1	42,00
Pavimento sobre ENU	74	1	103,50
Cobertura sob ENU	150	1	103,50
Paredes de compartimentação	134	1	82,60

Em suma, de acordo com os dados apresentados na Tabela 6.11 e a expressão (6.3), o valor da inércia térmica é igual a $540,35 \text{ kg/m}^2$. Desta forma, analisando a Tabela 6.12, é possível verificar que a habitação em estudo apresenta uma classe de inércia forte.

Tabela 6.12 -Classes de inércia térmica interior, I_t .

Classe da inércia	$I_t \text{ (kg/m}^2\text{)}$
Fraca	$I_t < 150$
Moderada	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

6.2.7 Características dos vãos envidraçados

A habitação em estudo é constituída por dois tipos de envidraçados, conforme demonstra a Tabela 6.13:

Tabela 6.13 - Tipos de envidraçados existentes na habitação em estudo.

Tipo de vidro	Descrição	Tipo de proteção
Duplo	Incolor 6 mm + Incolor 6 mm	Persiana de réguas plásticas com cor clara
Simples	Incolor 5 mm	Persiana de réguas plásticas com cor clara

6.2.7.1 Fator solar de vãos envidraçados

O fator solar de vãos envidraçados (g), tanto para a estação de aquecimento como para a estação de arrefecimento, é quantificado de acordo com o Despacho n.º 15793-K/2013.

Na estação de arrefecimento, é necessário ter em atenção a orientação do envidraçado, pois o fator de correção da seletividade angular ($F_{w,v}$) difere.

Estação de aquecimento

Na estação de aquecimento, o fator solar é calculado segundo a expressão (6.4) e é necessário ter em conta os dados apresentados na Tabela 6.14:

$$g_i = F_{w,i} \times g_{\perp,vi} \tag{6.4}$$

Em que,

g_i – Fator solar na estação de aquecimento;

$F_{w,i}$ – Fator de seletividade angular;

Segundo o Despacho n.º 15793-K/2013, para o cálculo das necessidades nominais de aquecimento, o fator $F_{w,i} = 0,90$.

$g_{\perp,vi}$ – Fator solar do envidraçado (valores tabelados na ficha técnica do vidro).

Tabela 6.14 - Fator solar e fator de seletividade angular dos envidraçados na estação de aquecimento.

Tipo de envidraçado	$g_{\perp,vi}$	$F_{w,i}$	g_i
Vidro simples	0,86	0,90	0,77
Vidro duplo	0,70	0,90	0,63

Estação de arrefecimento

De acordo com o REH, “para efeito de cálculo das necessidades de arrefecimento considera-se que, de forma a minimizar a incidência de radiação solar, os dispositivos de proteção solar móveis encontram-se ativos uma fração do tempo que depende do octante no qual o vão está orientado”. Desta forma, para determinar o fator solar na estação de arrefecimento é necessário ter em conta a expressão (6.4) e os dados apresentados na Tabela 6.15.

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times g_{Tp} \quad (6.5)$$

Em que,

g_v - Fator solar na estação de arrefecimento;

$F_{m,v}$ - Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar encontram-se totalmente ativos;

g_T - Fator solar global do vão envidraçado, com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou móveis totalmente ativos;

g_{Tp} - Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes ativos.

Tabela 6.15 - Dados para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento

Tipo de envidraçado	Orientação	$F_{m,v}$	$F_{w,v}$	$g_{L,vi}$	g_T	g_{Tp}
Vidro simples	Este	0,60	0,90	0,86	0,07	0,86
	Sul	0,60	0,80	0,86	0,07	0,86
	Oeste	0,60	0,90	0,86	0,07	0,86
Vidro duplo	Este	0,60	0,85	0,70	0,04	0,70
	Sul	0,60	0,75	0,70	0,04	0,70
	Oeste	0,60	0,85	0,70	0,04	0,70

Na Tabela 6.16 está representado os resultados relativamente ao fator solar na estação de arrefecimento, tendo em conta as características do envidraçado.

Tabela 6.16 - Resultados do fator solar dos envidraçados na estação de arrefecimento

Tipo de envidraçado	Orientação	g_v
Vidro simples	Este	0,33
	Sul	0,30
	Oeste	0,33
Vidro duplo	Este	0,26
	Sul	0,23
	Oeste	0,26

6.2.7.2 Fração envidraçada

Segundo o REH, para determinar o valor da fração envidraçada (F_g) é necessário ter em conta o tipo de caixilharia existente.

A caixilharia utilizada na habitação em estudo é em alumínio sem a existência de quadrícula. Desta forma o valor de F_g é igual a 0,70.

6.2.7.3 Fator de obstrução da radiação solar

De acordo com o Despacho n.º 15793-K/2013, o fator de obstrução da radiação dos vãos envidraçados, F_s , “representa a redução na radiação solar que incide nestes devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos” e é calculado através da seguinte expressão

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f \quad (6.6)$$

Em que,

F_s - Fator de obstrução da radiação solar;

F_h - Fator de obstrução do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_o - Fator de sombreamento por elementos horizontais;

F_f - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado.

É importante referir que em nenhum caso o produto $F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser inferior a 0,27.

Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício

“O fator de sombreamento do horizonte, F_h , traduz o efeito do sombreamento provocado por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou edifícios vizinhos dependendo do ângulo do horizonte, latitude, orientação, clima local e da duração da estação de aquecimento”.

Na estação de arrefecimento, despreza-se o efeito do sombreamento do horizonte, tomando o fator um valor igual a 1. Enquanto na estação de aquecimento é necessário calcular o F_h para cada vão.

Como não existe qualquer sombreamento do horizonte provocado por obstruções exteriores ao edifício, ângulo do horizonte = 0, considerou-se $F_h = 1$.

Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas

Através da análise dos alçados apresentadas no Anexo I – Folha 1 é possível verificar os elementos horizontais sobrejacentes aos envidraçados (F_o) existentes no caso de estudo. Os resultados de F_o na estação de aquecimento e arrefecimento estão apresentados na Tabela 6.17 e Tabela 6.18, respetivamente.

Tabela 6.17 - Fator de sombreamento por elementos horizontais na estação de aquecimento.

Orientação	Compartimento	Designação	Ângulo (°)	F_o
Este	Cozinha	Envidraçado	56	1
		Porta envidraçada	64	1
	Sala	Envidraçado 1	46	1
Sul		Envidraçado 2	0	0,48
	Hall	Porta envidraçada	51	0,53
		Envidraçado	51	0,53
Oeste	Quarto 1	Envidraçado 1	37	0,66
		Envidraçado 2	71	1
	Quarto 2	Envidraçado	42	0,77
	Quarto 3	Envidraçado	0	1

Tabela 6.18 - Fator de sombreamento por elementos horizontais na estação de arrefecimento.

Orientação	Compartimento	Designação	Ângulo (°)	F _o
Este	Cozinha	Envidraçado	56	0,95
		Porta envidraçada	64	1
	Sala	Envidraçado 1	46	0,97
Envidraçado 2		0	1	
Sul	Hall	Porta envidraçada	51	0,54
		Envidraçado	51	0,54
	Quarto 1	Envidraçado 1	37	0,59
		Envidraçado 2	71	1
		Envidraçado	42	0,66
Oeste	Quarto 2	Envidraçado	42	0,66
	Quarto 3	Envidraçado	0	1

Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício

Através da análise da planta apresentada no Anexo I – Folha 2 é possível verificar todos os elementos verticais adjacentes aos envidraçados (F_f) existentes caso de estudo. Os resultados de F_f na estação de aquecimento e arrefecimento estão apresentados da Tabela 6.19 à Tabela 6.21.

Tabela 6.19 - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado na estação de aquecimento.

Orientação	Compartimento	Designação	Ângulo (°)	F _f
Este	Cozinha	Envidraçado	0	1
		Porta envidraçada	0	1
	Sala	Envidraçado 1	0	1
Envidraçado 2		65 (pala à direita)	1	
Sul	Hall	Porta envidraçada	57 (pala à esquerda)	0,84

Tabela 6.20 - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado na estação de aquecimento – Continuação.

Orientação	Compartimento	Designação	Ângulo (°)	F _f
Sul	Hall	Envidraçado	34 (pala à esquerda)	0,92
	Quarto 1	Envidraçado 1	0	1
Oeste			Envidraçado 2	0
	Quarto 2	Envidraçado	32 (pala à direita)	1
	Quarto 3	Envidraçado	0	1

Tabela 6.21 - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado na estação de arrefecimento.

Orientação	Compartimento	Designação	Ângulo (°)	F _f
Este	Cozinha	Envidraçado	0	1
		Porta envidraçada	0	1
	Sala	Envidraçado 1	0	1
		Envidraçado 2	65 (pala à direita)	1
Sul	Hall	Porta envidraçada	57 (pala à esquerda)	0,85
		Envidraçado	34 (pala à esquerda)	0,90
	Quarto 1	Envidraçado 1	0	1
			Envidraçado 2	0
Oeste	Quarto 2	Envidraçado	32 (pala à direita)	0,96
	Quarto 3	Envidraçado	0	1

Posteriormente, com todos os dados anteriormente determinados e com a expressão (6.6), procedeu-se ao cálculo do fator de obstrução da radiação dos vãos envidraçados. Os resultados para a estação de aquecimento e arrefecimento são apresentados na Tabela 6.22 e na Tabela 6.23, respetivamente.

Tabela 6.22 - Fator de obstrução da radiação dos vãos envidraçados na estação de aquecimento.

Orientação	Compartimento	Designação	Fh	Fo	Ff	Fs	X _j	X _j ·F _s ≥ 0,27
Este	Cozinha	Porta envidraçada	1	1	1	1	0,56	0,56
		Envidraçado	1	1	1	1	0,56	0,56
Sul	Sala	Envidraçado 1	1	1	1	1	0,56	0,56
		Envidraçado 2	1	0,48	1	1	1	0,48
	Hall	Porta envidraçada	1	0,56	0,85	0,48	1	0,23
		Envidraçado	1	0,56	0,94	0,52	1	0,27
Oeste	Quarto 1	Envidraçado 1	1	0,66	1	0,66	0,56	0,24
		Envidraçado 2	1	1	1	1	0,56	0,56
Oeste	Quarto 2	Envidraçado	1	0,77	1	0,77	0,56	0,33
	Quarto 3	Envidraçado	1	1	1	1	0,56	0,56

A porta envidraçada do hall e o envidraçado 1 do quarto 1 não verificam a condição $X_j \cdot F_s \geq 0,27$.

Tabela 6.23 - Fator de obstrução da radiação dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento.

Orientação	Compartimento	Designação	Fh	Fo	Ff	Fs
Este	Cozinha	Porta envidraçada	1	0,95	1	0,95
		Envidraçado	1	1	1	1
	Sala	Envidraçado 1	1	0,97	1	0,97
Envidraçado 2		1	1	1	1	
Sul	Hall	Porta envidraçada	1	0,56	0,85	0,48
		Envidraçado	1	0,56	0,90	0,50
	Quarto 1	Envidraçado 1	1	0,59	1	0,59
		Envidraçado 2	1	1	1	1
Oeste	Quarto 2	Envidraçado	1	0,66	0,96	0,63
	Quarto 3	Envidraçado	1	1	1	1

6.2.8 Ventilação Natural

Para determinar a taxa de renovações horárias, RPH, utilizaram-se as folhas de cálculo elaboradas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), tendo em conta os seguintes dados:

- Classe de exposição ao vento do edifício em estudo

Zona B e Rugosidade III

- Dispositivos de admissão de ar na fachada → Sim

Tipo de abertura: Fixa ou regulável manualmente

Área livre: 240 cm²

- Conduatas de ventilação natural → Sim

Escoamento de ar: Exaustão

Perda de carga: Alta

Número de conduatas semelhantes: 2

Todos os cálculos foram realizados através do preenchimento da folha de cálculo elaborada pelo LNEC, ver ANEXO II. Na Tabela 6.24 são demonstrados os resultados obtidos.

Tabela 6.24 - Resultado de Rph (h⁻¹).

Rph estimada (h ⁻¹)	Rph mínima (h ⁻¹)	Rph,i (h ⁻¹)	Rph,v (h ⁻¹)
0,43	0,40	0,75	0,75

6.2.9 Resultados obtidos

Como já foi referido ao longo deste subcapítulo, todos os cálculos necessários para a determinação das necessidades energéticas de acordo com o REH estão apresentados no Anexo II que, por sua vez, foram realizados com auxílio de folhas de cálculo.

Na Tabela 6.25 é discriminado os valores dos indicadores energéticos.

Tabela 6.25 - Necessidades anuais de energia útil do edifício alvo do estudo.

	Sigla	Descrição	Valor
Aquecimento	Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil - kWh/(m ² .ano)	62,29
	Ni	Valor de referência - kWh/(m ² .ano)	76,79
Arrefecimento	Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil - kWh/(m ² .ano)	6,19
	Nv	Valor de referência - kWh/(m ² .ano)	9,13
Produção de AQS	Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária -kWh/ano	2377
Energia primária	Ntc	Necessidades nominais anuais globais - kWh/(m ² .ano)	195,21
	Nt	Valor de referência - kWh/(m ² .ano)	231,71

6.3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL

“O consumo de recursos como a energia (...) é uma vertente que, numa perspectiva da sustentabilidade, assume um papel fundamental para o equilíbrio do meio ambiente, uma vez que os impactes provocados podem ser muito significativos e podem ocorrer nas diferentes fases do ciclo de vida dos empreendimentos” (LiderA, 2016d). Desta forma, o presente subcapítulo tem como principal objetivo a aplicação dos métodos de avaliação sustentável – BREEAM, SBTOOL, LEED e LIDERA – a um edifício de carácter habitacional, de modo a estudar o seu desempenho energético, dando ênfase apenas à categoria “Energia”.

De modo a facilitar a leitura e a análise de resultados e como o estudo de cada um dos métodos é diferente, será apresentado uma análise da classificação individual. Todos os cálculos necessários para a determinação da classificação energética foram realizados com auxílio de folhas de cálculo apresentadas no Anexo III.

6.3.1 BREEAM

A categoria de energia no sistema de avaliação sustentável *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method* pretende mitigar os impactes de ciclo de vida sobre o ambiente, fazer com que os edifícios sejam reconhecidos de acordo com os seus benefícios ambientais e promover uma certificação credível dos edifícios. Para o efeito, aplicou-se os critérios da energia definidos no manual técnico “SD5072-2012-2.0: *BREEAM Refurbishment Domestic Buildings*”.

Tabela 6.26 - Resultados obtidos no sistema BREEAM.

Parâmetros	Máximo de créditos	Créditos obtidos no caso Prático
ENE 01	6	-
ENE 02	4	-
ENE 03	7	0
ENE 04	2	0
ENE 05	2	0
ENE 06	1	1
ENE 07	2	1
ENE 08	2	0
ENE 09	2	0
ENE 10	1	1
TOTAL	29	3

A aplicação do método BREEAM permitiu chegar à conclusão que a habitação apresenta uma classificação energética muito baixa, pois esta só obteve 3 créditos de um total de 29, ver Tabela 6.26.

Os critérios ENE01 e ENE02 não foram estudados, visto que era necessário a utilização do programa SAP, *software* de análise de elementos finitos. No entanto, e devido ao tempo disponível para a realização do estudo do presente tema, a sua avaliação não é crucial para atingir o objetivo proposto.

6.3.2 SBTOOL

O desempenho da categoria Energia é obtido pela análise dos dois parâmetros, P7 (Consumo de energia primária não renovável na fase de utilização) e P8 (Quantidade de energia que é produzida no edifício através de fontes renováveis).

O parâmetro P7 pretende quantificar a energia utilizada no edifício não proveniente de fontes renováveis, visando a promoção da redução destes. Enquanto o parâmetro P8 tem como objetivo impulsionar e premiar a redução do consumo de energia não renovável através da instalação de sistemas que permitam a produção de energia através de fontes renováveis.

A Tabela 6.27 apresenta os resultados obtidos com o preenchimento da folha de cálculo apresentada no Anexo III. É possível verificar que a habitação em estudo, para o parâmetro de consumo de energia primária não renovável na fase de utilização obteve uma classificação final de C, enquanto para o parâmetro de consumos de energia primária não renovável na fase de utilização obteve uma

classificação E. O P8 obteve a pior classificação, porque que o edifício em estudo não apresenta sistemas técnicos renováveis.

Tabela 6.27 - Resultados obtidos no sistema SBTOOL.

Parâmetro	Valor normalizado	Classificação
P7	0,21	C
P8	-1,685	E

6.3.3 LEED

A área “Energia e Atmosfera” no sistema de avaliação sustentável LEED tem como finalidade verificar e assegurar os elementos essenciais aos edifícios, de modo a que os sistemas sejam projetados, instalados e calibrados para operar o edifício como objetivado. No entanto, para atingir o objetivo da presente dissertação, procedeu-se unicamente à avaliação dos critérios referentes à energia.

Com base na análise do manual “LEED for Homes”, os pontos obtidos na categoria “Energia” são contabilizados através do somatório dos critérios, sendo obrigatório o cumprimento de um pré-requisito, “Performance do ENERGY STAR for homes”.

Apesar do edifício cumprir o pré-requisito, este não obteve nenhum ponto no critério “Performance excepcional de energia” porque o seu índice HERS toma um valor de 84, ver Figura 6.24.

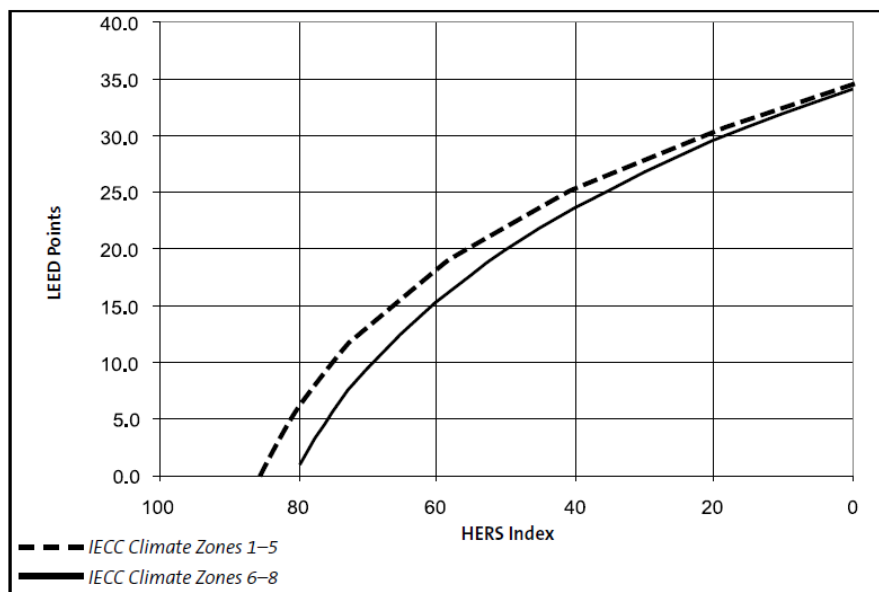


Figura 6.24 - Índice HERS (LEED, 2016).

6.3.4 LIDERA

O desempenho energético no sistema LIDERA é obtido pela análise de três categorias:

- C7 (eficiência nos consumos - certificação energética): associada ao consumo energético e ao desempenho obtido na certificação energética;
- C8 (desenho passivo): a adoção de soluções passivas podem ser a componente chave de uma abordagem eficiente e de redução das necessidades de consumo;
- C9 (intensidade de carbono): esta categoria estabelece o balanço de carbono emitido face à utilização de energia, quer esta seja proveniente de fontes renováveis, quer seja proveniente de fontes não renováveis.

Analisando os resultados obtidos, Tabela 6.28, e de acordo com a folha de excel apresentada no Anexo III, é possível concluir que a classificação final da habitação na área energia, segundo o LIDERA, é D.

Tabela 6.28 - Resultado obtido com base no sistema de avaliação sustentável LIDERA.

Critérios	Classificação energética						
	A++	A+	B	C	D	E	F
C7			x				
C8					x		
C9						x	

6.4 MODELOS DE CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO

No caso prático apresentado neste documento, o estudo dos modelos de conforto térmico adaptativo foi simplificado. Para o seu desenvolvimento foi fundamental conhecer a temperatura exterior (*input*) da zona de implantação do edifício em estudo. Desta forma, utilizaram-se os dados do *site AccuWeather* referentes à determinados meses da estação de aquecimento e de arrefecimento, ver Anexo IV.

A avaliação de resultados passou pela determinação das temperaturas operativas de conforto e dos seus limites, verificando se estas se encontravam dentro dos limites que definem as gamas de temperatura de conforto aceitáveis. Posteriormente, de modo a avaliar a sensação e preferência térmica humana de um determinado compartimento foi analisada duas escalas, uma de sensação térmica e outra de preferência térmica. Por fim, todas as temperaturas operativas de conforto obtidas com base nos três modelos de conforto térmico adaptativo foram comparadas com as temperaturas de

CAPÍTULO 6

referência definidas pelo REH, 18°C para a estação de aquecimento e 25°C para a estação de arrefecimento.

Os seguintes gráficos (Figura 6.25 à Figura 6.30) apresentam as variações de temperatura exterior no Porto ao longo dos meses que a autora se propôs a analisar.

