



# DESCARBONIZAÇÃO DE UM EDÍFICIO UNIFAMILIAR EXISTENTE

**GONÇALO DA COSTA PINHO**

julho de 2025

**DESCARBONIZAÇÃO DE UM EDÍFICIO  
UNIFAMILIAR EXISTENTE**

**Gonçalo da Costa Pinho**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em  
Energia**

**Orientadora: Especialista Isabel Maria Garcia Sarmiento Pereira, Professora Adjunta,  
ISEP**

**Júri:**

Presidente:

Doutor Rui Filipe Neves de Araújo Rego, Professor Adjunto, ISEP

Vogal:

Doutora Eunice Maria Vilaverde Fontão, Professora Adjunta, ISEP

Porto, Junho de 2025



# Agradecimentos

A realização desta dissertação foi uma trajetória longa, marcada por inúmeros desafios, incertezas e alegrias, mas apesar de todos os altos e baixos sinto-me orgulhoso com o trabalho desenvolvido. O culminar desta etapa não teria sido possível sem o apoio, carinho e motivação recebido das pessoas que me são mais próximas e, por isso, aproveito esta oportunidade para agradecer a todas elas, a quem dedico esta dissertação.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora, a Engenheira Isabel Sarmento que desde o primeiro dia demonstrou total disponibilidade e interesse pelo projeto. Por todo o tempo despendido, por toda a paciência demonstrada ao longo deste processo que foi mais longo do que o desejado, por nunca ter baixado os braços e ter-se mostrado sempre positiva e confiante no meu trabalho. Estarei sempre grato por isso!

Agradecer também ao ISEP, que me acolheu quando me mudei para o Porto para estudar e que ao longo destes anos tem sido uma segunda casa para mim.

Aos meus pais, os meus maiores pilares, que dedicaram a vida à educação dos filhos. Espero retribuir em dobro tudo aquilo que já me deram. Obrigada por todo amor, carinho, apoio e compreensão mesmo nos momentos de maior dificuldade.

Ao meu irmão, meu melhor amigo, por todo o apoio que me deu desde que entrei nesta casa. Tenho um orgulho imenso em ser teu irmão.

Por último, agradecer aos meus amigos que sempre me acompanharam e apoiaram, que viveram comigo alguns dos melhores momentos da minha vida da minha vida académica. Agradecer em especial a dois grandes amigos: ao meu amigo Henrique pelas centenas ou milhares de horas passadas juntos ao longo destes anos, por me ter acolhido em casa dele quando eu mais precisava e por sempre insistir para eu terminar esta dissertação e também ao meu amigo Miguel pelas idas para o H que me permitiram chegar aqui.

A todos vocês muito obrigada!



# Resumo

A sustentabilidade do planeta está dependente do decréscimo da emissão de gases com efeito de estufa e, implicitamente, da redução do consumo de energia. Nesse contexto, o presente trabalho estuda a possibilidade de transformar um edifício unifamiliar existente, de arquitetura tradicional e sem sistema de climatização, num edifício com baixas necessidades energéticas e neutro em emissões de dióxido de carbono operacional e, em simultâneo, incrementar as condições de conforto dos ocupantes. Analisou-se o edifício na sua localização original, o Porto, quantificaram-se as horas de desconforto térmico na ausência de sistemas de climatização e da possibilidade de ocorrência de condensações e avaliaram-se as necessidades energéticas globais do edifício. Identificaram-se as hipóteses de melhoria, quer passivas, ao nível das soluções construtivas quer tecnológicas, ao nível dos sistemas de iluminação, ventilação e climatização e quantificaram-se os impactos, individualmente e de forma conjugada. A implementação daquele conjunto de medidas permitiu: reduzir as horas de desconforto térmico de 4000 horas por ano, para cerca de 3250 horas, isto é, uma redução de cerca de 20%, eliminar a probabilidade de ocorrência de condensações e concomitantemente reduzir em mais de 70% as necessidades energéticas de aquecimento, passando de 71,18 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) para 20,79 kWh/(m<sup>2</sup>.ano). Os resultados obtidos permitem concluir que, as melhorias passivas e ativas (tecnológicas) introduzidas, asseguram níveis de temperatura do ar interior do edifício dentro dos valores de conforto térmico e que as emissões de dióxido de carbono para atmosfera são nulas, mediante a introdução de uma bomba de calor, que colmate as necessidades energéticas residuais em climatização, a par da utilização de energia primária proveniente de fonte renovável. A mesma avaliação foi realizada colocando o edifício em outras três localizações distintas, com distintos zonamentos climáticos, tendo-se concluído que é, igualmente, possível descarbonizar um edifício existente com recurso a soluções passivas e ativas, a par da utilização de fontes de energia renovável, ainda que, o fator climático seja decisivo no impacto relativo das medidas estudadas para o edifício na sua localização inicial.

**Palavras-chave:** NZEB; Eficiência energética; Necessidades energéticas, Emissões dióxido de carbono; Simulação energética dinâmica.

# Abstract

The sustainability of the planet depends on reducing greenhouse gas emissions and, implicitly, reducing energy consumption. In this context, this work studies the possibility of transforming an existing single-family building with traditional architecture and no air conditioning system into a building with low energy needs and neutral operational carbon dioxide emissions, while at the same time increasing the comfort conditions of the occupants. The building was analysed in its original location in Porto, the hours of thermal discomfort in the absence of air conditioning systems and the possibility of condensation were quantified, and the building's overall energy needs were assessed. Hypotheses for improvement were identified, both passive, in terms of construction solutions, and technological, in terms of lighting, ventilation and air conditioning systems, and the impacts were quantified, individually and in combination. The implementation of this set of measures made it possible to: reduce the hours of thermal discomfort from 4000 hours per year to around 3250 hours, i.e. a reduction of around 20 per cent, eliminate the likelihood of condensation occurring and concomitantly reduce heating energy needs by more than 70 per cent, from 71,18 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) to 20,79 kWh/(m<sup>2</sup>.ano). The results obtained allow us to conclude that the passive and active (technological) improvements introduced ensure that the building's indoor air temperature is within thermal comfort levels and that carbon dioxide emissions into the atmosphere are zero, through the introduction of a heat pump that meets the residual energy needs for air conditioning, along with the use of primary energy from a renewable source. The same assessment was carried out by placing the building in three different locations, with different climate zones, and it was concluded that it is also possible to decarbonise an existing building using passive and active solutions, along with the use of renewable energy sources, although the climate factor is decisive in the relative impact of the measures studied for the building in its initial location.

**KEYWORDS:** NZEB; Energy efficiency; Energy needs; Carbon dioxide emissions; Dynamic energy simulation.

# Índice

Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xv
Acrónimos e Símbolos.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Metodologia .....	2
1.4. Estrutura do Relatório .....	3
2. Revisão Bibliográfica .....	5
2.1. Conforto Térmico Adaptativo .....	5
2.2. Eficiência Energética dos Edifícios.....	8
2.2.1. Consumo energético nos edifícios .....	9
2.3. Evolução das diretivas e legislação sobre o desempenho energético de edifícios.....	12
2.3.1. Diretivas e Políticas Europeias .....	12
2.3.2. Legislação e Políticas Portuguesas .....	14
2.4. Conceito de edifício com necessidades de energia quase nulas .....	19
2.4.1. Edifício com necessidades de energia quase nulas .....	19
2.4.2. Edifício neutro em carbono .....	22
2.5. Estratégias para obtenção de um edifício com necessidade de energia quase nulas e neutro em carbono operacional .....	22
2.5.1. Estratégias Bioclimáticas.....	23
2.5.2. Estratégias Tecnológicas .....	31
2.5.3. Estratégias para a produção de energia .....	32
2.6. Ferramentas informáticas de Modelação e Cálculo.....	33
2.6.1. CYPE Architecture .....	33
2.6.2. Open BIM Analytical Model .....	34
2.6.3. Open BIM Construction Systems .....	34
2.6.4. CYPETHERM EPlus .....	35
3. Métodos e Aplicação.....	37
3.1. Apresentação do Caso de Estudo.....	37
3.1.1. Caraterização do Edifício.....	37
3.1.2. Caraterização dos Climas em Estudo .....	41
3.1.3. Caraterização Térmica da Envolvente.....	43
3.1.4. Caraterização Funcional.....	48
3.1.5. Requisitos de Conforto e QAI.....	51

3.2. Simulação Energética .....	52
3.2.1. Modelação Geométrica .....	52
3.2.2. Modelação Construtiva.....	54
3.2.3. Zonamento Térmico.....	54
3.2.4. Número de Horas de Desconforto .....	55
3.2.5. Ocorrência de Condensações .....	55
3.2.6. Dados Climáticos.....	55
3.2.7. Necessidades Energéticas .....	56
3.2.8. Cargas Térmicas de Aquecimento e Arrefecimento .....	57
3.2.9. Emissões <b>CO2</b> .....	57
3.3. Medidas de Melhoria .....	58
3.3.1. Estratégias Bioclimáticas.....	58
3.3.2. Estratégias Tecnológicas .....	65
4. Resultados e Discussão .....	71
4.1. Caso de Estudo .....	71
4.1.1. Impacto das Estratégias Bioclimáticas .....	71
4.1.2. Impacto das Estratégias Tecnológicas .....	84
4.1.3. Consumo de Energia .....	95
4.1.4. Emissões <b>CO2</b> .....	97
4.2. Caso de Estudo em Diferentes Zonas Climáticas de Portugal.....	97
4.2.1. Impacto das Estratégias Bioclimáticas .....	97
4.2.2. Impacto das Estratégias Tecnológicas .....	131
4.2.3. Consumo de Energia .....	143
4.3. Análise dos resultados.....	145
5. Conclusão .....	149
5.1. Conclusões finais .....	149
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	150
Referências.....	151
Declaração de Integridade .....	159
Anexo A- Plantas, Alçados e Cortes do Caso de Estudo .....	161
Anexo B- Ficha Técnica da Porta .....	162
Anexo C- Ficha Técnica das Janelas.....	163
Anexo D- Ficha Técnica da Luminária .....	164
Anexo E- Ficha Técnica da Unidade de Recuperação de Calor .....	165
Anexo F- Ficha Técnica da Bomba de Calor .....	166
Anexo G- Relatório de Cargas Térmicas .....	167

