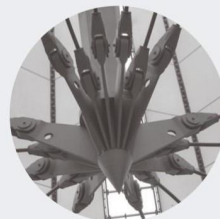
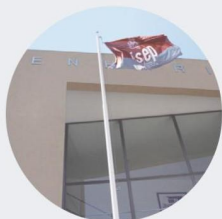




Análise Comparativa do Desempenho Energético dos Edifícios Habitacionais do Brasil e de Portugal

MARIANA SILVA MIGUEL

Junho de 2018



Análise Comparativa do Desempenho Energético dos Edifícios Habitacionais do Brasil e de Portugal

MARIANA SILVA MIGUEL

Junho de 2018

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS HABITACIONAIS DO BRASIL E DE PORTUGAL

MARIANA SILVA MIGUEL

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientadora: Teresa Isabel Moreira de Carvalho Amorim Neto Silva

Orientador: Eduardo Ioshimoto (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

JUNHO DE 2018

ÍNDICE GERAL

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS HABITACIONAIS DO BRASIL E DE PORTUGAL.....	i
Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
Abreviaturas	xxv
CAPÍTULO 1 Introdução.....	29
CAPÍTULO 2 Revisão da Literatura	35
CAPÍTULO 3 Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais	73
CAPÍTULO 4 Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação	107
CAPÍTULO 5 Estudo de Caso.....	157
CAPÍTULO 6 Considerações Finais.....	171
Referências Bibliográficas	175
Anexo I – Aplicação do RTQ-R	181
Anexo II – Aplicação do REH.....	199

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal analisar o desempenho energético dos edifícios habitacionais do Brasil e de Portugal a partir da aplicação dos seus regulamentos, o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), respectivamente.

No escopo do trabalho foram apresentadas as metodologias aplicadas no RTQ-R e no REH, analisando suas principais divergências e semelhanças no processo de avaliação e classificação da eficiência energética dos edifícios habitacionais.

Este estudo integrou a aplicação de cada regulamento em dois casos de estudo distintos. O primeiro caso, configurou uma habitação com soluções construtivas correntes no Brasil e o segundo caso, uma habitação com soluções construtivas correntes em Portugal. No RTQ-R os dois casos foram avaliados admitindo como localização a cidade de São Paulo, enquanto que no REH, os dois casos foram avaliados na cidade do Porto. Os resultados das necessidades energéticas obtidos ao final de cada estudo foram analisados e comparados.

Por fim, foi possível concluir que levando em conta as particularidades da realidade de cada país, os critérios de avaliação impostos na metodologia do REH são apontados como mais rigorosos em comparação ao RTQ-R, o que conseqüentemente eleva o padrão de eficiência dos seus edifícios habitacionais.

Palavras-chave: Eficiência energética, edifícios habitacionais, RTQ-R, REH.

ABSTRACT

The main objective of this work is to analyze the energy performance of residential buildings in Brazil and Portugal as a result of the application of its regulations, the Technical Quality Regulation for the Residential Energy Efficiency Level (RTQ-R) and the Performance Regulation Residential Buildings (REH), respectively.

In the scope of the work, the methodologies applied in RTQ-R and REH were presented, analyzing their main divergences and similarities in the evaluation and classification process of the energy efficiency of residential buildings.

This study integrated the application of each regulation in two different case studies. The first case, configured a housing with current constructive solutions in Brazil and the second case, a housing with current constructive solutions in Portugal. In the RTQ-R the two cases were evaluated admitting as location the city of São Paulo, while in the REH, the two cases were evaluated in the city of Porto. The energy requirements obtained at the end of each study were analyzed and compared.

Finally, it was possible to conclude that, taking into account the particularities of the reality of each country, the evaluation criteria imposed in the methodology of the REH are indicated as more stringent in comparison to the RTQ-R, which consequently raises the efficiency standard of the residential buildings.

Keywords: Energy efficiency, residential buildings, RTQ-R, REH.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida por iluminarem meus caminhos e guiarem meus passos até aqui.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto pela oportunidade de realizar este intercâmbio.

À Universidade Presbiteriana Mackenzie por se tornar a minha segunda casa, me acolher e me dar o suporte necessário para a realização deste sonho.

Aos professores, Teresa Isabel Moreira de Carvalho Amorim Neto Silva e Eduardo Ioshimoto, agradeço por toda atenção, empenho e ensinamentos compartilhados para a elaboração deste trabalho.

Agradeço a toda a minha família pelo apoio, principalmente aos meus pais por todo amor, paciência e esforços dedicados a mim durante todos estes anos.

À pequena Maria Clara por renovar as minhas energias e me dar força quando eu mais precisei.

Aos meus amigos que sempre me incentivaram e estiveram ao meu lado.

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	29
1.1	Considerações Iniciais.....	29
1.2	Objetivos.....	31
1.3	Motivação.....	31
1.4	Metodologia.....	32
1.5	Estrutura da Dissertação.....	33
CAPÍTULO 2	Revisão da Literatura.....	35
2.1	Contextualização.....	35
2.2	Enquadramento Histórico.....	35
2.3	Características Climáticas e Energéticas no Brasil e em Portugal.....	38
2.3.1	Clima.....	38
2.3.2	Recursos energéticos.....	44
2.3.3	Produção de energia.....	47
2.3.4	Consumo da energia primária e consumo final de energia.....	50
2.3.5	Energia renovável.....	57
2.3.6	Emissões de GEE.....	59
2.3.7	Consumo energético nos edifícios.....	62
2.4	Medidas Regulamentares e Programas de Desempenho das Edificações.....	65
2.4.1	Brasil.....	65
2.4.2	Portugal.....	67
2.5	Análise Comparativa das Certificações Energéticas no Brasil e em Portugal.....	68

CAPÍTULO 3	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais	73
3.1	Introdução.....	73
3.2	Metodologia.....	74
3.2.1	Zona Bioclimática.....	74
3.2.2	Pré-Requisito Geral.....	75
3.2.3	Procedimento para determinação da eficiência das unidades habitacionais autônomas...	75
3.2.4	Envoltória.....	77
3.2.5	Sistema de Aquecimento de Água.....	90
3.2.6	Bonificações.....	101
CAPÍTULO 4	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação	107
4.1	Introdução.....	107
4.2	Metodologia.....	108
4.2.1	Dados Climáticos	108
4.2.2	Definição da Envolvente	114
4.2.3	Requisitos de Qualidade Térmica	115
4.2.4	Comportamento Térmico na Estação de Aquecimento	126
4.2.5	Comportamento Térmico na Estação de Arrefecimento	143
4.2.6	Necessidades De Energia Para Preparação De Águas Quentes Sanitárias	150
4.2.7	Necessidades De Energia Primária	151
4.2.8	Determinação da Classe Energética	155
CAPÍTULO 5	Estudo de Caso.....	157
5.1	Descrição dos Edifícios.....	157
5.2	Análise Comparativa entre as Metodologias.....	161
5.2.1	Envoltória.....	161
5.2.2	Sistemas técnicos.....	163
5.3	Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios	164

5.3.1	Resultados obtidos a partir do RTQ-R	164
5.3.2	Resultados obtidos a partir do REH.....	167
5.3.3	Resultados obtidos o RTQ-R e no REH.....	169
CAPÍTULO 6	Considerações Finais.....	171
6.1	Conclusões	171
6.2	Desenvolvimentos Futuros	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Emissões de carbono em 2013 (Grupo RBS, 2014)	37
Figura 2.2- Classificação climática de Köppen - Geiger no Brasil (adaptado de Cardoso, 2012)	39
Figura 2.3 – Temperaturas médias anuais do Brasil (Alvares e Stape, 2012)	41
Figura 2.4 – Temperatura média anual máxima e mínima das cinco regiões do Brasil	42
Figura 2.5 - Classificação climática de Köppen – Geiger na Península Ibérica e Ilhas Baleares (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Agencia Estatal de Meteorología e Instituto de Meteorologia de Portugal, 2011).....	43
Figura 2.6 – Distribuição anual dos valores mensais de temperatura média em Portugal Continental, 1971-2000 (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2015)	44
Figura 2.7 – Oferta de energia por fontes renováveis e não renováveis no Brasil em 2015 (elaborado a partir de dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2016).....	45
Figura 2.8 – Matriz Energética de Portugal, no período de 2005 - 2015 (Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2018).....	46
Figura 2.9 – Dependência energética de Portugal, no período de 1996 - 2015 (Direção Geral de Energia e Geologia, 2017)	46
Figura 2.10 - Evolução das importações por fonte de energia em Portuga, no período de 2006 - 2015 (elaborado a partir dos dados da Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2017)	47
Figura 2.11 – Produção de energia primária por fonte no Brasil, no período de 1970 – 2014 (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2015)	48
Figura 2.12- Oferta interna de energia por fonte no Brasil, no período de 1970 - 2014 (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2015)	48
Figura 2.13 – Produção de energia primária por fonte em Portugal, no período de 1973 - 2014 (International Energy Agency <i>et al.</i> , 2016)	49

Figura 2.14 –Oferta interna de energia por fonte em Portugal, no período de 1973 – 2014 (International Energy Agency <i>et al.</i> , 2016).....	50
Figura 2.15 – Consumo de energia final por fonte no Brasil, no período de 1970 – 2015 (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2016)	52
Figura 2.16 – Consumo final de energia por fonte no Brasil em 2016 (adaptado da Empresa de Pesquisa Energética, 2017)	52
Figura 2.17 – Consumo final de energia por setor no Brasil em 2016 (adaptado da Empresa de Pesquisa Energética, 2017)	53
Figura 2.18 – Consumo de energia primária: total e por tipo de fonte de energia em Portugal, no período de 2000 - 2016 (Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2018).....	54
Figura 2.19- Consumo total de energia final por fonte (tep) em Portugal, no período de 1996 – 2015 (Direção Geral de Energia e Geologia, 2017)	55
Figura 2.20 – Uso primário de energia em quilogramas equivalentes de petróleo, per capita, no período de 2000 - 2014 (Banco Mundial, 2018).....	56
Figura 2.21 – Consumo de eletricidade em quilowatt/hora, per capita, no período de 2000 – 2014 (Banco Mundial, 2018)	56
Figura 2.22 - Energias renováveis no balanço energético de Portugal, no período de 2007 – 2016 (Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2018).....	58
Figura 2.23 – Evolução das emissões brutas de GEE no Brasil, no período de 1990 -2015 (Observatório do Clima, 2017)	60
Figura 2.24 – Emissões de gás carbônico do setor de energia por segmento de atividade no Brasil, no período de 1990 – 2015 (Observatório do Clima, 2017)	60
Figura 2.25 – Evolução das emissões de GEE em Portugal, no período de 1990 -2016 (Departamento de Alterações Climáticas, 2018).....	61
Figura 2.26 – Emissões de gás carbônico por setor no Brasil em 2016 (Departamento de Alterações Climáticas, 2018)	62
Figura 2.27 – Consumo de energia elétrica nas edificações no Brasil em 2016 (elaborado a partir dos dados CENERGEL, 2017; Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2017).....	63
Figura 2.28 – Consumo energético por uso final nas edificações no Brasil (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2014, com dados da Eletrobrás, 2007)	63

Figura 2.29 – Consumo e despesa de energia no alojamento por tipo de utilização - Portugal, 2010 (Instituto Nacional de Estatística, I.P e Direcção-Geral de Energia e Geologia, 2011)	64
Figura 2.30 – Modelo de ENCE de uma UH na fase construída (Eletrobrás, Inmetro e CB3E, 2013)	69
Figura 2.31 - Certificados emitidos por classe energética em Portugal, no período de 2014 até o início de 2018 (ADENE, 2018)	70
Figura 2.32 - Modelo de certificado energético de edifício de habitação (ADENE, 2018)	71
Figura 3.1 – Zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 2003)	75
Figura 3.2 – Abertura em beirais para ventilação do ático, h (INMETRO, 2012)	79
Figura 4.1 – Zonas climáticas de inverno no continente (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)	111
Figura 4.2 – Zonas climáticas de verão no continente (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)	111
Figura 4.3 – Elementos do tipo EL3 com isolamento térmico (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)..	141
Figura 5.1 – Esquema arquitetônico do térreo e primeiro andar dos edifícios em estudo.	158
Figura 5.2 – Esquema arquitetônico da fachada principal (à esquerda) e fachada posterior (à direita) dos edifícios em estudo.	158

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Descrição dos climas do Brasil a partir da Classificação de Köppen – Geiger (elaborado a partir dos dados de Ernani Ramalho Carvalho, 2003, não paginado).....	39
Tabela 2.2 – Consumo de energia primária: total e por tipo de fonte de energia no Brasil, no período de 2007 – 2016 (elaborada a partir dos dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2017)	51
Tabela 2.3 – Energias renováveis no balanço energético do Brasil (10^3 tep), no período de 2007 – 2016 (elaborada a partir dos dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2017).....	57
Tabela 3.1 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência (INMETRO, 2012)	76
Tabela 3.2 – Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida (INMETRO, 2012)..	76
Tabela 3.3 – Coeficiente da expressão 3.1 (INMETRO, 2012)	77
Tabela 3.4 - Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas (NBR 15.575-4, NBR 15.575-5, NBR 15220-3 <i>apud</i> INMETRO, 2012) 78	
Tabela 3.5 – Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente (NBR 15575-4 <i>apud</i> INMETRO, 2012).....	81
Tabela 3.6 – Constantes da expressão 3.7 (INMETRO, 2012)	87
Tabela 3.7 – Constantes da expressão 3.8 (INMETRO, 2012)	87
Tabela 3.8 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento – Zona Bioclimática 3 (INMETRO, 2012)	88
Tabela 3.9 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento – Zona Bioclimática 3 (INMETRO, 2012)	88
Tabela 3.10 – Constantes da expressão 3.10 (INMETRO, 2012)	89
Tabela 3.11 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente condicionado artificialmente para refrigeração – Zona Bioclimática 3 (INMETRO, 2012).....	90

Tabela 3.12 – Espessura mínima de isolamento de tubulações para aquecimento de água (INMETRO, 2012)	91
Tabela 3.13 – Classificação da eficiência de sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica (INMETRO, 2012)	96
Tabela 3.14 – Fatores de armazenamento em função do volume de água quente consumido no horário de pico (INMETRO, 2012).....	99
Tabela 3.15 – Eficiência mínima de aquecedores a gás para classificação nos níveis A e B (ASHRAE Standard 90.1-2007 <i>apud</i> INMETRO, 2012).....	100
Tabela 3.16 - Eficiência mínima de aquecedores a gás para classificação nos níveis C (ASHRAE Standard 90.1-1999 <i>apud</i> INMETRO, 2012)	100
Tabela 3.17 – Nível de eficiência para bombas de calor (INMETRO, 2012)	101
Tabela 3.18 – Coeficiente de redução da porosidade (INMETRO, 2012).....	103
Tabela 4.1- NUTS III (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013).....	108
Tabela 4.2- Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013).....	110
Tabela 4.3- Critérios para a determinação da zona climática de verão (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013).....	110
Tabela 4.4 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013).....	112
Tabela 4.5- Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013).....	113
Tabela 4.6 – Coeficientes de redução de perdas de espaços não úteis, b_{tr} (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	114
Tabela 4.7 – Requisitos de qualidade térmica – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos, $U_{máx}$ [W/(m ² .°C)] (Portaria n.º 319/2016).....	116
Tabela 4.8 – Requisitos energéticos – Coeficiente de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos e vãos envidraçados, $U_{máx}$ [W/(m ² .°C)] (Portaria n.º 319/2016)	116
Tabela 4.9 – Fatores solares máximos admissíveis de vão envidraçados, $g_{Tmáx}$ (Portaria n.º 319/2016).	118
Tabela 4.10 – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{L,vi}$ (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	118

Tabela 4.11 – Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc} (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	119
Tabela 4.12 – Coeficiente de absorção da radiação solar (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	120
Tabela 4.13 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais F_o na estação de arrefecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	121
Tabela 4.14 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais, F_f , na estação de arrefecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	121
Tabela 4.15 – Requisitos mínimos de eficiência das unidades de produção térmica (Portaria n.º 319/2016).....	123
Tabela 4.16 - Classificação do desempenho de unidades split, multissplit, VRF e compactas, com permuta ar-ar (Portaria n.º 319/2016)	123
Tabela 4.17 - Classificação do desempenho de unidades split, multissplit e compactas, com permuta ar-água (Portaria n.º 319/2016)	123
Tabela 4.18 - Classificação do desempenho de unidades do tipo Rooftop (Portaria n.º 319/2016)	124
Tabela 4.19 - Classificação do desempenho de unidades do tipo chiller bomba de calor de compressão (Portaria n.º 319/2016)	124
Tabela 4.20 – Requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras (Portaria n.º 319/2016).....	125
Tabela 4.21 - Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores (Portaria n.º 319/2016)	125
Tabela 4.22 - Valores limite de perdas estáticas em termoacumuladores Q_{pr} , [kWh/24h] (Portaria n.º 319/2016).....	125
Tabela 4.23 - Valores de eficiência de termoacumuladores em função de Q_{pr} (Portaria n.º 319/2016) .	126
Tabela 4.24 -Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares ψ [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	128
Tabela 4.25 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento contínuo ou sem isolamento térmico U_{bf} , [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	130
Tabela 4.26 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral horizontal U_{bf} , [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	130
Tabela 4.27- Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral U_{bf} , [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	131

Tabela 4.28 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno U_{bw} [W/m ² .°C] (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	131
Tabela 4.29 – Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j (Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013).....	135
Tabela 4.30 – Fração envidraçada (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	136
Tabela 4.31 - Valores do fator de sombreamento do horizonte, F_h na estação de aquecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	137
Tabela 4.32 - Valores do fator de sombreamento de elementos horizontais, F_o na estação de aquecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	137
Tabela 4.33 - Valores do fator de sombreamento de elementos verticais, F_f na estação de aquecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	138
Tabela 4.34 – Classes de inércia térmica interior I_t , (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	139
Tabela 4.35 - Massa superficial útil para os elementos EL1.....	140
Tabela 4.36 – Massa superficial útil para os elementos EL2.....	140
Tabela 4.37 – Massa superficial útil para os elementos EL3.....	140
Tabela 4.38 – Fator de redução da massa superficial para elementos tipo EL1 e EL2.....	141
Tabela 4.39 - Fator de redução da massa superficial para elementos tipo EL3.....	141
Tabela 4.40 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} [W/(m ² .°C)] (Portaria n.º 319/2016).....	143
Tabela 4.41 – Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência, ψ_{ref} [W/(m ² .°C)] (Portaria n.º 319/2016).....	143
Tabela 4.42 – Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	147
Tabela 4.43 - Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	147
Tabela 4.44 - Razão entre o valor do coeficiente de absorção a considerar no cálculo dos ganhos de calor através de uma fachada ventilada e o valor do coeficiente de absorção do paramento exterior da fachada (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	148

Tabela 4.45 - Razão entre o valor do coeficiente de absorção a considerar no cálculo dos ganhos de calor através de uma cobertura em desvão e o valor do coeficiente de absorção da cobertura exterior (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013).....	149
Tabela 4.46 - Soluções de referência de sistemas a considerar na determinação do N_t (Portaria nº 319/2016).....	152
Tabela 4.47 – Intervalos de valor de R_{Nt} para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo Habitação (Despacho (extrato) n. 15793-Jº/2013)	155
Tabela 5.1 – Soluções construtivas adotadas no edifício B e no edifício P	159
Tabela 5.2 – Dimensões das janelas adotadas nos edifícios em estudo	160
Tabela 5.3 - Níveis de eficiência da envoltória sem pré-requisitos para cada ambiente de permanência prolongada nos edifícios B e P	165
Tabela 5.4 – Pontuação após a avaliação dos pré-requisitos dos ambientes dos edifícios B e P	166
Tabela 5.5 – Equivalentes numéricos e níveis de eficiência da envoltória dos edifícios B e P	166
Tabela 5.6 – Equivalente numérico e nível de eficiência da envoltória dos edifícios B e P	167
Tabela 5.7 – Análise da classificação final dos edifícios B e P	167
Tabela 5.8 – Classificação final e pontuação total dos edifícios B e P.....	167
Tabela 5.9 - Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento	168
Tabela 5.10 - Necessidades nominais de energia primária e classificação energética	168
Tabela 5.11 – Nível de eficiência obtido pelos edifícios B e P a partir do RTQR e do REH	169

ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADENE	Agência para Energia
AQS	Água quente sanitária
AU _{amb}	Área útil do ambiente
CO ₂	Dióxido de carbono
C _A	Consumo relativo para aquecimento
CA	Consumo Relativo para Aquecimento
CE	Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior de Edifícios
CFC's	Clorofluorcarbonetos
CMMAD	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
COP	Coeficiente de performance
COP	<i>Coefficient Of Performance</i> , tradução Coeficiente de Desempenho
C _R	Consumo relativo para refrigeração
CR	Consumo Relativo para Refrigeração
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i> , tradução Índice de Eficiência de Energia
EIA	<i>U.S. Energy Information Administration</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
ENU	Espaço não útil
EqNum	Equivalente numérico
EqNumEnv	Equivalente numérico da envoltória da UH
EqNumEnv _A	Equivalente numérico da envoltória da UH para aquecimento
EqNumEnvAmb	Equivalente numérico da envoltória do ambiente
EqNumEnvAmb _A	Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento
EqNumEnvAmb _{Refrig}	Equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração
EqNumEnvAmb _{Resfr}	Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento
EqNumEnv _{Refrig}	Equivalente numérico da envoltória da UH para refrigeração

CAPÍTULO 1

EqNumEnv _{Resfr}	Equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento
GD	Número de graus-dias
GEE	Gases de efeito estufa
GH _R	Indicador de graus-hora para resfriamento
GHR	Indicador de Graus-hora para Resfriamento
GtCO ₂ e	Bilhão de toneladas de gás carbônico equivalente
HFC	Hidrofluorcarbonetos
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
Kgoe	Quilogramas equivalentes de petróleo
KWh	Quilowatts-hora
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LULUCF	<i>Land Use, Land Use Change and Forests</i> , tradução Uso da Terra, Mudança no Uso da Terra e Florestas
MAOTE	Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia
MOPTC	Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações
Mtep	Milhão de toneladas equivalentes de petróleo
NBR	Norma Brasileira
N _i	Valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento
N _{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento
N _t	Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária
N _{tc}	Necessidades nominais anuais de energia primária
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
N _v	Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária
N _{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
ONU	Organização das Nações Unidas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBE EDIFICA	Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCEL EDIFICA	Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações
PT _{UH}	Pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE	Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
UH	Unidade habitacional autônoma
ZB	Zona Bioclimática

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde a década de 70 que a comunidade mundial começou a enxergar com outra visão a problemática relacionada com a proteção do meio ambiente e dos recursos naturais. O discurso defendido naquela época já revelava a importância em dispor dos benefícios das ações do presente, tendo em vista as suas possíveis consequências no futuro. O problema energético é um desafio também da atualidade que vem sendo abordado a partir de iniciativas e metas traçadas e monitoradas e com o principal propósito: reduzir o consumo energético e seus impactos.

Em 2017 a população mundial registrou um total de 7,6 bilhões de habitantes, podendo atingir em 2030 a faixa dos 8,6 bilhões (Guevane, 2017). Segundo o *International Energy Outlook 2017* divulgado pela U.S. Energy Information Administration (EIA), a partir de uma projeção do crescimento econômico dos países em vias de desenvolvimento foi previsto de que o consumo mundial de energia continuará aumentando, totalizando um crescimento de 41% entre 2015 e 2040 (EIA, 2017). O provável crescimento demográfico, aliado ao avanço econômico e consequente aumento na demanda energética podem se tornar fatores agravantes da crise ambiental mundial, podendo levar em poucos anos, ao total descontrole do consumo.

Grande parte da produção de energia se faz por meio da exploração dos recursos naturais não renováveis. O petróleo, o gás natural e o carvão ainda são as maiores fontes de energia e estes, além de terem suas reservas finitas e distribuídas não homogeneamente pelo planeta, causam problemas ambientais e sociais.

A emissão em larga escala dos gases produzidos a partir da queima dos combustíveis fósseis e a concentração destes na atmosfera, acabam por resultar no efeito estufa. Efeito essencial para a manutenção da vida humana, mas prejudicial para a dissipação do calor, acarretando no acúmulo de poluentes na atmosfera e no aquecimento da temperatura do planeta.

Em 1972 a Conferência de Estocolmo representou a primeira grande iniciativa global em defesa dos princípios do desenvolvimento sustentável (Mikhailova, 2004). Desde então as iniciativas foram sendo

CAPÍTULO 1

difundidas e aprimoradas. Em 2016 firmou-se o Acordo de Kigali, na capital da Ruanda, com o propósito de quantificar os resultados obtidos e controlar novas metas (Leite, 2016).

Difundir os princípios da sustentabilidade é uma das chaves para reverter o conflito causado pelas ações humanas ao meio ambiente. Para Mikhailova (2004, p.25) o conceito de sustentabilidade encaixa-se em mais de um contexto,

Uma atividade sustentável é aquela que pode ser mantida para sempre. [...]. Uma sociedade sustentável é aquela que não coloca em risco elementos do meio ambiente. Desenvolvimento sustentável é aquele que melhora a qualidade da vida do homem na Terra ao mesmo tempo em que respeita a capacidade de produção dos ecossistemas nos quais vivemos.

Na época atual, os setores da economia com destaque no consumo energético são os setores industriais, comerciais, residenciais e de transportes. Relativamente ao setor residencial, a construção civil vem se adaptando e incorporando às suas diretrizes soluções sustentáveis, eficientes e que preservem a qualidade do meio ambiente. Porém, a concepção de projetos que priorizam aspectos da construção bioclimática e da construção sustentável representam uma pequena parcela se comparado a infinidade de projetos existentes com baixo nível de eficiência energética.

No Brasil a preocupação do uso consciente dos recursos naturais se fez com a implantação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PEB) em 1984, pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) (PBE EDIFICA, 2013); do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 1985, pela Eletrobrás (Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, 2016); e do Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) em 1991, pela Petrobras (Governo Federal, 2012).

O PEB que tem como objetivo auxiliar os consumidores no momento da compra de equipamentos, informando na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) o consumo e a eficiência do produto. O INMETRO estendeu o processo de etiquetagem do PEB para as edificações, e em parceria com a Eletrobrás, desenvolveram o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE EDIFICA). O PBE EDIFICA avalia a eficiência energética dos edifícios com base na aplicação dos requisitos descritos nas metodologias do regulamento de RTQ-C, lançado em 2009 e atualizado em 2010, e através do RTQ-R lançado em 2010 e atualizado em 2012 (PBE EDIFICA, 2013).

Em Portugal, as primeiras medidas impostas para a construção civil integram o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), estabelecido em 1990 (Ganhão, 2011). Impulsionados pelas políticas ambientais europeias, os regulamentos portugueses foram reformulados em 2006 e em 2013 e tornaram-se obrigatórios para os novos edifícios e para os edifícios sujeitos a intervenção. A última reformulação se fez por meio da publicação em Diário da República do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), do Regulamento de Desempenho Energético

dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) e do Sistema Nacional de Certificação e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

As ferramentas existentes no Brasil e em Portugal para a estimativa do desempenho energético das edificações estruturam-se nas características e necessidades de cada país e representam uma importante ação para a minimização do consumo de energia no mundo. Estas necessitam ter suas metodologias estudadas, confrontadas e aprimoradas para que continuem colaborando com as iniciativas sustentáveis.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar o desempenho energético das edificações habitacionais do Brasil e de Portugal a partir da aplicação das normas e regulamentos vigentes em cada país.

Os objetivos específicos desenvolvidos ao longo do trabalho são:

- Analisar a produção e o consumo energético no Brasil e em Portugal;
- Identificar as medidas regulamentares e os programas de desempenho energético das edificações habitacionais nos dois países;
- Analisar a metodologia das ferramentas de avaliação do desempenho energético adotadas no Brasil, com base no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência de Edificações Residenciais (RTQ-R), e em Portugal, segundo o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), considerando os aspectos das necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento e aquecimento de água;
- Avaliar as necessidades energéticas das edificações habitacionais quanto ao cumprimento dos níveis de eficiência.

1.3 MOTIVAÇÃO

O atual cenário de desenvolvimento socioeconômico tem reflexo direto no aumento da demanda energética mundial, que por sua vez tem motivado muitos questionamentos ambientais e iniciativas sustentáveis. De acordo com dados analisados pela Agência Internacional de Energia (2018 *apud* Barbosa, 2018), a demanda energética registrou em 2017 um aumento de 2,1% em relação a 2016.

A queima excessiva de combustíveis fósseis para a produção de energia é uma relevante fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE). Só em 2017, mais de 70% da energia consumida no mundo foi de origem fóssil e o restante produzida a partir de recursos renováveis (Barbosa, 2018).

CAPÍTULO 1

Desde o contexto da Revolução Industrial a quantidade de gases poluentes lançada na atmosfera vem aumentando e, conseqüentemente, ampliam-se as ocorrências do efeito estufa e intensificam-se os impactos do aquecimento global, o responsável por alterar o clima do planeta e deixá-lo cada vez mais incerto e extremo (Mattar, 2018).

Os dados da Agência Internacional de Energia (2018 *apud* Barbosa, 2018, não paginado) informam que “[...]as emissões globais de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas à energia aumentaram 1,4% em 2017, após três anos permanecendo inalteradas, atingindo uma alta história de 32,5 gigatoneladas.”

Segundo os dados confirmados oficialmente pela agência espacial americana (NASA) e pela agência de oceanos e atmosfera dos EUA (Noaa) (2016 *apud* Girardi, 2016, não paginado), “ A temperatura média global em 2015 foi 0,9°C mais alta que a média apresentada no século 20, confirmando que o ano foi, de longe, o mais quente da história.”.

Dentre os setores da economia que impactam severamente o meio ambiente destaca-se a indústria da construção civil. A energia consumida na construção civil é de 40% e as emissões de GEE correspondem a um terço do total das emissões (Benite, 2013). Segundo Benite (2013, não paginado),

Nas edificações, as emissões são prioritariamente provenientes do uso de energia, sendo de 80 a 90% geradas na etapa de uso e operação (aquecimento, condicionamento de ar, ventilação, iluminação e equipamentos). Outros 10 a 20% estão ligados à extração e ao processamento de matérias-primas, à fabricação de produtos e à etapa de construção e demolição.

A construção civil é uma atividade que afeta tanto o desenvolvimento social e econômico como o desenvolvimento ambiental, sendo assim, as iniciativas buscam com que o setor se desenvolva sustentavelmente e diminua seus impactos ao meio ambiente. O incentivo à criação e execução de projetos eficientes, a inserção de processos de baixo consumo de energia, a escolha por energia limpa e o investimento em ferramentas de classificação do desempenho energético são exemplos de intervenções viáveis e fundamentais para a garantia da qualidade de vida e preservação do planeta.

1.4 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisas bibliográficas e aplicação dos conceitos e imposições regulamentares a um estudo de caso.

A pesquisa teórica foi realizada através da leitura e da revisão bibliográfica das características de produção e de consumo de energia no Brasil e em Portugal, de informações inerentes à evolução histórica das medidas regulamentares e dos programas de desempenho energético dos dois países e do estudo dos regulamentos e normas vigentes, no Brasil e em Portugal.

O estudo de caso consistiu em uma análise comparativa das metodologias de estimativa do desempenho energético adotadas no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência de Edificações Residenciais (RTQ-R), no Brasil, e no Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), em Portugal.

Cada regulamento foi aplicado em dois casos distintos. O primeiro caso, configurou uma habitação com soluções construtivas correntes no Brasil e o segundo caso, uma habitação com soluções construtivas correntes em Portugal. No RTQ-R os dois casos foram avaliados admitindo como localização a cidade de São Paulo, enquanto que no REH, os dois casos foram avaliados na cidade do Porto. Em ambas as cidades as influências locais foram consideradas. Os resultados das necessidades energéticas obtidos ao final de cada estudo foram analisados e comparados.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos.

O capítulo 1 compreende a introdução, que é composta pela apresentação do tema, objetivos gerais e específicos, motivação e metodologia.

No capítulo 2 são apresentadas as pesquisas bibliográficas que contemplam desde a evolução histórica das medidas regulamentares e normativas de desempenho energético no Brasil e em Portugal, como também, as particularidades climáticas e energéticas destes países.

O capítulo 3 apresenta a metodologia adotada no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) para a classificação das habitações em estudo quanto à eficiência energética.

O capítulo 4 apresenta a metodologia adotada no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) para a classificação das habitações em estudo quanto à eficiência energética.

O capítulo 5 abrange o caso de estudo que consiste na descrição das edificações habitacionais, no apontamento das principais diferenças metodológicas estudadas e na análise dos resultados finais de desempenho energético obtidos.

O capítulo 6 apresenta a conclusão do trabalho desenvolvido e a recomendação para as pesquisas futuras.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Para que seja possível compreender o atual cenário mundial relacionado com as questões ambientais, é essencial entender a evolução histórica dos acordos firmados ao longo dos anos, que objetivam controlar a intervenção e a degradação ao meio ambiente. Destacando as iniciativas de caráter político ambiental atuantes no Brasil e em Portugal, assim como a evolução da produção e do consumo energético nesses países, para que seja possível analisar as duas realidades.

2.2 ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

Diante do quadro de crescimento da população, do consumo energético, do uso dos recursos naturais e dos impactos ambientais é relevante que as comunidades mundiais interfiram nessa situação no intuito de minimizar os efeitos da ação humana ao meio ambiente através do estabelecimento de acordos e metas a serem alcançados. Dentre as iniciativas firmadas neste contexto, destacam-se:

- 1972: Conferência de Estocolmo ou Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente - Primeiro evento organizado pela Organização das Nações Unidas (ONU), em Estocolmo na Suécia, que retratou a necessidade de “[...] inspirar e guiar os povos do mundo para preservação e a melhoria do ambiente humano” (ONU Brasil, 2016, não paginado);
- 1972: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) – Programa criado pela ONU para coordenar o trabalho desempenhado pela ONU Meio Ambiente, agência encarregada de “[...] promover a conservação do meio ambiente e o uso eficiente de recursos no contexto do desenvolvimento sustentável.”(ONU Brasil, 2011, não paginado);
- 1987: Protocolo de Montreal: Acordo internacional que objetivou controlar a geração e a emissão dos gases clorofluorcarbonetos (CFC’s), prejudiciais a camada de ozônio (Magalhães, 2018);

CAPÍTULO 2

- 1987: Relatório de Brundtland, conhecido por “Nosso Futuro Comum” - Documento elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) que propôs uma mobilização mundial para o desenvolvimento sustentável (CMMAD, 1987) , conceituando-o como o “[...] desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades.” (1987 *apud* ONU Brasil, 2016, não paginado);
- 1992: Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida por “Cúpula da Terra” – Conferência realizada no Rio de Janeiro que retratou os problemas socioeconômicos e resultou na “Agenda 21”, documento que tinha o objetivo de firmar ações para “[...] afastar o mundo do atual modelo insustentável de crescimento econômico, direcionando para atividades que protejam e renovem os recursos ambientais, no qual o crescimento e o desenvolvimento dependem. ” (ONU Brasil, 2016, não paginado);
- 1997: Protocolo de Quioto – Protocolo que definiu que os países subscritos deveriam reduzir no período de 2008 a 2012 seus níveis de emissão de GEE, em pelo menos 5% em relação as emissões de 1990. Segundo Caldeira (2011, p.13), “A adoção do Protocolo de Quioto, entre outras reações, impulsionou a severidade das normas internacionais relativas ao desempenho térmico dos edifícios.”;
- 2002: Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, conhecida por Rio+10 - Evento mundial promovido pela ONU, em Johannesburgo na África do Sul, com a ideia de avaliar os resultados da “Cúpula da Terra” de 92 e implantar novas metas para os próximos 10 anos (Csillag, 2007);
- 2012: Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, conhecida por Rio+20 - Conferência realizada no Rio de Janeiro, que de acordo com o Comitê Nacional de Organização Rio+20 (Comitê Nacional de Organização Rio+20, 2011, não paginado), teve como principais temas de debate:
 - “A economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza; e
 - A estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável. ”;
- 2015: Acordo de Paris: Tratado internacional adotado durante a Conferência das Partes em Paris, que tem como objetivo “[...] fortalecer a resposta global à ameaça das mudanças climáticas. Ele foi aprovado pelos 195 países participantes que se comprometeram em reduzir emissões de gases de efeito estufa.”(Magalhães, 2018, não paginado). Em junho de 2017, um dos grandes responsáveis pela poluição do planeta, os Estados Unidos, anunciou sua saída do acordo;

- 2016: Acordo de Kigali – Acordo assinado em Kigali, capital da Ruanda. O acordo reforma o protocolo vigente de Montreal e objetiva reduzir a emissão dos gases hidrofluorcarbonetos (HFC) decorrentes da queima dos combustíveis fósseis, através das “[...] metas quantitativas nacionais que podem ser monitorizadas, prazos definidos, sanções para descumpridores e equidade entre as partes.” (Leite, 2016, não paginado).

As iniciativas, no decorrer dos anos, foram se desenvolvendo e os resultados podem ser observados na Figura 2.1, que representa as emissões de carbono dos vinte maiores emissores no ano de 2013 em comparação com os valores de emissão em 1993.

As emissões de carbono na China duplicaram no período entre 1993 e 2013. Assumindo a liderança no ranking dos maiores emissores em 2013 com 9.977 MtCO₂. Aos passos da China, países como a Índia, a Coreia do Sul, o Irã, a Indonésia, o Brasil, a Tailândia e a Turquia aumentaram consideravelmente suas emissões ao longo desses 10 anos.

Pôde-se observar um crescimento menos acentuado, até mesmo controlado, das emissões de carbono em 2013 nos EUA, Japão, Arábia Saudita, Canadá, México, África do Sul e Austrália, em relação ao ano de 1993. Atentando – se ao fato de que os EUA foram os primeiros maiores emissores em 1993 e ocuparam a segunda colocação em 2013, com um crescimento pouco significativo das emissões, porém com valores gravosos ao meio ambiente (5.233 MtCO₂). O controle das emissões com diminuição efetiva dos valores ocorreu na Rússia, Alemanha, Grã-Bretanha, Itália e França.

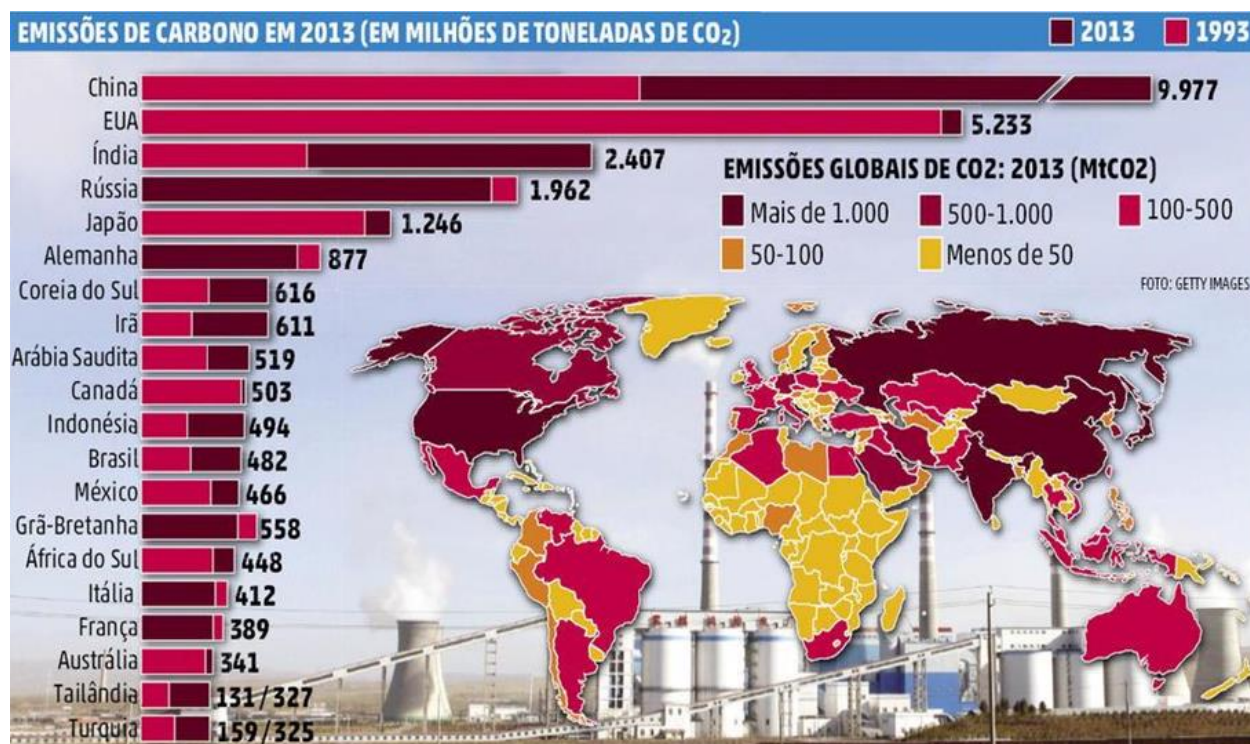


Figura 2.1 – Emissões de carbono em 2013 (Grupo RBS, 2014)

CAPÍTULO 2

Segundo dados de 2017, as emissões de GEE no mundo voltaram a crescer e atingiram o valor de 41,5 gigatoneladas, valor próximo do recorde alcançado em 2015. Este valor refere-se ao CO₂ emitido a partir da queima de combustíveis fósseis, da indústria e das mudanças no uso do solo. A posição dos Estados Unidos e da União Europeia nesse quadro apontou uma diminuição das emissões referentes a indústria e a queima dos combustíveis fósseis, enquanto que a China e a Índia configuraram um aumento nestes quesitos (Planelles, 2017).

A posição da China como o maior emissor de CO₂ no mundo em 2017, deve-se a instabilidade que as chuvas refletem na produção de energia hidrelétrica, fazendo com que o uso do carvão se intensifique. Já nos Estados Unidos, a diminuição das emissões deve-se a maior incorporação do gás natural na geração de energia do país (Planelles, 2017).

Diante do atual quadro sócio-econômico-ambiental e dos resultados pouco expressivos alcançados, é notável a importância em se intensificar os esforços para que as metas firmadas nos acordos internacionais sejam cumpridas, e revertam a degradação cometida contra a humanidade e o meio ambiente.

2.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E ENERGÉTICAS NO BRASIL E EM PORTUGAL

2.3.1 Clima

Brasil, país localizado na América do Sul com uma extensão territorial de 8.515.767,049 km² (IBGE, 2016), que aproximadamente, é 92 vezes superior à área ocupada pelo território português. As características climatológicas do Brasil estão diretamente relacionadas com os aspectos naturais influentes, como a ampla extensão territorial, a localização geográfica, o relevo, as massas de ar atuantes, a vegetação, entre outros fatores responsáveis pela configuração climática diversificada do país. A partir da Classificação de Köppen - Geiger o país apresenta nove tipos climáticos diferentes, sendo que as áreas de atuação no território são observadas na Figura 2.2 e suas principais especificidades listadas na Tabela 2.1.

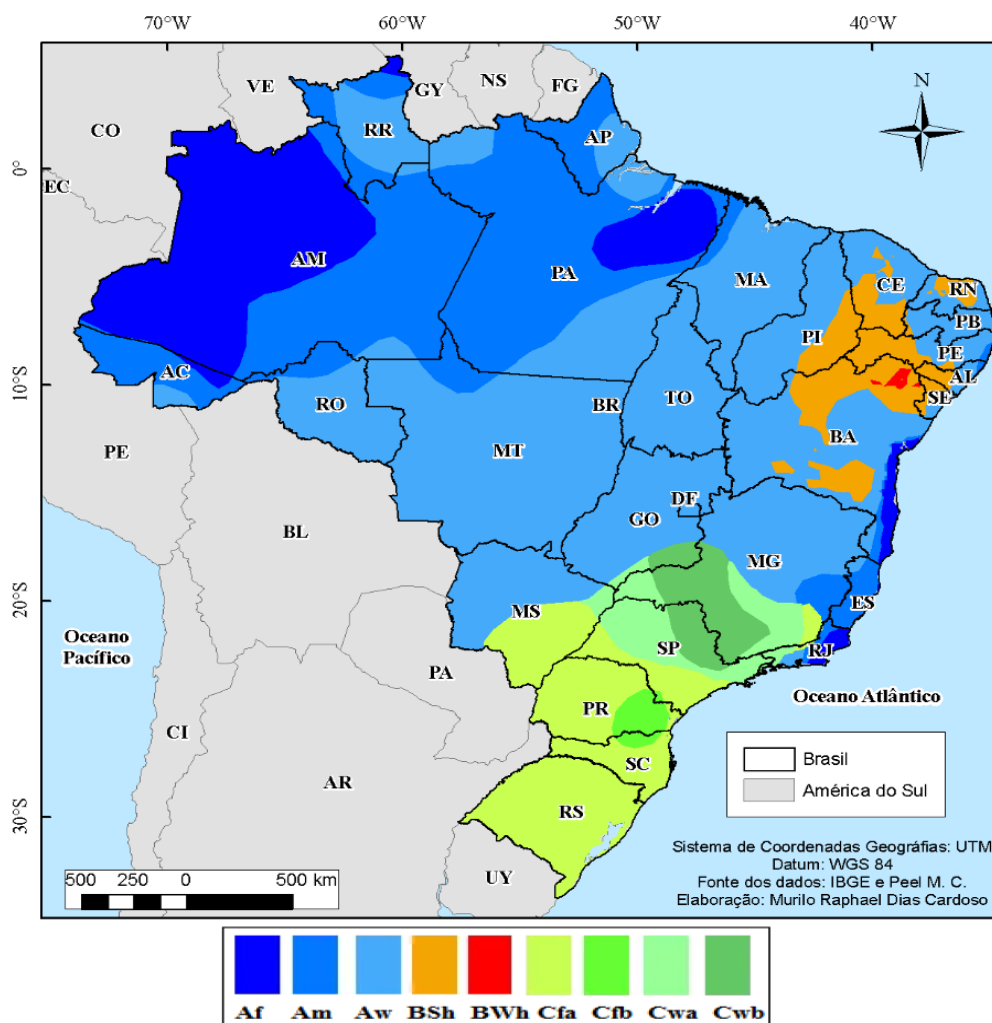


Figura 2.2- Classificação climática de Köppen - Geiger no Brasil (adaptado de Cardoso, 2012)

Tabela 2.1 – Descrição dos climas do Brasil a partir da Classificação de Köppen – Geiger (elaborado a partir dos dados de Ernani Ramalho Carvalho, 2003, não paginado)

TIPO CLIMÁTICO	CARACTERÍSTICAS
Af - Clima tropical húmido ou equatorial de floresta	<p>Não possui estação seca;</p> <p>A temperatura média do mês mais quente é superior a 18°C;</p> <p>A temperatura dos meses quentes (janeiro e fevereiro) é de 24 a 25°C;</p> <p>Precipitação superior ao total de 1500 mm anuais (março a agosto);</p> <p>Precipitação total do mês mais seco superior a 60 mm;</p> <p>Precipitação que excede ao total de 1500 mm anuais nos meses de março a agosto.</p>
Am - Clima tropical de monção	<p>Curto período de estação de seca;</p> <p>Precipitação total elevada;</p> <p>A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C.</p>

CAPÍTULO 2

Aw - Clima tropical de savana com estação seca de inverno	Verão chuvoso, período compreendido entre novembro e abril; Inverso seco, período compreendido entre maio e outubro; A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C; Precipitação total de 750 até 1800 mm anuais.
BSh - Clima de estepe quente	Poucas chuvas, de 250 a 750 mm anuais; Distribuição irregular das chuva e de pequena duração; Umidade relativa do ar e nebulosidade baixas; Insolação e evaporação elevadas; Temperatura média à volta de 27°C.
BWh - Clima das regiões desérticas quentes	Temperatura média anual superior a 22°C.
Cfa - Clima temperado húmido com verão quente	As temperaturas no verão excedem os 22°C; Precipitação superior a 30 mm no mês mais seco.
Cfb - Clima temperado húmido com verão moderadamente quente	Não possui estação seca; Chuvas uniformemente distribuídas; A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C; Precipitação entre 1100 a 2000mm; Ocorrência de geadas durante 10 a 25 dias anualmente.
Cwa - Clima temperado húmido com inverno seco e verão quente	Temperaturas inferiores a 18°C no inverno; Temperaturas superiores a 22°C no verão.
Cwb - Clima temperado húmido com inverno seco e verão curto e moderadamente frio	A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C.

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2017, não paginado) no que se refere ao clima brasileiro, “A distribuição espacial de seu território encontra-se quase completamente dentro da faixa intertropical do Planeta, área de mais intensa radiação solar do globo.”. Influenciado pela sua posição geográfica, grande parte do território brasileiro apresenta temperaturas médias anuais entre 21°C e 27°C. Os registros de temperaturas abaixo de 20 °C concentram-se na região situada ao sul do país, como se observa na Figura 2.3.

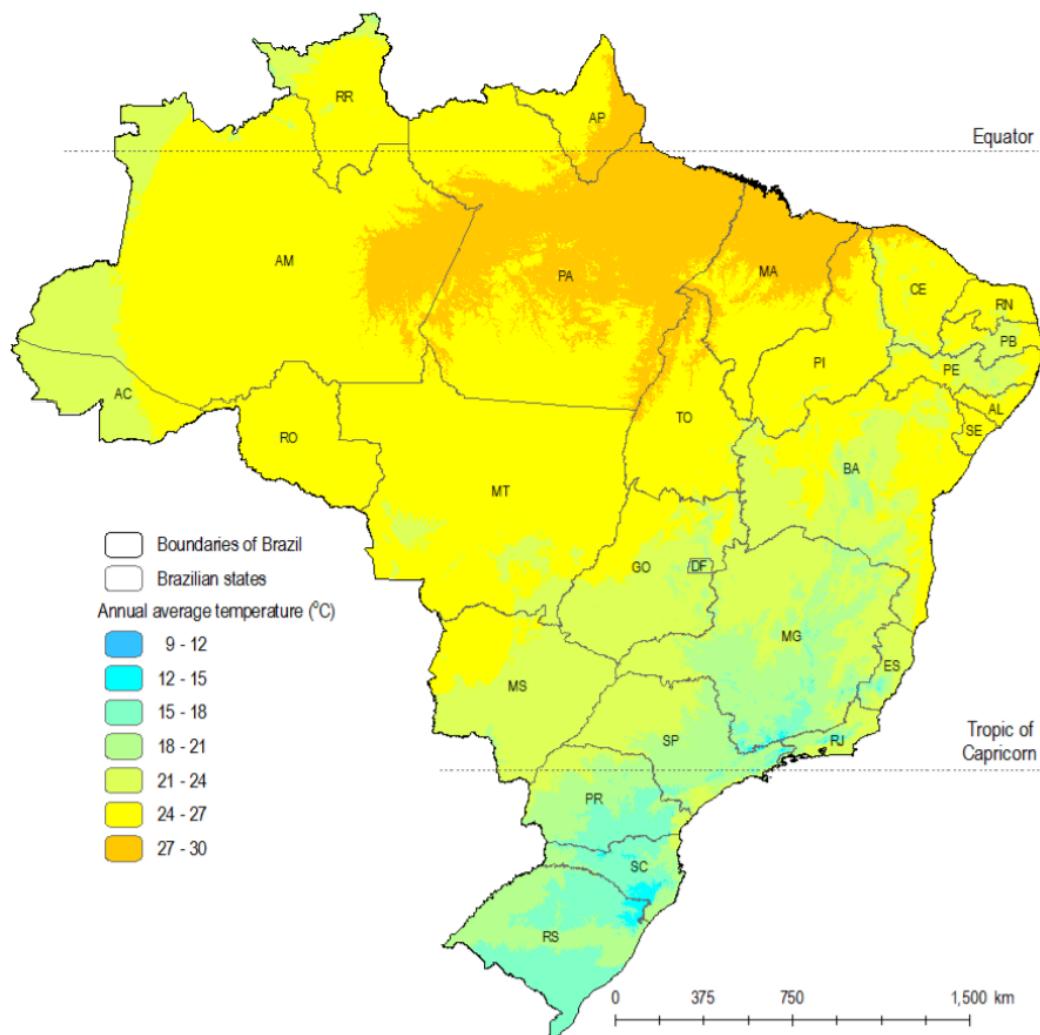


Figura 2.3 – Temperaturas médias anuais do Brasil (Alvares e Stape, 2012)

Uma caracterização do regime climático brasileiro que comumente se faz é a partir da sua divisão de acordo com as cinco regiões do país (Figura 2.4) (Machado, [s.d.]), como se pode observar:

- Região Norte, com temperaturas médias anuais variando entre 24 °C e 26 °C;
- Região Nordeste, com temperaturas médias anuais entre 20 °C e 28 °C. No inverno, principalmente nos meses de junho e julho, as mínimas variam entre 12°C e 16 °C na região litorânea, e inferiores nos planaltos;
- Região Sudeste, com temperatura média anual entre 20°C, no limite de São Paulo e Paraná, e 24°C, ao norte de Minas Gerais, enquanto nas áreas mais elevadas a média pode ser inferior à 18°C. No verão, principalmente no mês de janeiro, as médias variam entre 30 °C a 32 °C. No inverno, a média das temperaturas varia de 6°C a 20 °C;
- Região Sul, com temperatura média anual entre 14 °C e 22 °C, sendo que nos locais com altas altitudes cai para aproximadamente 10 °C. No verão, a média das máximas mantém-se em torno

CAPÍTULO 2

de 24 °C a 27 °C nas superfícies mais elevadas do planalto e, nas áreas mais baixas, entre 30 °C e 32 °C. No inverno, a média das mínimas varia de 6 °C a 12°C;

- Região Centro-oeste, com temperatura média anual de 20 a 22 °C. Na primavera-verão, a média varia de 24 °C a 26 °C. Em setembro (mês mais quente) oscila entre 30 °C e 36 °C. No inverno, a temperatura média das mínimas varia entre 8 °C a 18 °C.

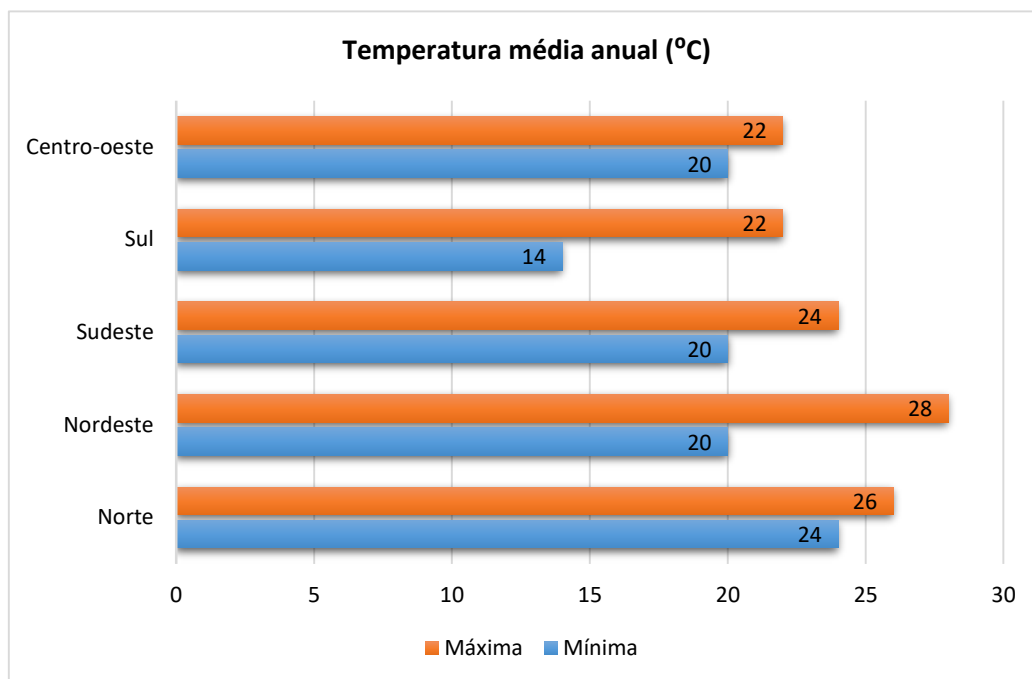


Figura 2.4 – Temperatura média anual máxima e mínima das cinco regiões do Brasil

Portugal tem o seu território continental localizado na região ocidental da Península Ibérica e seus arquipélagos situados no Atlântico Norte. Com uma extensão territorial de 92.225 km² (Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2014), o clima do país segundo o Atlas Climático Ibérico (2011) é identificado conforme a Classificação de Köppen - Geiger, que indica uma predominância do clima temperado. De acordo com a Figura 2.5 -, o clima temperado do território português é subdividido em duas outras classificações:

- Csa, ao sul de Portugal, na qual o clima é caracterizado por um verão seco e quente com a média do mês mais quente superior a 22 °C;
- Csb, ao norte de Portugal, na qual o clima é caracterizado por um verão seco, apresentando a média do mês mais quente menor ou igual a 22 °C e com quatro meses do ano ou mais com a média da temperatura superior a 10 °C.

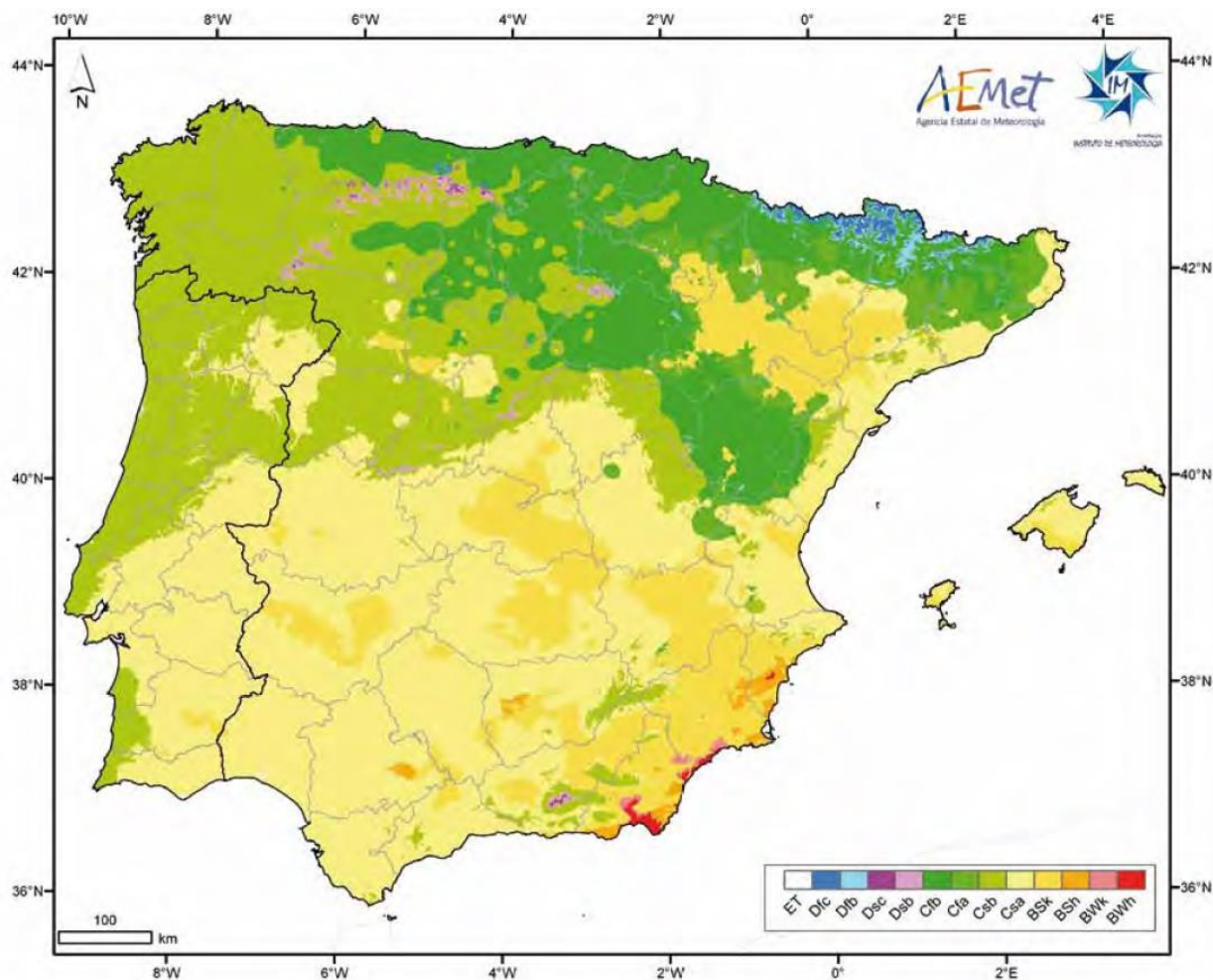


Figura 2.5 - Classificação climática de Köppen – Geiger na Península Ibérica e Ilhas Baleares (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Agencia Estatal de Meteorología e Instituto de Meteorologia de Portugal, 2011)

A distribuição histórica das temperaturas médias registradas em Portugal estão representadas na Figura 2.6, a partir dos dados mensais obtidos no período compreendido entre 1971 e 2000 no território continental do país. A interpretação do gráfico reforça as características do clima temperado predominantes em Portugal e a definição das estações.