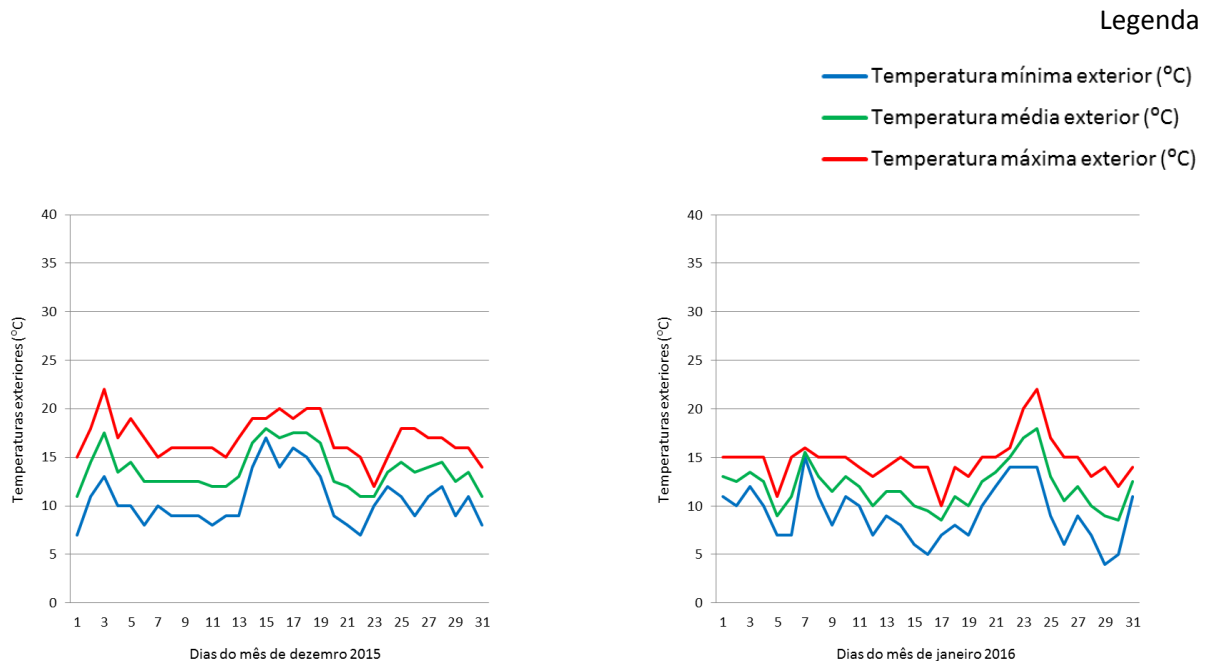


Figura 6.25- Variação da temperatura exterior do mês de dezembro de 2015

Figura 6.26 – Variação da temperatura exterior do mês de janeiro de 2016.

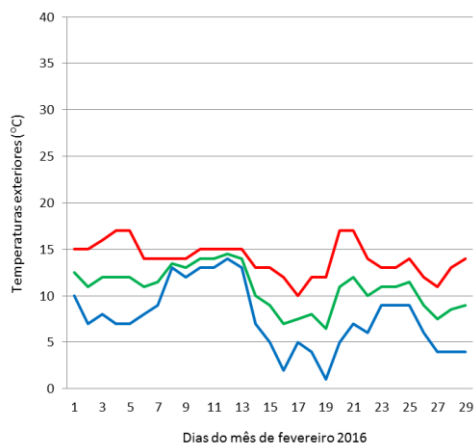


Figura 6.27 – Variação da temperatura exterior do mês de fevereiro de 2016.

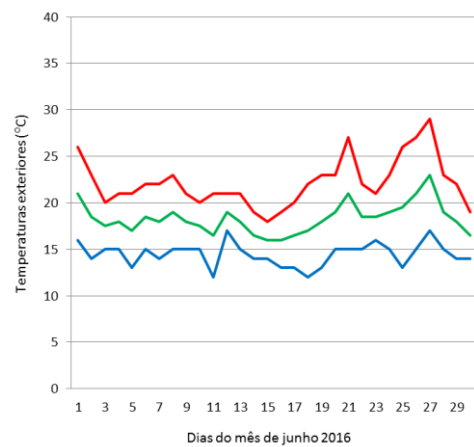


Figura 6.28 – Variação da temperatura média exterior do mês de junho de 2016.

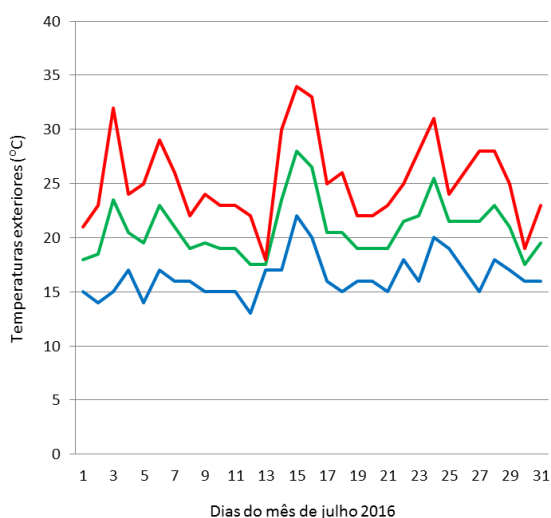


Figura 6.29 – Variação da temperatura média exterior do mês de julho de 2016.

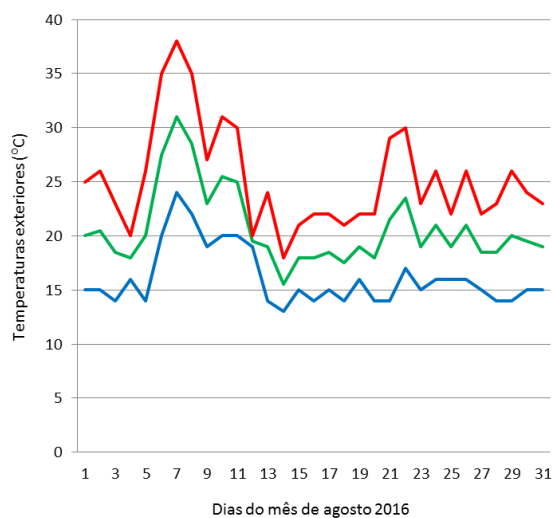


Figura 6.30 – Variação da temperatura média exterior do mês de agosto de 2016.

6.4.1 Modelo de Conforto Adaptativo - ASHRAE Standard 55

A avaliação efetuada por este modelo passou pela determinação das temperaturas de conforto mensais e dos seus limites, superior e inferior, através das equações 4.1 e 4.3 apresentadas no capítulo 4 deste documento. Para o caso em estudo, o intervalo obtido deve garantir uma aceitabilidade das condições térmicas de pelo menos 80% dos ocupantes.

A Tabela 6.29 apresenta os resultados obtidos na avaliação do conforto térmico de acordo com o modelo de conforto adaptativo segundo a norma ASHRAE Standard 55 (ver Anexo IV) e de acordo com a sua análise é possível concluir que a temperatura operativa de conforto na estação de arrefecimento encontra-se mais próxima da temperatura de referência definida pelo REH (25°C) do que a temperatura operativa de conforto da estação de aquecimento (18°C).

Tabela 6.29 - Resultados de acordo com o Modelo Adaptativo - ASHRAE Standard 55.

Estação	Mês	T_{mp} (°C)	T_{c-LI} (°C)	T_{oc} (°C)	T_{c-LS} (°C)	$T_{oc,média}$ (°C)
Aquecimento	Dezembro 2015	13,8	19,6	22,1	24,6	21,6
	Janeiro 2016	11,9	19,0	21,5	24,0	
	Fevereiro 2016	10,8	18,7	21,2	23,7	
Arrefecimento	Junho 2016	18,3	21,0	23,5	26,0	24,0
	Julho 2016	20,8	21,8	24,3	26,8	
	Agosto 2016	20,7	21,7	24,2	26,7	

Na Figura 6.31 apresentam-se os limites de temperaturas de conforto, Toc, resultantes da aplicação do modelo adaptativo especificado na norma europeia ASHRAE Standard 55. Analisando a figura verifica-se que estas encontram-se todas dentro da gama de temperatura de conforto aceitáveis resultantes da aplicação do presente modelo adaptativo.

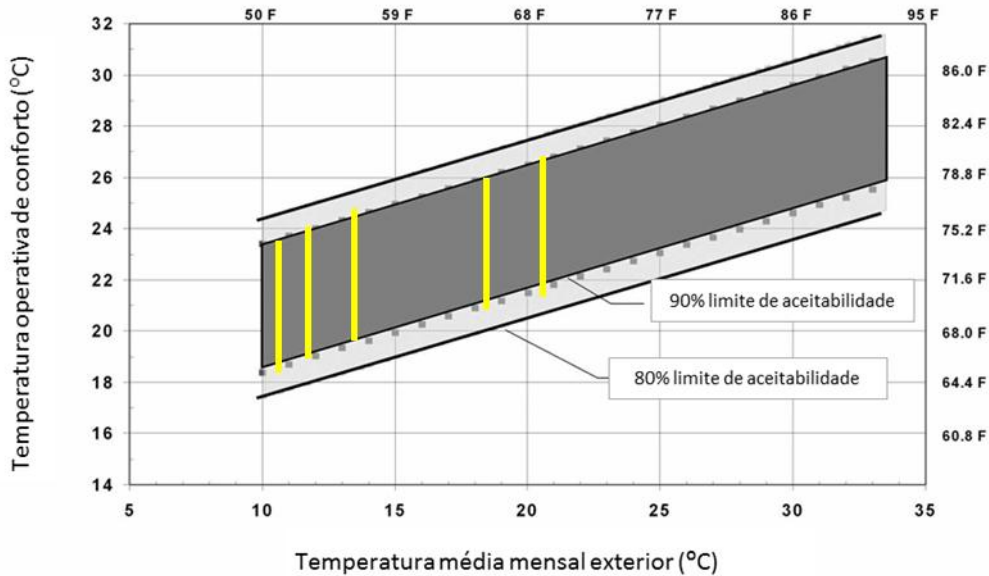


Figura 6.31 - Resultados obtidos com base o modelo de conforto térmico adaptativo ASHRAE 55.

Por fim, e de acordo com o “voto de conforto” dos ocupantes do edifício, determinou-se o índice PMV com um resultado de -1 (ligeiramente frio) para a estação de arrefecimento e o (neutro) para a estação de aquecimento.

6.4.2 Modelo de Conforto Adaptativo - EN 15251

Conforme mencionado no subcapítulo 4.2, o modelo adaptativo que consta da norma EN 15251 é aplicável a edifícios sem sistemas de arrefecimento e de aquecimento instalados. A avaliação de resultados assenta no cálculo da temperatura operativa de conforto em função da temperatura média exterior exponencial ponderada (ver equação 4.4). Este será afetada por um fator de correção que é obtido de acordo com a categoria do edifício. O caso prático corresponde a um edifício existente, pelo que se enquadra na categoria III da norma e, conseqüentemente, o fator de correção toma um valor de $\pm 4^{\circ}\text{C}$.

De acordo com a análise da Tabela 6.30, verifica-se que a temperatura operativa de conforto na estação de arrefecimento é aproximadamente igual à temperatura de referência definida pelo REH (25°C), enquanto a temperatura operativa de conforto da estação de aquecimento é 4,8°C superior à temperatura de referência do REH (18°C).

Tabela 6.30 - Resultados de acordo com o Modelo Adaptativo – EN 15251.

Estação	Mês	T_{mp} ($^{\circ}C$)	T_{c-LI} ($^{\circ}C$)	T_{oc} ($^{\circ}C$)	T_{c-LS} ($^{\circ}C$)	$T_{oc,média}$ ($^{\circ}C$)
Aquecimento	Dezembro 2015	13,8	19,3	23,3	27,3	22,8
	Janeiro 2016	11,9	18,7	22,7	26,7	
	Fevereiro 2016	10,8	18,4	22,4	26,4	
Arrefecimento	Junho 2016	18,3	20,8	24,8	28,8	25,4
	Julho 2016	20,8	21,7	25,7	29,7	
	Agosto 2016	20,7	21,6	25,6	29,6	

6.4.3 Modelo de Conforto Adaptativo - LNEC

As Figura 6.32 e Figura 6.33 indicam a avaliação final da sensação e preferência térmica dos ocupantes do edifício em estudo.



Figura 6.32- Resposta dos ocupantes na escala de sensação térmica, sti.

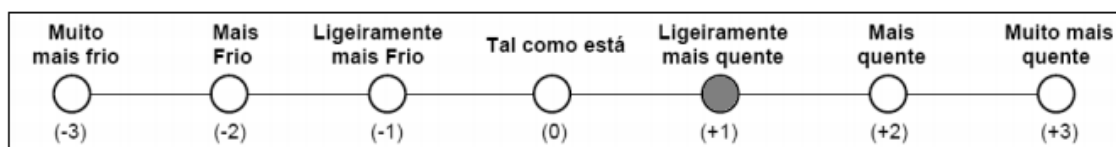


Figura 6.33 - Resposta dos ocupantes na escala de preferência térmica, pti.

Como é possível averiguar, as duas variáveis, sti e pti, encontram-se ordenadas em diferentes escalas. Desta forma, foi necessário recodificar a resposta dos ocupantes, obtendo-se uma categoria numérica igual a 2 (ligeiramente desconfortável).

Analisando os resultados obtidos das $T_{oc,média}$ (ver Tabela 6.31) é possível verificar que estas encontram-se entre $15^{\circ}C$ e $31^{\circ}C$, limite estipulado para edifício não climatizados segundo o modelo de conforto adaptativo LNEC. Também se verifica que a temperatura média operativa de conforto da estação de arrefecimento está mais próxima da temperatura de referência estabelecida pelo REH do que a da estação de aquecimento.

Tabela 6.31 - Resultados de acordo com o Modelo Adaptativo – LNEC.

Estação	Mês	T_{mp} ($^{\circ}C$)	T_{c-LI} ($^{\circ}C$)	T_{oc} ($^{\circ}C$)	T_{c-LS} ($^{\circ}C$)	$T_{oc,média}$ ($^{\circ}C$)
Aquecimento	Dezembro 2015	13,8	18,5	21,5	24,5	20,8
	Janeiro 2016	11,9	17,7	20,7	23,7	
	Fevereiro 2016	10,8	17,2	20,2	23,2	
Arrefecimento	Junho 2016	18,3	20,5	23,5	26,5	24,2
	Julho 2016	20,8	21,6	24,6	27,6	
	Agosto 2016	20,7	21,5	24,5	27,5	

6.5 SOLUÇÕES DE MELHORIA E ANÁLISE COMPARATIVA DE RESULTADOS

As folhas de cálculo com os resultados oriundos da implementação de todas as medidas de melhoria encontram-se no Anexo III.

Após uma detalhada análise da habitação verificou-se a existência de vários aspetos que poderiam ser colmatados, conduzindo assim a um melhor desempenho energético por parte desta. Nesse âmbito propõem-se as seguintes medidas:

Medida de Melhoria 1

Aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores com 8 cm de espessura.

$$U_{parede\ exterior} = 0,64\ W/m^2 \cdot ^{\circ}C \rightarrow U_{com\ a\ medida\ de\ melhoria} = 0,27\ W/m^2 \cdot ^{\circ}C$$

$$U_{PTP\ (Pilar)} = 0,83\ W/m^2 \cdot ^{\circ}C \rightarrow U_{com\ a\ medida\ de\ melhoria} = 0,30\ W/m^2 \cdot ^{\circ}C$$

$$U_{PTP,ext\ (Caixa-estores)} = 0,75\ W/m^2 \cdot ^{\circ}C \rightarrow U_{com\ a\ medida\ de\ melhoria} = 0,29\ W/m^2 \cdot ^{\circ}C$$

Medida de Melhoria 2

Aplicação de isolamento térmico na parede em contacto com o edifício adjacente com 3 cm de espessura e pladur com 13mm de espessura.

$$U_{parede\ em\ contacto\ com\ edif. adjacente} = 0,61\ W/m^2 \cdot ^{\circ}C \rightarrow U_{com\ a\ medida\ de\ melhoria} = 0,40\ W/m^2 \cdot ^{\circ}C$$

$$U_{PTP,edifício\ adjacente\ (Pilar)} = 0,78\ W/m^2 \cdot ^{\circ}C \rightarrow U_{com\ a\ medida\ de\ melhoria} = 0,46\ W/m^2 \cdot ^{\circ}C$$

Medida de Melhoria 3

Aplicação de isolamento térmico na cobertura interior com 15 cm de espessura.

$$U_{cobertura,ascendente} = 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \rightarrow U_{com a medida de melhoria} = 0,17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_{descendente,ascendente} = 0,47 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \rightarrow U_{com a medida de melhoria} = 0,16 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Medida de Melhoria 4

Substituição dos envidraçados exteriores e aumento do sombreamento.

$$U_{envidraçado duplo} = 3,36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \rightarrow U_{com a medida de melhoria} = 1,3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Medida de Melhoria 5

Eliminação das aberturas de admissão ao ar com abertura fixa e instalação de aberturas auto-reguláveis.

Aberturas auto-reguláveis com um caudal de 70 m³/h.

$$RPH_{estimado} = 0,43 \text{ h}^{-1} \rightarrow RPH_{estimado,com a medida de melhoria} = 0,13 \text{ h}^{-1}$$

$$RPH_i = 0,75 \text{ h}^{-1} \rightarrow RPH_{i,com a medida de melhoria} = 0,40 \text{ h}^{-1}$$

$$RPH_v = 0,75 \text{ h}^{-1} \rightarrow RPH_{v,com a medida de melhoria} = 0,60 \text{ h}^{-1}$$

Medida de Melhoria 6

Instalação de uma caldeira a biomassa.

Análise comparativa de resultados - REH

Após a conclusão da avaliação energética da habitação foi necessário implementar medidas de melhoria. Esta adoção foi feita gradualmente, ou seja, após a implementação da primeira medida foi adicionada a segunda medida e por aí adiante, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 6.32.

No total são apresentadas seis medidas de melhoria.

Tabela 6.32 – Perdas na habitação em estudo.

	Parede		PTP		PTL		Pavimento		Cobertura		Vãos		Vent.	
	Hext	Henu	Hext	Henu	Hext	Henu	Hext	Henu	Hext	Henu	Hext	Henu		
Solução inicial	40,07	14,96	3,11	0,52	68,61	0	0	31,5	0	43,65	89,63	0	62,48	
	+													
Medidas de Melhoria	1	16,9	14,96	1,17	0,52	68,61	0	0	31,5	0	43,65	89,63	0	62,48
		+												
	2	16,9	9,81	1,17	0,31	68,61	0	0	31,5	0	43,65	89,63	0	62,48
		+												
	3	16,9	9,81	1,17	0,31	68,61	0	0	31,5	0	14,89	89,63	0	62,48
		+												
	4	16,9	9,81	1,17	0,31	68,61	0	0	31,5	0	14,89	29,33	0	62,48
		+												
5	16,9	9,81	1,17	0,31	68,61	0	0	31,5	0	14,89	29,33	0	33,32	
	+													
6	16,9	9,81	1,17	0,31	68,61	0	0	31,5	0	14,89	29,33	0	33,32	

Da análise dos resultados detalhados na Tabela 6.31, é possível verificar que, à medida que se foram adicionando as medidas de melhoria, as perdas foram diminuindo.

Tabela 6.33 - Resultados comparativos obtidos com base no REH.

	Nic	Ni	Nvc	Nv	Qa	Eren	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe
Solução Inicial	62,29	76,79	6,19	9,13	2377	0	195,21	231,71	0,84	B-
	+									
Melhoria 1	54,62	76,79	6,07	9,13	2377	0	175,94	231,71	0,76	B
	+									
Melhoria 2	53,09	76,70	6,07	9,13	2377	0	172,1	231,71	0,74	B
	+									
Melhoria 3	44,97	76,70	5,05	9,13	2377	0	150,89	231,71	0,65	B
	+									
Melhoria 4	41,83	76,70	5,29	9,13	2377	0	143,26	231,71	0,62	B
	+									
Melhoria 5	32,72	71,46	5,85	9,13	2377	0	120,98	218,40	0,55	A+
	+									
Melhoria 6	32,72	71,46	5,85	9,13	2377	5822	5,22	122,84	0,04	A+

Comparando os resultados obtidos inicialmente com os conseguidos após a aplicação de um conjunto de melhorias (melhoria 6) é possível verificar, na Tabela 6.32, que as necessidades nominais anuais diminuíram consideravelmente: 62,29 kWh/m².ano para 32,72 kWh/m².ano e 6,19 kWh/m².ano para 5,85 kWh/m².ano, na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento, respetivamente. No entanto, apesar dos resultados serem bastante satisfatórios, não se conseguiu atingir um balanço anual energético nulo.

O valor do limite das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício, N_i , é calculado pela expressão seguinte:

$$N_i = (Q_{tr,i REF.} + Q_{ve,i REF.} - Q_{gu,i REF.})/A_p \quad (6.7)$$

Em que,

N_i – Valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento;

$Q_{tr,i REF.}$ – Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios;

$Q_{ve,i REF.}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento;

$Q_{gu,i REF.}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes;

A_p – Área útil do pavimento.

Desta forma, pode-se concluir, que o N_i diminui com a implementação de melhorias referentes à substituição dos envidraçados, sendo que estes passaram a apresentar um coeficiente de transmissão térmica mais baixo, tornando-se assim um envidraçado com melhor isolamento térmico e, conseqüentemente, diminuindo os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento.

No que diz respeito às necessidades nominais anuais globais de energia primária, N_t , estas reduziram devido à diminuição do N_i , conforme é possível analisar na expressão 6.8:

$$N_t = \sum_j \left(\frac{f_{i,k} N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\frac{f_{v,k} N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (6.8)$$

Em que,

N_i – Valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento;

N_v – Valor máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento;

Q_a – Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k ;

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia de aquecimento supridas pelo sistema de referência k ;

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia de arrefecimento supridas pelo sistema de referência k ;

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia de preparação de AQS supridas pelo sistema de referência k ;

$\eta_{ref,k}$ – Valores de referência para o rendimento dos diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados ou previstos para aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente e preparação de AQS;

Análise comparativa de resultados – Sistemas de avaliação sustentável

A Tabela 6.34 contempla o conjunto de todos os resultados de sustentabilidade recolhidos dos quatro sistemas de avaliação sustentável, BREEAM, SBTOOL, LEED e LIDERA. Analisando-a, verifica-se que existe uma melhoria significativa em todos os sistemas, à exceção do parâmetro 7 do SBTOOL. Esta melhoria deve-se, principalmente, à substituição do esquentador (fonte não renovável) pela caldeira a biomassa (fonte renovável).