Anexo H- Relatório de Condensações para o Caso Inicial.....	168
Anexo I- Relatório de Condensações para o Caso Melhorado.....	169
Anexo J- Relatório de Necessidades Energéticas para o Caso Inicial.....	170
Anexo K- Relatório de Necessidades Energéticas para o Caso com Melhorias na Envolvente	171
Anexo L- Relatório de Necessidades Energéticas para o Caso com Melhorias na Iluminação	172
Anexo M- Relatório de Necessidades Energéticas para o Caso com Implementação da URC	173
Anexo N- Relatório de Necessidades Energéticas para o Caso com Implementação da URC e BC	174
Anexo O- Relatório de Conforto Interior para o Caso com Implementação da URC.....	175
Anexo P- Relatório de Conforto Interior para o Caso com Implementação da URC e BC .....	176
Anexo Q- Relatório de Conforto Interior para o Caso com Implementação da URC e BC para Aquecimento e Arrefecimento .....	177
Anexo R- Relatório de Consumo de Energia .....	178



# Lista de Figuras

Figura 1- Intervalo de temperaturas operativas aceitáveis para espaços não climatizados (adaptado [11]) .....	6
Figura 2- Gráfico da distribuição do consumo energético em Portugal (adaptado [16]) .....	10
Figura 3- Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de uso (adaptado [21]) .....	10
Figura 4- Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia (adaptado [21]) .....	11
Figura 5- Distribuição do consumo de energia no alojamento, por tipo de uso e fonte de energia (adaptado [21]) .....	11
Figura 6- Radiação solar diária para as estações do Inverno (esquerda) e Verão (direita) [55]	24
Figura 7- Constituição típica de pavimentos em contacto com o exterior. À esquerda com o solo e à direita com espaços interiores não aquecidos (adaptado [49]) .....	25
Figura 8-Constituição de um sistema ETICS (adaptado [59]) .....	25
Figura 9-Esquema do fluxo de calor numa fachada ventilada [60] .....	26
Figura 10- Sistema de ganho direto [62] .....	28
Figura 11- Parede de Trombe com ventilação (à esquerda) e sem ventilação (à direita) no Inverno [59] .....	29
Figura 12- Princípio de funcionamento de um túnel de vento subterrâneo (adaptado [67]) ..	30
Figura 13- Logótipo da ferramenta de cálculo CYPE Architecture [81] .....	34
Figura 14-Logótipo da ferramenta de cálculo Open BIM Analytical Model [82] .....	34
Figura 15-Logótipo da ferramenta de cálculo Open BIM Construction Systems [83] .....	34
Figura 16- Logótipo da ferramenta de cálculo CYPETHERM EPlus [84] .....	35
Figura 17- Planta de implantação do caso de estudo .....	38
Figura 18- Planta da Cave .....	38
Figura 19- Planta do Rés-do-Chão .....	39
Figura 20- Planta da Cobertura .....	39
Figura 21- Alçados do Caso de Estudo .....	40
Figura 22- Delimitação da envolvente .....	47
Figura 23- Interface do Open BIM Analytical Model para a geração do modelo analítico .....	53
Figura 24-Interface do Open BIM Construction Systems para a atribuição das soluções construtivas .....	54
Figura 25- Interface do “CYPETHERM Eplus” para os dados climáticos do Porto .....	56
Figura 26- Interface do “CYPETHERM EPlus” para a validação do modelo em estudo .....	56
Figura 27-Delimitação da envolvente resultante das melhorias .....	59
Figura 28- Verificação da inércia térmica dos espaços .....	64
Figura 29- Exemplo de etiqueta energética de uma bomba de calor a baixa temperatura [91] .....	68
Figura 30- Temperaturas interiores e de conforto para a zona do Quarto .....	72
Figura 31- Temperaturas interiores e de conforto para a zona da Sala .....	73

Figura 32- Temperaturas interiores e de conforto para a zona do Quarto com as estratégias bioclimáticas aplicadas .....	74
Figura 33- Temperaturas interiores e de conforto para a zona da Sala com as estratégias bioclimáticas aplicadas .....	74
Figura 34- Verificação de condensações no caso de estudo.....	75
Figura 35- Verificação de condensações no caso de estudo com as estratégias bioclimáticas .	75
Figura 36- Balanço energético do caso inicial.....	76
Figura 37- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial.....	78
Figura 38- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial.....	79
Figura 39- Balanço energético do caso melhorado.....	81
Figura 40- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo melhorado.....	82
Figura 41- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo melhorado.....	83
Figura 42- Balanço energético do caso com iluminação melhorada .....	85
Figura 43- Balanço energético do caso com implementação URC .....	86
Figura 44- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala com a implementação da URC .....	91
Figura 45- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala com a implementação da URC e da BC .....	93
Figura 46- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala com a implementação da URC e da BC para aquecimento e arrefecimento .....	95
Figura 47- Temperaturas interiores e de conforto para a zona do Quarto na cidade de Bragança .....	99
Figura 48- Temperaturas interiores e de conforto para a zona da Sala na cidade de Bragança	99
Figura 49- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada do Quarto em Bragança .....	100
Figura 50- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada da Sala em Bragança .....	101
Figura 51- Temperaturas interiores e de conforto para a zona do Quarto no Peso da Régua	102
Figura 52- Temperaturas interiores e de conforto para a zona da Sala no Peso da Régua.....	102
Figura 53- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada do Quarto na cidade do Peso da Régua.....	103
Figura 54- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada da Sala na cidade do Peso da Régua.....	104
Figura 55- Temperaturas interiores e de conforto para a zona do Quarto na cidade de Faro	105
Figura 56- Temperaturas interiores e de conforto para a zona da Sala na cidade de Faro.....	105
Figura 57- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada do Quarto na cidade de Faro .....	106
Figura 58- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada da Sala na cidade de Faro .....	107

Figura 59- Verificação de condensações no caso de estudo em Bragança.....	108
Figura 60-Verificação de condensações no caso de estudo com as estratégias bioclimáticas em Bragança .....	108
Figura 61- Verificação de condensações no caso de estudo no Peso da Régua .....	108
Figura 62-Verificação de condensações no caso de estudo com as estratégias bioclimáticas no Peso da Régua.....	109
Figura 63- Verificação de condensações no caso de estudo em Faro .....	109
Figura 64-Verificação de condensações no caso de estudo com as estratégias bioclimáticas	109
Figura 65- Balanço energético anual do caso inicial em Bragança .....	110
Figura 66- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial em Bragança .....	112
Figura 67- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial em Bragança .....	113
Figura 68- Balanço energético anual do caso melhorado em Bragança.....	113
Figura 69- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado em Bragança .....	115
Figura 70- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso melhorado em Bragança .....	116
Figura 71- Balanço energético anual do caso inicial no Peso da Régua.....	117
Figura 72- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso inicial no Peso da Régua.....	118
Figura 73- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso inicial no Peso da Régua.....	119
Figura 74 -Balanço energético anual do caso melhorado no Peso da Régua .....	120
Figura 75- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado no Peso da Régua.....	122
Figura 76- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso melhorado no Peso da Régua.....	123
Figura 77- Balanço energético anual do caso inicial em Faro .....	124
Figura 78- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso inicial em Faro .....	125
Figura 79- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso inicial em Faro .....	126
Figura 80- Balanço energético anual do caso melhorado em Faro.....	127
Figura 81- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado em Faro .....	129
Figura 82- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso melhorado em Faro .....	130
Figura 83- Balanço energético para o caso final na cidade de Bragança.....	132
Figura 84- Balanço energético para o caso final na cidade do Peso da Régua .....	133
Figura 85- Balanço energético para o caso final na cidade de Faro.....	134
Figura 86- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala no caso final na cidade de Bragança .....	138

Figura 87- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala no caso final na cidade do Peso da Régua .....	140
Figura 88- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala no caso final na cidade de Faro .....	143

# Lista de Tabelas

Tabela 1- Categorias de ambiente térmico (adaptado [14]).....	7
Tabela 2- Temperaturas operativas de Inverno e Verão (adaptado [14]) .....	7
Tabela 3- Consumo mundial de energia em Mtep, por grupo de países, 2010-2040 (adaptado [18]).....	9
Tabela 4- Extratos pertencentes ao Despacho n.º15793/2013 [40].....	16
Tabela 5- Extratos pertencentes ao Despacho n.º6476/2021, [49].....	18
Tabela 6- Requisitos NZEB20 em edifícios de habitação [50] .....	20
Tabela 7- Classe energética para edifícios de habitação [51] .....	20
Tabela 8- Classes de inércia térmica [48].....	27
Tabela 9- Caraterização dos espaços do caso de estudo .....	40
Tabela 10- Dados Climáticos e Geográficos do Caso de Estudo .....	41
Tabela 11- Dados Climáticos e Geográficos da cidade de Bragança .....	42
Tabela 12- Dados Climáticos e Geográficos da cidade do Peso da Régua .....	42
Tabela 13- Dados Climáticos e Geográficos da cidade de Faro .....	43
Tabela 14- Soluções construtivas da envolvente opaca exterior.....	43
Tabela 15- Soluções construtivas do sistema de compartimentação.....	44
Tabela 16- Soluções construtivas da envolvente opaca em contacto com o solo.....	44
Tabela 17- Soluções construtivas da envolvente não opaca .....	45
Tabela 18- Condições fronteira em edifícios de habitação [51] .....	45
Tabela 19- Coeficiente de redução [51] .....	46
Tabela 20- Cores para a marcação da envolvente .....	46
Tabela 21- Análise da qualidade térmica da envolvente .....	47
Tabela 22- Geração típica de calor para diversas atividades (adaptado [12]).....	48
Tabela 23- Calor gerado por pessoa para cada espaço.....	49
Tabela 24- Perfis de utilização da ocupação .....	49
Tabela 25- Perfis de utilização da iluminação .....	50
Tabela 26- Potência dos equipamentos internos [12] .....	50
Tabela 27-Perfis de utilização dos equipamentos internos .....	51
Tabela 28- Aberturas do Caso de Estudo .....	53
Tabela 29- Fatores de conversão de energia primária para emissões de CO2 [51] .....	57
Tabela 30- Comparação entre as paredes exteriores iniciais e melhoradas .....	60
Tabela 31- Comparação entre as paredes interiores em contacto com espaços não úteis iniciais e melhoradas .....	61
Tabela 32-Comparação entre o pavimento sobre espaço não útil inicial e melhorado .....	62
Tabela 33- Comparação entre a laje de cobertura inicial e melhorada.....	63
Tabela 34- Valores de iluminância média por espaço .....	65
Tabela 35- Caudais mínimos de extração de ar [51].....	66
Tabela 36- Caraterísticas da unidade de ventilação com recuperação de calor .....	67
Tabela 37- Caraterísticas da Bomba de Calor .....	69
Tabela 38- Temperaturas interiores fora da zona de conforto.....	72