O verão, compreendido entre os meses de junho, julho, agosto e setembro, tem médias anuais acima dos 20°C, tendo a maior temperatura média registrada no mês de julho, de 22,2°C. O inverno, compreende os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, e tem as médias mensais abaixo dos 10 °C, tendo a menor temperatura média registrada no mês de janeiro, de 8,8 °C. As estações da primavera e outono tem temperaturas mais amenas, variando as médias entre os 10 °C e os 20 °C.

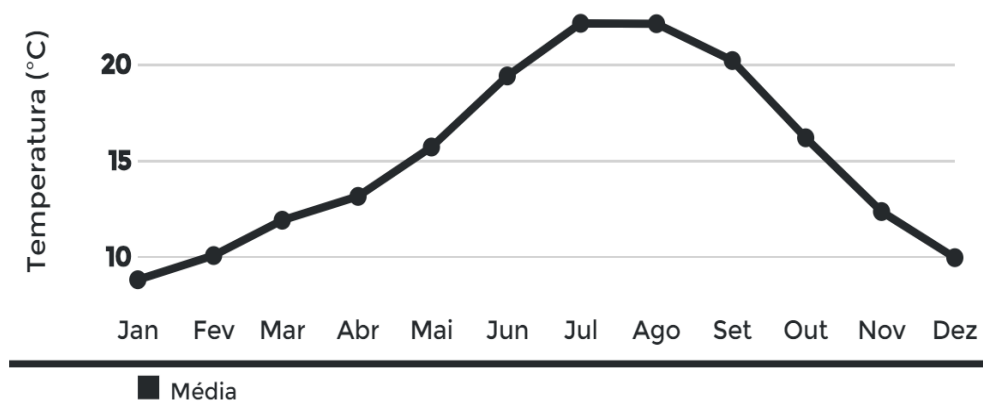


Figura 2.6 – Distribuição anual dos valores mensais de temperatura média em Portugal Continental, 1971-2000 (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2015)

No estudo de caso realizado neste trabalho, as cidades utilizadas para as análises são, no Brasil, a cidade de São Paulo, e em Portugal, a cidade do Porto. Portanto, segue as características climáticas particulares de cada cidade, de acordo com os dados coletados entre 1982 e 2012 pela organização Climate-Data (2013):

- Cidade de São Paulo: temperatura média anual máxima: 23,5°C; temperatura média anual: 18,5 °C; temperatura média anual mínima: 13,6 °C;
- Cidade do Porto: temperatura média anual máxima: 18,8°C; temperatura média anual: 14,4 °C; temperatura média anual mínima: 9,9 °C.

No Brasil e em Portugal as temperaturas de conforto para o verão e para o inverno são diferentes. No Brasil a temperatura de conforto no verão está compreendida entre 23 e 26 °C e para o inverno está entre 20 e 23 °C. Em Portugal a temperatura de conforto para o verão é de 25 °C e para o inverno é de 18 °C.

2.3.2 Recursos energéticos

No Brasil, a matriz energética do país como se observa na Figura 2.7, é composta por fontes energéticas não renováveis, com participação efetiva de 58,8% na oferta de energia em 2015, e por fontes renováveis, com 41,2% da participação. Os recursos energéticos não renováveis utilizados foram o petróleo e derivados (37,3%), o gás natural (13,7%), o carvão mineral (5,9%), o urânio (1,3%) e outras fontes não renováveis (0,6%). Os recursos energéticos renováveis tiveram a participação da biomassa da cana (16,9%), hidráulica (11,3%) que inclui a importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica, lenha e carvão vegetal (8,2%) e lixo e outras fontes renováveis (4,7%) (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2016).

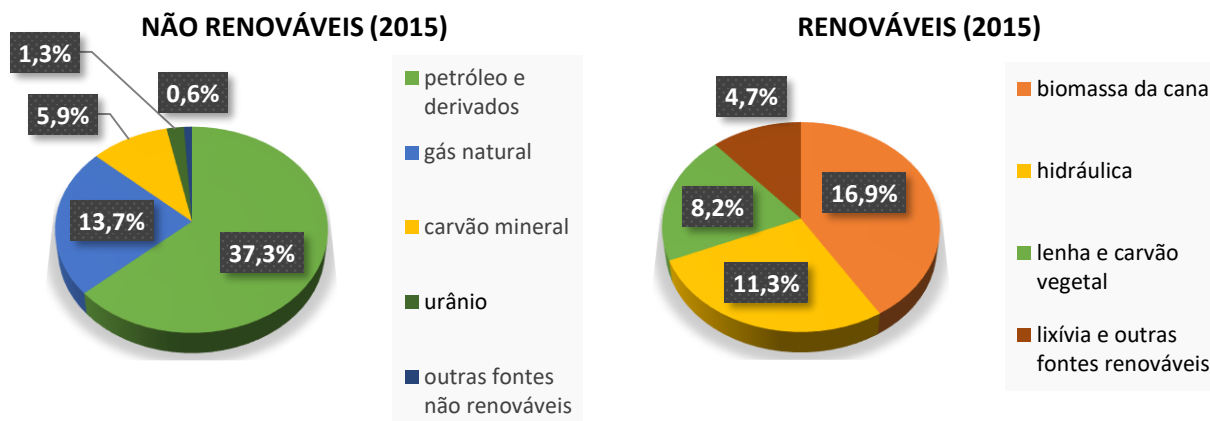


Figura 2.7 – Oferta de energia por fontes renováveis e não renováveis no Brasil em 2015 (elaborado a partir de dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2016)

O Brasil segue dependente do petróleo e seus derivados para a geração de energia, entretanto sua matriz energética tem uma participação expressiva da energia proveniente da biomassa e das hidrelétricas. A partir dos anos 90, o incentivo à diversidade energética no Brasil ganhou força com a pressão de ambientalistas pela redução dos combustíveis fósseis, e tal ação fez com que reduzisse significativamente a dependência externa de energia do país, que foi de 12,7% em 2014 para 2,1% em 2016. Isso se deve também ao incentivo à exploração de recursos nacionais, como as reservas petrolíferas e o aproveitamento dos rios para a ampliação da geração de energia hídrica (Ministério de Minas e Energia, 2017).

Em Portugal, a dependência energética do exterior é um dos grandes desafios enfrentados, pois o país não possui uma produção de fontes fósseis, principalmente de petróleo e gás natural, destinada para a geração de energia. As alternativas adotadas para o controle da situação foram a incorporação das fontes de energia renováveis na economia nacional e o incentivo à eficiência energética (Direção Geral de Energia e Geologia, 2017).

A matriz energética do país de acordo com a Figura 2.8, mantém o petróleo como principal fonte de energia consumida no período analisado de 2005 a 2015, representando 42,8% da matriz em 2015, seguido pelas energias renováveis com 22,2%, o gás natural com 18,6%, o carvão com 14,8%, a eletricidade importada com 0,9% e os resíduos industriais com 0,8% (Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2018).

CAPÍTULO 2

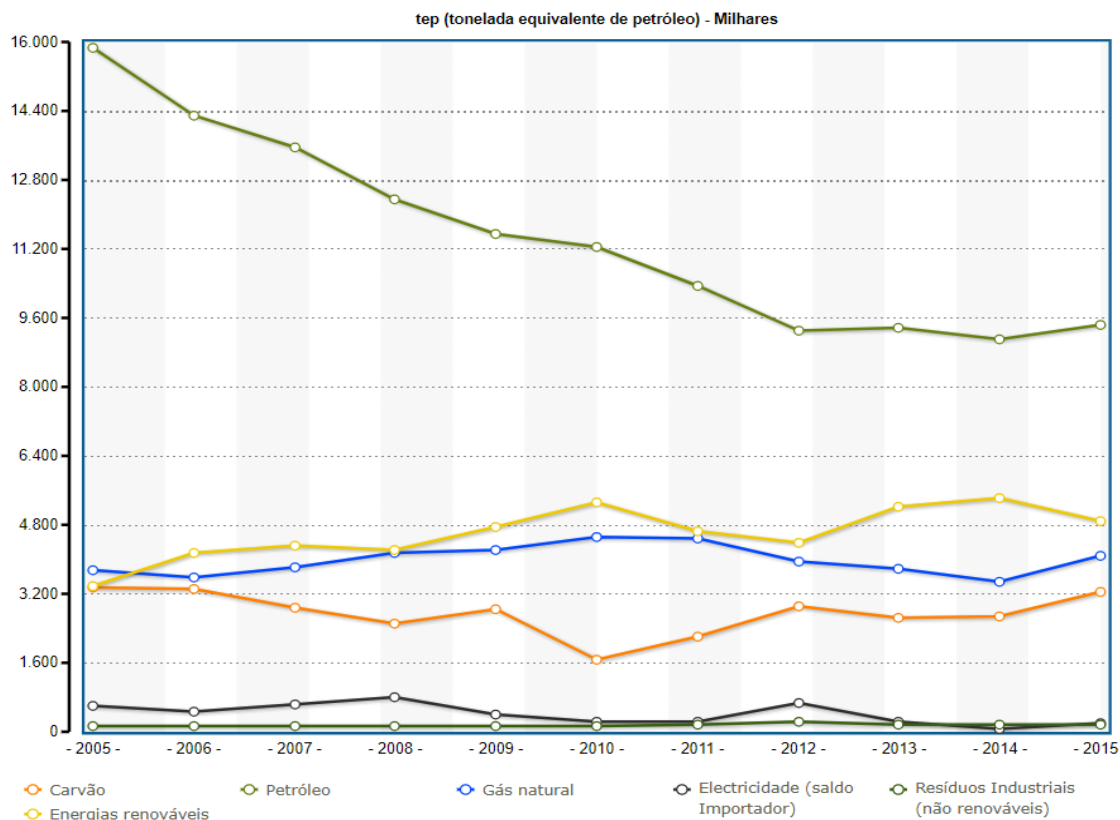


Figura 2.8 – Matriz Energética de Portugal, no período de 2005 - 2015 (Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2018)

Em resposta as iniciativas tomadas, Portugal vem alcançando desde 2010 níveis de dependência abaixo dos 80%, de acordo com os dados da Figura 2.9. No entanto, em 2015 um aumento de 5,9% em relação a 2014 refletiu a instabilidade da produção de energia elétrica do país a partir das fontes hídricas e eólicas. Quando ocorre uma variação da disponibilidade destes recursos, consequentemente, há um aumento da importação dos recursos fósseis no país (Direção Geral de Energia e Geologia, 2017).

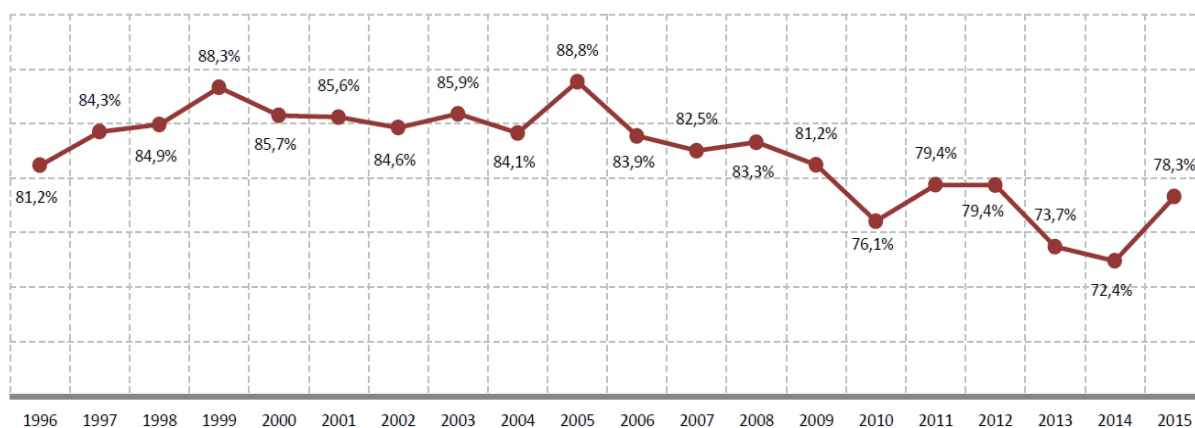


Figura 2.9 – Dependência energética de Portugal, no período de 1996 - 2015 (Direção Geral de Energia e Geologia, 2017)

A dependência na importação dos recursos energéticos é uma situação que deixa Portugal vulnerável a qualquer mudança econômica que venha a ocorrer no mundo. Afinal, a maior parcela das importações realizadas pelo país é para suprir as necessidades do petróleo bruto e dos produtos petrolíferos (Figura 2.10), os quais representaram em 2015 68,8% do total importado. As demais importações registradas neste mesmo ano, foram de gás natural (15,6%), combustíveis sólidos (12,3%), energia elétrica (2,7%) e energias renováveis (0,6%).

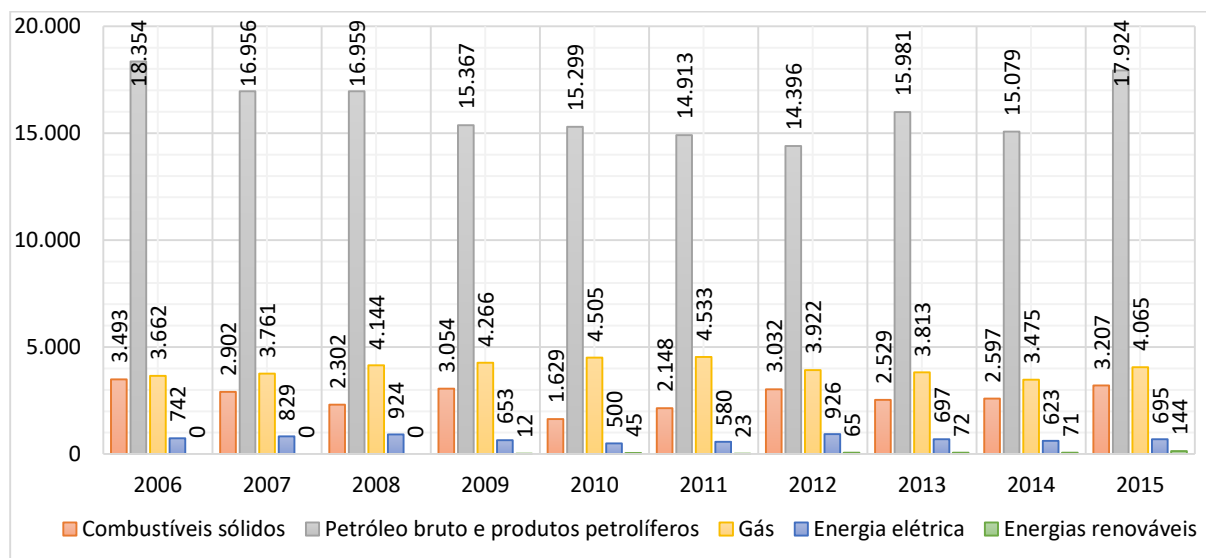


Figura 2.10 - Evolução das importações por fonte de energia em Portugal, no período de 2006 - 2015 (elaborado a partir dos dados da Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2017)

2.3.3 Produção de energia

No Brasil, a produção de energia primária em 2014, de acordo com dados divulgados no Balanço Energético Nacional (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2015), atingiu um total de 272,6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), sendo 118,7 Mtep através de fontes renováveis e 153,9 Mtep através de fontes não renováveis.

Como se pode observar na Figura 2.11, as fontes renováveis representaram em 2014, 43,5% do total produzido (produtos da cana-de-açúcar 18,1%, energia hidráulica 11,8%, lenha 9,1% e outras renováveis 4,6%), e as fontes não renováveis representaram 56,5% (petróleo 42,8%, gás natural 11,6% e carvão 1,1%, outras não renováveis 1,0% e urânio 0,2%).

No que se refere a oferta interna de energia, o Brasil ofertou em 2014 um total de 305,6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), sendo 120,5 Mtep através de fontes renováveis (39,4%) e 185,1 Mtep através de fontes não renováveis (60,6%).

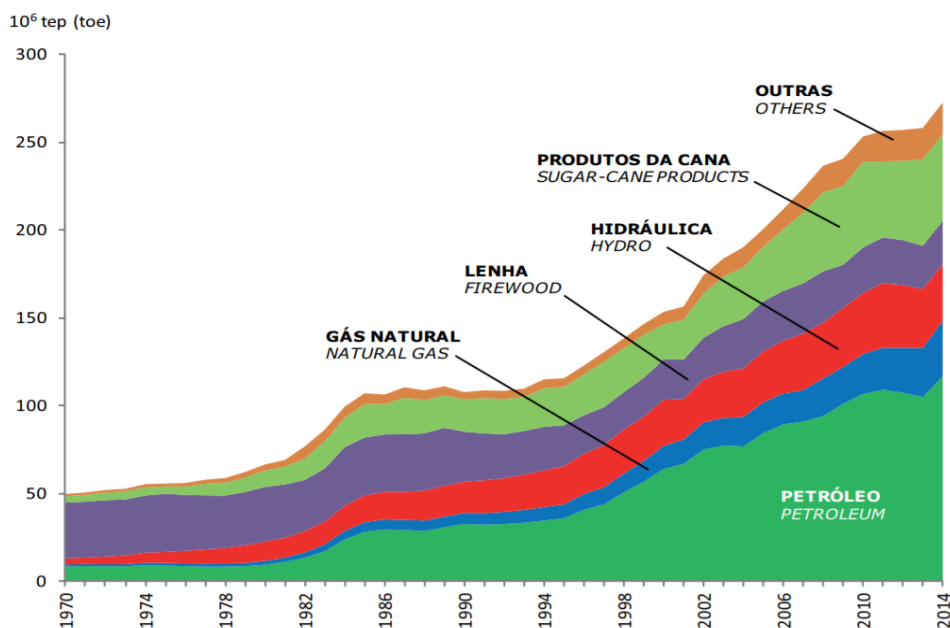


Figura 2.11 – Produção de energia primária por fonte no Brasil, no período de 1970 – 2014 (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2015)

De acordo com a Figura 2.12, a principal fonte utilizada na oferta interna de energia no Brasil é o petróleo e derivados, representando em 2014, 39,4% da oferta total. As demais fontes são os derivados da cana com 15,7% , gás natural com 13,5%, hidráulica com 11,5% (incluindo a importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica), lenha e carvão vegetal com 8,1%, carvão mineral e coque com 5,7%, outras renováveis com 4,1%, urânio com 1,3% e outras não renováveis com 0,6% (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2015).

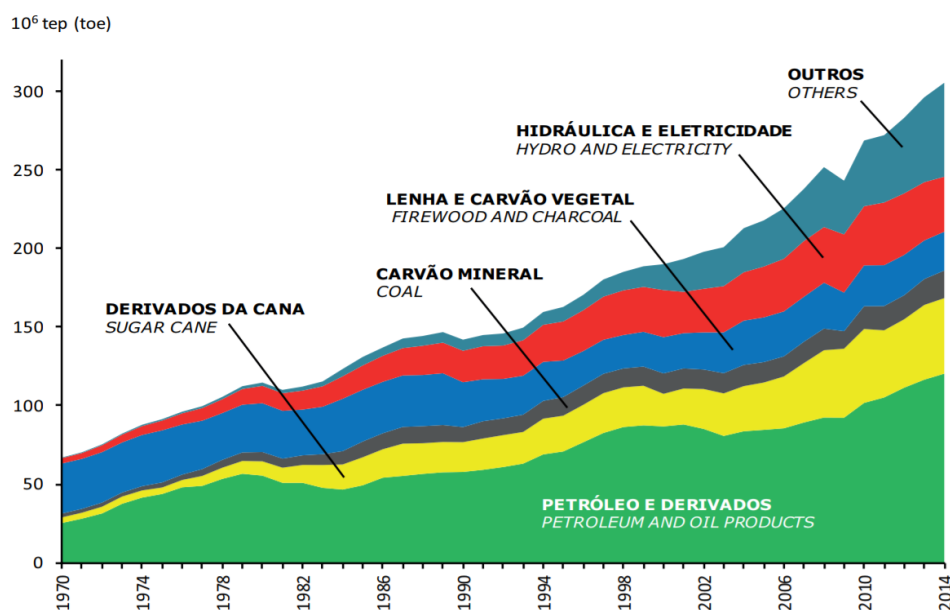


Figura 2.12- Oferta interna de energia por fonte no Brasil, no período de 1970 - 2014 (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2015)

Em Portugal, a produção de energia primária em 2014, de acordo com dados divulgados na *Energy Policies of IEA Countries: Portugal 2016 Review (International Energy Agency et al., 2016)*, atingiu um total de 5,6 Mtep, sendo que toda a energia produzida no país se faz a partir de fontes de energia renováveis, não tendo produção de combustíveis fósseis.

Como se pode observar na Figura 2.13, a principal fonte utilizada na produção de energia em Portugal são os biocombustíveis e resíduos, representando em 2014, 52,2% da produção total. As demais fontes são as hidrelétricas com 23,9%, eólica com 18,5%, geotérmica com 3,1% e a solar com 2,3%. A energia eólica e a solar tiveram aumentos significativos, cresceram a uma taxa de 31% e 20%, respectivamente, no período de 2013-2014, e impulsionaram a produção de energia em Portugal, que contabilizou em 2014 um aumento de 44,4% da produção, se comparado a produção de 2004.

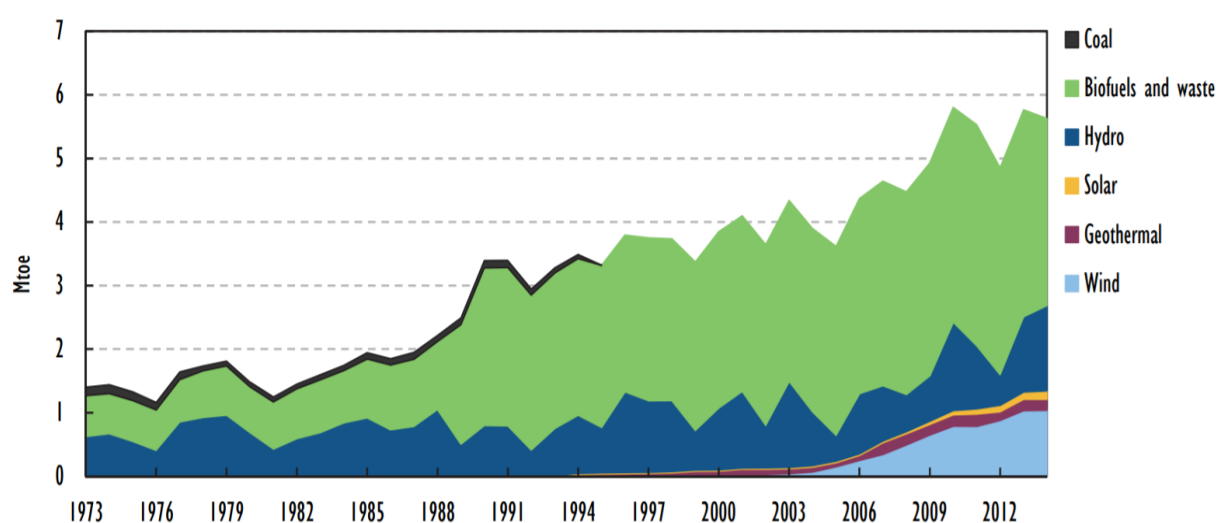


Figura 2.13 – Produção de energia primária por fonte em Portugal, no período de 1973 - 2014
(International Energy Agency *et al.*, 2016)

No que se refere a oferta interna de energia, Portugal ofertou em 2014 um total de 21,1 Mtep, sendo que a produção de energia no país foi responsável por apenas 27% do total ofertado. Os combustíveis fósseis representaram em 2014, 74,3% do total fornecido (petróleo 45,1%, gás natural 16,4% e carvão 12,7%), e as fontes renováveis representaram 25,4% (biocombustíveis e resíduos 12,6%, hidroelétrica 6,4%, vento 4,9%, geotérmica 0,8% e solar 0,6%)(Figura 2.14). O restante do fornecimento refere-se as importações líquidas de eletricidade.

Analisando o uso do petróleo e do carvão na oferta de energia no período de 2004 a 2014, nota-se uma diminuição em torno de 35,3% e 20,4%, respectivamente, enquanto o gás natural teve um aumento de 5% neste mesmo período.

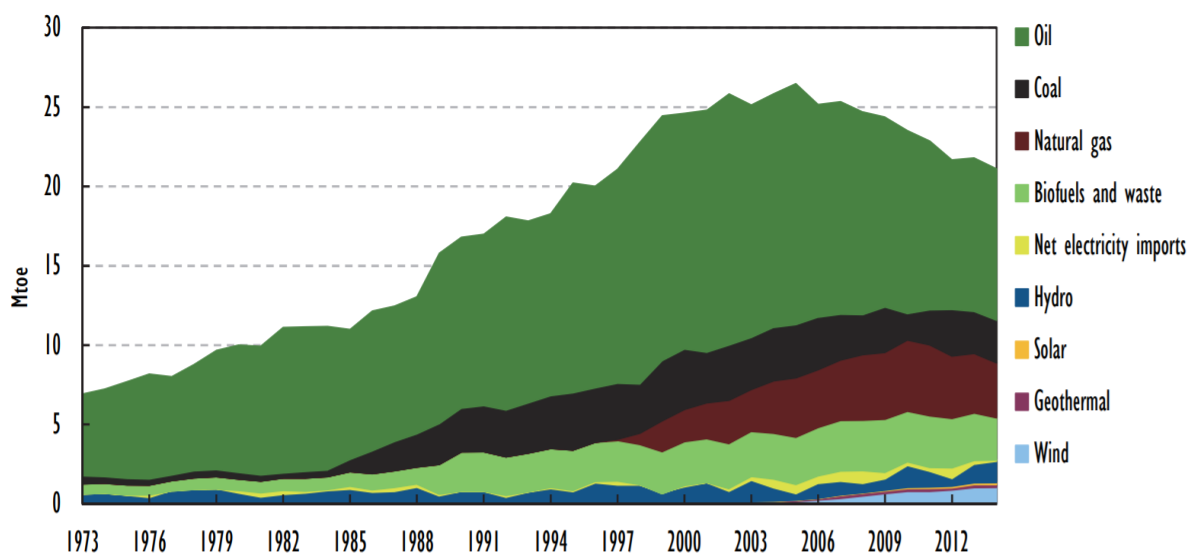


Figura 2.14 –Oferta interna de energia por fonte em Portugal, no período de 1973 – 2014 (International Energy Agency *et al.*, 2016)

2.3.4 Consumo da energia primária e consumo final de energia

Em 2011, o consumo de fontes primárias de energia no Brasil indicava a energia renovável como responsável por 40% do consumo total, contra 8% do consumo mundial neste mesmo ano. Entretanto, o consumo de petróleo no país representava 45% do consumo de fontes primárias, que somado as demais fontes não renováveis resultava em um total de 60% do consumo, contra 92% do consumo mundial de fontes primárias não renováveis (Schutz, Massuquetti e Alves, 2013).

No Brasil, o consumo de energia primária no período entre 2007 e 2016 registrou o maior valor em 2014, com 287,2 Mtep e uma diminuição do consumo em 2007, com 239,7 Mtep. No ano de 2016 foram consumidos 273,4 Mtep de energia primária, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2017). O consumo do petróleo, como principal fonte não renovável de energia primária em 2011, apresentou valor de consumo semelhante em 2016. Já a principal fonte renovável de energia primária em 2011, a energia hidráulica, apresentou uma diminuição de 11% em 2016 (Tabela 2.2).

Das fontes energéticas que compõe o quadro de consumo da energia primária no Brasil, o petróleo, o gás natural e o carvão vapor foram as fontes que atingiram o maior consumo em 2014, em relação ao período analisado. As fontes de energia eólica, lixo e outras fontes primárias registraram crescimento anual do consumo em praticamente todo o intervalo considerado.

Tabela 2.2 – Consumo de energia primária: total e por tipo de fonte de energia no Brasil, no período de 2007 – 2016 (elaborada a partir dos dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2017)

Identificação	Unidade	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Consumo total	10³ tep	239.735	248.845	240.094	257.573	259.105	268.745	282.397	287.231	281.615	273.381
Petróleo	10 ³ m ³	101.058	102.431	103.381	103.712	105.215	109.940	118.117	121.008	114.428	105.467
Gás natural	10 ⁶ m ³	22.913	26.898	21.580	28.311	28.474	33.611	39.580	43.398	42.761	36.830
Carvão vapor	10 ³ t	10.516	10.250	8.339	10.720	11.439	12.761	15.569	16.931	16.914	15.236
Carvão metalúrgico	10 ³ t	10.366	10.470	9.281	10.954	11.351	10.841	10.516	10.884	10.372	10.393
Energia hidráulica	GWh	374.015	369.556	390.988	403.290	428.333	415.342	390.992	373.439	359.743	380.911
Energia eólica	GWh	663	1.183	1.238	2.177	2.705	5.050	6.576	12.210	21.626	33.489
Urânio(U ₃ O ₈)	t	592,0	451,1	381,7	475,5	696,5	659,6	495,7	172,3	95,7	475,5
Lenha	10 ³ t	92.317	94.279	79.385	83.385	83.860	82.847	79.290	80.437	80.322	74.500
Caldo de cana	10 ³ t	141.327	181.633	172.618	185.080	143.310	145.274	185.331	192.810	208.328	182.708
Melaço	10 ³ t	16.198	15.880	16.226	17.465	19.557	20.792	20.150	19.845	19.152	21.776
Bagaço de cana	10 ³ t	134.550	144.443	146.176	160.333	146.943	154.027	163.132	161.174	162.588	168.567
Lixívia	10 ³ t	17.090	18.141	19.639	21.136	21.625	21.443	22.681	25.818	27.608	29.499
Outras fontes primárias	10 ³ tep	2.754	3.179	3.620	4.225	4.545	4.676	5.091	5.724	6.283	6.253

O consumo final de energia no Brasil no período de 2007 a 2016, registrou o menor consumo em 2007, de 215,2 Mtep e o maior consumo em 2014, com aproximadamente 266 Mtep (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2016). Os derivados de petróleo apresentam-se desde 1972, como as principais fontes de consumo final da energia no Brasil, e o aumento do consumo verificado no decorrer dos anos é expressivo em relação ao restante das fontes (Figura 2.15). Em 2016, com um consumo total de 257 Mtep, os derivados de petróleo totalizaram 42,2% das fontes consumidas (Figura 2.16), seguido da eletricidade com 17,3% e dos derivados da cana com 16,9% (Empresa de Pesquisa Energética, 2017).

CAPÍTULO 2

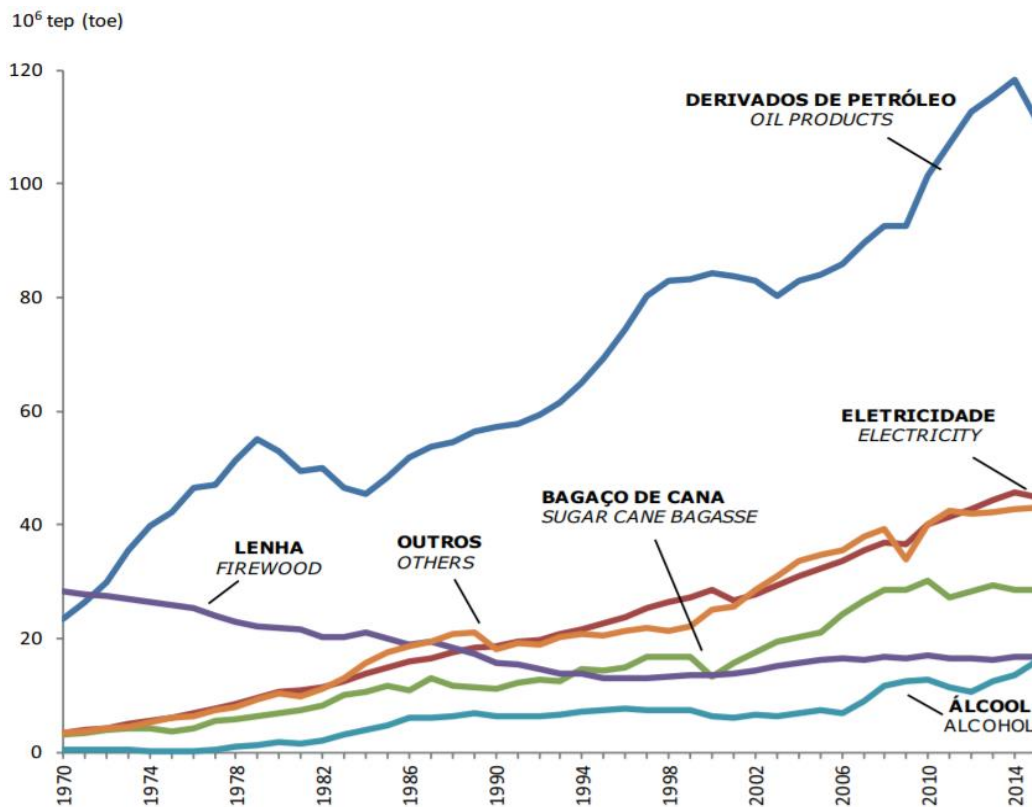
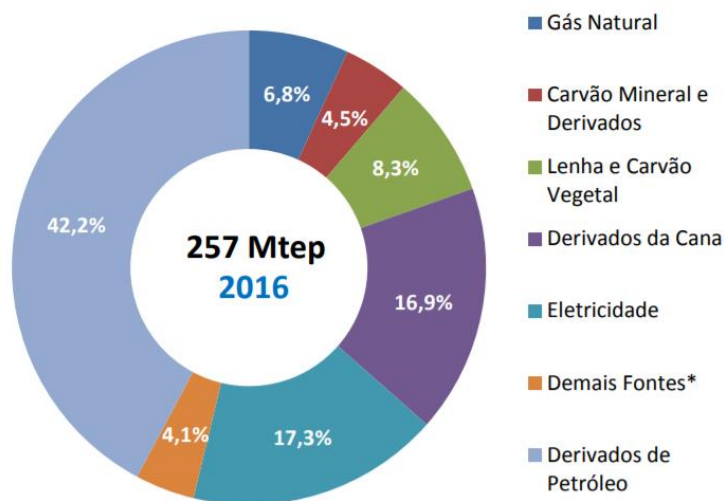


Figura 2.15 – Consumo de energia final por fonte no Brasil, no período de 1970 – 2015 (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2016)



*Inclui biodiesel, lixívia, outras renováveis e outras não renováveis

Figura 2.16 – Consumo final de energia por fonte no Brasil em 2016 (adaptado da Empresa de Pesquisa Energética, 2017)

O consumo final de energia no Brasil por setor de atividade apresentou os setores de uso energético como os responsáveis por 93,2% do consumo em 2016 e o restante, pelos setores de uso não energético (Figura 2.17). Somando as atividades de produção industrial, transporte de carga e mobilidade de pessoas, o Brasil consumiu aproximadamente 64% da energia final do país, sendo o setor de transportes consumidor de 32,2% e o setor industrial de 31,5%. O setor residencial apresentou um consumo de 9,7% do total. As maiores variações de consumo de 2015 para 2016 foram notadas no setor agropecuário que teve uma diminuição de 10,4% (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2017).

No Brasil, as fontes consumidas nos principais setores em 2016 foram o óleo diesel (43,9%) nos transportes, a eletricidade na indústria (19,9%) e no setor residencial (46%). No setor industrial, 58% das fontes consumidas foram de origem renovável, nos transportes 20% e no setor residencial 64% (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2017).

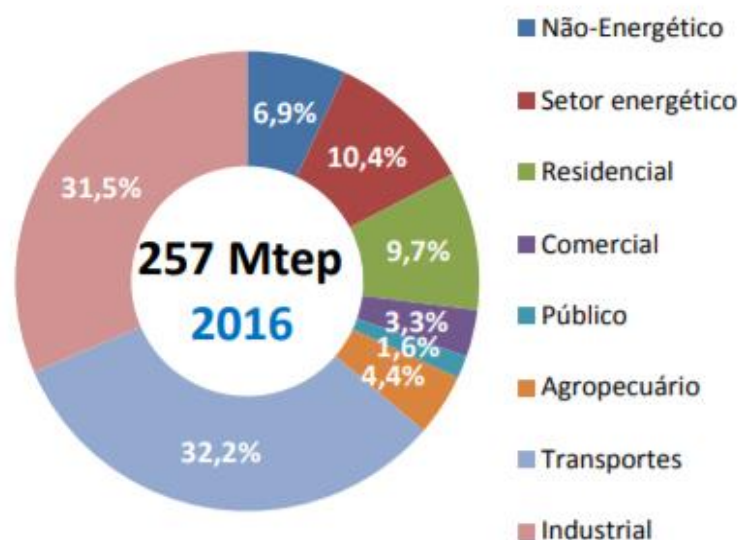


Figura 2.17 – Consumo final de energia por setor no Brasil em 2016 (adaptado da Empresa de Pesquisa Energética, 2017)

Em Portugal, o consumo total de energia primária no período analisado de 2000 a 2016, atingiu o maior consumo em 2005 com 27.087 tep e o menor consumo em 2014 com 20.921tep (Figura 2.18). Em 2016, o consumo registrado foi de 21.919 tep, sendo o petróleo a energia mais consumida não só neste ano, como em todo período. O consumo do petróleo já atingiu uma taxa de 62,6% do consumo total em 2001 e em 2016 representou 42,8%, uma queda significativa, uma vez que as energias renováveis tiveram a menor taxa em 2005 (12,5%) e em 2016 atingiram próximo dos 25,4%, crescendo consideravelmente suas demandas neste ano. O consumo de gás natural também cresceu, tendo o menor consumo em 2000 com 8,2%, passando a 19,8% em 2016.

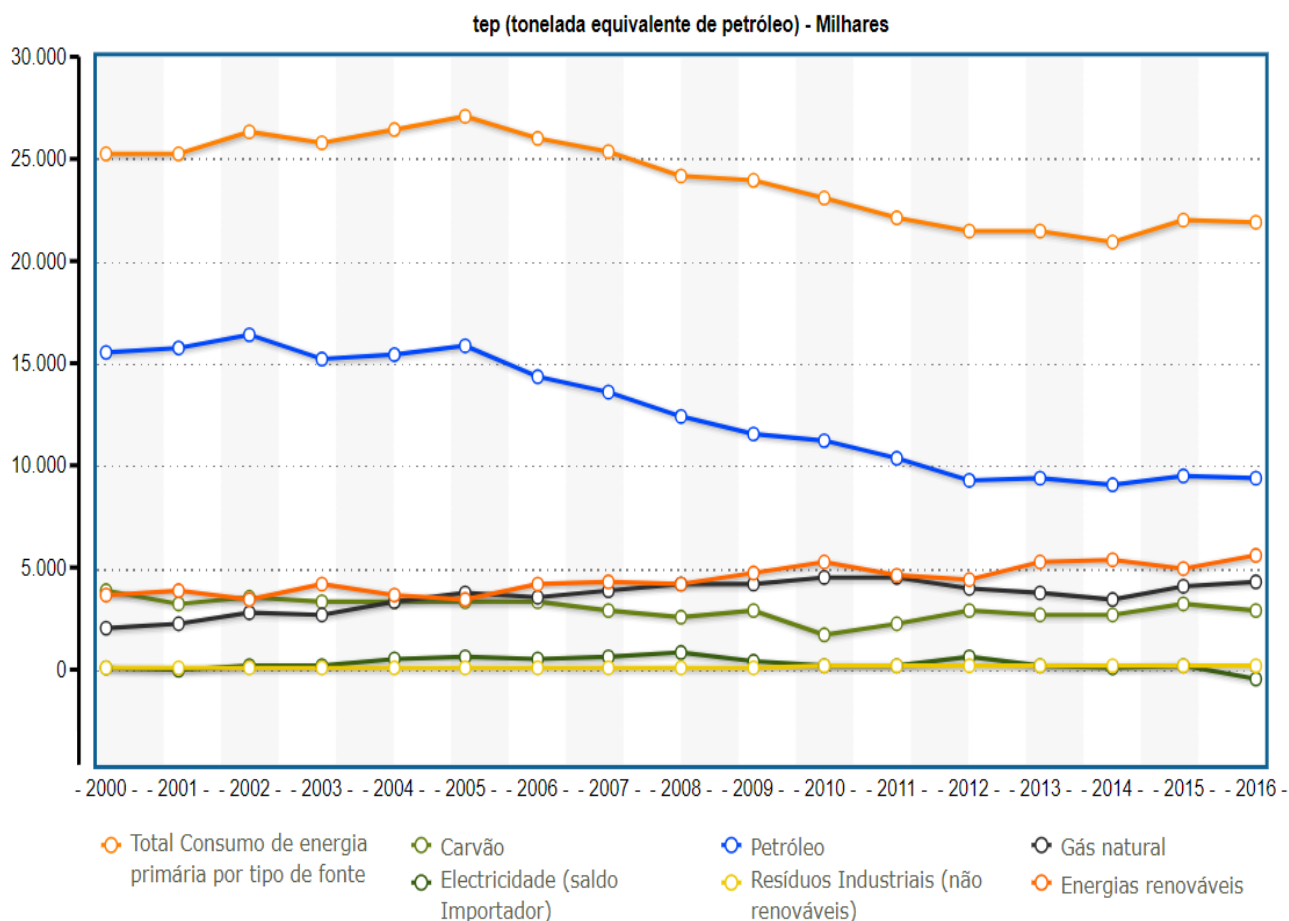


Figura 2.18 – Consumo de energia primária: total e por tipo de fonte de energia em Portugal, no período de 2000 - 2016 (Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2018)

Referente ao consumo total de energia final¹ em Portugal, este representa cerca de 75% da oferta total de energia primária, o restante é utilizado por indústrias de geração de energia e outras indústrias de energia (International Energy Agency *et al.*, 2016). O consumo em 2015, de acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia (2017), foi de 15.352.460 toneladas equivalente de petróleo (tep). No período de 2006 a 2015 a queda no consumo atingiu uma taxa de -2,5% ao ano. Em relação aos tipos de fonte, aponta o petróleo como principal fonte de energia final em 2015 (49%)(Figura 2.19). A demanda de 2015 comparada com a demanda de 2006 tem o petróleo alterando o seu consumo de 56% para 49%, a eletricidade de 21% para 26%, renováveis de 9% para 7%, gás natural de 7% para 10%, calor de 6% para 8 % e outras fontes de 0,3% para 0,4%.

¹ O consumo total de energia final refere-se ao consumo na forma de eletricidade, calor, gás, derivados de petróleo, etc. Excluindo os combustíveis usados na geração de eletricidade e calor e outras indústrias de energia.

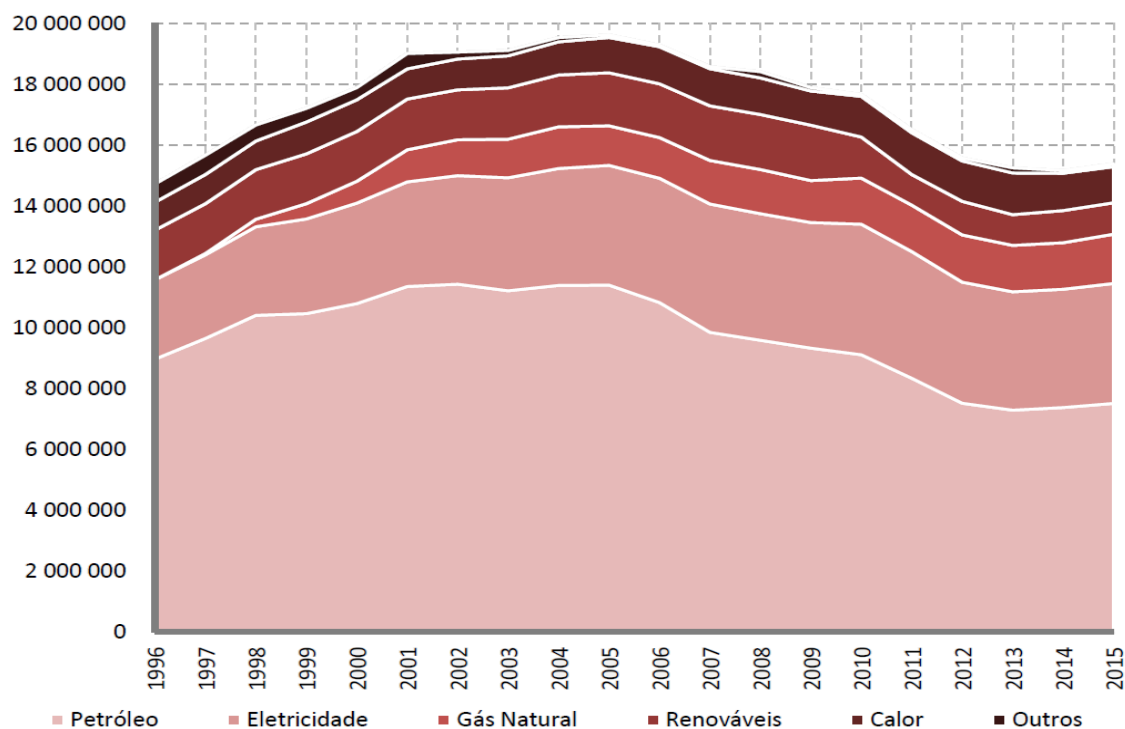


Figura 2.19- Consumo total de energia final por fonte (tep) em Portugal, no período de 1996 – 2015
(Direção Geral de Energia e Geologia, 2017)

O consumo de energia final por setor de atividade tem os setores de transportes e indústria como os principais consumidores. Em 2015, consumiram 37% e 31%, respectivamente. O setor doméstico representou em 2015 16%, enquanto o setor de serviços e o setor de agricultura e pescas tiveram a menor participação com 13% e 3%, respectivamente (Direção Geral de Energia e Geologia, 2017).

Segundo dados da Fundação Francisco Manuel dos Santos (2018), o consumo total de energia primária e o consumo total de energia final em Portugal tiveram uma baixa de aproximadamente 15% e 14,6%, respectivamente, em 2015 face ao ano de 2006.

Estes resultados promissores concretizam parte dos objetivos estratégicos firmados pelo Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), o qual tinha como orientação a economia do consumo de energia final até 2016, de 8,2% em relação ao consumo média verificado entre 2011 e 2005 (Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética, 2016). Para 2020, a meta definida por Portugal a partir da Nova Diretiva relativa à Eficiência Energética é de atender o limite máximo de 22,5 Mtep para o consumo de energia primária, que resultaria em uma diminuição de 25% do consumo total (Direção Geral de Energia e Geologia, 2017).

Uma comparação entre o consumo de energia primária e de energia elétrica registrados no mundo, no Brasil e em Portugal no período de 2000 a 2014 pode ser observado na Figura 2.20 e Figura 2.21. Em 2014,

CAPÍTULO 2

o uso de energia primária per capita no mundo registrou 1.920,7 quilogramas equivalentes de petróleo (kgoe) por habitante. No Brasil e em Portugal, este consumo por habitante foi de 1.484,9 kgoe e 2.034,5 kgoe, respectivamente. O uso de energia primária per capita em Portugal em 2014, foi 5,9% maior que o consumo mundial e 37% maior que o consumo do Brasil.

No que se refere ao consumo de energia elétrica per capita, no mundo foi consumido em 2014, por habitante, 3.128,4kWh. No Brasil e em Portugal, o consumo de eletricidade por habitante registrou em 2014, 2.601,37kWh e 4.662,6kWh, respectivamente. Portugal superou o consumo de energia elétrica per capita mundial em 49% e o do Brasil em 79,2%.

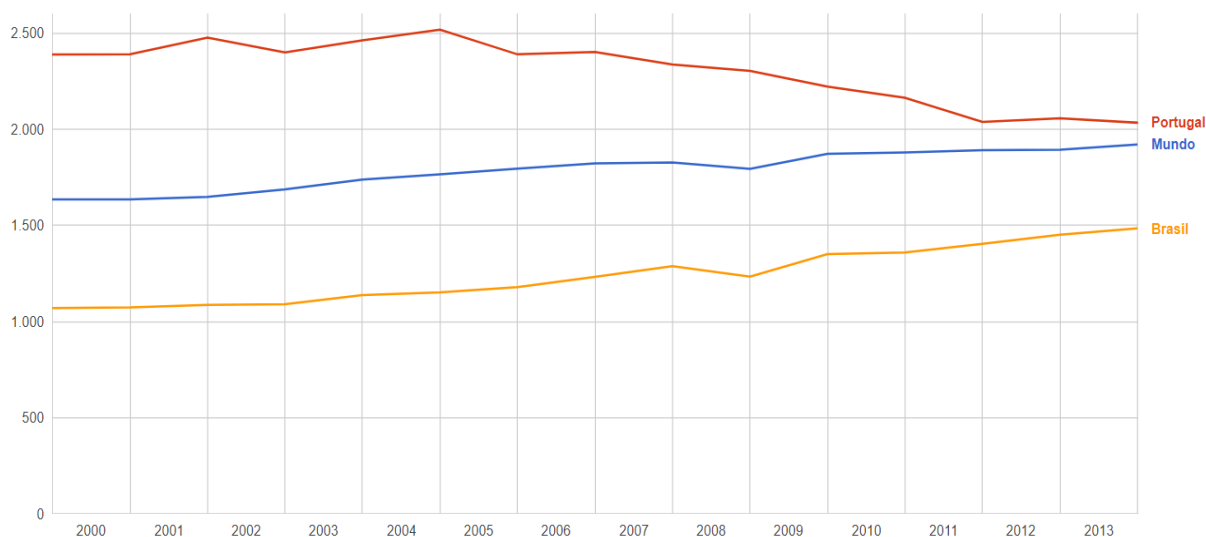


Figura 2.20 – Uso primário de energia em quilogramas equivalentes de petróleo, per capita, no período de 2000 - 2014 (Banco Mundial, 2018)

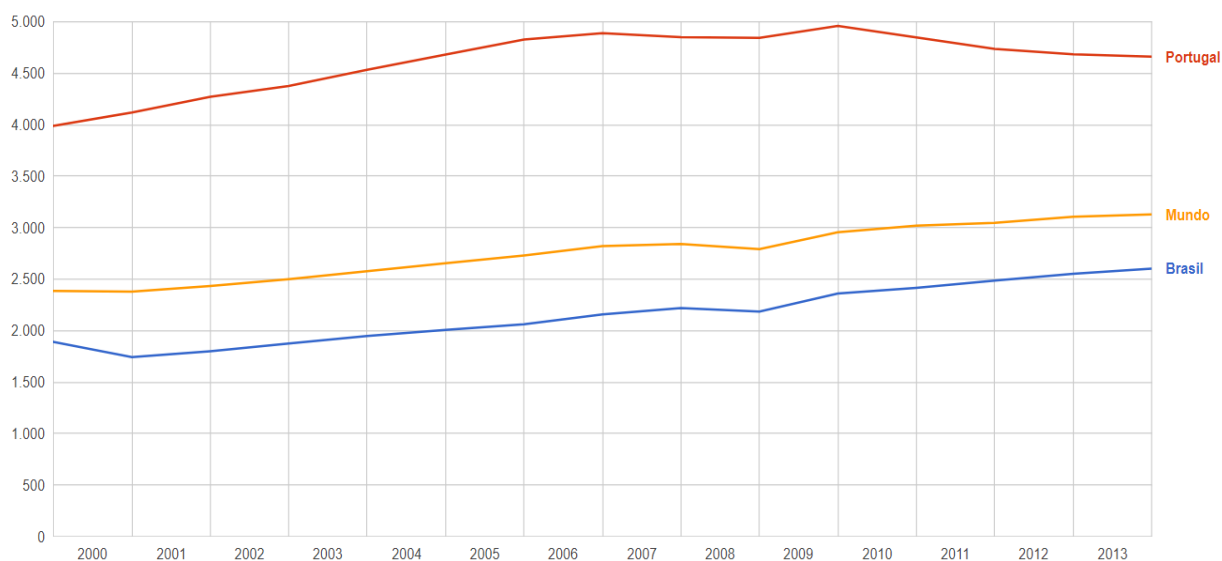


Figura 2.21 – Consumo de eletricidade em quilowatt/hora, per capita, no período de 2000 – 2014 (Banco Mundial, 2018)

2.3.5 Energia renovável

A participação das fontes renováveis na matriz energética mundial, segundo dados divulgados pela Empresa de Pesquisa Energética (2016), registrou em 2014 uma taxa de 13,5%. Entre os países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) a participação em 2014, foi de 9,4% e no Brasil foi de 39,4%, uma das mais elevadas do mundo.

O aproveitamento dos recursos renováveis, tanto no Brasil quanto em Portugal, é instável, pois depende das condições climáticas que variam e afetam a disponibilidade dos recursos nos períodos de maior consumo.

No Brasil, a energia renovável ofertada no período de 2007 a 2016, de acordo com os dados da Tabela 2.3, tem como principal fonte renovável os derivados de cana-de-açúcar, representando 17,5% da oferta total de energia no país em 2016. Seguido da fonte hidráulica, com 12,6% da oferta e da lenha e carvão vegetal com uma taxa de 8,0%, embora essa participação seja a menor desde 2007. A energia ofertada a partir da fonte solar só começou a compor o quadro energético no país em 2015 e se caracteriza pela pouca representativa, com 5 mil tep em 2015 e 7 mil tep em 2016.

Em Portugal, a principal fonte renovável no quadro energético do país no período de 2007 a 2016, de acordo com os dados da Figura 2.22, foi a biomassa. Seguida da fonte hídrica, que manteve a segunda posição na maior parte do período analisado, sendo superada apenas em 2012 e 2015 pela fonte eólica. Em 2016 a biomassa atingiu o valor de 2.412 tep, a fonte hídrica 1.454 tep e a eólica 1.073 tep.

Tabela 2.3 – Energias renováveis no balanço energético do Brasil (10^3 tep), no período de 2007 – 2016
(elaborada a partir dos dados da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2017)

Identificação	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Energia renovável	108.367	114.878	113.733	120.152	118.341	118.328	119.833	120.478	123.672	125.345
Hidráulica*	35.505	35.412	37.036	37.663	39.923	39.181	37.093	35.019	33.897	36.265
Lenha e carvão vegetal	28.628	29.227	24.610	25.998	25.997	25.683	24.580	24.936	24.900	23.095
Derivados da cana-de-açúcar	37.852	42.872	43.978	47.102	42.777	43.557	47.601	48.170	50.648	50.318
Eólica	57	102	106	187	233	434	566	1.050	1.860	2.880
Solar									5	7
Outras renováveis	6.325	7.265	8.002	9.202	9.412	9.473	9.993	11.303	12.362	12.779

*Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica.

CAPÍTULO 2

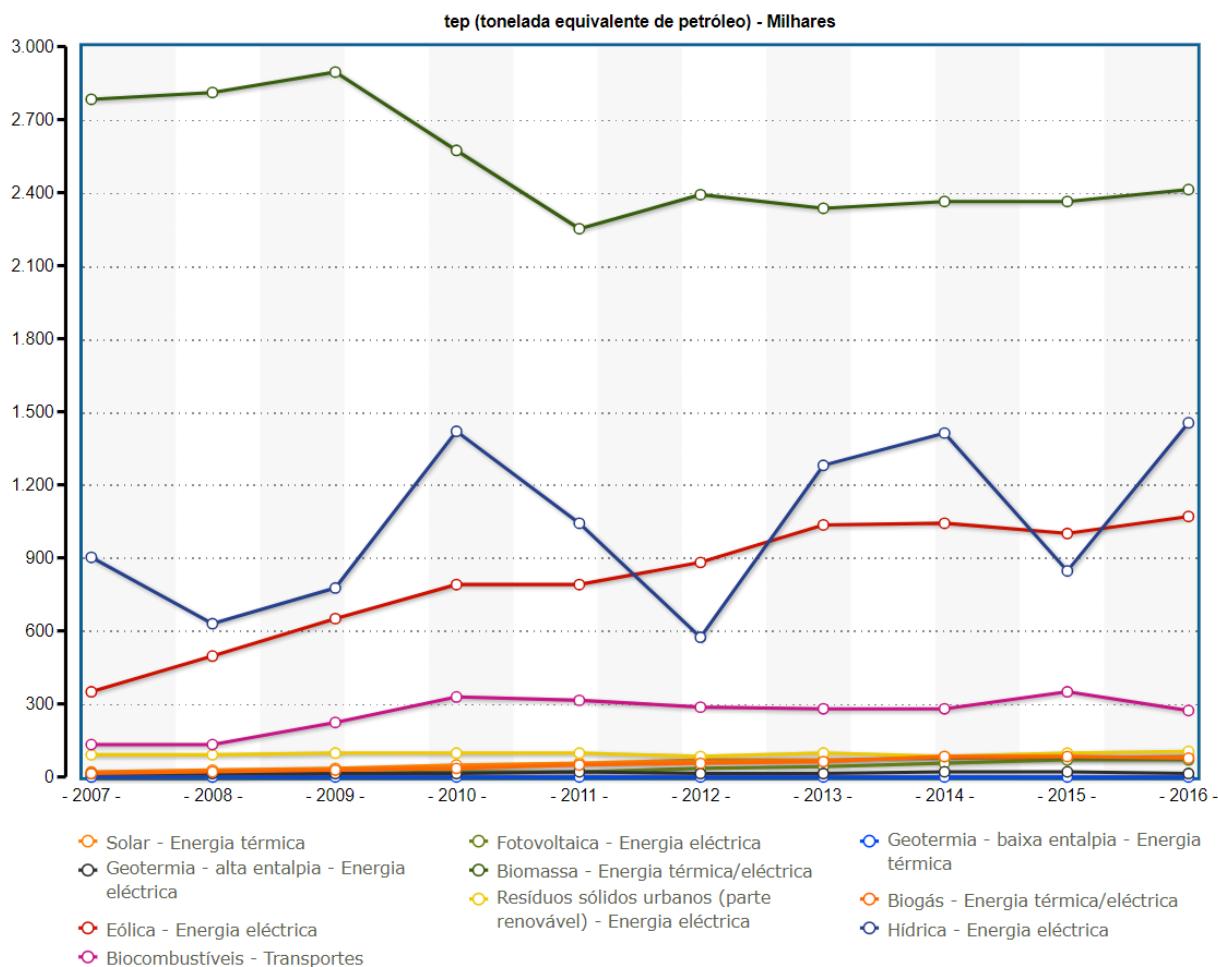


Figura 2.22 - Energias renováveis no balanço energético de Portugal, no período de 2007 – 2016
(Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2018)

Os valores absolutos de participação das fontes renováveis nas matrizes energéticas do Brasil e de Portugal, não são passíveis de comparações, se tratando de países com produção e consumo energéticos diferentes, porém, é possível analisar a representação dos recursos renováveis em cada economia.