Os sistemas BREEAM e LEED apresentam pior resultado, porque a habitação em estudo não cumpre praticamente nenhum critério da *checklist* estipulado por ambos os sistemas, devido à inexistência de uma fonte renovável.

O sistema SBTOOL e LIDERA permitiram determinar mais facilmente a classe energética relativamente a cada um dos seus parâmetros/critérios.

Tabela 6.34 - Resultados comparativos obtidos com base nos sistemas de avaliação sustentável.

	BREEAM	SBTOOL		LEED	LIDERA		
		C3_P7	C3_P8		C7	C8	C9
Solução inicial	3 créditos (Não classificado)	C	E	0 créditos	B	D	E
Soma de todas as medidas de melhoria	11 créditos (Aprovado)	E	A++	33,5 créditos	A++	B	A++

7 CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como finalidade a análise à eficiência energética dos principais métodos de avaliação sustentável. O objectivo basilar deste documento prende-se na identificação dos parâmetros preponderantes e das lacunas reveladas por cada um dos sistemas. Pretendeu-se demonstrar posteriormente, através de resultados efetivos, quais os principais caminhos a adotarem para atingir edifícios de consumo energético zero, *Net Zero Energy Building*.

A metodologia utilizada para o cumprimento do objetivo baseou-se na aplicação dos principais métodos de avaliação sustentável internacional e nacional (BREEAM, SBTOOL, LEED e LIDERA) de maior relevância. Para a quantificação dos resultados, teve-se em consideração a avaliação do desempenho energético e a análise do conforto térmico. No que diz respeito à avaliação do desempenho energético, as metodologias utilizadas foram o REH e os métodos de avaliação sustentável, referidos anteriormente. Quanto ao conforto térmico, este foi analisado de acordo com os modelos de conforto adaptativo (ASHRAE, EN 15251 e LNEC).

7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo do estudo dos sistemas de avaliação sustentável é possível verificar que estes apresentam uma vasta gama de parâmetros e estes estão em constante desenvolvimento por diversas instituições e governos, principalmente nos países que apresentam adesão a tratados e protocolos ambientais. “O maior problema prende-se com a subjetividade associada ao conceito sustentabilidade, motivada principalmente pelas diferenças políticas, tecnológicas, culturais, sociais e económicas, existentes não só entre os países, mas também, dentro de cada país, entre os diversos locais” (Mateus & Bragança, 2004).

A eficiência energética corresponde à categoria com maior relevância em todos os sistemas de avaliação sustentável. Os sistemas LEED, BREEAM, LIDERA e SBTOOL apresentam nesta categoria uma ponderação de 28%, 19%, 17% e 12,8%, respetivamente.

O sistema de avaliação SBTOOL destaca-se quando comparado com o BREEAM, LEED e LIDERA. Este sistema utiliza uma metodologia global que integra de forma holística os conceitos de construção sustentável, incorporando indicadores numéricos para cada critério, de modo a reduzir ao mínimo a subjetividade. Este sistema apresenta diversas diferenças quando comparado com os outros sistemas:

- SBTOOL vs LIDERA - o SBTOOL, para além da classe global de sustentabilidade, permite identificar a classe económica, a classe ambiental e a classe social, facilitando a interpretação da etiquetagem. Enquanto o LIDER classifica cada um dos critérios.
- SBTOOL vs BREEAM, LEED e LIDERA - Enquanto os sistemas BREEAM, LEED e LIDERA baseiam-se na verificação de uma *checklist* que a cada ponto verificado são atribuídos créditos que no final todos somados representam o desempenho global do edifício em estudo, o SBTOOL determina um indicador matemático para cada critério.

A classificação da sustentabilidade dos edifícios inclui o cumprimento de critérios quantitativos e qualitativos. Os critérios quantitativos abrangem, em termos energéticos, o valor do consumo anual de energia, enquanto os critérios qualitativos englobam o impacto sobre o ambiente com base na análise de uma *checklist*. Desta forma, o SBTOOL é um método mais quantitativo quando comparado com os restantes, tornando-o mais exato e, conseqüentemente, ideal para ser utilizado na avaliação de um projeto final. Em relação ao BREEAM, LEED e LIDERA, estes permitem traçar linhas de orientação para o desenvolvimento da conceção de um projeto novo.

Pela análise dos resultados do consumo de energia do edifício e das transferências de calor pelos elementos construtivos, com base no REH, foi possível identificar as áreas onde se deveria atuar e aplicar medidas eficientes para que a habitação em estudo atingisse um balanço anual nulo. Deste modo, após imensas tentativas, as medidas escolhidas para melhorar a eficiência energética do edifício foram:

- Aplicação de isolamento térmico nas paredes exteriores com 8 cm de espessura;
- Aplicação de isolamento térmico na cobertura interior com 15 cm de espessura;
- Substituição dos envidraçados exteriores e aumento do sombreamento;
- Eliminação das aberturas de admissão ao ar com abertura fixa e instalação de aberturas auto-reguláveis;
- Instalação de uma caldeira a biomassa.

Apesar dos resultados obtidos, após a implementação de todas as medidas de melhoria, serem bastante satisfatórios, não se conseguiu convergir o edifício existente para um *Net Zero Energy Building*. Este acontecimento deve-se ao facto que, quando é adicionada a melhoria 4 (substituição dos envidraçados exteriores e aumento do sombreamento), o REH eleva a “fasquia”, comparando a habitação em estudo com um modelo com um nível energético mais elevado, daí os valores de referência diminuírem.

Relativamente aos três modelos de conforto adaptativo, verifica-se que a temperatura operativa de conforto na estação de arrefecimento encontra-se mais próxima da temperatura de referência definida pelo REH. Em relação ao estudo da sensação e preferência térmica dos ocupantes, estes avaliaram a temperatura interior da habitação como ligeiramente desconfortável.

Em suma, não é claro que os sistemas de avaliação sustentável apontem diretamente para a mesma linha de avaliação. Todavia, todos eles apresentam uma grande dependência de fontes renováveis.

7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Conforme teve-se a oportunidade de verificar no primeiro capítulo, o objetivo principal deste trabalho foi identificar os parâmetros preponderantes e as lacunas reveladas por cada um dos sistemas de avaliação sustentável. Como espectável, o trabalho desenvolvido não esgota este tema, pelo contrário, inicia-se aqui um primeiro passo de muitos ainda necessários. O desafio futuro começa com a necessidade da criação de um sistema de avaliação sustentável direcionado a três fases independentes, cada uma com o seu nível de avaliação: conceção de um projeto novo, projeto final e, por último, edificado já em utilização.

No que diz respeito ao REH, este para além de indicar um nível energético global, deveria apresentar dois níveis energéticos independentes: um referente à envolvente e outro referente apenas aos sistemas técnicos. Visto que um edifício com uma construção ineficiente poderá apresentar uma classe energética A+ devido ao sistema técnico instalado. Para além desta melhoria, o REH, no cálculo dos valores máximos das necessidades nominais, devia ter em conta se a habitação em estudo se trata de um edifício novo ou de um existente.

Demonstrada a importância dos modelos de conforto adaptativo, torna-se importante fazer um estudo mais detalhado do caso prático e, posteriormente, dar a conhecer aos ocupantes alternativas simples e acessíveis de arrefecimento passivo.

Assim, em resumo e de forma a finalizar este trabalho, propõe-se, como desafios futuros, a criação de um novo sistema de avaliação sustentável direcionado para três fases do ciclo de vida do edificado e a atualização do REH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE - Guia da Eficiência Energética. Adene - Agência para a Energia. Lisboa: Adene, 2012. ISBN: 978-972-8646-21-9.

ADENE – Planos e Programas: Eco.Ap. 2016. [Consult. 19 jun. 2016]. Disponível em <http://www.adene.pt/programa/programa-de-eficiencia-energetica-para-administracao-publica-ecoap>

AELENEI, D.; AELENEI, L.; COSTA, F. - Standard Unretrofitted Buildings and Net Zero: Energy Concept: EuroSun Conference, Graz, Austria, 2010.

AELENEI, D.; AELENEI, L.; GONÇALVES, H. (2013) - Edifícios de Balanço Energético Nulo: uma síntese das características principais. Revista Edifícios e Energia. Lisboa, 2013. Páginas 70–74.

AELENEI, L. - Envolvente na Eficiência Energética dos Edifícios: Green Campus Conference, Lisboa, 2011.

AELENEI, L. - Design issues for Net Zero Energy Buildings: Net Zero Energy Buildings Conference, Lisboa, 2012.

AELENEI, L. – Nearly Zero Energy Buildings. 2012 [Consult. 3 jun. 2016]. Disponível em http://repositorio.Ineg.pt/bitstream/10400.9/1589/1/nZEB_FigueiraFoz_LAelenei.pdf.

AIRES, M. - Viabilidade da Aplicação do Conceito NZEB à Reabilitação de Conjuntos Habitacionais em Países do Sul da Europa. Porto: Faculdade de Engenharia do Porto, 2015. Tese de Mestrado.

ALMEIDA, H. - Análise do Conforto Térmico de Edifício Utilizando as Abordagens Analítica e Adaptativa. Lisboa: Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2010. Tese de Mestrado.

ANDRADE, J. B. - Avaliação da Sustentabilidade do Edifício Solar XXI utilizando a Metodologia SBTool^{PT}. Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2009. Tese de Mestrado.

ANDRADE, P. B. - Eficiência Energética em Edifícios: Oportunidades e Desafios. Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2012. Tese de Mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APEA (Associação Portuguesa de Engenharia do Ambiente) - Energia e Alterações Climáticas. Comissão Europeia. Lisboa: Comissão Europeia, 2009. ISBN: 978-989-96251-0-5.

ASHRAE – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society for Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2004. [Consult 11 jul. 2016]. Disponível em http://www.almas-hvac.ir/fh/download/ASHRAE_Thermal_Comfort_Standard.pdf.

AULICINO, P. - Análise de Métodos de Avaliação de Sustentabilidade do Ambiente Construído: o caso dos conjuntos habitacionais. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008. Tese de Mestrado.

BAIONA, R. M. S. – NZEB: Um desafio para a engenharia civil. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014. Tese de Mestrado.

BALDWIN, R., et al. - BREEAM 98 for offices: An environmental assessment method for office buildings. IHS BRE Press. London: Construction Research Communication Ltd, 1998. ISBN: 978-1-86081-238-5

BAUER, M.; MOSLE, P.; SCHWARZ, M. - Green Building: Guidebook for Sustainable Architecture. Callwey Verlag. Alemanha: wmxDesign GmbH, 2007. ISBN: 978-3-642-00634-0.

BCSD - Manual de boas práticas de eficiência energética. Lisboa: Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável/ Universidade de Coimbra, 2005.

BPIE - Principles for Nearly Zero-Energy Buildings: Paving the way for effective implementation of policy requirements. Bélgica: 2011. ISBN: 9789491143021.

BRE GLOBAL - The world's foremost environmental assessment method and rating system for buildings. 2011. [Consult. 29 jun. 2016]. Disponível em http://www.breeam.com/filelibrary/BREEAM_Brochure.pdf.

BREEAM – BREEAM Refurbishment Domestic Buildings: Technical Manual. 2013. [Consult. 8 jun. 2016]. Disponível em http://www.breeam.com/bre_PrintOutput/BREEAM_Domestic_refurb_manual_2012.pdf

BREEAM – Development Lifecycle Stages. 2016. [Consult. 8 jun. 2016]. Disponível em <http://www.breeam.com/technical-standards>.

BRUNTLAND, G. - Our Common Future: The World Commission on Environment and Development. Oxford University Press. Oxford, UK: 1987. ISBN: 978-0-19-282080-8 0-19-282080-X.

CHVATAL, K. - Relação entre o Nível de Isolamento Térmico da Envolvente dos Edifícios e o Potencial de Sobreaquecimento no Verão. Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2007. Tese de Mestrado.

CIB - Agenda 21 on Sustainable Construction. Holanda: 1999. ISBN 90-6363-015-8

CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers) – Guide A: Environmental Design. Inglaterra. 2006.

CORREIA, P. J. - Desempenho Térmico e Energético de Edifícios. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2015. Tese de mestrado.

COUTO, A. C. - Integração da Análise Ciclo de Vida nas Práticas de Projeto de Edifícios: Aplicação de um caso prático. Porto: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2014. Tese de mestrado.

CURADO, A. J. C. - Conforto Térmico e Eficiência Energética nos Edifícios de Habitação Social Reabilitados. Porto: Faculdade de Engenharia do Porto, 2014. Tese de Doutoramento.

Central New York Community Foundation – LEED Certification. 2012. [Consult. 11 jul. 2016]. Disponível em <http://cnycf.org/new-design/philanthropy-center/philanthropy-center-leed>.

DAWN, Melani – Introduction to LEED v4. 2014. [Consult. 13 jun. 2016]. Disponível em <http://miami-urban-green.com/introduction-to-leed-v4>.

DECRETO-LEI n.º 118/2013. D.R. 1ª Série. 159 (20-08-2013) 4988-5005.

DESPACHO n.º 15793-C/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 350889(9)-35088(12).

DESPACHO n.º 15793-D/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 350889(13).

DESPACHO n.º 15793-D/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 350889(14)- 35088(25).

DESPACHO n.º 15793-F/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 350889(26)- 350889(31).

DESPACHO n.º 15793-H/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 350889(36)- 350889(40).

DESPACHO n.º 15793-I/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 350889(41)- 350889(54).

DESPACHO n.º 15793-J/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 350889(55)- 350889(57).

DESPACHO n.º 15793-K/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 350889(58)- 350889(87).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DESPACHO n.º 15793-L/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 350889(88).

DIAS, P. - A (In) Sustentabilidade e a Contextualização da Agenda 21 Local. Lisboa: 2015. ISBN: 978-989-736-519-5

DIRETIVA 2006/32/CE – Diretiva 2006/32/CE do parlamento europeu e do conselho de 5 de Abril de 2006 relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos e que revoga a Diretiva 93/76/CEE do Conselho. 2006 [Consult 10 jun. 2016]. Disponível em http://www.adene.pt/sites/default/files/I_11420060427pt00640085.pdf.

DIRETIVA 2010/31/UE - Diretiva 2010/31/UE do parlamento europeu e do conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios. 2010 [Consult 20 jun. 2016]. Disponível em <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:PT:PDF>.

ECOCHOICE - I&D | SBTOOL PT – STPU. 2012. [Consult. 29 jun. 2016]. Disponível em <http://www.ecochoice.pt/iad/sbtoolpt-stpu>.

EN 15251. 2007. European Standard EN 15251. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Bélgica: International Organization for Standardization, EN 15251:2007.

ENERGYPLUS. 2016. [Consult. 25 ago. 2016]. Disponível em https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.5.0/GettingStarted.pdf.

ENGFORENSE – World Footprint: Do we fit on the planet?. 2016. [Consult. 7 jun. 2016]. Disponível em http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/world_footprint.

ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) – Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica. 2009. [Consult. 27 jun. 2016]. Disponível em <http://www.erse.pt/pt/planodepromo/caodaeficiencianoconsumoppec/edicoesPPEC/ppec20092010/Documents/Breves%20notas%20PPEC%202009-2010.pdf>.

FANGER, Povl Ole - Thermal comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. Dinamarca: Danish Technical Press, 1970. ISBN: 875-7103-41-0

FERREIRA, A. R. - Estudo de Soluções de Otimização para Edifícios de Balanço Energético Nulo. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2012. Tese de Mestrado.

- GARRANA, R. - Avaliação do êxito do Protocolo de Quioto em Portugal. Lisboa: Instituto Superior de Economia e Gestão, 2011. Tese de Mestrado.
- GAUNA, J., et al. - Guía del estándar Passivhaus: Edificios de consumo energético casi nulo. Fundación de la Energia de la Comunidad de Madrid. Madrid: 2011.
- GAVIÃO, J. - Passive House: Edifícios com Elevados Desempenhos: Passive House Conference, Coimbra, 2014.
- GREEN BUILDING COUNCIL - Better Buildings are our Legacy. 2016 [Consult. 29 jun. 2016]. Disponível em <http://www.usgbc.org/leed#rating>.
- GONÇALVES, H., GRAÇA, J. M. - Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. DGGE/IP-3E. Lisboa: Companhia das Cores, 2004. ISBN: 972-8268-34-3.
- GOUVEIA, P. - Caracterização dos Impactes da Envolvente no Desempenho Térmico dos Edifícios. Lisboa: Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2008. Tese de Mestrado.
- GVOZDENOVIĆ, I. K. - Roadmap to nearly Zero Energy Buildings: Towards nZEBs in 2020 in the Netherlands. Eindhoven: Universidade de Tecnologia da Eindhoven, 2014. Tese de Mestrado.
- HERMELINK, Andreas – Towards Nearly Zero Energy Buildings. 2014 [Consult. 29 set. 2016]. Disponível em http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/documents-and-links/20140123_ecofys_webinar_towards_nzeb_f.pdf.
- IPHA (International Passive House Association) - Active for More Comfort: Passive House. Marlies Blücher. Alemanha: Sarah Mekjian, 2014.
- ISOLANI, P. - Eficiência Energética nos Edifícios Residenciais: Manual do Consumidor. Deco. Lisboa: 2008.
- JERSEY ENERGY – Breeam. 2016. [Consult. 29 jun 2016]. Disponível em <http://www.jersey-energy.com/260-BREEAM.php>.
- JESUS, Luciana - Metodologia de Aplicação de Conceitos de Sustentabilidade a Edifício. Minho: Universidade do Minho, 2010. Tese de Doutoramento.
- JÚNIOR, J., et al. - Os Benefícios da Arquitetura Bioclimática no Conforto e na Economia Energética: VII CONNEPI, Palmas, 2012.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KIBERT, C. J. - Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction: Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction of CIB, Florida, USA, 1994.

KILKIS, S. - A New Metric for Net-zero Carbon Buildings: Energy Sustainability Conference, California, USA, 2007.

KLOEPFFER, W. - Life cycle Sustainability Assessment of Products. The International Journal of Life Cycle Assessment. (2008) 95.

LANHAM, A., et al. - Arquitectura Bioclimática: Perspectivas de inovação e futuro. Lisboa: Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2004.

LEED – LEED for Homes: Rating System. 2016 [Consult 10 set. 2016]. Disponível em <http://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs3638.pdf>.

LIDERA - No futuro toda a construção pode ser assim. 2016a. [Consult. 11 jul. 2016]. Disponível em <http://lidera.info/index.aspx>.

LIDERA - Documentação. 2016b. [Consult. 11 jul. 2016]. Disponível em <http://lidera.info/index.aspx?p=MenuPage&MenuId=29>.

LIDERA - Documentação. 2016c. [Consult. 11 jul. 2016]. Disponível em http://lidera.info/resources/LiderA_apresentacao_sumaria_2011_v1.pdf?phpMyAdmin=77d31a787ce126bb305b5b4b9dcec31c.

LIDERA - Documentação. 2016d. [Consult. 8 ago. 2016]. Disponível em http://lidera.info/resources/LiderA_apresentacao_geral_V2.pdf.

LUCAS, V. S. - Construção Sustentável: Sistemas de Avaliação e Certificação. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2011. Tese de Mestrado.

MAYER, E. - Objective criteria of thermal Comfort. In Building and Environment. Alemanha: Elsevier Ltd, 1993. Volume 28.

MARSZAL, A. J., HEISELBERG, P. K. - A Literature Review of Zero Energy Building (ZEB) definitions. Universidade Aalborg. Dinamarca, 2009. ISSN: 1901-726X

MATEUS, R. F. - Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis. Minho. Universidade do Minho, 2009. Tese de Doutoramento.

MATEUS, Ricardo; BRAGANÇA, Luís - Sustainability assessment and rating of buildings: Developing the methodology SBTool^{PT}. Elsevier. Guimarães. (18 março 2011) 1962-1971.

MATEUS, Ricardo; BRAGANÇA, Luís – Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da sustentabilidade de soluções construtivas. 2004. [Consult. 1 out. 2016]. Disponível em http://hdl.handle.net/1822/7333_

MENDONÇA, P. - Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados. Minho: Universidade do Minho, 2005. Tese de Doutoramento.

MERTZ, G. A.; RAFFIO, G. S.; KISSOCK, K. - Cost Optimization of Net-Zero Energy House: Energy Sustainability Conference, California, USA, 2007.

NASA - Global Temperature. 2015. [Consult. 27 jun. 2016]. Disponível em <http://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature>.

NASA - Carbon Dioxide. 2016. [Consult. 21 Jun. 2016]. Disponível em <http://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide>.

NICOL, J. F. - International Standards Don't Fit Tropical Buildings: What Can We Do About It?: Conferencia Internacional Sobre Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones. Maracaibo, 2000.

OECD/IEA (International Energy Agency) – World Energy Outlook Special Report: Redrawing the Energy Climate Map. 2013. [Consult 19 jul. 2016]. Disponível em <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2013/energyclimatemap/redrawingenergyclimatemap.pdf>.

OPENSTUDIO. 2016. [Consult 26 ago. 2016]. Disponível em <https://www.openstudio.net>.

PINHEIRO, M. D. - Ambiente e Construção Sustentável. Instituto do Ambiente. Lisboa: editor, 2008. ISBN: 972-8577-32-X.

PINTO, R. - Reabilitação Energética de um Edifício de Serviços: Convergência para NZEB. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2014. Tese de Mestrado.

PLEASSIS, C. - Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document. WSSD. África de Sul: African Watermark Graphic Design, 2002.