Tabela 39- Temperaturas interiores fora da zona de conforto para o caso melhorado no Porto .....	73
Tabela 40- Balanço energético anual por unidade de área para o caso inicial.....	76
Tabela 41- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada espaço para o caso inicial .....	77
Tabela 42- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial .....	77
Tabela 43- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial .....	78
Tabela 44- Balanço energético anual por unidade de área para o caso melhorado .....	80
Tabela 45- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada espaço para o caso melhorado.....	81
Tabela 46- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo melhorado.....	82
Tabela 47- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo melhorado.....	83
Tabela 48- Balanço energético anual por unidade de área para o caso com melhorias na iluminação.....	84
Tabela 49- Balanço energético anual por unidade de área para a implementação da URC .....	86
Tabela 50- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento por grupo de espaços com a implementação da URC.....	87
Tabela 51- Balanço energético anual por unidade de área para a implementação da URC e BC .....	88
Tabela 52- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC com a implementação da URC .....	88
Tabela 53- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da suite com a implementação da URC .....	89
Tabela 54- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos halls e WC com a implementação da URC .....	89
Tabela 55- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha com a implementação da URC.....	90
Tabela 56- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala com a implementação da URC.....	90
Tabela 57- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC com a implementação da URC e BC .....	91
Tabela 58- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da suite com a implementação da URC e BC .....	92
Tabela 59- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos halls e WC com a implementação da URC e BC .....	92
Tabela 60- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha com a implementação da URC e BC.....	92
Tabela 61- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala com a implementação da URC e BC.....	93

Tabela 62- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC com a implementação da URC e BC com arrefecimento .....	94
Tabela 63- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha com a implementação da URC e BC para arrefecimento .....	94
Tabela 64- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala com a implementação da URC e BC para arrefecimento .....	95
Tabela 65- Consumo elétrico anual por unidade de área para a implementação da URC e BC	96
Tabela 66- Emissões de dióxido de carbono do edifício .....	97
Tabela 67- Temperaturas interiores fora da zona de conforto em Bragança.....	98
Tabela 68- Temperaturas interiores fora da zona de conforto para o caso melhorado em Bragança .....	99
Tabela 69- Temperaturas interiores fora da zona de conforto no Peso da Régua .....	101
Tabela 70- Temperaturas interiores fora da zona de conforto para o caso melhorado no Peso da Régua .....	103
Tabela 71- Temperaturas interiores fora da zona de conforto em Faro .....	104
Tabela 72- Temperaturas interiores fora da zona de conforto para o caso melhorado em Faro .....	106
Tabela 73- Balanço energético anual por unidade de área para o caso inicial em Bragança..	110
Tabela 74- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável para o caso inicial em Bragança .....	110
Tabela 75- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial em Bragança .....	111
Tabela 76- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial em Bragança .....	112
Tabela 77- Balanço energético anual por unidade de área para o caso melhorado em Bragança .....	113
Tabela 78- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada espaço para o caso melhorado em Bragança.....	114
Tabela 79- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado em Bragança .....	114
Tabela 80- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial em Bragança .....	115
Tabela 81- Balanço energético anual por unidade de área para o caso inicial no Peso da Régua .....	116
Tabela 82- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável para o caso inicial no Peso da Régua .....	117
Tabela 83- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial no Peso da Régua.....	118
Tabela 84- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial no Peso da Régua.....	119
Tabela 85- Balanço energético anual por unidade de área para o caso melhorado no Peso da Régua .....	120

Tabela 86- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada espaço para o caso melhorado no Peso da Régua .....	120
Tabela 87- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado no Peso da Régua.....	121
Tabela 88- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial no Peso da Régua.....	122
Tabela 89- Balanço energético anual por unidade de área para o caso inicial em Faro .....	123
Tabela 90- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável para o caso inicial em Faro.....	124
Tabela 91- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial em Faro.....	125
Tabela 92- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial em Faro.....	126
Tabela 93- Balanço energético anual por unidade de área para o caso melhorado em Faro .	127
Tabela 94- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada espaço para o caso melhorado em Faro .....	127
Tabela 95- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado em Faro .....	128
Tabela 96- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso melhorado em Faro .....	129
Tabela 97- Balanço energético anual por unidade de área para o caso final na cidade de Bragança .....	131
Tabela 98- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento por grupo de espaços para o caso final na cidade de Bragança.....	132
Tabela 99- Balanço energético anual por unidade de área para o caso final na cidade do Peso da Régua .....	133
Tabela 100- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento por grupo de espaços para o caso final na cidade do Peso da Régua .....	133
Tabela 101- Necessidades energéticas anuais por unidade de área para o caso final na cidade de Faro .....	134
Tabela 102- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento por grupo de espaços para o caso final na cidade de Faro .....	135
Tabela 103- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC para o caso final na cidade de Bragança .....	135
Tabela 104- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da suite para o caso final na cidade de Bragança .....	136
Tabela 105- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos halls e WC para o caso final na cidade de Bragança .....	136
Tabela 106- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha para o caso final na cidade de Bragança.....	137
Tabela 107- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala para o caso final na cidade de Bragança.....	137

Tabela 108- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC para o caso final na cidade do Peso da Régua.....	138
Tabela 109- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da suite para o caso final na cidade do Peso da Régua .....	138
Tabela 110- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos halls e WC para o caso final na cidade do Peso da Régua.....	139
Tabela 111- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha para o caso final na cidade do Peso da Régua .....	139
Tabela 112- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala para o caso final na cidade do Peso da Régua .....	140
Tabela 113- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC para o caso final na cidade de Faro .....	141
Tabela 114- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da suite para o caso final na cidade de Faro.....	141
Tabela 115- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos halls e WC para o caso final na cidade de Faro .....	141
Tabela 116- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha para o caso final na cidade de Faro .....	142
Tabela 117- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala para o caso final na cidade de Faro .....	142
Tabela 118- Consumo elétrico anual por unidade de área para a implementação da URC e BC para a cidade de Bragança .....	144
Tabela 119- Consumo elétrico anual por unidade de área para a implementação da URC e BC para a cidade do Peso da Régua .....	144
Tabela 120- Consumo elétrico anual por unidade de área para a implementação da URC e BC para a cidade de Faro.....	145



# Acrónimos e Símbolos

## Lista de Acrónimos

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
ADENE	Agência para a Energia
APA	Associação Portuguesa do Ambiente
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BIM	Building Information Model
BC	Bomba de Calor
CBE	Center For The Building Environment
CE	Comissão Europeia
COP	Coeficiente de Desempenho
CT	Cargas Térmicas
EER	Rácio de Eficiência Energética
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
ETICS	External Thermal Insulation Composite System
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
GWP	Potencial de Aquecimento Global
IEEs	Indicador de Eficiência Energética
LED	Díodo Emissor de Luz
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NZEB	Net Zero Energy Building
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PDEE	Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios
PPD	Percentagem Prevista de Pessoas Insatisfeitas
PMV	Voto Médio Estimado
PTL	Pontes Térmicas Lineares
QAI	Qualidade do Ar Interior

RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RTS	Séries Temporais Radiativas
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética
SEER	Coeficiente de desempenho sazonal de arrefecimento
SCOP	Coeficiente de desempenho sazonal de aquecimento
UE	União Europeia
URC	Unidade de recuperação de calor
XPS	Poliestireno extrudido

## Lista de Símbolos

$A_{Du}$	Área de DuBois da superfície corporal	$m^2$
Atividade <sub>Área</sub>	Calor gerado pela atividade por unidade de área	$W/m^2$
Atividade <sub>Pessoa</sub>	Calor gerado pela atividade por pessoa	$W/pessoa$
$A_i$	Somatório das áreas dos elementos de todas as frações de habitação e comércio e serviços que separam os respetivos espaços interiores úteis do espaço interior não útil	$m^2$
$A_u$	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do ambiente exterior	$m^2$
$CO_2$	Dióxido de Carbono	
DPI	Densidade de potência instalada	$W/m^2$
$E_{f,luminosa}$	Eficácia luminosa	$lm/W$
$\bar{E}_m$	Iluminância média	lux
$e_{iso}$	Espessura de isolamento	m
$E_{ren,p}$	Energia produzida a partir de fontes de origem renovável $p$ destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício	$kWh/ano$

f	Espaço interior não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas	
F	Espaço interior não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas	
$f_{a,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema $k$ para a fonte de energia $j$	
$f_{eh}$	Fator de Eficiência Hídrica	
$F_{pu,j}$	Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia $j$ , incluindo renovável	kWh <sub>EP</sub> /kWh
$F_{pu,p}$	Fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia renovável $p$	kWh <sub>EP</sub> /kWh
$I_t$	Massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento	kg/m <sup>2</sup>
M	Duração da estação de aquecimento e arrefecimento	meses
$M_{AQS}$	Consumo médio diário de referência	l/pessoa
$N_i$	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência	kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$N_{ic}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$\eta_k$	Eficiência do sistema $k$ para a fonte de energia $j$	
$n_v$	Fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento;	
$n_{oc}$	Número de ocupantes	pessoa
$N_t$	Necessidades nominais de energia primária de referência	kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$N_{tc}$	Necessidades nominais de energia primária	kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
$N_v$	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência	kWh/(m <sup>2</sup> .ano)

$N_{vc}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	$kWh/(m^2 \cdot ano)$
$Q_a$	Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS	$kWh/ano$
$Q_{Ar\ Novo\ mín}$	Caudal de ar novo mínimo	$m^3/h$
$Q_{g,v}$	Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento	$kWh/ano$
$q_{int}$	Ganhos térmicos internos médios	$W/m^2$
$Q_{int}/A_p$	Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor por unidade de área	$kWh/(ano * m^2)$
$Q_{gu,i}$	Ganhos de calor úteis	$kWh/ano$
$Q_{tr,i}$	Transferência de calor pela envolvente	$kWh/ano$
$Q_{ve,i}$	Transferência de calor por ventilação	$kWh/ano$
$R_{ph}$	Taxa de Renovação do Ar Horária	$ren/h$
$R_{estaque}$	Resistência térmica estuque	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
$R_{laje}$	Resistência térmica laje de betão	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
$R_{iso}$	Resistência térmica isolante	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
$R_{Nt}$	Rácio de classe energética em edifícios de habitação	
$R_{si}$	Resistência térmica superficial	$m^2 \cdot ^\circ C/W$
$U$	Coefficiente de Transmissão Térmica	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$U_{Cob}$	Coefficiente de Transmissão Térmica da laje de cobertura	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$U_{Par.Nova}$	Coefficiente de Transmissão Térmica das paredes melhoradas	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$U_{Par.Inicial}$	Coefficiente de Transmissão Térmica das paredes iniciais	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$U_{Pav.Melhorado}$	Coefficiente de Transmissão Térmica do pavimento melhorado	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$V_{enu}$	Volume do espaço interior não útil	$m^3$
$V_{tot}$	Volume total	$m^3$
$\lambda$	Condutibilidade térmica	$W/(m \cdot ^\circ C)$

## Lista de Unidades

KJ	kiloJoule
GJ	GigaJoule
BTU	Unidade Térmica Britânica
m	Metros
Mtep	Tonelada Equivalente de Petróleo



# 1. Introdução

Neste capítulo realiza-se um enquadramento do tema e da importância do seu estudo assim como a definição dos objetivos pretendidos com a realização deste trabalho. É também apresentada a metodologia usada para o desenvolvimento do tema, assim como, a estrutura do relatório.