No ano de 2014, por exemplo, 39,4% da energia ofertada no Brasil foi de fontes renováveis enquanto que em Portugal essa taxa foi de 25,4%, ambos valores significativos e que tendem a aumentar nos próximos anos.

Se tratando da matriz elétrica, a participação de renováveis apresentou a seguinte configuração de acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética e da Direção Geral de Energia e Geologia:

- Mundo: 20,3% de participação em 2011 e 21,2% em 2014;
- OCDE: 18,1% de participação em 2011 e 19,7% em 2014;
- Brasil: 88,9% de participação em 2011, 74,6% em 2014 e 75,5% em 2015;
- Portugal: 45,0% de participação em 2011 e 61,3% em 2014 e 47,9% em 2015.

Como é possível observar, Brasil e Portugal apresentam uma participação elevada de renováveis na matriz elétrica se comparada com os percentuais de atuação no mundo e na OCDE, na qual Portugal faz parte. A queda na participação verificada no Brasil em 2014, reflete as condições hidrológicas desfavoráveis e o aumento da geração térmica (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2015). Em 2015 o cenário foi o inverso, o avanço das renováveis foi devido à queda da geração térmica a base de derivados de petróleo e ao incremento das gerações a biomassa e eólica (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2016)

O aumento na participação verificado em Portugal em 2014, reflete a maior incidência das fontes renováveis hídrica e eólica. Em Portugal, o aumento da geração de eletricidade a partir de fontes renováveis é muito positivo pois atua diretamente na redução da importação de eletricidade (Direção Geral de Energia e Geologia, 2014) Em 2015 Portugal registrou novamente uma diminuição da participação que ocorreu devido a redução da produção hídrica, que conduziu ao aumento da contribuição a partir da componente térmica fóssil (carvão e gás natural) (Direção Geral de Energia e Geologia, 2017).

2.3.6 Emissões de GEE

Os dados das emissões de GEE do Brasil foram obtidos do Relatório SEEG 2017, coordenado pelo Observatório do Clima (2017), o qual consta na seção de referências deste trabalho. O relatório aborda as emissões de GEE que ocorreram no Brasil durante o período de 1990 e 2015, e aponta o avanço destas no mundo. As emissões globais alcançaram em 2015 os 55 bilhões de toneladas de gás carbônico equivalente (GtCO₂e), quase 35% mais que o registro do ano de 1990.

Com base na Figura 2.23 nota-se que as emissões brutas de GEE de 1990 totalizaram 1,86 bilhão de toneladas de gás carbônico equivalente (GtCO₂e), um aumento de 3,5% em relação a 2015 que atingiu 1,92 GtCO₂e. Neste período alguns fatores ocasionaram o aumento das emissões, quer pelo aumento do uso de combustíveis fósseis na matriz energética, quer pelo aumento do desmatamento, o qual se responsabiliza pela maior parte das emissões no Brasil.

No que se refere as emissões líquidas, quando há o desconto das remoções de dióxido de carbono geradas pelas mudanças de uso da terra e florestas, o setor de energia que compreende a produção e consumo de combustíveis e energia elétrica, se posicionou em 2015 como a principal fonte de emissão de GEE, com 32%.

As emissões do setor de energia por fonte primária apontam que 69% das emissões em 2015 decorreram da produção e consumo de petróleo, seguida do gás natural com 18% e do carvão com 6%. Se tratando das atividades desenvolvidas no setor de energia como mostra na Figura 2.24, os transportes lideram as emissões de CO₂e do setor no período analisado, com 45% da participação em 1990 e 2015. As emissões por atividade tiveram como pontos significativos o aumento da participação da geração de eletricidade

CAPÍTULO 2

de 5% em 1990 para 17% em 2015 e a redução das emissões do setor residencial, de 11% em 1990 para 5% em 2015.

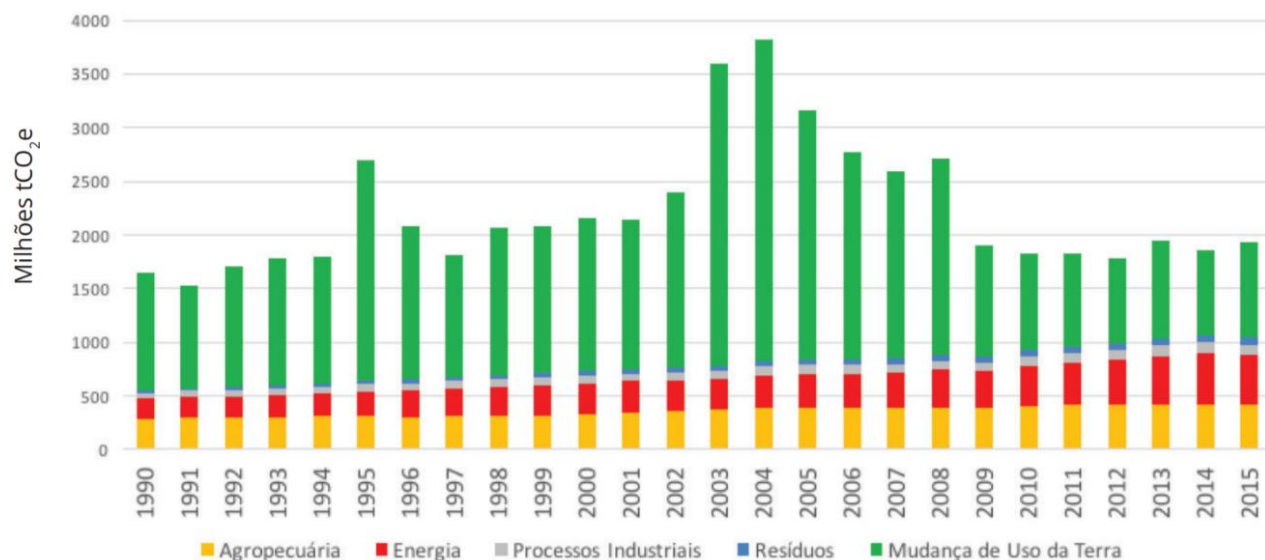


Figura 2.23 – Evolução das emissões brutas de GEE no Brasil, no período de 1990 -2015 (Observatório do Clima, 2017)

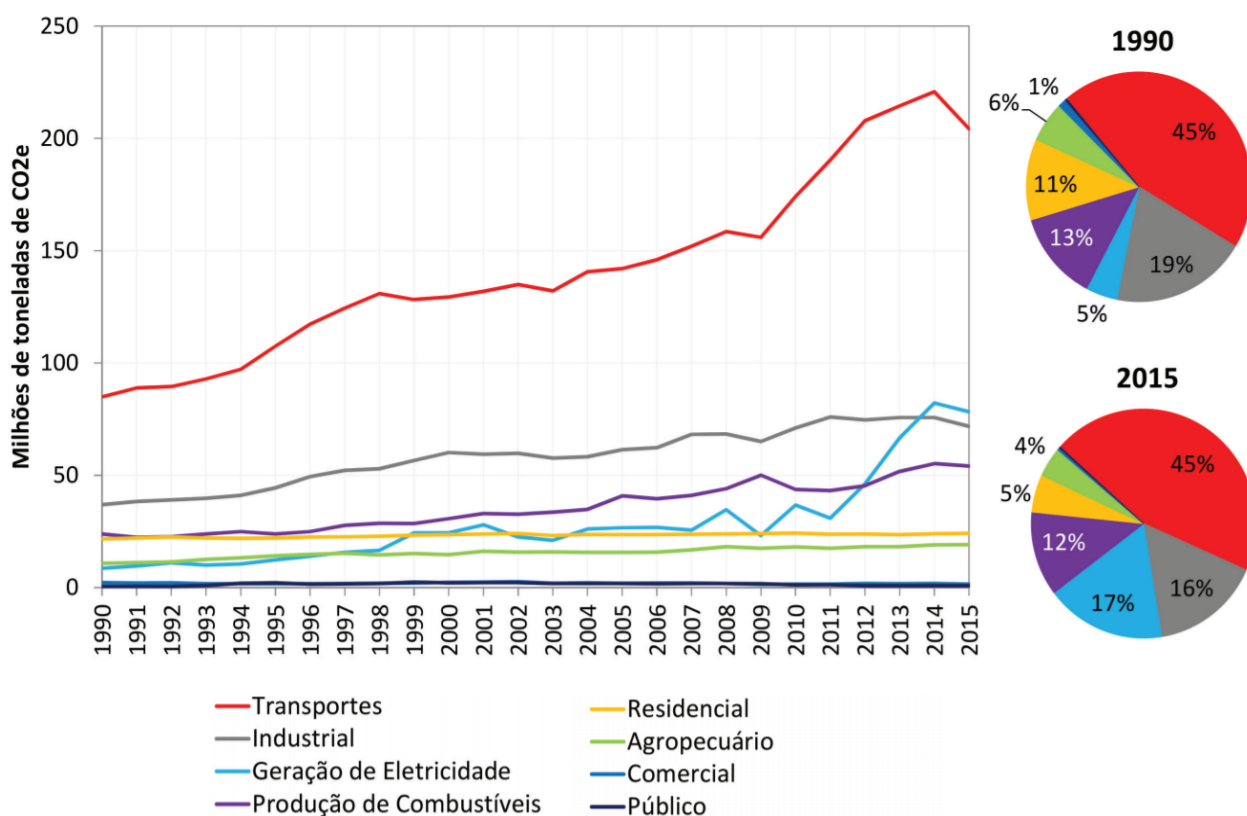


Figura 2.24 – Emissões de gás carbônico do setor de energia por segmento de atividade no Brasil, no período de 1990 – 2015 (Observatório do Clima, 2017)

Os dados das emissões de GEE de Portugal foram obtidos do Inventário Nacional de Emissões de 2016 do Departamento de Alterações Climáticas (2018), o qual consta na seção de referências deste trabalho. O relatório aborda as emissões de GEE que ocorreram em Portugal durante o período de 1990 e 2016.

As emissões de GEE com contabilização do LULUCF (*Land Use, Land Use Change and Forests*, com tradução Uso da terra, mudança no uso da terra e florestas) totalizaram em 2016, de acordo com dados da Figura 2.25, 67,8 MtCO₂e, 13,1% superior ao emitido em 1990 (59,9 MtCO₂e) e 2,6% inferior ao emitido em 2015 (69,6 MtCO₂e). As emissões totais que levam em consideração a ação do setor LULUCF, apenas nos anos de 1990, 1991, 2003 e 2005 contribuíram para o aumento das emissões, deixando de absorver parte do CO₂ e atuando como setor emissor.

A setorização das emissões apontam o setor da energia como a principal fonte de emissão de GEE em Portugal em 2016, como mostra a Figura 2.26. O setor representou 69,4% das emissões, sendo o restante lançado pelos setores de processos industriais e uso de produtos (10,8%), agricultura (10,0%) e resíduos (9,6%). Se tratando das atividades desenvolvidas no setor de energia como mostra na Figura 2.26, a produção de energia lidera as emissões de CO₂ do setor em 2016, com 25,7% da participação, seguida do segundo setor mais emissor, os transportes com 24,7%.

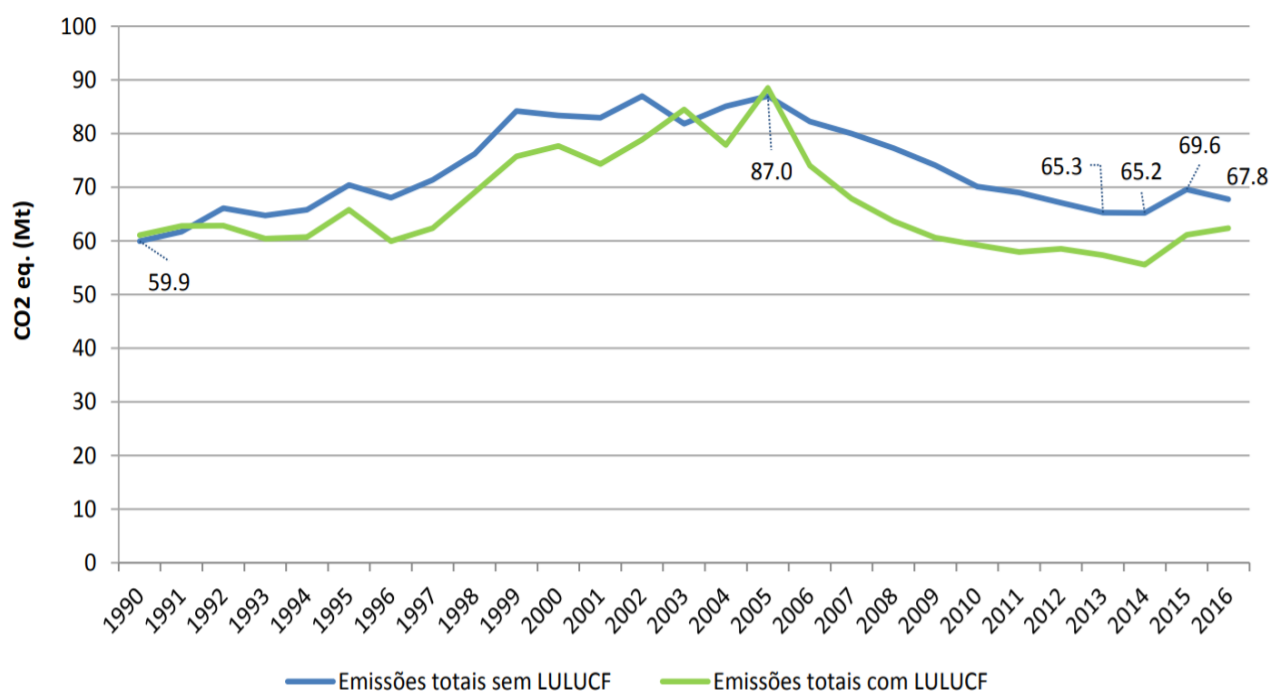


Figura 2.25 – Evolução das emissões de GEE em Portugal, no período de 1990 -2016 (Departamento de Alterações Climáticas, 2018)

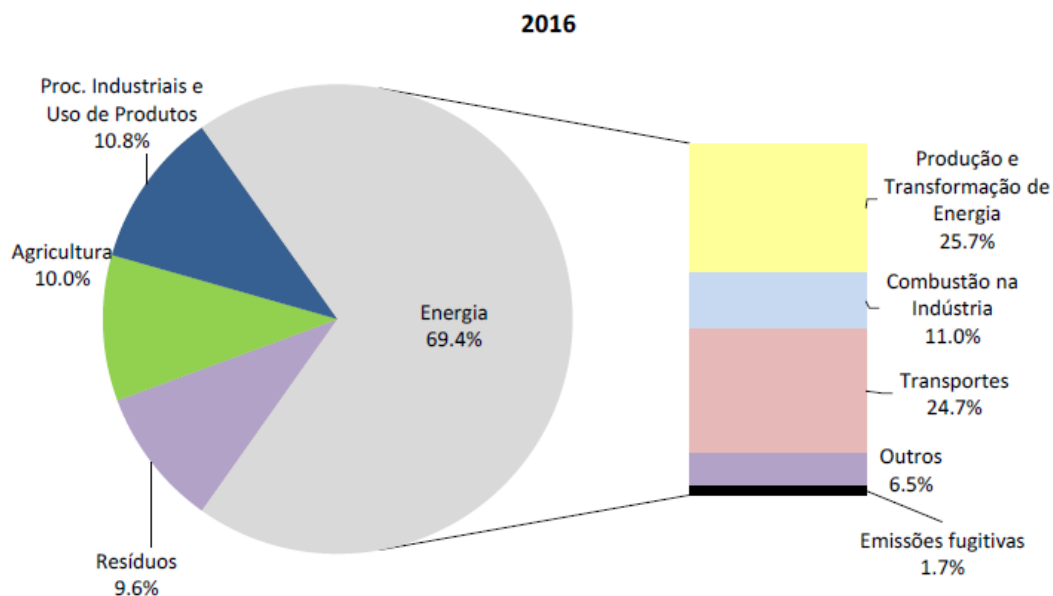


Figura 2.26 – Emissões de gás carbônico por setor no Brasil em 2016 (Departamento de Alterações Climáticas, 2018)

Analisando os dados do Global Carbon Atlas (2017), as emissões de GEE *per capita* apontam que a média mundial em 2016 foi de 4,8 tCO₂/habitantes, no Brasil 2,3 tCO₂/habitantes e em Portugal 4,9 tCO₂/habitantes, indicando que cada brasileiro, produzindo e consumindo energia, emite em média 2 vezes menos do que um português.

Referente a intensidade de carbono na economia, o mundo registrou em 2016 uma média de 0,3 kgCO₂ por PIB. Brasil e Portugal registraram 0,17 e 0,18 kgCO₂ por PIB, respectivamente. Estes valores indicam que para gerar uma unidade de produto, na produção e consumo de energia, a economia do Brasil e de Portugal emitem valores próximos, mas que são aproximadamente 58% menores que a média mundial (Global Carbon Atlas, 2017).

2.3.7 Consumo energético nos edifícios

Projetar um edifício que cumpra as exigências de conforto, eficiência e sustentabilidade através da aplicação de soluções estratégicas que garantam o baixo consumo energético ao mesmo tempo que proporcionem conforto aos usuários é, atualmente, um dos maiores artifícios para reverter o quadro de degradação do meio ambiente. Reverter o quadro de eficiência das edificações é uma preocupação crescente na construção civil. Segundo informações da Empresa CENERGEL (2017), o setor da construção civil consome 40% da energia mundial e é autor de 50% das emissões de CO₂.

Mas especificamente sobre o setor imobiliário, este segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (2009, não paginado) é responsável por “[...] 10% do PIB mundial, 40% dos materiais consumidos, 30% da geração de lixo sólido, 20% do consumo de água e 35% de toda a energia consumida

pela sociedade, sendo que aproximadamente 80% do consumo é devido ao uso e operação dos edifícios, com relevante impacto nas mudanças climáticas do planeta.”

As edificações brasileiras, segundo dados do Balanço Energético Nacional 2017, consomem aproximadamente 15% de todo o consumo de energia final no Brasil e apresentam um consumo de energia elétrica que corresponde a 51,1% do total consumido no país (Figura 2.27). Deste percentual, 25,6% são exclusivos do consumo das edificações residenciais, 17,2% das edificações comerciais e 8,3% das edificações públicas (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2017).

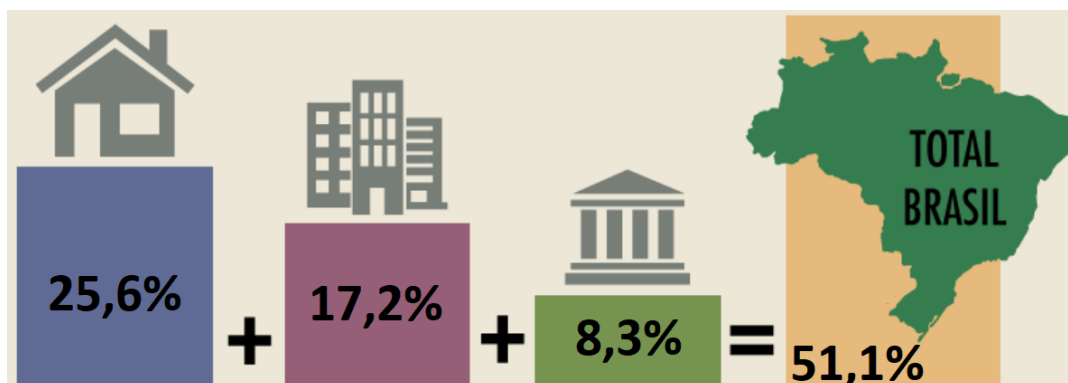


Figura 2.27 – Consumo de energia elétrica nas edificações no Brasil em 2016 (elaborado a partir dos dados CENERGEL, 2017; Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2017)

Os elementos fundamentais do consumo energético nos edifícios no Brasil podem ser observados na Figura 2.28, que indica o chuveiro, a geladeira e o ar- condicionado como os principais consumidores nas residências e o ar- condicionado como o principal consumidor nos edifícios comerciais.

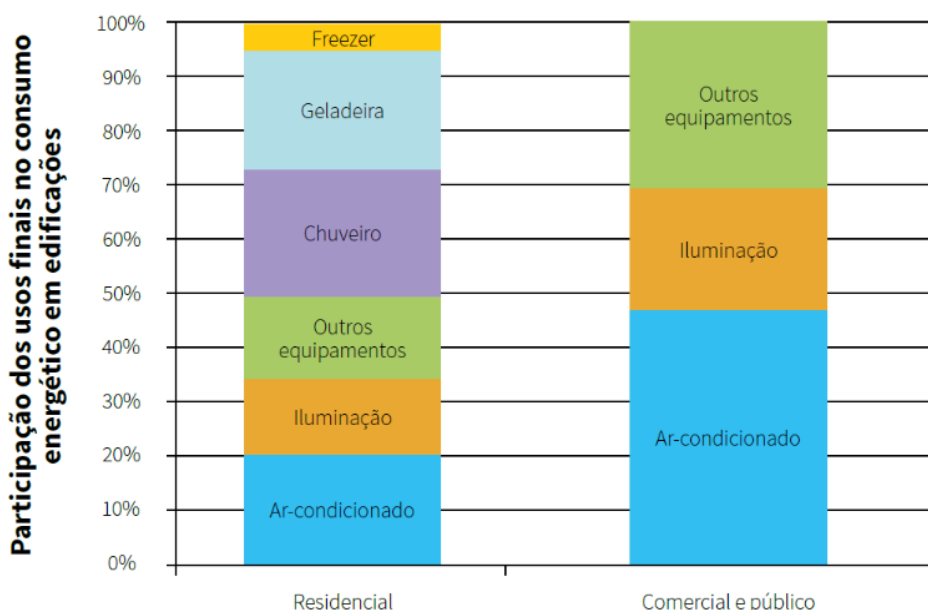


Figura 2.28 – Consumo energético por uso final nas edificações no Brasil (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2014, com dados da Eletrobrás, 2007)

CAPÍTULO 2

Na Europa os edifícios consomem aproximadamente 40% da energia final. Em Portugal os edifícios consomem 30% da energia final e 60% da energia elétrica (Lopes, 2010). Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (2017, não paginado), “[...] mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ – quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto.”

Em 2015, apenas o setor residencial de Portugal consumiu 16% da energia final do país, colocando-se como terceiro maior consumidor energético. A fonte de energia mais consumida é a eletricidade. Da demanda de 46.853 GWh, 11.975 GWh se consumiu nas residências, aproximadamente 25% do total (International Energy Agency *et al.*, 2016).

Os elementos fundamentais do consumo e da despesa de energia em um alojamento em Portugal são a cozinha, os equipamentos elétricos, a iluminação, o aquecimento e arrefecimento do ambiente e o aquecimento das águas. A distribuição do consumo energético é de aproximadamente 63% na cozinha e aquecimento de águas, 22% para aquecimento e arrefecimento do ambiente e 15% para iluminação e equipamentos (Figura 2.29). De acordo com o Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável (2007), 84% do total de energia num edifício se consome durante a fase de utilização.

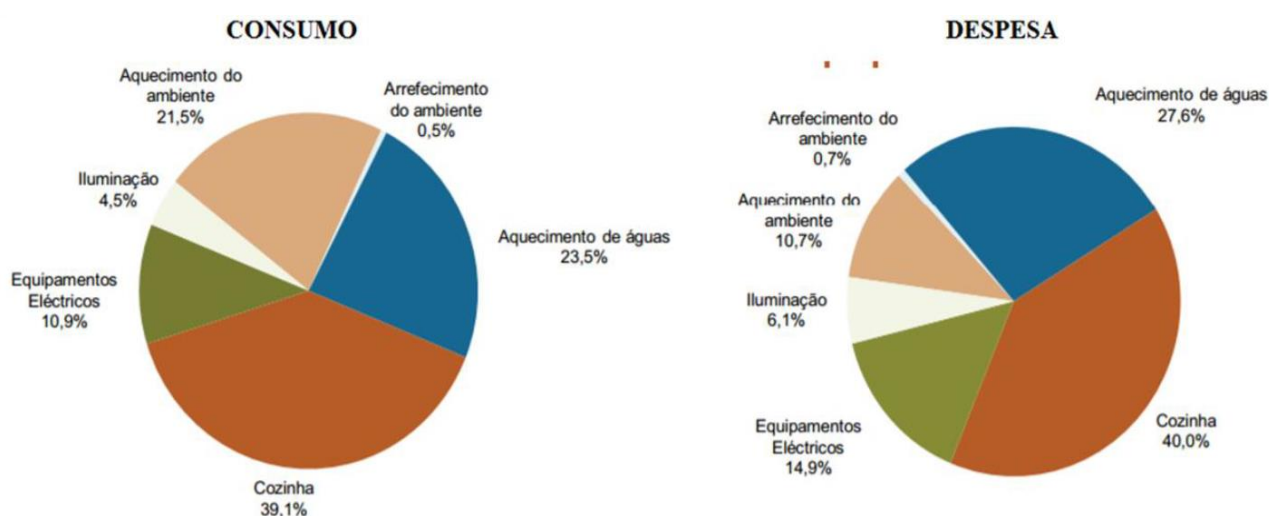


Figura 2.29 – Consumo e despesa de energia no alojamento por tipo de utilização - Portugal, 2010
(Instituto Nacional de Estatística, I.P e Direcção-Geral de Energia e Geologia, 2011)

Nota-se que o consumo de energia nos edifícios, por tipo de utilização, está relacionado com as características climáticas relevantes de cada país. No Brasil, o consumo de energia nos edifícios residenciais aponta o equipamento de ar-condicionado como responsável por 20% do consumo, uma vez que o país registra altas temperaturas e necessita de um sistema de arrefecimento dos ambientes. Em

Portugal, o consumo nos edifícios está associado as baixas temperaturas registradas no país, por esta razão, cerca de 21,5 % da energia consumida nas residências destina-se ao aquecimento dos ambientes.

2.4 MEDIDAS REGULAMENTARES E PROGRAMAS DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES

Segundo Kathryn (2009 *apud* Caldeira, 2011), no ano de 1994 vinte e sete países já detinham instrumentos, sejam eles leis, normas, regulamentos e dentre outros, que determinavam medidas impostas a respeito do rendimento energético das edificações.

Neste contexto, Brasil e Portugal apresentaram ao longo da história instrumentos específicos de desempenho das edificações, os quais foram se desenvolvendo e sendo adaptados conforme as exigências de cada país.

2.4.1 Brasil

Em 2005, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresentou a Norma Brasileira (NBR) 15220, relativa ao desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005), que propôs “[...] a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.”(ProjetEEE, 2018, não paginado).

Em julho de 2013, começou a vigorar a NBR 15575, norma de Desempenho de Edificações Habitacionais, que estabeleceu exigências de conforto e segurança em imóveis residenciais, a partir de procedimentos que avaliam os requisitos de qualidade do projeto ou da obra e dos sistemas estruturais, de pisos, de cobertura, de vedações e hidros sanitários (ABNT, 2013).

Os programas de reconhecimento mundial para o controle da demanda de energia implantados no Brasil foram o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) em 1984, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) em 1985 e o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) em 1991.

Em 1984, o INMETRO começou a analisar junto a sociedade brasileira a proposta de criação de programas de avaliação do desempenho. Os programas tinham como objetivo promover o uso racional da energia, através da disponibilização ao consumidor de informações sobre a eficiência energética dos produtos. Este projeto desenvolveu-se e ganhou o nome de Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (PBE EDIFICA, 2013).

CAPÍTULO 2

O PBE é composto por um conjunto de Programas de Avaliação da Conformidade, os quais são coordenados pelo INMETRO em parceria com a Eletrobrás e a Petrobras, responsáveis por duas importantes iniciativas governamentais, o PROCEL e o CONPET, respectivamente (PBE EDIFICA, 2013).

O CONPET foi um programa criado pelo Governo Federal em 1991, para coordenar o consumo dos recursos não renováveis, reduzir as emissões danos ao meio ambiente e aumentar a eficiência energética nos setores residenciais, industriais e de transportes (Governo Federal, 2012). O programa PROCEL, datado de 1985, tem como diretrizes fundamentais promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício (Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, 2016)

Em 2001, o Decreto nº 4059/2001 regulamentou a Lei nº. 10.295/2001, conhecida por Lei de Eficiência Energética, que definiu níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética dos equipamentos fabricados ou comercializados no Brasil (Brasil, 2001) e nesse contexto criou –se o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País, responsável por “[...] regulamentar e elaborar procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações construídas no Brasil visando ao uso racional da energia elétrica.” (PBE EDIFICA, 2013, não paginado).

A Eletrobrás em 2003, expandiu o programa PROCEL para o segmento das edificações, com o Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA), que tem como objetivo incentivar a adoção de soluções eficientes desde a fase de concepção de um imóvel até a sua utilização final. Destacando, a importância de incorporar aos projetos elementos da arquitetura bioclimática e tecnologias construtivas que fazem bom uso da energia, ao mesmo tempo que priorizam o conforto dos usuários (Eletrobrás, Inmetro e CB3E, 2013).

O PROCEL EDIFICA da Eletrobrás, em parceria com o PBE do INMETRO desenvolveram o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE EDIFICA), que avalia a eficiência energética das edificações através da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). O desempenho na ENCE é segundo o cumprimento dos requisitos descritos nos regulamentos técnicos do PBE EDIFICA, os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R) (PBE EDIFICA, 2013).

No Brasil, a economia total de energia alcançada através do PROCEL, desde a sua criação em 1986 até 2016, foi de 107 bilhões de quilowatts-hora (kWh)(Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, 2016). Segundo o relatório do PROCEL 2017 (2017, p.12), estima-se que em 2016 a economia de energia elétrica foi de 15,15 bilhões de kWh. Essa economia evitou com que 1,238 milhão de toneladas de CO₂ equivalentes fossem emitidas para a atmosfera, o que corresponderia à emissão de 425 mil veículos durante um ano.

2.4.2 Portugal

Portugal, estabeleceu em 1990 a primeira medida legal relativa ao desempenho térmico dos edifícios com o Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro, que implementou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) (Correia, 2015), com o objetivo de definir os requisitos para o projeto de edifícios novos e sujeitos a intervenção, que atendam as condições de conforto térmico, sem excederem o consumo energético.

Em 1998, foi criado o Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios (RSECE) a partir da publicação do Decreto - Lei n.º 119/98, de 7 de maio, que estabeleceu regras para o dimensionamento, para a instalação dos sistemas de climatização e exigências de conforto térmico e qualidade do ambiente (Coutinho, 2014).

Impulsionada pelas questões ambientais, a Europa cria ações e medidas a serem alcançadas a partir da divulgação das directivas comunitárias (Ganhão, 2011). Em 16 de dezembro de 2002, foi aprovada a Directiva n.º 2002/91/CE, que indicou a metodologia a ser utilizada por todos os estados-membros, tendo sido definidos os requisitos mínimos para o desempenho energético de edifícios novos e remodelações, e afirmado a obrigatoriedade de elaboração de um sistema de certificação e da realização de inspeções regulares nas instalações de climatização (Correia, 2015).

A transposição da directiva para a legislação de Portugal se fez em 2006 através de três decretos-lei, que “[...] regulamentam, caracterizam e certificam o desempenho energético dos edifícios.” (Ganhão, 2011, p.41):

- Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);
- Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 abril, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);
- Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 abril, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) (Neves, 2013).

Em 19 de maio de 2010, a Directiva n.º 2002/91/CE foi substituída pela Directiva n.º 2010/31/CE, “que otimiza o desempenho energético, recorrendo a energias de fontes renováveis, petrolíferos, gás natural e combustíveis sólidos.” (Neves, 2013, p.16), e tem como finalidade cumprir as metas fixadas pelos Chefes de Estado e de Governo Europeus, conhecidas por “objetivos 20-20-20”, que consistem em reduzir as emissões de CO₂ em 20% e aumentar em 20%, a participação de energias renováveis até 2020 (Correia, 2015).

CAPÍTULO 2

Um dos pontos importantes desta directiva é a inserção do conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (NZEB – Nearly Zero Energy Buildings), que deverão ter elevado desempenho energético e a maior parte das suas necessidades energéticas devem ser suprimidas por energia renováveis (Coutinho, 2014).

A transposição da directiva para a legislação de Portugal se fez em 2013 através do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que promete viabilizar melhorias no desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (Gomes, 2014).

O Decreto -Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, passou por alterações e a transposição da Diretiva n.º 2010/31/UE, de 19 de maio de 2010 se faz pelo Decreto –Lei n.º 28/2016, de 23 de junho, que através da Portaria n.º 319/2016, de 15 de dezembro, “[...] 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 térmico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a intervenção.”(Portaria n.º 319, 2016).

2.5 ANÁLISE COMPARATIVA DAS CERTIFICAÇÕES ENERGÉTICAS NO BRASIL E EM PORTUGAL

Se tratando de certificação energética no âmbito das edificações, no Brasil, a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é um instrumento que valida o atendimento aos requisitos de desempenho de eficiência energética e, especificamente para os edifícios, foi criada a Etiqueta PBE Edifica (PBE EDIFICA, 2014).

A Etiqueta PBE Edifica avalia o desempenho de eficiência energética de edifícios residenciais, comerciais, de serviços e públicos. A etiquetagem dos edifícios residenciais é estabelecida para as unidades habitacionais autônomas (casas ou apartamentos), edificações multifamiliares e áreas de uso comum.

A certificação de um edifício no Brasil, pode ser solicitada tanto na fase de projeto quanto após a sua construção. A etiqueta de projeto é obtida mediante inspeção do projeto, através de aplicação do método prescritivo ou por simulação, ambos realizados por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) pelo Inmetro. A etiqueta do edifício construído é concedida também por um OIA, porém através de inspeção *in loco* (Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, 2014).

Nas edificações comerciais, de serviço e públicas são avaliadas a envoltória, a iluminação e o condicionamento de ar, enquanto que nas edificações residenciais, avalia-se a envoltória para verão e inverno e o aquecimento de água, além dos sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares.

O modelo da ENCE de uma UH está apresentado na Figura 2.30, assim como a descrição dos seus principais itens. A ENCE indica através de letras, o nível de eficiência atingido pela UH num todo e por seus sistemas individuais. O nível eficiente é representado por letras que vão de A até E, sendo o nível A o mais eficiente.

A etiquetagem de edificações no Brasil tornou-se obrigatória em 2014, apenas para edifícios da Administração Pública federal direta, autárquica e fundacional, para as novas obras de edifícios públicos com área superior a 500m² e também aos prédios que passarem por reformas significativas.

Segundo Roberto Lamberts (2010 *apud* Jadjiski, 2010), a ENCE é válida por 3 anos para edifícios em fase de projeto e por 5 anos para edifícios construídos. De acordo com os dados disponibilizados pelo INMETRO (2018), o número total de ENCE's emitidas no Brasil no período de 2009 a 2017 foi de 4.758. Desde total, 4.479 foram advindas da etiquetagem de edifícios residenciais de UH, 52 de edificações residenciais multifamiliares, 214 por edifícios comerciais, públicos e serviços e 13 procedentes das áreas de uso comum.



Figura 2.30 – Modelo de ENCE de uma UH na fase construída (Eletrobrás, Inmetro e CB3E, 2013)

CAPÍTULO 2

Em Portugal, a Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior de Edifícios (CE) é um documento que informa ao consumidor sobre o desempenho dos edifícios e dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS, incluindo informações quanto a classe energética, o desempenho dos componentes e as medidas de melhoria para a redução do consumo de energia e para a garantia do conforto (ADENE, 2018).

A certificação dos edifícios em Portugal faz parte do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e é emitida para edificações habitacionais, comerciais e de serviço.

A obrigatoriedade da certificação cabe aos edifícios novos, edifícios sujeitos a grandes intervenções, edifícios comerciais e de serviços existentes, com área útil de pavimento igual ou superior a 1000 m², ou 500 m² para centros comerciais, edifícios de propriedade pública com área interior útil de pavimento superior a 250 m² e para a formalização de contratos de venda e de locação de edifícios (ADENE, 2018).

A Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) e a ADENE são as entidades responsáveis pela fiscalização e gestão do SCE, respectivamente, e a avaliação energética dos edifícios é atribuída aos peritos qualificados. Qualquer proprietário de um edifício ou fração pode solicitar o certificado energético do seu imóvel. O prazo de validade do certificado energético para habitação é de 10 anos.

O modelo de certificação adotado em Portugal para edifício de habitação está indicado na Figura 2.32, que exemplifica a primeira página da certificação. Nela estão apresentados os indicadores de desempenho quanto ao aquecimento/arrefecimento ambiente e AQS, e a classe energética, a qual varia o nível de eficiência entre A+ (melhor desempenho) e F (pior desempenho). Para os novos edifícios o nível de eficiência mínimo permitido é o nível B-.

De acordo com dados estatísticos obtidos pela ADENE (2018), o número total de CE emitidas em Portugal, de 2014 até o início de 2018, foi de 816.641. Desse total, 711.763 (87,2%) foram advindos da etiquetagem dos edifícios de habitação e 104.878 (12,8%) dos edifícios de serviços. Dos edifícios certificados no país, 27,9% obtiveram classificação energética de nível C, 45,9% ficaram abaixo deste nível e apenas 26,2% alcançaram níveis superiores ao nível C (Figura 2.31).

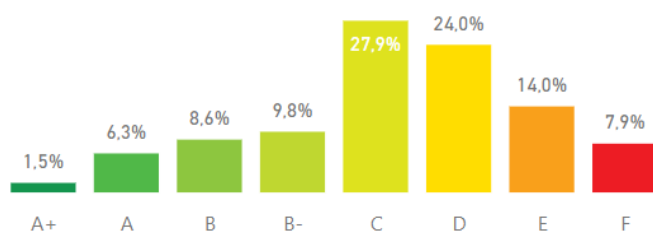


Figura 2.31 - Certificados emitidos por classe energética em Portugal, no período de 2014 até o início de 2018 (ADENE, 2018)



Figura 2.32 - Modelo de certificado energético de edifício de habitação (ADENE, 2018)

CAPÍTULO 3

REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

Para obter o nível de eficiência energética das edificações habitacionais é importante estudar a metodologia adotada no RTQ-R. Com esse propósito as seções seguintes foram destinadas para a apresentação do método de cálculo aplicado no regulamento brasileiro, documento este que consta na seção de referências deste trabalho, assim como o manual para a sua aplicação (INMETRO, 2012)

3.1 INTRODUÇÃO

O RTQ-R é um documento que apresenta os requisitos técnicos e os métodos para a classificação dos edifícios residenciais quanto à eficiência energética. Destacando que os edifícios submetidos ao regulamento devem atender as normas da ABNT vigentes e aplicáveis. O RTQ-R indica as condições que viabilizam a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia coordenado pelo INMETRO, através do Programa Brasileiro de Etiquetagem (INMETRO, 2012).

O RTQ-R possui metodologias específicas, no âmbito das edificações residenciais, que determinam a eficiência das unidades habitacionais autônomas (UHs), dos edifícios unifamiliares, dos edifícios multifamiliares e das áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou de condomínios de edificações residenciais.

Os requisitos que avaliam o nível de eficiência das edificações residenciais são:

- Unidades Habitacionais Autônomas: avaliam-se o desempenho térmico da envoltória, à eficiência dos sistemas de aquecimento de água e eventuais bonificações;
- Edificação Unifamiliar: aplica-se o procedimento descrito para a unidade habitacional autônoma;
- Edificações Multifamiliares: pondera-se o resultado da avaliação dos requisitos de todas as unidades habitacionais autônomas da edificação;

CAPÍTULO 3

- Áreas de Uso Comum: avaliam-se à eficiência do sistema de iluminação artificial, dos sistemas de aquecimento de água, dos elevadores, das bombas centrífugas, dos equipamentos e de eventuais bonificações.

O RTQ-R estabelece a verificação dos pré-requisitos da envoltória, os quais devem ser atendidos pelos edifícios residenciais. Após concluída esta verificação, o regulamento oferece dois métodos para que se efetuem a avaliação dos demais requisitos.

A avaliação da envoltória das unidades habitacionais autônomas e edificações unifamiliares pode ser realizada através do método prescritivo, que utiliza equações de acordo com a zona bioclimática, ou através de simulação termo energética. A avaliação dos sistemas de aquecimento de água é realizada através do método prescritivo, sendo que sistemas de aquecimento solar podem ser avaliados também por simulação. A avaliação das áreas de uso comum é efetuada apenas pelo método prescritivo.

Neste trabalho será descrita a metodologia utilizada na determinação da eficiência energética de uma edificação unifamiliar (moradia), que corresponde a uma unidade habitacional autônoma, através da aplicação do método prescritivo.

3.2 METODOLOGIA

A metodologia adotada no RTQ-R para a determinação da eficiência energética de uma UH de edificação unifamiliar, será apresentada nesta seção.

3.2.1 Zona Bioclimática

O zoneamento bioclimático apresentado na Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações, NBR 15220-3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2003), divide o Brasil em 8 Zonas Bioclimáticas (ZB), conforme indicado na Figura 3.1. A ZB determina as estratégias que uma edificação deve seguir para garantir o conforto térmico dos usuários. Cada ZB reúne similaridades quanto aos dados de conforto térmico humano, elementos climáticos e estratégias de projeto e construção para atingir o conforto térmico.

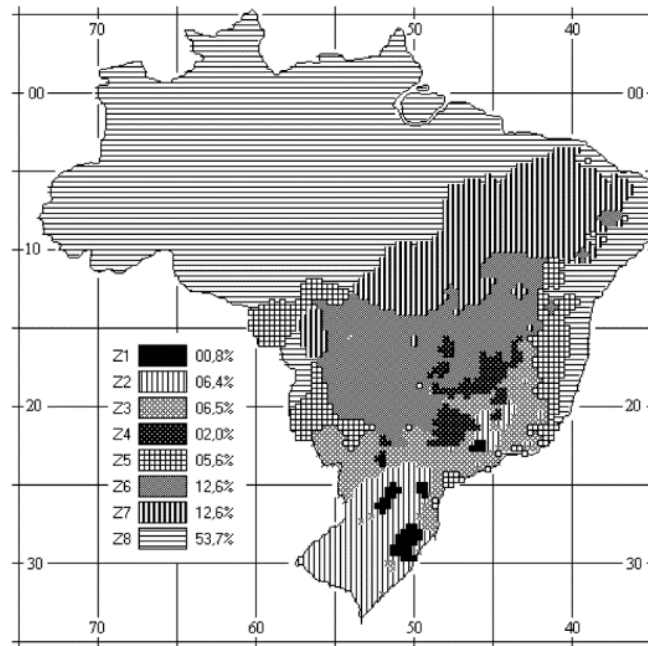


Figura 3.1 – Zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT, 2003)

3.2.2 Pré-Requisito Geral

O pré-requisito geral do RTQ-R estabelece que para obtenção dos níveis de eficiência A ou B, quando houver mais de uma UH no mesmo lote, estas devem possuir medição individualizada de eletricidade e água. As edificações construídas antes da publicação do RTQ-R estão dispensadas deste pré-requisito.

O não cumprimento do pré-requisito geral acarreta em uma classificação de eficiência de no máximo nível C. Mesmo que os demais sistemas atingiam nível de eficiência A, a UH obterá no máximo nível C.

3.2.3 Procedimento para determinação da eficiência das unidades habitacionais autônomas

A eficiência energética determinada no RTQ-R para as unidades habitacionais autônomas é obtida a partir da avaliação dos requisitos relativos ao desempenho térmico da envoltória, à eficiência do sistema de aquecimento de água e as eventuais bonificações. Estes requisitos serão apresentados nos itens 3.2.4, 3.2.5 e 3.2.6.

A UH de edificação unifamiliar será o foco de estudo deste trabalho, portando a definição do nível de eficiência apresentada nesta seção, refere-se especificamente a este tipo de edificação residencial.

Para a determinação da eficiência, dois sistemas são avaliados separadamente: a envoltória e o sistema de aquecimento de água. Cada sistema obtém o seu nível de eficiência, que resulta em um equivalente numérico (EqNum) de desempenho. A soma dos equivalentes numéricos, mais o acréscimo das bonificações, tem como resultado a pontuação total da UH (PT_{UH}) e o nível de eficiência da edificação.

CAPÍTULO 3

Os níveis de eficiência utilizados na classificação dos sistemas individuais e da edificação como um todo variam de A (mais eficiente) até E (menos eficiente). Cada nível corresponde a um EqNum, conforme indicado na

Tabela 3.1 .

Para os requisitos que são classificados através dos níveis de eficiência de A a E como, por exemplo, os equipamentos, sua classificação corresponde a um EqNum, conforme indicado na

Tabela 3.1 . Para os requisitos que apresentam pontuação em escala, como a envoltória e os sistemas de aquecimento de água, a classificação também varia através dos níveis de eficiência de A a E, porém são obtidas na Tabela 3.2.

Tabela 3.1 – Equivalente numérico para cada nível de eficiência (INMETRO, 2012)

Nível de Eficiência	EqNum
A	5
B	4
C	3
D	2
E	1

Tabela 3.2 – Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida (INMETRO, 2012)

Pontuação (PT)	Nível de Eficiência
$PT \geq 4,5$	A
$3,5 \leq PT < 4,5$	B
$2,5 \leq PT < 3,5$	C
$1,5 \leq PT < 2,5$	D
$PT < 1,5$	E

A classificação do nível de eficiência da UH é o resultado da distribuição dos pesos através da expressão (3.1, utilizando os coeficientes da Tabela 3.3, de acordo com a região geográfica na qual se localiza a edificação.

$$PT_{UH} = (a \cdot EqNumEnv) + [(1 - a) \cdot EqNumAA] + Bonificações \quad (3.1)$$

Em que:

- PT_{UH} Pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma;
- a Coeficiente da adotado de acordo com a região geográfica (mapa político do Brasil) na qual a edificação está localizada;

- *EqNumEnv* Equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma quando ventilada naturalmente, descrito no item I (método prescritivo) e após a verificação dos pré-requisitos da envoltória no item 3.2.4.1 ;
- *EqNumAA* Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água, conforme item 3.2.5.2;
- *Bonificações* Pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação, definida no item 3.2.6.

Tabela 3.3 – Coeficiente da expressão 3.1 (INMETRO, 2012)

Coeficiente	Região Geográfica				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
a	0,95	0,90	0,65	0,65	0,65

O número de pontos obtidos na expressão 3.1, define a classificação final da UH de edifício unifamiliar, de acordo com a Tabela 3.2.

3.2.4 Envoltória

Esta seção apresenta os critérios para a avaliação do desempenho da envoltória de unidades habitacionais autônomas de edifícios unifamiliares.

Para a classificação da envoltória é necessário determinar o indicador de graus hora de resfriamento e o indicador de consumo relativo para aquecimento e refrigeração, os quais são obtidos através de equações lineares preenchidas com parâmetros referentes às características físicas e às propriedades térmicas da envoltória. Para obter a classificação final da edificação para a envoltória é feita a avaliação da envoltória e dos seus pré-requisitos para cada um dos ambientes de permanência prolongada da UH.

3.2.4.1 Pré-requisitos da envoltória

Os pré-requisitos da envoltória são verificados em cada ambiente de permanência prolongada (sala de estar, sala de jantar, sala íntima, dormitórios, escritório, sala de TV ou ambientes de usos similares aos citados), separadamente. Estes verificam as características térmicas de absorvância, transmitância e capacidade térmica das superfícies e as características físicas pertinentes à iluminação e ventilação natural.

- A. Transmitância térmica, capacidade térmica e absorvância solar das superfícies

CAPÍTULO 3

As paredes externas e coberturas dos ambientes de permanência prolongada devem atender aos pré-requisitos indicados na Tabela 3.4, de acordo com a zona climática em que se localiza a edificação.

Caso o ambiente não atenda ao pré-requisito, este obterá nível de eficiência de no máximo C nos equivalentes numéricos para resfriamento, aquecimento e refrigeração.

Tabela 3.4 - Pré-requisitos de absorvância solar, transmitância térmica e capacidade térmica para as diferentes Zonas Bioclimáticas (NBR 15.575-4, NBR 15.575-5, NBR 15220-3 *apud* INMETRO, 2012)

Zona Bioclimática	Componente	Absorvância solar (adimensional)	Transmitância térmica [W/(m²K)]	Capacidade térmica [kJ/(m²K)]
ZB1 e ZB2	Parede	Sem exigência	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	Sem exigência	$U \leq 2,30$	Sem exigência
ZB3 a ZB6	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB7	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	$CT \geq 130$
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	$CT \geq 130$
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência
ZB8	Parede	$\alpha \leq 0,6$	$U \leq 3,70$	Sem exigência
		$\alpha > 0,6$	$U \leq 2,50$	Sem exigência
	Cobertura	$\alpha \leq 0,4$	$U \leq 2,30$	Sem exigência
		$\alpha > 0,4$	$U \leq 1,50$	Sem exigência

A ZB8 está dispensada das exigências da Tabela 3.4, desde que tenha uma cobertura com telha de barro sem forro, não pintada ou esmaltada.

A ZB8 poderá apresentar coberturas com valores de transmitâncias térmicas superiores as indicadas na Tabela 3.4, desde que cumpram com as seguintes exigências:

- i. Contenham aberturas para ventilação em, no mínimo, dois beirais opostos;
- ii. As aberturas para ventilação ocupem toda a extensão das fachadas respectivas. Nestes casos, os limites aceitáveis da transmitância térmica poderão ser multiplicados por um fator de correção da transmitância, em função da altura total para ventilação (Figura 3.2), calculado a partir da seguinte expressão:

$$FT = 1,17 - 1,07 \cdot h^{-1,04} \quad (3.2)$$

Em que:

- FT Fator de correção da transmitância aceitável para as coberturas da ZB 8;
- h Altura da abertura em dois beirais opostos, [cm].

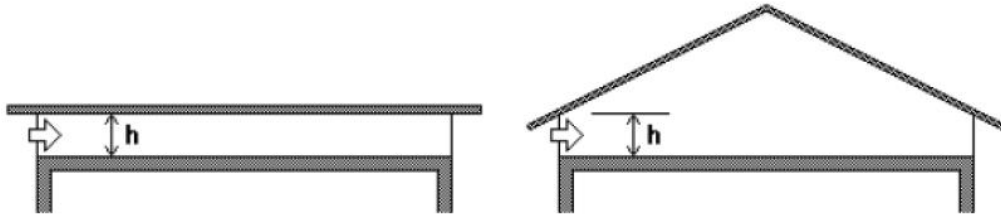


Figura 3.2 – Abertura em beirais para ventilação do ático, h (INMETRO, 2012)

Algumas considerações sobre a transmitância e absorvância dos ambientes devem ser verificadas, como:

- a) Considerações sobre a transmitância térmica das superfícies externas que compõem os ambientes
 - Coberturas de garagens, casa de máquinas e reservatórios de água não são considerados para o cálculo da transmitância térmica da cobertura;
 - A transmitância térmica a ser considerada para a avaliação do pré-requisito é a média das transmitâncias de cada parcela das paredes externas (excluindo aberturas), ou cobertura, ponderadas pela área que ocupam;
 - Aberturas zenitais com até 2% da área da cobertura devem ser desconsideradas na ponderação da transmitância térmica;
 - Os pisos de áreas externas localizados sobre ambiente (s) de permanência prolongada devem atender aos pré-requisitos de transmitância de coberturas. Pilotis e varandas são exemplos deste item.
- b) Considerações sobre a absorvância solar das superfícies externas que compõem os ambientes
 - Coberturas vegetadas (teto jardim) não precisam atender ao pré-requisito de absorvância;
 - A absorvância solar a ser considerada para a avaliação do pré-requisito é a média das absorvâncias de cada parcela das paredes, ou cobertura, ponderadas pela área que ocupam, excluindo a absorvância das áreas envidraçadas das aberturas;
 - Aberturas zenitais com até 2% da área da cobertura devem ser desconsideradas na ponderação da absorvância solar;

CAPÍTULO 3

- Os pisos de áreas sem fechamentos laterais localizados sobre ambiente (s) de permanência prolongada devem atender aos pré-requisitos de absorção solar de coberturas. Pilotis e varandas são exemplos deste item;
- Nas fachadas envidraçadas onde exista parede na face interna do vidro deve-se considerar um dos casos abaixo:

- i. Vidro em contato direto com a parede: a absorção total é calculada conforme a seguinte expressão:

$$\alpha = \alpha_{\text{vidro}} + (\tau_{\text{vidro}} \cdot \alpha_{\text{parede}}) \quad [\text{adimensional}] \quad (3.3)$$

Em que:

- α Valor da absorção total;
 - α_{vidro} Absorção do vidro;
 - τ_{vidro} Transmitância à radiação solar do vidro;
 - α_{parede} Absorção da parede.
- ii. Câmara de ar entre a parede e o vidro: a absorção da superfície é calculada conforme a seguinte expressão:

$$\alpha = FS_{\text{vidro}} \cdot \alpha_{\text{parede}} \quad (3.4)$$

Em que:

- α Valor da absorção da superfície;
 - FS_{vidro} Fator solar do vidro.
- Não fazem parte da ponderação de áreas para o cálculo da absorção:
 - i. Aberturas;
 - ii. Fachadas construídas na divisa do terreno, desde que encostadas em outra edificação;
 - iii. Áreas cobertas por coletores ou painéis solares;
 - iv. Paredes externas ou coberturas permanentemente sombreadas, sem considerar o sombreamento do entorno.

B. Ventilação natural

- a) Percentual de áreas mínimas de abertura para ventilação

REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS

Ambientes de permanência prolongada devem atender aos requisitos de áreas mínimas de abertura para ventilação, indicados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente (NBR 15575-4 *apud* INMETRO, 2012)

Ambiente	Percentual de abertura para ventilação em relação à área de piso (A)		
	ZB 1 a 6	ZB 7	ZB 8
Ambientes de permanência prolongada	A ≥ 8%	A ≥ 5%	A ≥ 10%

As edificações nas ZB 1 a 7 e nas cidades com temperaturas mínimas médias mensais inferiores a 20°C devem possuir aberturas para ventilação passíveis de fechamento.

O cálculo do percentual de abertura para ventilação, A, é obtido a partir da seguinte expressão:

$$A = 100 \cdot \frac{A_v}{AU_{amb}} \quad [\%] \quad (3.5)$$

Em que:

- A_v Área de abertura para ventilação, [m²];
- AU_{amb} Área útil do ambiente analisado medida pelo interior, [m²].

Algumas considerações sobre o percentual de áreas mínimas de abertura para ventilação devem ser verificadas, como:

- A área de abertura para ventilação pode ser obtida utilizando a tabela de desconto das esquadrias disponibiliza no anexo II do RTQ-R ou ser calculada, desconsiderando os caixilhos;
- Aceita-se banheiros cujas aberturas estejam voltadas para prismas ou poços de ventilação, desde que atendam aos percentuais da Tabela 3.5. O mesmo é válido para banheiros ventilados pelo forro;
- Para dormitórios com área superior a 15,00 m², o pré-requisito deve ser atendido para 15,00 m². A área restante não precisa ser contabilizada para o pré-requisito;
- A área de corredor deve ser desconsiderada do cálculo da área útil do ambiente, mesmo se o corredor for contíguo a algum ambiente de permanência prolongada;
- Para a UH atingir nível A, pelo menos 50% dos banheiros, com exceção dos lavabos, deve possuir ventilação natural.

b) Ventilação cruzada

CAPÍTULO 3

O pré-requisito de ventilação cruzada é analisado para a UH como um todo, considerando as aberturas de todos os ambientes, inclusive ambientes de permanência transitória. As ZB 2 a 8 devem atender a condição exposta na seguinte expressão:

$$A_2/A_1 > 0,25 \quad (3.6)$$

Em que:

- A_1 Somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação, [m²];
- A_2 Somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações, [m²].

C. Iluminação natural

O pré-requisito de iluminação natural determina que a soma das áreas de aberturas para iluminação natural de cada ambiente de permanência prolongada deve ser no mínimo 12,5% da área útil do ambiente.

Algumas considerações sobre a iluminação natural devem ser verificadas, como:

- A área de abertura para iluminação pode ser obtida utilizando a tabela de desconto das esquadrias disponibiliza no anexo II do RTQ-R ou ser calculada, desconsiderando os caixilhos;
- Para dormitórios com área superior a 15,00 m², o pré-requisito deve ser atendido para 15,00 m².
- A área de corredor deve ser desconsiderada do cálculo da área útil do ambiente, mesmo se o corredor for contíguo a algum ambiente de permanência prolongada.

3.2.4.2 Procedimento para determinação da eficiência da envoltória: Método prescritivo

Através do método prescritivo, o desempenho térmico da envoltória da UH é determinado pelo equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv), definido por meio de equações de acordo com a ZB em que se localiza o edifício. O EqNumEnv aponta como a envoltória de um edifício vai impactar o seu consumo de energia.

O território brasileiro abrange diferentes características climáticas que exigem estratégias particulares para obtenção do conforto térmico e da eficiência energética nas edificações. Por esta razão, o RTQ-R apresenta diferentes equações para o cálculo do EqNumEnv, em função das oito ZB em que o país foi dividido. No total são 18 diferentes equações apresentadas no RTQ-R, para o cálculo do EqNumEnv.

Neste trabalho serão apresentadas apenas as equações atribuídas a ZB3, uma vez que o edifício que será estudado no trabalho localiza-se na Cidade de São Paulo.

No cálculo da pontuação geral da UH, o valor do EqNumEnv utilizado é o referente à eficiência quando a envoltória for naturalmente ventilada. O nível de eficiência da envoltória quando condicionada artificialmente é calculado apenas por caráter informativo.