PNAEE - Portugal Eficiência 2015. 2008. [Consult 27 jun. 2016]. Disponível em <http://www.eficiencia-energetica.eu/PNAEE.pdf>.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PORTARIA n.º 349-A/2013. D.R. 2ª Série. 80 (24-04-2015) 2069-2071.

PORTARIA n.º 349-B/2013. D.R. 2ª Série. 232 (29-11-2013) 6624(18)- 6624(29).

PORTARIA n.º 349-C/2013. D.R. 2ª Série. 232 (2-12-2013) 6628(20)- 6628(39).

SACHS, I. - Desenvolvimento incluyente, sustentável, sustentado. Brasil: Garamond, 2008. ISBN: 85-7617-04-X.

SANIPOWER – Catálogo Biomassa. 2014. [Consult. 7 out. 2016]. Disponível em <http://www.sanipower.pt/pdf/291014-biopower-web.pdf>.

SARTORI, I., et al. - Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings: EuroSun Conference, Áustria, 2010.

SERAGELDIN, I. - Making Development Sustainable: from concepts to action. Alicia Hetzne. Washington D.C.: The International Bank, 1994. ISBN: 0-8213-3042-X.

SILVA, Luís - Estratégia Nacional para a Energia: 6º Workshop da Plataforma do Empreendedor, Lisboa, 2010.

SILVA, Sónia, et al - Guia Agenda 21 Local: Um desafio para todos. Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente, 2007. ISBN: 978-972-8577-37-7.

SKETCHUP. 2016. [Consult 26 ago. 2016]. Disponível em <http://www.sketchup.com>.

SOUTO, R.D. - Atlas de Indicadores de Sustentabilidade para os Municípios Costeiros do Estado do Rio de Janeiro. 2016. [Consult. 7 jun. 2016]. Disponível em <http://www.ivides.org/atlas>.

TAVARES, F. - Metodologia para Edifícios de Balanço Energético Nulo. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2013. Tese de Mestrado.

TORGAL, F. P. - A Sustentabilidade dos Materiais de Construção. TecMinho. Braga: 2010. ISBN 978-972-8600-22-8

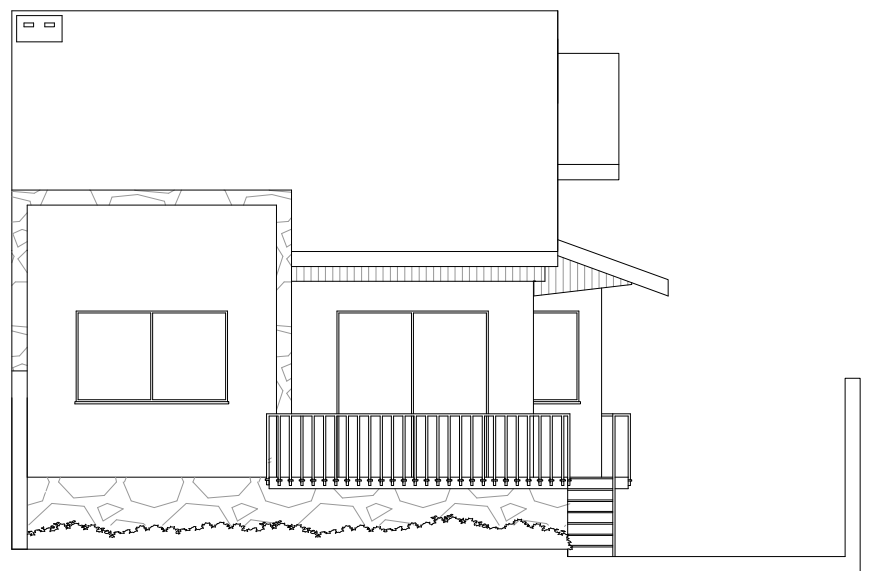
UNEP - Towards a Life Cycle Sustainability Assessment. Winifred Power. 2011. ISBN: 978-92-807-3175-0.

VITROCHAVES – Configurador de Produtos v1. 2016. [Consult. 18 ago. 2016]. Disponível em http://www.vitrochaves.com/?page_id=901&lang=pt.

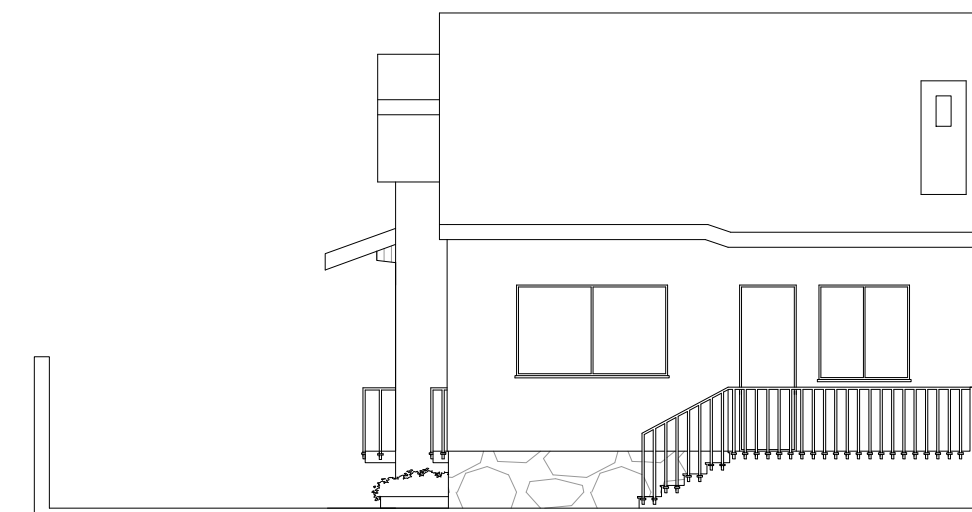
ANEXOS

ANEXO I – DESENHOS DO CASO PRÁTICO

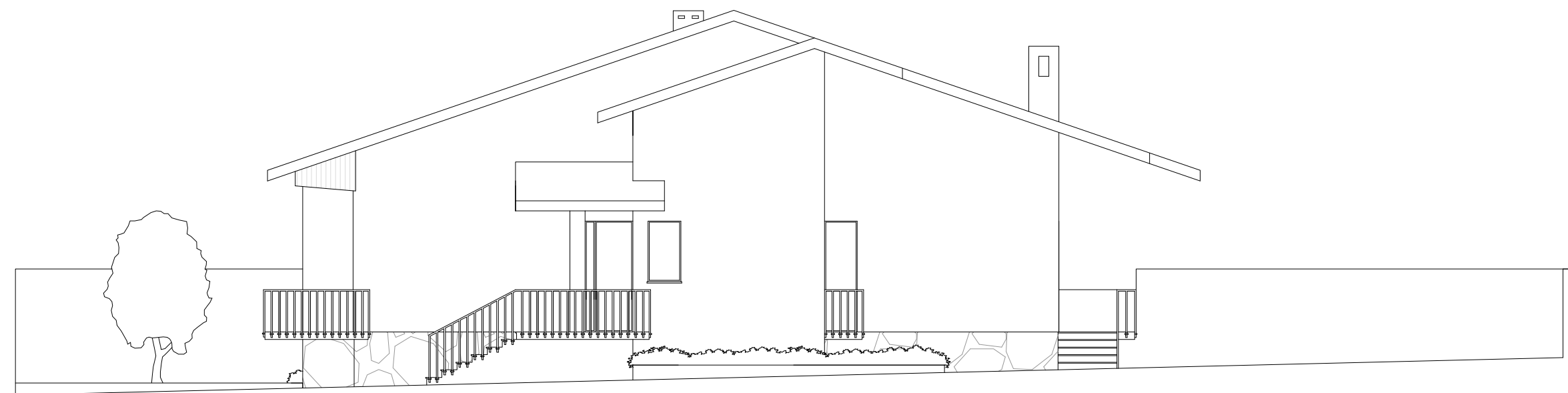
- ALÇADOS
- PLANTA GERAL
- PLANTA E CORTE A-B



Alçado Poente



Alçado Nascente



Alçado Sul

PROJETO

Habitação unifamiliar (caso de estudo)

LOCAL

Rua do Corgo - Matosinhos, Porto

ESPECIALIDADE DESIGNAÇÃO

Arquitetura

Alçados

DESENHO

Sara de Oliveira Gaspar

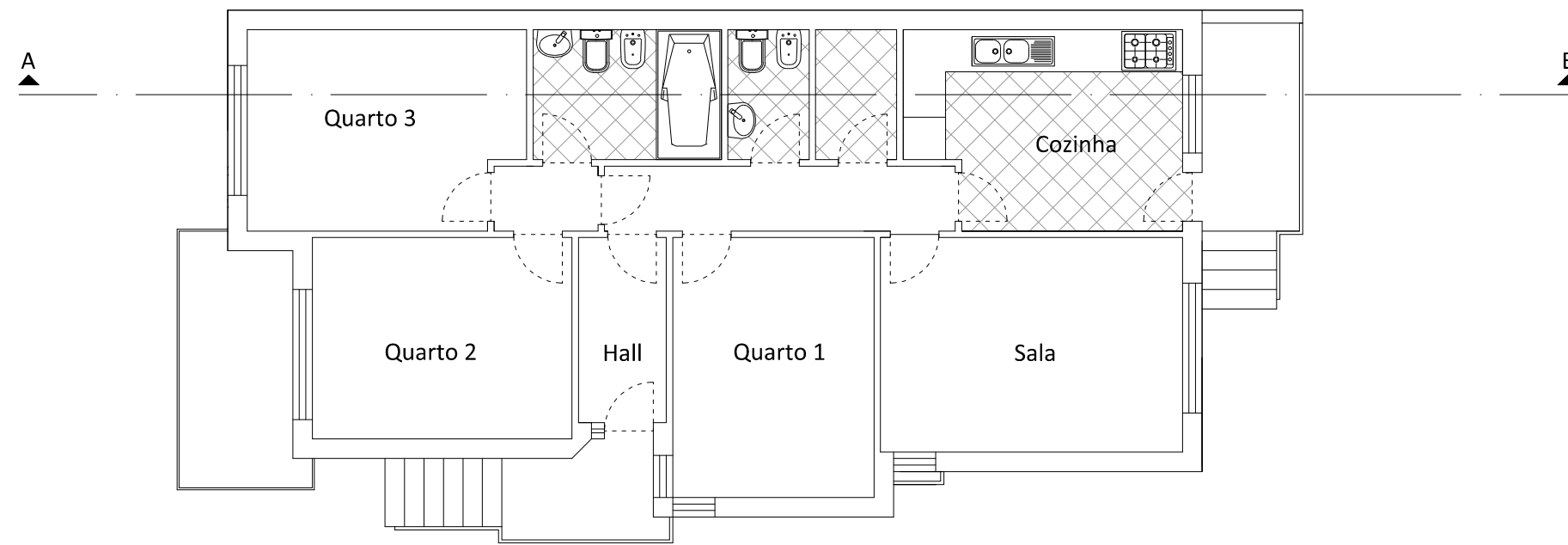
DATA

Outubro 2016

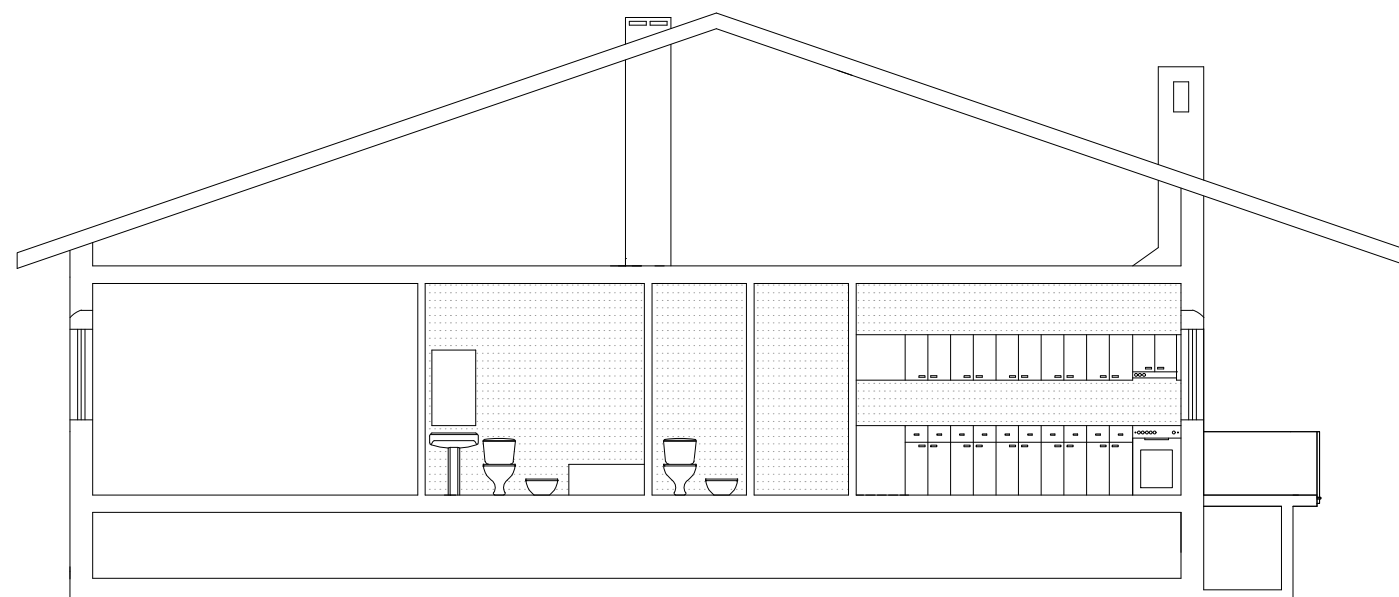
ESCALA DESENHO Nº

1:100

01



Planta



Corte A-B

PROJETO

Habitação unifamiliar (caso de estudo)

LOCAL

Rua do Corgo - Matosinhos, Porto

ESPECIALIDADE DESIGNAÇÃO

Arquitetura Planta e Corte A-B

DESENHO

Sara de Oliveira Gaspar

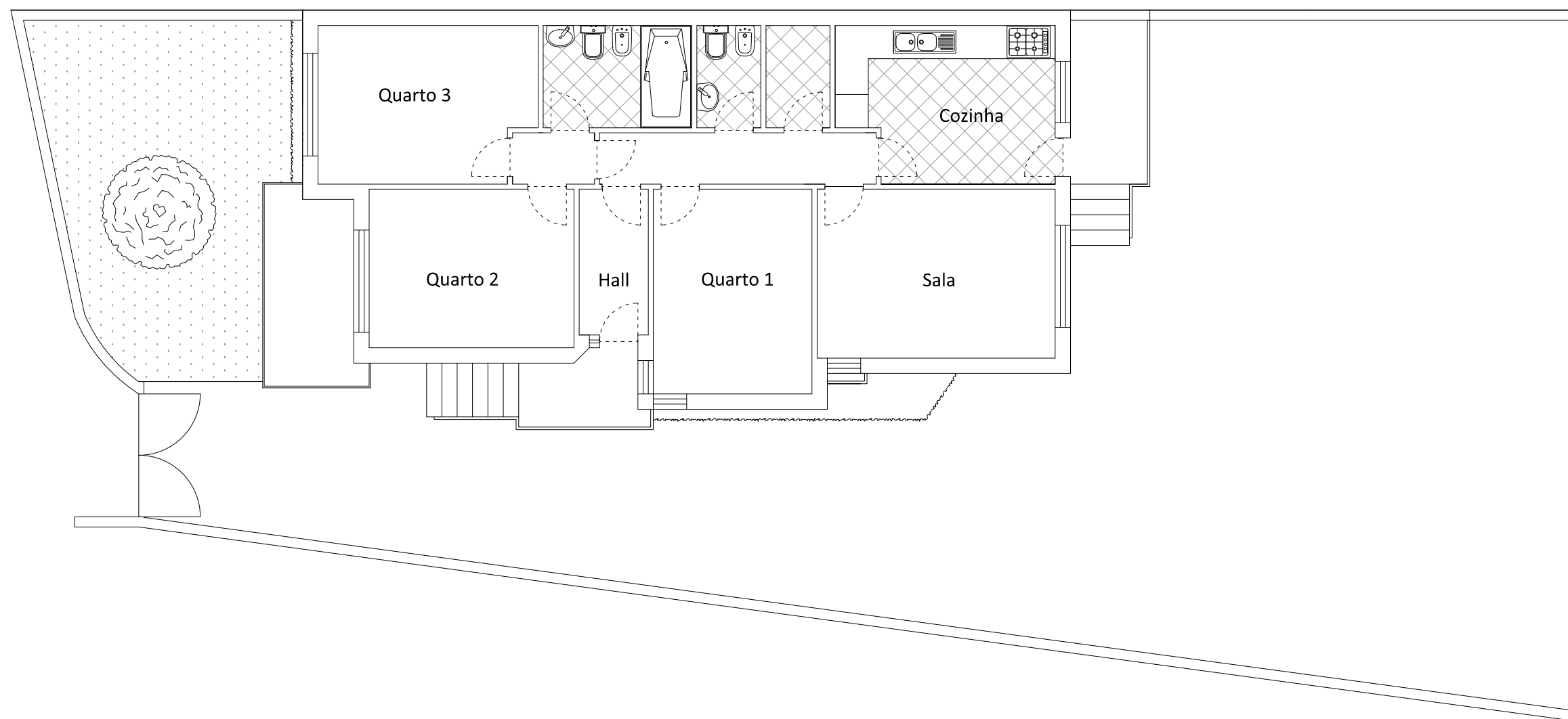
DATA

Outubro 2016

ESCALA DESENHO Nº

1:100

03



PROJETO

Habitação unifamiliar (caso de estudo)

LOCAL

Rua do Corgo - Matosinhos, Porto

ESPECIALIDADE DESIGNAÇÃO

Arquitetura Planta Geral

DESENHO

Sara de Oliveira Gaspar

DATA

Outubro 2016

ESCALA DESENHO Nº

1:100

02

ANEXO II – FOLHAS DE CÁLCULO REH

- EDIFÍCIO EXISTENTE
- EDIFÍCIO EXISTENTE COM AS MEDIDAS DE MELHORIA

ANEXO II.1 - FOLHAS DE CÁLCULO REH DO EDIFÍCIO EXISTENTE

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

DADOS CLIMÁTICOS

Município	Altitude (z)		NUTS III	z (ref)
Porto	41	m	Grande Porto	94
Graus-dia	1165			
Zona climática de Inverno	I1		Zona climática de verão	V2
Temperatura média exterior de Inverno	10,3		Temperatura média exterior de Verão	20,9
Duração do Inverno (meses)	6,09		Duração do Verão (meses)	4

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL

Compartimento	Área (m ²)	Pé Direito (m)	% Área	Volume (m ³)
Cozinha	12,49	2,8	14,27	34,97
Sala	15,38	2,8	17,58	43,06
Arrumos	2,54	2,8	2,90	7,11
WC de serviço	2,54	2,8	2,90	7,11
WC	5,84	2,8	6,67	16,35
Hall	3,98	2,8	4,55	11,14
Quarto 1	12,44	2,8	14,22	34,83
Quarto 2	12,44	2,8	14,22	34,83
Quarto 3	12,44	2,8	14,22	34,83
Corredor	7,41	2,8	8,47	20,75
TOTAL	87,5	2,8	100,00	245,00

ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exterior e PTP's

Tipo de Solução	ID	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)
Parede dupla c/ isolamento térmico no espaço de ar	PDE1	1,56	0,64
PTP nos pilares	PTP1	1,20	0,83
PTP na caixa de estores	PTP2	1,33	0,75

Tipo de solução	Solução adjacente associada	Cor	Fachada Ventilada ?	Área (m ²)	A. envidraçado (m ²)	U (W/m ² .°C)	Área efetiva(m ²)	U máx (W/m ² .°C)
PDE1	-	Clara	Não	17,68	5,55	0,64	12,13	0,50
PDE1	-	Clara	Não	41,11	4,30	0,64	36,81	0,50
PDE1	-	Clara	Não	21,24	7,58	0,64	13,66	0,50
PTP1	PDE1	Clara	Não	0,56	0,00	0,83	0,56	-
PTP1	PDE1	Clara	Não	0,56	0,00	0,83	0,56	-
PTP1	PDE1	Clara	Não	0,56	0,00	0,83	0,56	-
PTP2	PDE1	Clara	Não	0,80	0,00	0,75	0,80	-
PTP2	PDE1	Clara	Não	0,33	0,00	0,75	0,33	-
PTP2	PDE1	Clara	Não	1,16	0,00	0,75	1,16	-

Tipo de Solução	Áreas por orientação (m ²)								Área Total (m ²)	U (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO			
PDE1	0	0	12,13	0	36,81	0	13,66	0	62,6	0,64	0,50
PTP1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,83	-
PTP2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	-

Pavimentos exteriores

Tipo de Solução	ID	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)
-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem pavimentos exteriores.

Coberturas exteriores

Tipo de Solução	ID	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)
-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem coberturas exteriores.