## 1.1. Contextualização

A sustentabilidade da vida neste planeta passa pela redução da emissão de gases com efeito de estufa (GEE) e, implicitamente, pela redução do consumo de energia.

Um dos grandes entraves à sustentabilidade da vida no planeta passa pela emissão de GEE, diretamente relacionada com o consumo de energia, sendo o mais importante e abundante o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) [1]. A emissão excessiva de  $CO_2$  deve-se à intervenção humana associada à revolução industrial, à agricultura, à deflorestação e à utilização de combustíveis fósseis [2].

O aumento do consumo de energia está diretamente ligado ao aumento da qualidade de vida [3], porém este consumo não é tão sustentável como devia, uma vez que é uma das principais fontes de GEE. O consumo insustentável é uma das causas dos problemas ambientais que se enfrentam [4].

Os países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico), da qual fazem parte Portugal e as maiores potências mundiais, estão sensibilizados para os problemas relacionados com os combustíveis fósseis, havendo uma redução ainda curta, mas positiva, porém fora da OCDE o consumo destes combustíveis tem aumentado devido à sua indústria desregulada e à elevada agricultura. Os edifícios são um dos grandes responsáveis pelo consumo de energia e pela produção de dióxido de carbono, sendo responsáveis por cerca de 20 a 40% dos consumos de energia globais em países mais desenvolvidos como os pertencentes à OCDE, ultrapassando os consumos associados à indústria e ao transporte [5]. Também nas emissões de  $CO_2$ , os edifícios têm um impacto muito significativo, chegando a ter um peso de 35% nas emissões globais [6].

Por estas razões, reduzir o consumo energia e, conseqüentemente, a emissão de gases poluentes em edifícios é essencial para atingir a eficiência energética e os objetivos da sustentabilidade. Construir edifícios mais sustentáveis e transformar os existentes em edifícios

com necessidades energéticas quase nulas e sem emissão de poluentes é uma das metas mais importantes para o planeta.

### **1.2. Objetivos**

O principal objetivo deste trabalho é concluir sobre a possibilidade de transformar um edifício unifamiliar existente, incrementando as condições de conforto dos ocupantes e, em simultâneo, convertendo-o num edifício com baixas necessidades energéticas e neutro em emissões de dióxido de carbono operacional. Com este intuito, propõe-se analisar o edifício existente e as suas necessidades energéticas para, em sequência, ir introduzindo as melhorias necessárias ao nível das soluções construtivas, ganhos internos, ventilação e sistemas de climatização, de modo a alcançar o objetivo ambicionado, isto é, de o transformar num edifício de reduzidas necessidades energéticas e neutro na emissão de carbono operacional. De seguida, é necessário avaliar qual o impacto de cada medida por si e em conjunto, avaliar os resultados e concluir sobre o cumprimento do objetivo principal.

Como objetivo adicional, propôs-se o estudo deste edifício para diversas localizações no nosso país, correspondentes a zonamentos climáticos diversos, no sentido de averiguar como é que a localização interfere com as medidas necessárias àquele objetivo.

Dado o especial enfoque que se pretende no desempenho energético do edifício propriamente dito, exclui-se desta avaliação a água quente sanitária e as necessidades energéticas inerentes a este serviço. Do mesmo modo, também as necessidades energéticas associadas aos equipamentos não são objeto de otimização, ainda que, consideradas para efeitos de contabilização de ganhos internos.

### **1.3. Metodologia**

A metodologia adotada neste trabalho incide numa inicial investigação dedutiva, sempre criteriosa e assente em princípios científicos e na aplicação de mecanismos de controlo que assegurem a validade dos dados e clareza nas definições. Após, adota-se uma estratégia de investigação do estudo de caso havendo um desenvolvimento detalhado do caso de estudo que permite questionar os resultados encontrados e fornecer novas e melhoradas hipóteses. O método de trabalho utilizado é o método empírico-analítico, um método que assenta na existência de um problema e depois na definição de hipóteses para a sua resolução. A experimentação destas hipóteses e a análise dos resultados obtidos permitem a resolução do problema inicial.

Ao nível dos equipamentos necessários apenas é necessário um computador com capacidade para desenvolver simulações nas ferramentas de cálculo adequadas ao fim em vista.

## 1.4. Estrutura do Relatório

Esta dissertação organiza-se em cinco capítulos, sendo eles **INTRODUÇÃO, REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, MÉTODOS E APLICAÇÃO, RESULTADOS E DISCUSSÃO e CONCLUSÃO.**

No capítulo da introdução é feito um enquadramento ao assunto sobre o qual esta dissertação incide, são referidos os principais objetivos, bem como a metodologia adotada e a estrutura utilizada neste relatório.

No capítulo da revisão bibliográfica são desenvolvidos os temas que se consideraram pertinentes abordar em relação ao tema em estudo, através de uma minuciosa pesquisa sobre os autores mais relevantes na matéria e os princípios legais associados. Em primeiro lugar, abordam-se os temas do conforto interior e da eficiência energética e do seu impacto na redução dos consumos de energia e consequentemente na sustentabilidade do planeta. De seguida, disserta-se acerca do conceito de edifícios NZEB, expondo as diretrizes definidas pelos órgãos governamentais portugueses e europeus no sentido da implementação destes edifícios. Posteriormente apresentam-se as estratégias e os métodos utilizados para a obtenção destes edifícios. Por fim, abordam-se as ferramentas de cálculo existentes para a modelação e simulação dos edifícios, *CYPE Architecture*, *Open BIM Analytical Model*, *Open BIM Construction Systems* e *CYPETHERM EPlus*.

O terceiro capítulo diz respeito aos métodos e aplicação. Neste capítulo realiza-se a caracterização do edifício existente e de seguida, abordam-se todos os parâmetros necessários para a sua implementação nas ferramentas de cálculo. Além disso, abordam-se todos os pressupostos utilizados ao longo da simulação, assim como, todos os métodos, equações e considerações basilares para a obtenção do resultado desejado.

Posteriormente, encontra-se o capítulo dos resultados e discussão. Este capítulo tem como objetivo, depois do enquadramento teórico e prático anterior, apresentar os resultados obtidos nas diversas simulações realizadas e abordá-los criteriosamente. Ao longo deste capítulo encontram-se diversos resultados que permitem, através da análise fundamentada, evoluir até atingir os objetivos propostos. Além disso, apresentam-se comparações entre os diferentes estudos que nos permitem tirar conclusões acerca da relevância dos elementos construtivos do edifício e da sua localização.

Por último, encontra-se o quinto capítulo onde são apresentadas as considerações finais do trabalho. Aqui encontra-se um compêndio dos resultados obtidos, das dificuldades apresentadas ao longo deste processo e ainda propostas para a constante melhoria do objeto estudado.

## Introdução

## 2. Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica sobre a descarbonização dos edifícios, onde é feita uma pesquisa sobre os temas relevantes para a execução dos objetivos pretendidos. Inicialmente é feita uma análise ao conceito de conforto adaptativo, aos consumos energéticos dos edifícios e às preocupações que estes consumos causam na sustentabilidade do planeta. De seguida é apresentado o conceito de edifício com necessidade de energia quase nulas e neutro em carbono e das diretrizes transmitidas pelo governo nacional e pela União Europeia para a sua implementação. Finalmente apresentam-se as estratégias para a obtenção deste conceito que se dividem em estratégias de redução e de produção de energia.

### 2.1. Conforto Térmico Adaptativo

O conforto térmico descreve a percepção satisfatória de um indivíduo relativamente ao ambiente térmico. É considerado como uma das condições mais críticas para melhorar o conforto e a satisfação dos ocupantes no ambiente interior [7].

É transversal a qualquer pessoa que a temperatura de um espaço é crucial para se obter uma sensação de conforto. Aliás, estudos demonstram que uma temperatura correta aliada a outros fatores como a velocidade do ar e a humidade relativa são muito importantes em termos de conforto, saúde e até mesmo prazer dos seus ocupantes. Por exemplo, ambientes muito frios são desagradáveis e podem levar a um estado de hipotermia, causado por uma exposição a temperaturas muito baixas.

O conforto sentido num espaço depende também da temperatura exterior do seu local. Grandes diferenças de temperaturas entre o espaço interior e exterior geram também uma sensação de desconforto e contribuem para problemas de saúde. Além disso, estas diferenças resultam em grandes gastos energéticos na climatização do espaço. Dito isto, é muito importante existir num edifício uma correta relação entre a temperatura do ar exterior e interior [8].

Numa abordagem mais flexível, designada por adaptativa, consideram-se gamas de temperatura de conforto, e não valores fixos, pelo facto de se verificar que os utentes quando têm a possibilidade de exercer adaptação, atuando quer nos sistemas ou nos elementos da envolvente, quer na sua atividade ou vestuário, são mais tolerantes em termos de condições de conforto [9].

Existem diversas normas que abordam os intervalos das temperaturas de conforto sendo as mais relevantes a norma Europeia 16798 e a norma americana ASHRAE 55.

A norma americana ASHRAE 55 foi a primeira norma de conforto que incluiu um modelo adaptativo. Tal como a norma Europeia, também a ASHRAE 55 fornece requisitos mínimos para ambientes térmicos interiores aceitáveis, permitindo avaliar as condições gerais de conforto térmico num edifício. Apesar de ser uma norma americana, o modelo de conforto adaptativo pode ser aplicado a nível global, pois os dados de investigação que o fomentam provêm de 160 edifícios diferentes, localizados em dezenas de países espalhados por quatro continentes diferentes [10]. São especificadas as condições aceitáveis para uma maioria de um grupo exposto às mesmas condições. A norma define que para ser considerado maioria é necessário que exista 80% de aceitação global. Isto significa que, um espaço que cumpra os requisitos normativos provavelmente terá ocupantes insatisfeitos devido às diferenças individuais de cada ser humano.