I. Eficiência quando naturalmente ventilada

Para a determinação da eficiência da envoltória, quando naturalmente ventilada, é necessário realizar os cálculos do indicador de graus-hora e consumo relativo. As variáveis utilizadas nestes cálculos, que resultarão no equivalente numérico para a ZB3, estão descritas a seguir:

- Ab_N Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Norte. Se o ambiente possuir abertura para Norte o valor deve ser 1, se não possuir, o valor deve ser 0;
- Ab_S Variável binária que define a existência de abertura voltada para o Sul. Se o ambiente possuir abertura para Sul o valor deve ser 1, se não possuir, o valor deve ser 0;
- AAb_L Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Leste, [m²];
- AAb_N Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Norte [m²];
- AAb_O Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Oeste [m²];
- AAb_S Área de abertura, desconsiderando caixilhos, na fachada voltada para o Sul, [m²];
- AP_{ambL} Área de parede externa do ambiente voltada para o Leste, medida pelo interior do ambiente, [m²];
- AP_{ambN} Área de parede externa do ambiente voltada para o Norte, medida pelo interior do ambiente, [m²];
- AP_{ambO} Área de parede externa do ambiente voltada para o Oeste, medida pelo interior do ambiente, [m²];
- AP_{ambS} Área de parede externa do ambiente voltada para o Sul, medida pelo interior do ambiente, [m²];
- A_{parInt} Área das paredes internas, excluindo as aberturas e as paredes externas, [m²];
- AU_{amb} Área útil do ambiente analisado, [m²];
- α_{cob} Absortância da superfície externa da cobertura. O valor deve situar-se entre 0,10 e 0,90 ou 0 quando a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior, [adimensional];
- α_{par} Absortância externa das paredes externas. O valor deve situar-se entre 0,10 e 0,90, [adimensional];

CAPÍTULO 3

- C_{altura} Coeficiente de altura, calculado pela razão entre o pé-direito e a área útil do ambiente;
- cob Variável que define se o ambiente possui fechamento superior voltada para o exterior (cobertura). Se o fechamento superior do ambiente estiver voltado para o exterior o valor deve ser 1, se não estiver, o valor deve ser 0. Para ambientes com parte do fechamento superior voltado para o exterior e parte coberta, a variável cob será:
 - $cob = 0$ para fechamento superior de 0 a 25% voltada para o exterior;
 - $cob = 0,5$ para fechamento superior de 25,1 a 75% voltada para o exterior;
 - $cob = 1$ para fechamento superior de 75,1 a 100% voltada para o exterior.
- CT_{alta} Variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica alta, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para este RTQ é considerada capacidade térmica alta valores acima de 250 kJ/m²K. Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica alta o valor deve ser 1, se não possuir, o valor deve ser 0;
- CT_{baixa} Variável binária que define se os fechamentos dos ambientes possuem capacidade térmica baixa, considerando a média ponderada das capacidades térmicas das paredes externas, internas e cobertura pelas respectivas áreas, excluindo as aberturas. Para este RTQ é considerada capacidade térmica baixa valores abaixo de 50 kJ/m²K. Se o ambiente possuir fechamentos com capacidade térmica baixa o valor deve ser 1, se não possuir, o valor deve ser 0;
- CT_{cob} Capacidade térmica da cobertura, [kJ/ (m²K)]. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente. Se a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior o valor deve ser 1;
- CT_{par} Média ponderada da capacidade térmica das paredes externas e internas do ambiente pelas respectivas áreas, [kJ/ (m²K)];
- F_{vent} Fator das aberturas para ventilação é proporcional à abertura para ventilação em relação a abertura do vão. Os valores variam de 0 a 1. Por exemplo, se a abertura para ventilação for igual à abertura do vão, o valor deve ser 1; se a abertura estiver totalmente obstruída, o valor deve ser 0; se a abertura possibilitar metade da área da abertura para ventilação, deve ser 0,5.
- P_{ambL} Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Leste. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Leste o valor deve ser 1, se não possuir, o valor deve ser 0;

REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS

- P_{ambN} Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Norte. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Norte o valor deve ser 1, se não possuir, o valor deve ser 0;
- P_{ambO} Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Oeste. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Oeste o valor deve ser 1, se não possuir, o valor deve ser 0;
- P_{ambS} Variável binária que indica a existência de parede externa do ambiente voltada para o Sul. Se o ambiente possuir parede externa voltada para o Sul o valor deve ser 1, se não possuir, o valor deve ser 0;
- PD Pé-direito do ambiente analisado, [m];
- pil Variável binária que define o contato externo do piso do ambiente com o exterior através de pilotis. Se o ambiente estiver sobre pilotis o valor deve ser 1, se não estiver, o valor deve ser 0. Para ambientes que possuem parte do piso sobre pilotis, a variável pil será:
 - pil = 0 para ambientes com 0 a 25% da área sobre pilotis;
 - pil = 0,5 para ambientes com 25,1 a 75% da área sobre pilotis;
 - pil = 1 para ambientes com 75,1 a 100% da área sobre pilotis.
- solo Variável binária que define o contato do piso do ambiente com o solo (laje de terraço). Se o piso estiver em contato com o solo o valor deve ser 1, se não estiver, o valor deve ser 0. Para ambientes que possuem parte do piso em contato com o solo, a variável solo será:
 - solo = 0 para ambientes com 0 a 25% da área em contato com o solo;
 - solo = 0,5 para ambientes com 25,1 a 75% da área em contato com o solo;
 - solo = 1 para ambientes com 75,1 a 100% da área em contato com o solo.
- $SomA_{parext}$ Somatório das áreas de parede externa do ambiente ($AP_{ambN} + AP_{ambS} + AP_{ambL} + AP_{ambO}$), [m²];
- somb Variável que define a presença de dispositivos de proteção solar externos às aberturas. Os valores possíveis são:
 - somb = 0, quando não houver dispositivos de proteção solar;
 - somb = 1, quando houver venezianas que cubram 100% da abertura quando fechada;

CAPÍTULO 3

- $0 < \text{somb} \leq 0,5$, para ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal;
- $\text{somb} = 0,2$ para ambientes com sombreamento por varanda, beiral ou brise horizontal, desde que os ângulos de sombreamento α e γ atendam aos limites de ângulo mínimos para Norte, Sul, Leste e Oeste estabelecidos pelas seguintes equações:
 - Limite para α ou γ Norte = $23,5^\circ + \text{Lat}$
 - Limite para α ou γ Sul = $23,5^\circ + \text{Lat}$
 - Limite para α ou γ Leste e Oeste = 45°

Em que:

Lat Valor absoluto da Latitude do local (valores negativos para o hemisfério Sul);

α Ângulo de altitude solar a normal da fachada que limita a proteção solar;

γ Ângulo da altura solar perpendicular a normal da fachada que limita as laterais da proteção solar.

Nos dormitórios o dispositivo de sombreamento é igual a 1 quando permitir escurecimento em todas as ZB e ventilação nas ZB 2 a 8.

- U_{cob} Transmitância térmica da cobertura, $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente. Se a cobertura do ambiente não estiver voltada para o exterior o valor deve ser 0;
- U_{par} Transmitância térmica das paredes externas, $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$. Deve ser calculada considerando-se todas as camadas entre o interior e o exterior do ambiente.

a) Cálculo do indicador de graus-hora para resfriamento

O indicador de graus-hora para resfriamento (GH_R) é calculado para cada ambiente de permanência prolongada da UH, através de equações de acordo com a ZB.

O GH_R para a ZB3 é calculado a partir da expressão 3.7, utilizando as constantes da Tabela 3.6.

$$\begin{aligned} \text{GH}_R = & (a) + (b \cdot \text{CT}_{\text{baixa}}) + (c \cdot \alpha_{\text{cob}}) + (d \cdot \text{somb}) + (e \cdot \text{solo} \cdot \text{AU}_{\text{amb}}) + (f \cdot \alpha_{\text{par}}) + (g \cdot \text{PD}/\text{AU}_{\text{amb}}) \\ & + (h \cdot \text{CT}_{\text{cob}}) + (i \cdot \text{Ab}_S) + (j \cdot \text{AP}_{\text{ambL}} \cdot U_{\text{par}} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (k \cdot \text{A}_{\text{parInt}} \cdot \text{CT}_{\text{par}}) + (l \cdot \text{solo}) + (m \cdot U_{\text{cob}} \cdot \\ & \alpha_{\text{cob}} \cdot \text{cob} \cdot \text{AU}_{\text{amb}}) + (n \cdot F_{\text{vent}}) + (o \cdot \text{AU}_{\text{amb}}) + (p \cdot \text{SomA}_{\text{par}}) + (q \cdot \text{AAb}_O \cdot (1-\text{somb})) + (r \cdot \\ & \text{AAb}_L \cdot F_{\text{vent}}) + (s \cdot \text{CT}^{\text{par}}) + (t \cdot \text{AAb}_S \cdot (1-\text{somb})) + (u \cdot \text{AP}_{\text{ambN}} \cdot U_{\text{par}} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (v \cdot \text{pil}) + (w \cdot \\ & \text{P}_{\text{ambO}}) + (x \cdot \text{AAb}_N \cdot \text{somb}) + (y \cdot \text{Ab}_N) + (z \cdot \text{P}_{\text{ambN}}) + (\text{aa} \cdot \text{AP}_{\text{ambN}}) + [\text{ab} \cdot (U_{\text{cob}} \cdot \alpha_{\text{cob}}/\text{CT}_{\text{cob}}) \cdot \\ & \text{AU}_{\text{amb}}] + (\text{ac} \cdot \text{cob} \cdot \text{AU}_{\text{amb}}) + (\text{ad} \cdot \text{CT}_{\text{alta}}) + (\text{ae} \cdot U_{\text{cob}}) + (\text{af} \cdot \text{AP}_{\text{ambS}} \cdot U_{\text{par}} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (\text{ag} \cdot \text{P}_{\text{ambL}}) \\ & + (\text{ah} \cdot \text{A}_{\text{parInt}}) + (\text{ai} \cdot \text{PD} \cdot \text{AU}_{\text{amb}}) + (\text{aj} \cdot \text{P}_{\text{ambS}}) + (\text{ak} \cdot \text{AAb}_S \cdot F_{\text{vent}}) + (\text{al} \cdot \text{AAb}_O \cdot F_{\text{vent}}) + (\text{am} \cdot \\ & \text{AAb}_N \cdot F_{\text{vent}}) + (\text{an} \cdot \text{AP}_{\text{ambO}} \cdot U_{\text{par}} \cdot \alpha_{\text{par}}) + (\text{ao} \cdot \text{AP}_{\text{ambS}}) + (\text{ap} \cdot \text{AAb}_N \cdot (1-\text{somb})) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Tabela 3.6 – Constantes da expressão 3.7 (INMETRO, 2012)

a	836,4188	l	-605,5557	w	399,0021	Ah	16,2740
b	1002,2853	m	25,1879	x	2,4466	Ai	-20,4181
c	1248,7615	n	-830,6742	y	-379,5777	Aj	126,6339
d	-1042,8507	o	34,1620	z	738,1763	Ak	51,1530
e	-7,9675	p	-3,3292	aa	-4,2304	Al	55,4249
f	1007,6786	q	16,9856	ab	5,5988	Am	79,2095
g	2324,8467	r	70,1758	ac	-6,1829	Na	15,3351
h	-0,3032	s	-0,0426	ad	-200,9447	Ao	26,0925
i	-77,7838	t	-54,1796	ae	-103,1092	Ap	-34,7777
j	26,3363	u	14,1195	af	3,8400		
k	-0,0016	v	-114,4985	ag	431,9407		

b) Cálculo do consumo relativo para aquecimento

O consumo relativo para aquecimento (C_A) é calculado para cada ambiente de permanência prolongada da UH, através de equações de acordo com a ZB. O C_A só é calculado para as ZB 1 a 4.

O C_A para a ZB3 é calculado a partir da expressão 3.8, utilizando as constantes da Tabela 3.7.

$$CA = [(a) + (b \cdot CT_{par}) + (c \cdot AU_{amb}) + (d \cdot P_{ambS}) + (e \cdot CT_{baixa}) + (f \cdot solo) + (g \cdot pil) + (h \cdot U_{cob}) + (i \cdot \alpha_{par}) + (j \cdot CT_{cob}) + (k \cdot SomA_{par}) + (l \cdot AAbS) + (m \cdot AbN) + [n \cdot (U_{cob} \cdot \alpha_{cob}/CT_{cob}) \cdot AU_{amb}] + (o \cdot CT_{alta}) + (p \cdot U_{par}) + (q \cdot F_{vent}) + (r \cdot cob) + (s \cdot \alpha_{cob}) + (t \cdot PD) + (u \cdot SomA_{parExt} \cdot CT_{par}) + (v \cdot AP_{ambN} \cdot \alpha_{par}) + (w \cdot AP_{ambS} \cdot \alpha_{par}) + (x \cdot PD/AU_{amb})]/1000 \quad (3.8)$$

Tabela 3.7 – Constantes da expressão 3.8 (INMETRO, 2012)

a	6981,8136	g	2479,9604	m	-543,4286	s	-3315,0119
b	0,3717	h	394,0458	n	14,0555	t	1262,6737
c	-122,4306	i	-2521,9122	o	-1583,9814	u	-0,0219
d	1557,3444	j	-1,2280	p	990,0915	v	-75,9370
e	2109,4866	k	65,4370	q	-1111,1099	W	-80,3345
f	2802,3931	l	131,7352	r	4323,9241	X	-15281,1938

c) Determinação dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes para resfriamento e aquecimento

A determinação do equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento ($EqNumEnvAmb_{Resfr}$) e do equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento ($EqNumEnvAmb_A$) é feita para cada ambiente de permanência prolongada da UH, através das faixas estabelecidas nas tabelas do RTQ-R, de acordo com a ZB. O $EqNumEnvAmb_A$ só se calcula para as ZB1 a 4.

CAPÍTULO 3

Para a ZB3, o $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ e o $EqNumEnvAmb_A$ estão indicados na Tabela 3.8 e Tabela 3.9.

Tabela 3.8 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para resfriamento – Zona Bioclimática 3
(INMETRO, 2012)

Eficiência	$EqNumEnvAmb_{Resfr}$	Condição [°C.h]
A	5	$GH_R \leq 822$
B	4	$822 < GH_R \leq 1.643$
C	3	$1.643 < GH_R \leq 2.465$
D	2	$2.465 < GH_R \leq 3.286$
E	1	$GH_R > 3.286$

Tabela 3.9 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente para aquecimento – Zona Bioclimática 3
(INMETRO, 2012)

Eficiência	$EqNumEnvAmb_A$	Condição [kWh/(m ² .ano)]
A	5	$C_A \leq 6,429$
B	4	$6,429 < C_A \leq 12,858$
C	3	$12,858 < C_A \leq 19,287$
D	2	$19,287 < C_A \leq 25,716$
E	1	$C_A > 25,716$

- d) Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para resfriamento

O equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento ($EqNumEnv_{Resfr}$) é obtido através da ponderação dos $EqNumEnvAmb_{Resfr}$ pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AUamb).

- e) Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para aquecimento

O equivalente numérico da envoltória da UH para aquecimento ($EqNumEnv_A$) é obtido através da ponderação dos $EqNumEnvAmb_A$ pelas áreas úteis dos ambientes avaliados (AUamb).

- f) Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma

Para a ZB3, o equivalente numérico da envoltória da UH ($EqNumEnv$) é obtido a partir da seguinte expressão:

$$EqNumEnv = 0,64 \cdot EqNumEnv_{Resfr} + 0,36 \cdot EqNumEnv_A \quad (3.9)$$

Em que:

- EqNumEnv Equivalente numérico da envoltória da UH;
- EqNumEnv_{Resfr} Equivalente numérico da envoltória da UH para resfriamento;
- EqNumEnvA Equivalente numérico da envoltória da UH para aquecimento.

II. Eficiência quando condicionada artificialmente

A determinação do nível de eficiência da envoltória quando condicionada artificial é de caráter informativo por isso deve ser calculada. Para a determinação da eficiência da envoltória quando condiciona ventilada é necessário realizar os seguintes cálculos:

a) Cálculo do consumo relativo para refrigeração

O consumo relativo anual para refrigeração (C_R) de cada dormitório, excluindo os dormitórios de serviço, é obtido através das equações de acordo com a ZB.

O C_R para a ZB3 é calculado a partir da expressão 3.10, utilizando as constantes da Tabela 3.10.

$$CR = [(a) + (b \cdot PD/AU_{amb}) + (c \cdot CT_{baixa}) + (d \cdot solo) + (e \cdot \alpha_{par}) + (f \cdot CT_{cob}) + (g \cdot somb) + (3.10) \\ (h \cdot Ab_s) + (i \cdot AU_{amb}) + (j \cdot SomA_{parExt} \cdot CT_{par}) + (k \cdot pil) + (l \cdot cob) + (m \cdot U_{cob} \cdot \alpha_{cob} \cdot cob \cdot AU_{amb}) + [n \cdot (U_{cob} \cdot \alpha_{cob}/CT_{cob}) \cdot AU_{amb}] + (o \cdot cob \cdot AU_{amb}) + (p \cdot Ab_N) + [q \cdot (U_{par} \cdot \alpha_{par}/CT_{par}) \cdot SomA_{par}] + (r \cdot SomA_{par}) + (s \cdot \alpha_{cob}) + (t \cdot AAb_N \cdot somb) + (u \cdot AAb_s \cdot F_{vent}) + (v \cdot AAb_L \cdot F_{vent}) + (w \cdot AAb_O \cdot F_{vent}) + (x \cdot AAb_s) + (y \cdot P_{ambS}) + (z \cdot AP_{ambS} \cdot U_{par} \cdot \alpha_{par}) + (aa \cdot AP_{ambS} \cdot \alpha_{par}) + (ab \cdot AAb_N \cdot F_{vent}) + (ac \cdot AAb_N \cdot (1-somb))]/1000$$

Tabela 3.10 – Constantes da expressão 3.10 (INMETRO, 2012)

a	7867,8924	i	-79,8228	q	-7,4793	Y	-660,4513
b	33900,9915	j	0,0211	r	31,0384	Z	73,9340
c	-4066,2367	k	-1185,7252	s	1977,0195	aa	-112,7864
d	-4446,9250	l	-2582,5286	t	16,3096	ab	397,1551
e	6016,2116	m	92,4051	u	641,0082	ac	-247,9866
f	1,8199	n	-14,3024	v	493,2535		
g	-1827,6311	o	-46,8056	w	485,5657		
h	-877,7417	p	-351,0817	x	-199,1908		

b) Determinação do equivalente numérico dos ambientes para refrigeração

CAPÍTULO 3

A determinação do equivalente numérico da envoltória do ambiente para refrigeração ($E_{qNumEnvAmb_{Refrig}}$) dos dormitórios, excluindo os dormitórios de serviço, é feita através das faixas estabelecidas nas tabelas do RTQ-R, de acordo com a ZB.

Para a ZB3, o $E_{qNumEnvAmb_{Refrig}}$ está indicado na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Equivalente numérico da envoltória do ambiente condicionado artificialmente para refrigeração – Zona Bioclimática 3 (INMETRO, 2012)

Eficiência	$E_{qNumEnvAmb_{Refrig}}$	Condição [kWh/(m ² .ano)]
A	5	$C_R \leq 6,890$
B	4	$6,890 < C_R \leq 12,284$
C	3	$12,284 < C_R \leq 17,677$
D	2	$17,677 < C_R \leq 23,071$
E	1	$C_R > 23,071$

O consumo relativo para aquecimento de ambientes condicionados artificialmente (CA) é obtida através da expressão 3.8, utilizando as constantes da Tabela 3.7.

O equivalente numérico da envoltória do ambiente condicionado artificial para aquecimento é obtido através da Tabela 3.9.

- c) Determinação do equivalente numérico da envoltória da unidade habitacional autônoma para refrigeração

A determinação do equivalente numérico da envoltória da UH para refrigeração ($E_{qNumEnv_{Refrig}}$) é feita através da ponderação dos $E_{qNumEnvAmb_{Refrig}}$ pelas áreas úteis dos ambientes avaliados ($A_{U_{Amb}}$).

3.2.5 Sistema de Aquecimento de Água

A avaliação da eficiência de sistemas de aquecimento de água compete apenas aos sistemas que serão entregues instalados pelo empreendedor, não sendo considerados portando os sistemas de espera para futura instalação.

3.2.5.1 Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água

Os pré-requisitos para o sistema de aquecimento de água estabelecem as seguintes exigências:

- As tubulações para água quente devem cumprir suas funções de condução e atender às normas técnicas;

REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS

- Reservatórios de água quente instalados em sistemas, exceto de aquecimento solar, devem apresentar resistência térmica mínima de 2,20 (m.K) /W;
- O projeto de instalações hidros sanitárias para obtenção dos níveis de eficiência A e B, deve apresentar tubulações metálicas para água quente com isolamento térmico que atenda as espessuras mínimas indicadas na Tabela 3.12;

Tabela 3.12 – Espessura mínima de isolamento de tubulações para aquecimento de água (INMETRO, 2012)

Temperatura da água (°C)	Condutividade térmica (W/m.K)	Diâmetro nominal da tubulação (mm)	
		< 40	≥ 40
T ≥ 38	0,032 a 0,040	1,0 cm	2,5 cm

- Tubulação não metálica para água quente, com condutividade térmica entre 0,032 e 0,040 W/m.K, deve apresentar isolamento de no mínimo 1,0 cm de espessura, para qualquer diâmetro nominal de tubulação;
- A espessura mínima de isolamento, E, para as tubulações que apresentam condutividade térmica fora da faixa estipulada na Tabela 3.12, é obtida a partir da seguinte expressão:

$$E = r \left\{ \left(1 + \frac{e}{r} \right)^{\lambda/\lambda'} - 1 \right\} \quad [\text{cm}] \quad (3.11)$$

Em que:

- r Raio externo da tubulação, [cm];
- e Espessura de isolamento listada na Tabela 3.12 para a temperatura da água e tamanho da tubulação em questão, [cm];
- λ Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água, [W/mK];
- λ' Valor superior do intervalo de condutividade listado na Tabela 3.12 para a temperatura da água, [W/mK].

3.2.5.2 Procedimento para determinação da eficiência do sistema de aquecimento de água

O sistema de aquecimento de água tem a sua eficiência estabelecida através do EqNum obtido na expressão 3.12, utilizando os resultados de um dos sistemas que serão apresentados nesta seção.

CAPÍTULO 3

Para as UH que não possuam sistema de aquecimento de água instalado, adota-se EqNum= 2 (nível D) para as regiões Norte e Nordeste, e EqNum=1 (Nível E) para as demais regiões. Uma vez que, a ausência de sistema de aquecimento de água restringe o aquecimento de água à instalação de chuveiro elétrico.

A determinação do nível de eficiência para sistemas mistos de aquecimento de água em uma mesma UH é obtido da seguinte maneira:

- Quando houver combinação de sistemas de aquecimento solar com aquecimento a gás ou bomba de calor: considera-se o maior dos EqNum;
- Quando houver combinação de aquecimento solar com aquecimento elétrico, e o solar corresponda a uma fração mínima de 70%: considera-se o EqNum do sistema de aquecimento solar;
- Para os demais casos, o nível de eficiência é obtido a partir da seguinte expressão:

$$\text{EqNumAA} = \% \cdot \text{EqNumAA1} + \% \cdot \text{EqNumAA2} + \dots \% \cdot \text{EqNumAA}n \quad (3.12)$$

Em que:

- EqNumAA Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água;
- % Porcentagem da demanda atendida pelo referido sistema de aquecimento de água;
- EqNumAA1 Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água 1;
- EqNumAA2 Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água 2;
- EqNumAA_n Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água n.

a) Sistema de aquecimento solar

Os pré-requisitos que se aplicam ao sistema de aquecimento solar, determinam que para a obtenção dos níveis A ou B os coletores solares para aquecimento devem possuir ENCE A ou B ou Selo Procel e os reservatórios devem possuir Selo Procel.

A eficiência do sistema de aquecimento solar é definida a partir do seu dimensionado. Os sistemas que apresentam volume de armazenamento real, entre 40 e 50 litros/m² coletor ou superior a 150 litros/m² de coletor, atingem no máximo EqNum=2 (Nível D), e volume inferior a 40 litros/m² de coletor atingem EqNum =1 (Nível E).

O dimensionamento do sistema de aquecimento solar de água compreende os seguintes cálculos:

- 1) O volume de armazenamento do sistema de aquecimento solar, V_{armaz} , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$V_{\text{armaz}} = \frac{V_{\text{consumo}} \cdot (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})}{(T_{\text{armaz}} - T_{\text{ambiente}})} \text{ [litros]} \quad (3.13)$$

Em que:

- V_{armaz} Volume de armazenamento do sistema de aquecimento solar, [litros];
- V_{consumo} Volume de consumo diário de água a ser aquecida, [litros/dia]. Deve-se considerar no mínimo 50 litros/pessoa/dia e a existência de duas pessoas por dormitório social e uma pessoa por dormitório de dependências de serviço;
- T_{consumo} Temperatura de consumo de utilização, [°C]. Deve ser adotado no mínimo 40°C (para as regiões Norte e Nordeste pode-se adotar 38°C);
- T_{armaz} Temperatura de armazenamento da água, [°C]. Esta temperatura deve ser, no mínimo, igual à temperatura de consumo;
- T_{ambiente} Temperatura ambiente média anual do ar externo do local de instalação, [°C], de acordo com o Anexo D da NBR 15569.

2) A demanda de energia útil, $DE_{\text{mês}}$, considerando os valores de radiação solar mês a mês, é obtido a partir da seguinte expressão:

$$DE_{\text{mês}} = V_{\text{consumo}} \cdot N \cdot (T_{\text{consumo}} - T_{\text{AF}}) \cdot 1,16 \times 10^{-3} \quad \text{[kWh/mês]} \quad (3.14)$$

Em que:

- V_{consumo} Consumo diário de água quente à temperatura de referência, [litros/dia];
- N Número de dias do mês considerado, [dias/mês];
- T_{consumo} Temperatura utilizada para a quantificação do consumo de água quente, [°C];
- T_{AF} Temperatura da água fria da rede, [°C].

3) A produção energética da instalação por meio da determinação da fração solar anual (ou porcentagem da demanda energética que é coberta pela instalação solar), é obtida a partir dos seguintes procedimentos:

- i. A radiação solar mensal incidente sobre as superfícies dos coletores, $EI_{\text{mês}}$, é obtida a partir da seguinte expressão:

$$EI_{\text{mês}} = H_{\text{dia}} \cdot N \quad \text{[kWh/m.mês]} \quad (3.15)$$

Em que:

CAPÍTULO 3

- H_{dia} Radiação solar incidente no plano inclinado, [kWh/(m.dia)], obtida em mapas solarimétricos, variável em função da região;
- N Número de dias do mês, [dias/mês].

O valor de $E_{\text{mês}}$ deve ser calculado para cada mês do ano e o $E_{\text{mês}}$ final é a média dos resultados.

ii. O parâmetro, D_1 , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$D_1 = \frac{EA_{\text{mês}}}{DE_{\text{mês}}} \quad (3.16)$$

Em que:

- $DE_{\text{mês}}$ Demanda de energia, [kWh/mês], calculada por meio da expressão 3.14;
- $EA_{\text{mês}}$ Energia solar mensal absorvida pelos coletores, [kWh/mês], calculada por meio da expressão 3.17.

$$EA_{\text{mês}} = S_c \cdot F'_R(\tau\alpha) \cdot EI_{\text{mês}} \quad [\text{kWh/mês}] \quad (3.17)$$

Em que:

- S_c Superfície de absorção do coletor, [m];
- $F'_R(\tau\alpha)$ Fator adimensional, calculado por meio da expressão 3.18.

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha)_n \cdot \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \frac{F'_R}{F_R} \quad [\text{adimensional}] \quad (3.18)$$

Em que:

- $F_R(\tau\alpha)_n$ Fator de eficiência óptica do coletor, obtido nas tabelas do PBE para coletores solares, [adimensional];
- $\left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right]$ Modificador do ângulo de incidência (na ausência desta informação recomenda-se adotar 0,96 para coletores com cobertura de vidro);
- $\frac{F'_R}{F_R}$ Fator de correção do conjunto coletor/trocados (na ausência de informação recomenda-se adotar 0,95);

iii. O parâmetro, D_2 , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$D_2 = \frac{EP_{\text{mês}}}{DE_{\text{mês}}} \quad (3.19)$$

Em que:

- $EP_{mês}$ Energia solar mensal não aproveitada pelos coletores, [kWh/mês].

$$EP_{mês} = S_c \times F'_R U_L \cdot (100 - T_{AMB}) \cdot \Delta T \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (3.20)$$

Em que:

- $F'_R U_L$ Fator calculado pela expressão 3.21, [kW/(m.K)];

$$F'_R U_L = F_R U_L \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot 10^{-3} \quad (3.21)$$

- $F_R U_L$ Coeficiente global de perdas do coletor, obtido nas tabelas do PBE para coletores solares, [W/ (m. K)];
- T_{AMB} Temperatura média mensal do local de instalação do coletor, [°C];
- ΔT Período de tempo considerado, [horas];
- K_1 Fator de correção para armazenamento, calculado pela expressão 3.22;

$$K_1 = \left[\frac{V}{75 \times S_c} \right]^{-0,25} \quad (3.22)$$

- V Volume de acumulação solar, [litros]. Recomenda-se que o valor de V obedeça a condição $50 < \frac{V}{S_c} < 100$;
- K_2 Fator de correção para o sistema de aquecimento solar que relaciona as diferentes temperaturas, calculado pela expressão 3.23;

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 T_{AC} + 3,86 T_{AF} - 2,32 T_{AMB})}{(100 - T_{AMB})} \quad (3.23)$$

- T_{AC} Temperatura mínima admissível da água quente. Deve-se utilizar 45°C.

iv. A fração solar mensal, f , é obtida a partir da seguinte expressão:

$$f = 1,029 D_1 - 0,065 D_2 - 0,245 (D_1)^2 + 0,0018 (D_2)^2 + 0,0215 (D_1)^3 \quad (3.24)$$

v. A energia útil mensal coletada, $EU_{mês}$, é obtida a partir da seguinte expressão:

$$EU_{mês} = f \cdot DE_{mês} \quad (3.25)$$

Em que:

- f Fração solar mensal.

vi. A fração solar anual, F , é obtida a partir da seguinte expressão:

$$F = \frac{\sum_1^{12} EU_{\text{mês}}}{\sum_1^{12} DE_{\text{mês}}} \quad (3.26)$$

A classificação da eficiência do sistema de aquecimento solar é obtida a partir da Tabela 3.13, em função da fração solar anual obtida na expressão 3.26.

Tabela 3.13 – Classificação da eficiência de sistemas de aquecimento solar com backup por resistência elétrica (INMETRO, 2012)

Dimensionamento	Classificação
Equivalente à fração solar anual mínima de 70%	A
Equivalente à fração solar anual entre 60 e 69%	B
Equivalente à fração solar anual entre 50 e 59%	C
Equivalente à fração solar anual menor que 50%	D

b) Sistema de aquecimento a gás

Os pré-requisitos que se aplicam ao sistema de aquecimento a gás, determinam que para a obtenção do nível A os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação devem possuir ENCE A ou B. Quando o sistema dispor de reservatório de água quente, este deve ter isolamento térmico e capacidade de armazenamento de acordo com o dimensionamento.

Para obtenção de classificação nos níveis A e B, deve se cumprir as seguintes exigências:

- Para aquecedores a gás do tipo instantâneo, a potência do sistema de aquecimento informada pelo projetista deve estar dentro de uma variação de 20%, para mais ou para menos, do dimensionamento realizado conforme a metodologia a seguir;
- Para sistema de acumulação individual e sistema central coletivo a gás, a potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento informado pelo projetista devem estar dentro de uma variação de 20%, para mais ou para menos, do cálculo realizado conforme a metodologia a seguir.

O dimensionamento do sistema de aquecimento a gás do tipo instantâneo compreende os seguintes cálculos:

- 1) A vazão do aquecedor a gás do tipo instantâneo deve ser igual ou maior ao somatório das vazões dos pontos de consumo que podem estar simultaneamente em funcionamento. O levantamento

REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS

desta vazão deve-se considerar no mínimo 50 litros/pessoa/dia e a existência de duas pessoas por dormitório social e uma pessoa por dormitório de dependências de serviço.

2) A potência útil do aquecedor a gás do tipo instantâneo, Q , é obtida a partir da seguinte expressão:

$$Q = m_{\text{máxima}} \frac{m_{\text{máxima}} \cdot c \cdot (T_{\text{consumo}} - T_{\text{água fria}})}{860} \quad [\text{kW}] \quad (3.27)$$

Em que:

- $m_{\text{máxima}}$ Vazão máxima de água demandada simultaneamente, [litros/h];
- c Calor específico da água, igual a 1,00 cal/ (g.°C);
- T_{consumo} Temperatura de consumo de utilização, [°C]. Deve ser adotado no mínimo 40°C (para as regiões Norte e Nordeste pode-se adotar 38°C);
- $T_{\text{água fria}}$ Temperatura da água fria do local de instalação, [°C].

O dimensionamento do sistema de acumulação individual compreende os seguintes cálculos:

1) O volume de água quente máximo consumido em uma hora no período de maior consumo, V_{pico} , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$V_{\text{pico}} = V_{\text{individual}} \cdot FS_{\text{individual}} \quad [\text{litros}] \quad (3.28)$$

Em que:

- $V_{\text{individual}}$ Volume de consumo diário de água quente por UH, [litros];
 - $FS_{\text{individual}}$ Fator que representa a simultaneidade de uso em uma UH. Na ausência deste fator, recomenda-se adotar o valor de 0,45;
- 2) O volume mínimo de água quente armazenada no sistema de aquecimento a gás, V_{armaz} , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$V_{\text{armaz}} = V_{\text{pico}} \cdot F_{\text{armaz}} \quad [\text{litros}] \quad (3.29)$$

Em que:

- F_{armaz} Fator de minoração para determinar o volume mínimo de armazenamento.

Adota-se valor mínimo de V_{armaz} de 100 litros para garantir uma temperatura mínima de estagnação.

3) O volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica, V_{recup} , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$V_{\text{recup}} = V_{\text{pico}} - V_{\text{armaz}} \quad [\text{litros/h}] \quad (3.30)$$

CAPÍTULO 3

4) A potência útil do aquecedor, Q , é obtida a partir da seguinte expressão:

$$Q = \frac{V_{\text{recup}} \cdot c \cdot (T_{\text{armaz}} - T_{\text{água fria}})}{860} \quad [\text{kW}] \quad (3.31)$$

Em que:

- T_{armaz} Temperatura de armazenamento da água, [°C]. Esta temperatura deve ser, no mínimo, igual à temperatura de consumo.

O dimensionamento do sistema central coletivo a gás compreende os seguintes cálculos:

1) O volume diário consumido de água quente armazenada, $V_{\text{diário}}$, é obtido a partir da seguinte expressão:

$$V_{\text{diário}} = \frac{V_{\text{consumo}} \cdot (T_{\text{consumo}} - T_{\text{água fria}})}{(T_{\text{armaz}} - T_{\text{água fria}})} \quad [\text{litros}] \quad (3.32)$$

Em que:

- V_{consumo} Volume total de água quente consumido diariamente na edificação, [litros/dia];
- T_{consumo} Temperatura de consumo de utilização, [°C]. Deve ser adotado no mínimo 40°C (para as regiões Norte e Nordeste pode-se adotar 38°C).
- T_{armaz} Temperatura de armazenamento da água, [°C]. Esta temperatura deve ser, no mínimo, igual à temperatura de consumo;
- $T_{\text{água fria}}$ Temperatura da água fria do local de instalação, [°C].

2) O volume de água quente máximo consumido em uma hora no período de maior consumo, V_{pico} , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$V_{\text{pico}} = V_{\text{diário}} \cdot FS \quad [\text{litros}] \quad (3.33)$$

Em que:

- FS Fator que representa a simultaneidade de uso em uma hora.

3) O volume mínimo de armazenamento de água quente do sistema de aquecimento a gás, V_{armaz} , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$V_{\text{armaz}} = V_{\text{pico}} \cdot F_{\text{armaz}} \quad [\text{litros}] \quad (3.34)$$

Em que:

- F_{armaz} Fator de minoração para determinar o volume mínimo de armazenamento. Fator obtido na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Fatores de armazenamento em função do volume de água quente consumido no horário de pico (INMETRO, 2012)

Volume na hora de maior consumo (litros)	Fator de armazenamento (F_{armaz})
$0 < V_{pico} < 1.500$	$1/3$
$1.501 < V_{pico} < 6.000$	$1/4$
$6.001 < V_{pico} < 12.000$	$1/5$
$12.001 < V_{pico} < 20.000$	$1/6$
$V_{pico} > 20.001$	$1/7$

- 4) O volume necessário para recuperação do sistema na hora mais crítica, V_{recup} , é obtido a partir da seguinte expressão:

$$V_{recup} = V_{pico} \cdot V_{armaz} \text{ [litros/h]} \quad (3.35)$$

- 5) A potência útil do aquecedor, Q , é obtida a partir da seguinte expressão:

$$Q = \frac{V_{recup} \cdot c \cdot (T_{armaz} - T_{\text{água fria}})}{860} \text{ [kW]} \quad (3.36)$$

Em que:

- c Calor específico da água igual a 1,00 cal/ (g. °C).

Os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação devem possuir ENCE e estar de acordo com normas técnicas brasileiras para aquecedores a gás. Deve-se adotar a classificação da ENCE obtida na Tabela do PBE, considerando a última versão publicada na página do Inmetro, e identificar o equivalente numérico na Tabela 3.1.

Os aquecedores a gás não possuem ENCE devem ser classificados da seguinte forma, para os níveis A e B: os aquecedores de água devem atender aos requisitos mínimos de eficiência apresentados na Tabela 3.15, para o nível C: os aquecedores de água devem atender aos requisitos mínimos de eficiência apresentados na Tabela 3.16, e para o nível D: quando o sistema não se enquadrar nos níveis acima.

Tabela 3.15 – Eficiência mínima de aquecedores a gás para classificação nos níveis A e B (ASHRAE Standard 90.1-2007 *apud* INMETRO, 2012)

Tipo de equipamento	Capacidade (kW)	Subcategoria	Eficiência mínima (W)	Procedimento de teste
Aquecedor de acumulação	$\leq 22,98$	$\geq 75,5$ (litros)	$0,62 - 0,0019.V.EF$	DOE 10 CFR Part 430
	$> 22,98$	$< 309,75$ W/l	$0,8.Et(Q/800 + 110\sqrt{V}).SL$	ANSI Z21.10.3
Aquecedor do tipo instantâneo	$> 14,66$ e $< 58,62$	$\geq 309,75$ W/l e $< 7,57$ (litros)	$0,62 - 0,0019.V.EF$	DOE 10 CFR Part 430
	$\geq 58,62$	$\geq 309,75$ W/l e $< 37,85$ l	$0,80.Et$	ANSI Z21.10.3
	$\geq 58,62$	$\geq 309,75$ W/l e $\geq 37,85$ l	$0,8.Et(Q/800 + 110\sqrt{V}).SL$	ANSI Z21.10.3

Tabela 3.16 - Eficiência mínima de aquecedores a gás para classificação nos níveis C (ASHRAE Standard 90.1-1999 *apud* INMETRO, 2012)

Tipo de equipamento	Capacidade (kW)	Subcategoria	Eficiência mínima (W)	Procedimento de teste
Aquecedor de acumulação	$\leq 22,98$	$\geq 75,7$ (litros)	$0,62 - 0,0072.V.EF$	DOE 10 CFR Part 430
	$> 22,98$ e $\leq 45,43$	$< 309,75$ W/l	$0,78.Et$ $8,29.V + 192.SL$	ANSI Z21.10.3
	$> 45,43$	$< 309,75$ W/l	$0,78.Et$ $8,29.V + 160.SL$	ANSI Z21.10.3
Aquecedor do tipo instantâneo	$> 14,66$ e $< 58,62$	$\geq 309,75$ W/l e $< 7,57$ (litros)	$0,62 - 0,0072.V.EF$	DOE 10 CFR Part 430
	$\geq 58,62$	$\geq 309,75$ W/l e $< 37,85$ L	$0,8.Et$	ANSI Z21.10.3
	$> 58,62$	$\geq 309,75$ W/l e $\geq 37,85$ (litros)	$0,77.Et$ $14,67 + 113.SL$	ANSI Z21.10.3

Em que:

- V Volume, [litros];
- EF Fator energético;
- Et Eficiência térmica;
- Q Potência nominal de entrada, [W];
- SL Perdas em *standby*, [W], considerando uma diferença de temperatura de 38,9°C entre a água quente acumulada e as condições térmicas do ambiente interno.

c) Bombas de calor

REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES
RESIDENCIAIS

O sistema de aquecimento de água a partir das bombas de calor tem a sua classificação de eficiência determinada de acordo com o coeficiente de performance (COP). O nível de eficiência é obtido através da Tabela 3.17 e do EqNum identificado na Tabela 3.1.

Tabela 3.17 – Nível de eficiência para bombas de calor (INMETRO, 2012)

COP (W/W)	Nível de eficiência
$COP \geq 3,0$	A
$2,0 \leq COP < 3,0$	B
$COP < 2,0$	C

d) Sistema de aquecimento elétrico

- Aquecedores elétricos de passagem, chuveiros elétricos e torneiras elétricas

A eficiência destes sistemas é obtida em função da potência do aparelho, desde que façam parte do PBE. Para aparelhos com potência $P \leq 4.600$ W, o nível de eficiência é D, aparelhos com potência $P > 4.600$ W, o nível de eficiência é E, aparelhos com potência regulável é classificado pela maior potência e aparelhos não classificados pelo INMETRO o nível de eficiência é E.

- Aquecedores elétricos de hidromassagem

A eficiência destes sistemas é obtida em função da potência do aparelho, desde que façam parte do PBE. Para aparelhos com potência $P \leq 5.000$ W, o nível de eficiência é D, aparelhos com potência $P > 5.000$ W, o nível de eficiência é E e aparelhos não classificados pelo INMETRO o nível de eficiência é E.

- Aquecedores elétricos por acumulação

Os aquecedores elétricos de água por acumulação (*boiler*) devem possuir ENCE e estar de acordo com as normas técnicas brasileiras para aquecedores elétricos por acumulação. *Boilers* com classificação A ou B no PBE tem nível D de eficiência, para os demais o nível é E. Aparelhos não classificados pelo INMETRO o nível de eficiência é E.

e) Caldeiras a óleo

Caldeiras que utilizam como combustível fluidos líquidos como óleo diesel ou outros derivados de petróleo receberão classificação nível E.

3.2.6 Bonificações

O cumprimento das bonificações que serão apresentadas no itens 3.2.6.1 a 3.2.6.7, poderá resultar no acréscimo de até um ponto na classificação geral da UH. As bonificações devem ser justificadas e comprovadas, e podem ser parcialmente alcançadas.

CAPÍTULO 3

A bonificação total é obtida a partir da seguinte expressão:

$$\text{Bonificações} = b1 + b2 + b3 + b4 + b5 + b6 + b7 + b8 \quad (3.37)$$

Em que:

- Bonificações Pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação;
- b1 Bonificação referente à ventilação natural (item 3.2.6.1), cuja pontuação varia de zero a 0,40 pontos;
- b2 Bonificação referente à iluminação natural (item 3.2.6.2), cuja pontuação varia de zero a 0,30 pontos;
- b3 Bonificação referente ao uso racional de água (item 3.2.6.3), cuja pontuação varia de zero a 0,20 pontos;
- b4 Bonificação referente ao condicionamento artificial de ar (item 3.2.6.4), cuja pontuação varia de zero a 0,20 pontos;
- b5 Bonificação referente à iluminação artificial (item 3.2.6.5), cuja pontuação varia de zero a 0,10 pontos;
- b6 Bonificação referente a ventiladores de teto instalados na UH (item 3.2.6.6), cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos;
- b7 Bonificação referente a refrigeradores instalados na UH (item 3.2.6.7), cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos;
- b8 Bonificação referente à medição individualizada (item 3.2.6.8), cuja pontuação obtida é zero ou 0,10 pontos.

3.2.6.1 Ventilação natural

Para as UHs de até dois pavimentos é necessário comprovar a existência de porosidade mínima de 20% em pelo menos duas fachadas com orientações distintas. A porosidade é a relação entre a área efetiva de abertura para ventilação e a área da fachada, e a sua verificação é feita para cada fachada. O cumprimento da porosidade representa 0,12 pontos de bonificação.

Em edifícios verticais, a porosidade pode ser reduzida em função da altura das aberturas de entrada do vento, medida em relação ao nível médio do meio-fio e o centro geométrico dessas aberturas. Neste caso a porosidade é multiplicando pelo valor do coeficiente de redução obtido na Tabela 3.18.

Tabela 3.18 – Coeficiente de redução da porosidade (INMETRO, 2012)

Pavimento	Altura da abertura (m)	Coeficiente redutor da porosidade
3	7,5	0,8
4	10,5	0,7
5	13,5	0,7
6	16,5	0,6
7	19,5	0,6
8	22,5	0,6
9	25,5	0,5
10	28,5	0,5
11	31,5	0,5
12	34,5	0,5
13	37,5	0,5
14	40,5	0,5
15	43,5	0,5
...		

Todos os ambientes de permanência prolongada da UH devem atender aos seguintes requisitos:

- Utilização de dispositivos especiais (como venezianas móveis, peitoris ventilados, torres de vento e outros), que favoreçam o desempenho da ventilação natural mas permitam o controle da luz natural, da incidência de chuvas e dos raios solares e a manutenção da privacidade. O cumprimento do requisito representa 0,16 pontos de bonificação;
- Existência de aberturas externas (janelas, rasgos, peitoris ventilados, etc.) cujo vão livre tenham o centro geométrico localizado entre 0,40 e 0,70 m medidos a partir do piso. O cumprimento do requisito representa 0,06 pontos de bonificação;
- Na ZB 8, as aberturas intermediárias (portas, rasgos, etc.) devem apresentar permeabilidade em relação à circulação do ar, quer seja na própria folha da esquadria, quer na forma de bandeiras móveis ou rasgos verticais. A área livre desses componentes deve corresponder a, no mínimo, 30% da área da abertura intermediária quando a mesma estiver fechada e devem ser passíveis de fechamento. O cumprimento do requisito representa 0,06 pontos de bonificação.

3.2.6.2 Iluminação natural

A verificação da bonificação para iluminação natural a partir da utilização do método prescritivo, aborda a profundidade de ambientes com iluminação natural provenientes de aberturas laterais (0,12 pontos) e a refletância do teto (0,10 pontos).

A bonificação referente a profundidade dos ambientes, é obtida quando a maioria dos ambientes de permanência prolongada, cozinha e área de serviço/lavanderia (50% mais 1) com iluminação natural lateral atendem ao valor de profundidade máxima calculada através da expressão 3.38. Aberturas em paredes diferentes em um mesmo ambiente, considera-se a de menor profundidade.

$$P = \leq 2,4 \cdot h_a \quad [\text{m}] \quad (3.38)$$

Em que:

- P Profundidade do ambiente, [m];
- h_a Distância medida entre o piso e a altura máxima da abertura para iluminação, excluindo os caixilhos, [m].

A bonificação referente a refletância do teto, é obtida quando cada ambiente de permanência prolongada, cozinha e área de serviço/lavanderia apresentam refletância do teto maior que 60%.

3.2.6.3 Uso racional de água

A bonificação é atendida quando as UHs possuem sistemas de uso de água da chuva, combinados com equipamentos economizadores. O cumprimento do uso racional de água representa 0,20 pontos na bonificação.

A bonificação de uso racional de água, $b3$, é obtida a partir da seguinte expressão:

$$b3 = 0,07 \cdot \left(\frac{BS_{AP}}{BS}\right) + 0,04 \cdot \left(\frac{BS_E}{BS}\right) + 0,04 \cdot \left(\frac{CH_E}{CH}\right) + 0,02 \cdot \left(\frac{T_E}{T}\right) + 0,03 \cdot \left(\frac{OUTROS_{AP}}{OUTROS}\right) \quad (3.39)$$

Em que:

- BS_{AP} Quantidade de bacias sanitárias atendidas por água pluvial;
- BS Quantidade de bacias sanitárias existentes;
- BS_E Quantidade de bacias sanitárias com sistema de descarga com duplo acionamento;
- CH_E Quantidade de chuveiros com restritor de vazão;
- CH Quantidade de chuveiros existentes;

- T_E Quantidade de torneiras com arejador de vazão constante (6 litros/minuto), regulador de vazão ou restritor de vazão;
- T Quantidade de torneiras existentes na UH, excluindo as torneiras das áreas de uso comum;
- $OUTROS_{AP}$ Quantidade de outros pontos atendidos por água pluvial, excluindo bacias sanitárias;
- $OUTROS$ Quantidade de outros pontos passíveis de serem atendidos por água pluvial, excluindo as bacias sanitárias.

3.2.6.4 Condicionamento artificial de ar

Para obter a bonificação referente ao condicionamento artificial de ar, é necessário atender aos seguintes itens:

- A envoltória da UH deve atingir nível A de eficiência quando condicionada artificialmente;
- Condicionadores de ar do tipo janela e do tipo *split* devem possuir ENCE A ou Selo Procel e atenderem as normas brasileiras de condicionadores de ar domésticos;
- Condicionadores de ar do tipo central ou condicionadores não regulamentados pelo Inmetro devem atender aos parâmetros definidos nos RTQ-C;
- As cargas térmicas de projeto do sistema de aquecimento e resfriamento de ar devem ser calculadas de acordo com normas e manuais de engenharia, de comprovada aceitação nacional ou internacional e com publicação posterior ao ano de 2000.

A bonificação pode chegar a 0,20 pontos e é atribuída proporcionalmente ao número de ambientes de permanência prolongada.

3.2.6.5 Iluminação artificial

A bonificação referente a iluminação artificial aponta os seguintes requisitos:

- As UHs devem possuir 50% das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel em todos os ambientes. O cumprimento do requisito representa 0,05 pontos na bonificação;
- As UHs devem possuir 100% das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel em todos os ambientes. O cumprimento do requisito representa 0,10 pontos na bonificação.

3.2.6.6 Ventiladores de teto

Para obtenção de 0,10 pontos de bonificação, a UH deve possuir instalados ventiladores de teto com Selo Procel em dois terços dos ambientes de permanência prolongada para residências localizadas nas ZB2 a 8.

3.2.6.7 Refrigeradores

Para obtenção de 0,10 pontos de bonificação, a UH deve possuir instalados refrigeradores com ENCE nível A ou Selo Procel e garantir as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante.

3.2.6.8 Medição individualizada

A bonificação é atendida quando o sistema de aquecimento da água na edificação é partilhado por mais de uma UH, porém permite a medição individual. O cumprimento da medição individualizada representa 0,10 pontos de bonificação.

CAPÍTULO 4

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Para obter o nível de eficiência energética das edificações habitacionais de Portugal é importante estudar a metodologia adotada no REH e na legislação complementar. Com esse propósito, as seções seguintes foram destinadas para a apresentação do método de cálculo aplicado no regulamento português, sendo que todos os documentos necessários para tal, constam na seção de referências deste trabalho.

4.1 INTRODUÇÃO

O REH é um documento que estabelece requisitos, parâmetros e a metodologia para a determinação do desempenho energético dos edifícios de habitação. O regulamento é atribuído para todos os edifícios ou frações que se destinam a habitação, podendo ser novos ou sujeitos a grandes intervenções, com exceção para os edifícios unifamiliares com área útil inferior a 50,0m².

O regulamento determina o desempenho energético dos edifícios de habitação unifamiliares, multifamiliares e edifícios mistos. Nos edifícios unifamiliares, a aplicação do REH é feita para todo o edifício. No caso dos multifamiliares, a aplicação é para cada fração e nos mistos, sua aplicação estende-se apenas à fração habitacional (Gomes, 2014), não envolvendo as zonas comuns.

O REH objetiva atingir níveis de conforto térmico, aliado à redução das necessidades energéticas dos edifícios habitacionais. A partir do estabelecimento de requisitos, o REH avalia o nível de eficiência referente à qualidade térmica da envolvente opaca e dos vãos envidraçados, à ventilação dos ambientes, aos sistemas técnicos projetados ou instalados e às necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}) dos edifícios.

Sendo assim, o valor determinado para N_{ic} e N_{vc} não devem exceder os valores máximos calculados para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i) e arrefecimento (N_v) dos edifícios.

CAPÍTULO 4

E o valor previsto para as necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) não pode ser maior que o máximo permitido para as necessidades de energia primária (N_t).

Neste trabalho será descrita a metodologia utilizada na determinação da eficiência energética de uma edificação habitacional, através da aplicação do método prescritivo, que utiliza equações, tabelas e parâmetros como ferramenta para a avaliação.

4.2 METODOLOGIA

A metodologia adotada no REH para a determinação da eficiência energética do edifício de habitação, será apresentada nesta seção.

4.2.1 Dados Climáticos

O zoneamento climático do País baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei n.º 85/2009, de 3 de abril e a Lei n.º 21/2010 de 23 de Agosto (MAOTE, 2013).

Os parâmetros para o zoneamento climático constam no Despacho n.º 15793-F/2013, do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia (MAOTE).

A relação dos municípios que compõe cada região definida pela NUTS III, encontra-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- NUTS III (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

NUTS III	Municípios
Minho-Lima	Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira
Alto Trás-os-Montes	Alfândega da Fé, Boticas, Bragança, Chaves, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vimioso, Vinhais
Cávado	Amares, Barcelos, Braga, Esposende, Terras de Bouro, Vila Verde
Ave	Cabeceiras de Basto, Fafe, Guimarães, Mondim de Basto, Póvoa de Lanhoso, Vieira do Minho, Vila Nova de Famalicão, Vizela
Grande Porto	Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Valongo, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia
Tâmega	Amarante, Baião, Castelo de Paiva, Celorico de Basto, Cinfães, Felgueiras, Lousada, Marco de Canaveses, Paços de Ferreira, Paredes, Penafiel, Resende

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Douro	Alijó, Armamar, Carrazeda de Ansiães, Freixo de Espada à Cinta, Lamego, Mesão Frio, Moimenta da Beira, Murça, Penedono, Peso da Régua, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, São João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Tarouca, Torre de Moncorvo, Vila Nova de Foz Coa, Vila Real
Entre Douro e Vouga	Arouca, Oliveira de Azeméis, Santa Maria da Feira, São João da Madeira, Vale de Cambra
Baixo Vouga	Águeda, Albergaria-a-Velha, Anadia, Aveiro, Estarreja, Ílhavo, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar, Sever do Vouga, Vagos
Baixo Mondego	Cantanhede, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Figueira da Foz, Mealhada, Mira, Montemor-o-Velho, Mortágua, Penacova, Soure
Beira Interior Norte	Almeida, Celorico da Beira, Figueira de Castelo Rodrigo, Guarda, Manteigas, Mêda, Pinhel, Sabugal, Trancoso
Beira Interior Sul	Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Penamacor, Vila Velha de Ródão
Cova da Beira	Belmonte, Covilhã, Fundão
Serra da Estrela	Fornos de Algodres, Gouveia, Seia
Dão - Lafões	Aguiar da Beira, Carregal do Sal, Castro Daire, Mangualde, Nelas, Oliveira de Frades, Penalva do Castelo, Santa Comba Dão, São Pedro do Sul, Sátão, Tondela, Vila Nova de Paiva, Viseu, Vouzela
Pinhal Interior Norte	Alvaiázere, Ansião, Arganil, Castanheira de Pera, Figueiró dos Vinhos, Góis, Lousã, Miranda do Corvo, Oliveira do Hospital, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penela, Tábua, Vila Nova de Poiares
Pinhal Interior Sul	Oleiros, Proença-a-Nova, Sertã, Vila de Rei
Pinhal Litoral	Batalha, Leiria, Marinha Grande, Pombal, Porto de Mós
Oeste	Alcobaça, Alenquer, Arruda dos Vinhos, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Peniche, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras
Médio Tejo	Abrantes, Alcanena, Constância, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Mação, Ourém, Sardoal, Tomar, Torres Novas, Vila Nova da Barquinha
Lezíria do Tejo	Almeirim, Alpiarça, Azambuja, Benavente, Cartaxo, Chamusca, Coruche, Golegã, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santarém
Grande Lisboa	Amadora, Cascais, Lisboa, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras, Sintra, Vila Franca de Xira
Península de Setúbal	Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra, Setúbal
Alto Alentejo	Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Marvão, Monforte, Mora, Nisa, Ponte de Sôr, Portalegre
Alentejo Central	Alandroal, Arraiolos, Borba, Estremoz, Évora, Montemor-o-Novo, Mourão, Portel, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Sousel, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vila Viçosa
Alentejo Litoral	Alcácer do Sal, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém, Sines
Baixo Alentejo	Aljustrel, Almodôvar, Alvito, Barrancos, Beja, Castro Verde, Cuba, Ferreira do Alentejo, Mértola, Moura, Ourique, Serpa, Vidigueira

CAPÍTULO 4

Algarve	Albufeira, Alcoutim, Aljezur, Castro Marim, Faro, Lagoa, Lagos, Loulé, Monchique, Olhão, Portimão, S. Brás de Alportel, Silves, Tavira, Vila do Bispo, Vila Real de Santo António
Região Autónoma dos Açores	Vila do Porto, Lagoa, Nordeste, Ponta Delgada, Povoação, Ribeira Grande, Vila Franca do Campo, Angra do Heroísmo, Praia da Vitória, Santa Cruz da Graciosa, Calheta, Velas, Lajes do Pico, Madalena, São Roque do Pico, Horta, Lajes das Flores, Santa Cruz das Flores, Vila do Corvo
Região Autónoma da Madeira	Calheta, Câmara de Lobos, Funchal, Machico, Ponta do Sol, Porto Moniz, Ribeira Brava, Santa Cruz, Santana, São Vicente, Porto Santo

Para a aplicação dos requisitos de qualidade térmica da envolvente são definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3).

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento, conforme mostra na Tabela 4.2 e na Figura 4.1.

Tabela 4.2- Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

Critério	GD ≤ 1300	1300 < GD ≤ 1800	GD > 1800
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação de arrefecimento, $\Theta_{ext, v}$, conforme mostra na Tabela 4.3 e na Figura 4.2.

Tabela 4.3- Critérios para a determinação da zona climática de verão (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

Critério	$\Theta_{ext, v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \Theta_{ext, v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\Theta_{ext, v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

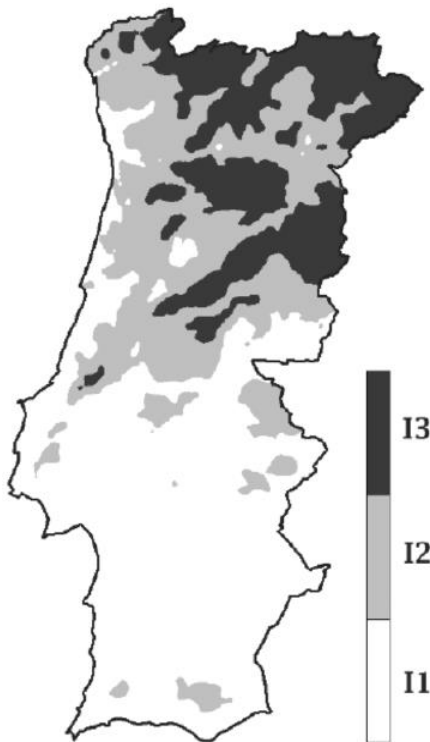


Figura 4.1 – Zonas climáticas de inverno no continente (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

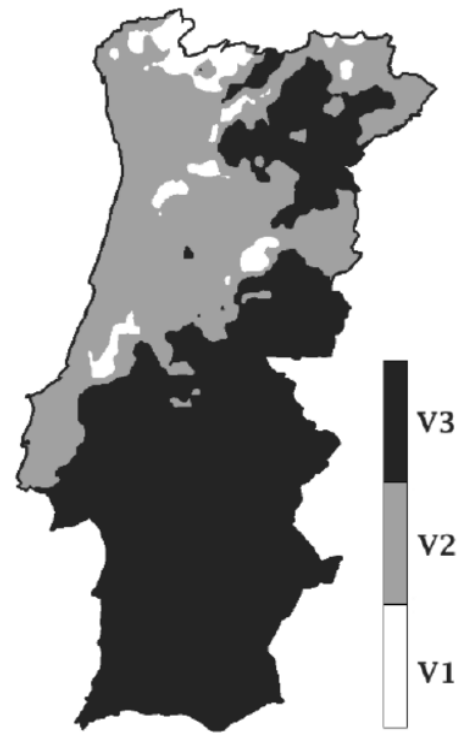


Figura 4.2 – Zonas climáticas de verão no continente (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

Os valores de alguns parâmetros climáticos, X , são obtidos a partir dos valores de referência, X_{REF} , para cada NUTS III e são ajustados através de correções de altitude com declive α , proporcionais à diferença entre a altitude do local, z , e a altitude de referência, z_{REF} , como indicado na expressão seguinte:

$$X = X_{REF} + \alpha (z - z_{REF}) \quad [\text{meses ou } ^\circ\text{C}] \quad (4.1)$$

Os parâmetros climáticos para a estação de aquecimento (inverno) são:

- GD Número de graus-dias de aquecimento, na base de 18°C, [°C.dia];
- M Duração da estação de aquecimento, [meses];
- G_{Sul} Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul, [kWh/(m².mês)].