Vãos envidraçados exteriores

Tipo de solução	ID	Descrição da caixilharia e do envidraçado	Tipo de Proteção
Envidraçado exterior duplo	VE1	Caixilharia metálica sem corte térmico com vidro simples	Proteção pelo interior: Persiana de réguas plásticas com cor clara
Envidraçado exterior simples	VE2	Caixilharia metálica sem corte térmico com vidro duplo	Proteção pelo interior: Persiana de réguas plásticas com cor clara

Tipo de solução	U _{wdn} (W/m ² .°C)	U _{ref} (W/m ² .°C)	Área (m ²)	g _r	g _{TP}
VE1	6,96	2,90	7,79	0,07	0,86
VE2	3,36	2,90	10,54	0,04	0,70

Vão envidraçado	Orientação	Área (m ²)	Vidro	Estação de Aquecimento			Estação de Aquecimento			g _i	g _v	g _{Tmáx}	
				α horizonte (°)	α (°)	β _{esq.} (°)	β _{dir.} (°)	α	β _{esq.} (°)				β _{dir.} (°)
1 (VE1)	Este	2,40	Simple	0	56	45	0	56	45	0	0,77	0,35	0,26
2 (VE2)	Este	1,65	Duplo	0	64	0	0	64	0	0	0,63	0,26	0,26
3 (VE1)	Este	2,40	Simple	0	46	0	0	46	0	45	0,77	0,35	0,34
4 (VE1)	Sul	1,43	Simple	0	0	0	45	0	0	0	0,77	0,32	0,34
5 (VE1)	Sul	0,78	Simple	0	37	0	0	37	0	0	0,77	0,32	0,56
6 (VE1)	Oeste	0,78	Simple	0	71	0	0	71	0	0	0,77	0,35	0,56
7 (VE2)	Oeste	4,40	Duplo	0	42	0	0	42	0	45	0,63	0,26	0,24
8 (VE2)	Oeste	2,40	Duplo	0	0	0	45	0	0	0	0,63	0,26	0,44
9 (VE2)	Sul	1,65	Duplo	0	51	0	0	51	0	0	0,63	0,23	0,16
10 (VE2)	Sul	0,44	Duplo	0	51	0	0	51	0	0	0,63	0,23	0,16

Vãos opacos exteriores

Designação	Orientação	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)
-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem vãos opacos exteriores.

Pavimentos térreos

Designação	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)
-	-	-

Observações: No caso prático não existem pavimentos térreos.

Pavimentos enterrados

Designação	Profundidade, Z (m)	U (W/m ² .°C)
-	-	-

Observações: No caso prático não existem pavimentos enterrados.

Paredes enterradas

Designação	Profundidade, Z (m)	U (W/m ² .°C)
-	-	-

Observações: No caso prático não existem paredes enterradas.

Pontes térmicas lineares exteriores

Tipo de solução	ID	Comprimento (m)	Ψ (W/m.°C)
Fachada com varanda	PTLE1	4,86	0,55
Fachada com cobertura e isolamento sobre a laje de cobertura	PTLE2	30,95	1,00
Fachada com caixilharia e o isolamento térmico da parede não contacta com a caixilharia	PTLE3	55,70	0,25
Duas paredes verticais em ângulo saliente	PTLE4	16,80	0,50
Zona de caixa de estores	PTLE5	6,10	0,30
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido com isolamento sobre o pavimento.	PTLE6	30,95	0,35

ENVOLVENTE INTERIOR**Definição da envolvente interior**

Espaço não útil	Ai (m ²)	Au (m ²)	Ai/Au	V _{ENU} (m ³)	Ventilação	btr
Desvão não útil	78,93	84,21	0,94	192,01	Forte (F)	1
Desvão sanitário	104,33	26,19	3,98	155,25	fraca (f)	0,5

Paredes interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas

Tipo de solução	ID	Espaço não útil	btr	Solução adjacente associada	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
Solução corrente	PAR.I	Edifício adjacente	0,60	-	40,88	0,61	1,00
Ponte Térmica Plana	PTP (pilares)	Edifício adjacente	0,60	PAR.I	1,12	0,78	1,00

Pavimentos interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas

Tipo de solução	ID	Espaço não útil	btr	Solução adjacente associada	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
Solução corrente	PAV.I	Desvão sanitário	0,50	-	87,50	0,72	0,80

Coberturas interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas

Tipo de solução	ID	Espaço não útil	btr	Solução adjacente associada	Área (m ²)	Uascend. (W/m ² .°C)	Udesc. (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
Solução corrente	COB.I	Desvão não útil	1,00	-	87,50	0,51	0,47	0,40

Vãos envidraçados interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas

Tipo de solução	ID	Espaço não útil	btr	Solução adjacente associada	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
-	-	-	-	-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem envidraçados interiores

Pontes térmicas lineares interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas

Tipo de solução	ID	Espaço não útil	btr	Solução adjacente associada	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
-	-	-	-	-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem pontes térmicas lineares interiores.

VENTILAÇÃO

Aberturas de adm. de ar na fachada	Tipo de abertura	Área livre (cm ²)	Condutas de ventilação natural s/obstrução significativa	Tipo de escoamento
Sim	Fixa	240	Sim	Só exaustão

Tipo de edifício	Local	Rugosidade	Região	Altitude do local (m)	N fachadas	H edifício (m)
Habitação	Matosinhos	III	B	41	3	3,52

Rph, estimado (h ⁻¹)	Rph, mínimo (h ⁻¹)	Rph,i (h ⁻¹)	Rph,v (h ⁻¹)
0,43	0,40	0,75	0,75

SISTEMAS TÉCNICOS

Tipo de equipamento	ID	Fonte de energia	Número de unidades	Marca
Esquentador	ESQ.	Gás Butano	1	Vulcano

Eletricidade, Gás (natural, propano, butano), Gasóleo, Biomassa (sólida, líquida, gasosa)

Tipo de sistema	Função	Potência (kW)	Eficiência do equip.	Fração servida	Consumo de energia final (kW)
ESQ.	Águas Quentes Sanitárias	19,60	0,80	1	2971,61

Solar, Eólica, Hídrica, Geotérmica

Tipo de sistema	Função	Potência (kW)	Eficiência do equip.	Fração servida	Consumo de energia final (kW)
-	-	-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem sistemas técnicos (solar, eólica, hídrica ou geotérmica)

BALANÇO ENERGÉTICO

Indicadores energéticos

Sigla	Descrição	Valor	Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	62,55	76,79
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	6,16	9,13
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377,00	2377
Wvn	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00	0
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0,00	0
Eren, ext.	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)	0,00	0
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	195,33	231,71

Ntc/Nt
0,85

Classe energética
B-

Indicadores de desempenho

	Valor de referência (kWh/m ² .ano)	Valor do edifício (kWh/m ² .ano)	Renovável (%)
Arrefecimento	76,79	62,55	0,00
Aquecimento	3,26	2,20	0,00
AQS	31,59	33,96	0,00

Energia renovável (%)	0,00
-----------------------	------

Emissões de CO ₂ (t/ano)	2,55
-------------------------------------	------

Indicadores de aquecimento

Paredes (W/°C)		
Hext	H _{enu adjacente}	Hecs
0,00	14,96	0,00

PTP (W/°C)	
Hext	H _{enu adjacente}
3,11	0,52

Portas (W/°C)	
Hext	H _{enu adjacente}
0,00	0,00

PTL (W/°C)	
Hext	H _{enu adjacente}
68,61	0,00

Pavimentos (W/°C)		
Hext	H _{enu adjacente}	Hecs
0,00	31,50	0,00

Coberturas (W/°C)	
Hext	H _{enu adjacente}
0,00	44,63

Vão envidraçado (W/°C)	
Hext	H _{enu adjacente}
89,63	0,00

Renovação de Ar (W/°C)
Hve
62,48

Indicadores de arrefecimento

Paredes (kWh)
Qsol,v EXT
313,26

Coberturas	
Qsol,v EXT	Qsol, Desv
0,00	526,40

Portas (kWh)
Qsol,v EXT
0,00

Vãos Envidraçados (kWh)
Qsol,v EXT
1149,23

Ganhos Internos (kWh)
Qint,v
1024,80

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Transferência de calor por transmissão de referência

ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores

Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)	Paredes exteriores	Área (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	U _{ref} .A (W/°C)
<i>correção quando a área do envidraçado excede 20% da área útil</i>				0,83	0,50	0,42
12,13	0,64	7,76	PDE1	12,13	0,50	6,07
36,81	0,64	23,56	PDE1	36,81	0,50	18,41
13,66	0,64	8,74	PDE1	13,66	0,50	6,83
0,56	0,83	0,47	PTP1	0,56	0,50	0,28
0,56	0,83	0,47	PTP1	0,56	0,50	0,28
0,56	0,83	0,47	PTP1	0,56	0,50	0,28
0,80	0,75	0,60	PTP2	0,80	0,50	0,40
0,33	0,75	0,25	PTP2	0,33	0,50	0,16
1,16	0,75	0,87	PTP2	1,16	0,50	0,58
TOTAL		43,18		TOTAL_{ref.}		33,70

Pavimentos em contacto com o exterior

Observações: No caso prático não existem pavimentos em contacto com o exterior.

Coberturas em contacto com o exterior

Observações: No caso prático não existem coberturas em contacto com o exterior.

Vãos envidraçados exteriores

Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)	Vãos envidraçados	Área (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	U _{ref} .A (W/°C)
2,40	6,96	16,70	1 (VE1)	2,29	2,90	6,64
1,65	3,36	5,54	2 (VE2)	1,58	2,90	4,58
2,40	6,96	16,70	3 (VE1)	2,29	2,90	6,64
1,43	6,96	9,95	4 (VE1)	1,37	2,90	3,97
0,78	6,96	5,43	5 (VE1)	0,74	2,90	2,15
0,78	6,96	5,43	6 (VE1)	0,74	2,90	2,15
4,40	3,36	14,78	7 (VE2)	4,20	2,90	12,18
2,40	3,36	8,06	8 (VE2)	2,29	2,90	6,64
1,65	3,36	5,54	9 (VE2)	1,58	2,90	4,58
0,44	3,36	1,48	10 (VE2)	0,42	2,90	1,22
TOTAL		89,63		TOTAL_{ref.}		50,75

Vãos opacos exteriores

Observações: No caso prático não existem vãos opacos exteriores.

Pontes térmicas lineares

	Ψ (W/m.°C)	B (m)	B * Ψ (W/°C)
Fachada com varanda	0,55	4,86	2,67
Fachadas com cobertura	1,00	30,95	30,95
Fachada com caixilharia	0,25	55,70	13,93
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,50	16,80	8,40
Zona de caixa de estores	0,30	6,10	1,83
Fachada com pavimento sobre ENU	0,35	30,95	10,83
TOTAL			68,61

	Ψ_{ref} (W/m.°C)	B (m)	B * Ψ_{ref} (W/°C)
Fachada com varanda	0,50	4,86	2,43
Fachadas com cobertura	0,50	30,95	15,48
Fachada com caixilharia	0,20	55,70	11,14
Desvão não útil	0,40	16,80	6,72
Desvão sanitário	0,20	6,10	1,22
Fachada com pavimento sobre ENU	0,50	30,95	15,48
TOTAL ref.			52,46

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior, Hext	201,42	W/°C
--	---------------	-------------

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior, Hext	136,91	W/°C
	referência	

ENVOLVENTE INTERIOR

Paredes em contacto com ENU's

Observações: No caso prático não existem paredes em contacto com ENU's.

Paredes em contacto com o edifício adjacente

	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr	A.U.btr
PAR.I	40,88	0,61	0,60	14,96
PTP (pilares)	1,12	0,78	0,60	0,52
TOTAL				15,49

	Área (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	btr	A.U. _{ref} .btr
PAR.I	40,88	1,00	0,60	24,53
PTP (pilares)	1,12	1,00	0,60	0,67
TOTAL ref.				25,20

Pavimentos sobre ENU's

	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr	A.U.btr
PAV.I	87,50	0,72	0,50	31,50
			TOTAL	31,50

	Área (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	btr	A.U _{ref} .btr
PAV.I	87,50	0,80	0,50	35,00
			TOTAL_{ref.}	35,00

Coberturas interiores sob ENU

	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr	A.U.btr
COB.I	87,50	0,50	1,00	43,75
			TOTAL	43,75

	Área (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	btr	A.U _{ref} .btr
COB.I	87,50	0,40	1,00	35,00
			TOTAL_{ref.}	35,00

Vãos em contacto com ENU's

Observações: No caso prático não existem vãos opacos em contacto com ENU's.

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior, Hint	90,74	W/°C
--	-------	------

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior, Hint	95,20	W/°C
	<small>referência</small>	

ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Observações: No caso prático não existem nenhum elemento em contacto com o solo.

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo, Hecs	0,00	W/°C
--	------	------

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo, Hecs	0,00	W/°C
	<small>referência</small>	

RESULTADOS OBTIDOS

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento

Valores do caso prático

Hext	201,42	W/°C
	+	
Henu + Hadj	90,74	W/°C
	+	
Hecs	0,00	W/°C
	=	
Htr	292,16	W/°C

Valores de referência

Hext	136,91	W/°C
	+	
Henu + Hadj	95,20	W/°C
	+	
Hecs	0,00	W/°C
	=	
Htr	232,11	W/°C

Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento

Valores do caso prático

Hext	201,42	W/°C
	+	
Henu	75,25	W/°C
	+	
Hecs	0,00	W/°C
	=	
Htr	276,67	W/°C

Valores de referência

Hext	136,91	W/°C
	+	
Henu	70,00	W/°C
	+	
Hecs	0,00	W/°C
	=	
Htr	206,91	W/°C

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Ventilação

ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

	1	
Rendimento do sistema de recuperação de calor, $\eta_{RC,i}$	-	
	x	
Caudal médio diário insuflado, V_{ins}	0 m ³ /h	
	÷	
$R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d$	183,75 m ³ /h	
Factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor $b_{ve,e}$	= 1,00	
	x	
	0,34	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento $R_{ph,i}$	0,75 h ⁻¹	$R_{ph,i,ref}$ 0,60 h ⁻¹
	x	
Área útil do pavimento, A_p	87,50 m ²	A_p 87,50 m ²
	x	
Pé-direito do edifício em estudo, P_d	2,80 m	P_d 2,80 m
	=	
Coefficiente de transferência de calor por ventilação $H_{ve,i}$	62,48 W/°C	$H_{ve,i}$ 49,98 W/°C

ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

	1	
	-	
Rendimento do sistema de recuperação de calor, $\eta_{RC,v}$	0	
	x	
Caudal médio diário insuflado, V_{ins}	0 m ³ /h	
	÷	
$R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d$	183,75 m ³ /h	
Factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor $b_{ve,e}$	= 1,00	
	x	
	0,34	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento $R_{ph,v}$	0,75 h ⁻¹	
	x	
Área útil do pavimento, A_p	87,50 m ²	
	x	
é-direito do edifício em estudo, P_d	2,80 m	
	=	
Coefficiente de transferência de calor por ventilação $H_{ve,v}$	62,48 W/°C	

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Ganhos Térmicos Úteis na Estação de Aquecimento

GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned}
 & 0,72 \\
 & \times \\
 \text{Ganhos internos médios, } q_{\text{int}} & \boxed{4} \text{ W/m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Duração da estação de aquecimento, } M & \boxed{6,09} \text{ meses} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento, } A_p & \boxed{87,5} \text{ m}^2 \\
 & = \\
 \text{Ganhos internos brutos, } Q_{\text{int},i} & \boxed{1535,69} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

GANHOS SOLARES

Envidraçado	Orientação	g_i	Área (m ²)	$F_{s,i}$	F_g	$A_{s,i}$	X	X.A _{s,i}
1 (VE1)	Este	0,77	2,40	0,67	0,70	0,87	0,56	0,49
2 (VE2)	Este	0,63	1,65	0,64	0,70	0,47	0,56	0,26
3 (VE1)	Este	0,77	2,40	0,73	0,70	0,95	0,56	0,53
4 (VE1)	Sul	0,77	1,43	0,88	0,70	0,68	1,00	0,68
5 (VE1)	Sul	0,77	0,78	0,66	0,70	0,28	1,00	0,28
6 (VE1)	Oeste	0,77	0,78	0,64	0,70	0,27	0,56	0,15
7 (VE2)	Oeste	0,63	4,40	0,76	0,70	1,47	0,56	0,82
8 (VE2)	Oeste	0,63	2,40	0,90	0,70	0,95	0,56	0,53
9 (VE2)	Sul	0,63	1,65	0,53	0,70	0,39	1,00	0,39
10 (VE2)	Sul	0,63	0,44	0,53	0,70	0,10	1,00	0,10
							TOTAL	4,24

Em nenhum caso o produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser menor que 0,27.

Para contabilizar o efeito do contorno do vão o produto $F_o \cdot F_f$ deve ser inferior ou igual a 0,9, excepto nos casos em que o vão envidraçado esteja à face exterior da parede.

Área efectiva total equivalente na orientação a

$$\begin{aligned}
 & \text{Sul } \boxed{4,24} \text{ m}^2 \\
 \text{Radiação média incidente num envidraçado} & \times \\
 \text{vertical a Sul } G_{\text{sul}} & \boxed{130} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês} \\
 & \times \\
 \text{Duração da estação de aquecimento } M & \boxed{6,09} \text{ meses} \\
 & = \\
 \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} & \boxed{3360,72} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} &\text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} \quad \boxed{1535,69} \text{ kWh/ano} \\ &\quad + \\ &\text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} \quad \boxed{3360,72} \text{ kWh/ano} \\ &\quad = \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad \boxed{4896,41} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

Radiação média incidente num envidraçado

vertical a Sul G_{sol} $\boxed{130}$ kWh/m².mês

x

$\boxed{0,182}$

x

$\boxed{0,2}$

x

Área útil de pavimento, A_p $\boxed{87,50}$ m²

x

Duração da estação de aquecimento, M $\boxed{-}$ meses

=

Ganhos solares brutos $Q_{\text{sol},i}$ $\boxed{414,05}$ kWh/ano

+

Ganhos internos brutos $Q_{\text{int},i}$ $\boxed{1535,69}$ kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$ $\boxed{1949,74}$ kWh/ano

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Ganhos Térmicos Úteis na Estação de Arrefecimento

GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned}
 & \text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} \quad \boxed{4} \text{ W/m}^2 \\
 & \quad \times \\
 & \text{Duração da estação de arrefecimento } L_v \quad \boxed{2928} \text{ horas} \\
 & \quad \times \\
 & \text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{87,50} \text{ m}^2 \\
 & \quad \div \\
 & \quad 1000 \\
 & \quad = \\
 & \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,v}} \quad \boxed{1024,80} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

GANHOS SOLARES

Vãos envidraçados

Envidraçado	Orientação	Área (m ²)	Vidro	F _g	F _{w,v}	F _{m,v}	g _r	g _{r,p}
1 (VE1)	Este	2,40	Simples	0,70	0,90	0,60	0,07	0,77
2 (VE2)	Este	1,65	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,04	0,60
3 (VE1)	Este	2,40	Simples	0,70	0,90	0,60	0,07	0,77
4 (VE1)	Sul	1,43	Simples	0,70	0,90	0,60	0,07	0,69
5 (VE1)	Sul	0,78	Simples	0,70	0,90	0,60	0,07	0,69
6 (VE1)	Oeste	0,78	Simples	0,70	0,90	0,60	0,07	0,77
7 (VE2)	Oeste	4,40	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,04	0,60
8 (VE2)	Oeste	2,40	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,04	0,60
9 (VE2)	Sul	1,65	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,04	0,53
10 (VE2)	Sul	0,44	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,04	0,53

Envidraçado	g _v	As _v	Fs _v	I _{SOL}	I _{SOL} · Fs _v · As _v
1 (VE1)	0,35	0,59	0,55	490	159,72
2 (VE2)	0,26	0,30	0,55	490	81,06
3 (VE1)	0,35	0,59	0,59	490	179,90
4 (VE1)	0,32	0,32	0,90	425	121,64
5 (VE1)	0,32	0,17	0,59	425	43,69
6 (VE1)	0,35	0,19	0,55	490	51,81
7 (VE2)	0,26	0,81	0,64	490	249,76
8 (VE2)	0,26	0,44	0,90	490	192,93
9 (VE2)	0,24	0,27	0,54	425	61,37
10 (VE2)	0,24	0,07	0,54	425	16,37
TOTAL					1149,23

Envolvente exterior opaca

Parede	Orientação	α	Área efetiva (m ²)	U (W/m ² .°C)	Rse (m ² .°C/W)
PDE1	Este	0,40	12,13	0,64	0,04
PDE1	Sul	0,40	36,81	0,64	0,04
PDE1	Oeste	0,40	13,66	0,64	0,04
PTP1	Este	0,40	0,56	0,83	0,04
PTP1	Sul	0,40	0,56	0,83	0,04
PTP1	Oeste	0,40	0,56	0,83	0,04
PTP2	Este	0,40	0,80	0,75	0,04
PTP2	Sul	0,40	0,33	0,75	0,04
PTP2	Oeste	0,40	1,16	0,75	0,04

Parede	As	Fs	I _{SOL}	I _{SOL} · Fs · As
PDE1	0,12	1,00	490	60,86
PDE1	0,38	1,00	425	160,22
PDE1	0,14	1,00	490	68,53
PTP1	0,01	1,00	490	3,64
PTP1	0,01	1,00	425	3,16
PTP1	0,01	1,00	490	3,64
PTP2	0,01	1,00	490	4,70
PTP2	0,00	1,00	425	1,66
PTP2	0,01	1,00	490	6,84
TOTAL				313,26

Cobertura exterior

Observações: No caso prático não foi contabilizado nenhuma cobertura exterior.