Esta norma possui métodos simples de determinação das condições térmica aceitáveis em espaços condicionados. Apenas é aplicável a espaços em que as condições térmicas são reguladas pelos ocupantes através da ventilação natural associada a abertura ou fecho de janelas, espaços sem sistemas de arrefecimento tecnológico e espaços onde a atividade metabólica dos ocupantes se encontra entre 1,0 e 1,3 met. O espaço pode estar capacitado com um sistema de aquecimento, porém, os limites definidos não se aplicam quando o sistema de aquecimento está ligado [11].

Existe uma relação entre a temperatura do ar exterior e a temperatura operativa que permite verificar se a temperatura operativa está dentro dos limites de conforto térmico. O conceito de temperatura operativa exprime o efeito conjunto da temperatura do ar, da temperatura média radiante e da velocidade do ar. Assim, a temperatura operacional para o conforto é a temperatura do ar ambiente mais um incremento de temperatura, uma razão que mede a eficácia do aquecimento radiante incidente sobre os ocupantes. Um maior movimento do ar reduz a eficácia dos sistemas de aquecimento radiante e o vestuário permite reduzir a temperatura de conforto [12].

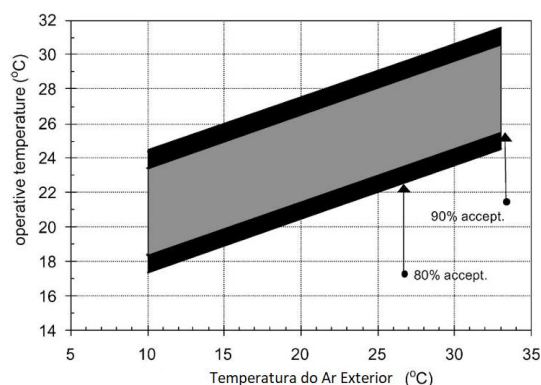


Figura 1- Intervalo de temperaturas operativas aceitáveis para espaços não climatizados (adaptado [11])

A Norma Europeia 16798 define quatro categorias (I, II, III e por vezes IV) para o ambiente térmico, qualidade do ar interior, acústica e iluminação e esclarece a sua utilização nos parâmetros de cálculo do desempenho energético. Além disso, esta Norma fornece linhas de orientação que permitem evitar que edifícios novos ou renovados possuam problemas ao nível da acústica, ventilação e climatização [13].

As categorias estão diretamente relacionadas com a percentagem prevista de pessoas insatisfeitas (PPD) e com o voto médio estimado (PMV). Estes dois índices permitem balizar a qualidade do ambiente térmico presente. Na Tabela 1 encontram-se explicadas as diversas categorias de ambiente térmico e a sua relação com o PPD e PMV.

Tabela 1- Categorias de ambiente térmico (adaptado [14])

<b>Categoria</b>	<b>PPD</b>	<b>PMV</b>	<b>Explicação</b>
<b>I</b>	<6	-0,2<PMV<+0,2	Alto nível de expectativa e é recomendada para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com necessidades especiais como deficientes, doentes, crianças muito pequenas e idosos
<b>II</b>	<10	-0,5<PMV<+0,5	Nível normal de expectativa e deve ser utilizado para novas construções e renovações
<b>III</b>	<15	-0,7<PMV<+0,7	Um nível aceitável e moderado de expectativa e pode ser usado para edifícios existentes
<b>IV</b>	<25	-1,0<PMV<+1,0	Valores fora dos critérios para as categorias anteriores. Esta categoria só deve ser aceite para uma parte limitada do ano

Observa-se na tabela que a categoria I é a mais restritiva e com maior qualidade enquanto a categoria IV é a mais abrangente, mas naturalmente permite ambientes com menor qualidade térmica. Através da categoria de ambiente térmico, a norma define intervalos de temperaturas operativas de conforto. Na Tabela 2 apresentam-se as gamas de temperaturas de conforto definidas.

Tabela 2- Temperaturas operativas de Inverno e Verão (adaptado [14])

<b>Tipo de Edifício/ Espaço</b>	<b>Categoria</b>	<b>Temperatura Operativa °C</b>	
		Mínimo para aquecimento (Inverno), aproximadamente 1,0 clo	Máximo para arrefecimento (Verão), aproximadamente 0,5 clo
<b>Edifícios residenciais, espaços residenciais (quartos, salas, cozinhas, etc.). Atividade sedentária ~1,2 met</b>	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
	IV	16,0	28,0
	I	18,0	-----
	II	16,0	-----

<b>Tipo de Edifício/ Espaço</b>	<b>Categoria</b>	<b>Temperatura Operativa °C</b>	
<b>Edifícios residenciais, outros espaços (arrumos, despensas, etc.). Atividades de pé, a caminhar ~1,5 met</b>	III	14,0	-----
<b>Escritórios e espaços com atividade semelhante (escritórios, salas de conferência, auditórios, cafeterias, restaurantes, salas de aula). Atividade sedentária ~1,2 met</b>	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
	IV	18,0	28,0

Constata-se que as temperaturas de conforto térmico estão diretamente relacionadas com o tipo de edifício e espaço existente, com a categoria térmica e com a atividade e vestuário dos ocupantes. Exemplificando com os dados da tabela, as temperaturas mínimas e máximas de conforto para um quarto situado num edifício residencial com um nível aceitável de expectativa são 18°C e 27°C respetivamente enquanto para um restaurante com o mesmo nível de expectativa a temperatura mínima de aquecimento já é de 19°C.

A utilização de temperaturas de referência adaptáveis definidas na Norma Europeia pode ser uma estratégia adequada para reduzir o consumo de energia do edifício e garantir o conforto térmico dos ocupantes. Estudos realizados para diversos países no sul da Europa, incluindo Portugal demonstram que a utilização de modelos adaptativos de conforto térmico leva a poupanças significativas no consumo de energia. A aplicação destas estratégias de temperaturas adaptáveis para novos edifícios permitiu obter poupanças de energia superiores a 1000 kWh/ano, com poupanças no consumo energético superiores a 50% para o arrefecimento e 30% para o aquecimento [15].

## 2.2. Eficiência Energética dos Edifícios

Muitas vezes pensa-se que eficiência energética e poupança de energia são sinónimos. Apesar de ambos implicarem uma diminuição do consumo de energia, poupar energia é desprezar a qualidade do serviço para reduzir o consumo, enquanto ser eficiente energeticamente passa por desempenhar o mesmo serviço, mas com um consumo inferior de energia [16]. Por exemplo, na utilização de uma máquina de lavar, poupar energia passa por reduzir o número de lavagens feitas, enquanto ser eficiente é utilizar uma máquina que faça as mesmas lavagens com um consumo inferior de energia.

Eficiência energética é uma das principais prioridades dos países mais desenvolvidos como Portugal, sendo um dos principais fatores na redução do impacto ambiental associado ao setor da energia. Além disso, contribui para reduzir a dependência existente dos combustíveis fósseis [17].

O consumo insustentável é uma das causas dos problemas ambientais que se enfrentam [4]. Na Tabela 3 apresentam-se os dados relativos ao consumo energético mundial por grupos de países.

Tabela 3- Consumo mundial de energia em Mtep, por grupo de países, 2010-2040 (adaptado [18])

Região	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	Variação percentual anual média
<b>OCDE</b>	242	244	255	263	269	276	285	0,5
<b>América</b>	120	121	126	130	133	137	144	0,6
<b>Europa</b>	82	82	85	89	91	93	95	0,5
<b>Ásia</b>	40	41	43	44	45	46	46	0,5
<b>Fora OCDE</b>	282	328	375	418	460	501	535	2,2
<b>Europa e Eurásia</b>	47	50	53	57	61	65	67	1,2
<b>Ásia</b>	159	194	230	262	290	317	337	2,5
<b>Médio Oriente</b>	28	33	37	39	43	46	49	1,9
<b>África</b>	19	20	22	24	27	31	35	2,1
<b>América Central e do Sul</b>	29	31	33	35	39	42	47	1,6
<b>Mundo</b>	524	572	630	680	729	777	820	1,5

Analisando a tabela pode-se concluir que os países da OCDE e os países asiáticos fora da OCDE são os maiores consumidores de energia o que é explicado pela maior qualidade de vida existente nestes países e pelo facto de países como China e Índia terem uma densidade populacional e industrial bastante elevada.

### 2.2.1. Consumo energético nos edifícios

O consumo de energia em edifícios representa cerca de 40% do consumo mundial de energia e cerca de um terço das emissões globais de  $CO_2$  [19]. Em Portugal, um país mediterrâneo sem grandes extremos de temperatura, as necessidades de arrefecimento e sobretudo de aquecimento são menores, pelo que, o consumo de energia representa cerca de 30% do consumo total de energia [20], como se pode ver na Figura 2.

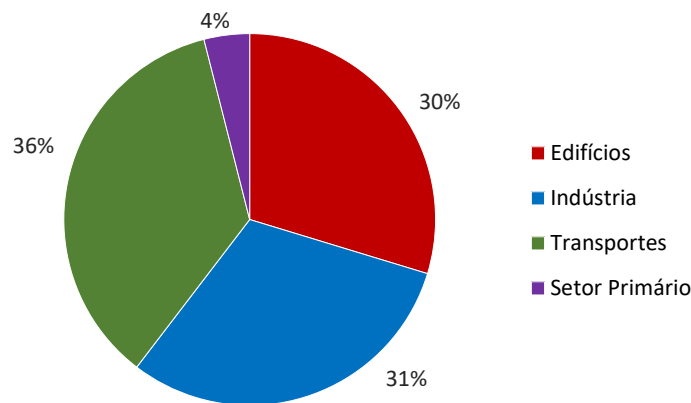


Figura 2- Gráfico da distribuição do consumo energético em Portugal (adaptado [16])

Restringindo a análise apenas aos edifícios de habitação, verifica-se que, no ano de 2020, o setor doméstico representava cerca de 20% do consumo final de energia [21].

Dentro dos edifícios de habitação verifica-se que a Cozinha (equipamentos utilizados para cozinhar) representa mais de um terço do consumo global de um edifício, seguida do aquecimento de água e dos equipamentos com praticamente 22% ambos. Na Figura 3 encontra-se a distribuição do consumo energético por tipo de uso.