Na Tabela 4.4 são apresentados por NUTS III os valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento.

CAPÍTULO 4

Tabela 4.4 – Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento
(Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

	z REF m	M		GD		$\Theta_{ext, i}$		G_{Sul} kWh/m ² . mês
		REF meses	a mês/km	REF °C.dia	a °C/km	REF °C	a °C/km	
Minho-Lima	268	7,2	1	1629	1500	8,2	-5	130
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125
Cávado	171	6,8	1	1491	1300	9,0	-6	125
Ave	426	7,2	0	1653	1500	7,8	-6	125
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130
Tâmega	320	6,7	0	1570	1600	7,8	-5	135
Douro	579	6,9	0	1764	1400	6,3	-4	135
Entre Douro e Vouga	298	6,9	1	1544	1400	8,4	-5	135
Baixo Vouga	50	6,3	2	1337	1100	9,5	-5	140
Baixo Mondego	67	6,3	0	1304	1000	9,7	-5	140
Beira Interior Norte	717	7,5	0	1924	1000	6,3	-3	135
Beira Interior Sul	328	5,4	1	1274	1800	9,1	-6	140
Cova da Beira	507	7,1	0	1687	1400	7,5	-5	140
Serra da Estrela	553	7,5	0	1851	1600	7,0	-5	135
Dão - Lafões	497	7,3	0	1702	1900	7,5	-6	135
Pinhal Interior Norte	361	6,8	0	1555	1600	8,3	-5	140
Pinhal Interior Sul	361	6,7	1	1511	1500	8,4	-4	145
Pinhal Litoral	126	6,6	0	1323	1900	9,6	-5	140
Oeste	99	5,6	0	1165	2200	10,3	-8	145
Médio Tejo	168	5,9	0	1330	1300	9,5	-4	145
Lezíria do Tejo	73	5,2	3	1135	2700	10,2	-7	145
Grande Lisboa	109	5,3	3	1071	1700	10,8	-4	150
Península de Setúbal	47	4,7	0	1045	1500	10,7	-4	145
Alto Alentejo	246	5,3	2	1221	1200	9,6	-3	145
Alentejo Central	221	5,3	2	1150	1100	10,0	-4	150
Alentejo Litoral	88	5,3	2	1089	1100	10,8	-2	150
Baixo Alentejo	178	5,0	0	1068	1000	10,7	-2	155

Os parâmetros climáticos para a estação de arrefecimento (verão) são:

- L_v Duração da estação = 4 meses = 2928 horas;

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

- $\Theta_{ext, v}$ Temperatura exterior média, [°C];
- I_{sol} Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal e em superfícies verticais para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, [kWh/m²].

Na Tabela 4.5 são apresentados por NUTS III os valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento.

Tabela 4.5- Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento
(Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

	z REF m	$\Theta_{ext, v}$		I_{sol}								
		REF °C	a °C/km	kWh/m ² acumulados de junho a setembro								
				0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW
Minho-Lima	268	20,5	-4	785	220	345	475	485	425	485	475	345
Alto Trás-os-Montes	680	21,5	-7	790	220	345	480	485	425	485	480	345
Cávado	171	20,7	-3	795	220	345	485	490	425	490	485	345
Ave	426	20,8	-3	795	220	350	490	490	425	490	490	350
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350
Tâmega	320	21,4	-3	800	220	350	490	490	425	490	490	350
Douro	579	22,7	-6	805	220	350	490	490	420	490	490	350
Entre Douro e Vouga	298	20,6	-3	805	220	350	490	490	425	490	490	350
Baixo Vouga	50	20,6	-2	810	220	355	490	490	420	490	490	355
Baixo Mondego	67	20,9	0	825	225	360	495	495	420	495	495	360
Beira Interior Norte	717	21,7	-5	820	220	355	495	500	425	500	495	355
Beira Interior Sul	328	25,3	-7	830	220	360	500	495	420	495	500	360
Cova da Beira	507	22,5	-6	825	225	360	495	495	425	495	495	360
Serra da Estrela	553	21,0	-4	820	225	355	495	495	420	495	495	355
Dão - Lafões	497	21,2	-3	815	220	355	495	490	415	490	495	355
Pinhal Interior Norte	361	21,2	-2	825	220	357	500	495	420	495	500	357
Pinhal Interior Sul	361	22,4	-3	830	225	360	500	500	420	500	500	360
Pinhal Litoral	126	20,1	-2	830	225	360	500	495	415	495	500	360
Oeste	99	21,0	0	830	225	360	500	495	415	495	500	360
Médio Tejo	168	22,1	-7	835	220	360	500	495	415	495	500	360
Lezíria do Tejo	73	23,1	-6	835	225	365	500	495	410	495	500	365

4.2.2 Definição da Envolvente

São definidos os seguintes tipos de envolvente:

- Envolvente exterior;
- Envolvente sem requisitos;
- Envolvente interior com requisitos de exterior ($b_{tr} > 0,7$);
- Envolvente interior com requisitos de interior ($b_{tr} \leq 0,7$);
- Envolvente em contacto com o solo.

Para definir a envolvente é necessário determinar o coeficiente de redução de perdas, b_{tr} , dos espaços não úteis, que indica a redução da transmissão de calor do elemento separador de um espaço interior útil, para o não útil. A determinação do b_{tr} se faz através na seguinte expressão:

$$b_{tr} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (4.2)$$

Em que:

- θ_{int} Temperatura interior, [°C];
- θ_{ext} Temperatura ambiente exterior, [°C];
- θ_{enu} Temperatura do local não útil, [°C].

Ou então, poderão ser utilizados os valores propostos pela legislação, para os elementos em contacto com espaços não úteis em que seja impossível determinar o valor da temperatura do local não útil, admitindo-se os valores indicados na Tabela 4.6 do Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 (MAOTE, 2013).

Tabela 4.6 – Coeficientes de redução de perdas de espaços não úteis, b_{tr} (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

b_{tr}	$V_{enu} \leq 50m^3$		$50m^3 < V_{enu} \leq 200m^3$		$V_{enu} > 200m^3$	
	f	F	f	F	F	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Em que:

- A_i Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil, [m²];
- A_u Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do exterior, [m²];
- V_{enu} Volume do espaço não útil, [m³];
- f Espaço não útil com todas as ligações entre elementos bem vedadas e sem aberturas de ventilação permanentes abertas;
- F Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanente.

Se o valor do b_{tr} for superior a 0,7, aplicam-se os requisitos mínimos para envolvente exterior ao elemento que separa o espaço interior útil do não útil, classificando-o como envolvente exterior com requisitos de exterior.

Se o valor do b_{tr} for igual ou inferior a 0,7, aplicam-se os requisitos mínimos para envolvente interior ao elemento que separa o espaço interior útil do não útil, classificando-o como envolvente interior com requisitos de interior.

Para espaços não úteis fortemente ventilados, admite-se $b_{tr}=1$.

Para os elementos em contacto com edifícios adjacentes o valor do coeficiente de redução de perdas é igual a 0,6.

4.2.3 Requisitos de Qualidade Térmica

A Portaria n.º 319/2016, de 15 de dezembro, define os requisitos de comportamento térmico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a intervenção. Os requisitos aplicam-se a envolvente opaca, aos vãos envidraçados, ao valor de taxa de renovação de ar e aos sistemas técnicos (Economia, 2016).

4.2.3.1 Envolvente opaca

Todos os elementos da zona corrente da envolvente opaca do edifício (paredes, pavimentos ou coberturas) devem apresentar coeficiente de transmissão térmica, U , não superior ao valor do coeficiente de transmissão térmica máximo, $U_{máx}$, apresentado na Tabela 4.7, referente a qualidade térmica.

CAPÍTULO 4

Tabela 4.7 – Requisitos de qualidade térmica – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos, $U_{m\acute{a}x}$ [W/(m².°C)] (Portaria n.º 319/2016)

$U_{m\acute{a}x}$ [W/m ² .°C]		Zona climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos opacos verticais	2,00	2,00	1,90
	Elementos opacos horizontais	1,65	1,30	1,20

Os elementos da envolvente opaca e envidraçada devem apresentar coeficientes de transmissão térmica, U , não superiores aos valores máximos, $U_{m\acute{a}x}$, apresentados na Tabela 4.8, referente aos requisitos energéticos.

Tabela 4.8 – Requisitos energéticos – Coeficiente de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos e vãos envidraçados, $U_{m\acute{a}x}$ [W/(m².°C)] (Portaria n.º 319/2016)

$U_{m\acute{a}x}$ [W/m ² .°C]		Zona climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0,7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,80	2,40	2,20

A verificação aos requisitos descritos acima não se aplica aos elementos em contacto com o solo nem as portas opacas

4.2.3.2 Pontes térmicas planas

Todas as zonas de qualquer elemento opaco que constituem zona de ponte térmica plana, PTP, como por exemplo, pilares, vigas e caixas de estore, devem ter um valor do coeficiente de transmissão térmica, U_{PTP} , que cumpra com as seguintes exigências:

$$U_{PTP} \leq 2 \cdot U_{cor} \quad (4.3)$$

$$U_{PTP} \leq U_{m\acute{a}x} \quad (4.4)$$

Em que:

- U_{cor} Coeficiente de transmissão térmica dos elementos homólogos adjacentes em zona corrente, $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$;
- $U_{m\acute{a}x}$ Coeficiente de transmissão térmica máximo indicado na Tabela 4.7, $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$;

As verificações anteriores são dispensadas quando se verificar $U_{PTP} \leq 0,9 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Desde 2016 que para as zonas de ponte térmica plana da envolvente exterior é necessário verificar o coeficiente de transmissão térmica para que não seja superior a $0,9 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

4.2.3.3 Vãos envidraçados

Os envidraçados devem apresentar o fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção 100% ativos, g_T , que cumpra com as seguintes condições:

$$\text{Se } A_{env} \leq 15\% \cdot A_{pav}, \text{ então } g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \quad (4.5)$$

$$\text{Se } A_{env} > 15\% \cdot A_{pav}, \text{ então } g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \cdot \left(\frac{A_{env}}{A_{pav}} \right)^{0,15} \quad (4.6)$$

Em que:

- g_T Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;
- F_o Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;
- F_f Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício;
- $g_{Tm\acute{a}x}$ Fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados;
- A_{env} Soma das áreas dos vãos envidraçados que servem o compartimento, $[m^2]$;
- A_{pav} Área de pavimento do compartimento servido pelos vãos envidraçados, $[m^2]$.

Os valores referentes aos fatores F_o e F_f são obtidos nas tabelas relativas ao sombreamento na estação de arrefecimento.

As verificações anteriores são dispensadas quando o somatório das áreas dos vãos envidraçados, A_{env} , for inferior a 5% da área do pavimento do compartimento ou se os envidraçados forem orientados no quadrante Norte.

CAPÍTULO 4

Os fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados são obtidos na Tabela 4.9, em função da zona climática e da classe de inércia térmica.

Tabela 4.9 – Fatores solares máximos admissíveis de vão envidraçados, $g_{Tmáx}$ (Portaria n.º 319/2016)

$g_{Tmáx}$	Zona climática		
Classe de Inércia	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

O fator solar dos vãos envidraçados é definido no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013.

Para efeito de ganhos térmicos pelos vãos envidraçados, deve ser considerada uma incidência de radiação solar normal à superfície do vão, corrigida pelo fator que expressa a variação da incidência da radiação, F_w .

O fator solar do vidro, $g_{L,vi}$, deve ser fornecido pelo fabricante. Para os casos não seja possível aceder a esta informação são apresentados na Tabela 4.10 os valores do fator solar de várias composições de vidros.

Tabela 4.10 – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal ao vão, $g_{L,vi}$ (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Composição do vidro		$g_{L,vi}$
Vidro Simples	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante Incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
	Fosco	(1)
		Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm
Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm		0,75
Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm		0,60

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Vidro Duplo (ext + int)	Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,55
	Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm	0,50
	Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm	0,45
	Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,52
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,40
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,35
	Tijolo de Vidro	0,57
	Fosco	(*)

*Nas situações de vidro fosco, adota-se o valor de fator solar que corresponde às soluções de vidro incolor de igual composição.

Os valores do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar permanente ou móvel totalmente ativado, para vidro simples ou duplos estão apresentados na Tabela 4.11. A cor da proteção define-se em função do coeficiente de reflexão da superfície exterior da proteção, apresentado na Tabela 4.12.

Tabela 4.11 – Valores correntes do fator solar de vãos envidraçados com vidro corrente e dispositivos de proteção solar, g_{Tvc} (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Tipo de Proteção		g_{Tvc}					
		Vidro Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
Proteções interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56

CAPÍTULO 4

Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
Persianas	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

Tabela 4.12 – Coeficiente de absorção da radiação solar (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Cor	a
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

Caso sejam aplicados vidros especiais com proteção exterior não opaca ou com proteção interior, calcula-se o fator solar global de um vão envidraçado com proteções solares totalmente ativadas através da seguinte expressão:

$$\text{Para vidro simples: } gT = \frac{g_{L,vi} \cdot g_{Tvc}}{0,85} \quad (4.7)$$

$$\text{Para vidro duplo: } gT = \frac{g_{L,vi} \cdot g_{Tvc}}{0,75} \quad (4.8)$$

O Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 define o cálculo do fator de obstrução da radiação solar dos vãos envidraçados, F_s , a partir da definição dos seguintes fatores:

- Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício, F_h ;
- Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas, F_o ;
- Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício, F_r .

O efeito do sombreamento do horizonte é desprezável na estação de arrefecimento, portando admite-se $F_h = 1$. Para a identificação do fator de sombreamento do horizonte na estação de aquecimento são necessários definir o ângulo do horizonte, latitude, orientação, clima local e da duração da estação de aquecimento.

Os valores para os fatores de sombreamento de elementos horizontais e verticais para a estação de arrefecimento que dependem do ângulo da obstrução, da latitude, da exposição e do clima local, encontram-se na Tabela 4.13 e Tabela 4.14.

Tabela 4.13 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais F_o na estação de arrefecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA					RAM				
	Latitude de 39°					Latitude de 33°				
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55	0,95	0,76	0,63	0,6	0,62
60°	0,94	0,7	0,55	0,5	0,52	0,92	0,68	0,55	0,54	0,6

Tabela 4.14 - Valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais, F_v , na estação de arrefecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	45°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

4.2.3.4 Valor mínimo de taxa de renovação de ar

Nos edifícios de habitação, o valor de taxa de renovação horária de ar deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora.

$$R_{ph} \geq 0,4 \text{ h}^{-1} \quad (4.9)$$

CAPÍTULO 4

Quando o valor mínimo da taxa de renovação não for cumprido o sistema de ventilação terá que ser alterado para que o valor regulamentar seja atendido.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) disponibiliza a ferramenta de cálculo que permite quantificar a taxa de renovação de ar.

4.2.3.5 Requisitos dos sistemas técnicos

Os sistemas técnicos a instalar devem cumprir os seguintes requisitos e condições:

- As instalações de climatização com potência térmica nominal superior a 25 kW devem ter projeto de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado de acordo com as especificações da Portaria n.º 701-H/2008, de 29 de julho;
- As redes de transporte e distribuição de fluidos térmicos, incluindo os sistemas de acumulação, climatização ou preparação de águas quentes sanitárias (AQS), devem cumprir os requisitos de espessuras mínimas de isolamento;
- As espessuras mínimas de isolamento serão válidas para materiais com condutibilidade térmica de $0,040\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ a 20°C , sendo que para materiais com condutibilidade térmica diferente o requisito de espessura mínima deverá ser corrigido.
- Os sistemas técnicos para climatização devem conter mecanismos de controlo e regulação que limitem as temperaturas máximas e mínimas do ar;
- Os sistemas técnicos de climatização com potência térmica nominal igual ou superior a 50 kW, devem dispor de mecanismos que cumpram as funções de regulagem da potência de aquecimento e arrefecimento dos equipamentos às necessidades do edifício, que garantam a possibilidade de controlo do sistema de climatização em período de não ocupação e que possibilitem a parametrização de horários de funcionamento;
- Os sistemas técnicos devem dispor de marcação CE e estar devidamente caracterizados quanto ao seu desempenho energético ou das características técnicas que possam determinar ou afetar esse desempenho;

Os requisitos de eficiência que se aplicam aos sistemas técnicos a instalar, são:

Para os sistemas de ar condicionado, bombas de calor com ciclo reversível e chillers de arrefecimento os requisitos mínimos de eficiência estão indicados na Tabela 4.15, em função da sua classificação pela certificação Eurovent.

Tabela 4.15 – Requisitos mínimos de eficiência das unidades de produção térmica (Portaria n.º 319/2016)

Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	entrada em vigor	31 dez 2015
Split, multissplit, VRF e compacto	C	B
Unidades do tipo Rooftop		
Unidades do tipo Chiller de compressão (Bomba de calor)		

Para os sistemas mencionados anteriormente que não se enquadram na categoria Eurovent mas que apresentam desempenho avaliado pelo mesmo referencial normativo, os requisitos em termos de EER e COP que se aplicam nestes casos estão descritos na Tabela 4.16, Tabela 4.17, Tabela 4.18 e Tabela 4.19.

Tabela 4.16 - Classificação do desempenho de unidades split, multissplit, VRF e compactas, com permuta ar-ar (Portaria n.º 319/2016)

Classe	Unidades com permuta exterior a ar			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades split, multissplit e VRF	Unidades compactas	Unidades split, multissplit e VRF	Unidades compactas
A	EER > 3,20	EER > 3,00	COP > 3,60	COP > 3,40
B	3,20 ≥ EER > 3,00	3,00 ≥ EER > 2,80	3,60 ≥ COP > 3,40	3,40 ≥ COP > 3,20
C	3,00 ≥ EER > 2,80	2,80 ≥ EER > 2,60	3,40 ≥ COP > 3,20	3,20 ≥ COP > 3,00
D	2,80 ≥ EER > 2,60	2,60 ≥ EER > 2,40	3,20 ≥ COP > 2,80	3,00 ≥ COP > 2,60
E	2,60 ≥ EER > 2,40	2,40 ≥ EER > 2,20	2,80 ≥ COP > 2,60	2,60 ≥ COP > 2,40
F	2,40 ≥ EER > 2,20	2,20 ≥ EER > 2,00	2,60 ≥ COP > 2,40	2,40 ≥ COP > 2,20
G	EER ≤ 2,20	EER ≤ 2,00	COP ≤ 2,40	COP ≤ 2,20

Tabela 4.17 - Classificação do desempenho de unidades split, multissplit e compactas, com permuta ar-água (Portaria n.º 319/2016)

Classe	Unidades com permuta exterior a água			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades split e multissplit	Unidades compactas	Unidades split e multissplit	Unidades compactas
A	EER > 3,60	EER > 4,40	COP > 4,00	COP > 4,70
B	3,60 ≥ EER > 3,30	4,40 ≥ EER > 4,10	4,00 ≥ COP > 3,70	4,70 ≥ COP > 4,40

CAPÍTULO 4

C	$3,30 \geq \text{EER} > 3,10$	$4,10 \geq \text{EER} > 3,80$	$3,70 \geq \text{COP} > 3,40$	$4,40 \geq \text{COP} > 4,10$
D	$3,10 \geq \text{EER} > 2,80$	$3,80 \geq \text{EER} > 3,50$	$3,40 \geq \text{COP} > 3,10$	$4,10 \geq \text{COP} > 3,80$
E	$2,80 \geq \text{EER} > 2,50$	$3,50 \geq \text{EER} > 3,20$	$3,10 \geq \text{COP} > 2,80$	$3,80 \geq \text{COP} > 3,50$
F	$2,50 \geq \text{EER} > 2,20$	$3,20 \geq \text{EER} > 2,90$	$2,80 \geq \text{COP} > 2,50$	$3,50 \geq \text{COP} > 3,20$
G	$\text{EER} \leq 2,20$	$\text{EER} \leq 2,90$	$\text{COP} \leq 2,50$	$\text{COP} \leq 3,20$

Tabela 4.18 - Classificação do desempenho de unidades do tipo Rooftop (Portaria n.º 319/2016)

Classe	Unidades com permuta exterior a ar		Unidades com permuta exterior a água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	$\text{EER} > 3,00$	$\text{COP} > 3,40$	$\text{EER} > 4,40$	$\text{COP} > 4,70$
B	$3,00 \geq \text{EER} > 2,80$	$3,40 \geq \text{COP} > 3,20$	$4,40 \geq \text{EER} > 4,10$	$4,70 \geq \text{COP} > 4,40$
C	$2,80 \geq \text{EER} > 2,60$	$3,20 \geq \text{COP} > 3,00$	$4,10 \geq \text{EER} > 3,80$	$4,40 \geq \text{COP} > 4,10$
D	$2,60 \geq \text{EER} > 2,40$	$3,00 \geq \text{COP} > 2,60$	$3,80 \geq \text{EER} > 3,50$	$4,10 \geq \text{COP} > 3,80$
E	$2,40 \geq \text{EER} > 2,20$	$2,60 \geq \text{COP} > 2,40$	$3,50 \geq \text{EER} > 3,20$	$3,80 \geq \text{COP} > 3,50$
F	$2,20 \geq \text{EER} > 2,00$	$2,40 \geq \text{COP} > 2,20$	$3,20 \geq \text{EER} > 2,90$	$3,50 \geq \text{COP} > 3,20$
G	$\text{EER} \leq 2,00$	$\text{COP} \leq 2,20$	$\text{EER} \leq 2,90$	$\text{EER} \leq 3,20$

Tabela 4.19 - Classificação do desempenho de unidades do tipo chiller bomba de calor de compressão (Portaria n.º 319/2016)

Classe	Unidades com permuta exterior a ar		Unidades com permuta exterior a água	
	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento
A	$\text{EER} \geq 3,1$	$\text{COP} \geq 3,2$	$\text{EER} \geq 5,05$	$\text{COP} \geq 4,45$
B	$3,1 > \text{EER} \geq 2,9$	$3,2 > \text{COP} \geq 3,0$	$5,05 > \text{EER} \geq 4,65$	$4,45 > \text{COP} \geq 4,15$
C	$2,9 > \text{EER} \geq 2,7$	$3,0 > \text{COP} \geq 2,8$	$4,65 > \text{EER} \geq 4,25$	$4,15 > \text{COP} \geq 3,85$
D	$2,7 > \text{EER} \geq 2,5$	$2,8 > \text{COP} \geq 2,6$	$4,25 > \text{EER} \geq 3,85$	$3,85 > \text{COP} \geq 3,55$
E	$2,5 > \text{EER} \geq 2,3$	$2,6 > \text{COP} \geq 2,4$	$3,85 > \text{EER} \geq 3,45$	$3,55 > \text{COP} \geq 3,25$
F	$2,3 > \text{EER} \geq 2,1$	$2,4 > \text{COP} \geq 2,2$	$3,45 > \text{EER} \geq 3,05$	$3,25 > \text{COP} \geq 2,95$
G	$\text{EER} < 2,1$	$\text{COP} < 2,2$	$\text{EER} < 3,05$	$\text{COP} < 2,95$

As caldeiras a combustível líquido ou gasoso devem atender aos requisitos mínimos de eficiência indicados na Tabela 4.20 e Tabela 4.21.

Tabela 4.20 – Requisitos mínimos de eficiência energética de caldeiras (Portaria n.º 319/2016)

Tipo de equipamento	Classe de eficiência mínima após...	
	Entrada em vigor	31 dez 2015
Caldeira	B	A

Tabela 4.21 - Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores (Portaria n.º 319/2016)

Caldeiras	Classe de eficiência energética	Rendimento nominal (η)
	A++	$\eta \geq 96\%$
	A+	$96\% \geq \eta > 92\%$
	A	$92\% \geq \eta > 89\%$
	B	$89\% \geq \eta > 86\%$
	C	$86\% \geq \eta > 83\%$
	D	$83\% \geq \eta > 80\%$
	E	$80\% \geq \eta > 77\%$
	F	$\eta \leq 77\%$
Esquentadores	Potência (kW)	Rendimento
	$\leq 10\text{kW}$	$\geq 0,82$
	$> 10\text{ kW}$	$\geq 0,84$

As bombas de calor para a preparação de água quente para climatização e AQS, devem apresentar o certificado *European Quality Label for Heat Pumps*, ou o seu desempenho deve ser avaliado pelo mesmo referencial normativo, tendo um COP mínimo de 2,3. As bombas de calor para produção exclusiva de AQS devem ter um desempenho caracterizado por um COP mínimo de 2,3.

Os sistemas de preparação de AQS com recursos a termoacumuladores elétricos devem cumprir os requisitos indicados na Tabela 4.22 e a sua eficiência deve ser obtida em função das perdas estáticas do equipamento, Q_{pr} , segundo a Tabela 4.23.

Tabela 4.22 - Valores limite de perdas estáticas em termoacumuladores Q_{pr} , [kWh/24h] (Portaria n.º 319/2016)

Volume V [l]	Dispersão Térmica Q_{pr} [kWh/24h]
$V \leq 200\text{ l}$	$Q_{pr} \leq (21 + 10,33.V^{0,4}).24/1000$
$200 < V \leq 500\text{ l}$	$Q_{pr} \leq (26 + 13,66.V^{0,4}).24/1000$

500 < V ≤ 1000 l	$Q_{pr} \leq (31 + 16,66.V^{0,4}).24/1000$
1000 < V ≤ 2000 l	$Q_{pr} \leq (38 + 16,66.V^{0,4}).24/1000$

Tabela 4.23 - Valores de eficiência de termoacumuladores em função de Q_{pr} (Portaria n.º 319/2016)

Intervalos de Q_{pr} [kWh/24h]	Eficiência
$Q_{pr} < 1$	0,97
$1 \leq Q_{pr} < 1,5$	0,95
$Q_{pr} \geq 1,5$	0,93

4.2.4 Comportamento Térmico na Estação de Aquecimento

O Despacho n.º 15793-I/2013 define a metodologia de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício, N_{ic} , de acordo com a seguinte expressão:

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}) / A_p \quad [\text{kWh}/\text{m}^2.\text{ano}] \quad (4.10)$$

Em que:

- $Q_{tr,i}$ Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh];
- $Q_{ve,i}$ Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh];
- $Q_{gu,i}$ Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh];
- A_p Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²].

4.2.4.1 Transferência de calor por transmissão

Ao longo da estação de aquecimento e devido à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, a transferência de calor por transmissão global traduz-se em perdas de calor calculadas de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{tr,i} = 0,024.GD.H_{tr,i} \quad [\text{kWh}] \quad (4.11)$$

Em que:

- $H_{tr,i}$ Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, [W/°C];

As transferências de calor por transmissão através da envolvente podem ocorrer através de perdas superficiais e perdas lineares. As perdas superficiais de calor ocorrem pelas paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior, com espaço não útil (ENU) e com edifícios adjacentes, e pelas paredes e pavimentos em contacto com o solo. As perdas lineares de calor ocorrem pelas ligações associadas às paredes exteriores e paredes para ENU com $b_{tr} > 0,7$.

A determinação do coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, é apresentada no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 através da seguinte expressão:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [W/°C] \quad (4.12)$$

Em que:

- H_{ext} Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [W/°C];
- H_{enu} Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, [W/°C];
- H_{adj} Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, [W/°C];
- H_{ecs} Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo, [W/°C].

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente exterior, determina-se através da expressão:

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \quad [W/°C] \quad (4.13)$$

Em que:

- U_i Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente, [W/(m².°C)];
- A_i Área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício, [m²];
- ψ_j Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j, [W/(m.°C)];
- B_j Desenvolvimento linear da ponte térmica linear j, medido pelo interior do edifício, [m].

CAPÍTULO 4

O coeficiente de transmissão térmica linear pode ser determinado pela Norma EN ISO 10 211, por catálogos de pontes térmicas nos quais o cálculo esteja de acordo com a norma EN ISO 14683 ou através dos valores indicados na Tabela 4.24.

Tabela 4.24 -Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares ψ [W/m².°C]
(Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Tipo de ligação		Sistema de isolamento das paredes		
		Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou na caixa-de-ar de parede dupla
Fachada com pavimentos térreos		0,8	0,7	0,8
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75
	Isolamento sobre o pavimento	0,1	0,5	0,35
Fachada com pavimento de nível intermédio		0,6	0,15	0,5
Fachada com varanda		0,6	0,6	0,55
Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura	0,1	0,7	0,6
	Isolamento sobre a laje de cobertura	1	0,8	1
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,1	0,4	0,5
Fachada com caixilharia	O isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	0,1	0,1	0,1
	O isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	0,25	0,25	0,25
Zona da caixa de estores		0,3	0,3	0,3

As pontes térmicas lineares não são contabilizadas em paredes de compartimentação que interceptam paredes, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior ou com ENU e em paredes interiores que separam um espaço interior útil de um ENU ou de um edifício adjacente, desde que $b_{tr} \leq 0,7$.

Os coeficientes de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis e com edifícios adjacentes, determinam-se através da expressão:

$$H_{\text{enu,adj}} = b_{\text{tr}} \times (\sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j]) \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (4.14)$$

Em que:

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

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com o solo, determina-se através da expressão:

$$H_{\text{ecs}} = \sum_i [U_{\text{bf}i} \cdot A_i] + \sum_j [z_j \cdot P_j \cdot U_{\text{bw}j}] \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (4.15)$$

Em que:

- $U_{\text{bf}i}$ Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i , [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$];
- A_i Área do pavimento em contacto com o solo i , medida pelo interior do edifício, [m^2];
- z_j Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j , [m];
- P_j Desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j , medido pelo interior, [m];
- $U_{\text{bw}j}$ Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j , [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$].

Na situação de pavimento térreo que se encontra ao mesmo nível do solo, admite-se $z=0$, portando o cálculo de H_{ecs} resume-se à primeira parcela da expressão.

No caso de pavimento térreo com isolamento térmico perimetral, o fator $U_{\text{bf}i}$ será substituído por $U_{\text{f,ei}}$, que corresponde ao coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo com isolamento térmico perimetral.

O valor do coeficiente de transmissão térmica de pavimento em contacto com o terreno, U_{bf} , determina-se através da Tabela 4.25, Tabela 4.26 e Tabela 4.27, em função da dimensão característica do pavimento B , da resistência térmica de todas as camadas do pavimento, R_f , com exclusão de resistências superficiais, e da largura do isolamento perimetral ou profundidade do isolamento vertical, D .

A dimensão característica do pavimento é determinada de acordo com a expressão:

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \cdot P} \quad [\text{m}] \quad (4.16)$$

Em que:

- A_p Área interior útil de pavimento em contato com o solo medida pelo interior, [m^2];

CAPÍTULO 4

- P Perímetro exposto do pavimento em contato com o solo, caracterizado pelo desenvolvimento total de parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior, [m].

Para obter o valor de U_{bf} nas tabelas é necessário definir o valor da resistência térmica de todas as camadas do pavimento, com exclusão de resistências superficiais, R_f em $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$, e o valor da largura do isolamento perimetral ou profundidade do isolamento vertical, D em m.


Tabela 4.25 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento contínuo ou sem isolamento térmico U_{bf} , $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$ (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

B'	$z \leq 0,5m$				$0,5m < z \leq 1,0m$				$1,0m < z \leq 2,0m$			
	$R_f [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$				$R_f [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$				$R_f [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$			
	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3
3	0,65	0,57	0,32	0,24	0,57	0,44	0,30	0,23	0,51	0,41	0,29	0,22
4	0,57	0,52	0,3	0,23	0,52	0,41	0,28	0,22	0,47	0,37	0,27	0,21
6	0,47	0,43	0,27	0,21	0,43	0,35	0,25	0,2	0,40	0,33	0,24	0,19
10	0,35	0,32	0,22	0,18	0,32	0,28	0,21	0,17	0,30	0,26	0,20	0,17
15	0,27	0,25	0,18	0,15	0,25	0,22	0,18	0,15	0,24	0,21	0,17	0,14
≥ 20	0,22	0,21	0,16	0,13	0,21	0,18	0,15	0,13	0,20	0,18	0,15	0,13
B'	$2,0m < z \leq 3,0m$				$z > 3m$							
	$R_f [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$				$R_f [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$							
	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3				
3	0,45	0,37	0,27	0,21	0,39	0,32	0,24	0,20				
4	0,42	0,34	0,25	0,20	0,36	0,30	0,23	0,19				
6	0,36	0,30	0,23	0,18	0,31	0,27	0,21	0,17				
10	0,28	0,24	0,19	0,16	0,25	0,22	0,18	0,15				
15	0,22	0,20	0,16	0,14	0,20	0,18	0,15	0,13				
≥ 20	0,19	0,17	0,14	0,12	0,17	0,16	0,13	0,12				

Tabela 4.26 – Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral horizontal U_{bf} , $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$ (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

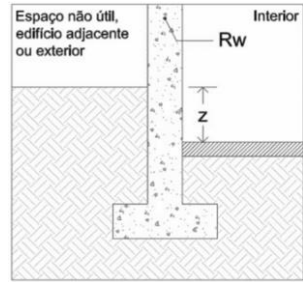
B'	D = 0,5m					D 0 1,0m					D = 1,5m				
	$R_f [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$					$R_f [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$					$R_f [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$				
	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3
3	0,86	0,60	0,46	0,29	0,21	0,79	0,57	0,44	0,29	0,20	0,75	0,55	0,42	0,28	0,20
4	0,74	0,54	0,42	0,29	0,21	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,66	0,50	0,40	0,28	0,20
6	0,59	0,45	0,36	0,26	0,20	0,55	0,43	0,36	0,26	0,20	0,53	0,42	0,35	0,26	0,20
10	0,42	0,34	0,28	0,22	0,18	0,40	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,32	0,27	0,21	0,18
15	0,32	0,26	0,23	0,18	0,15	0,30	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15
20	0,26	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,18	0,15	0,13

Tabela 4.27- Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral U_{bf} , [W/m².°C] (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

B'	D = 0,5m					D 0 1,0m					D = 1,5m					
	R_f [(m ² .°C)/W]					R_f [(m ² .°C)/W]					R_f [(m ² .°C)/W]					
	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3	
3	0,79	0,57	0,44	0,29	0,20	0,72	0,53	0,41	0,27	0,20	0,68	0,50	0,39	0,26	0,19	
4	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,63	0,49	0,39	0,27	0,20	0,60	0,47	0,38	0,26	0,20	
6	0,55	0,43	0,36	0,26	0,20	0,51	0,41	0,34	0,25	0,20	0,49	0,40	0,33	0,25	0,19	
10	0,40	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,31	0,27	0,21	0,17	0,36	0,31	0,27	0,21	0,17	
15	0,30	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15	0,28	0,24	0,21	0,17	0,15	
20	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,23	0,20	0,18	0,15	0,13	0,23	0,20	0,18	0,15	0,13	

O valor do coeficiente de transmissão térmica de paredes em contacto com o solo, U_{bw} , determina-se através da Tabela 4.28, em função da resistência térmica da parede sem resistências superficiais, R_w , e da profundidade media enterrada da parede em contacto com o solo, z .

Tabela 4.28 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes em contacto com o terreno U_{bw} [W/m².°C] (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

z [m]	R_w [(m ² .°C)/W]						
	0	0,5	1	1,5	2		
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,30	
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,28	
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,26	
2	1,32	0,70	0,50	0,38	0,31	0,23	
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,19	
≥ 6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,21	0,17	

4.2.4.2 Transferência de calor por ventilação

As perdas de calor por ventilação correspondentes à renovação do ar interior durante a estação de aquecimento são definidas a partir da seguinte expressão:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot G_D \cdot H_{ve,i} \quad [\text{kWh}] \quad (4.17)$$

Em que:

- $H_{ve,i}$ Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [W/°C].

O valor do coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento obtém-se a partir da seguinte expressão:

CAPÍTULO 4

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d \quad [W/^\circ C] \quad (4.18)$$

Em que:

- $R_{ph,i}$ Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento, [h^{-1}];
- A_p Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m^2];
- P_d Pé direito médio da fração, [m].

No caso de a ventilação ser assegurada por meio providos de dispositivos de recuperação de calor do ar extraído, a energia necessária relativa às perdas que ocorrem por ventilação é obtida a partir da seguinte expressão:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot b_{ve,i} \cdot 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d \quad [kWh] \quad (4.19)$$

Em que:

- $b_{ve,i}$ Fator de correção da temperatura tendo em conta o sistema de recuperação de calor.

O fator de correção da temperatura tendo em conta o sistema de recuperação de calor é obtido a partir da seguinte expressão:

$$b_{ve,i} = 1 - \eta_{RC} \cdot \frac{V_{ins}}{R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d} \quad (4.20)$$

Em que:

- η_{RC} Rendimento do sistema de recuperação de calor;
- V_{ins} Valor médio diário do caudal de ar insuflado através do sistema de recuperação de calor, [m^3/h].

O valor da taxa de renovação do ar, R_{ph} , é o valor obtido no projeto de ventilação, sempre que o edifício esteja em conformidade com as normas NP 1037-1 e NP 1037-2, no caso de edifícios com ventilação natural e com ventilação mecânica, respectivamente.

Caso não se verifique nenhuma das condições anteriores, R_{ph} é determinado de acordo com a norma EN 15242, que considera o efeito de permeabilidade do ar, a existência de dispositivos de admissão de ar na fachada, a existência de condutas de ventilação, a distinção de sistemas mecânicos e híbridos, o efeito de chaminé e o efeito da ação do vento.

Para a determinação do R_{ph} segundo a EN 15242, o LNEC disponibiliza uma ferramenta de cálculo que adota a seguinte metodologia:

- Para o enquadramento do edifício é necessário definir a região, a rugosidade, o número de fachadas expostas e a classe de proteção da fração do edifício em estudo.

Quanto à região, esta pode ser classificada como região A ou região B. A região A representa todo o território nacional, exceto dos locais que pertencem à região B. A região B representa as Regiões Autónomas dos Açores e Madeira, e as localidades situadas numa faixa de 5km de largura junto a costa e/ou de altitude superior a 600m.

Quanto à rugosidade, o edifício pode ser classificado com rugosidade I, II ou III. A rugosidade I representa os edifícios situados no interior de uma zona urbana. A rugosidade II representa edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural. A rugosidade III representa edifícios situados em zonas muito expostas ao vento.

Quanto ao número de fachadas expostas ao vento, considera-se só uma fachada exposta ao exterior, quando a área dessa fachada representa mais de 70% da área total de fachadas da fração e quando existem aberturas de ventilação apenas nessa fachada. Nos demais casos, admite-se que existam duas fachadas expostas ao exterior.

Quanto à classe de proteção da fração, esta pode ser desprotegida, normal ou protegida, dependendo da altura dos edifícios da envolvente e da distância destes ao edifício em estudo.

- Para a permeabilidade ao ar da envolvente, considera-se o valor n_{50} obtido no ensaio de pressurização para determinar a permeabilidade ao ar da envolvente por meio do cálculo do caudal de infiltrações de ar. Quando não for possível realizar este ensaio, é considerada a permeabilidade ao ar das caixilharias e caixas de estores.

A classe de permeabilidade ao ar da caixilharia pode ser obtida de acordo com ensaios normatizados ou na ausência destes considera-se a caixilharia sem classe de permeabilidade ao ar.

Quando não há ou não seja possível obter informações sobre a classe de permeabilidade ao ar das janelas, mas estas sejam vedadas em todo o seu perímetro, admite-se classe 2 de permeabilidade.

No que se refere a permeabilidade ao ar das caixas de estores, estas não serão consideradas quando forem no exterior e não se comunicarem com o interior.

A permeabilidade ao ar das caixas de estores será baixa quando, o caudal de infiltração de ar por unidade de comprimento for inferior a $1 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m})$, a caixa de estore for exterior e se comunicar com o interior apenas na zona da fita, e a caixa de estore apresentar em toda a sua periferia um vedante sob compressão e se comunicar com o interior apenas pela zona de passagem da fita.

Nos demais casos a permeabilidade ao ar é considerada elevada.

CAPÍTULO 4

- Para as aberturas de admissão de ar na envolvente consideram-se que aberturas sejam fixas, reguláveis manualmente e autorreguláveis. É possível inserir o valor em cm^2 da área livre das aberturas fixas ou em m^3/h do caudal nominal das aberturas auto-reguláveis. No caso em que não exista abertura de admissão no edifício é considerada uma abertura fixa de 250 cm^2 de área livre por janela.
- Para as condutas de ventilação natural são considerados os impactos das condutas de admissão ou exaustão de ar e das chaminés. Para tal, consideram-se as perdas de carga na chaminé e o efeito da localização da sua saída na cobertura de forma a calcular o escoamento natural do ar.
- Para as condutas de insuflação ou de evacuação mecânica do ar considera-se o caudal nominal dos sistemas mecânicos ou híbridos e o caudal de ar médio diário nos sistemas de caudal de ar variável.

4.2.4.3 Ganhos térmicos úteis

Os ganhos térmicos úteis, $Q_{gu, i}$, referem-se a uma parcela dos ganhos térmicos brutos, $Q_{g, i}$, sendo assim o seu cálculo se dá conforme a seguinte expressão:

$$Q_{gu, i} = \eta_i \cdot Q_{g, i} \quad [\text{kWh}] \quad (4.21)$$

Em que:

- η_i Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento;
- $Q_{g, i}$ Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, [kWh].

Os ganhos térmicos brutos considerados são provenientes das fontes internas de calor e do aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, conforme a seguinte expressão:

$$Q_{g, i} = Q_{int, i} + Q_{Sol, i} \quad (4.22)$$

Em que:

- $Q_{int, i}$ Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, [kWh];
- $Q_{Sol, i}$ Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, [kWh].

Os ganhos térmicos internos incluem qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, com exceção dos sistemas de aquecimento. Sendo assim, os ganhos térmicos internos durante a estação de aquecimento são calculados a partir da seguinte expressão:

$$Q_{\text{int}, i} = 0,72 \cdot 4 \cdot M \cdot A_p \quad [\text{kWh}] \quad (4.23)$$

Em que:

- M Duração média da estação convencional de aquecimento, [mês];
- A_p Área interior útil de pavimento do edifício, media pelo interior, [m²].

Os ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento são calculados a partir da seguinte expressão:

$$Q_{\text{sol}, i} = G_{\text{sol}} \cdot \sum_j [X_j \cdot \sum_n F_{s, i_{nj}} \cdot A_{s, i_{nj}}] M \quad [\text{kWh}] \quad (4.24)$$

Em que:

- X_j Fator de orientação para as diferentes exposições;
- $F_{s, i_{nj}}$ Fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento;
- $A_{s, i_{nj}}$ Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j , [m²];
- j Índice que corresponde a cada uma das orientações;
- n Índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j .

O fator de orientação (X_j) é determinado através dos dados da Tabela 4.29 do Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013 (MAOTE, 2013).

Tabela 4.29 – Fator de orientação para as diferentes exposições, X_j (Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013)

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

O valor da área efetiva coletora, $A_{s, i}$, deve ser calculada vão a vão de acordo com a seguinte expressão:

$$A_{s, i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [\text{m}^2] \quad (4.25)$$

Em que:

- A_w Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, [m²];
- F_g Fração envidraçada do vão envidraçado;

CAPÍTULO 4

- g_i Fator solar de inverno.

O valor da fração envidraçada, F_g , de diferentes tipos de caixilharia estão representados na Tabela 4.30.

Tabela 4.30 – Fração envidraçada (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Caixilharia	F_g	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

No caso em que não exista dispositivos de sombreamento, o fator solar de inverno será calculado a partir da seguinte expressão:

$$g_i = 0,9 \cdot g_{L,vi} \quad (4.26)$$

Em que:

- $g_{L,vi}$ Fator solar do vidro para uma incidência solar normal.

Nas situações de vão envidraçados interiores, adjacentes à um espaço não útil, a área efetiva coletora é determinada a partir da seguinte expressão:

$$A_{s, inj} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (F_g)_{enu} \cdot (g_i)_{int} \cdot (g_i)_{enu} \quad [m^2] \quad (4.27)$$

Em que:

- $(A_w)_{int}$ Área total do vão envidraçado interior, incluindo o vidro e caixilharia, $[m^2]$;
- $(F_g)_{int}$ Fração envidraçada do vão envidraçado interior;
- $(F_g)_{enu}$ Fração envidraçada do vão envidraçado do espaço não útil;
- $(g_i)_{int}$ Fator solar na estação de aquecimento, do vão envidraçado interior;
- $(g_i)_{enu}$ Fator solar na estação de aquecimento, do vão envidraçado do espaço não útil.

O fator de obstrução da superfície envidraçada, representa a redução na radiação solar que incide nesta devido ao sombreamento permanente causado por obstáculos. O valor do fator de obstrução é obtido a partir da seguinte expressão:

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (4.28)$$

Os valores dos fatores de sombreamento do horizonte, de elementos horizontais e de elementos verticais, na estação de aquecimento, encontram-se na Tabela 4.31, Tabela 4.32 e Tabela 4.33, respectivamente.

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Para contabilizar o efeito do sombreamento do contorno do vão, admite-se que:

$$F_o \cdot F_f \leq 0,9 \quad (4.29)$$

E cumpra a seguinte condição:

$$X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \geq 0,27 \quad (4.30)$$

Quando não for possível atender as regras descritas nas expressões 4.29 e 4.30, deve ser considerada apenas o cumprimento da expressão 4.30.

Tabela 4.31 - Valores do fator de sombreamento do horizonte, F_h na estação de aquecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA						RAM					
	Latitude de 39°						Latitude de 33°					
	H	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	H	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,9	0,96	1	0,91	0,87	0,9	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,8
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,5	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,8	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,8	0,6	0,53	0,51

Tabela 4.32 - Valores do fator de sombreamento de elementos horizontais, F_o na estação de aquecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA					RAM				
	Latitude de 39°					Latitude de 33°				
	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,9	0,74	0,63	0,59	1	0,88	0,72	0,6	0,56
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	1	0,83	0,62	0,48	0,43

Tabela 4.33 - Valores do fator de sombreamento de elementos verticais, F_f na estação de aquecimento
(Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,8	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,8
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,8	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,8	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

Para determinar o valor do fator de utilização dos ganhos térmicos, η_i , utiliza-se as seguintes expressões:

$$\text{se } \gamma \neq 1 \text{ e } \gamma > 0, \text{ então } \eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad (4.31)$$

$$\text{se } \gamma = 1, \text{ então } \eta = \frac{a}{a+1} \quad (4.32)$$

$$\text{se } \gamma < 0, \text{ então } \eta = \frac{1}{\gamma} \quad (4.33)$$

Sendo que:

$$\gamma = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve}) \quad (4.34)$$

Em que:

- Q_g Ganhos térmicos brutos na estação em estudo, [kWh];
- Q_{tr} Transferência de calor por transmissão através da envolvente dos edifícios, na estação em estudo, [kWh];
- Q_{ve} Transferência de calor por ventilação, na estação em estudo, [kWh];
- a Parâmetro que traduz a influência da classe de inércia térmica.

O parâmetro a é em função da classe de inércia térmica, e admite valor de 1,8, 2,6 e 4,2 que corresponde a edifícios com inércia térmica fraca, média e forte, respectivamente.

4.2.4.4 Inércia térmica

A inércia térmica interior de uma fração autónoma é função da sua capacidade de armazenamento de calor que os locais apresentam, e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos de construção, M_{si} .

A massa superficial útil de cada elemento de construção, depende da sua localização no edifício e da sua constituição.

A classe de inércia térmica do edifício determina-se conforme a Tabela 4.34, e depende do valor da massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, I_t , que é obtida segundo a expressão:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r_i \cdot S_i}{A_p} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (4.35)$$

Em que:

- M_{si} Ganhos térmicos brutos na estação em estudo, $[\text{kg/m}^2]$;
- r_i Fator de redução da massa superficial útil do elemento i ;
- S_i Área da superfície interior do elemento i , $[\text{m}^2]$;
- A_p Área interior útil de pavimento, $[\text{m}^2]$.

Tabela 4.34 – Classes de inércia térmica interior I_t , (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Classe de inércia térmica	I_t $[\text{kg/m}^2]$
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t < 400$
Forte	$I_t > 400$

Os elementos da construção para o cálculo da inércia térmica interior distinguem-se nos seguintes tipos:

- EL1 – Elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente;
- EL2 – Elementos em contacto com o solo;
- EL3 – Elementos de compartimentação interior da fração autónoma.

No caso de elementos EL1, o valor de M_{si} determina-se de acordo com a Tabela 4.35.

Tabela 4.35 - Massa superficial útil para os elementos EL1

Constituição do elemento construtivo		M_{si} (kg/m ²)	Valor limite de M_{si}
Sem isolamento térmico	Sem caixa de ar	mt/2	$M_{si} \leq 150$ kg/m ²
	Com caixa-de-ar	mpi	
Com isolamento térmico	-	mi	
	Com caixa de ar entre o isolante e a face interior	mpi	

No caso de elementos EL2, o valor de M_{si} determina-se de acordo com a Tabela 4.36.

Tabela 4.36 – Massa superficial útil para os elementos EL2

Constituição do elemento construtivo	M_{si} (kg/m ²)	Valor limite de M_{si}
Sem isolamento térmico	150	150 kg/m ²
Com isolamento térmico	mi	

No caso de elementos EL3, o valor de M_{si} determina-se de acordo com a Tabela 4.37 .

Tabela 4.37 – Massa superficial útil para os elementos EL3

Constituição do elemento construtivo	M_{si} (kg/m ²)	Valor limite de M_{si}
Sem isolamento térmico	mt	300 kg/m ²
Com isolamento térmico	$\sum mi^*$	

*Neste caso, o valor de M_{si} tem que ser avaliado de forma isolada em cada um dos lados da camada de isolamento térmico. Os valores parciais de M_{si} não podem exceder 150kg/m².

Sendo que:

- mt Corresponde a massa total do elemento
- mpi Corresponde a massa do elemento desde a caixa de ar até à face interior;
- mi Corresponde a massa do elemento desde o isolamento térmico até à face interior.

O fator de redução da massa superficial, r , depende da resistência térmica do revestimento superficial interior e inclui a resistência térmica de uma eventual caixa de ar associada, R .

Segue na Tabela 4.38, os valores dos fatores de redução dos elementos EL1 e EL2 e na Tabela 4.39, os valores para os elementos EL3.

Tabela 4.38 – Fator de redução da massa superficial para elementos tipo EL1 e EL2

Resistência térmica do revestimento superficial interior R (m2. °C/W)	Fator de redução r
> 0,3	0
0,14 ≤ R ≤ 0,3	0,5
< 0,14	1

Tabela 4.39 - Fator de redução da massa superficial para elementos tipo EL3

Resistência térmica do revestimento superficial interior R (m2. °C/W)		Fator de redução r
Numa das faces	Na outra face	
> 0,3	> 0,3	0
> 0,3	0,14 ≤ R ≤ 0,3	0,25
> 0,3	< 0,14	0,5
0,14 ≤ R ≤ 0,3	0,14 ≤ R ≤ 0,3	0,5
0,14 ≤ R ≤ 0,3	< 0,14	0,75
< 0,14	< 0,14	1

No caso de elementos do tipo EL3 com isolamento térmico o fator de redução deve ser avaliado em cada uma das faces de forma independente de acordo com as regras indicadas para elementos tipo EL1 e EL2, assim como o valor de M_{si} será calculado para cada um dos lados da camada de isolamento térmico, conforme a expressão indicado na expressão 4.36 e a representação da Figura 4.3:

$$M_{si} = M_{si1} \cdot r_1 + M_{si2} \cdot r_2 \quad [\text{kg/m}^2] \quad (4.36)$$

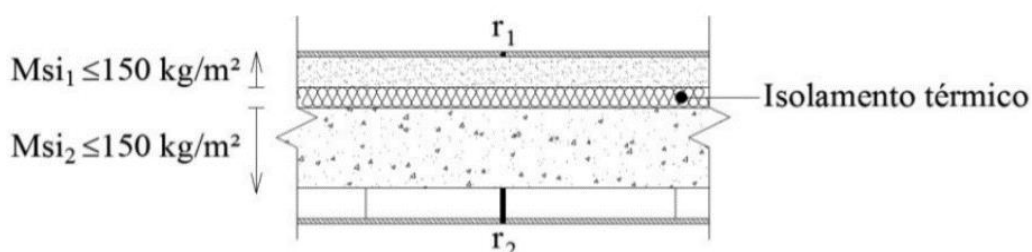


Figura 4.3 – Elementos do tipo EL3 com isolamento térmico (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

4.2.4.5 Valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil

Após o cumprimento de todas as regras descritas na metodologia de cálculo apresentada anteriormente, é possível determinar o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para a estação de aquecimento, N_{ic} .

A partir da Portaria n.º 319/2016 permite a determinação do valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_i , através da seguinte expressão:

$$N_i = (Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref}) / A_p \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (4.37)$$

Em que:

- $Q_{tr,i,ref}$ Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento, [kWh];
- $Q_{ve,i,ref}$ Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento, [kWh];
- $Q_{gu,i,ref}$ Ganhos de calor úteis de referência na estação de aquecimento, [kWh];
- A_p Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, [m²].

O valor de referência da transferência de calor por transmissão através da envolvente, $Q_{tr,i,ref}$, é determinado da seguinte maneira:

- Os coeficientes de transmissão térmica superficial de referência (U_{ref}), para elementos opacos e envidraçados são previstos na Tabela 4.40, em função do tipo de elemento e da zona climática;
- Os coeficientes de transmissão térmica linear (ψ_{ref}) indicados na Tabela 4.41, dependem do tipo de ligação entre elementos da envolvente do edifício;
- A área de vãos envidraçados até 20% da área interior útil de pavimento, sendo que a área excedente é somada à área da envolvente opaca exterior.

O valor de referência da transferência de calor por ventilação através da envolvente, $Q_{ve,i,ref}$, deve ser determinado considerando uma taxa de renovação de ar de referência igual à taxa de renovação do edifício em estudo, não podendo este valor ser superior a 0,6 renovações por hora.

Os ganhos de calor úteis de referência, $Q_{gu,i,ref}$, são determinados de acordo com as seguintes considerações:

$$Q_{Sol,i} = G_{sul} \cdot 0,146 \cdot 0,15 \cdot A_p \cdot M \quad (4.38)$$

$$\eta_{i,ref} = 0,60 \quad (4.39)$$

Tabela 4.40 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados, U_{ref} [W/(m².°C)] (Portaria n.º 319/2016)

U_{ref} [W/(m ² .°C)]		Zona climática		
Portugal Continental				
Zona corrente da envolvente:		A partir de 1 de janeiro de 2016		
		l_1	l_2	l_3
Em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0,7$	Elementos opacos verticais	1	0,4	0,4
	Elementos opacos horizontais	0	0,4	0,3
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0,7$	Elementos opacos verticais	1	0,7	0,6
	Elementos opacos horizontais	1	0,6	0,5
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		3	2,4	2,2
Elementos em contacto com o solo		0,5		

Tabela 4.41 – Coeficientes de transmissão térmica lineares de referência, ψ_{ref} [W/(m².°C)] (Portaria n.º 319/2016)

Tipo de ligação	[W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Fachada com cobertura Fachada com pavimento de nível intermédio* Fachada com varanda*	0,5
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,4
Fachada com caixilharia Zona da caixa de estore	0,2

*Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação.

4.2.5 Comportamento Térmico na Estação de Arrefecimento

O Despacho n.º 15793-I/2013 (MAOTE, 2013), define a metodologia de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento do edifício, N_{vc} , de acordo com a seguinte expressão:

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) Q_{g,v} / A_p \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (4.40)$$

Em que:

CAPÍTULO 4

- η_v Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;
- $Q_{g,v}$ Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kWh].

4.2.5.1 Transferência de calor por transmissão

A transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente calcula-se de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \cdot (25 - \theta_{v,ext}) \cdot 2,928 \quad [\text{kWh}] \quad (4.41)$$

Em que:

- $H_{tr,v}$ Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, [W/°C];
- $\theta_{v,ext}$ Temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento, [°C].

A determinação do coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, é apresentada no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 através da seguinte expressão:

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad (4.42)$$

Na estação de arrefecimento não são contabilizadas as trocas de calor através dos elementos em contacto com edifícios adjacentes.

Os coeficientes de transferência de calor referidos anteriormente encontram-se definidos no capítulo: Comportamento Térmico na Estação de Aquecimento.

4.2.5.2 Transferência de calor por renovação do ar

As perdas de calor correspondentes à renovação do ar interior durante a estação de arrefecimento são definidas a partir da seguinte expressão:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (25 - \theta_{v,ext}) \cdot 2,928 \quad [\text{kWh}] \quad (4.43)$$

Em que:

- $H_{ve,v}$ Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento, [W/°C].

O valor do coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento obtém-se a partir da seguinte expressão definida no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013:

$$H_{ve,v} = 0,34 \cdot R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d \quad [\text{W/°C}] \quad (4.44)$$

Em que:

- $R_{ph, v}$ Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento que para efeito de cálculo não pode ser inferior a 0,6, [h^{-1}];
- A_p Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m^2];
- P_d Pé direito médio da fração, [m].

No caso de a ventilação ser assegurada por meio providos de dispositivos de recuperação de calor do ar extraído, a transferência de calor por renovação de ar é obtida a partir da seguinte expressão:

$$Q_{ve, v} = b_{ve, v} \cdot 0,34 \cdot R_{ph, v} \cdot A_p \cdot P_d \cdot (25 - \theta_{v, ext}) \cdot 2,928 \quad [kWh] \quad (4.45)$$

Em que:

- $b_{ve, v}$ Fator de correção da temperatura tendo em conta o sistema de recuperação de calor.

O fator de correção da temperatura tendo em conta o sistema de recuperação de calor é obtido a partir da seguinte expressão:

$$b_{ve, v} = 1 - \eta_{RC} \cdot \frac{V_{ins}}{R_{ph, v} \cdot A_p \cdot P_d} \quad (4.46)$$

Em que:

- η_{RC} Rendimento do sistema de recuperação de calor;
- V_{ins} Valor médio diário do caudal de ar insuflado através do sistema de recuperação de calor, [m^3/h].

4.2.5.3 Ganhos térmicos

Os ganhos térmicos brutos considerados no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento do edifício são obtidos a partir da seguinte expressão:

$$Q_{g, v} = Q_{int, v} + Q_{sol, v} \quad [kWh] \quad (4.47)$$

Em que:

- $Q_{int, v}$ Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, [kWh];
- $Q_{sol, v}$ Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada, [kWh].