Cobertura interior

Cobertura	α	Área efetiva (m ²)	U (W/m ² .°C)	Rse (m ² .°C/W)	As
COB.I	0,4	87,50	0,47	0,04	0,66

Cobertura	Fs	I _{SOL}	I _{SOL} · Fs · As
0	1	800	526,40

Vãos opacos exteriores

Observações: No caso prático não existem vãos opacos exteriores

Ganhos solares brutos pelos elementos da
 envolvente envidraçada 1149,23 kWh/ano
 Ganhos solares brutos pelos elementos da +
 envolvente opaca 839,66 kWh/ano
 =
 Ganhos Solares brutos Q_{SOL,v} 1988,89 kWh/ano

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} &\text{Ganhos internos brutos, } Q_{\text{int,v}} \quad \boxed{1024,80} \text{ kWh/ano} \\ &\quad + \\ &\text{Ganhos solares brutos, } Q_{\text{sol,v}} \quad \boxed{1988,89} \text{ kWh/ano} \\ &\quad = \\ &\text{Ganhos térmicos brutos, } Q_{\text{g,v}} \quad \boxed{3013,69} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &\text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} \quad \boxed{4} \text{ W/m}^2 \\ &\quad \times \\ &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad \boxed{2928} \text{ horas} \\ &\quad \div \\ &\quad \boxed{1000} \\ &\quad + \\ &\text{Fator solar de verão de referência } g_{v \text{ REF}} \quad \boxed{0,43} \\ &\quad \times \\ &\quad A_w/A_{p \text{ REF}} \quad \boxed{0,2} \\ &\quad \times \\ &\text{Radiação solar média de referência } I_{\text{sol REF}} \quad \boxed{490} \text{ kWh/m}^2.\text{a} \\ &\quad = \\ &\quad \boxed{53,85} \text{ kWh/m}^2.\text{a} \\ &\quad \times \\ &\text{Área útil de Pavimento } A_p \quad \boxed{87,5} \text{ m}^2 \\ &\text{Ganhos de calor brutos na estação de} \\ &\text{arrefecimento } Q_{\text{g,v REF}} \quad \boxed{4712,05} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

NecessidadeS Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento

COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 292,16 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & + \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 62,48 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} \quad \mathbf{354,64} \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr, REF} \quad 232,11 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$+ \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,l, REF} \quad 49,98 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$= \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,l, REF} \quad \mathbf{282,09} \text{ W/}^\circ\text{C}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1.165 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 292,16 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento} \\ & Q_{tr,i} \quad \mathbf{8.170,06} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1.165 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr, REF} \quad 232,11 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento} \\ & Q_{tr,i, REF} \quad \mathbf{6.490,91} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1.165 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,l} \quad 62,48 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de} \\ & \text{aquecimento } Q_{ve,i} \quad \mathbf{1.747,10} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

		0,024	
		x	
Número de graus-dias de aquecimento GD		1.165	°C.dias
		x	
Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,i REF}$		49,98	W/°C
		=	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i REF}$		1.397,68	kWh/ano

FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Inércia do edifício		Média	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$		4896,41	kWh/ano
Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar		÷	
		$Q_{tr,i}+Q_{ve,i}$	9917,16
		=	
parâmetro γ_i		0,49	
parâmetro a_i		2,60	W/°C
Factor de utilização dos ganhos η_i		0,91	
		x	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$		4896,41	kWh/ano
		=	
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$		4466,89	kWh/ano
Factor de utilização dos ganhos $\eta_{i REF}$		0,6	
		x	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i REF}$		1949,74	kWh/ano
		=	
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i REF}$		1169,84	kWh/ano

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento		$Q_{tr,i}$	8170,06	kWh/ano
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$		+	1747,10	kWh/ano
		-		
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$			4466,89	kWh/ano
		=		
Necessidades Anuais na estação de aquecimento			5450,27	kWh/ano
		÷		
Área útil de pavimento A_p			87,50	m ²
		=		
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic}			62,29	kWh/m ² .ano

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento

$Q_{tr,i REF}$ 6490,91 kWh/ano

Transferência de calor por renovação do ar na estação de

+

aquecimento $Q_{ve,i REF}$ 1397,68 kWh/ano

-

Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i REF}$ 1169,84 kWh/ano

=

Necessidades Anuais na estação de aquecimento 6718,75 kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p 87,50 m²

=

Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_i

76,79 kWh/m².ano

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

NecessidadeS Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento

COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 276,67 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad + \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 62,48 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad = \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 339,15 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 276,67 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad \times \\ & (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 4 \text{ }^\circ\text{C} \\ & \quad \times \\ & \text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\ & \quad \div \\ & \quad 1000 \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento} \\ & \quad = \\ & Q_{tr,v} \quad 3321,36 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 276,67 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad \times \\ & (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 4 \text{ }^\circ\text{C} \\ & \quad \times \\ & \text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\ & \quad \div \\ & \quad 1000 \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de} \\ & \text{arrefecimento } Q_{ve,v} \quad 750,00 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} & \text{Inércia do edifício} \quad \text{Média} \\ & \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad 3013,69 \text{ kWh/ano} \\ & \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar} \\ & \quad \div \\ & \quad Q_{tr,v} + Q_{ve,v} \quad 4071,36 \text{ kWh/ano} \\ & \quad = \\ & \text{parâmetro } \gamma_v \quad 0,74 \\ & \text{parâmetro } a_v \quad 2,60 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_v \quad 0,82 \end{aligned}$$

Factor de utilização dos ganhos $\eta_{v, REF}$ 0,83

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_v)$ 0,18

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ 3013,69 kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p 87,50 m²

=

Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento

N_{vc} 6,19 kWh/m².ano

$(1 - \eta_{v, REF})$ 0,17

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v, REF}$ 4712,05 kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p 87,50 m²

=

Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento

N_v 9,13 kWh/m².ano

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária

Necessidades Nominais de Energia Primária para Aquecimento

Sistema de Aquecimento	Fonte de Energia	Nic (kWh/m ² .ano)	fl	δ	η _i	F _{pui} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano fl.δ.N _{ic} ·F _{pui} /η _i
Sistema por defeito	Eletricidade	62,29	1	1	1	2,5	155,72

Sistema de Aquecimento	Fonte de Energia	Nic _{REF} (kWh/m ² .ano)	fl	δ	η _i	F _{pui} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano fl.δ.N _{ic,REF} ·F _{pui} /η _i
Sistema por defeito	Eletricidade	76,79	1	1	1	2,5	191,96

Necessidades Nominais de Energia Primária para Arrefecimento

Sistema de Aquecimento	Fonte de Energia	Nvc (kWh/m ² .ano)	fl	δ	η _v	F _{puv} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano fl.δ.N _{vc} ·F _{puv} /η _i
Sistema por defeito	Eletricidade	6,19	1	1	2,8	2,5	5,53

Sistema de Aquecimento	Fonte de Energia	Nvc _{REF} (kWh/m ² .ano)	fl	δ	η _i	F _{pui} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano fl.δ.N _{ic,REF} ·F _{pui} /η _i
Sistema por defeito	Eletricidade	9,13	1	1	2,8	2,5	8,15

Necessidades Nominais de Energia Primária para Produção de AQS

Consumo de AQS

$$\begin{aligned} & \text{Número convencional de ocupantes de cada fracção, } n \begin{matrix} 40 \\ \times \\ 4 \end{matrix} \text{ ocupantes} \\ & \text{Fator de eficiência hídrica} \begin{matrix} \times \\ 1 \\ = \end{matrix} \\ & \text{Consumo médio diário de referência, } M_{\text{AQS}} \begin{matrix} 160 \end{matrix} \text{ l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Número convencional de ocupantes de cada fracção, } n_{\text{ref}} \begin{matrix} 40 \\ \times \\ 4 \end{matrix} \text{ ocupantes} \\ & \text{Fator de eficiência hídrica de referência} \begin{matrix} \times \\ 1 \\ = \end{matrix} \\ & \text{Consumo médio diário de referência, } M_{\text{AQS,REF}} \begin{matrix} 160 \end{matrix} \text{ l} \end{aligned}$$

Necessidades Nominais de Energia Primária para produção de AQS

$$\text{Consumo médio diário de referência, } M_{\text{AQS}} \boxed{160} \text{ l} \\ \times \\ 4187$$

$$\times \\ \text{Aumento de temperatura, } \Delta T \boxed{35} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\times \\ \text{Número de dias de consumo } \boxed{365} \text{ dias} \\ \div \\ 3600000$$

$$\div \\ \text{Área útil do pavimento, } A_p \boxed{87,5} \text{ m}^2$$

Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS,

$$= \\ Q_a/A_p \boxed{27,17} \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$$

$$\text{Consumo médio diário de referência, } M_{\text{AQS REF}} \boxed{160} \text{ l} \\ \times \\ 4187$$

$$\times \\ \text{Aumento de temperatura, } \Delta T \boxed{35} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\times \\ \text{Número de dias de consumo } \boxed{365} \text{ dias} \\ \div \\ 3600000$$

$$\div \\ \text{Área útil do pavimento, } A_p \boxed{87,5} \text{ m}^2$$

Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS,

$$= \\ Q_a/A_p \boxed{27,17} \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$$

Sistema para AQS	Fonte de Energia	Q_a/A_p (kWh/m ² .ano)	f_a	δ	η_a	F_{pua} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano $f_l \cdot \delta \cdot N_{vc} \cdot F_{puv} / \eta_i$
#REF!	Gás Butano	27,17	1	1	0,8	1	33,96

Sistema de Aquecimento	Fonte de Energia	Q_a/A_p (kWh/m ² .ano)	f_l	δ	η_i	F_{pui} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano $f_l \cdot \delta \cdot N_{ic,REF} \cdot F_{pui} / \eta_i$
#REF!	Gás Butano	27,17	1	1	0,86	1	31,59

Necessidades Nominais de Energia Primária para Ventilação Mecânica

Energia anual eléctrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica, W_{vm} kWh/ano

÷

Área útil de Pavimento, A_p m²

x

Fator de Conversão, F_{pu} kWh_{EP}/kWh

=

Necessidades anuais de energia primária para o sistema de ventilação kWh_{EP}/m².ano

Necessidades Primária Proveniente de Fontes de Energia Renovável

Observações: No caso prático não existe nenhuma fonte de energia renovável.

Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária

Energia primária para aquecimento	<input type="text" value="155,72"/>	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	<input type="text" value="5,53"/>	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	<input type="text" value="33,96"/>	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	<input type="text" value="0,00"/>	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	<input type="text" value="0,00"/>	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_{tc}	<input type="text" value="195,21"/>	kWh _{EP} /m ² .ano

Energia primária para aquecimento	<input type="text" value="191,96"/>	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para arrefecimento	<input type="text" value="8,15"/>	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária para a preparação de AQS	<input type="text" value="31,59"/>	kWh _{EP} /m ² .ano
	+	
Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica	<input type="text" value="0,00"/>	kWh _{EP} /m ² .ano
	-	
Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável	<input type="text" value="0,00"/>	kWh _{EP} /m ² .ano
	=	
Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_t	<input type="text" value="231,71"/>	kWh _{EP} /m ² .ano

**ANEXO II.II - FOLHAS DE CÁLCULO REH DO EDIFÍCIO EXISTENTE COM AS MEDIDAS
DE MELHORIA**

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

DADOS CLIMÁTICOS

Município	Altitude (z)	NUTS III	z (ref)
Porto	41 m	Grande Porto	94
Graus-dia	1165		
Zona climática de Inverno	I1	Zona climática de verão	V2
Temperatura média exterior de Inverno	10,3	Temperatura média exterior de Verão	20,9
Duração do Inverno (meses)	6,09	Duração do Verão (meses)	4

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL

Compartimento	Área (m ²)	Pé Direito (m)	% Área	Volume (m ³)
Cozinha	12,49	2,8	14,27	34,97
Sala	15,38	2,8	17,58	43,06
Arrumos	2,54	2,8	2,90	7,11
WC de serviço	2,54	2,8	2,90	7,11
WC	5,84	2,8	6,67	16,35
Hall	3,98	2,8	4,55	11,14
Quarto 1	12,44	2,8	14,22	34,83
Quarto 2	12,44	2,8	14,22	34,83
Quarto 3	12,44	2,8	14,22	34,83
Corredor	7,41	2,8	8,47	20,75
TOTAL	87,5	2,8	100,00	245,00

ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exterior e PTP's

Tipo de Solução	ID	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)
Parede dupla c/ isolamento térmico no espaço de ar	PDE1	3,70	0,27
PTP nos pilares	PTP1	3,33	0,30
PTP na caixa de estores	PTP2	3,45	0,29

Tipo de solução	Solução adjacente associada	Cor	Fachada Ventilada ?	Área (m ²)	A. envidraçado (m ²)	U (W/m ² .°C)	Área efetiva(m ²)	U máx (W/m ² .°C)
PDE1	-	Clara	Não	17,68	5,55	0,27	12,13	0,50
PDE1	-	Clara	Não	41,11	4,30	0,27	36,81	0,50
PDE1	-	Clara	Não	21,24	7,58	0,27	13,66	0,50
PTP1	PDE1	Clara	Não	0,56	0,00	0,30	0,56	-
PTP1	PDE1	Clara	Não	0,56	0,00	0,30	0,56	-
PTP1	PDE1	Clara	Não	0,56	0,00	0,30	0,56	-
PTP2	PDE1	Clara	Não	0,80	0,00	0,29	0,80	-
PTP2	PDE1	Clara	Não	0,33	0,00	0,29	0,33	-
PTP2	PDE1	Clara	Não	1,16	0,00	0,29	1,16	-

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Tipo de Solução	Áreas por orientação (m ²)								Área Total (m ²)	U (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO			
PDE1	0	0	12,13	0	36,81	0	13,66	0	62,6	0,27	0,50
PTP1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30	-
PTP2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,29	-

Pavimentos exteriores

Tipo de Solução	ID	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)
-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem pavimentos exteriores.

Coberturas exteriores

Tipo de Solução	ID	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)
-	-	-	-

Obesrvações: No caso prático não existem coberturas exteriores.

Vãos envidraçados exteriores

Tipo de solução	ID	Descrição da caixilharia e do envidraçado	Tipo de Proteção
Envidraçado exterior duplo	VE1	Caixilharia metálica com corte térmico com vidro duplo	Proteção pelo interior: Persiana de réguas plásticas com cor clara

Tipo de solução	U _{wdn} (W/m ² .°C)	U _{ref} (W/m ² .°C)	Área (m ²)	g _T	g _{TP}
VE1	1,30	2,90	18,33	0,07	0,70

Vão envidraçado	Orientação	Área (m ²)	Vidro	Estação de Aquecimento				Estação de Aquecimento			g _i	g _v	g _{Tmáx}
				α horizonte (°)	α (°)	β _{esq.} (°)	β _{dir.} (°)	α	β _{esq.} (°)	β _{dir.} (°)			
1 (VE1)	Este	2,40	Duplo	100	70	45	0	70	45	0	0,63	0,28	0,26
2 (VE2)	Este	1,65	Duplo	100	70	0	0	70	0	0	0,63	0,28	0,26
3 (VE1)	Este	2,40	Duplo	100	70	0	0	70	0	45	0,63	0,28	0,34
4 (VE1)	Sul	1,43	Duplo	100	70	0	45	70	0	0	0,63	0,25	0,34
5 (VE1)	Sul	0,78	Duplo	100	70	0	0	70	0	0	0,63	0,25	0,56
6 (VE1)	Oeste	0,78	Duplo	100	70	0	0	70	0	0	0,63	0,28	0,56
7 (VE2)	Oeste	4,40	Duplo	100	70	0	0	70	0	45	0,63	0,28	0,24
8 (VE2)	Oeste	2,40	Duplo	100	70	0	45	70	0	0	0,63	0,28	0,44
9 (VE2)	Sul	1,65	Duplo	100	70	0	0	70	0	0	0,63	0,25	0,16
10 (VE2)	Sul	0,44	Duplo	100	70	0	0	70	0	0	0,63	0,25	0,16

Vãos opacos exteriores

Designação	Orientação	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)
-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem vãos opacos exteriores.

Pavimentos térreos

Designação	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)
-	-	-

Observações: No caso prático não existem pavimentos térreos.

Pavimentos enterrados

Designação	Profundidade, Z (m)	U (W/m ² .°C)
-	-	-

Observações: No caso prático não existem pavimentos enterrados.

Paredes enterradas

Designação	Profundidade, Z (m)	U (W/m ² .°C)
-	-	-

Observações: No caso prático não existem paredes enterradas.

Pontes térmicas lineares exteriores

Tipo de solução	ID	Comprimento (m)	Ψ (W/m.°C)
Fachada com varanda	PTLE1	4,86	0,55
Fachada com cobertura e isolamento sobre a laje de cobertura	PTLE2	30,95	1,00
Fachada com caixilharia e o isolamento térmico da parede não contacta com a caixilharia	PTLE3	55,70	0,25
Dois paredes verticais em ângulo saliente	PTLE4	16,80	0,50
Zona de caixa de estores	PTLE5	6,10	0,30
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido com isolamento sobre o pavimento.	PTLE6	30,95	0,35

ENVOLVENTE INTERIOR**Definição da envolvente interior**

Espaço não útil	Ai (m ²)	Au (m ²)	Ai/Au	V _{ENU} (m ³)	Ventilação	btr
Desvão não útil	78,93	84,21	0,94	192,01	Forte (F)	1
Desvão sanitário	104,33	26,19	3,98	155,25	fraca (f)	0,5

Paredes interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas

Tipo de solução	ID	Espaço não útil	btr	Solução adjacente associada	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
Solução corrente	PAR.I	Edifício adjacente	0,60	-	40,88	0,40	1,00
Ponte Térmica Plana	PTP (pilares)	Edifício adjacente	0,60	PAR.I	1,12	0,46	1,00

Pavimentos interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas

Tipo de solução	ID	Espaço não útil	btr	Solução adjacente associada	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
Solução corrente	PAV.I	Desvão sanitário	0,50	-	87,50	0,72	0,80

Coberturas interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas

Tipo de solução	ID	Espaço não útil	btr	Solução adjacente associada	Área (m ²)	Uascend. (W/m ² .°C)	Udesc. (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
Solução corrente	COB.I	Desvão não útil	1,00	-	87,50	0,17	0,16	0,40

Vãos envidraçados interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas

Tipo de solução	ID	Espaço não útil	btr	Solução adjacente associada	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
-	-	-	-	-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem envidraçados interiores

Pontes térmicas lineares interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas

Tipo de solução	ID	Espaço não útil	btr	Solução adjacente associada	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U máx (W/m ² .°C)
-	-	-	-	-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem pontes térmicas lineares interiores.

VENTILAÇÃO

Aberturas de adm. de ar na fachada	Tipo de abertura	Caudal (m ³ /h)	Condutas de ventilação natural s/obstrução significativa	Tipo de escoamento
Sim	Auto-regulável a 20 P	70	Sim	Só exaustão

Tipo de edifício	Local	Rugosidade	Região	Altitude do local (m)	N fachadas	H edifício (m)
Habitação	Matosinhos	III	B	41	3	3,52

Rph, estimado (h ⁻¹)	Rph, mínimo (h ⁻¹)	Rph,i (h ⁻¹)	Rph,v (h ⁻¹)
0,13	0,40	0,40	0,60

SISTEMAS TÉCNICOS

Tipo de equipamento	ID	Fonte de energia	Número de unidades	Marca
Caldeira	CAL.	Biomassa	1	-

Eletricidade, Gás (natural, propano, butano), Gasóleo, Biomassa (sólida, líquida, gasosa)

Tipo de sistema	Função	Potência (kW)	Eficiência do equip.	Fração servida	Consumo de energia final (kW)
CAL	Águas Quentes Sanitárias	24,00	0,90	1	2641,43
CAL	Aquecimento	24,00	0,90	1	3180,93

Solar, Eólica, Hídrica, Geotérmica

Tipo de sistema	Função	Potência (kW)	Eficiência do equip.	Fração servida	Consumo de energia final (kW)
-	-	-	-	-	-

Observações: No caso prático não existem sistemas técnicos (solar, eólica, hídrica ou geotérmica)

BALANÇO ENERGÉTICO

Indicadores energéticos

Sigla	Descrição	Valor	Referência
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	32,72	71,46
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	5,85	9,13
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377,00	2377
Wvn	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)	0,00	0
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	5822,00	0
Eren, ext.	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)	0,00	0
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m ² .ano)	5,22	122,84

Ntc/Nt
0,04

Classe energética
A+

Indicadores de desempenho

	Valor de referência (kWh/m ² .ano)	Valor do edifício (kWh/m ² .ano)	Renovável (%)
Arrefecimento	83,09	36,35	100,00
Aquecimento	3,26	2,09	0,00
AQS	31,59	30,19	100,00

Energia renovável (%)	96,96
-----------------------	-------

Emissões de CO ₂ (t/ano)	0,07
-------------------------------------	------

Indicadores de aquecimento

Paredes (W/°C)		
Hext	H _{enu adjacente}	Hecs
16,90	9,81	0,00

PTP (W/°C)	
Hext	H _{enu adjacente}
1,17	0,31

Portas (W/°C)	
Hext	H _{enu adjacente}
0,00	0,00

PTL (W/°C)	
Hext	H _{enu adjacente}
68,61	0,00

Pavimentos (W/°C)		
Hext	H _{enu adjacente}	Hecs
0,00	31,50	0,00

Coberturas (W/°C)	
Hext	H _{enu adjacente}
0,00	14,88

Vão envidraçado (W/°C)	
Hext	H _{enu adjacente}
29,33	0,00

Renovação de Ar (W/°C)
Hve
33,32

Indicadores de arrefecimento

Paredes (kWh)
Qsol,v EXT
131,06

Coberturas	
Qsol,v EXT	Qsol, Desv
0,00	179,20

Portas (kWh)
Qsol,v EXT
0,00

Vãos Envidraçados (kWh)
Qsol,v EXT
887,08

Ganhos Internos (kWh)
Qint,v
1024,80

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Transferência de calor por transmissão de referência

ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores

Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)	Paredes exteriores	Área (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	U _{ref} .A (W/°C)
<i>correção quando a área do envidraçado excede 20% da área útil</i>				0,83	0,50	0,41
12,13	0,27	3,28	PDE1	12,13	0,50	6,07
36,81	0,27	9,94	PDE1	36,81	0,50	18,41
13,66	0,27	3,69	PDE1	13,66	0,50	6,83
0,56	0,30	0,17	PTP1	0,56	0,50	0,28
0,56	0,30	0,17	PTP1	0,56	0,50	0,28
0,56	0,30	0,17	PTP1	0,56	0,50	0,28
0,80	0,29	0,23	PTP2	0,80	0,50	0,40
0,33	0,29	0,10	PTP2	0,33	0,50	0,17
1,16	0,29	0,34	PTP2	1,16	0,50	0,58
TOTAL		18,07		TOTAL_{ref.}		33,70

Pavimentos em contacto com o exterior

Observações: No caso prático não existem pavimentos em contacto com o exterior.