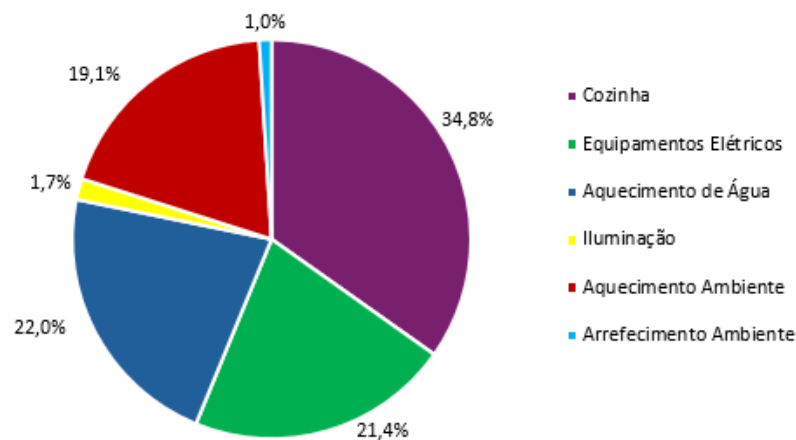


Figura 3- Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de uso (adaptado [21])

A principal fonte de energia consumida no setor doméstico em Portugal é a eletricidade, representando quase metade do consumo total em 2020 (46,4% para ser exato), seguido da biomassa com cerca de 18,4% do consumo total. No sentido oposto, apesar do aquecimento de água e do aquecimento ambiente juntos representarem mais de 40% do consumo de energia numa habitação, a energia solar térmica apenas representa 2,1% do consumo total de energia.

Na Figura 3 encontra-se a distribuição do consumo energético por tipo de energia.

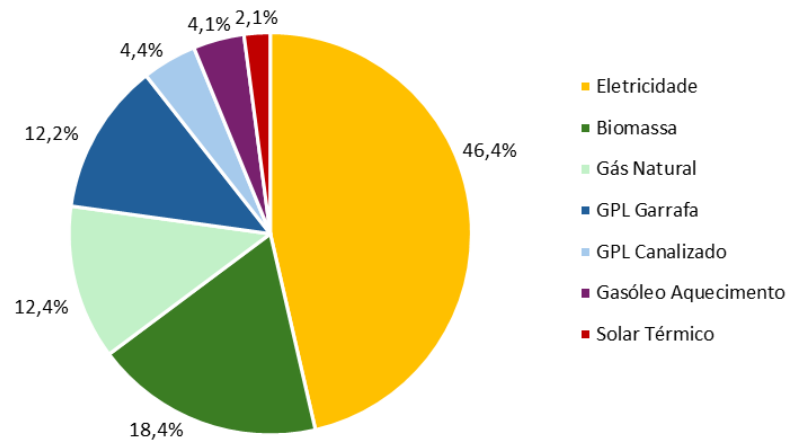


Figura 4- Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia (adaptado [21])

Examinando a distribuição das fontes de energia pelos tipos de utilização, verifica-se que a eletricidade é a fonte de energia utilizada no arrefecimento ambiente, iluminação e nos equipamentos elétricos. Abordando o aquecimento ambiente, averigua-se que a biomassa é a principal fonte de energia utilizada, representando mais de 65% do consumo de energia, seguida do gasóleo com 12,4% e da eletricidade com 10,0% do consumo total de energia neste tipo de utilização. No caso do aquecimento de água, as fontes de energia mais utilizadas são o GPL (gás de petróleo liquefeito) e o gás natural. Os sistemas solares térmico representam cerca de 7,7% e a eletricidade 2,7%. O consumo de energia para os equipamentos utilizados para cozinhar provém maioritariamente de eletricidade seguido de GPL e biomassa.

Na Figura 5 apresenta-se a distribuição do consumo de energia no alojamento, por tipo de uso e fonte de energia abordada acima.

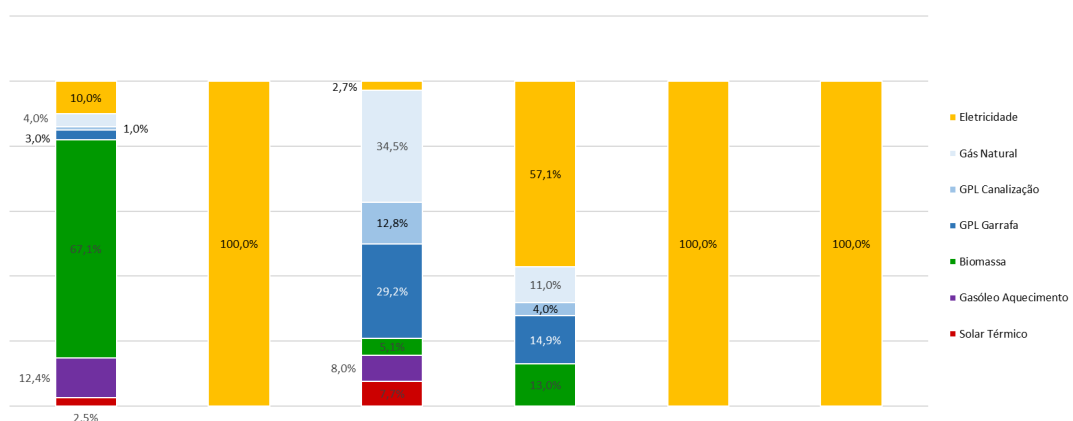


Figura 5- Distribuição do consumo de energia no alojamento, por tipo de uso e fonte de energia (adaptado [21])

## 2.3. Evolução das diretivas e legislação sobre o desempenho energético de edifícios

Tendo em conta a importância da eficiência energética na sustentabilidade ambiental, foram-se criando diretivas e decretos-lei que visam estabelecer metas, padrões de cálculo e parâmetros mínimos que são necessários respeitar.

De seguida, apresentam-se as medidas definidas para os países da união europeia e as medidas específicas definidas pelas entidades portuguesas.

### 2.3.1. Diretivas e Políticas Europeias

Como referido anteriormente, a União Europeia criou medidas com vista a promover o aumento de edifícios com alta eficiência energética. Algumas medidas foram revogadas e alteradas, pelo que, se apresenta a evolução temporal e a finalidade das mesmas.

- 2002 - Diretiva 2002/91/CE: Desempenho Energético dos Edifícios, EPBD.

Esta diretiva tem como objetivo impulsionar a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo em consideração os contextos climáticos exteriores e locais, bem como as necessidades relativamente ao clima interior e a rentabilidade económica. Estabeleceram-se diversos requisitos sendo estes: obrigação de requisitos mínimos para a performance energética dos edifícios novos e da renovação dos existentes, definição de um método de cálculo do desempenho energético, inspeções obrigatórias a caldeiras e instalações de ar condicionado e ainda foram definidos requisitos na área da certificação energética de edifícios [22].

- 2009 – Diretiva 2009/28/CE: Promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

A missão desta diretiva é a definição de objetivos nacionais obrigatórios para a quota global de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia [23].

- 2010 – Diretiva 2010/31/UE: Revisão do desempenho Energético dos Edifícios.

Revogação efetuada à diretiva anterior, de modo a simplificar, reforçar e esclarecer várias diretrizes, assim como, definir metas mais ambiciosas para os edifícios. Além dos requisitos expressos na diretiva de 2002, foram adicionados novos como a aplicação de requisitos mínimos para os elementos construtivos da envolvente dos edifícios com impacto significativo no desempenho energético da envolvente quando forem renovados ou substituídos e sistemas técnicos dos edifícios quando for instalado um novo sistema ou quando o sistema existente for substituído ou melhorado. Também foram definidos requisitos aos planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia e aos sistemas de controlo independente dos certificados de desempenho energético e dos relatórios de inspeção dos equipamentos [24].

- 2012 – Diretiva 2012/27/UE: Revisão à eficiência energética.

Esta diretiva surge como alteração das Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/EU e revogação das Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE e teve como intuito o estabelecimento de um quadro comum de medidas de promoção da eficiência energética na EU, de modo a atingir uma redução de 20% do consumo de energia primária, relativamente às projeções, até 2020 e ainda moldar o caminho depois deste ano. Além disso, também foram definidos princípios com a finalidade de eliminar os entraves no mercado da energia e superar as necessidades do mercado que impedem a eficiência no aprovisionamento e na utilização da energia. Esta diretiva permite ainda que os Estados-Membros mantenham os requisitos mínimos definidos ou adicionam medidas mais rigorosas. Um dos objetivos estipulados foi o de em 2020 o consumo de energia não deve exceder 1 474 toneladas equivalente de petróleo (Mtep) de energia primária ou 1 078 Mtep de energia final [25]. Importante referir que 1 Mtep equivale a aproximadamente 42 GJ.

- 2018 – Diretiva 2018/844/UE: Revisão do desempenho Energético dos Edifícios e da eficiência energética.

Procede à alteração das diretivas 2010/31/UE e 2012/27/UE. Esta diretiva teve em consideração a necessidade de estabelecer compromissos mais ambiciosos para 2050 relativamente à emissão de GEE, à necessidade de elevar a percentagem do consumo de energias renováveis e acrescer a segurança energética e sustentabilidade da Europa. A diretiva realça que os Estados-Membros deverão alcançar uma simbiose entre os custos de descarbonizar o abastecimento energético e o consumo final de energia [26].

Foram definidos diversos objetivos sendo os primordiais a redução em 40 % dos GEE até 2030 e em 80 a 95% até 2050 relativamente aos valores de 1990. Outros objetivos são, por exemplo, a criação de soluções baseadas na natureza como paredes e coberturas “verdes” que forneçam sombra e isolamento ao edifício, estabelecimento de requisitos para que os edifícios não residenciais em que a potência seja superior a 290 kW tenham sistemas de automatização e controlo até 2025 e o estabelecimento de medidas cruciais, de modo a efetuar inspeções periódicas às partes acessíveis dos sistemas de aquecimento ou de aquecimento e ventilação, que possuam uma potência nominal útil superior a 70 kW [26].

- 2019 - Diretiva 2019/944/UE: Mercado interno da eletricidade.

Esta diretiva realiza reformulações à Diretiva 2012/27/UE. São definidas regras relativas ao armazenamento, transporte e comercialização de eletricidade, de modo a obter um mercado elétrico integrado, focado no consumidor, competitivo, equitativo e transparente. Ao obter este mercado integrado garante-se um preço mais justo, valorizando os consumidores e permitindo obter maior segurança no abastecimento e na mudança suave para um sistema energético sustentável e hipocarbónico [27].

- 2021 - Pacto Ecológico Europeu: Neutralidade climática.