Os ganhos térmicos internos devidos aos ocupantes, equipamentos e dispositivos de iluminação durante toda a estação de arrefecimento são calculados a partir da seguinte expressão:

$$Q_{int, v} = 4 \cdot A_p \cdot 2,928 \quad [kWh] \quad (4.48)$$

CAPÍTULO 4

Os ganhos solares na estação de arrefecimento resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada são calculados a partir da seguinte expressão:

$$Q_{\text{sol, v}} = \sum_j [I_{\text{sol, j}} \cdot \sum_n F_{s, vnj} A_{s, vnj}] \quad [\text{kWh}] \quad (4.49)$$

Em que:

- I_{solj} Energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante a estação de arrefecimento, $[\text{kWh}/\text{m}^2]$;
- $F_{s, vnj}$ Fator de obstrução da superfície do elemento n com a orientação j ;
- $A_{s, vnj}$ Área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com a orientação j , $[\text{m}^2]$;
- j Índice que corresponde a cada uma das orientações por octante e a posição horizontal;
- n Índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados com orientação j .

O valor da área efetiva coletora de radiação solar de cada vão envidraçado, aplicável a espaços úteis e não úteis, deve ser calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$A_{s, v} = A_w \cdot F_g \cdot g_v \quad [\text{m}^2] \quad (4.50)$$

Em que:

- A_w Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, $[\text{m}^2]$;
- F_g Fração envidraçada do vão envidraçado;
- g_v Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento.

O fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento é determinado no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, a partir da seguinte expressão:

$$g_v = F_{mv} \cdot g_T + (1 - F_{mv}) \cdot g_{Tp} \quad (4.51)$$

Em que:

- F_{mv} Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados;
- g_T Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

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

Na ausência de dispositivos de proteção solar fixos, utilizar a expressão:

$$g_{Tp} = F_{wv} \cdot g_{l,vi} \tag{4.52}$$

A fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram totalmente ativados (F_{mv}), determina-se de acordo com a Tabela 4.42.

Tabela 4.42 – Fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram ativados (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Orientação do vão	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
F_{mv}	0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

O fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento ($F_{w,v}$), depende da orientação do vão e do tipo de vidro de acordo com a Tabela 4.43. Para os envidraçados horizontais, o fator $F_{w,v}$ toma o valor 0,9.

Tabela 4.43 - Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Orientação do vão	$F_{w,v}$				
	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85	0,85

Nas situações de vão envidraçados interiores, adjacentes à um espaço não útil, a área efetiva coletora é determinada a partir da seguinte expressão:

$$A_{s,vnj} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (g_v)_{int} \cdot (g_v)_{enu} \tag{4.53}$$

[m²]

Em que:

- $(A_w)_{int}$ Área total do vão envidraçado interior, incluindo o vidro e caixilharia, [m²];
- $(F_g)_{int}$ Fração envidraçada do vão envidraçado interior;
- $(g_v)_{int}$ Fator solar na estação de arrefecimento, do vão envidraçado interior;

CAPÍTULO 4

- $(g_v)_{enu}$ Fator solar na estação de arrefecimento, do vão envidraçado do espaço não útil.

Nos casos de envolvente opaca exterior, a área efetiva coletora de radiação solar do elemento, determina-se através da seguinte expressão:

$$A_{s, vnj} = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se} \quad [m^2] \quad (4.54)$$

Em que:

- α Coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca;
- U Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca [W/m^2];
- A_{op} Área do elemento da envolvente opaca exterior, [m^2];
- R_{se} Resistência térmica superficial exterior igual a $0,04 W / (m_2 \cdot ^\circ C)$.

Os valores do coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca, α , encontram-se na Tabela 4.12, apresentada anteriormente.

No caso de sistemas ventilados em paredes e para além do coeficiente de absorção, deve-se considerar o fator que exprime o efeito da emissividade das faces interiores do revestimento e do grau de ventilação da caixa de ar, conforme indicado na Tabela 4.44.

Tabela 4.44 - Razão entre o valor do coeficiente de absorção a considerar no cálculo dos ganhos de calor através de uma fachada ventilada e o valor do coeficiente de absorção do paramento exterior da fachada (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Elemento	Fator
Face interior do revestimento exterior de baixa emissividade e/ou caixa-de-ar fortemente ventilada	0,1
Outros casos	0,25

No caso de coberturas em desvão e para além do coeficiente de absorção, deve-se considerar o fator que exprime o efeito da emissividade da face interior do revestimento e do grau de ventilação do desvão, conforme indicado na Tabela 4.45.

Tabela 4.45 - Razão entre o valor do coeficiente de absorção a considerar no cálculo dos ganhos de calor através de uma cobertura em desvão e o valor do coeficiente de absorção da cobertura exterior

(Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

Desvão	Emissividade	Fator
Fortemente ventilado	Normal	0,8
	Baixa	0,7
Fracamente ventilado	Normal	1,0
	Baixa	0,9
Não ventilado	Normal	1
	Baixa	

O fator de obstrução da superfície do elemento em estudo determina-se, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, através da expressão 4.28, apresentada anteriormente.

Na estação de arrefecimento, despreza-se o efeito do sombreamento do horizonte, tomando o fator F_h o valor igual a 1.

Os valores dos fatores de sombreamento de elementos horizontais, F_o , e verticais, F_f , na estação de arrefecimento encontram-se na Tabela 4.13 e Tabela 4.14, respectivamente.

Para contabilizar o efeito de sombreamento do contorno do vão, $F_o \times F_f$ tem que ser igual ou inferior a 0,9.

Na envolvente opaca exterior a determinação do fator de obstrução, $F_{s, v}$, é opcional, podendo ser considerado igual a 1. Nos casos em que está é considerada, deve-se seguir a abordagem prevista para os vãos envidraçados.

O fator de utilização de ganhos térmicos, η , é obtido da mesma forma para as estações de aquecimento e arrefecimento. Assim, η_v determina-se através das mesmas expressões de η_i apresentadas no capítulo: Comportamento Térmico na Estação de Aquecimento.

4.2.5.4 Valor limite das necessidades de arrefecimento

Após o cumprimento de todas as regras descritas na metodologia de cálculo apresentada anteriormente, é possível determinar o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para a estação de arrefecimento, N_{vc} .

A Portaria n.º 319/2016 permite a determinação do valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_v , através da seguinte expressão:

$$N_v = (1 - \eta_{v_{ref}}) Q_{g, v_{ref}} / A_p \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano}] \quad (4.55)$$

CAPÍTULO 4

Em que:

- $\eta_{v,ref}$ Fator de utilização de ganhos de referência;
- $Q_{g,v,ref}$ Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, [kWh];
- A_p Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, [m²].

O fator de utilização de ganhos de referência na estação de arrefecimento é obtido através da seguinte expressão:

$$\eta_{v,ref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & \left\{ \begin{array}{l} \Delta\theta > 1 \\ 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ \Delta\theta \leq 0 \end{array} \right. & e & \Delta\theta = 25 - \theta_{ext,v} \end{cases} \quad (4.56)$$

Em que:

- $\theta_{ext,v}$ Temperatura exterior média na estação de arrefecimento no local, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013.

Os ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento são determinados a partir da seguinte expressão:

$$\frac{Q_{g,v,ref}}{A_p} = [4,2928 + 0,43 \times 0,2 \cdot I_{sol,ref}] \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (4.57)$$

Em que:

- $I_{sol,ref}$ Radiação solar média de referência, que corresponde à radiação incidente numa superfície orientada a oeste, de acordo com o Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013, [kWh/m².ano].

4.2.6 Necessidades De Energia Para Preparação De Águas Quentes Sanitárias

A energia útil necessária para a preparação de AQS anuais é determinada de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d)}{3600000} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (4.58)$$

Em que:

- ΔT Aumento de temperatura necessário para a preparação de AQS, com valor de 35°C;
- n_d Número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais, que toma o valor de 365 dias;

- M_{AQS} Consumo media diário de referência, [litros].

O consumo médio diário de AQS de referência, nos edifícios de habitação, determina-se através da seguinte expressão:

$$M_{AQS} = 40 \cdot n \cdot f_{eh} \quad [\text{litros}] \quad (4.59)$$

Em que:

- n Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia, em que se consideram 2 ocupantes para tipologia T0 e $n+1$ para tipologias do tipo Tn com $n>0$;
- f_{eh} Fator de eficiência hídrica aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica. Para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, adotar fator igual a 0,90, sendo nos restantes casos, o fator é igual a 1.

4.2.7 Necessidades De Energia Primária

As necessidades nominais de energia primária (N_{tc}) de um edifício de habitação resultam da soma das necessidades nominais específicas de energia para aquecimento (N_{ic}), arrefecimento (N_{vc}), produção de AQS (Q_a/A_p) e ventilação mecânica (W_{vm}/A_p), deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável ($E_{ren,p}/A_p$). Assim, N_{tc} é determinado a partir da seguinte expressão:

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vmj}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad [\text{kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \quad (4.60)$$

Em que:

- N_{ic} Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema k, [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$];
- $f_{i,k}$ Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k;
- N_{vc} Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema k, [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$];
- $f_{v,k}$ Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k;
- Q_a Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k, [kWh/ano];
- $f_{a,k}$ Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k;

CAPÍTULO 4

- η_k Eficiência do sistema k, que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima;
- j Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;
- p Fontes de origem renovável;
- $E_{ren,p}$ Energia produzida a partir de fontes de energia renovável p, incluindo apenas energia consumida, [kWh/ ano];
- $W_{vm,j}$ Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [kWh/ ano];
- A_p Área interior útil de pavimento, [m²];
- $F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ Fatores de conversão de energia útil para energia primária, [kWh_{EP}/ (m².ano)], obtidos no Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013;
- δ Igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento (N_{vc}) em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respectivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

A eficiência nominal do sistema deve corresponder ao valor da eficiência nominal do equipamento especificado na fase de projeto, ou eventualmente instalado após a fase de construção, incluindo os edifícios existentes. Caso o sistema não seja especificado em projeto ou instalado, devem ser consideradas as soluções indicadas na Tabela 4.46, de acordo com a Portaria nº 319/2016, para os diferentes tipos de sistemas.

Na ausência de especificações ou de evidência de isolamento aplicado na tubagem de distribuição de AQS, que assegure uma resistência térmica mínima de 0,25 m².°C/W, neste caso a eficiência do sistema deve ser multiplicado por 0,9.

Tabela 4.46 - Soluções de referência de sistemas a considerar na determinação do N_t (Portaria nº 319/2016)

Tipo de sistema	Soluções de referência
Sistemas para aquecimento ambiente	Considerar: O valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela 4.21 a caldeiras, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) que recorram a equipamentos de queima de combustível.

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

	<p>O valor de eficiência da(s) correspondente(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela 4.15, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) de ar condicionado.</p> <p>Um valor de eficiência igual a 1, no caso de o edifício prever ou dispor de “outros sistemas” com recurso a eletricidade, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito).</p>
Sistemas para arrefecimento ambiente	<p>Considerar:</p> <p>O valor de eficiência da(s) correspondente(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela 4.15, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) de ar condicionado.</p> <p>Um sistema de ar condicionado do tipo split ou multisplit, com permuta ar-ar e com um valor de eficiência igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe aplicável indicada na Tabela 4.15 e no caso de “outros sistemas” que não se enquadrem na situação anterior, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito).</p>
Preparação de AQS	<p>Considerar:</p> <p>O valor de eficiência da(s) unidade(s) de produção como igual ao limite inferior, logo menos eficiente, da classe indicada na Tabela 4.21 referente a caldeiras, no caso de o edifício prever ou dispor de sistema(s) que recorram a equipamentos de queima de combustível, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito) e o edifício disponha de rede de abastecimento de combustível gasoso.</p> <p>Um valor de coeficiente de desempenho (COP) igual a 2,8, no caso de o edifício prever ou dispor de sistemas com produção térmica por bomba(s) de calor.</p> <p>Um valor de eficiência igual a 0,95, no caso de o edifício prever ou dispor de outros sistemas com recurso a eletricidade, bem como nas situações em que os sistemas não se encontrem especificados em projeto ou instalados (sistemas por defeito) e o edifício não disponha de rede de abastecimento de combustível gasoso.</p> <p>Existência de isolamento aplicado na tubagem de distribuição de AQS.</p>

Quando o edifício dispuser de sistemas mecânicos de ventilação com funcionamento contínuo, o consumo de energia elétrica de funcionamento dos ventiladores deve ser determinado através da expressão:

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} \cdot \frac{\Delta P}{\eta_{tot}} \cdot \frac{H_f}{1000} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (4.61)$$

Em que:

- V_f Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador, [m³/h];
- ΔP Diferença de pressão total do ventilador, [Pa];
- η_{tot} Rendimento total de funcionamento do ventilador;
- H_f Número de horas de funcionamento dos ventiladores durante um ano, que, por defeito, se considera um funcionamento de 24 horas por dia em que toma o valor de 8760 horas.

CAPÍTULO 4

Caso não se conheça os valores de ΔP e η_{tot} , o consumo de energia pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$W_{vm} = 0,3 \cdot V_f \cdot \frac{H_f}{1000} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (4.62)$$

Nos sistemas híbridos de baixa pressão quando se não se conheça os valores de ΔP e η_{tot} , o consumo de energia pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$W_{vm} = 0,03 \cdot V_f \cdot \frac{H_f}{1000} \quad [\text{kWh/ano}] \quad (4.63)$$

Se o ventilador for comum a várias frações autónomas, o valor total de W_{vm} deve ser dividido entre cada uma das frações de forma proporcional aos caudais de ar nominais, V_f , correspondentes a cada fração.

A energia renovável definida como padrão é a referente aos coletores solares, mas podem ser considerados outros sistemas de aproveitamento de energias renováveis, tais como, sistemas eólicos, biomassa, geotermia, mini hídrica, aero térmica e geotérmica.

O valor das necessidades nominais de energia primária, N_{tc} , não pode ser superior ao valor máximo das necessidades nominais anuais de energia primária, N_t . A Portaria n.º 319/2016 permite a determinação do valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária, N_t , através da seguinte expressão:

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad (4.64)$$

[kWh_{EP}/ (m².ano)]

Em que:

- N_i Valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento, [kWh/(m².ano)];
- $f_{i,k}$ Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema de referência k;
- N_v Valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, [kWh/(m². ano)];
- $f_{v,k}$ Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema de referência k;
- Q_a Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema k, [kWh/ ano];
- $f_{a,k}$ Parcela das necessidades de energia útil para produção 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, conforme indicados na Tabela 4.46;
- j Fonte de energia;
- A_p Área interior útil de pavimento, [m²];
- $F_{pu,j}$ Fator de conversão para energia primária de acordo com a fonte de energia do tipo de sistemas de referência utilizado, [kWh_{EP}/ kWh];

4.2.8 Determinação da Classe Energética

A determinação da classe energética dos edifícios de habitação pré-certificados e certificados no SCE, é apresentada do Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013 (MAOTE, 2013), através da seguinte expressão:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (4.65)$$

Em que:

- N_{tc} Valor das necessidades nominais anuais de energia primária, [kWh_{EP}/(m². ano)];
- N_t Valor limite regulamentar para as necessidades nominais de energia primária, [kWh_{EP}/(m².ano)].

A classificação energética dos edifícios é dividida em 8 classes de eficiência, como indicado na Tabela 4.47, em função do valor de R_{Nt} obtido na expressão 4.65.

Tabela 4.47 – Intervalos de valor de R_{Nt} para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo Habitação (Despacho (extrato) n. 15793-Jº/2013)

Classe Energética	Valor de R_{Nt}
A+	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

CAPÍTULO 5

ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será feita inicialmente uma descrição dos edifícios de habitação que serão avaliados a partir das metodologias de determinação da eficiência energética para edificações empregadas no RTQ-R e no REH. Posteriormente, será apresentada uma comparação entre os principais indicadores de desempenho aplicados na metodologia dos regulamentos em estudo. Por fim, serão expostos os resultados obtidos da avaliação dos edifícios quanto aos níveis de eficiência energética obtidos na aplicação dos regulamentos. As aplicações do RTQ-R e do REH constam no Anexo I e Anexo II deste trabalho, respectivamente.

5.1 DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Para o desenvolvimento do estudo de caso deste trabalho foi definido que ambos os regulamentos (RTQ-R e REH) seriam empregados em dois casos distintos. O primeiro caso, configura um edifício de habitação, com soluções construtivas usuais no Brasil e para a clareza do trabalho, este edifício foi nomeado de “edifício B”. No segundo caso, o edifício de habitação apresenta soluções construtivas usuais em Portugal, e foi denominado por “edifício P”. O edifício B e o edifício P caracterizam-se por apresentarem elementos construtivos distintos, porém apresentam a mesma arquitetura (Figura 5.1 e Figura 5.2).

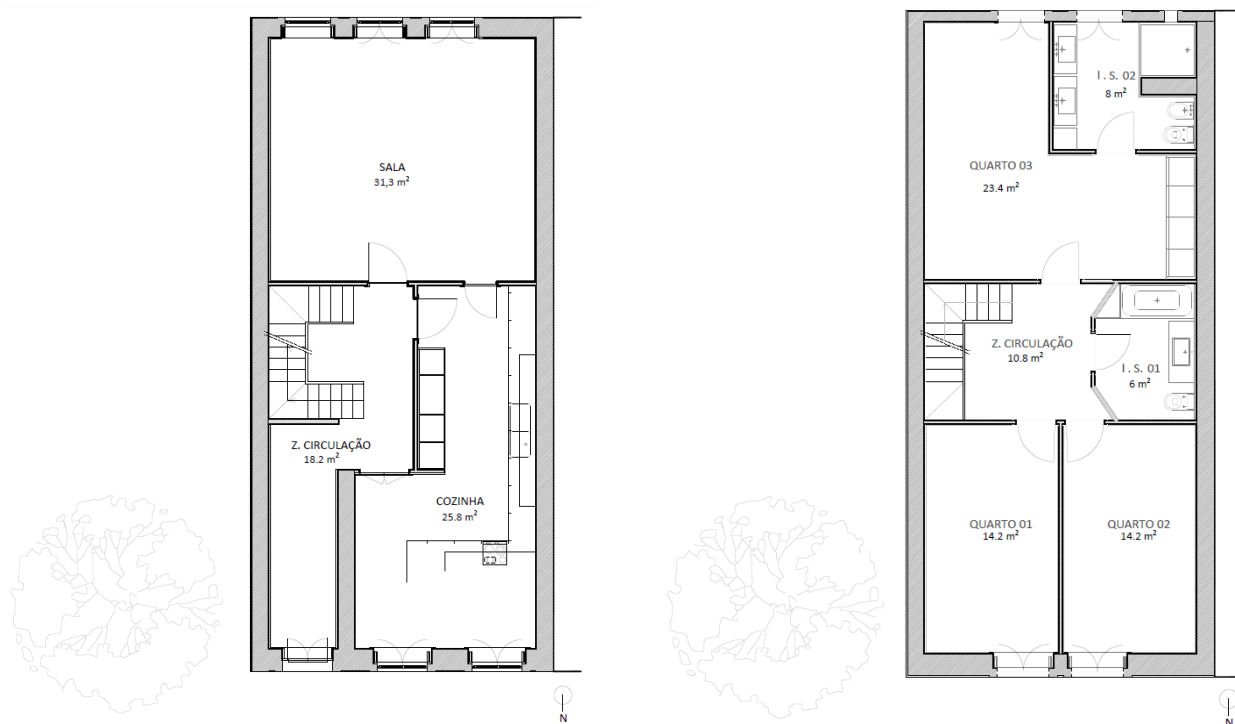


Figura 5.1 – Esquema arquitetônico do térreo e primeiro andar dos edifícios em estudo.



Figura 5.2 – Esquema arquitetônico da fachada principal (à esquerda) e fachada posterior (à direita) dos edifícios em estudo.

O estudo de caso trata de uma edificação habitacional unifamiliar de dois pavimentos composta por três quartos, duas instalações sanitárias, sala, cozinha e circulação. O pé-direito dos pavimentos é de 3,0m, as paredes exteriores, interiores e o teto são da cor branca e a cobertura é em telha cerâmica.

A orientação de fachada principal norte representada na Figura 5.1, indica a orientação adotada para a aplicação dos edifícios B e P no REH, sendo que para o RTQ-R adotou-se o contrário desta orientação, com a intenção de que a fachada que recebe maior incidência solar em Portugal, também receba a maior incidência solar no Brasil. Neste caso, admitiu-se que a fachada principal apresenta na Figura 5.2 está ao norte no estudo do REH e ao sul no RTQ-R.

Os dados fundamentais para a aplicação do RTQ-R e do REH nos edifícios B e P, estão apresentados na Tabela 5.1, que indica as soluções construtivas adotadas em cada caso. Para a determinação dos valores de transmitância térmica, U, e capacidade térmica, CT, foram utilizados como base o livro ITE 50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios (2006) e a norma NBR 15220 (2005), que constam na seção de referências deste trabalho.

Tabela 5.1 – Soluções construtivas adotadas no edifício B e no edifício P

	EDIFÍCIO B	EDIFÍCIO P
PAREDE EXTERIOR	reboco exterior (0,025m) bloco de concreto (0,14m) reboco interior (0,025m) U = 2,45 W/(m ² .°C) CT = 389 kJ/m ² .K	poliestireno expandido moldado (0,08m) tijolo cerâmico furado (0,22m) reboco interior (0,02m) U = 0,35 W/(m ² .°C) CT = 281 kJ/m ² .K
PAREDE EM CONTACTO COM O EDIFÍCIO ADJACENTE	reboco interior (0,025m) bloco de concreto (0,14m) reboco interior (0,025m) U = 2,00 W/(m ² .°C) CT = 389 kJ/m ² .K	reboco interior (0,02m) tijolo cerâmico furado (0,22m) lã de rocha (0,04m) tijolo cerâmico furado (0,22m) reboco interior (0,02m) U = 0,45 W/(m ² .°C) CT = 558 kJ/m ² .K
PAREDE INTERIOR	reboco exterior (0,025m) bloco de concreto (0,14m) reboco interior (0,025m) CT = 389 kJ/m ² .K	placa de gesso cartonado (0,013m) lã de rocha (0,04m) placa de gesso cartonado (0,013m) CT = 19 kJ/m ² .K
COBERTURA	telha cerâmica (e ≅ 0,01m) caixa de ar (e > 0,05m) laje maciça de betão (0,10m) U _{asc.} = 4,00 W/ (m ² . °C) / U _{desc.} = 2,56 W/(m ² .°C) CT = 250 kJ/m ² .K	telha cerâmica (e ≅ 0,01m) caixa de ar (e > 0,05m) poliestireno extrudido (0,08m) laje aligeirada de blocos cerâmicos (0,23m) reboco (0,02m) U _{asc.} = 0,38 W/ (m ² . °C) / U _{desc.} = 0,36 W/(m ² .°C) CT = 313 kJ/m ² .K
PAVIMENTO INTERMEDIÁRIO	laje maciça de betão (0,20m) CT = 440 kJ/m ² .K	enchimento em betão leve (0,05m) laje aligeirada de blocos cerâmicos (0,20m) reboco (0,01m) CT = 279 kJ/m ² .K

CAPÍTULO 5

As janelas adotadas para os dois edifícios são iguais quanto ao tipo (abrir 90° com 2 folhas) e as dimensões (Tabela 5.2), porém diferem no material. No edifício B, as janelas possuem caixilharia em madeira, proteção interior de cortina opaca na cor clara e vidro simples incolor de 5mm. No edifício P, as janelas possuem caixilharia em PVC, portada interior de madeira de cor clara e vidro duplo incolor de 4mm + 16 +6mm. As portas, para ambos os casos, são em madeira e ocupam área igual a 2,10m².

Tabela 5.2 – Dimensões das janelas adotadas nos edifícios em estudo

JANELAS	
Ambiente	Área (m ²)
Cozinha	2,33
Sala	2,80
Quarto	2,63
Quarto 02	2,63
Quarto 03	1,71
Instalação sanitária 02	1,96

Para a aplicação do RTQ-R, adotou-se que os edifícios B e P estão situados no Brasil, na cidade de São Paulo, portanto fazem parte da Zona Bioclimática 3. Enquanto que para a aplicação do REH, adotou-se que os edifícios se localizam em Portugal, no município do Porto, fazendo parte assim da região NUTS III Grande Porto.

As particularidades definidas para os edifícios B e P, em função do regulamento a ser aplicado, referem-se aos sistemas técnicos. O sistema de aquecimento de água adotado nos edifícios B e P é um esquentador a gás do tipo instantâneo, com classe de eficiência B, rendimento nominal igual a 0,84 e potência do equipamento superior a 10 kW.

No que se refere ao sistema de climatização, não existe informações no projeto ou instalado nos edifícios, neste caso para o RTQ-R estes sistemas não são considerados, enquanto que no REH, para efeito de cálculo das necessidades de energia primária, adota-se as soluções de referência de sistemas apresentadas na Tabela 4.46. Para o sistema de aquecimento admite-se índice de eficiência de energia (EER, sigla em inglês) igual a 1, e fator de conversão entre energia final e energia primária, F_{pu} , igual a 2,5 kWh_{EP}/kWh. Para o sistema de arrefecimento admite-se sistema de ar condicionado do tipo split com permuta ar-ar, classe B, com EER = 3,01 e F_{pu} = 2,5 kWh_{EP}/kWh.

As demais informações necessárias para a aplicação do RTQ-R e do REH, encontram-se descritas no Anexo I e Anexo II, respectivamente. A aplicação do RTQ-R nos edifícios B e P consta no Anexo I deste trabalho e foi desenvolvida a partir da utilização da Planilha de cálculo do desempenho da UH – método prescritivo, disponibilizada pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações. A aplicação do REH nos edifícios A e B consta no Anexo II deste trabalho e foi desenvolvida por método prescritivo.

5.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS METODOLOGIAS

Nesta seção será apresentada uma sucinta análise comparativa entre os principais itens avaliados para a classificação de um edifício habitacional, a partir das metodologias empregadas no Brasil e em Portugal, destacando as principais similaridades e dissimilaridades entre estes itens, a fim de obter os indicadores de desempenho para uma edificação eficiente.

Dentre os principais itens abordados em cada um dos regulamentos de desempenho energético de edificações habitacionais, destacam-se a envoltória e os sistemas técnicos.

5.2.1 Envoltória

Para o processo de avaliação da envoltória aplicado em ambos os regulamentos, os requisitos mínimos são determinados em função das características do clima do local em que se situa a edificação. Apesar das diferenças climáticas constatadas em cada país, e as particularidades das metodologias de zoneamento climático dos regulamentos, os dois documentos apontam as características térmicas fundamentais para a eficiência das soluções construtivas. Este apontamento se faz através da preferência por materiais com baixa transmitância térmica, portanto alta resistência, a qual influi nas trocas de calor entre o ambiente interior e exterior do edifício, como também, através das taxas de absorvância dos elementos.

Dentre as particularidades para a avaliação da envoltória no REH, estão a classificação por tipo de envolvente e a determinação do coeficiente de redução de perdas de calor por transmissão. Fazem parte também do processo de avaliação, a verificação das pontes térmicas, problemática está que acarreta a intensificação das trocas de calor, o aumento da probabilidade de ocorrência de condensações internas e o aumento do consumo de energia, e o efeito de sombreamento expresso pelo fator de obstrução da radiação solar.

No regulamento brasileiro, um dos indicadores de desempenho da envoltória é determinado a partir do método de graus-hora para resfriamento, posto que o cenário que mais necessita de desempenho energético no Brasil se verifica para a estação de arrefecimento. No regulamento português, o método adotado indica os graus-dia para a estação de aquecimento, em Portugal as suas necessidades de desempenho para a estação de aquecimento são muito superiores às necessidades para a estação de arrefecimento.

A avaliação da envoltória no RTQ-R, primeiramente se restringe a verificação dos pré-requisitos dos ambientes de permanência prolongada e posteriormente estende-se para a avaliação da envoltória como um todo, especificamente os pré-requisitos de ventilação, ao passo que no REH as verificações em todo o processo compreendem a totalidade do edifício.

CAPÍTULO 5

Em Portugal, no REH os requisitos de qualidade térmica e energéticos determinam os valores de transmitâncias térmicas máximas dos elementos opacos verticais e horizontais ($U_{\text{máx}}$) e dos vãos envidraçados (U_w), em função da zona climática de inverno (Tabela 4.7 e Tabela 4.8). No Brasil no RTQ-R os requisitos são aplicados às paredes exteriores e cobertura, a partir da determinação dos valores limites para absorvância solar (α), transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT), em função da zona bioclimática em que se divide o território brasileiro (Tabela 3.4).

Nota-se que os valores de transmitância térmica permitidos no RTQ-R são superiores aos valores apontados no REH. Por exemplo, no RTQ-R para a ZB3 em estudo, aplicam-se as seguintes exigências:

- Para as paredes exteriores, quando $\alpha \leq 0,6$, $U \leq 3,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e $CT \geq 130$; $\alpha > 0,6$, $U \leq 2,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e $CT \geq 130$ (Tabela 3.4);
- Para a cobertura: $\alpha \leq 0,6$, $U \leq 2,300 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e CT sem exigências; $\alpha > 0,6$, $U \leq 1,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e CT sem exigências (Tabela 3.4).

Enquanto que no REH para a zona climática de inverno I1 em estudo, aplicam-se as seguintes exigências:

- Para os requisitos energéticos: $U_{\text{máx}}$: $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, para elementos opacos verticais e $U_{\text{máx}}$: $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, para elementos opacos horizontais (Tabela 4.8).

No RTQ-R as paredes interiores e o pavimento intermediário dos edifícios B e P não possuem exigências quanto a capacidade térmica, porém seu valor é definido para a aplicação do regulamento na determinação das variáveis CT_{baixa} e CT_{alta} , calculadas a partir da média ponderada das capacidades térmicas das paredes exteriores, interiores e fechamentos superiores do ambiente pelas respectivas áreas. Como também para a determinação da variável CT_{par} calculada a partir da média ponderada da capacidade térmica das paredes externas e internas do ambiente pelas respectivas áreas.

No REH, no que se refere aos envidraçados o regulamento determina o valor de transmitância térmica máximo e impõe requisitos relativamente ao fator solar do vidro com o sistema de proteção ativado, no caso de envidraçados não orientados no quadrante norte e cuja área não seja inferior a 5% da área do compartimento onde estão inseridos. Para a aplicação do RTQ-R, apenas se faz necessário informar o valor da transmitância térmica dos envidraçados e a existência ou não de vidros duplos, não tendo, portanto, nenhuma exigência a ser seguida quanto a estes fatores. Destacando que estas informações só são solicitadas no RTQ-R para edifícios localizados nas ZB 1 e 2.

Ambos os regulamentos destacam a necessidade da ventilação e iluminação natural nas edificações habitacionais, porém com abordagens diferentes. No RTQ-R são determinados os percentuais mínimos exigidos para as áreas de abertura para ventilação (Expressão (3.5) e Tabela 3.5) e iluminação natural (mínimo 12,5% da AU_{amb}), além do requisito de ventilação cruzada (Expressão (3.6) que faz parte da ventilação natural. No REH, são verificadas as áreas dos envidraçados, em relação a área do

compartimento e a da taxa de renovação do ar do edifício, em relação ao valor mínimo apresentado no regulamento.

5.2.2 Sistemas técnicos

Os regulamentos analisam os sistemas técnicos para aquecimento e arrefecimento ambiente e para preparação de águas quentes. Apesar do Brasil e de Portugal priorizarem funções diferentes nos sistemas devido ao clima em que estão inseridos, ambos impõem condições limites quanto a eficiência dos equipamentos adotados nas edificações.

Os sistemas técnicos em ambos os regulamentos devem atender as normas técnicas aplicáveis em cada país. Um requisito importante é a obrigatoriedade do uso de isolamento térmico em tubulações, sendo especificadas as espessuras mínimas em função da temperatura do fluido, condutividade térmica do material e diâmetro da tubulação. Em Portugal este requisito caba a todos os sistemas técnicos, porém no Brasil só se verifica para o sistema de aquecimento de água.

No RTQ-R, o condicionamento artificial de ar resulta em bonificações ao edifício apenas quando se trata de envoltória condicionada artificial com classificação nível A de eficiência e quando os equipamentos adotados no sistema estiverem de acordo com as normas técnicas brasileiras e possuírem ENCE A ou Selo Procel.

No que se refere ao sistema de aquecimento de água, a avaliação do desempenho feita pelo RQT-R compete apenas aos sistemas que serão entregues instalados no edifício, não sendo considerados portando os sistemas de espera para futura instalação. Para que os sistemas de aquecimento solar e aquecimento a gás alcancem classificações de nível A e B, os equipamentos devem possuir ENCE A ou B ou Selo Procel.

Para a classificação dos sistemas são determinados: a demanda energética, para o sistema de aquecimento solar, a capacidade e eficiência térmicas, para o sistema de aquecimento a gás e o coeficiente de performance (COP), para o aquecimento por bombas de calor. Os sistemas de aquecimento elétrico, independente da eficiência dos equipamentos, alcançarão no máximo níveis D e E de eficiência no RTQ-R.

No REH, os sistemas instalados ou projetados são comparados com os sistemas de referência. Os sistemas de climatização que recorram a equipamentos de ar condicionado têm como requisitos mínimos o atendimento da classe de eficiência B. Para isso são apontados os valores de EER E COP, em função na classe de eficiência.

CAPÍTULO 5

Para os sistemas de águas quentes sanitárias, o REH impõe níveis mínimos de rendimento para as caldeiras, em função da classe de eficiência energética e para os esquentadores valores mínimos de rendimento, em função da potência do equipamento.

Na determinação da demanda de água quente das edificações os regulamentos aplicam considerações diferentes tanto para o número de ocupantes quanto para o consumo por pessoa. No RTQ-R para o número de ocupantes admite-se 2 ocupantes por dormitório social e no REH esse número é definido em função da tipologia da fração, sendo considerado 2 ocupantes no caso da tipologia T0, e n+1 ocupantes nas tipologias do tipo Tn com n>0. O consumo diário por pessoa é de 50 litros para o RTQ-R e de 40 litros para o REH.

No REH, quando os sistemas técnicos não são especificados em projeto ou instalados são considerados os equipamentos de referência que são penalizadores para o valor das necessidades de energia primária.

Em Portugal para o cumprimento do valor mínimo de $0,4 \text{ h}^{-1}$ especificado para a taxa de renovação de ar são feitas adequações nos sistemas de ventilação natural ou mecânica. No Brasil não se verifica no RTQ-R a taxa de renovação de ar, portanto não existem considerações para os sistemas de ventilação. No RTQ-R o potencial de ventilação é determinado através da verificação da ventilação cruzada, porosidade, existência de banheiros com ventilação natural, dispositivos especiais, centro geométrico e permeabilidade, porém quando estas verificações são desfavoráveis o regulamento não sugere alterações.

Em Portugal é necessário utilizar fontes de energia renováveis para a preparação de AQS, através de um sistema padrão de aquecimento solar ou outros sistemas desde que assegurem, numa base anual, a energia obtida pelo sistema padrão. No Brasil não existem imposições quanto a isto.

5.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

Nesta seção são apresentados os resultados de desempenho energético obtidos segundo a aplicação do RTQ-R e do REH nos edifícios em estudo.

5.3.1 Resultados obtidos a partir do RTQ-R

A Tabela 5.3 aponta o Indicador de Graus-hora para Resfriamento (GHR), o Consumo Relativo para Aquecimento (CA) e o Consumo Relativo para Refrigeração (CR) dos ambientes de permanência prolongada analisados nos edifícios A e B em estudo, assim como seus níveis de eficiência, que variam de A a E, como indicado na Tabela 3.8, Tabela 3.9 e Tabela 3.11, respectivamente.

O GHR, é um indicador que representa o somatório da diferença entre a temperatura operativa horária do ambiente e a temperatura de base de 26°C, quando a primeira for superior que a temperatura de base. O CA, determina o consumo anual de energia (em kWh) por metro quadrado necessário para aquecimento do ambiente durante o período de 21 h às 8 h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 22°C. O CR, determina o consumo anual de energia (em kWh) por metro quadrado necessário para refrigeração do ambiente durante o período de 21 h às 8 h, todos os dias do ano, com manutenção da temperatura em 24°C.

Tabela 5.3 - Níveis de eficiência da envoltória sem pré-requisitos para cada ambiente de permanência prolongada nos edifícios B e P

	EDIFÍCIO B				EDIFÍCIO P			
	QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 03	SALA	QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 03	SALA
GHR [°C.h]	D	D	E	A	C	C	C	A
	2752	2640	3552	214	1973	2137	2383	65
CA [kWh/(m ² .ano)]	B	B	B	B	B	B	B	B
	11,47	11,47	9,578	8,751	7,897	9,489	7,602	6,689
CR [kWh/(m ² .ano)]	D	D	C	Não se aplica	C	C	B	Não se aplica
	17,945	17,945	16,795	0	14,248	14,205	10,944	0

A partir da análise dos dados indicados na Tabela 1 e Tabela 7 do Anexo I e dos resultados da Tabela 5.3, é possível relacionar que as mais altas eficiências, se tratando do GHR, são obtidas quando os elementos construtivos do ambiente têm valores baixos de transmitância térmica, portanto alta resistência térmica, capacidade térmica alta e um considerável fator de ventilação. Dentre os ambientes analisados, o quarto 03, de ambos os edifícios, é o menos eficiente, uma vez que sofre com a radiação solar incidente na fachada voltada a este.

Nos resultados obtidos para o CA, todos os ambientes de ambos os edifícios apresentam nível de eficiência B, porém é possível apontar que as mais altas eficiências são observadas quando se tem valores baixos de transmitância térmica, capacidades térmicas altas e um considerável fator de ventilação. A área dos ambientes também é um fator de interferência no consumo, pois quanto maior a área menor será o valor de CA por metro quadrado necessário para aquecimento do ambiente, conseqüentemente, elevarse o nível de eficiência, como indicado na Tabela 3.9.

No que se refere ao CR, este consumo se aplica apenas para dormitórios. Dentre os resultados de CR dos quartos analisados na Tabela 5.3, as maiores eficiências resultam quando os elementos construtivos dos ambientes apresentam capacidades térmicas baixas, transmitâncias térmicas baixas (alta resistência) e baixo fator de ventilação. A área dos ambientes, assim como na determinação do CA, interfere no nível de eficiência do CR.

CAPÍTULO 5

A Tabela 5.4 indica os valores dos equivalentes numéricos da envoltória dos ambientes para resfriamento, aquecimento e refrigeração ($E_{qNumEnvAmb_{Resfr}}$, $E_{qNumEnvAmb_A}$ e $E_{qNumEnvAmb_{Refrig}}$) após a avaliação dos pré-requisitos, e os seus respectivos níveis de eficiência. A envoltória para inverno dos quartos do edifício A foram rebaixadas de nível após avaliação dos pré-requisitos e as envoltórias para inverno e refrigeração do quarto 03 do edifício P, também.

Tabela 5.4 – Pontuação após a avaliação dos pré-requisitos dos ambientes dos edifícios B e P

		EDIFÍCIO B				EDIFÍCIO P			
		QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 03	SALA	QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 03	SALA
Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente	Envoltória para Verão	D	D	E	A	C	C	C	A
		2	2	1	5	3	3	3	5
	Envoltória para Inverno	C	C	C	B	B	B	C	B
		3	3	3	4	4	4	3	4
	Envoltória se Refrigerada Artificialmente	D	D	C	Não se aplica	C	C	C	Não se aplica
		2	2	3	0	3	3	3	0

Os equivalentes numéricos da envoltória para resfriamento, aquecimento e refrigeração ($E_{qNumEnv_{Resfri}}$, $E_{qNumEnv_A}$ e $E_{qNumEnv_{Refrig}}$) (Tabela 5.5), são obtidos por ponderação dos equivalentes numéricos dos ambientes pela área útil dos mesmos.

Tabela 5.5 – Equivalentes numéricos e níveis de eficiência da envoltória dos edifícios B e P

		EDIFÍCIO B		EDIFÍCIO P	
		Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada	Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH	Envoltória para Verão	C	C	B	B
		2,85	2,85	3,75	3,75
	Envoltória para Inverno	C	C	B	B
		3,38	3,38	3,72	3,72
	Envoltória se Refrigerada Artificialmente	D	D	C	C
		2,45	2,45	3	3

Por fim, a classificação da envoltória dos edifícios (Tabela 5.6) é obtida a partir da ponderação dos equivalentes numéricos de resfriamento e aquecimento, a partir da expressão 3.9, para a zona bioclimática 3. O edifício P apresentou a melhor classificação de envoltória ($PT = 3,74$, portanto, Eficiência B), com o melhor nível de eficiência decorrente da envoltória para verão ($PT = 3,75$, portanto, Eficiência B).

Tabela 5.6 – Equivalente numérico e nível de eficiência da envoltória dos edifícios B e P

	EDIFÍCIO B		EDIFÍCIO P	
	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH
Equivalente numérico da envoltória da UH	C	C	B	B
	3,04	3,04	3,74	3,74

A pontuação total dos edifícios B e P é determinada a partir da expressão 3.1, que utiliza os valores do EqNumEnv, EqNumAA, bonificações e o coeficiente “a” em função da região geográfica em que se localiza o edifício (Tabela 5.7), para a determinação da pontuação total e classificação final (Tabela 5.8).

Tabela 5.7 – Análise da classificação final dos edifícios B e P

		EDIFÍCIO B	EDIFÍCIO P
Pontuação Total	Envoltória para Verão	C	B
		2,85	3,75
	Envoltória para Inverno	C	B
		3,38	3,72
	Aquecimento de Água	A	A
		5	5
	Equivalente numérico da envoltória	C	B
		3,04	3,74
Envoltória se refrigerada artificialmente	D	C	
	2,45	3	
Bonificações	0,42	0,42	
Região	Sudeste	Sudeste	
Coeficiente a	0,65	0,65	

Tabela 5.8 – Classificação final e pontuação total dos edifícios B e P

	EDIFÍCIO B	EDIFÍCIO P
Classificação final da UH	B	A
Pontuação Total	4,15	4,6

A aplicação do RTQ-R nos edifícios B e P teve como resultado as classificações finais B e A, respectivamente. Sendo assim, o edifício P, com soluções construtivas usuais em Portugal mostrou-se mais eficiente energeticamente em São Paulo (Brasil), do que o edifício B.

5.3.2 Resultados obtidos a partir do REH

As aplicações do REH, obtiveram os resultados indicados na Tabela 5.9, referente ao comportamento térmico verificado na estação de aquecimento e de arrefecimento dos edifícios B e P, em estudo.

Tabela 5.9 - Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento

Comportamento térmico na estação de aquecimento			Comportamento térmico na estação de arrefecimento		
N_{ic} [kWh/m ² .ano]		N_i [kWh/m ² .ano]	N_{vc} [kWh/m ² .ano]		N_v [kWh/m ² .ano]
EDIFÍCIO B	EDIFÍCIO P		EDIFÍCIO B	EDIFÍCIO P	
156,22	23,31	46,28	0,23	6,71	9,15

Após analisar os resultados obtidos nos edifícios em estudo, é possível afirmar que o comportamento térmico na estação de aquecimento, verificado a partir da determinação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício (N_{ic}), cumpre ao valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i) no edifício P, porém não é atendido no Edifício B.

O consumo de energia para aquecimento do edifício B, que é de 156,22 kWh/(m².ano), supera em aproximadamente 3,4 vezes o valor máximo exigido no REH.

No que se refere ao comportamento térmico na estação de arrefecimento (Tabela 5.9), foi verificado que as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento do edifício (N_{vc}) dos edifícios B e P, cumprem o valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v).

Nesta situação, o edifício B mostrou necessidades de consumo de energia para arrefecimento menores que o edifício P. O edifício B consome, aproximadamente, 40 vezes menos que o máximo permitido no REH, e 29 vezes menos que o edifício P, o que resulta principalmente do baixo nível de isolamento térmico da envolvente.

Nos edifícios em estudo, as necessidades nominais de energia primária estão indicadas na Tabela 5.10 e resultaram da soma das necessidades nominais específicas de energia primária para aquecimento (N_{ic}), arrefecimento (N_{vc}) e produção de AQS (Q_a/A_p).

Tabela 5.10 - Necessidades nominais de energia primária e classificação energética

Necessidades de energia primária		
EDIFÍCIO B	EDIFÍCIO P	N_t
N_{tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]		
409,37	82,49	140,69
R _{Nt}		
2,91	0,59	
Classe energética		
F	B	

A necessidade de energia primária para o edifício B, é 409,37 kWh_{EP}/ (m². ano) e para o edifício P, 82,49 kWh_{EP}/ (m².ano). O edifício P atende ao valor máximo (N_t) exigido no REH, porém não é cumprido pelo edifício B. A necessidade calculada para o edifício B, é aproximadamente, três vezes superior ao limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária.

Por fim, a classe energética dos edifícios é determinada a partir da expressão (4.65, e está indicada na Tabela 5.10. O edifício B classificou-se com nível de eficiência F e o edifício P com nível de eficiência B. No entanto é importante salientar que o edifício B não cumpriu os requisitos mínimos indicados na legislação português quanto a transmitância térmica dos seus elementos construtivos. Neste caso, o edifício B só poderia ser avaliado pelo REH como um edifício existente, uma vez que para edifícios novos ou reabilitados o cumprimento dos requisitos mínimos é obrigatório.

5.3.3 Resultados obtidos o RTQ-R e no REH

Analisando as classificações finais indicadas na Tabela 5.11, levando em conta as devidas restrições para tal, uma vez que não é possível fazer uma comparação efetiva entre os consumos energéticos resultantes dos dois regulamentos, por se tratarem de metodologias distintas que avaliam os ambientes da edificação de maneira particular, mas é possível indicar que o edifício P foi bem classificado nas duas aplicações regulamentares em que foi avaliado, enquanto que o edifício B obteve a pior classificação na aplicação do REH e uma classificação positiva no RTQ-R.

No RTQ-R o edifício B obteve pontuação total igual a 4,15, portanto classificou-se com nível B de eficiência energética e o edifício P obteve pontuação total igual a 4,6, classificando-se com nível A de eficiência energética.

No REH o edifício B classificou-se com nível de eficiência energética F, com necessidades de energia primária de 409,37 kWh_{EP}/(m².ano), que excedem em 268,68 kWh_{EP}/(m².ano) o valor limite. Enquanto que o edifício P classificou-se com nível de eficiência energética B, com necessidades de energia primária de 82,49 kWh_{EP}/(m².ano), inferior ao valor limite de 140,69 kWh_{EP}/(m².ano).

Destacando que a classificação do nível de eficiência do RTQ-R divide-se em classe A (mais eficiente), B, C, D e E (menos eficiente) e do REH divide-se em A+ (mais eficiente), A, B, B-, C, D, E e F (menos eficiente), o edifício B obteve no RTQ-R uma classificação acima do nível C, que pode ser considerado como um nível intermediário de eficiência para os dois regulamentos, assim como o edifício P obteve no RTQ-R (nível A) e no REH (nível B)

A desconformidade observada em relação ao nível de eficiência atingido pelo edifício B no RTQ-R e no REH, evidenciam que os critérios de avaliação impostos na metodologia do regulamento português são mais rigorosos.

Tabela 5.11 – Nível de eficiência obtido pelos edifícios B e P a partir do RTQR e do REH

	EDIFÍCIO B	EDIFÍCIO P
REGULAMENTO	Nível de eficiência	
RTQ-R	B	A
REH	F	B

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção é apresentada a conclusão do trabalho e indicações de pesquisas futuras.

6.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho constitui na análise do desempenho energético das edificações habitacionais do Brasil, a partir da aplicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e de Portugal, a partir da aplicação do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.

Para desenvolver este trabalho e fundamentar a compreensão dos resultados obtidos, foi imprescindível estudar a conjuntura histórica que norteia as questões energéticas mundiais atuais e, especificamente, no que concerne ao Brasil e Portugal.

A matriz energética atual do Brasil e de Portugal se assemelha com o panorama de energia mundial, que até o momento, tem o maior consumo de energia proveniente de recursos não renováveis, sobretudo do petróleo, carvão e gás natural. Embora o uso de energias renováveis se apresente de forma relevante nestes países, sendo até mesmo superiores as médias mundiais, ainda assim enfrentam a dependência das fontes não renováveis.

Ao passo que o Brasil se destaca por dispor de uma base energética diversificada e por ter a oportunidade de exploração dos recursos naturais nacionais, Portugal enfrenta o desafio da dependência energética exterior. A produção e o consumo de energia no Brasil seguem dependentes do petróleo e seus derivados. Em Portugal, está produção se dá unicamente por recursos renováveis, sendo o restante da parcela do consumo de energia advinda dos combustíveis fósseis.

O consumo energético ampliasse ao mesmo passo em que aumentam os seus consumidores e os efeitos deste descontrole repercutem negativamente em impactos socioeconômicos e ambientais. Mundialmente, foi dada a largada na busca por esforços que revertam está condição, e para este

CAPÍTULO 6

propósito há a urgência em expandir os conceitos da eficiência energética, das fontes limpas de energia e do desenvolvimento sustentável.

O apreço ao meio ambiente é uma das razões que motivam os mais diversos setores da economia a se desenvolverem, ao mesmo tempo em que colaboram para a diminuição da poluição ambiental, emissões de GEE, agravamento do aquecimento global, e conseqüentemente, o colapso de todo um meio ambiente.

Dentre estes setores, a construção civil foi apontada neste trabalho como autora de destaque neste contexto, uma vez que o setor consome consideravelmente a energia mundial e é responsável por metade das emissões de CO₂.

Neste cenário, a adoção dos regulamentos que regem a eficiência energética dos edifícios se faz necessária para possibilitar o reconhecimento da eficiência energética das construções. Tanto no Brasil quanto em Portugal verifica-se que parte do consumo nos edifícios, especificamente os habitacionais, destina-se para a climatização dos ambientes e preparação de águas quentes.

A análise comparativa entre os regulamentos de desempenho energético, vigentes no Brasil e em Portugal, no âmbito das edificações habitacionais, se fez fundamental para a determinação da competência efetiva dos regulamentos, e para impulsionar seus avanços, que conseqüentemente, refletem em melhoria dos padrões das edificações.

O estudo de caso desenvolvido neste trabalho propôs a análise de dois edifícios, o edifício A, com soluções construtivas usadas no Brasil e o edifício B com soluções construtivas usadas em Portugal. O desempenho energético de ambos os edifícios foi determinado a partir da aplicação pelos dois regulamentos, totalizando dois níveis de desempenho para cada edifício.

As considerações estabelecidas para o emprego dos regulamentos foram em relação a diversidade climática observada no território brasileiro e português, levando em conta esta diversidade para a aplicação de cada documento. Adotou-se, que os edifícios verificados no RTQ-R se localizam no Brasil, na cidade de São Paulo, e no REH, se localizam em Portugal, na cidade do Porto. Atentando-se ao fato de que as temperaturas médias anuais máximas e mínimas em cada cidade em estudo são de 23,5°C e 13,6°C, em São Paulo e 18,8°C e 9,9°C, no Porto. E que as temperaturas de conforto para o verão e para o inverno no Brasil e em Portugal se diferem.

Dentre os critérios de avaliação adotados em cada regulamento, a abordagem do desempenho energético da envoltória e dos sistemas técnicos das edificações habitacionais se faz presente tanto no RTQ-R quanto no REH.

A partir da classificação da eficiência energética resultante dos edifícios em estudo, ensaiados em ambos os regulamentos, pode-se concluir que mesmo considerando as circunstâncias que inserem o

regulamento português, como a severidade do clima do país, o cenário que impulsiona à tomada de medidas na Europa, e considerando que as soluções construtivas adotadas nos edifícios em Portugal são correntes, o REH se mostrou mais completo.

A partir dos resultados obtidos, em função no nível de classificação energética adotado em cada documento, foi observado que o edifício B, atingiu a pior classificação na aplicação do REH (nível F) e uma classificação positiva no RTQ-R (nível B), enquanto que o edifício P foi bem classificado nas duas aplicações regulamentares em que foi avaliado.

O edifício B obteve no RTQ-R uma classificação acima do nível C, que pode ser considerado como um nível intermediário de eficiência para os dois regulamentos, assim como o edifício P obteve no RTQ-R (nível A) e no REH (nível B). Porém a desconformidade observada em relação ao nível de eficiência atingido pelo edifício B no RTQ-R e no REH, evidenciam que os critérios de avaliação impostos na metodologia do regulamento português são mais rigorosos.

O REH se mostrou mais rigoroso ao passo que o RTQ-R se mostrou menos, não apenas no sentido de que há a necessidade de revisão do regulamento brasileiro para torná-lo mais criterioso e conseqüentemente aumentar o padrão das edificações habitacionais no Brasil, mas também, no sentido de tornar a sua aplicação obrigatória no país.

O edifício P, mostrou -se eficiente no RTQ-R e no REH e tal competência pode ser explicada por pontos relevantes como, o emprego de isolamento térmico nos elementos das envoltentes, o desempenho térmico eficiente dos vãos envidraçados, o cuidado com as perdas de calor por transmissão térmica e por infiltrações do ar excessivos e a preocupação em relação as proteções solares dos envidraçados, que podem gerar o sobreaquecimento no interior dos edifício e conseqüente aumento das necessidades energéticas na habitação.

Constata-se que o resultado obtido pelo edifício B no REH, poderia ter seu nível elevado se fossem adotadas outras soluções construtivas, que não necessariamente representariam modificações significativas do ponto de vista técnico e arquitetônico da edificação.

Investir na construção e revitalização dos edifícios habitacionais, quer seja pelo uso de materiais eficientes, pela prática de técnicas sustentáveis ou pelo aprimoramento das normas e regulamentos que se aplicam neste contexto, tudo pode atuar para a garantir de qualidade de vida das gerações futuras e sobrevivência do planeta.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Como indicação para pesquisas futuras se sugere um aprofundamento na comparação entre as metodologias publicadas no RTQ-R e no REH, através da aplicação dos regulamentos em outros edifícios, com a finalidade de se obter uma quantidade maior de resultados, que possibilitem a identificação de diferenças e semelhanças nos conceitos abordados em cada regulamento.

É indicado também, que a comparação entre regulamentos de desempenho energético se estenda aos edifícios comerciais, de serviço e público, uma vez que o consumo energético nestes edifícios impacta diretamente o desenvolvimento socioeconômico ambiental.

Além disso, é pertinente propor mudanças para as soluções construtivas adotadas nos edifícios, visando a melhoria da sua eficiência. Como também, o apontamento de materiais eficientes energeticamente, que priorizem o conceito da sustentabilidade na construção civil.

Um ponto importante que pode ser a base de uma futura pesquisa, refere-se a análise da viabilidade na obtenção da certificação de eficiência de um edifício, o custo benefício desta ação e o estudo dos resultados positivos seguintes à aplicação da certificação obrigatória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 15220-3**: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

ADENE - Consumidores. **Sistema de Certificação Energética dos Edifícios**, 2018. [Consult. 5 jun. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.sce.pt/certificacao-energetica-de-edificios/consumidores/>.

ADENE - Estatísticas. **Sistema de Certificação Energética dos Edifícios**, 2018. [Consult. 5 jun. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.sce.pt/estatisticas/>.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, Jose Luiz - **Temperatura média normal anual no Brasil** [Em linha], atual. 2012. [Consult. 9 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.ipef.br/geodatabase/listagem.asp?Source=21>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BANCO MUNDIAL - **Indicadores do Desenvolvimento Mundial** [Em linha], atual. 24 abr. 2018. [Consult. 4 jun. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.google.com.br/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&met_y=eg_use_pcap_kg_oe&hl=pt&dl=pt#!strail=false&bcs=d&nselm=h&rdim=region&idim=country:PRT:BRA&ifdim=region&tldim=true&tstart=928465200000&tend=1401850800000&hl=pt&dl=pt&ind=false>.

BARBOSA, Vanessa - **Emissões relacionadas à energia têm alta histórica em 2017** [Em linha], atual. 27 mar. 2018. [Consult. 26 abr. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://exame.abril.com.br/economia/emissoes-relacionadas-a-energia-tem-alta-historica-em-2017/>.

BENITE, Anderson - **Emissões de Carbono e a Construção Civil** [Em linha], atual. 2013. [Consult. 26 abr. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.cte.com.br/imprensa/2011-02-27-emissoes-de-carbono-e-a-construcao-civ/>.

Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. [Em linha] (01-10-17) [Consult. 7 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LEIS_2001/L10295.htm>.

CALDEIRA, Norma - **A Concepção Arquitetônica para a Eficiência Energética de Edificações – O Caso da Etiquetagem no Brasil** [Em linha]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, abr. 2011 [Consult. 5 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/NormaDoNascimentoBatistaCaldeira.pdf>.

CARDOSO, Murilo - [Mapas] Classificação Climática de Köppen do Mundo e do Brasil Murilo Cardoso, 20 jan. 2012. [Consult. 26 abr. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://murilocardoso.com/2012/01/20/mapas-classificacao-climatica-de-koppen-do-mundo-e-do-brasil/>.

CENERGEL - **A Eficiência Energética em Edifícios** [Em linha], atual. 6 jan. 2017. [Consult. 19 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://cenergel.com.br/post.aspx?id=89&nome=a-eficiencia-energetica-em-edificios>.

CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - **Etiquetagem em Edificações** [Em linha], atual. 2014. [Consult. 5 jun. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?View={89E211C6-61C2-499A-A791-DACD33A348F3}>.

CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - **O Programa** [Em linha], atual. 2016. [Consult. 8 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.eletronbras.com/pci/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}>.

CLIMATE-DATA.ORG - **Dados climáticos para cidades mundiais - Climate-Data.org** [Em linha], atual. 2013. [Consult. 16 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://pt.climate-data.org/>.

CMMAD - **Relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento** [Em linha] [Consult. 22 mar. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>.

COMITÊ NACIONAL DE ORGANIZAÇÃO RIO+20 - **Sobre a Rio+20** [Em linha], atual. 2011. [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20.html>.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - **Políticas Públicas, Institucionais e Empresariais para estímulo ao desenvolvimento de Empreendimentos Imobiliários mais sustentáveis** [Em linha], atual. 2009. [Consult. 20 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://cbcs.org.br/website/comite-tematico/posicionamentos.asp?cctCode=94FF15B7-2E02-4167-8803-F4F4842BE615>.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas.** 2014.

CONSELHO EMPRESARIAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - **Eficiência Energética em Edifícios** [Em linha]. Portugal: [s.n.] [Consult. 20 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2013/11/publ-2007-Eficiencia-energetica-em-edificios.pdf>.

CORREIA, Pedro Júlio - **Desempenho Térmico e Energético de Edifícios** [Em linha]. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2015. [Consult. 8 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://ria.ua.pt/bitstream/10773/15187/1/Desempenho%20T%C3%A9rmico%20e%20Energ%C3%A9tico%20de%20Edif%C3%ADcios.pdf>.

COUTINHO, Rui Nunes - **Relação entre o regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação com o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia** [Em linha]. Porto, Portugal: Instituto Superior de Engenharia do Porto, out. 2014 Disponível em WWW:<URL:http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/6532>.

CSILLAG, Diana - **Análise das práticas de sustentabilidade em projetos de construção latino americanos** [Em linha]. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007 [Consult. 5 mar. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-17012008-115248/en.php>.

DEPARTAMENTO DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS - **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas** [Em linha]. Portugal: [s.n.] [Consult. 19 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://www.apambiente.pt/>.

Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. Diário da República, 2ª série-N.º 234 (13-12-03)

Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013. Diário da República, 2ª série-N.º 234 (13-12-03)

Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013. Diário da República, 2ª série-N.º 234 (13-12-03)

Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. Diário da República, 2.ª série-N.º 234 (13-12-03)

DIREÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA - **Energia em Portugal 2014** [Em linha] [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.apren.pt/pt/dados-tecnicos/publicacoes/nacionais/>>.

DIREÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA - **Eficiência Energética - Edifícios** [Em linha], atual. 6 jan.2017. [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.dgeg.pt/>>.

DIREÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA - **Energia em Portugal 2015** [Em linha] [Consult. 9 mai. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.apren.pt/pt/dados-tecnicos/publicacoes/nacionais/>>.

Portaria n.º 319/2016. Diário da República, 1.ª série-N.º 239 (16-12-15) [Consult. 9 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: https://dre.pt/home/-/dre/105371722/details/maximized?print_preview=print-preview>.

ELETRONBRAS; INMETRO; CB3E - **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 - CAPÍTULO II - DEMANDA DE ENERGIA**. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014** [Em linha]. Rio de Janeiro: [s.n.] [Consult. 12 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - **Balanco Energético Nacional 2015 - Relatório Síntese | ano base 2014** [Em linha]. Rio de Janeiro: [s.n.] [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015** [Em linha]. Rio de Janeiro: [s.n.] Disponível em WWW:<URL: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - **Balanco Energético Nacional 2016 - Relatório Síntese | ano base 2015** [Em linha] [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta=2015>>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - **Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016** [Em linha]. Rio de Janeiro: [s.n.] [Consult. 11 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - **Balanco Energético Nacional 2017- Relatório Síntese | ano base 2016** [Em linha] [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>.

ERNANI RAMALHO CARVALHO, Paulo - **Clima** [Em linha], atual. 2003. [Consult. 26 abr. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>.

FUNDAÇÃO FRANCISCO MANUEL DOS SANTOS - **PORDATA - Quadro Resumo** [Em linha], atual. 2014. [Consult. 10 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.pordata.pt/Europa/Quadro+Resumo/Portugal-7041>>.

FUNDAÇÃO FRANCISCO MANUEL DOS SANTOS - **Importações: total e por tipo de produto energético** [Em linha], atual. 6 fev. 2017. [Consult. 26 mai. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.pordata.pt/DB/Europa/Ambiente+de+Consulta/Tabela>>.

FUNDAÇÃO FRANCISCO MANUEL DOS SANTOS - **PORDATA - Energia** [Em linha], atual. 31 jan. 2018. [Consult. 14 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <https://www.pordata.pt/Home>>.

GANHÃO, António Miguel Ganço Dias - **Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação** [Em linha]. Lisboa, Portugal: Faculdade de Ciência e Tecnologia -

Universidade Nova de Lisboa, 2011 [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL:https://run.unl.pt/handle/10362/6890>. Tese de mestrado.

GIRARDI, Giovana - Com 0,9°C a mais, 2015 é o ano mais quente da história - Sustentabilidade. **Estadão**. [Em linha] (20 jan. 2016) [Consult. 26 abr. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,com-0-9c-a-mais--2015-bate-todos-os-records-de-temperatura-e-e-o-mais-quente-da-historia,10000012868>.

GLOBAL CARBON ATLAS - **CO2 Emissions** [Em linha], atual. 2017. [Consult. 19 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.globalcarbonatlas.org/es/CO2-emissions>.

GOMES, Eduardo Luís De Barros - **Projeto de Técnica: Aplicação do Novo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação Novos** [Em linha]. Porto, Portugal: Instituto Superior de Engenharia do Porto, out. 2014 [Consult. 9 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/7911>.

GOVERNO FEDERAL - **Progama nacional da racionalização do uso dos derivados do petróleo e do gás natural** [Em linha], atual. 1 jun. 2012. [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/conteudo-gerais/conpet.shtml>.

GRUPO RBS - **Cúpula de Nova York é nova chance para acordo sobre clima - Zero Hora** [Em linha], atual. 23 set. 2014. [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2014/09/cupula-de-nova-york-e-nova-chance-para-acordo-sobre-clima-4604751.html>.

GUEVANE, Eleutério - **População mundial atingiu 7,6 bilhões de habitantes** [Em linha], atual. 21 jun. 2017. [Consult. 27 abr. 2018]. Disponível em WWW:<URL:https://news.un.org/pt/story/2017/06/1589091-populacao-mundial-atingiu-76-bilhoes-de-habitantes>.

IBGE - **Países** [Em linha], atual. 2016. [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://pais.ibge.gov.br/#/pt/pais/brasil/info/sintese>.

INMETRO - Manual para Aplicação do RTQ-R. 2012.

Anexo Geral V - Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. Anexo da Portaria nº 50/2013 (17-11-27)

INMETRO - **Tabelas de consumo/eficiência energética** [Em linha], atual. jan. 2018. Disponível em WWW:<URL:http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/edificacoes.asp>.

Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Anexo da Portaria n. 018/2012 (12-01-16)

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA; DGEG - **Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010** [Em linha]. Lisboa, Portugal: [s.n.] [Consult. 15 mai. 2017]. Disponível em WWW:<URL:https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:NUF2frhM3R4J:https://www.in e.pt/ngt_server/attachfileu.jsp%3Flook_parentBoui%3D127228533%26att_display%3Dn%26att_downlo ad%3Dy+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>.

INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA - **Clima** [Em linha], atual. 2015. [Consult. 11 abr. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://portaldoclima.pt/pt/#>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY *et al.* - **Energy Policies of IEA Countries - Portugal 2016 Review** [Em linha] [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL:http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/energy-policies-of-iea-countries---portugal-2016-review.html>.

JADJISKI, Dayanne - **Eletrobras/Procel e Inmetro buscam ampliação de laboratórios para etiquetagem de edifícios** [Em linha], atual. 3 mai. 2010. [Consult. 5 jun. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-

CAF4CDD2BC34%7D¶ms=itemID=%7BB262AB3C-5DC3-4015-A7CA-F9DA15B0B436%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>.

LEITE, Marcelo - **Folha de S. Paulo** [Em linha], atual. 17 out. 2016. [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://www1.folha.uol.com.br/mundo/2016/10/1823389-acordo-de-kigali-contra-efeito-estufa-poe-paris-no-chinelo.shtml>>.

LOPES, Rodrigo Mendes De Freitas - **Otimização do desempenho energético de um edifício residencial em Portugal** [Em linha]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010 [Consult. 20 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.labeee.ufsc.br/node/275>>.

MACHADO, Marlon - **Climas Brasileiros**, [s.d.]. [Consult. 9 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <https://www.bractaceae.org/clima.html>>.

MAGALHÃES, Lana - **Acordo de Paris** [Em linha], atual. 3 jan. 2018. [Consult. 3 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <https://www.todamateria.com.br/acordo-de-paris/>>.

MATTAR, Helio - **A forma de consumir pode contribuir (e muito) para enfrentar o aquecimento global**. Folha de S. Paulo. [Em linha] (17 abr. 2018). [Consult. 25 abr. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/helio-mattar/2018/04/a-forma-de-consumir-pode-contribuir-e-muito-para-enfrentar-o-aquecimento-global.shtml>>.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco - **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. [S.l.]: Oficina de Textos, 2017. ISBN 978-85-7975-114-1.

MIKHAILOVA, Irina - Revista Economia e Desenvolvimento. **Sustentabilidade: Evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática**. [Em linha]nº 16 (2004). Disponível em WWW:<URL: http://w3.ufsm.br/depcie/arquivos/artigo/ii_sustentabilidade.pdf>.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO; AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA; INSTITUTO DE METEOROLOGIA DE PORTUGAL - Atlas climático ibérico. 2011).

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - **Resenha Energética Brasileira Exercício de 2016** [Em linha] Disponível em WWW:<URL: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-Resenha+Ener%C3%A9tica+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0>>.

NEVES, Francisca Andrea Da Silva Oliveira - **Estudo do comportamento térmico de edifícios de habitação segundo o RCCTE e o REH** [Em linha]. Porto, Portugal: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013 [Consult. 9 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <http://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/7611>>.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA - **Emissões de GEE do Brasil** [Em linha] [Consult. 18 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2017/10/RelatoriosSeeg2017-Sintese_final.pdf>.

ONU BRASIL - **ONU Meio Ambiente** [Em linha], atual. 2011. [Consult. 3 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <https://nacoesunidas.org/agencia/onumeioambiente/>>.

ONU BRASIL - **A ONU e o meio ambiente** [Em linha], atual. 2016. [Consult. 8 jan. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>.

PBE EDIFICA - **Sobre | PBE EDIFICA** [Em linha], atual. 2013. [Consult. 8 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <http://pbeedifica.com.br/sobre>>.

PBE EDIFICA - **PBE EDIFICA** [Em linha], atual. 2014. [Consult. 28 mai. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://pbeedifica.com.br/>>.

PLANELLES, Manuel - **Mudança climática: as emissões mundiais de CO2 voltam a crescer em 2017** [Em linha], atual. 13 nov. 2017. [Consult. 4 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: https://brasil.elpais.com/brasil/2017/11/09/ciencia/1510243597_169204.html>.

PLANO NACIONAL DE AÇÃO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - **Metas PNAEE 2016 - RCM n.º 20/2013** [Em linha], atual. 2016. [Consult. 12 mai. 2017]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.pnaee.pt/pnaee#metaspnaee>>.

PROCEL - **Procel 2017 - ano base 2016** [Em linha]. Rio de Janeiro: [s.n.] [Consult. 8 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B81CAB655-8872-48D2-9E71-A2C67E2B5B1E%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>>.

PROJETEEE - **NBR 15220** [Em linha], atual. 2018. [Consult. 5 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <http://projeteee.mma.gov.br/glossario/nbr-15220/>>.

SANTOS, Carlos A. Pina Dos; MATIAS, Luís - **Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envoltura dos Edifícios**. Lisboa: LNEC, 2006

SCHUTZ, Fernanda; MASSUQUETTI, Angélica; ALVES, Tiago Wickstrom - DEMANDA E OFERTA ENERGÉTICA: UMA PERSPECTIVA MUNDIAL E NACIONAL PARA O ETANOL. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. ISSN 22361170, 22361170. 16:16 (2013). doi: 10.5902/2236117010688.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION - **International Energy Outlook 2017** [Em linha], atual. 14 set. 2017. [Consult. 27 abr. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>>.

ANEXO I – APLICAÇÃO DO RTQ-R

APLICAÇÃO DO RTQ-R NO EDIFÍCIO “B”

1. CÁLCULOS

Nesta seção são apresentados os cálculos de entrada na planilha do RTQ-R. Os demais cálculos foram realizados automaticamente a partir da ferramenta de cálculo.

1.1. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E CAPACIDADE TÉRMICA

As expressões usadas para a determinação da transmitância térmica e capacidade térmica são:

$$R = e/\lambda \quad (1)$$

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} \quad (2)$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (3)$$

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

$$CT = e \cdot \rho \cdot c \quad (5)$$

Em que:

- R Resistência térmica de um componente, [(m². K) /W];
- e Espessura de uma camada, [m];
- λ Condutividade térmica do material, [W/ (m.K)];
- R_t Resistência térmica de superfície a superfície de um componente, [(m². K) /W];
- R_{t1}, R_{t2}, R_{tn} Resistências térmicas das n camadas, [(m².K)/W];
- R_T Resistência térmica total, [(m². K) /W];
- R_{se}, R_{si} Resistência superficial externa e resistência superficial interna;
- U Transmissão térmica, [W/ (m². K)];
- CT Capacidade térmica, [kJ/ (m². K)];
- ρ Densidade de massa aparente do material, [W/ (m.K)];
- c Calor específico, [kJ/ (kg. K)].

PAREDE EXTERIOR

- Reboco exterior (e = 0,025m; λ = 1,30W/ (m. K); ρ = 1800kg/m³; c = 1 kJ/kg. K);

- Bloco de concreto (e = 0,14m; R = 0,20 (m². K) /W; ρ = 2137kg/m³; c = 1 kJ/kg. K);
- Reboco interior (e = 0,025m; λ = 1,30 W/ (m. K); ρ = 1800kg/m³; c = 1 kJ/kg. K).

$$R_T = 0,13 + \frac{0,025}{1,30} + 0,20 + \frac{0,025}{1,30} + 0,04 = 0,41 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/W$$

$$U = \frac{1}{0,41} = 2,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$CT = 0,025 \cdot 1800 \cdot 1 + 0,14 \cdot 2137 \cdot 1 + 0,025 \cdot 1800 \cdot 1 = 389 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

COBERTURA

- Telha cerâmica (e ≅ 0,01m; ρ = 2200kg/m³; c = 0,92 kJ/kg. K);
- Caixa de ar (e > 0,05m);
- Laje maciça de betão (e = 0,10m; λ = 2,00 W/ (m.K); ρ = 2300kg/m³; c = 1 kJ/kg. K).

$$R_{T_{asc}} = 0,10 + \frac{0,10}{2,00} + 0,10 = 0,25 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/W$$

$$U_{asc} = \frac{1}{0,25} = 4,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$R_{T_{desc}} = 0,17 + \frac{0,10}{2,00} + 0,17 = 0,39 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/W$$

$$U_{desc} = \frac{1}{0,39} = 2,56 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$CT = 0,01 \cdot 2200 \cdot 0,92 + 0,10 \cdot 2300 \cdot 1 = 250 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

PAREDE EM CONTACTO COM O EDIFÍCIO ADJACENTE E PAREDE INTERIOR

- Reboco interior (e = 0,025m; λ = 1,30 W/ (m. K); ρ = 1800kg/m³; c = 1 kJ/kg. K);
- Bloco de concreto (e = 0,14m; R = 0,20 (m². K) /W); ρ = 2137kg/m³; c = 1 kJ/kg. K);
- Reboco interior (e = 0,025m; λ = 1,30 W/ (m. K); ρ = 1800kg/m³; c = 1 kJ/kg. K).

$$R_T = 0,13 + \frac{0,025}{1,30} + 0,20 + \frac{0,025}{1,30} + 0,13 = 0,50 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/W$$

$$U = \frac{1}{0,50} = 2,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$CT = 0,025 \cdot 1800 \cdot 1 + 0,14 \cdot 2137 \cdot 1 + 0,025 \cdot 1800 \cdot 1 = 389 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

PAVIMENTO INTERMEDIÁRIO

- Laje maciça de betão (e = 0,20m; ρ = 2200kg/m³; c = 1 kJ/kg. K).

$$CT = 0,20 \cdot 2200 \cdot 1 = 440 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

ANEXO I

1.1. SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

Para a determinação da demanda e da potência do sistema é necessário definir que o edifício habitacional em estudo possui 3 dormitórios sociais. Considera-se um total de 5 pontos de água quente, sendo 2 duchas, 2 misturadores em lavatórios e 1 misturador na cozinha.

- Número de dormitórios sociais: 3;
- Número de pessoas: 3 dormitórios sociais x 2 pessoas = 6 pessoas;
- Vazão máxima: 6 pessoas x 50 litros/dia/pessoa = 300 litros/dia.

Admite-se para a determinação da vazão dos pontos de consumo:

- Número de duchas: 2 duchas com vazão de 25 litros/minuto = 50 litros;
- Número de misturadores: 3 misturadores com vazão de 14 litros/minuto = 42 litros;
- Vazão máxima simultânea: 50 litros + 42 litros = 92 litros/minuto x 60 = 5.520 litros/hora.

Sendo assim, a potência útil do aquecedor a gás do tipo instantâneo é definida a partir da seguinte expressão:

$$Q = \frac{m_{\text{máxima}} \cdot c \cdot (T_{\text{consumo}} - T_{\text{água fria}})}{860} \quad [\text{kW}] \quad (6)$$

$$Q = \frac{(5,520 \times 1000) \cdot 1,00 \cdot (40 - 25)}{860} = 96,28 \text{ kW}$$

2. PLANILHA DE CÁLCULO RTQ-R

Tabela 1 – Planilha de cálculo – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes

Zona Bioclimática	ZB		ZB3	ZB3	ZB3	ZB3
Ambiente	Identificação	adimensional	QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 03	SALA
	Área útil do APP	m ²	14,20	14,20	23,40	31,30
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1	1	0
	Contato com solo	adimensional	0	0	0	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	4,00	4,00	4,00	0,00
	CTcob	kJ/m ² .K	250,00	250,00	250,00	1,00
	αcob	adimensional	0,75	0,75	0,75	0,00
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	2,45	2,45	2,45	2,45
	CTpar	kJ/m ² .K	389,00	389,00	389,00	389,00
	αpar	adimensional	0,20	0,20	0,20	0,20
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0	0
	CTalta	binário	1	1	1	1
	NORTE	m ²	0,00	0,00	6,38	9,30

Áreas de Paredes Externas do Ambiente	SUL	m ²	6,07	6,07	0,00	0,00
	LESTE	m ²	14,70	0,00	0,00	0,00
	OESTE	m ²	0,00	14,70	16,50	15,90
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	0,00	0,00	1,71	8,40
	SUL	m ²	2,63	2,63	0,00	0,00
	LESTE	m ²	0,00	0,00	0,00	0,00
Características das Aberturas	OESTE	m ²	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fvent	adimensional	0,82	0,82	0,56	0,68
Características Gerais	Somb	adimensional	0,00	0,00	0,00	0,00
	Área das Paredes Internas	m ²	21,30	21,30	39,62	29,40
	Pé Direito	m	3,00	3,00	3,00	3,00
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	C altura	adimensional	0,211	0,211	0,128	0,096
	isol	binário	0	0	0	0
	vid	binário	0	0	0	0
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	Uvid	W/m ² .K	0	0	0	0
	GHR	°C.h	D 2752	D 2640	E 3552	A 214
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	B 11,470	B 11,470	B 9,578	B 8,751
	Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m ² .ano	D 17,945	D 17,945	C 16,795

Tabela 2 - Planilha de cálculo – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes

Pré-requisitos por ambiente			QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 03	SALA
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	389	389	389	389
		Upar, CTpar e apar atendem?	Sim	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Não	Não	Não	Sim
		Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Sim	Sim
	Há corredor no Ambiente?		Não	Não	Não	Não
	Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?					
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m ²]	1,9008	1,9008	1,3106	6,6825
		Ai/Auamb (%)	13,39	13,39	8,74	21,35
		Atende 12,5%?	sim	sim	não	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	2,16	2,16	0,9576	5,7138
		Av/Auamb (%)	15,21	15,21	6,38	18,25
		Atende % mínima?	Sim	Sim	Não	Sim
		Tipo de abertura	abrir 90° com 2 folhas	abrir 90° com 2 folhas	abrir 90° com 2 folhas	abrir 90° com 2 folhas
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim	Sim

ANEXO I

		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não	Não	Não
		Atende?	Sim	Sim	Sim	Sim
Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente		Ponderação da nota pela área útil do ambiente	QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 03	SALA
	Envoltória para Verão	C	D	D	E	A
		2,85	2,00	2,00	1,00	5,00
	Envoltória para Inverno	C	C	C	C	B
		3,38	3,00	3,00	3,00	4,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	D	D	D	C	Não se aplica	
	2,45	2,00	2,00	3,00	0,00	

Tabela 3 – Planilha de cálculo – Análise do Pré-requisitos da Envoltória e Equivalente Numérico da Envoltória

Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Sim
	Medição individual de energia?		Sim
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte	7,629
		Área Aberturas orientação Sul	7,7218
		Área Aberturas orientação Leste	0
		Área Aberturas orientação Oeste	0
		A2/A1	0,987982077
	Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?		Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC	2
		Nº Banheiros com ventilação natural	2
Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?		Sim	
Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH		Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
	Envoltória para Verão	C	C
		2,85	2,85
	Envoltória para Inverno	C	C
		3,38	3,38
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	D	D	
	2,45	2,45	
Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos	Equivalente numérico da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH
		C	C
		3,04	3,04

Tabela 4 – Planilha de cálculo – Análise do Aquecimento de Água

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não
	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m ² K)/W ?	Sim
	Atende?	Sim
	As tubulações para água quente são metálicas?	Sim
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Sim
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	3
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	
	Atende?	Sim
	A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A
	Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?
Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?		Sim
Demanda		300(litros/dia)
Classificação		A
Nota final para o aquecimento de água		5,00

Tabela 5 – Planilha de cálculo – Análise das Bonificações

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m ²)	7,629
		AATVS (m ²)	7,7218
		AATVL (m ²)	0
		AATVO (m ²)	0
		ATFN (m ²)	31,004
		ATFS (m ²)	33,154
		ATFL (m ²)	0
		ATFNO (m ²)	83,3
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	24,6%
		Porosidade Sul	23,3%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	0,0%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Sim
		Bonificação	0,12
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Não
		Quais dispositivos?	
		Bonificação	0
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não
Bonificação		0	
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?	Não	
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	Menos que 50%
		Bonificação	0

	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
		Bonificação	0
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Não
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Não
		Bonificação	0
		Total de bonificações	0,42

Tabela 6 – Planilha de cálculo – Análise da Classificação Final da UH

Pontuação Total	Identificação	Edifício Habitacional "B"
		Envoltória para Verão
	Envoltória para Inverno	C 3,38
	Aquecimento de Água	A 5,00
	Equivalente numérico da envoltória	C 3,04
	Envoltória se refrigerada artificialmente	D 2,45
	Bonificações	0,42
	Região	Sudeste
	Coeficiente a	0,65

Classificação final da UH	B
Pontuação Total	4,15

APLICAÇÃO DO RTQ-R NO EDIFÍCIO “P”

3. CÁLCULOS

Nesta seção são apresentados os cálculos de entrada na planilha do RTQ-R. Os demais cálculos foram realizados automaticamente a partir da ferramenta de cálculo.

3.1. TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E CAPACIDADE TÉRMICA

PAREDE EXTERIOR

- Poliestireno expandido moldado ($e = 0,08\text{m}$; $\lambda = 0,037 \text{ W/ (m. K)}$; $\rho = 21\text{kg/m}^3$; $c = 1,42 \text{ kJ/kg. K}$);
- Tijolo cerâmico furado ($e = 0,22\text{m}$; $R = 0,52 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$; $\rho = 1200\text{kg/m}^3$; $c = 0,92 \text{ kJ/kg. K}$);
- Reboco interior ($e = 0,020\text{m}$; $\lambda = 1,30 \text{ W/ (m. K)}$; $\rho = 1800\text{kg/m}^3$; $c = 1 \text{ kJ/kg. K}$).

$$R_T = 0,13 + \frac{0,020}{1,30} + 0,52 + \frac{0,080}{0,037} + 0,04 = 2,87 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

$$U = \frac{1}{2,87} = 0,35 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$CT = 0,020 \cdot 1800 \cdot 1 + 0,22 \cdot 1200 \cdot 0,92 + 0,08 \cdot 21 \cdot 1,42 = 281 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

COBERTURA

- Telha cerâmica ($e \cong 0,01\text{m}$; $\rho = 2200\text{kg/m}^3$; $c = 0,92 \text{ kJ/kg. K}$);
- Caixa de ar ($e > 0,05\text{m}$);
- Poliestireno extrudido ($e = 0,08\text{m}$; $\lambda = 0,037 \text{ W/ (m.K)}$; $\rho = 25\text{kg/m}^3$; $c = 1,42 \text{ kJ/kg. K}$);
- Laje aligeirada de blocos cerâmicos ($e = 0,23\text{m}$; $R_{asc} = 0,23 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$; $R_{desc} = 0,23 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$; $\rho = 1200\text{kg/m}^3$; $c = 0,92 \text{ kJ/kg. K}$);
- Reboco ($e = 0,020\text{m}$; $\lambda = 1,15 \text{ W/ (m.}^\circ\text{C)}$; $\rho = 1800\text{kg/m}^3$; $c = 1 \text{ kJ/kg. K}$).

$$R_{T_{asc}} = 0,10 + \frac{0,08}{0,037} + 0,23 + \frac{0,02}{1,15} + 0,10 = 2,61 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

$$U_{asc} = \frac{1}{2,61} = 0,38 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$R_{T_{desc}} = 0,17 + \frac{0,08}{0,037} + 0,24 + \frac{0,02}{1,15} + 0,17 = 2,76 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

$$U_{desc} = \frac{1}{2,76} = 0,36 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$CT = 0,01 \cdot 2200 \cdot 0,92 + 0,08 \cdot 25 \cdot 1,42 + 0,23 \cdot 1200 \cdot 0,92 + 0,020 \cdot 1800 \cdot 1 = 313 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

PAREDE EM CONTACTO COM O EDIFÍCIO ADJACENTE

- Reboco exterior ($e = 0,020\text{m}$; $\lambda = 1,30 \text{ W/ (m. K)}$; $\rho = 1800\text{kg/m}^3$; $c = 1 \text{ kJ/kg. K}$);
- Tijolo cerâmico furado ($e = 0,22\text{m}$; $R = 0,52 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$); $\rho = 1200\text{kg/m}^3$; $c = 0,92 \text{ kJ/kg. K}$);
- Lã de rocha ($e = 0,040\text{m}$; $\lambda = 0,045 \text{ W/ (m. K)}$; $\rho = 35\text{kg/m}^3$; $c = 1 \text{ kJ/kg. K}$);
- Tijolo cerâmico furado ($e = 0,22\text{m}$; $R = 0,52 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$); $\rho = 1200\text{kg/m}^3$; $c = 0,92 \text{ kJ/kg. K}$);
- Reboco interior ($e = 0,020\text{m}$; $\lambda = 1,30 \text{ W/ (m. K)}$; $\rho = 1800\text{kg/m}^3$; $c = 1 \text{ kJ/kg. K}$).

$$R_T = 0,13 + \frac{0,020}{1,30} + 0,52 + \frac{0,040}{0,045} + 0,52 + \frac{0,020}{1,3} + 0,13 = 2,22 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$$

$$U = \frac{1}{2,22} = 0,45 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$CT = 0,02 \cdot 1800 \cdot 1 + 0,22 \cdot 1200 \cdot 0,92 + 0,04 \cdot 35 \cdot 1 + 0,22 \cdot 1200 \cdot 0,92 + 0,02 \cdot 1800 \cdot 1 \\ = 558 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

PAREDE INTERIOR

- Placa de gesso cartonado ($e = 0,013\text{m}$; $\rho = 750 \text{ kg/m}^3$; $c = 0,84 \text{ kJ/kg. K}$);
- Lã de rocha ($e = 0,040\text{m}$; $\rho = 90 \text{ kg/m}^3$; $c = 0,75 \text{ kJ/kg. K}$);
- Placa de gesso cartonado ($e = 0,013\text{m}$; $\rho = 750 \text{ kg/m}^3$; $c = 0,84 \text{ kJ/kg. K}$).

$$CT = 0,013 \cdot 750 \cdot 0,84 + 0,040 \cdot 90 \cdot 0,75 + 0,013 \cdot 750 \cdot 0,84 = 19 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

PAVIMENTO INTERMEDIÁRIO

- Enchimento em betão leve ($e = 0,05\text{m}$; $\lambda = 0,33 \text{ W/ (m. K)}$; $\rho = 800\text{kg/m}^3$; $c = 1 \text{ kJ/kg. K}$);
- Laje aligeirada de blocos cerâmicos ($e = 0,20\text{m}$; $R = 0,23 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) /W}$); $\rho = 1200\text{kg/m}^3$; $c = 0,92 \text{ kJ/kg. K}$);
- Reboco ($e = 0,010\text{m}$; $\lambda = 1,15 \text{ W/ (m. K)}$; $\rho = 1800\text{kg/m}^3$; $c = 1 \text{ kJ/kg. K}$).

$$CT = 0,05 \cdot 800 \cdot 1 + 0,20 \cdot 1200 \cdot 0,92 + 0,010 \cdot 1800 \cdot 1 = 279 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

3.2. SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

A determinação da demanda e da potência do sistema do edifício P está descrita na seção 1.1 do anexo I.

4. PLANILHA DE CÁLCULO RTQ-R

Tabela 7 – Planilha de cálculo – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes

Zona Bioclimática	ZB		ZB3	ZB3	ZB3	ZB3
Ambiente	Identificação	adimensional	QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 03	SALA
	Área útil do APP	m ²	14,20	14,20	23,40	31,30
Situação do piso e cobertura	Cobertura	adimensional	1	1	1	0
	Contato com solo	adimensional	0	0	0	1
	Sobre Pilotis	adimensional	0	0	0	0
Cobertura	Ucob	W/m ² .K	0,38	0,38	0,38	0,00
	CTcob	kJ/m ² .K	313,00	313,00	313,00	1,00
	αcob	adimensional	0,75	0,75	0,75	0,00
Paredes Externas	Upar	W/m ² .K	0,35	0,35	0,35	0,35
	CTpar	kJ/m ² .K	245,14	148,35	184,21	296,88
	αpar	adimensional	0,20	0,20	0,20	0,20
Característica construtiva	CTbaixa	binário	0	0	0	0
	CTalta	binário	1	0	0	1
Áreas de Paredes Externas do Ambiente	NORTE	m ²	0,00	0,00	6,38	9,30
	SUL	m ²	6,07	6,07	0,00	0,00
	LESTE	m ²	14,70	0,00	0,00	0,00
	OESTE	m ²	0,00	14,70	16,50	15,90
Áreas de Aberturas Externas	NORTE	m ²	0,00	0,00	1,71	8,40
	SUL	m ²	2,63	2,63	0,00	0,00
	LESTE	m ²	0,00	0,00	0,00	0,00
	OESTE	m ²	0,00	0,00	0,00	0,00
Características das Aberturas	Fvent	adimensional	0,82	0,82	0,56	0,68
	Somb	adimensional	0,00	0,00	0,00	0,00
Características Gerais	Área das Paredes Internas	m ²	21,30	21,30	39,62	29,40
	Pé Direito	m	3,00	3,00	3,00	3,00
	C altura	adimensional	0,211	0,211	0,128	0,096
Características de Isolamento Térmico para ZB 1 e ZB2	isol	binário	1	1	1	1
	vid	binário	1	1	1	1
	Uvid	W/m ² .K	2,8	2,8	2,8	2,8
Indicador de Graus-hora para Resfriamento	GHR	°C.h	C	C	C	A
			1973	2137	2383	65
Consumo Relativo para Aquecimento	CA	kWh/m ² .ano	B	B	B	B
			7,897	9,489	7,602	6,689
Consumo Relativo para Refrigeração	CR	kWh/m ² .ano	C	C	B	Não se aplica
			14,248	14,205	10,944	0,000

Tabela 8 - Planilha de cálculo – Análise da Envoltória e dos Pré-Requisitos dos Ambientes

Pré-requisitos por ambiente			QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 03	SALA
Pré Requisitos da Envoltória	Paredes externas	CT paredes externas	281,00	281,00	281,00	281,00
		Upar, CTpar e apar atendem?	Sim	Sim	Sim	Sim
	Cobertura	Ucob, Ctcob e acob atendem?	Sim	Sim	Sim	Sim
	Fatores para iluminação e ventilação natural	O ambiente é um dormitório?	Sim	Sim	Sim	Não
		Há corredor no Ambiente?	Não	Não	Não	Não
		Se sim, qual é a AUamb sem contar a área deste corredor?				
	Iluminação Natural	Área de abertura para iluminação [m ²]	1,9008	1,9008	1,3106	6,6825
		Ai/Auamb (%)	13,39	13,39	8,74	21,35
		Atende 12,5%?	sim	sim	não	sim
	Ventilação Natural	Área de abertura para ventilação	2,16	2,16	0,9576	5,7138
		Av/Auamb (%)	15,21	15,21	6,38	18,25
		Atende % mínima?	Sim	Sim	Não	Sim
		Tipo de abertura	abrir 90º com 2 folhas	abrir 90º com 2 folhas	abrir 90º com 2 folhas	abrir 90º com 2 folhas
		Abertura passível de fechamento?	Sim	Sim	Sim	Sim
		ZB8 ou média mensal de temperatura mínima acima ou igual a 20°C?	Não	Não	Não	Não
		Atende?	Sim	Sim	Sim	Sim
	Pontuação após avaliar os pré-requisitos por ambiente		Ponderação da nota pela área útil do ambiente	QUARTO 01	QUARTO 02	QUARTO 03
Envoltória para Verão		B	C	C	C	A
		3,75	3,00	3,00	3,00	5,00
Envoltória para Inverno		B	B	B	C	B
		3,72	4,00	4,00	3,00	4,00
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	C	C	C	Não se aplica	
	3,00	3,00	3,00	3,00	0,00	

Tabela 9 – Planilha de cálculo – Análise do Pré-requisitos da Envoltória e Equivalente Numérico da Envoltória

Pré Requisitos da Envoltória	Medição individual de água?		Sim
	Medição individual de energia?		Sim
	Ventilação Cruzada	Área Aberturas orientação Norte	7,629
		Área Aberturas orientação Sul	7,7218
		Área Aberturas orientação Leste	0
		Área Aberturas orientação Oeste	0
		A2/A1	0,987982077
		Atende A2/A1 maior ou igual a 0,25?	Sim
	Banheiros com Ventilação Natural	Nº BWC	2
		Nº Banheiros com ventilação natural	2
Atende 50% ou mais dos banheiros com ventilação natural?		Sim	
Pontuação após avaliar os pré-requisitos gerais da UH		Nota anterior aos pré-requisitos	Nota posterior ao pré-requisito de ventilação cruzada
	Envoltória para Verão	B	B
		3,75	3,75
	Envoltória para Inverno	B	B
		3,72	3,72
Envoltória se Refrigerada Artificialmente	C	C	
Pontuação após avaliar todos os pré-requisitos	Equivalente numérico da envoltória da UH	Nota anterior aos pré-requisitos gerais e ao pré-requisito dos banheiros com ventilação natural	Nota final da envoltória da UH
		B	B
		3,74	3,74

Tabela 10 – Planilha de cálculo – Análise do Aquecimento de Água

Pré-requisitos do sistema de aquecimento de água	As tubulações para água quente são apropriadas para a função de condução a que se destinam e atendem às normas técnicas de produtos aplicáveis?	Sim
	A edificação apresenta sistema de aquecimento de água?	Sim
	A edificação pertence a região Norte ou Nordeste?	Não
	O sistema apresenta aquecimento solar?	Não

	A estrutura do reservatório apresenta resistência térmica maior ou igual a 2,20 (m ² K)/W ?	Sim
	Atende?	Sim
	As tubulações para água quente são metálicas?	Sim
	A condutividade térmica da tubulação está entre 0,032 e 0,040 W/(mK)?	Sim
	Diâmetro nominal da tubulação (cm)	3
	Espessura do isolamento (cm)	1
	Condutividade do material alternativo à temperatura média indicada para a temperatura da água (W/mK)	
	Atende?	Sim
	A maior classificação que a UH pode atingir em aquecimento de água é:	A
	Sistema de aquecimento a Gás	Pré-requisito: os aquecedores a gás do tipo instantâneo e de acumulação possuem ENCE A ou B?
Potência do sistema de aquecimento e volume de armazenamento dentro da variação de + ou - 20%?		Sim
Demanda		300(litros/dia)
Classificação		A
		5
	Nota final para o aquecimento de água	A
		5,00

Tabela 11 – Planilha de cálculo – Análise das Bonificações

Bonificações			
Bonificação Ventilação Natural	Porosidade	ATAVN (m ²)	7,629
		AATVS (m ²)	7,7218
		AATVL (m ²)	0
		AATVO (m ²)	0
		ATFN (m ²)	31,004
		ATFS (m ²)	33,154
		ATFL (m ²)	0
		ATFNO (m ²)	83,3
		Pavimento da UH	1 ou 2
		Porosidade a Atender	20,0%
		Porosidade Norte	24,6%
		Porosidade Sul	23,3%
		Porosidade Leste	0,0%
		Porosidade Oeste	0,0%
		Atende pelo menos 2 fachadas?	Sim

		Bonificação	0,12
	Dispositivos Especiais	Todos os APP apresentam dispositivos especiais?	Não
		Quais dispositivos?	
		Bonificação	0
	Centro Geométrico	Todos os APP apresentam abertura com centro geométrico entre 0,40 e 0,70m?	Não
		Bonificação	0
Permeabilidade	Todos APP apresentam abertura intermediária com área livre $\geq 30\%$ da área da abertura?	Não	
	Bonificação	0	
Bonificação Iluminação Natural	Profundidade	50%+1 dos APP, cozinha e lavanderia atendem $P \leq 2,4 \cdot h_a$?	Sim
		Bonificação	0,2
	Refletância Teto	Todos os APPs, cozinha e lavanderia apresentam refletância do teto maior que 0,6?	Sim
		Bonificação	0,1
Outras Bonificações	Uso Racional de Água	Bonificação de uso racional de água	0
	Condicionamento Artificial de Ar	Bonificação de condicionamento artificial de ar	0
	Iluminação Artificial	Porcentagem das fontes de iluminação artificial com eficiência superior a 75 lm/W ou com Selo Procel (em todos os ambientes)	Menos que 50%
		Bonificação	0
	Ventiladores de Teto	Ventiladores de teto com Selo Procel em 2/3 dos ambientes de permanência prolongada?	Não
		Bonificação	0
	Refrigeradores	Apresenta refrigerador(es) com ENCE nível A ou Selo Procel?	Não
		Garante as condições adequadas de instalação conforme recomendações do fabricante?	Sim
		Bonificação	0
	Medição Individualizada de Aquecimento de Água	Apresenta medição individualizada de água quente?	Não
Bonificação		0	
		Total de bonificações	0,42

Tabela 12 – Planilha de cálculo – Análise da Classificação Final da UH

Pontuação Total	Identificação	Edifício Habitacional "P"	
	Envoltória para Verão	B	
			3,75
	Envoltória para Inverno	B	
			3,72
	Aquecimento de Água	A	
			5,00
	Equivalente numérico da envoltória	B	
			3,74
	Envoltória se refrigerada artificialmente	C	
		3,00	
Bonificações		0,42	
Região		Sudeste	
Coeficiente a		0,65	

Classificação final da UH	A
Pontuação Total	4,60

ANEXO II – APLICAÇÃO DO REH

APLICAÇÃO DO REH NO EDIFÍCIO HABITACIONAL “B”

1. DADOS CLIMÁTICOS

O edifício habitacional “B” se localiza no Município do Porto, situado na região NUTS III Grande Porto, a uma altitude de 20m.

$$z = 20 \text{ m} = 0,020 \text{ km}$$

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

Para a determinação dos dados climático foi utilizada a expressão (4.1) para cada parâmetro, que considera a altura de referência, o valor de referência do parâmetro e o declive.

$$X = X_{\text{REF}} + \alpha (z - z_{\text{REF}})$$

1.1. DADOS CLIMÁTICOS DA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

O estudo da estação de aquecimento consiste na determinação dos seguintes parâmetros:

Duração da estação de aquecimento:

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

$$a = 2 \text{ mês/km}$$

$$M = 6,2 + 2 \cdot (0,020 - 0,094) = 6,1 \text{ meses}$$

Número de graus-dias de aquecimento (na base de 18°C):

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

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

$$GD = 1250 + 1600 \cdot (0,020 - 0,094) = 1132^{\circ}\text{C/dias}$$

Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul:

$$G_{\text{sul}} = 130 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mês})$$

Definição da zona climática de aquecimento:

$$GD = 1132^{\circ}\text{C} < 1300^{\circ}\text{C} \quad \text{Zona I1}$$

Sendo o número de graus-dias inferior a 1300°C, a zona climática é I1.

1.2. DADOS CLIMÁTICOS DA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

O estudo da estação de arrefecimento consiste na determinação dos seguintes parâmetros:

Temperatura exterior média:

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

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

$$\theta_{\text{ext,v}} = 20,9 + 0 \cdot (0,020 - 0,094) = 20,9^{\circ}\text{C}$$

Energia solar acumulado durante a estação de arrefecimento, I_{sol} em kWh/m²:

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
800	220	350	490	490	425	490	490	350

Definição da zona climática de arrefecimento:

$$\theta_{\text{ext,v}} = 20,9^{\circ}\text{C} \text{ como } 20^{\circ}\text{C} < 20,9^{\circ}\text{C} \leq 22^{\circ}\text{C} \quad \text{Zona V2}$$

Sendo a temperatura exterior média superior a 20°C e inferior a 22°C, a zona climática é V2.

2. DEFINIÇÃO DA ENVOLVENTE

No edifício habitacional em estudo são considerados como espaços não úteis o edifício adjacente e o desvão da cobertura. Sendo assim, o elemento em contacto com o edifício adjacente é definido como envolvente interior com requisitos de interior, pois apresenta o valor do coeficiente de redução de perdas igual a 0,6 ($b_{tr} = 0,6$), e o desvão da cobertura se configura como um ENU fortemente ventilado ($b_{tr} = 1$), portando o elemento que separa o espaço interior útil do não útil é definido como envolvente interior com requisitos de exterior.

A representação das diferentes envolventes do edifício estão apresentadas na Figura 1 e Figura 2.

ANEXO II

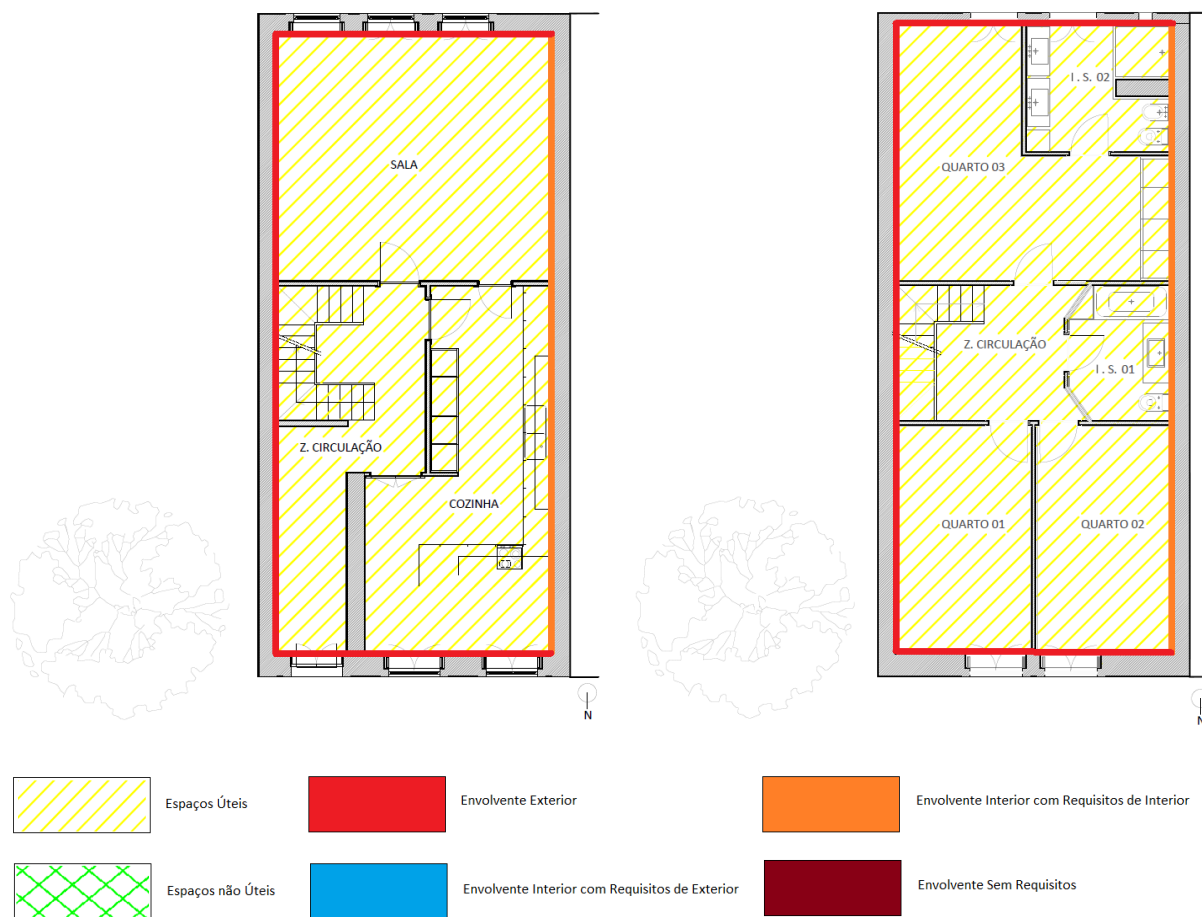


Figura 1 - Plantas do piso térreo e primeiro andar com definição das envolventes

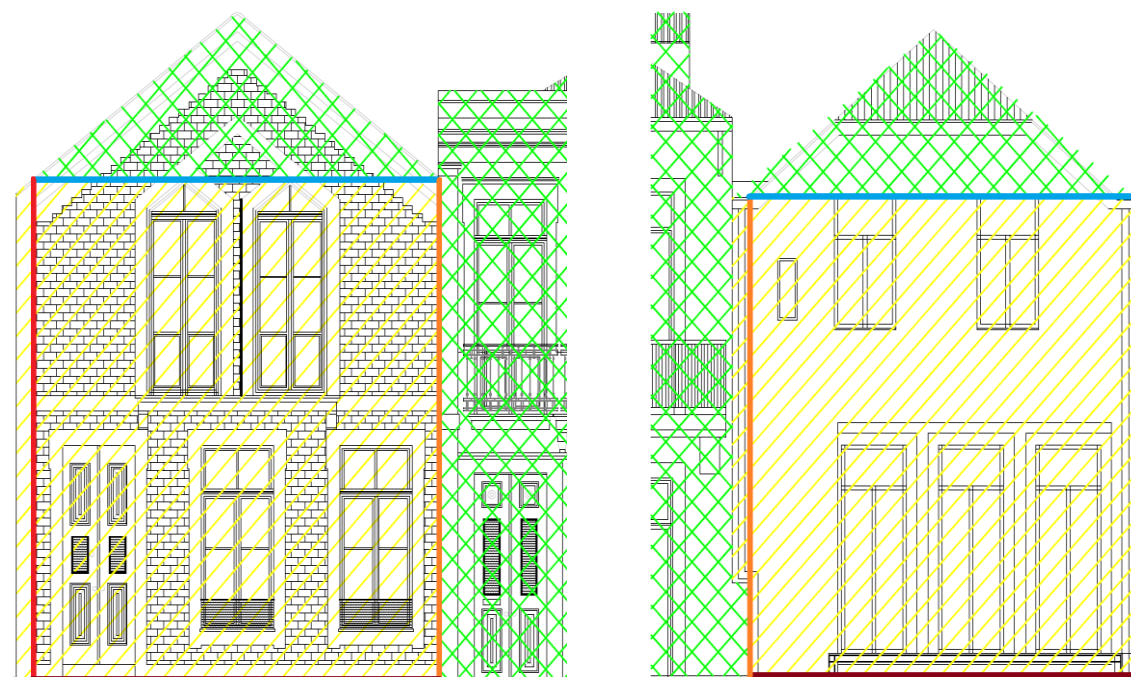


Figura 2- Fachada principal (norte) e fachada posterior (sul) com definição das envolventes

3. REQUISITOS DE QUALIDADE TÉRMICA

3.1. ENVOLVENTE OPACA EM ZONA CORRENTE

A verificação dos requisitos de qualidade térmica do edifício habitacional “B”, consiste na determinação dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente em zona corrente (Figura 3, Figura 4 e Figura 5).

Cobertura:

- Telha cerâmica;
- Caixa de ar ($e > 0,05\text{m}$);
- Laje maciça de betão ($e = 0,10\text{m}$; $\lambda = 2,00 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$).

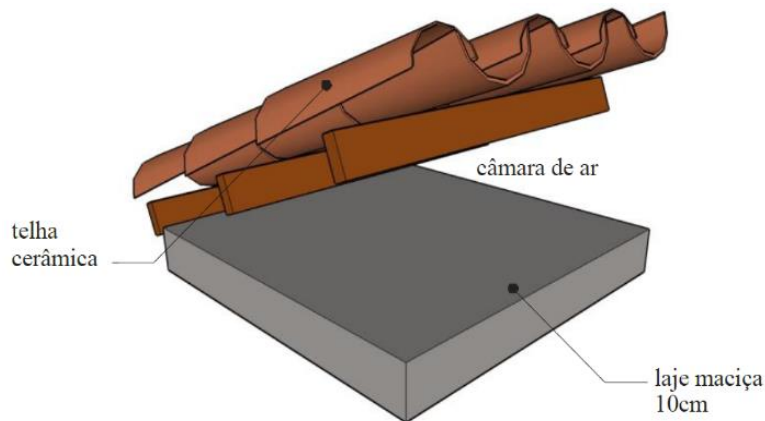


Figura 3 – Esquema da solução construtiva adotada na cobertura (adaptado do INMETRO, 2017)

Inverno (ascendente):

$$R = 0,10 + \frac{0,10}{2,00} + 0,10 = 0,25 \text{ (m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,25} = 4,00 \text{ W/(m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

$$U_{\text{máx}} = 0,40 \text{ W/(m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

$$U > U_{\text{máx}}, \text{ Não verifica !}$$

Verão (descendente):

$$R = 0,17 + \frac{0,10}{2,00} + 0,17 = 0,39 \text{ (m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,39} = 2,56 \text{ W/(m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

O valor de $U_{\text{máx}}$ está indicado na Tabela 4.8 da metodologia de cálculo apresentada no Capítulo 4.

ANEXO II

Paredes exteriores:

- Reboco exterior (e = 0,025m; $\lambda = 1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);
- Bloco de concreto (e = 0,14m; $R = 0,20 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{W}$);
- Reboco interior (e = 0,025m; $\lambda = 1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$).

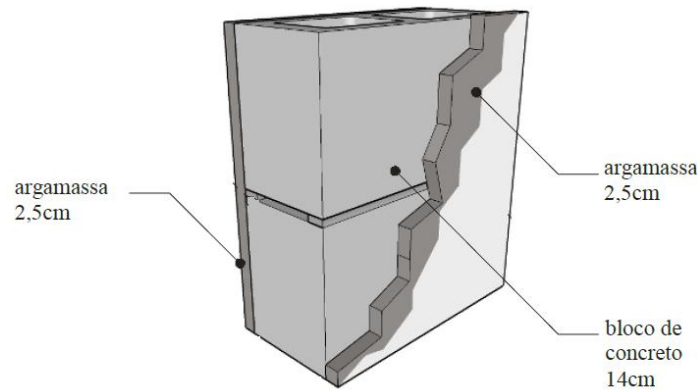


Figura 4 –Esquema da solução construtiva adotada nas paredes exteriores (adaptado do INMETRO, 2017)

$$R = 0,13 + \frac{0,025}{1,30} + 0,20 + \frac{0,025}{1,30} + 0,04 = 0,41 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,41} = 2,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$U_{\text{máx}} = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$U > U_{\text{máx}}, \text{ Não verifica !}$$

O valor de $U_{\text{máx}}$ está indicado na Tabela 4.8 da metodologia de cálculo apresentada no Capítulo 4.

Paredes para espaços não úteis:

- Reboco exterior (e = 0,025m; $\lambda = 1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);
- Bloco de concreto (e = 0,14m; $R = 0,20 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) / \text{W}$);
- Reboco interior (e = 0,025m; $\lambda = 1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$).

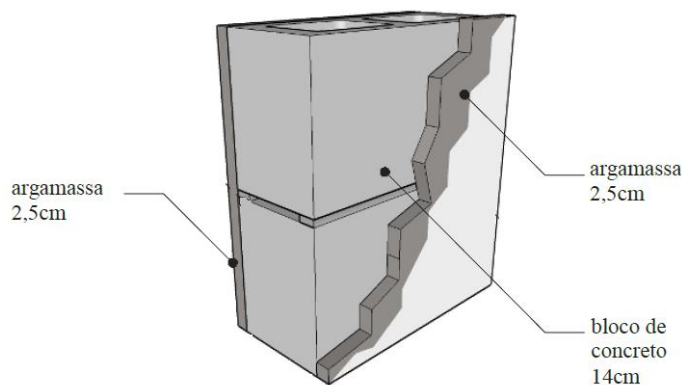


Figura 5- Esquema da solução construtiva adotada nas paredes para espaços não úteis (adaptado do INMETRO, 2017)

$$R = 0,13 + \frac{0,025}{1,30} + 0,20 + \frac{0,025}{1,30} + 0,13 = 0,50 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{0,50} = 2,00 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$U_{\text{máx}} = 2,00 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$U = U_{\text{máx}}, \text{ Verifica !}$$

O valor de $U_{\text{máx}}$ está indicado na Tabela 4.7 da metodologia de cálculo apresentada no Capítulo 4.

A Tabela 1 do anexo II apresenta um quadro resumo dos requisitos da envolvente opaca.

Tabela 1- Quadro resumo dos requisitos da envolvente opaca

Elemento	U (W/m ² . °C)	U _{máx} (W/m ² . °C)	Verificação
Cobertura	4,00	0,40	Não Atende
Paredes exteriores	2,45	0,50	Não Atende
Paredes para espaços não úteis	2,00	2,00 (btr ≤ 0,7)	Atende

3.2. PONTES TÉRMICAS PLANAS

Na edificação habitacional em estudo (edifício habitacional “B”) não há PTP, pois os pilares localizam-se nas ligações entre paredes exteriores e entre as paredes exteriores e a parede do edifício adjacente apresentando assim as dimensões dos cunhais, e as vigas apresentam-se embebidas na estrutura.

3.3. ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados apresentam as seguintes características:

- Vidro simples incolor de 5mm;
- Caixilharia em madeira;

ANEXO II

- Proteção interna: cortinas opacas em cor clara.

Para a verificação dos requisitos mínimos da qualidade dos envidraçados compara-se a área de envidraçado de cada ambiente com o valor referente à 15% da área do ambiente.

Tabela 2- Área dos envidraçados

Ambiente	A _{pav} (m ²)	15%. A _{pav} (m ²)	Envidraçado		Observações
			Área (m ²)	Orientação	
Cozinha	25,80	3,87	4,66	N	Orientação dispensa verificação
Sala	31,30	4,70	8,40	S	> 15%.A _{pav}
Quarto 1	14,20	2,13	2,63	N	Orientação dispensa verificação
Quarto 2	14,20	2,13	2,63	N	Orientação dispensa verificação
Quarto 3	23,40	3,51	1,71	S	<15%.A _{pav}
Instalação Sanitária 2	8,00	1,20	1,96	S	> 15%.A _{pav}

- g_{lvi} = 0,87 (Incolor de 5 mm);

- g_{Tvc} = 0,33 (Cortinas opacas em cor clara);

- g_T = $\frac{0,87 \cdot 0,33}{0,85} = 0,34$ (Fator solar global para vidro simples, calculado a partir da expressão (4.7);

- g_{Tmáx} = 0,56 (inércia forte).

Tabela 3- Verificações regulamentares dos envidraçados

Envidraçado	A _{env}	A _{pav}	F _o	F _f	F _o . F _f	F _o . F _f ≤ 0,9	g _T	g _T . F _o . F _f	A _{env} > 15%. A _{pav}	Observações
									g _{Tmáx} . [0,15/(A _{env} /A _{pav})]	
Sala	8,40	31,30	1	1	1	0,9	0,34	0,30	0,31	Atende
Instalação Sanitária 2	1,96	8,00	1	1	1	0,9	0,34	0,30	0,34	Atende
Envidraçado	A _{env}	A _{pav}	F _o	F _f	F _o . F _f	F _o . F _f ≤ 0,9	g _T	g _T . F _o . F _f	A _{env} ≤ 15%. A _{pav}	Observações
Quarto 3	1,71	23,40	1	1	1	0,9	0,34	0,30	g _{Tmáx} 0,56	

As janelas do edifício não cumprem ao requisito energético indicado na Tabela 4.8.

$$U_{\text{wdn}} = 4,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot ^\circ\text{C} > U_{\text{máx}} = 2,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot ^\circ\text{C}, \text{ Não verifica!}$$

3.4. TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR

Para determinar o valor de $R_{\text{ph},i}$ da edificação habitacional em estudo, foi utilizada a ferramenta de cálculo do LNEC. A taxa de renovação de ar verificada no edifício foi de $0,4 \text{ h}^{-1}$, cumprindo assim o requisito mínimo de qualidade. A folha de cálculo do LNEC consta na seção 9 do anexo II deste trabalho.

3.5. REQUISITOS DOS SISTEMAS TÉCNICOS

O edifício habitacional em estudo não especifica se existem sistemas em projeto ou instalados, sendo assim a metodologia do REH determina que sejam consideradas as soluções indicadas na Tabela 4.46, de acordo com a Portaria nº 319/2016, para os diferentes tipos de sistemas.

Admitiu-se para este trabalho que o edifício habitacional “B” não possui sistemas para aquecimento e arrefecimento ambiente e a preparação de AQS é feita a partir de um sistema de aquecimento a gás do tipo instantâneo (esquentador).

A metodologia do REH instrui que para as situações em que os sistemas não se encontrem especificados, sejam adotados sistemas de aquecimento e resfriamento de ambiente de acordo com soluções de referência. As características dos sistemas de climatização adotados para efeito de cálculo das necessidades de energia primária do edifício em estudo, estão de acordo com as soluções de referência de sistemas apresentadas na Tabela 4.46.

Para o sistema de aquecimento ambiente, admite-se o valor do índice de eficiência de energia (EER, sigla em inglês) igual a 1, e o fator de conversão entre energia final e energia primária, F_{pu} , igual a 2,5 $\text{kWh}_{\text{EP}}/\text{kWh}$. Para o sistema de arrefecimento do ambiente, admite-se um sistema de ar condicionado do tipo split com permuta ar-ar, classe B, com $\text{EER} = 3,01$ e $F_{\text{pu}} = 2,5 \text{ kWh}_{\text{EP}}/\text{kWh}$.

Para a preparação de AQS, o sistema de aquecimento a gás do tipo instantâneo adotado atende ao rendimento nominal especificado para os esquentadores, apresentando assim, rendimento nominal igual a 0,84 e potência do equipamento superior a 10 kW. O valor do F_{pu} é igual a 1,0 e a parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS, $f_{a,k}$, supridas pelo sistema adotado é igual a 1,0.