Coberturas em contacto com o exterior

Observações: No caso prático não existem coberturas em contacto com o exterior.

Vãos envidraçados exteriores

Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)	Vãos envidraçados	Área (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	U _{ref} .A (W/°C)
2,40	1,60	3,84	1 (VE1)	2,29	2,90	6,64
1,65	1,60	2,64	2 (VE2)	1,58	2,90	4,58
2,40	1,60	3,84	3 (VE1)	2,29	2,90	6,64
1,43	1,60	2,29	4 (VE1)	1,37	2,90	3,97
0,78	1,60	1,25	5 (VE1)	0,74	2,90	2,15
0,78	1,60	1,25	6 (VE1)	0,74	2,90	2,15
4,40	1,60	7,04	7 (VE2)	4,20	2,90	12,18
2,40	1,60	3,84	8 (VE2)	2,29	2,90	6,64
1,65	1,60	2,64	9 (VE2)	1,58	2,90	4,58
0,44	1,60	0,70	10 (VE2)	0,42	2,90	1,22
TOTAL		29,33		TOTAL_{ref.}		50,75

Vãos opacos exteriores

Observações: No caso prático não existem vãos opacos exteriores.

Pontes térmicas lineares

	Ψ (W/m.°C)	B (m)	B * Ψ (W/°C)
Fachada com varanda	0,55	4,86	2,67
Fachadas com cobertura	1,00	30,95	30,95
Fachada com caixilharia	0,25	55,70	13,93
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,50	16,80	8,40
Zona de caixa de estores	0,30	6,10	1,83
Fachada com pavimento sobre ENU	0,35	30,95	10,83
TOTAL			68,61

	Ψ_{ref} (W/m.°C)	B (m)	B * Ψ_{ref} (W/°C)
Fachada com varanda	0,50	4,86	2,43
Fachadas com cobertura	0,50	30,95	15,48
Fachada com caixilharia	0,20	55,70	11,14
Desvão não útil	0,40	16,80	6,72
Desvão sanitário	0,20	6,10	1,22
Fachada com pavimento sobre ENU	0,50	30,95	15,48
TOTAL_{ref.}			52,46

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior, Hext	116,01	W/°C
--	---------------	-------------

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior, Hext_{referência}	136,91	W/°C
---	---------------	-------------

ENVOLVENTE INTERIOR

Paredes em contacto com ENU's

Observações: No caso prático não existem paredes em contacto com ENU's.

Paredes em contacto com o edifício adjacente

	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr	A.U.btr
PAR.I	40,88	0,40	0,60	9,81
PTP (pilares)	1,12	0,46	0,60	0,31
TOTAL				10,12

	Área (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	btr	A.U _{ref} .btr
PAR.I	40,88	1,00	0,60	24,53
PTP (pilares)	1,12	1,00	0,60	0,67
TOTAL_{ref.}				25,20

Pavimentos sobre ENU's

	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr	A.U.btr
PAV.I	87,50	0,72	0,50	31,50
			TOTAL	31,50

	Área (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	btr	A.U _{ref} .btr
PAV.I	87,50	0,80	0,50	35,00
			TOTAL_{ref.}	35,00

Coberturas interiores sob ENU

	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	btr	A.U.btr
COB.I	87,50	0,17	1,00	14,88
			TOTAL	14,88

	Área (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	btr	A.U _{ref} .btr
COB.I	87,50	0,40	1,00	35,00
			TOTAL_{ref.}	35,00

Vãos em contacto com ENU's

Observações: No caso prático não existem vãos opacos em contacto com ENU's.

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior, Hint	56,50	W/°C
--	-------	------

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior, Hint	95,20	W/°C
	referência	

ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Observações: No caso prático não existem nenhum elemento em contacto com o solo.

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo, Hecs	0,00	W/°C
--	------	------

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo, Hecs	0,00	W/°C
	referência	

RESULTADOS OBTIDOS

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento

Valores do caso prático

Hext	116,01	W/°C
	+	
Henu + Hadj	56,50	W/°C
	+	
Hecs	0,00	W/°C
	=	
Htr	172,50	W/°C

Valores de referência

Hext	136,91	W/°C
	+	
Henu + Hadj	95,20	W/°C
	+	
Hecs	0,00	W/°C
	=	
Htr	232,11	W/°C

Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento

Valores do caso prático

Hext	116,01	W/°C
	+	
Henu	46,38	W/°C
	+	
Hecs	0,00	W/°C
	=	
Htr	162,38	W/°C

Valores de referência

Hext	136,91	W/°C
	+	
Henu	70,00	W/°C
	+	
Hecs	0,00	W/°C
	=	
Htr	206,91	W/°C

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Ventilação

ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

	1	
Rendimento do sistema de recuperação de calor, $\eta_{RC,i}$	-	
	x	
Caudal médio diário insuflado, V_{ins}	0 m ³ /h	
	÷	
$R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d$	98,00 m ³ /h	
Factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor $b_{ve,e}$	= 1,00	
	x	
	0,34	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento $R_{ph,i}$	x 0,40 h ⁻¹	$R_{ph,i \text{ ref}}$ 0,40 h ⁻¹
	x	
Área útil do pavimento, A_p	x 87,50 m ²	A_p 87,50 m ²
	x	
Pé-direito do edifício em estudo, P_d	x 2,80 m	P_d 2,80 m
	=	=
Coefficiente de transferência de calor por ventilação $H_{ve,i}$	= 33,32 W/°C	$H_{ve,i}$ 33,32 W/°C

ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

	1	
	-	
Rendimento do sistema de recuperação de calor, $\eta_{RC,v}$	0	
	x	
Caudal médio diário insuflado, V_{ins}	0 m ³ /h	
	÷	
$R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d$	147,00 m ³ /h	
Factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor $b_{ve,e}$	= 1,00	
	x	
	0,34	
Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento $R_{ph,v}$	x 0,60 h ⁻¹	
	x	
Área útil do pavimento, A_p	x 87,50 m ²	
	x	
é-direito do edifício em estudo, P_d	x 2,80 m	
	=	
Coefficiente de transferência de calor por ventilação $H_{ve,v}$	= 49,98 W/°C	

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Ganhos Térmicos Úteis na Estação de Aquecimento

GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned}
 & 0,72 \\
 & \times \\
 \text{Ganhos internos médios, } q_{\text{int}} & \boxed{4} \text{ W/m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Duração da estação de aquecimento, } M & \boxed{6,09} \text{ meses} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento, } A_p & \boxed{87,5} \text{ m}^2 \\
 & = \\
 \text{Ganhos internos brutos, } Q_{\text{int},i} & \boxed{1535,69} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

GANHOS SOLARES

Envidraçado	Orientação	g_i	Área (m ²)	$F_{s,i}$	F_g	$A_{s,i}$	X	X.A _{s,i}
1 (VE1)	Este	0,63	2,40	0,37	0,70	0,39	0,56	0,29
2 (VE2)	Este	0,63	1,65	0,37	0,70	0,27	0,56	0,20
3 (VE1)	Este	0,63	2,40	0,37	0,70	0,39	0,56	0,29
4 (VE1)	Sul	0,63	1,43	0,17	0,70	0,11	1,00	0,17
5 (VE1)	Sul	0,63	0,78	0,20	0,70	0,07	1,00	0,09
6 (VE1)	Oeste	0,63	0,78	0,37	0,70	0,13	0,56	0,09
7 (VE2)	Oeste	0,63	4,40	0,37	0,70	0,72	0,56	0,52
8 (VE2)	Oeste	0,63	2,40	0,37	0,70	0,39	0,56	0,29
9 (VE2)	Sul	0,63	1,65	0,20	0,70	0,14	1,00	0,20
10 (VE2)	Sul	0,63	0,44	0,20	0,70	0,04	1,00	0,05
							TOTAL	2,18

Em nenhum caso o produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser menor que 0,27.

Para contabilizar o efeito do contorno do vão o produto $F_o \cdot F_f$ deve ser inferior ou igual a 0,9, excepto nos casos em que o vão envidraçado esteja à face exterior da parede.

Área efectiva total equivalente na orientação a

$$\begin{aligned}
 & \text{Sul } \boxed{2,18} \text{ m}^2 \\
 \text{Radiação média incidente num envidraçado} & \times \\
 \text{vertical a Sul } G_{\text{sul}} & \boxed{130} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês} \\
 & \times \\
 \text{Duração da estação de aquecimento } M & \boxed{6,09} \text{ meses} \\
 & = \\
 \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} & \boxed{1729,06} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} & \quad 1535,69 \quad \text{kWh/ano} \\ & + \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} & \quad 1729,06 \quad \text{kWh/ano} \\ & = \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{\text{g},i} & \quad \mathbf{3264,75} \quad \text{kWh/ano} \end{aligned}$$

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

Radiação média incidente num envidraçado

vertical a Sul G_{sol} kWh/m².mês

x

x

x

Área útil de pavimento, A_p m²

x

Duração da estação de aquecimento, M meses

=

Ganhos solares brutos $Q_{\text{sol},i}$ kWh/ano

+

Ganhos internos brutos $Q_{\text{int},i}$ kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos $Q_{\text{g},i}$ kWh/ano

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Ganhos Térmicos Úteis na Estação de Arrefecimento

GANHOS INTERNOS

$$\begin{aligned}
 & \text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} \quad \boxed{4} \text{ W/m}^2 \\
 & \quad \times \\
 & \text{Duração da estação de arrefecimento } L_v \quad \boxed{2928} \text{ horas} \\
 & \quad \times \\
 & \text{Área útil de pavimento } A_p \quad \boxed{87,50} \text{ m}^2 \\
 & \quad \div \\
 & \quad 1000 \\
 & \quad = \\
 & \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int,v}} \quad \boxed{1024,80} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

GANHOS SOLARES

Vãos envidraçados

Envidraçado	Orientação	Área (m ²)	Vidro	F _g	F _{w,v}	F _{m,v}	g _r	g _{r,p}
1 (VE1)	Este	2,40	Duplo	0,70	0,90	0,60	0,07	0,60
2 (VE2)	Este	1,65	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,07	0,60
3 (VE1)	Este	2,40	Duplo	0,70	0,90	0,60	0,07	0,60
4 (VE1)	Sul	1,43	Duplo	0,70	0,90	0,60	0,07	0,53
5 (VE1)	Sul	0,78	Duplo	0,70	0,90	0,60	0,07	0,53
6 (VE1)	Oeste	0,78	Duplo	0,70	0,90	0,60	0,07	0,60
7 (VE2)	Oeste	4,40	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,07	0,60
8 (VE2)	Oeste	2,40	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,07	0,60
9 (VE2)	Sul	1,65	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,07	0,53
10 (VE2)	Sul	0,44	Duplo	0,70	0,85	0,60	0,07	0,53

Envidraçado	g _v	As _v	Fs _v	I _{SOL}	I _{SOL} · Fs _v · As _v
1 (VE1)	0,28	0,47	0,53	490	121,92
2 (VE2)	0,28	0,33	0,55	490	87,31
3 (VE1)	0,28	0,47	0,51	490	118,11
4 (VE1)	0,25	0,25	0,52	425	55,86
5 (VE1)	0,25	0,14	0,52	425	30,47
6 (VE1)	0,28	0,15	0,55	490	41,27
7 (VE2)	0,28	0,87	0,53	490	223,51
8 (VE2)	0,28	0,47	0,55	490	127,00
9 (VE2)	0,25	0,29	0,52	425	64,45
10 (VE2)	0,25	0,08	0,52	425	17,19
TOTAL					887,08

Envolvente exterior opaca

Parede	Orientação	α	Área efetiva (m ²)	U (W/m ² .°C)	Rse (m ² .°C/W)
PDE1	Este	0,40	12,13	0,27	0,04
PDE1	Sul	0,40	36,81	0,27	0,04
PDE1	Oeste	0,40	13,66	0,27	0,04
PTP1	Este	0,40	0,56	0,30	0,04
PTP1	Sul	0,40	0,56	0,30	0,04
PTP1	Oeste	0,40	0,56	0,30	0,04
PTP2	Este	0,40	0,80	0,29	0,04
PTP2	Sul	0,40	0,33	0,29	0,04
PTP2	Oeste	0,40	1,16	0,29	0,04

Parede	As	Fs	I _{SOL}	I _{SOL} · Fs · As
PDE1	0,05	1,00	490	25,68
PDE1	0,16	1,00	425	67,58
PDE1	0,06	1,00	490	28,92
PTP1	0,00	1,00	490	1,32
PTP1	0,00	1,00	425	1,14
PTP1	0,00	1,00	490	1,32
PTP2	0,00	1,00	490	1,82
PTP2	0,00	1,00	425	0,65
PTP2	0,01	1,00	490	2,64
TOTAL				131,06

Cobertura exterior

Observações: No caso prático não foi contabilizado nenhuma cobertura exterior.

Cobertura interior

Cobertura	α	Área efetiva (m ²)	U (W/m ² .°C)	Rse (m ² .°C/W)	As
COB.I	0,4	87,50	0,16	0,04	0,22

Cobertura	Fs	I _{SOL}	I _{SOL} · Fs · As
0	1	800	179,20

Vãos opacos exteriores

Observações: No caso prático não existem vãos opacos exteriores

Ganhos solares brutos pelos elementos da
envolvente envidraçada **887,08** kWh/ano
 Ganhos solares brutos pelos elementos da +
 envolvente opaca **310,26** kWh/ano
 =
 Ganhos Solares brutos Q_{sol,v} **1197,34** kWh/ano

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} &\text{Ganhos internos brutos, } Q_{\text{int,v}} \quad \boxed{1024,80} \text{ kWh/ano} \\ &\quad + \\ &\text{Ganhos solares brutos, } Q_{\text{sol,v}} \quad \boxed{1197,34} \text{ kWh/ano} \\ &\quad = \\ &\text{Ganhos térmicos brutos, } Q_{\text{g,v}} \quad \boxed{2222,14} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &\text{Ganhos internos médios } q_{\text{int}} \quad \boxed{4} \text{ W/m}^2 \\ &\quad \times \\ &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad \boxed{2928} \text{ horas} \\ &\quad \div \\ &\quad \boxed{1000} \\ &\quad + \\ &\text{Fator solar de verão de referência } g_{v \text{ REF}} \quad \boxed{0,43} \\ &\quad \times \\ &\quad A_w/A_{p \text{ REF}} \quad \boxed{0,2} \\ &\quad \times \\ &\text{Radiação solar média de referência } I_{\text{sol REF}} \quad \boxed{490} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a} \\ &\quad = \\ &\quad \boxed{53,85} \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a} \\ &\quad \times \\ &\text{Área útil de Pavimento } A_p \quad \boxed{87,5} \text{ m}^2 \\ &\text{Ganhos de calor brutos na estação de} \\ &\text{arrefecimento } Q_{\text{g,v REF}} \quad \boxed{4712,05} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

NecessidadeS Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento

COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 172,50 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & + \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 33,32 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} \quad \mathbf{205,82} \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr, REF} \quad 232,11 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & + \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,l, REF} \quad 33,32 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,l, REF} \quad \mathbf{265,43} \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\ 165 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 172,50 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento} \\ & Q_{tr,i} \quad \mathbf{4\ 824,04} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\ 165 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr, REF} \quad 232,11 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento} \\ & Q_{tr,i, REF} \quad \mathbf{6\ 490,91} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ & \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1\ 165 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,l} \quad 33,32 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de} \\ & \text{aquecimento } Q_{ve,i} \quad \mathbf{931,79} \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

		0,024	
		x	
Número de graus-dias de aquecimento GD		1 165	°C.dias
		x	
Coefficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,i REF}$		33,32	W/°C
		=	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i REF}$		931,79	kWh/ano

FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Inércia do edifício		Média	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$		3264,75	kWh/ano
Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar		÷	
		$Q_{tr,i}+Q_{ve,i}$	5755,83
		=	
parâmetro γ_i		0,57	
		=	
parâmetro a_i		2,60	W/°C
		=	
Factor de utilização dos ganhos η_i		0,89	
		x	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$		3264,75	kWh/ano
		=	
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$		2892,98	kWh/ano
		=	
Factor de utilização dos ganhos $\eta_{i REF}$		0,6	
		x	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i REF}$		1949,74	kWh/ano
		=	
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i REF}$		1169,84	kWh/ano

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento		$Q_{tr,i}$	4824,04	kWh/ano
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$		+	931,79	kWh/ano
		=		
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$		-	2892,98	kWh/ano
		=		
Necessidades Anuais na estação de aquecimento			2862,85	kWh/ano
		÷		
Área útil de pavimento A_p			87,50	m ²
		=		
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic}			32,72	kWh/m ² .ano

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento

$Q_{tr,i REF}$ 6490,91 kWh/ano

Transferência de calor por renovação do ar na estação de

+

aquecimento $Q_{ve,i REF}$ 931,79 kWh/ano

-

Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i REF}$ 1169,84 kWh/ano

=

Necessidades Anuais na estação de aquecimento 6252,86 kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p 87,50 m²

=

Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic}

$N_{ic REF}$ 71,46 kWh/m².ano

Factor de utilização dos ganhos $\eta_{v, REF}$ 0,83

NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_v)$ 0,23

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ 2222,14 kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p 87,50 m²

=

Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento

N_{vc} 5,85 kWh/m².ano

$(1 - \eta_{v, REF})$ 0,17

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v, REF}$ 4712,05 kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p 87,50 m²

=

Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento

$N_{vc, REF}$ 9,13 kWh/m².ano

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)

Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária

Necessidades Nominais de Energia Primária para Aquecimento

Sistema de Aquecimento	Fonte de Energia	Nic (kWh/m ² .ano)	fl	δ	η _i	F _{pui} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano fl.δ.N _{ic} ·F _{pui} /η _i
Sistema por defeito	Biomassa	32,72	1	1	0,9	1	36,35

Sistema de Aquecimento	Fonte de Energia	Nic _{REF} (kWh/m ² .ano)	fl	δ	η _i	F _{pui} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano fl.δ.N _{ic,REF} ·F _{pui} /η _i
Sistema por defeito	Biomassa	71,46	1	1	0,86	1	83,09

Necessidades Nominais de Energia Primária para Arrefecimento

Sistema de Aquecimento	Fonte de Energia	Nvc (kWh/m ² .ano)	fl	δ	η _v	F _{puv} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano fl.δ.N _{vc} ·F _{puv} /η _i
Sistema por defeito	Biomassa	5,85	1	1	2,8	2,5	5,22

Sistema de Aquecimento	Fonte de Energia	Nvc _{REF} (kWh/m ² .ano)	fl	δ	η _i	F _{pui} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano fl.δ.N _{ic,REF} ·F _{pui} /η _i
Sistema por defeito	Biomassa	9,13	1	1	2,8	2,5	8,15

Necessidades Nominais de Energia Primária para Produção de AQS

Consumo de AQS

Número convencional de ocupantes de cada fracção, n $\frac{40}{x} = 4$ ocupantes

Fator de eficiência hídrica $\frac{x}{1} = 1$

Consumo médio diário de referência, M_{AQS} $\frac{160}{1} = 160$ l

Número convencional de ocupantes de cada fracção, n_{ref} $\frac{40}{x} = 4$ ocupantes

Fator de eficiência hídrica de referência $\frac{x}{1} = 1$

Consumo médio diário de referência, M_{AQS,REF} $\frac{160}{1} = 160$ l

Necessidades Nominais de Energia Primária para produção de AQS

Consumo médio diário de referência, M_{AQS} l

x
4187

Aumento de temperatura, ΔT °C

x

Número de dias de consumo dias

÷

3600000

÷

Área útil do pavimento, A_p m²

=

Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS,

Q_a/A_p kWh/m².ano

Consumo médio diário de referência, $M_{AQS REF}$ l

x

4187

x

Aumento de temperatura, ΔT °C

x

Número de dias de consumo dias

÷

3600000

÷

Área útil do pavimento, A_p m²

=

Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS,

Q_a/A_p kWh/m².ano

Sistema para AQS	Fonte de Energia	Q_a/A_p (kWh/m ² .ano)	f_a	δ	η_a	F_{pua} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano $fl.\delta.N_{vc}.F_{pua}/\eta_i$
CAL.	Biomassa	27,17	1	1	0,9	1	30,19

Sistema de Aquecimento	Fonte de Energia	Q_a/A_p (kWh/m ² .ano)	f_l	δ	η_i	F_{pui} (kWh _{EP} /kWh)	Necessidade de energia final do ano $fl.\delta.N_{ic,REF}.F_{pui}/\eta_i$
CAL.	Biomassa	27,17	1	1	0,86	1	31,59

Necessidades Nominais de Energia Primária para Ventilação Mecânica

Energia anual eléctrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica, W_{vm} kWh/ano

÷

Área útil de Pavimento, A_p m²

x

Fator de Conversão, F_{pu} kWh_{EP}/kWh

=

Necessidades anuais de energia primária para o sistema de ventilação kWh_{EP}/m².ano

Necessidades Primária Proveniente de Fontes de Energia Renovável

Sistema c/ recurso a Energia renovável	Fonte de Energia	E_{ren}/A_p (kWh/m ² .ano)	F_{pua} (kWh _{EP} /kWh)	Energia primária $E_{ren} \cdot F_{pui}$ (kWh _{EP} /m ² .ano)
CAL.	Biomassa	66,54	1	66,54

Necessidades Nominais Anuais Gobais de Energia Primária

Energia primária para aquecimento kWh_{EP}/m².ano

+

Energia primária para arrefecimento kWh_{EP}/m².ano

+

Energia primária para a preparação de AQS kWh_{EP}/m².ano

+

Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica kWh_{EP}/m².ano

-

Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável kWh_{EP}/m².ano

=

Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_{tc} kWh_{EP}/m².ano

Energia primária para aquecimento kWh_{EP}/m².ano

+

Energia primária para arrefecimento kWh_{EP}/m².ano

+

Energia primária para a preparação de AQS kWh_{EP}/m².ano

+

Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica kWh_{EP}/m².ano

-

Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável kWh_{EP}/m².ano

=

Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_{tc} kWh_{EP}/m².ano

ANEXO III – SISTEMAS DE AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL

ANEXO III.I - EDIFÍCIO EXISTENTE

ANEXO III.II - EDIFÍCIO EXISTENTE COM AS MEDIDAS DE MELHORIA

ANEXO III.I – EDIFÍCIO EXISTENTE SEM MEDIDAS DE MELHORIA

SISTEMA DE AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL | BREEAM

Nota: Os resultados obtidos foram baseados no Manual BREEAM.