Este pacto tem um objetivo muito claro que é tornar a Europa um continente com impacto neutro no clima até 2050. Outros objetivos intermédios são o de reduzir as emissões de GEE em 55% até 2030, relativamente aos valores de 1990. A Comissão Europeia (CE) também define como meta o aumento para 40% da utilização de energia de fontes renováveis no consumo da

UE, a promoção de combustíveis renováveis como o hidrogénio associado à indústria e aos transportes. É proposto aumentar as metas relativas à poupança de energia a fim de obter uma redução de 36% do consumo de energia até 2030. Haverá um investimento muito forte na renovação de edifícios, sendo financiados 72,2 mil milhões de euros para este efeito. Este investimento ajudará a cumprir as propostas de os Estados-Membros renovarem pelo menos 3% todos os anos da área construída de todos os edifícios, obterem pelo menos 49% da energia provinda de fontes renováveis nos edifícios até 2030 e obrigarem o aumento da utilização de energia de fontes renováveis no aquecimento e arrefecimento em 1,1 pontos percentuais por ano até 2030 [28].

- 2021 - Objetivo 55/CE: Emissões de gases com efeito de estufa.

O Objetivo 55 é um agregado de leis com o propósito de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa da UE em, pelo menos, 55 % até 2030. Estas leis têm como objetivo a médio prazo alcançar a neutralidade climática até 2050. Esse agregado de leis está dividido em diversos setores sendo um deles tornar os edifícios da UE mais ecológicos. Dentro deste setor incluem-se medidas para edifícios residenciais existentes que ditam que o consumo médio de energia primária deve diminuir no mínimo 16% até 2030, 22% até 2035 e a partir de 2050 o parque imobiliário deve apenas ser composto por edifícios sem emissões. Outro setor abordado neste pacote é o das energias renováveis. Algumas medidas definidos são o aumento nas metas definidas para 2030. A antiga meta ditava que em 2030, 32% da energia consumida na UE deveria ser de fontes renováveis. A nova meta aumenta esse valor para 42,5%, quase duplicando a quota existente à data da divulgação. Especificando apenas para os edifícios, a quota de energias renováveis deve ser de 49% em 2030 [29].

- 2024 - Diretiva 2024/1275/UE: Desempenho energético dos edifícios.

Esta diretiva é uma atualização da Diretiva 2010/31/UE. Ela define critérios para a melhoria do desempenho energético e para a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa. Os requisitos definidos englobam várias áreas sendo elas, a energia solar nos edifícios, o cálculo do potencial de aquecimento global do ciclo de vida do edifício, a aplicação de normas mínimas de desempenho energético e a aplicação de requisitos mínimos de desempenho energético [30].

### **2.3.2. Legislação e Políticas Portuguesas**

Portugal, como país pertencente à União Europeia, atua consoante as diretivas definidas pela mesma. Apesar disso, são criados decretos-lei que acrescentam informação a estas diretivas ou simplesmente as transpõe. De seguida apresenta-se a evolução temporal e a finalidade destes decretos ou portarias.

- 1990 - Decreto-Lei 40/90: Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE).

Primeiro documento legal em Portugal que estabeleceu requisitos ao comportamento térmico de edifícios novos e de grandes renovações [31]. Este Regulamento define medidas relativas ao projeto de edifícios, tendo como objetivo, obter as necessidades energéticas para o conforto

térmico sem o gasto excessivo de energia e que os elementos de construção não devem sofrer efeitos patológicos associados a condensações [32].

- 2006 – Decreto-Lei 78/2006: Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE) e de Qualidade do Ar Interior (QAI) dos Edifícios.

O Decreto-Lei transpõe parcialmente a Diretiva 2002/91/CE e surge pela necessidade do Estado assegurar a melhoria do desempenho energético e da QAI nos edifícios e tem como objetivo a certificação do desempenho energético e da qualidade do ar interior, garantir que as regras estabelecidas no RCCTE e no RSECE são aplicadas nos sistemas de energias renováveis e na garantia da qualidade do ar interior e ainda mostrar as medidas que permitem corrigir ou melhorar o desempenho dos sistemas energéticos de edifícios [33].

- 2006 – Decreto-Lei 79/2006: RSECE.

Neste Regulamento faz-se uma revisão ao RSECE definindo-se 4 objetivos que são: definir os requisitos relativos ao conforto térmico e à higiene dos diversos espaços do edifício; melhorar os consumos relativos à climatização e a tudo associado ao consumo de energia dos edifícios obtendo valores dentro dos padrões aceitáveis, de modo a obter uma eficiência energética superior; impor diretrizes na eficiência dos sistemas de climatização para melhorar o seu desempenho energético e proporcionar os meios para a garantia da qualidade do ar interior em todas as fases do edifício (projeto, instalação e funcionamento); vigiar com frequência a manutenção dos sistemas de climatização [34].

- 2006 – Decreto-Lei 80/2006: RCCTE.

Procede ao complemento do Regulamento anterior fixando valores de referência para as condições ambientais que são utilizadas no cálculo do consumo energético nominal. Estes valores de referência baseiam-se nos valores médios prováveis para a temperatura ambiente e para o caudal de ventilação para renovação do ar, de modo a garantir uma QAI aceitável [35].

- 2013 – Decreto-Lei 118/2013: SCE.

Este Decreto-Lei transpõe a Diretiva 2010/31/UE e revoga o Decreto-Lei 78/2006: SCE e QAI dos Edifícios, o Decreto-Lei 79/2006: RSECE e o Decreto-Lei 80/2006: RCCTE . Tem como objetivo melhorar o desempenho energético dos edifícios através de um melhorado SCE que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Esta atualização faz, pela primeira vez, a separação clara entre edifícios de habitação e de comércio e serviços o que ajuda na diferenciação das especificidades técnicas mais significativas na caracterização e melhoria do desempenho energético dos dois tipos de edifícios. Nos edifícios de habitação os parâmetros mais importantes são o comportamento térmico e a eficiência enquanto nos de serviços e comércio é também importante a instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos.

É introduzido também o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia, esperando-se que este domine o setor da construção de edifícios a partir de 2018 ou 2020 [36].

- 2013 – Portaria n.º 349-A/2013: SCE.

Esta portaria define as competências da entidade gestora do SCE, as atividades dos técnicos do SCE. Além disso, estabelece as categorias de edifícios para efeitos de certificação energética, fixa as taxas de registo no SCE e estabelece os critérios de verificação de qualidade dos processos de certificação do SCE [37].

- 2013 – Portaria n.º 349-B/2013: SCE e REH.

É estabelecida a metodologia que determina a classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados SCE e são definidos os requisitos de eficiência e comportamento térmico dos sistemas para os edifícios novos e para os que necessitam de grande renovação [38].

- 2013 – Portaria n.º 349-D/2013: SCE e RECS.

Definem-se as condições de conceção relativas à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos vários tipos de edifícios (novos, sujeitos a renovações e existentes) [39].

- 2013 – Despacho n.º 15793/2013: SCE.

Este despacho encontra-se dividido em diversos extratos e na Tabela 4 podem-se encontrar os extratos relevantes para este trabalho e uma breve descrição do seu conteúdo.

Tabela 4- Extratos pertencentes ao Despacho n.º15793/2013 [40]

<b>Extrato</b>	<b>Descrição</b>
<b>n.º 15793-C/2013</b>	Publicação dos modelos associados aos diferentes tipos de certificados e pré-certificados do SCE a emitir para os vários tipos de edifícios (novos, sujeitos a renovações e existentes)
<b>n.º 15793-E/2013</b>	Publicação das diretrizes de simplificação a utilizar nos edifícios existentes e nos sujeitos a transformações
<b>n.º 15793-F/2013</b>	Publicação dos parâmetros para o zonamento climático
<b>n.º 15793-H/2013</b>	Publicação das regras de contabilização e quantificação da contribuição de sistemas para o aproveitamento de fontes de energia renováveis
<b>n.º 15793-I/2013</b>	Publicação da metodologia a utilizar para obter as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e também para obter as necessidades nominais anuais globais de energia primária
<b>n.º 15793-J/2013</b>	Publicação das regras de determinação da classe energética
<b>n.º 15793-K/2013</b>	Publicação dos parâmetros térmicos para o cálculo do coeficiente global de transferência de calor, do coeficiente de transmissão térmica superficial, do coeficiente de transmissão térmica linear, do coeficiente de absorção da radiação solar, do fator de utilização dos ganhos e de outros valores
<b>n.º 15793-L/2013</b>	Publicação da metodologia que permite apurar a viabilidade económica da utilização ou adoção de determinada medida de eficiência energética

- 2016 – Portaria n.º 17-A/2016: SCE e RECS.

Procede à alteração da Portaria n.º 349-D/2013 fazendo mudanças nos requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos vários tipos de edifícios (novos, sujeitos a renovações e existentes). Uma das alterações acontece na mudança dos valores do coeficiente de transmissão térmica máximo admissível para a envolvente opaca e envidraçada exterior de edifícios de comércio e serviços [41].

- 2019 – Portaria n.º 42/2019: RECS.

Esta Portaria realiza uma adaptação à Portaria n.º 17-A/2016 definindo com maior pormenor o conceito NZEB para edifícios de comércio e serviços e os requisitos que o definem como, por exemplo, o Indicador de Eficiência Energética ( $IEE_s$ ) [42].

- 2019 – Portaria n.º 98/2019: REH.

Esta Portaria realiza uma adaptação à Portaria n.º 349-B/2013 definindo com maior pormenor o conceito NZEB para edifícios de habitação. Define-se que o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento deve ser menor ou igual a 75% do seu valor máximo e que o valor das necessidades energéticas nominais de energia primária deve ser menor ou igual a 50% do seu máximo. Relativamente às energias renováveis informa-se os que sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável destes edifícios devem ser responsáveis por garantir, pelo menos, 50 % das necessidades anuais de energia primária. Por fim, é delineado que a partir do início de 2021 todos os edifícios novos ou que já tenham processo de licenciamento ou autorização de edificação devem cumprir as exigências associadas ao NZEB [43].

- 2019 – Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019: Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050).

O RNC2050 determina o caminho e as estratégias para que Portugal alcance a neutralidade carbónica até 2050, ou seja, que as emissões e remoções dos GEE, mas sobretudo do dióxido de carbono se anulem [44].

Este roteiro assenta numa redução das emissões entre 85% e 90% até 2050, relativamente às de 2005, e numa compensação das remanescentes emissões utilizando os recursos naturais como as florestas. Para alcançar o objetivo até 2050 impõe-se uma redução das emissões entre 45 % e 55 % até 2030, e entre 65 % e 75 % até 2040, comparativamente com as de 2005.