4. CÁLCULOS EFETUADOS

4.1. COMPORTAMENTO TÉRMICO NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

4.1.1. Transferência de calor por transmissão

ANEXO II

Ao longo da estação de aquecimento a transferência de calor por transmissão é determinada a partir da seguinte expressão:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i}$$

$$GD = 1132 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs}$$

O coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, H_{ext} :

Tabela 4-Determinação do coeficiente de transmissão térmica de elementos em contacto com o exterior

		Área	U	A. U
Envolvente Exterior	Portas	2,10	2,00	4,20
	Paredes	145,32	2,45	356,03
	$\Sigma A =$	147,42	$\Sigma A.U =$	360,23
Envidraçados	Cozinha N	4,66	4,30	20,04
	Quarto 1 N	2,63	4,30	11,31
	Quarto 2 N	2,63	4,30	11,31
	Quarto 3 S	1,71	4,30	7,35
	Instalação Sanitária 2 S	1,96	4,30	8,43
	Sala S	8,40	4,30	36,12
	$\Sigma A =$	21,99	$\Sigma A.U =$	94,56

Tabela 5- Determinação do coeficiente de transmissão térmica através das pontes térmicas lineares

		Tipo	B	ψ	B. ψ
Pontes Térmicas	Fachada com pavimento térreo		25,10	0,80	20,08
	Fachada com cobertura		25,10	1,00	25,10
	Duas paredes verticais em ângulo saliente		13,04	0,50	6,52
	Fachada com pavimento de nível intermediário		50,20	0,50	25,10
	Fachada com caixilharia		63,25	0,25	15,81
	$\Sigma B.\psi =$				92,61

$$H_{ext, total} = 360,23 + 94,56 + 92,61 = 547,40 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, H_{enu} :

Tabela 6 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica de elementos em contacto com espaços não úteis

		A	U	A. U
Ático (desvão da cobertura)	Laje da cobertura em contacto com o ático	78,47	4,0	313,88

$$H_{enu,total} = 313,88 \times b_{tr} = 313,88 \times 1,0 = 313,88 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo, H_{ecs} , é definido em função da Tabela 4.25.

$$z = 0$$

$$H_{ecs} = U_{bfi} \cdot A_i$$

$$A_i = 78,47 \text{ m}^2$$

$$P = 38,40 \text{ m}$$

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \cdot P} = \frac{78,47}{0,5 \cdot 38,40} = 4,09 \text{ m}$$

$$R = \frac{0,20}{2} = 0,10 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$$

$$U_{bf} = 0,57$$

$$H_{ecs} = 0,57 \cdot 78,47 = 44,73 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, H_{adj} :

Tabela 7 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica de elementos em contacto com edifícios adjacentes

	A	U	A. U
Edifício adjacente	83,3	2,0	166,6

$$H_{adj,total} = 166,6 \cdot b_{tr} = 166,6 \cdot 0,60 = 99,96 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Assim, o coeficiente global de transferência por transmissão na estação de aquecimento é:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} + H_{adj}$$

$$H_{tr,i} = 547,40 + 313,88 + 44,73 + 99,96 = 1005,97 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O valor da transferência de calor por transmissão global ao longo da estação de aquecimento é:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i}$$

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot 1132 \cdot 1005,97 = 27330,06 \text{ kWh}$$

4.1.2. Transferência de calor por ventilação

Ao longo da estação de aquecimento a transferência de calor por ventilação é determinada a partir da seguinte expressão:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i}$$

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d$$

ANEXO II

O valor de $R_{ph,i}$ determinado a partir das folhas de cálculo do LNEC é de $0,4 \text{ h}^{-1}$, cumprindo assim o requisito mínimo de qualidade.

O coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, $H_{ve,i}$:

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d = 0,34 \cdot 0,4 \cdot 151,90 \cdot 3,00 = 61,98 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O valor da transferência de calor por ventilação ao longo da estação de aquecimento é:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot G_D \cdot H_{ve,i} = 0,024 \cdot 1132 \cdot 61,98 = 1683,74 \text{ kWh}$$

4.1.3. Inércia térmica

A inércia térmica do edifício em estudo foi quantificada em função das soluções construtivas adotadas para os diferentes elementos, como se observa na Tabela 8.

Tabela 8 – Determinação da inércia térmica

Tipo	Elemento da construção	Massa superficial útil						r_i	S_i (m ²)	$M_{si} \cdot r_i \cdot S_i$ (kg)
		$M_{si} =$	Elementos	espessura (m)	ρ (kg/m ³)	M_{si} (kg/m ²)	$M_{si \text{ máx}}$ (kg/m ²)			
EL1	Parede exterior	mt/2	reboco	0,025	1800	194,59	150	1	145,36	21804,0
			bloco de concreto	0,140	2137					
			reboco	0,025	1800					
	Parede interior com requisito de interior	mt/2	reboco	0,025	1800	194,59	150	1	83,26	12489,0
			bloco de concreto	0,140	2137					
			reboco	0,025	1800					
EL2	Pav. Térreo	150 kg/m ² *	-	-	-	150,00	150	1	78,47	11770,5
EL3	Pav. Interior	mt	laje maciça	0,200	2200	440,00	300	1	78,47	23541,0
	Parede interior entre a Z. de circulação e a cozinha	mt	reboco	0,025	1800	389,18	300	1	11,70	3510,0
			bloco de concreto	0,140	2137					
			reboco	0,025	1800					

*No caso de elementos em contacto com o solo que não possuam isolamento térmico, M_{si} corresponderá a 150 kg/m².

$$\sum M_{si} \cdot S_i \cdot r_i = 73114,5$$

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \cdot S_i \cdot r_i}{A_p} = \frac{73114,5}{151,90} = 481,33 \text{ kg/m}^2$$

Como o valor obtido é superior a 400 kg/m², a inércia térmica é considerada forte.

4.1.4. Ganhos térmicos brutos

Os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento dependem dos ganhos térmicos associados as fontes internas e calor e ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados.

Os ganhos térmicos internos na estação de aquecimento são determinados a partir da seguinte expressão:

$$Q_{int,i} = 0,72 \cdot 4 \cdot M \cdot A_p$$

$$Q_{int,i} = 0,72 \cdot 4 \cdot 6,1 \cdot 151,90 = 2668,58 \text{ kWh}$$

Os ganhos solares brutos na estação de aquecimento são determinados a partir da seguinte expressão:

$$Q_{sol,i} = G_{sol} \cdot \sum_j [X_j \cdot \sum_n F_{s,i_j} \cdot A_{s,i_j}] \cdot M$$

$$G_{sol} = 130 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mês})$$

$$M = 6,1 \text{ meses}$$

Tabela 9 – Ganhos solares brutos na estação de aquecimento

Envidraçado	X	F _h	F _o	F _f	F _o · F _f	F _o · F _f ≤ 0,9	F _s	X · F _s	X · F _s ≥ 0,27	A _w	F _g	g _i	A _s	X · (F _s · A _s)
Cozinha N	0,27	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	0,24	0,27	4,66	0,57	0,70	1,86	0,50
Quarto 1 N	0,27	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	0,24	0,27	2,63	0,57	0,70	1,05	0,28
Quarto 2 N	0,27	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,90	0,24	0,27	2,63	0,57	0,70	1,05	0,28
Quarto 3 S	1,00	0,45	1,00	1,00	1,00	0,90	0,41	0,41	0,41	1,71	0,65	0,70	0,78	0,32
Instalação Sanitária 2 S	1,00	0,45	1,00	1,00	1,00	0,90	0,41	0,41	0,41	1,96	0,65	0,70	0,89	0,36
Sala S	1,00	0,45	1,00	1,00	1,00	0,90	0,41	0,41	0,41	8,40	0,65	0,70	3,83	1,55
									Σ	21,99			Σ	3,30

$$Q_{sol,i} = 130 \cdot 3,30 \cdot 6,1 = 2618,72 \text{ kWh}$$

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} = 2668,58 + 2618,72 = 5287,29 \text{ kWh}$$

4.1.5. Ganhos térmicos úteis

Os ganhos térmicos úteis são determinados a partir da seguinte expressão:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i}$$

$$y = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve}) = 5287,29 / (27330,06 + 1683,74) = 0,18$$

$$y \neq 1 \text{ e } y > 0, \text{ então } \eta = \frac{1 - y^a}{1 - y^{a+1}}$$

$$a = 4,2 \text{ (inércia térmica forte)}$$

$$\eta = \frac{1 - y^a}{1 - y^{a+1}} = \frac{1 - 0,18^{4,2}}{1 - 0,18^{4,2+1}} = 0,99$$

$$Q_{gu,i} = \eta_i \times Q_{g,i} = 1,00 \cdot 5287,29 = 5283,90 \text{ kWh}$$

4.1.6. Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é determinado a partir da seguinte expressão:

$$N_{ic} = (Q_{tr,j} + Q_{ve,j} - Q_{gu,i}) / A_p = (27330,0 + 1683,74 - 5283,90) / 151,90 = 156,22 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

4.1.7. Valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil

O valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil para a estação de aquecimento é determinado a partir da utilização de soluções de referência e limitando a área de envidraçados.

O valor da transferência por transmissão térmica de referência através de elementos em contacto com o exterior é:

Tabela 10 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica de referência de elementos em contacto com o exterior

		Área	U_{ref}	A. U_{ref}
Envolvente Exterior	Portas	2,10	0,50	1,05
	Paredes	145,36	0,50	72,68
	$\Sigma=$	147,46	$\Sigma A.U=$	73,73
Envidraçados	Cozinha N	4,66	2,80	13,05
	Quarto 1 N	2,63	2,80	7,36
	Quarto 2 N	2,63	2,80	7,36
	Quarto 3 S	1,71	2,80	4,79
	Instalação Sanitária 2 S	1,96	2,80	5,49
	Sala S	8,40	2,80	23,52
	$\Sigma=$	21,99	$\Sigma A.U=$	61,57

A área de vãos envidraçados é inferior a 20% da área interior útil de pavimento.

Tabela 11 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica de referência através das pontes térmicas lineares

		Tipo	B	ψ	B. ψ
Pontes Térmicas	Fachada com pavimento térreo		25,10	0,50	12,55
	Fachada com cobertura		25,10	0,50	12,55
	Duas paredes verticais em ângulo saliente		13,04	0,40	5,22
	Fachada com pavimento de nível intermediário		50,20	0,50	25,10
	Fachada com caixilharia		63,25	0,20	12,65
				$\Sigma B.\psi_{ref}=$	68,07

$$H_{\text{ext,ref,total}} = 61,57 + 68,07 = 203,37 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O valor da transferência de calor de referência através de elementos em contacto com espaços não úteis é:

Tabela 12 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica de referência de elemento em contacto com espaços não úteis

	A	U_{ref}	A . U_{ref}
Ático (desvão)	78,47	0,4	31,4

$$H_{\text{enu,ref}} = b_{\text{tr}} \cdot (A \cdot U_{\text{ref}}) = 1,00 \cdot 31,39 = 31,39 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O valor da transferência de calor de referência através de elementos em contacto com o solo é:

$$A_i = 78,47 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{ref}} = 0,50$$

$$H_{\text{ecs,ref}} = 0,5 \cdot 78,47 = 39,24 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O valor de transferência de calor de referência através de elementos em contacto com edifícios adjacentes é:

Tabela 13 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica de referência de elementos em contacto com edifícios adjacentes

	A	U_{ref}	A . U_{ref}
Edifício adjacente	83,3	0,80	66,64

$$H_{\text{adj,ref}} = b_{\text{tr}} \cdot (A \cdot U_{\text{ref}}) = 0,60 \cdot 66,64 = 39,98 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O valor do coeficiente global de transferência de calor por transmissão de referência na estação de aquecimento é:

$$H_{\text{tr,i,ref}} = 203,37 + 31,39 + 39,24 + 39,98 = 313,97 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{tr,i,ref}} = 0,024 \cdot \text{GD} \cdot H_{\text{tr,i,ref}} = 0,024 \cdot 1132 \cdot 313,97 = 8530,02 \text{ kWh}$$

O valor da transferência de calor por ventilação de referência é:

$$H_{\text{vei,i,ref}} = 0,34 \cdot R_{\text{ph,ref}} \cdot A_p \cdot P_d = 0,34 \cdot 0,40 \cdot 151,90 \cdot 3,00 = 61,98 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{ve,i,ref}} = 0,024 \cdot \text{GD} \cdot H_{\text{ve,i,ref}} = 0,024 \cdot 1132 \cdot 61,98 = 1683,74 \text{ kWh}$$

Os ganhos térmicos de referência na estação de aquecimento são:

- Ganhos térmicos brutos

$$Q_{\text{sol,i,ref}} = G_{\text{sul}} \cdot 0,146 \cdot 0,15 \cdot A_p \cdot M$$

ANEXO II

$$Q_{sol,i,ref} = 130 \cdot 0,146 \cdot 0,15 \cdot 151,90 \cdot 6,1 = 2638,0 \text{ kWh}$$

$$Q_{int,i,ref} = 0,72 \cdot 4 \cdot M \cdot A_p$$

$$Q_{int,i,ref} = 0,72 \cdot 4 \cdot 6,1 \cdot 151,90 = 2668,58 \text{ kWh}$$

$$Q_{g,i,ref} = Q_{int,i,ref} + Q_{sol,i,ref} = 2668,58 + 2638,0 = 5306,58 \text{ kWh}$$

- Ganhos totais úteis

$$\eta_{i,ref} = 0,60$$

$$Q_{gu,i,ref} = \eta_i \cdot Q_{g,i,ref} = 0,60 \cdot 5306,58 = 3183,95 \text{ kWh}$$

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil máxima para a estação de aquecimento é:

$$N_i = (Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref}) / A_p = (8530,02 + 1683,74 - 3183,95) / 151,90 = 46,28 \text{ kWh /m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_{ic} = 156,22 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_i = 46,28 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_{ic} > N_i, \text{ Não verifica !}$$

4.2. COMPORTAMENTO TÉRMICO NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

4.2.1. Transferência de calor por transmissão

A transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente é determinada a partir da seguinte expressão:

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \cdot (25 - \theta_{v,ext}) \cdot 2,928$$

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} = 547,40 + 313,88 + 44,73 = 906,01 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$\theta_{v,ref} = 25,0^\circ\text{C}$$

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

$$Q_{tr,v} = 906,01 \times (25 - 20,9) \cdot 2,928 = 10876,41 \text{ kWh}$$

4.2.2. Transferência de calor por renovação do ar

A transferência de calor por renovação do ar durante a estação de arrefecimento é determinada a partir da seguinte expressão:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (25 - \theta_{v,ext}) \times 2,928$$

$$H_{ve,v} = 0,34 \cdot R_{ph,v} \cdot A_p \quad P_d = 0,34 \cdot 0,60 \cdot 151,90 \cdot 3,0 = 92,96 \text{ kWh}$$

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (25 - \theta_{v,ext}) \cdot 2,928 = 92,96 \cdot (25 - 20,9) \cdot 2,928 = 1116,0 \text{ kWh}$$

4.2.3. Ganhos térmicos brutos

Os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento estão associados as fontes internas de calor e a radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada.

$$Q_{int,v} = 4 \cdot A_p \cdot 2,928$$

$$Q_{int,v} = 4 \cdot 151,90 \cdot 2,928 = 1779,05 \text{ kWh}$$

$$Q_{sol,v} = \sum_j [I_{sol,j} \cdot \sum_n F_{s,vnj} \cdot A_{s,vnj}]$$

Tabela 14 – Ganhos solares brutos na estação de arrefecimento

Envidraçado	I _{sol}	F _o	F _f	F _o · F _f	< 0,9	F _s	F _w	g _{Lvi}	g _{TP}	g _r	F _{mv}	g _v	F _g	A _w	A _s	F _s · A _s · I _{sol}	
Cozinha N	220	1	1	1	0,90	0,90	0,80	0,78	0,62	0,34	0	0,62	0,57	4,66	1,66	328,18	
Quarto 1 N	220	1	1	1	0,90	0,90	0,80	0,78	0,62	0,34	0	0,62	0,57	2,63	0,94	185,22	
Quarto 2 N	220	1	1	1	0,90	0,90	0,80	0,78	0,62	0,34	0	0,62	0,57	2,63	0,94	185,22	
Quarto 3 S	425	1	1	1	0,90	0,90	0,75	0,78	0,59	0,34	0,6	0,44	0,65	1,71	0,49	185,64	
Instalação Sanitária 2 S	425	1	1	1	0,90	0,90	0,75	0,78	0,59	0,34	0,6	0,44	0,65	1,96	0,56	212,79	
Sala S	425	1	1	1	0,90	0,90	0,75	0,78	0,59	0,34	0,6	0,44	0,65	8,40	2,38	911,94	
														ΣA _w =	21,99	ΣF _s · A _s · I _{sol} =	2008,98

Tabela 15 – Ganhos solares brutos na estação de arrefecimento

Paredes exteriores	α	A _{op}	U	R _{se}	A _s	F _s	I _{sol}	I _{sol} · F _s · A _s	
PDE1 N	0,40	31,05	0,42	0,04	0,21	1	220	45,91	
PDE1 S	0,40	31,00	0,42	0,04	0,21	1	425	88,55	
PDE1 E	0,40	83,26	0,42	0,04	0,56	1	490	274,15	
		Σ A _{op} =	145,32					Σ	408,61

Tabela 16 – Ganhos solares brutos na estação de arrefecimento

Cobertura em desvão	α	A _{op}	U	R _{se}	A _s	F _s	I _{sol}	fator	fator · (I _{sol} · F _s · A _s · α · R _{se})
CBE 1	0,40	96,03	0,33	0,04	0,51	1,00	800,00	0,80	5,19

Tabela 17 – Ganhos solares brutos na estação de arrefecimento

Vão opaco ext.	α	A _{op}	U	R _{se}	A _s	F _s	I _{sol}	I _{sol} · F _s · A _s
VOE1 N	0,50	2,10	2,00	0,04	0,08	1,00	220,00	18,48

$$Q_{sol,v} = 2008,98 + 408,61 + 5,19 + 18,48 = 2441,26 \text{ kWh}$$

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} = 1779,05 + 2441,26 = 4220,32 \text{ kWh}$$

4.2.4. Necessidades nominais de energia útil para a estação de arrefecimento

O valor das necessidades nominais de energia útil para a estação de arrefecimento é:

$$y = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve}) = 4220,32 / (10876,41 + 1116,00) = 0,35$$

$$\gamma \neq 1 \text{ e } \gamma > 0, \text{ então } \eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}$$

$$a = 4,2 \text{ (inércia térmica forte)}$$

$$\eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} = \frac{1-0,35^{4,2}}{1-0,35^{4,2+1}} = 0,99$$

$$N_{vc} = (1-\eta_v) \cdot Q_{g,v} / A_p = (1-0,99) \cdot 4220,32 / 151,90 = 0,23 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

4.2.5. Valor limite das necessidades nominais de energia para a estação de arrefecimento

$$N_v = (1-\eta_{v,ref}) \cdot Q_{g,v,ref} / A_p$$

$$\eta_{v,ref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & \left\{ \begin{array}{l} \Delta\theta > 1 \\ 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ \Delta\theta \leq 0 \end{array} \right. \\ 0,45 \\ 0,30 \end{cases}$$

$$\Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} = 25 - 20,9 = 4,1^\circ\text{C}$$

$$\eta_{v,ref} = 0,52 + 0,22 \cdot \ln(4,1) = 0,83$$

Os ganhos de calor brutos de referência são:

$$\frac{Q_{g,v,ref}}{A_p} = [4 \cdot 2,928 + 0,43 \cdot 0,2 \cdot I_{sol,ref}]$$

$$I_{sol,ref} = 490 \text{ kWh}/\text{m}^2$$

$$Q_{g,v,ref} = (4 \cdot 2,928 + 0,43 \cdot 0,2 \cdot 490) \cdot 151,90 = 8180,12 \text{ kWh}/\text{ano}$$

O valor limite das necessidades de energia de arrefecimento é:

$$N_v = (1-\eta_{v,ref}) \cdot Q_{g,v,ref} / A_p = (1-0,83) \cdot 8180,12 / 151,90 = 9,15 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_{vc} = 0,23 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_v = 9,15 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_{vc} < N_v, \text{ Verifica!}$$

4.3. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DE AQS

A energia útil necessária para a preparação de AQS anuais é:

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d)}{3600000}$$

$$M_{AQS} = 40 \cdot n \cdot f_{eh} = 40 \cdot 4 \cdot 1 = 160 \text{ l}$$

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d)}{3600000} = \frac{(160 \cdot 4187 \cdot 35 \cdot 365)}{3600000} = 2377,29 \text{ kWh}/\text{ano}$$

4.4. NECESSIDADES DE ENERGIA PRIMÁRIA

4.4.1. Necessidades nominais anuais globais de energia primária

O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária é determinado a partir da seguinte expressão:

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p}$$

No edifício habitacional “B” não são especificados quais os sistemas existentes em projeto ou instalados, sendo assim admitiu-se para efeito de cálculo das necessidades de energia primária equipamentos de referência para aquecimento, arrefecimento (sistema de ar condicionado do tipo split com permuta ar-ar) e para aquecimento de AQS (o sistema de aquecimento a gás do tipo instantâneo - esquentador), com as seguintes características:

$N_{ic} = 156,22$	$F_{pu} = 2,5$	$\eta_k = 1,00$
$N_{vc} = 0,23$	$F_{pu} = 2,5$	$\eta_k = 3,01$
$Q_a = 2377,29$	$F_{pu} = 1,0$	$\eta_k = 0,84$
$A_p = 151,9 \text{ m}^2$		$f_{ak} = 1,00$

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{N_{vc}}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{f_{ak} \times Q_a / A_p}{\eta} \cdot F_{pu}$$

$$N_{tc} = \frac{156,22}{1,0} \cdot 2,5 + \frac{0,23}{3,01} \cdot 2,5 + \frac{1 \times 2377,29 / 151,90}{0,84} \cdot 1,0 = 409,37 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

4.4.2. Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária

O valor máximo permitido depende dos valores máximos nas diferentes estações e dos equipamentos de referência.

$N_i = 46,28$	$F_{pu} = 2,5$	$n_{k,ref} = 1,00$
$N_v = 9,15$	$F_{pu} = 2,5$	$n_{k,ref} = 3,01$
$Q_a = 2377,29$	$F_{pu} = 1,0$	$n_{k,ref} = 0,90$
$A_p = 151,9 \text{ m}^2$		

ANEXO II

$$N_t = \frac{N_i}{\eta_{k,ref}} \cdot F_{pu} + \frac{N_v}{\eta_{k,ref}} \cdot F_{pu} + \frac{Q_a/A_p}{\eta_{k,ref}} \cdot F_{pu}$$

$$N_t = \frac{46,28}{1,0} \cdot 2,5 + \frac{9,15}{3,01} \cdot 2,5 + \frac{2377,29/151,90}{0,90} \cdot 1,0 = 140,69 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

Assim, a classe energética do edifício habitacional “B” é determinada a partir da seguinte expressão:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} = \frac{409,37}{140,69} = 2,91$$

$$R_{Nt} \geq 2,51, \text{ Classe energética F!}$$

Resumindo, os resultados obtidos pela edificação habitacional “B” estão indicados na Tabela 18.

Tabela 18 – Resultados obtidos pela edificação habitacional “B”

N_{ic}	N_i	N_{ic}/N_i	N_{vc}	N_v	N_{vc}/N_v	N_{tc}	N_t	N_{tc}/N_t	Classificação energética
156,22	46,28	3,38	0,23	9,15	0,02	409,37	140,69	2,91	F

APLICAÇÃO DO REH NO EDIFÍCIO HABITACIONAL “P”

5. DADOS CLIMÁTICOS

O edifício habitacional “P” apresenta localização (Município do Porto - região NUTS III Grande Porto) e altitude ($z=20\text{m}$) iguais as adotadas para o edifício habitacional “B”, portando a resolução referente os dados climáticos é idêntica a resolução apresentada na seção 4 do anexo II deste trabalho.

6. DEFINIÇÃO DA ENVOLVENTE

A definição da envolvente do edifício habitacional “P” é idêntica a definição estabelecida para o edifício habitacional “B”, uma vez que as arquiteturas dos edifícios são iguais. Sendo assim, a definição da envolvente está determinada na seção 5 do anexo II deste trabalho.

7. REQUISITOS DE QUALIDADE TÉRMICA

7.1. ENVOLVENTE OPACA EM ZONA CORRENTE

A verificação dos requisitos de qualidade térmica do edifício habitacional “P”, consiste na determinação dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente em zona corrente (Figura 6, Figura 7 e Figura 8).

Cobertura:

- Telha cerâmica;
- Caixa de ar ($e > 0,05\text{m}$);
- Poliestireno extrudido ($e = 0,08\text{m}$; $\lambda = 0,037 \text{ W/ (m}\cdot\text{°C)}$);
- Laje aligeirada de blocos cerâmicos ($e = 0,23\text{m}$; $R_{asc} = 0,23 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C) / W}$; $R_{desc} = 0,24 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C) / W}$);
- Reboco ($e = 0,020\text{m}$; $\lambda = 1,15 \text{ W/ (m}\cdot\text{°C)}$).

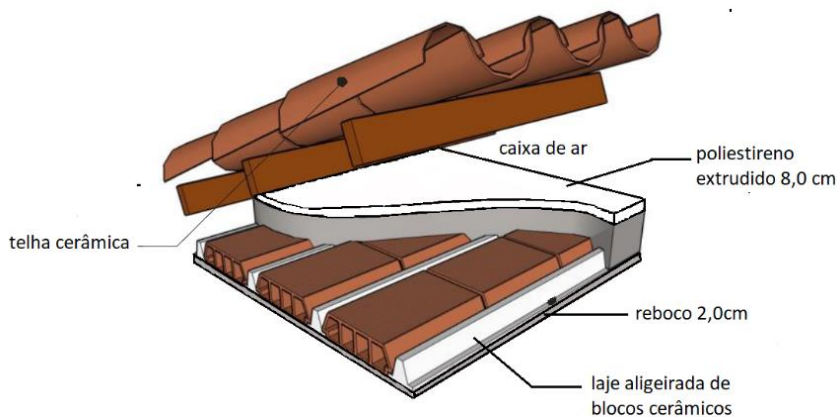


Figura 6 – Esquema da solução construtiva adotada na cobertura (adaptado do INMETRO, 2017)

Inverno (ascendente):

$$R = 0,10 + \frac{0,08}{0,037} + 0,23 + \frac{0,02}{1,15} + 0,10 = 2,61 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{2,61} = 0,38 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$U_{\text{máx}} = 0,40 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$U < U_{\text{máx}}, \text{ Verifica !}$$

Verão (descendente):

$$R = 0,17 + \frac{0,08}{0,037} + 0,24 + \frac{0,02}{1,15} + 0,17 = 2,76 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{2,76} = 0,36 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

O valor de $U_{\text{máx}}$ está indicado na Tabela 4.8 da metodologia de cálculo apresentada no Capítulo 4.

Paredes exteriores:

- Poliestireno expandido moldado (EPS) ($e = 0,08\text{m}$; $\lambda = 0,037 \text{ W/ (m} \cdot \text{°C)}$);
- Tijolo cerâmico furado ($e = 0,22\text{m}$; $R = 0,52 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C) /W}$);
- Reboco interior ($e = 0,020\text{m}$; $\lambda = 1,30 \text{ W/ (m} \cdot \text{°C)}$).

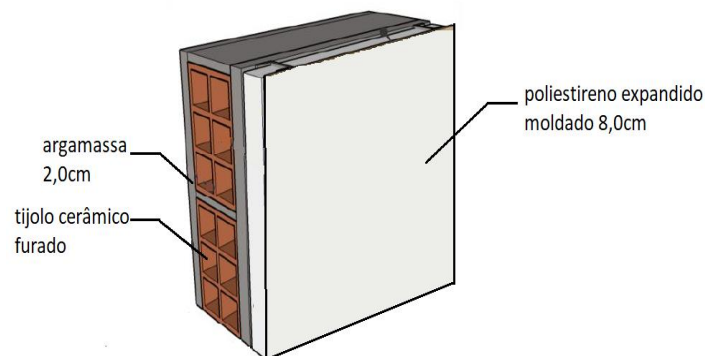


Figura 7 – Esquema da solução construtiva adotada nas paredes exteriores (adaptado do INMETRO, 2017)

$$R = 0,13 + \frac{0,020}{1,30} + 0,52 + \frac{0,080}{0,037} + 0,04 = 2,87 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{2,87} = 0,35 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$U_{\text{máx}} = 0,50 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$U < U_{\text{máx}}, \text{ Verifica !}$$

O valor de $U_{\text{máx}}$ está indicado na Tabela 4.8 da metodologia de cálculo apresentada no Capítulo 4.

Paredes para espaços não úteis:

ANEXO II

- Reboco exterior (e = 0,020m; $\lambda = 1,30 \text{ W/ (m. } ^\circ\text{C)}$);
- Tijolo cerâmico furado (e = 0,22m; R = 0,52 (m². °C) /W);
- Lã de rocha (e = 0,040m; $\lambda = 0,045 \text{ W/ (m. } ^\circ\text{C)}$);
- Tijolo cerâmico furado (e = 0,22m; R = 0,52 (m². °C)/W);
- Reboco interior (e = 0,020m; $\lambda = 1,30 \text{ W/ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$).

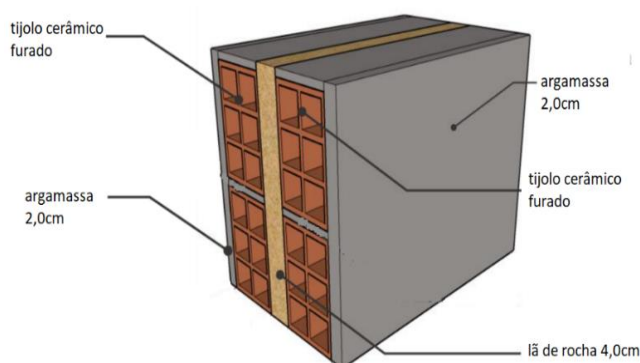


Figura 8 – Esquema da solução construtiva adotada nas paredes para espaços não úteis (adaptado do INMETRO, 2017)

$$R = 0,13 + \frac{0,020}{1,30} + 0,52 + \frac{0,040}{0,045} + 0,52 + \frac{0,020}{1,30} + 0,13 = 2,22 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$$

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{2,22} = 0,45 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$U_{\text{máx}} = 2,00 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

$$U < U_{\text{máx}}, \text{ Verifica !}$$

O valor de $U_{\text{máx}}$ está indicado na Tabela 4.7 da metodologia de cálculo apresentada no Capítulo 4.

A Tabela 19 do anexo II apresenta um quadro resumo dos requisitos da envolvente opaca.

Tabela 19- Quadro resumo dos requisitos da envolvente opaca

Elemento	U (W/m ² . °C)	U _{máx} (W/m ² . °C)	Verificação
Cobertura	0,38	0,40	Atende
Paredes exteriores	0,35	0,50	Atende
Paredes para espaços não úteis	0,45	2,00 (btr ≤ 0,7)	Atende

7.2. PONTES TÉRMICAS PLANAS

Na edificação habitacional em estudo (edifício habitacional “P”) não há PTP, pois os pilares localizam-se nas ligações entre paredes exteriores e entre as paredes exteriores e a parede do edifício adjacente apresentando assim as dimensões dos cunhais, e as vigas apresentam-se embebidas na estrutura.

7.3. ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados apresentam as seguintes características:

- Vidro duplo incolor de 4mm + 16 + 6mm;
- Caixilharia em pvc;
- Portada interior de madeira de cor clara.

Para a verificação dos requisitos mínimos da qualidade dos envidraçados compara-se a área de envidraçado de cada ambiente com o valor referente à 15% da área do ambiente.

Tabela 20- Área dos envidraçados

Ambiente	A _{pav} (m ²)	15%. A _{pav} (m ²)	Envidraçado		Observações
			Área (m ²)	Orientação	
Cozinha	25,80	3,87	4,66	N	Orientação dispensa verificação
Sala	31,30	4,70	8,40	S	> 15%.A _{pav}
Quarto 1	14,20	2,13	2,63	N	Orientação dispensa verificação
Quarto 2	14,20	2,13	2,63	N	Orientação dispensa verificação
Quarto 3	23,40	3,51	1,71	S	<15%.A _{pav}
Instalação Sanitária 2	8,00	1,20	1,96	S	> 15%.A _{pav}

- g_{Lvi} = 0,78 (Incolor 4 a 8mm + incolor 4 mm);

- g_{Tvc} = 0,35 (portada opaca interna);

- g_T = $\frac{0,78 \cdot 0,35}{0,75} = 0,34$ (Fator solar global para vidro duplo, calculado a partir da expressão (4.8);

- g_{Tmáx} = 0,56 (inércia forte).

Tabela 21- Verificações regulamentares dos envidraçados

Envidraçado	A _{env}	A _{pav}	F _o	F _f	F _o . F _f	F _o . F _f ≤ 0,9	g _T	g _T . F _o . F _f	A _{env} > 15%. A _{pav}	Observações
									g _{Tmáx.} [0,15/(A _{env} /A _{pav})]	
Sala	8,40	31,30	1	1	1	0,9	0,36	0,33	0,31	Não Atende
Instalação Sanitária 2	1,96	8,00	1	1	1	0,9	0,36	0,33	0,34	Atende
Envidraçado	A _{env}	A _{pav}	F _o	F _f	F _o . F _f	F _o . F _f ≤ 0,9	g _T	g _T . F _o . F _f	A _{env} ≤ 15%. A _{pav}	Observações
Quarto 3	1,71	23,40	1	1	1	0,9	0,36	0,33	g _{Tmáx.} 0,56	

As janelas do edifício cumprem ao requisito energético indicado na Tabela 4.8.

$$U_{\text{wdn}} = 2,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot ^\circ\text{C} < U_{\text{máx}} = 2,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot ^\circ\text{C}, \text{ Verifica!}$$

7.4. TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR

Para determinar o valor de $R_{\text{ph},i}$ da edificação habitacional em estudo, foi utilizada a ferramenta de cálculo do LNEC. A taxa de renovação de ar verificada no edifício foi de $0,4 \text{ h}^{-1}$, cumprindo assim o requisito mínimo de qualidade. A folha de cálculo do LNEC consta na seção 9 do anexo II deste trabalho.

7.5. REQUISITOS DOS SISTEMAS TÉCNICOS

O edifício habitacional “P” apresenta as mesmas considerações determinadas para os sistemas técnicos do edifício habitacional “B”, sendo assim, os requisitos dos sistemas estão descritos na seção 3.5 do anexo II deste trabalho.

8. CÁLCULOS EFETUADOS

8.1. COMPORTAMENTO TÉRMICO NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

8.1.1. Transferência de calor por transmissão

Ao longo da estação de aquecimento a transferência de calor por transmissão é determinada a partir da seguinte expressão:

$$Q_{\text{tr},i} = 0,024 \cdot \text{GD} \cdot H_{\text{tr},i}$$

$$\text{GD} = 1132 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$H_{\text{tr},i} = H_{\text{ext}} + H_{\text{enu}} + H_{\text{adj}} + H_{\text{ecs}}$$

O coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, H_{ext} :

Tabela 22-Determinação do coeficiente de transmissão térmica de elementos em contacto com o exterior

		Área	U	A. U
Envolvente Exterior	Portas	2,10	2,00	4,20
	Paredes	145,36	0,35	50,88
	$\Sigma A =$	147,46	$\Sigma A \cdot U =$	55,08
Envidraçados	Cozinha N	4,66	2,20	10,25
	Quarto 1 N	2,63	2,20	5,79
	Quarto 2 N	2,63	2,20	5,79
	Quarto 3 S	1,71	2,20	3,76
	Instalação Sanitária 2 S	1,96	2,20	4,31
	Sala S	8,40	2,20	18,48

	$\Sigma A =$	21,99	$\Sigma A.U =$	48,38
--	--------------	-------	----------------	-------

Tabela 23- Determinação do coeficiente de transmissão térmica através das pontes térmicas lineares

	Tipo	B	ψ	B. ψ
Pontes Térmicas	Fachada com pavimento térreo	25,10	0,70	17,57
	Fachada com cobertura	25,10	0,60	15,06
	Duas paredes verticais em ângulo saliente	13,04	0,40	5,22
	Fachada com pavimento de nível intermediário	50,20	0,15	7,53
	Fachada com caixilharia	63,25	0,10	6,32
	$\Sigma B.\psi =$			51,70

$$H_{ext, total} = 55,08 + 48,38 + 51,70 = 155,15 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, H_{enu} :

Tabela 24 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica de elementos em contacto com espaços não úteis

	A	U	A. U
Ático (desvão da cobertura)	78,47	0,38	29,82

$$H_{enu, total} = 29,82 \cdot b_{tr} = 29,82 \cdot 1,0 = 29,82 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo, H_{ecs} , é definido em função da Tabela 4.25.

$$z = 0$$

$$H_{ecs} = U_{bfi} \cdot A_i$$

$$A_i = 78,47 \text{ m}^2$$

$$P = 38,40 \text{ m}$$

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \cdot P} = \frac{78,47}{0,5 \cdot 38,40} = 4,09 \text{ m}$$

$$R = \frac{0,05}{0,33} + 0,23 = 0,38 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$$

$$U_{bf} = 0,57$$

$$H_{ecs} = 0,57 \cdot 78,47 = 44,73 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, H_{adj} :

Tabela 25 - Determinação do coeficiente de transmissão térmica de elementos em contacto com edifícios adjacentes

	A	U	A. U
Edifício adjacente	83,3	0,45	37,5

$$H_{adj, total} = 37,5 \cdot b_{tr} = 37,5 \cdot 0,60 = 22,49 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

Assim, o coeficiente global de transferência por transmissão na estação de aquecimento é:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} + H_{adj}$$

$$H_{tr,i} = 155,15 + 29,82 + 44,73 + 22,49 = 252,19 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

O valor da transferência de calor por transmissão global ao longo da estação de aquecimento é:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i}$$

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot 1132 \cdot 252,19 = 6851,53 \text{ kWh}$$

8.1.2. Transferência de calor por ventilação

Ao longo da estação de aquecimento a transferência de calor por ventilação é determinada a partir da seguinte expressão:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i}$$

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d$$

O valor de $R_{ph,i}$ determinado a partir das folhas de cálculo do LNEC é de $0,4 \text{ h}^{-1}$, cumprindo assim o requisito mínimo de qualidade.

O coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, $H_{ve,i}$:

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d = 0,34 \cdot 0,4 \cdot 151,90 \cdot 3,00 = 61,98 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

O valor da transferência de calor por ventilação ao longo da estação de aquecimento é:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i} = 0,024 \cdot 1132 \cdot 61,98 = 1683,74 \text{ kWh}$$

8.1.3. Inércia térmica

A inércia térmica do edifício em estudo foi quantificada em função das soluções construtivas adotadas para os diferentes elementos, como se observa na Tabela 26.

Tabela 26 – Determinação da inércia térmica

Tipo	Elemento da construção	Massa superficial útil						r _i	S _i (m ²)	M _{si} · r _i · S _i (kg)
		M _{si} =	Elementos	espessura (m)	ρ (kg/m ³)	M _{si} (kg/m ²)	M _{si máx} (kg/m ²)			
EL1	Parede exterior	mi	tijolo cerâmico furado	0,220	1200	300	150	1	145,36	21804,0
			reboco interior	0,020	1800					
	Parede interior com requisito de interior	mi	tijolo cerâmico furado	0,220	1200	300	150	1	83,26	12489,0
			reboco interior	0,020	1800					
EL2	Pav. Térreo	150 kg/m ² *	-	-	-	150	150	1	78,47	11770,5
EL3	Pav. Interior	mt	enchimento em betão leve	0,050	800	298	300	1	78,47	23384,1
			laje aligeirada de blocos cerâmicos	0,200	1200					
			reboco	0,010	1800					
	Parede interior entre a Z. de circulação e a cozinha	mt	reboco	0,02	1800	336	300	1	11,70	3510,0
			tijolo cerâmico furado	0,22	1200					
			reboco	0,02	1800					

* No caso de elementos em contacto com o solo que não possuam isolamento térmico, M_{si} corresponderá a 150 kg/m².

$$\sum M_{si} \cdot S_i \cdot r_i = 72957,6$$

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \cdot S_i \cdot r_i}{A_p} = \frac{72957,6}{151,90} = 480,30 \text{ kg/m}^2$$

Como o valor obtido é superior a 400 kg/m², a inércia térmica é considerada forte.

8.1.4. Ganhos térmicos brutos

Os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento dependem dos ganhos térmicos associados as fontes internas e calor e ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados.

Os ganhos térmicos internos na estação de aquecimento são determinados a partir da seguinte expressão:

$$Q_{int,i} = 0,72 \cdot 4 \cdot M \cdot A_p$$

$$Q_{int,i} = 0,72 \cdot 4 \cdot 6,1 \cdot 151,90 = 2668,58 \text{ kWh}$$

ANEXO II

Os ganhos solares brutos na estação de aquecimento são determinados a partir da seguinte expressão:

$$Q_{sol,i} = G_{sol} \cdot \sum_j [X_j \cdot \sum_n F_{s,ij} \cdot A_{s,ijn}] \cdot M$$

$$G_{sol} = 130 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$$

$$M = 6,1 \text{ meses}$$

Tabela 27 – Ganhos solares brutos na estação de aquecimento

Envidraçado	X	F _h	F _o	F _f	F _o · F _f	F _o · F _f ≤ 0,9	F _s	X · F _s	X · F _s ≥ 0,27	A _w	F _g	g _i	A _s	X · (F _s · A _s)
Cozinha N	0,27	1,00	1	1	1	0,90	0,90	0,24	0,27	4,66	0,57	0,70	1,86	0,50
Quarto 1 N	0,27	1,00	1	1	1	0,90	0,90	0,24	0,27	2,63	0,57	0,70	1,05	0,28
Quarto 2 N	0,27	1,00	1	1	1	0,90	0,90	0,24	0,27	2,63	0,57	0,70	1,05	0,28
Quarto 3 S	1,00	0,45	1	1	1	0,90	0,41	0,41	0,41	1,71	0,65	0,70	0,78	0,32
Instalação Sanitária 2 S	1,00	0,45	1	1	1	0,90	0,41	0,41	0,41	1,96	0,65	0,70	0,89	0,36
Sala S	1,00	0,45	1	1	1	0,90	0,41	0,41	0,41	8,40	0,65	0,70	3,83	1,55
									Σ	21,99			Σ	3,30

$$Q_{sol,i} = 130 \cdot 3,30 \cdot 6,1 = 2618,72 \text{ kWh}$$

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} = 2668,58 + 2618,72 = 5287,29 \text{ kWh}$$

8.1.5. Ganhos térmicos úteis

Os ganhos térmicos úteis são determinados a partir da seguinte expressão:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i}$$

$$\gamma = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve}) = 5287,29 / (6851,53 + 1683,74) = 0,62$$

$$\gamma \neq 1 \text{ e } \gamma > 0, \text{ então } \eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}$$

$$a = 4,2 \text{ (inércia térmica forte)}$$

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = \frac{1 - 0,62^{4,2}}{1 - 0,62^{4,2+1}} = 0,94$$

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} = 0,94 \cdot 5287,29 = 4993,75 \text{ kWh}$$

8.1.6. Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento é determinado a partir da seguinte expressão:

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}) / A_p = (6851,53 + 1683,74 - 4993,75) / 151,90 = 23,31 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

8.1.7. Valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil

O valor limite das necessidades nominais anuais de energia útil para a estação de aquecimento é determinado a partir da utilização de soluções de referência e limitando a área de envidraçados.

O valor da transferência por transmissão térmica de referência através de elementos em contacto com o exterior é:

Tabela 28 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica de referência de elementos em contacto com o exterior

		Área	U_{ref}	A. U_{ref}
Envolvente Exterior	Portas	2,10	0,50	1,05
	Paredes	145,36	0,50	72,68
	$\Sigma=$	147,46	$\Sigma A.U=$	73,73
Envidraçados	Cozinha N	4,66	2,80	13,05
	Quarto 1 N	2,63	2,80	7,36
	Quarto 2 N	2,63	2,80	7,36
	Quarto 3 S	1,71	2,80	4,79
	Instalação Sanitária 2 S	1,96	2,80	5,49
	Sala S	8,40	2,80	23,52
	$\Sigma=$	21,99	$\Sigma A.U=$	61,57

A área de vãos envidraçados é inferior a 20% da área interior útil de pavimento.

Tabela 29 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica de referência através das pontes térmicas lineares

	Tipo	B	ψ	B. ψ
Pontes Térmicas	Fachada com pavimento térreo	25,10	0,50	12,55
	Fachada com cobertura	25,10	0,50	12,55
	Duas paredes verticais em ângulo saliente	13,04	0,40	5,22
	Fachada com pavimento de nível intermediário	50,20	0,50	25,10
	Fachada com caixilharia	63,25	0,20	12,65
			$\Sigma B.\psi_{ref}=$	68,07

$$H_{ext,ref,total} = 61,57 + 68,07 = 203,37 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$$

O valor da transferência de calor de referência através de elementos em contacto com espaços não úteis é:

Tabela 30 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica de referência de elemento em contacto com espaços não úteis

	A	U_{ref}	A. U_{ref}
Ático (desvão)	78,47	0,4	31,4

ANEXO II

$$H_{enu,ref} = b_{tr} \cdot (A \cdot U_{ref}) = 1,00 \cdot 31,39 = 31,39 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O valor da transferência de calor de referência através de elementos em contacto com o solo é:

$$A_i = 78,47 \text{ m}^2$$

$$U_{ref} = 0,50$$

$$H_{ecs,ref} = 0,5 \cdot 78,47 = 39,24 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O valor de transferência de calor de referência através de elementos em contacto com edifícios adjacentes é:

Tabela 31 – Determinação do coeficiente de transmissão térmica de referência de elementos em contacto com edifícios adjacentes

	A	U_{ref}	A. U_{ref}
Edifício adjacente	83,3	0,80	66,64

$$H_{adj,ref} = b_{tr} \cdot (A \cdot U_{ref}) = 0,60 \cdot 66,64 = 39,98 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

O valor do coeficiente global de transferência de calor por transmissão de referência na estação de aquecimento é:

$$H_{tr,i,ref} = 203,37 + 31,39 + 39,24 + 39,98 = 313,97 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$Q_{tr,i,ref} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i,ref} = 0,024 \cdot 1132 \cdot 313,97 = 8530,02 \text{ kWh}$$

O valor da transferência de calor por ventilação de referência é:

$$H_{vei,i,ref} = 0,34 \cdot R_{ph,ref} \cdot A_p \cdot P_d = 0,34 \cdot 0,40 \cdot 151,90 \cdot 3,00 = 61,98 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$Q_{ve,i,ref} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{vei,i,ref} = 0,024 \cdot 1132 \cdot 61,98 = 1683,74 \text{ kWh}$$

Os ganhos térmicos de referência na estação de aquecimento são:

- Ganhos térmicos brutos

$$Q_{sol,i,ref} = G_{sul} \cdot 0,146 \cdot 0,15 \cdot A_p \cdot M$$

$$Q_{sol,i,ref} = 130 \cdot 0,146 \cdot 0,15 \cdot 151,90 \cdot 6,1 = 2638,0 \text{ kWh}$$

$$Q_{int,i,ref} = 0,72 \cdot 4 \cdot M \cdot A_p$$

$$Q_{int,i,ref} = 0,72 \cdot 4 \cdot 6,1 \cdot 151,90 = 2668,58 \text{ kWh}$$

$$Q_{g,i,ref} = Q_{int,i,ref} + Q_{sol,i,ref} = 2668,58 + 2638,0 = 5306,58 \text{ kWh}$$

- Ganhos totais úteis

$$\eta_{i,ref} = 0,60$$

$$Q_{gu,i,ref} = \eta_i \cdot Q_{g,i,ref} = 0,60 \cdot 5306,58 = 3183,95 \text{ kWh}$$

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil máxima para a estação de aquecimento é:

$$N_i = (Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref}) / A_p = (8530,02 + 1683,74 - 3183,95) / 151,90 = 46,28 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_{ic} = 23,31 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_i = 46,28 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_{ic} < N_i, \text{ Verifica !}$$

8.2. COMPORTAMENTO TÉRMICO NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

8.2.1. Transferência de calor por transmissão

A transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente é determinada a partir da seguinte expressão:

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \cdot (25 - \theta_{v,ext}) \cdot 2,928$$

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} = 155,15 + 29,82 + 44,73 = 229,70 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

$$\theta_{v,ref} = 25,0^\circ\text{C}$$

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

$$Q_{tr,v} = 229,70 \cdot (25 - 20,9) \cdot 2,928 = 2757,51 \text{ kWh}$$

8.2.2. Transferência de calor por renovação do ar

A transferência de calor por renovação do ar durante a estação de arrefecimento é determinada a partir da seguinte expressão:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (25 - \theta_{v,ext}) \cdot 2,928$$

$$H_{ve,v} = 0,34 \times R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d = 0,34 \cdot 0,60 \cdot 151,90 \cdot 3,0 = 92,96 \text{ kWh}$$

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (25 - \theta_{v,ext}) \cdot 2,928 = 92,96 \cdot (25 - 20,9) \cdot 2,928 = 1116,0 \text{ kWh}$$

8.2.3. Ganhos térmicos brutos

Os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento estão associados a fontes internas de calor e a radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada.

$$Q_{int,v} = 4 \cdot A_p \cdot 2,928$$

$$Q_{int,v} = 4 \cdot 151,90 \cdot 2,928 = 1779,05 \text{ kWh}$$

$$Q_{sol,v} = \sum_j [I_{sol,j} \cdot \sum_n F_{s,vnj} \cdot A_{s,vnj}]$$

Tabela 32 –Ganhos solares brutos na estação de arrefecimento

Envidraçado	I _{sol}	F _o	F _f	F _o · F _f	< 0,9	F _s	F _w	g _{Lvi}	g _{TP}	g _T	F _{mv}	g _v	F _g	A _w	A _s	F _s · A _s · I _{sol}
Cozinha N	220	1	1	1	0,90	0,90	0,80	0,78	0,62	0,36	0	0,62	0,57	4,66	1,66	328,18
Quarto 1 N	220	1	1	1	0,90	0,90	0,80	0,78	0,62	0,36	0	0,62	0,57	2,63	0,94	185,22
Quarto 2 N	220	1	1	1	0,90	0,90	0,80	0,78	0,62	0,36	0	0,62	0,57	2,63	0,94	185,22
Quarto 3 S	425	1	1	1	0,90	0,90	0,75	0,78	0,59	0,36	0,6	0,45	0,65	1,71	0,50	192,34
Instalação Sanitária 2 S	425	1	1	1	0,90	0,90	0,75	0,78	0,59	0,36	0,6	0,45	0,65	1,96	0,58	220,46
Sala S	425	1	1	1	0,90	0,90	0,75	0,78	0,59	0,36	0,6	0,45	0,65	8,40	2,47	944,81
													ΣA _w =	21,99	ΣF _s · A _s · I _{sol} =	2056,22

Tabela 33 – Ganhos solares brutos na estação de arrefecimento

Paredes exteriores	α	A _{op}	U	R _{se}	A _s	F _s	I _{sol}	I _{sol} · F _s · A _s
PDE1 N	0,40	37,45	0,42	0,04	0,25	1	220	55,36
PDE1 S	0,40	39,52	0,42	0,04	0,27	1	425	112,88
PDE1 E	0,40	83,26	0,42	0,04	0,56	1	490	274,15
		Σ A _{op} =	160,23				Σ	442,39

Tabela 34 – Ganhos solares brutos na estação de arrefecimento

Cobertura em desvão	α	A _{op}	U	R _{se}	A _s	F _s	I _{sol}	fator	fator · (I _{sol} · F _s · A _s · α · R _{se})
CBE 1	0,40	96,03	0,33	0,04	0,51	1,00	800,00	0,80	5,19

Tabela 35 – Ganhos solares brutos na estação de arrefecimento

Vão opaco ext.	α	A _{op}	U	R _{se}	A _s	F _s	I _{sol}	I _{sol} · F _s · A _s
VOE1 N	0,50	2,10	2,00	0,04	0,08	1,00	220,00	18,48

$$Q_{sol,v} = 2053,22 + 442,39 + 5,19 + 18,48 = 2522,29 \text{ kWh}$$

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} = 1779,05 + 2522,29 = 4301,34 \text{ kWh}$$

8.2.4. Necessidades nominais de energia útil para a estação de arrefecimento

O valor das necessidades nominais de energia útil para a estação de arrefecimento é:

$$\gamma = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve}) = 4301,34 / (2757,51 + 1116,00) = 1,11$$

$$\gamma \neq 1 \text{ e } \gamma > 0, \text{ então } \eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}$$

$$a = 4,2 \text{ (inércia térmica forte)}$$

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = \frac{1 - 1,11^{4,2}}{1 - 1,11^{4,2+1}} = 0,76$$

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) Q_{g,v} / A_p = (1 - 0,76) \cdot 4301,34 / 151,90 = 6,71 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

8.2.5. Valor limite das necessidades nominais de energia para a estação de arrefecimento

$$N_v = (1 - \eta_{v,ref}) Q_{g,v,ref} / A_p$$

$$\eta_{v,ref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \ln \Delta\theta & \left\{ \begin{array}{l} \Delta\theta > 1 \\ 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ \Delta\theta \leq 0 \end{array} \right. \\ 0,45 \\ 0,30 \end{cases}$$

$$\Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} = 25 - 20,9 = 4,1^\circ\text{C}$$

$$\eta_{v,ref} = 0,52 + 0,22 \cdot \ln(4,1) = 0,83$$

Os ganhos de calor brutos de referência são:

$$\frac{Q_{g,v,ref}}{A_p} = [4 \cdot 2,928 + 0,43 \cdot 0,2 \cdot I_{sol,ref}]$$

$$I_{sol,ref} = 490 \text{ kWh}/\text{m}^2$$

$$Q_{g,v,ref} = (4 \cdot 2,928 + 0,43 \cdot 0,2 \cdot 490) \cdot 151,90 = 8180,12 \text{ kWh}/\text{ano}$$

O valor limite das necessidades de energia de arrefecimento é:

$$N_v = (1 - \eta_{v,ref}) Q_{g,v,ref} / A_p = (1 - 0,83) \cdot 8180,12 / 151,90 = 9,15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

$$N_{vc} = 6,71 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_v = 9,15 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$N_{vc} < N_v, \text{ Verifica !}$$

8.3. NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DE AQS

A energia útil necessária para a preparação de AQS anuais é:

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d)}{3600000}$$

$$M_{AQS} = 40 \cdot n \cdot f_{eh} = 40 \cdot 4 \cdot 1 = 160 \text{ l}$$

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d)}{3600000} = \frac{(160 \cdot 4187 \cdot 35 \cdot 365)}{3600000} = 2377,29 \text{ kWh}/\text{ano}$$

8.4. NECESSIDADES DE ENERGIA PRIMÁRIA

8.4.1. Necessidades nominais anuais globais de energia primária

ANEXO II

O valor das necessidades nominais anuais globais de energia primária é determinado a partir da seguinte expressão:

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot \delta \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} \\ + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p}$$

No edifício habitacional “P” não são especificados quais os sistemas existentes em projeto ou instalados, sendo assim admitiu-se para efeito de cálculo das necessidades de energia primária, equipamentos de referência para aquecimento, arrefecimento (sistema de ar condicionado do tipo split com permuta ar-ar) e para aquecimento de AQS (o sistema de aquecimento a gás do tipo instantâneo - esquentador), com as seguintes características:

$N_{ic} = 23,31$	$F_{pu} = 2,5$	$\eta_k = 1,00$
$N_{vc} = 6,71$	$F_{pu} = 2,5$	$\eta_k = 3,01$
$Q_a = 2377,29$	$F_{pu} = 1,0$	$\eta_k = 0,84$
$A_p = 151,9 \text{ m}^2$		$f_{ak} = 1,00$

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{N_{vc}}{\eta} \cdot F_{pu} + \frac{f_{ak} \cdot Q_a / A_p}{\eta} \cdot F_{pu} \\ N_{tc} = \frac{23,31}{1,0} \cdot 2,5 + \frac{6,71}{3,01} \cdot 2,5 + \frac{1 \cdot 2377,29 / 151,90}{0,84} \cdot 1,0 = 82,49 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

8.4.2. Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária

O valor máximo permitido depende dos valores máximos nas diferentes estações e dos equipamentos de referência.

$N_i = 46,28$	$F_{pu} = 2,5$	$\eta_{k,ref} = 1,00$
$N_v = 9,15$	$F_{pu} = 2,5$	$\eta_{k,ref} = 3,01$
$Q_a = 2377,29$	$F_{pu} = 1,0$	$\eta_{k,ref} = 0,90$
$A_p = 151,9 \text{ m}^2$		

$$N_t = \frac{N_i}{\eta_{k,ref}} \cdot F_{pu} + \frac{N_v}{\eta_{k,ref}} \cdot F_{pu} + \frac{Q_a / A_p}{\eta_{k,ref}} \cdot F_{pu} \\ N_t = \frac{46,28}{1,0} \cdot 2,5 + \frac{9,15}{3,01} \cdot 2,5 + \frac{2377,29 / 151,90}{0,90} \cdot 1,0 = 140,69 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

Assim, a classe energética do edifício habitacional “P” é determinada a partir da seguinte expressão:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} = \frac{82,49}{140,69} = 0,59$$

$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$, Classe energética B!

Resumindo, os resultados obtidos pela edificação habitacional “P” estão indicados na Tabela 36.

Tabela 36 – Resultados obtidos pela edificação habitacional “P”.

N_{ic}	N_i	N_{ic}/N_i	N_{vc}	N_v	N_{vc}/N_v	N_{tc}	N_t	N_{tc}/N_t	Classificação energética
23,31	46,28	0,50	6,71	9,15	0,73	82,49	140,69	0,59	B

DETERMINAÇÃO DA TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR A PARTIR DA PLANILHA DE CÁLCULO DO LNEC

9. TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR

A taxa de renovação de ar foi determinada a partir da ferramenta de cálculo disponibilizada pelo LNEC. Os edifícios habitacionais “B” e “P” apresentam características iguais quanto ao enquadramento do edifício, permeabilidade ao ar da envolvente, aberturas de admissão de ar na envolvente e condutas de ventilação natural, portanto possuem $R_{ph,i} = 0,4h^{-1}$, como indicado na Figura 9.



1. Enquadramento do edifício

Tipo de edifício	Habitação_novo_ou_grande_reabilitação
Local (município)	PORTO
Região	B
Rugosidade	1
Altitude do local (m)	20
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Sim
Altura do edifício (H_{edif}) em m	7,4
Altura da fração (H_{fa}) em m	7,4
Altura do obstáculo situado em frente (H_{obs}) em m	6
Distância ao obstáculo situado em frente (D_{obs}) em m	10

Área útil (m ²):	151,9
Pd (m):	3,00
N.º de pisos da fração	2
Velocidade vento	Defeito REH
Vento (u_{10REH} : 3,6) (m/s)	
Vol (m ³):	456
T _{exterior} (°C)	10,4
Z _{ref} (m)	94
A _{env/Au} :	16%
Proteção do edifício:	Normal
Zona da fachada:	Inferior

2. Permeabilidade ao ar da envolvente

Foi medido valor n50	Não		
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:	Janelas	Porta	
Área dos vãos (m ²)	21,986	2,1	
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	Sem classificação	Sem classificação	
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Não tem	Não tem	

3. Aberturas de admissão de ar na envolvente

Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Não		
Tipo de abertura			
Área livre das aberturas fixas (cm ²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m ³ /h)			

4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta

Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Sim	Não	Não	Não
Escoamento de ar	Exaustão			
Perda de carga	Baixa			
Altura da conduta (m)	3			
Cobertura	Inclinada (>30°)			
Número de condutas semelhantes	1			

5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado

Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Não		
Escoamento de ar			
Caudal nominal (m ³ /h)			
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento			
Pressão total (Pa)			
Rendimento total do ventilador(%)			
Tem sistema de recuperação de calor			
Rendimento da recuperação de calor (%)			

6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)

Existem meios híbridos	Não		
Escoamento de ar			
Caudal nominal (m ³ /h)			
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento			
Pressão total (Pa)			
Rendimento total do ventilador(%)			

7. Verão - Recuperador de calor

Existe by-pass ao recuperador de calor no verão	
---	--

8. Resultados

8.1 - Balanço de Energia - Edifício

R_{pnl} (h-1) - Aquecimento	0,40
$R_{pnl,v}$ (h-1) - Arrefecimento	0,60
W _{vm} (kWh)	0,0

8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência

$R_{pnl,REF}$ (h-1)	0,40
---------------------	------

8.3 - Caudal mínimo de ventilação

R _{ph} estimada em condições nominais (h-1)	0,00
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,40
Critério R _{ph} mínimo	Não regulamentar R _{ph} min

Nota: No Cálculo de R_{ph} min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.

ok

Técnico: _____

Data: 03/06/2018

Figura 9- Folha de cálculo do LNEC para determinação da taxa de renovação de ar