Parâmetros	Créditos	Caso Prático
ENE 01 - Melhoria da avaliação da eficiência energética	6	-
ENE 02 - Avaliação da eficiência energética após a adoção das medidas de melhoria	4	-
ENE 03 - Consumo de energia primária	7	0
ENE 04 - Tecnologias Renováveis	2	0
ENE 05 - Equipamentos de linha branca corretamente rotulados	2	0
ENE 06 - Compartimento para secar a roupa	1	1
ENE 07 - Iluminação	2	1
ENE 08 - Dispositivos energéticos	2	0
ENE 09 - Compartimento para a bicicleta	2	0
ENE 10 - Escritório em casa	1	1
TOTAL	29	3

Benchmarks

Melhor Prática:

$$P_{ENR}^* = 0,25 \times Nt = \boxed{57,93} \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$$

(P 8.1)

Prática convencional:

$$P_{ENR}^* = Nt = \boxed{231,71} = \boxed{231,71} \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)}$$

(P 8.2)

Solução:

$$P_{ER} = Ntc = \boxed{195,71} \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)}$$

(P 8.3)

Normalização

$$\overline{P_{ER}} = (P_{ER} - P_{ER*}) / (P_{ER}^* - P_{ER*}) = \boxed{0,21}$$

(P 8.4)

Avaliação

Nível	Condições	P8 - nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{ENR}} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P_{ENR}} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P_{ENR}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{ENR}} \leq 0,40$	x
D	$0,00 \leq \overline{P_{ENR}} \leq 0,10$	
E	$\overline{P_{ENR}} < 0,00$	

ANTES DE ADOTAR AS MEDIDAS DE MELHORIA

Benchmarks

Melhor Prática: $P_{ER}^* = Ntc'' =$ (kWh/m².ano)
(P 8.1)

Prática convencional: $P_{ER}^* = 0,50 \times NAQS = 0,50 \times$ $=$ (kWh/m².ano)
(P 8.2)

Solução: $P_{ER} =$ (kWh/m².ano)
(P 8.3)

Normalização

$$\overline{P_{ER}} = (P_{ER} - P_{ER*}) / (P_{ER}^* - P_{ER*}) =$$

(P 8.4)

Avaliação

Nível	Condições	P8 - nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{ER}} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P_{ER}} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P_{ER}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{ER}} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P_{ER}} \leq 0,10$	
E	$\overline{P_{ER}} < 0,00$	x

DADOS/ CÁLCULOS AUXILIARES

Parâmetros	Valor	Unidades
$E_{\text{renovável}}$	0,00	kW
A_p	87,50	m^2
P_{er}	0,00	$kWh/m^2 \cdot \text{ano}$
η_a	0,80	-
Q_a	2377,00	kWh/ano

$$N_{\text{AQS}} = Q_a / (\eta_a * A_p) = 33,96 \text{ kwh}/m^2 \cdot \text{ano}$$

Indicadores energéticos	
Nic	62,29
Ni	76,79
Nvc	6,19
Nv	9,13
Qa	2377
Ntc	195,21
Nt	231,71

$$N_{tc}' = 7,85 \quad \text{kwh}/m^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_{tc}'' = N_{tc}' / 0,290 = 27,06 \quad \text{kwh}/m^2 \cdot \text{ano}$$

SISTEMA DE AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL | LEED

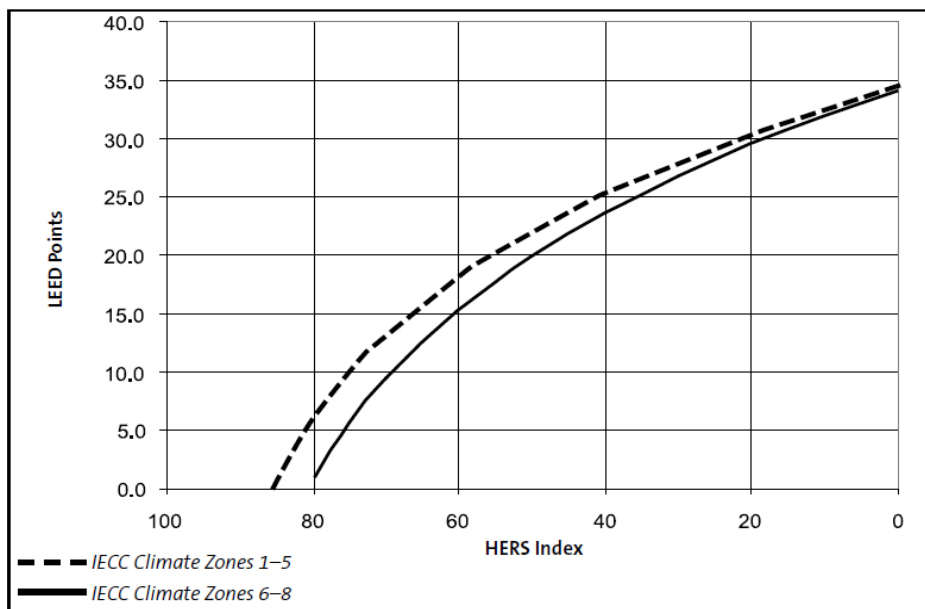
Nota: Os resultados obtidos foram baseados no Manual LEED *for Homes*

Zona climática na estação de aquecimento: 1

Zona climática na estação de arrefecimento: 2

HERS Index: 84

Tipo	Descrição	Créditos	Caso Prático
Pré-requisito	<i>Performance</i> do ENERGY STAR for homes	-	✓
1	<i>Performance</i> excepcional de energia	34	0
TOTAL		34	0



C	Critério	Boas Práticas	Limiares	A++	A+	A	B	C	D	E	F	G	Result.
C7	Eficiência nos consumos - Certificação energética	Verificação dos valores da certificação energética.	Calcular a classe energética do edifício.	1ª condição: Classe Energética									B
				A+ (> 80% de desempenho ou 2ª condição)	A+ (≤80% de desempenho ou 2ª condição)	A	B	B-	C/D	E	F	G	
				2º. Condição (caso existam dados): Para certificados energéticos do Tipo A ou C [Habitação sem climatização(HsC); Habitação com Climatização (HcC); Pequeno serviço sem climatização (PESsC)]									
				R ≤ 0,20	0,20<R ≤ 0,25	0,25<R ≤ 0,50	0,50<R ≤ 0,75	0,75<R≤1,00	1,00<R≤2,00	2,00<R≤2,50	2,50<R≤3,00	R>3,00	
				2º. Condição (caso existam dados): Para certificados energéticos do Tipo B [Pequeno comércio com climatização (PEScC); Grandes serviços com ou sem climatização(GES)]									
				$IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,80 \times S$	$IEE_{ref,novos} - 0,80 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,75 \times S$	$IEE_{ref,novos} - 0,75 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,50 \times S$	$IEE_{ref,novos} - 0,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,25 \times S$	$IEE_{ref,novos} - 0,25 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos}$	$IEE_{ref,novos} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 1,00 \times S$	$IEE_{ref,novos} + 1,00 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 1,50 \times S$	$IEE_{ref,novos} + 1,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 2,00 \times S$	$IEE_{ref,novos} + 2,00 \times S < IEE_{nom}$	
C8	Desenho Passivo	Adoptar práticas bioclimáticas e de desempenho solar passivo, para o Verão e Inverno.	Listar todas as medidas implementadas como forma de redução dos gastos energéticos, apurando os seus benefícios	≥ 17 créditos, sendo que pelo menos 6 são devidos a orientação a sul, isolamento ou fenestração	14 créditos, sendo que pelo menos 4 são devidos a orientação a sul, fenestração ou isolamento	11 créditos, sendo que pelo menos 2 são devidos a orientação a sul ou isolamento	8 créditos	6 créditos	4 créditos	2 créditos	1 crédito	Nenhum crédito	D
			Recorrer ao certificado energético e calcular: $x=(N_{ic}+N_{vc})/(N_i+N_v)$	$x < 0,15$	$0,15 < x < 0,20$	$0,20 < x < 0,4$	$0,4 < x < 0,6$	$0,6 < x < 0,75$	$0,75 < x < 0,9$	$0,9 < x < 1$	$1 < x < 1,25$	$1,25 \leq x$	
C9	Intensidade de CO ₂	Redução do nível de emissões de CO ₂ a partir de fontes de energia renováveis e quantidade de energia produzida no total.	Reduzir as emissões de CO ₂ e GEE e determinar a existência de equipamentos eficientes.	(0-10) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (90-100)% renováveis + todos equip. com A	(10-20) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (75-90)% renováveis + todos equip. com A	(20-25) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (50-75)% renováveis + quase todos equip. com A	(25-50) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (25-50)% renováveis + quase todos equip. com A	(27-30) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (25-37,50)% renováveis + quase todos equip. com C	(30-35) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (12,5-25)% renováveis + quase todos equip. com D	(35-40) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (0-12,5)% renováveis + quase todos equip. com E	(45-60) kg/m ₂ .ano CO ₂ + quase todos equip. com F	>60 kg/m ₂ .ano CO ₂ + quase todos equip. com F	E

DADOS/CÁLCULOS AUXILIARES

	Parâmetro necessário à avaliação	Caso Prático
C7	Classificação energética da habitação em estudo	B-
	Zona climática na estação de arrefecimento	V2
	Inércia Térmica	Média
	Factores solares Máximos admissíveis de vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem	0,56

	Tipo	Descrição	Créditos	Caso Prático
C8	1	Situação/Organização favorável face a outros edifícios ou condicionantes naturais.	1	1
	2	Orientação a sul.	4	3
	3	Fator forma	1	1
	4	Isolamentos	3	1
	5	Massa térmica da estrutura média a forte	1	1
	6	Vãos	6	2
	7	Minimização ou eliminação de pontes térmicas	1	0
	8	Ventilação adequada (natural cruzada)	1	0
	9	Introdução de sistemas passivos	2	0
TOTAL			20	9

Parâmetro	Valor	x
Nic	62,29	0,80
Ni	76,79	
Nvc	6,19	
Nv	9,13	

	Parâmetros	Resultado
C9	Quantidade do nível de emissões de CO ₂	2,54 ton/ano = 26,33 kg/m ² .ano
	Existência de sistemas que produzam energia a partir de fontes renováveis	0 equipamento
	Consumo de energia através de fontes renováveis.	0%

ANEXO III.II – EDIFÍCIO EXISTENTE COM MEDIDAS DE MELHORIA

SISTEMA DE AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL | BREEAM

Nota: Os resultados obtidos foram baseados no Manual BREEAM.

Parâmetros	Créditos	Caso Prático
ENE 01 - Melhoria da avaliação da eficiência energética	6	-
ENE 02 - Avaliação da eficiência energética após a adoção das medidas de melhoria	4	-
ENE 03 - Consumo de energia primária	7	7
ENE 04 - Tecnologias Renováveis	2	1
ENE 05 - Equipamentos de linha branca corretamente rotulados	2	0
ENE 06 - Compartimento para secar a roupa	1	1
ENE 07 - Iluminação	2	1
ENE 08 - Dispositivos energéticos	2	0
ENE 09 - Compartimento para a bicicleta	2	0
ENE 10 - Escritório em casa	1	1
TOTAL	29	11

Benchmarks

Melhor Prática:

$$P_{ENR}^* = 0,25 \times Nt = \boxed{30,71} \text{ (kgep/m}^2\text{.ano)}$$

(P 8.1)

Prática convencional:

$$P_{ENR}^* = Nt = \boxed{122,84} = \boxed{122,84} \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)}$$

(P 8.2)

Solução:

$$P_{ER} = Ntc = \boxed{195,71} \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)}$$

(P 8.3)

Normalização

$$\overline{P_{ER}} = (P_{ER} - P_{ER}^*) / (P_{ER}^* - P_{ER}^*) = \boxed{-0,79}$$

(P 8.4)

Avaliação

Nível	Condições	P8 - nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{ENR}} > 1,00$	
A	$0,70 < \overline{P_{ENR}} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P_{ENR}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{ENR}} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P_{ENR}} \leq 0,10$	
E	$\overline{P_{ENR}} < 0,00$	x

Benchmarks

Melhor Prática:

$$P_{ER}^* = Ntc'' = \boxed{23,49} \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)} \quad \text{(P 8.1)}$$

Prática convencional:

$$P_{ER}^* = 0,50 \times NAQS = 0,50 \times \boxed{30,18} = \boxed{15,09} \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)} \quad \text{(P 8.2)}$$

Solução:

$$P_{ER} = \boxed{66,54} \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)} \quad \text{(P 8.3)}$$

Normalização

$$\overline{P_{ER}} = (P_{ER} - P_{ER*}) / (P_{ER}^* - P_{ER*}) = \boxed{6,121} \quad \text{(P 8.4)}$$

Avaliação

Nível	Condições	P8 - nível atingido (X)
A ⁺	$\overline{P_{ER}} > 1,00$	x
A	$0,70 < \overline{P_{ER}} \leq 1,00$	
B	$0,40 < \overline{P_{ER}} \leq 0,70$	
C	$0,10 < \overline{P_{ER}} \leq 0,40$	
D	$0,00 \leq \overline{P_{ER}} \leq 0,10$	
E	$\overline{P_{ER}} < 0,00$	

DADOS/ CÁLCULOS AUXILIARES

Parâmetros	Valor	Unidades
$E_{\text{renovável}}$	5822,00	kW
A_p	87,50	m^2
P_{er}	66,54	$kWh/m^2 \cdot \text{ano}$
η_a	0,90	-
Q_a	2377,00	kWh/ano

$$N_{\text{AQS}} = Q_a / (\eta_a \cdot A_p) = 30,18 \text{ kwh}/m^2 \cdot \text{ano}$$

Indicadores energéticos	
N_{ic}	32,72
N_{i}	71,46
N_{vc}	5,85
N_{v}	9,13
Q_a	2377
N_{tc}	5,22
N_{t}	122,84

$$N_{\text{tc}}' = 6,81 \quad \text{kwh}/m^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_{\text{tc}}'' = N_{\text{tc}}' / 0,290 = 23,49 \quad \text{kwh}/m^2 \cdot \text{ano}$$

SISTEMA DE AVALIAÇÃO SUSTENTÁVEL | LEED

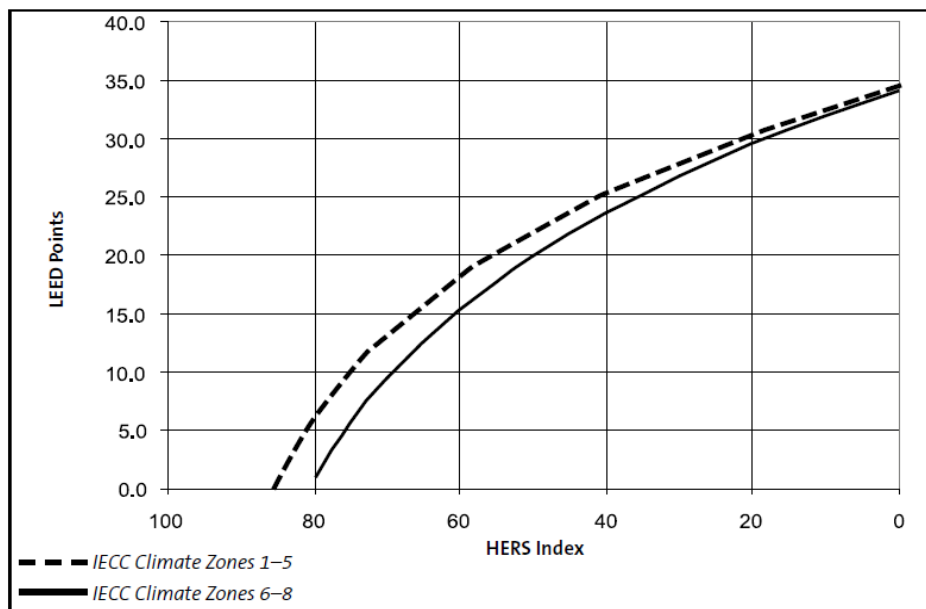
Nota: Os resultados obtidos foram baseados no Manual LEED *for Homes*

Zona climática na estação de aquecimento: 1

Zona climática na estação de arrefecimento: 2

HERS Index: 5

Tipo	Descrição	Créditos	Caso Prático
Pré-requisito	<i>Performance</i> do ENERGY STAR for homes	-	✓
1	<i>Performance</i> excepcional de energia	34	33,5
TOTAL		34	33,5



C	Critério	Boas Práticas	Limiares	A++	A+	A	B	C	D	E	F	G	Result.
C7	Eficiência nos consumos - Certificação energética	Verificação dos valores da certificação energética.	Calcular a classe energética do edifício.	1ª condição: Classe Energética									A++
				A+ (> 80% de desempenho ou 2ª condição)	A+ (≤80% de desempenho ou 2ª condição)	A	B	B-	C/D	E	F	G	
				2º. Condição (caso existam dados): Para certificados energéticos do Tipo A ou C [Habitação sem climatização(HsC); Habitação com Climatização (HcC); Pequeno serviço sem climatização (PESsC)]									
				R ≤ 0,20	0,20<R ≤ 0,25	0,25<R ≤ 0,50	0,50<R ≤ 0,75	0,75<R≤1,00	1,00<R≤2,00	2,00<R≤2,50	2,50<R≤3,00	R>3,00	
				2º. Condição (caso existam dados): Para certificados energéticos do Tipo B [Pequeno comércio com climatização (PEScC); Grandes serviços com ou sem climatização(GES)]									
				$IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,80 \times S$	$IEE_{ref,novos} - 0,80 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,75 \times S$	$IEE_{ref,novos} - 0,75 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,50 \times S$	$IEE_{ref,novos} - 0,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,25 \times S$	$IEE_{ref,novos} - 0,25 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos}$	$IEE_{ref,novos} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 1,00 \times S$	$IEE_{ref,novos} + 1,00 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 1,50 \times S$	$IEE_{ref,novos} + 1,50 \times S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 2,00 \times S$	$IEE_{ref,novos} + 2,00 \times S < IEE_{nom}$	
C8	Desenho Passivo	Adoptar práticas bioclimáticas e de desempenho solar passivo, para o Verão e Inverno.	Listar todas as medidas implementadas como forma de redução dos gastos energéticos, apurando os seus benefícios	≥ 17 créditos, sendo que pelo menos 6 são devidos a orientação a sul, isolamento ou fenestração	14 créditos, sendo que pelo menos 4 são devidos a orientação a sul, fenestração ou isolamento	11 créditos, sendo que pelo menos 2 são devidos a orientação a sul ou isolamento	8 créditos	6 créditos	4 créditos	2 créditos	1 crédito	Nenhum crédito	B
			Recorrer ao certificado energético e calcular: $x=(N_{ic}+N_{vc})/(N_i+N_v)$	$x < 0,15$	$0,15 < x < 0,20$	$0,20 < x < 0,4$	$0,4 < x < 0,6$	$0,6 < x < 0,75$	$0,75 < x < 0,9$	$0,9 < x < 1$	$1 < x < 1,25$	$1,25 \leq x$	
C9	Intensidade de CO ₂	Redução do nível de emissões de CO ₂ a partir de fontes de energia renováveis e quantidade de energia produzida no total.	Reduzir as emissões de CO ₂ e GEE e determinar a existência de equipamentos eficientes.	(0-10) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (90-100)% renováveis + todos equip. com A	(10-20) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (75-90)% renováveis + todos equip. com A	(20-25) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (50-75)% renováveis + quase todos equip. com A	(25-50) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (25-50)% renováveis + quase todos equip. com A	(27-30) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (25-37,50)% renováveis + quase todos equip. com C	(30-35) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (12,5-25)% renováveis + quase todos equip. com D	(35-40) kg/m ₂ .ano CO ₂ + (0-12,5)% renováveis + quase todos equip. com E	(45-60) kg/m ₂ .ano CO ₂ + quase todos equip. com F	>60 kg/m ₂ .ano CO ₂ + quase todos equip. com F	A++

DADOS/CÁLCULOS AUXILIARES

	Parâmetro necessário à avaliação	Caso Prático
C7	Classificação energética da habitação em estudo	A+
	Zona climática na estação de arrefecimento	V2
	Inércia Térmica	Média
	Factores solares Máximos admissíveis de vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem	0,56

	Tipo	Descrição	Créditos	Caso Prático
C8	1	Situação/Organização favorável face a outros edifícios ou condicionantes naturais.	1	1
	2	Orientação a sul.	4	3
	3	Fator forma	1	1
	4	Isolamentos	3	3
	5	Massa térmica da estrutura média a forte	1	1
	6	Vãos	6	4
	7	Minimização ou eliminação de pontes térmicas	1	1
	8	Ventilação adequada (natural cruzada)	1	1
	9	Introdução de sistemas passivos	2	1
TOTAL			20	16

Parâmetro	Valor	x
Nic	32,72	0,48
Ni	71,46	
Nvc	5,85	
Nv	9,13	

	Parâmetros	Resultado
C9	Quantidade do nível de emissões de CO ₂	0 kg/m ² .ano
	Existência de sistemas que produzam energia a partir de fontes renováveis	1 equipamento
	Consumo de energia através de fontes renováveis.	100%