Além disso, o RNC 2050 também promove a descarbonização da produção de eletricidade, eliminando a produção de eletricidade a partir do carvão até 2030 e prosseguindo com a total descarbonização do sistema eletroprodutor até 2050, apostando nas fontes de energia renováveis locais.

O RNC2050 conclui que que todos os setores irão contribuir para a redução de emissões. Abordando o setor residencial, o roteiro promova a sua descarbonização, privilegiando a reabilitação urbana e o aumento da eficiência energética nos edifícios, fomentando uma progressiva eletrificação do setor e o uso de equipamentos mais eficientes, e combatendo a pobreza energética [44].

- 2020 – Decreto-Lei n.º 101-D/2020: SCE.

Este Decreto-Lei estabelece os requisitos aplicáveis à conceção e renovação de edifícios, tendo a finalidade de garantir e impulsionar a melhoria do desempenho energético através do estabelecimento de requisitos aplicáveis à renovação e modernização, regula o SCE e transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva 2018/844/UE e a Diretiva 2019/944/EU parcialmente [45].

- 2021 – Portaria n.º 138-G/2021: QAI.

São estabelecidos critérios de avaliação da QAI nos edifícios de comércio e serviços, limites de proteção e condições de referência a adotar nestes edifícios em funcionamento e critérios de conformidade a cumprir por este tipo de edifícios que se encontram em funcionamento. Além disso, também são estabelecidos métodos de medição de poluentes e métodos a adotar na fiscalização da correta utilização das normas definidas [46].

- 2021 – Portaria n.º 138-H/2021: SCE.

Esta Portaria faz a regulamentação das atividades dos técnicos do SCE e das competências da Agência para a Energia (ADENE), a entidade gestora do SCE. Também são regulamentados os valores devidos pelo registo de certificados energéticos [47].

- 2021 – Portaria n.º 138-I/2021: Desempenho energético.

A presente Portaria decreta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e a execução dos mesmos tendo em conta o tipo de edifício. Também são decretados requisitos relativos aos sistemas técnicos [48].

- 2021 – Despacho n.º 6476/2021: SCE.

Este despacho encontra-se dividido em diversos extratos e na Tabela 5 podem-se encontrar os extratos relevantes para este trabalho e uma breve descrição do seu conteúdo.

Tabela 5- Extratos pertencentes ao Despacho n.º6476/2021, [49]

<b>Extrato</b>	<b>Descrição</b>
<b>n.º 6476-A/2021</b>	Determinação do restante conteúdo obrigatório dos certificados energéticos
<b>n.º 6476-B/2021</b>	Aprovação dos critérios de seleção e das metodologias aplicáveis aos processos de verificação da qualidade da informação produzida no âmbito do SCE
<b>n.º 6476-C/2021</b>	Aprovação das condições referentes à manutenção dos sistemas técnicos instalados em edifícios
<b>n.º 6476-D/2021</b>	Aprovação dos requisitos para a elaboração do Plano de Melhoria do Desempenho Energético dos Edifícios (PDEE)
<b>n.º 6476-E/2021</b>	Aprovação dos requisitos mínimos de conforto térmico e de desempenho energético aplicáveis à conceção e renovação dos edifícios
<b>n.º 6476-H/2021</b>	Aprovação do Manual do SCE

- 2022 – Nota Técnica NT-SCE-02: SCE.

A nota técnica define um novo conceito de NZEB, o NZEB20. Tem como objetivo impor requisitos adicionais de eficiência energética aos edifícios, comparativamente com os definidos em legislações anteriores. Em suma, o conceito NZEB20 prevê em particular que as necessidades de energia primária sejam pelo menos inferiores em 20% ao padrão NZEB [50].

## 2.4. Conceito de edifício com necessidades de energia quase nulas

Os edifícios representam uma grande fatia do consumo energético global. Com vista à inversão desta situação, os edifícios devem ser otimizados, isto é, reduzir as necessidades energéticas e produzir energia suficiente para compensar as necessidades remanescentes.

### 2.4.1. Edifício com necessidades de energia quase nulas

A União Europeia e os seus membros definem em 2010, pela primeira vez, um edifício com necessidades quase nulas de energia (NZEB) como *“um edifício com um desempenho energético muito elevado. As necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades”* [24]. A definição foi sendo revista ao longo dos anos, mas o cerne da mesma permanece inalterado.

O desempenho energético de um edifício é determinado com base no consumo de energia e deve refletir o consumo energético típico para aquecimento e arrefecimento de espaços, água quente para uso doméstico, ventilação e iluminação. O desempenho energético é expresso pela utilização de energia primária por unidade de área por ano, em kWh/(m<sup>2</sup>.ano).

A metodologia de cálculo do desempenho energético é definida por cada Estado-Membro, pelo que, apenas se abordará a metodologia nacional. Em Portugal surge o “Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios” [51] que define a metodologia de cálculo.

De modo a um edifício ser considerado NZEB, é necessário que cumpra diversos requisitos de conforto e desempenho térmico. O requisito associado às necessidades de energia primária é ainda mais restrito quando aplicado o conceito NZEB20, que define que as necessidades de energia primária sejam pelo menos inferiores em 20% ao padrão NZEB [50]. Os requisitos diferem para edifícios de habitação e de comércio e serviços, pelo que, apenas se abordará os de habitação.

Na Tabela 6 apresentam-se os requisitos NZEB20 que devem ser cumpridos para edifícios de habitação.

Tabela 6- Requisitos NZEB20 em edifícios de habitação [50]

Tipo de Requisito	Zona Climática		
	I1	I2	I3
<b>Conforto Térmico</b>			
Necessidades de aquecimento	$N_{ic}/N_i \leq 0,75$	$N_{ic}/N_i \leq 0,85$	$N_{ic}/N_i \leq 0,90$
Necessidades de arrefecimento	$N_{vc}/N_v \leq 1,00$		
<b>Desempenho Energético</b>			
Classe Energética	Igual ou superior a A		
Energia primária total	$R_{NT} \leq 0,40$		
Energia primária renovável	$Ren_{HAB} \geq 0,50$		

Nos edifícios de habitação, a classe energética é calculada através do rácio de classe energética ( $R_{Nt}$ ), que resulta da relação entre as necessidades nominais de energia primária previstas ( $N_{tc}$ ) e de referência ( $N_t$ ). Depois de calculado através da equação (1), a classe energética é consultada na Tabela 7.

$$R_{Nt} = N_{tc}/N_t \quad (1)$$

Tabela 7- Classe energética para edifícios de habitação [51]

Classe energética	$R_{Nt}$
A+	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,25 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,50 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B-	$0,75 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,00 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,50 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,00 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} > 2,50$

O indicador de energia primária renovável em edifícios de habitação ( $Ren_{HAB}$ ) é obtido pela relação entre a energia primária total renovável para consumo do edifício e a energia primária total para o uso de águas quentes sanitárias (AQS), através da equação (2) [51].

$$Ren_{HAB} = \frac{\sum_p \cdot \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p}}{\sum_j \left( \sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j}} \quad (2)$$

Pela análise da equação é perceptível que existem diversos termos necessários para determinar o indicador de energia primária. O  $E_{ren,p}$  é a energia produzida a partir de fontes de origem renovável  $p$  destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício, a  $A_p$  é a área interior útil de pavimento, o  $F_{pu,p}$  é o fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia renovável  $p$ , o  $f_{a,k}$  é a parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema  $k$  para a fonte de energia  $j$ , a  $Q_a$  são as necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS, o  $\eta_k$  é a eficiência do sistema  $k$  para a fonte de energia  $j$  e o  $F_{pu,j}$  é o fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia  $j$ , incluindo renovável.

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ) traduzem a quantidade de energia necessária para manter a habitação a uma temperatura de 18 °C durante 24 horas e durante toda a estação de aquecimento. As necessidades contabilizam a transferência de calor pela envolvente ( $Q_{tr,i}$ ), a transferência de calor por ventilação ( $Q_{ve,i}$ ) e os ganhos de calor úteis ( $Q_{gu,i}$ ), os últimos provenientes dos ganhos solares pelos vãos envidraçados e dos ganhos devido às cargas internas no edifício. O valor de  $N_{ic}$  é determinado através da equação (3) [51].

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}) / A_p \quad (3)$$

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência ( $N_i$ ) são calculadas de modo muito semelhante às apresentadas acima, porém, têm em consideração as condições de referência [51].

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento ( $N_{vc}$ ) traduzem a quantidade de energia necessária para manter a habitação a uma temperatura de 25 °C durante 24 horas e durante toda a estação de arrefecimento. Estas necessidades são determinadas contabilizando a transferência de calor pela envolvente, a transferência de calor por ventilação e os ganhos térmicos ( $Q_{g,v}$ ) os últimos provenientes dos ganhos solares pelos vãos envidraçados e pela envolvente opaca e dos ganhos devido às cargas internas no edifício [51]. As necessidades são afetadas pelo fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento ( $\eta_v$ ). O valor de  $N_{vc}$  é determinado através da equação (4).

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) \cdot Q_{g,v} / A_p \quad (4)$$

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência ( $N_v$ ) são calculadas de modo muito semelhante às apresentadas acima, porém, têm em consideração as condições de referência [51].

#### 2.4.2. Edifício neutro em carbono

A definição de um edifício com emissões nulas de dióxido de carbono apenas surge em 2024, sendo que, um edifício com emissões nulas é “*um edifício com desempenho energético muito elevado, com necessidades nulas ou muito pequenas de energia, com emissões nulas de carbono provenientes de combustíveis fósseis no local e emissões operacionais de gases com efeito de estufa nulas ou muito reduzidas*” [30]. Um edifício com emissões nulas, sempre que tal seja económica e tecnicamente viável, deve proporcionar a capacidade de reagir a sinais externos e adaptar a sua utilização, produção ou armazenamento de energia.

O desempenho energético também pode ser expresso em indicadores numéricos adicionais, como a utilização de energia primária total, renovável e não renovável, e das emissões operacionais de gases com efeito de estufa, expressas em kg.CO<sub>2</sub>/ (m<sup>2</sup>·ano) [30].

As emissões de um edifício podem ser divididas em emissões operacionais e emissões incorporadas. As emissões incorporadas definem-se como as emissões de dióxidos de carbono associadas à construção de um edifício, incluindo, por exemplo a fabricação e extração de materiais utilizados para a construção do edifício e o transporte desses materiais para o local do edifício. As emissões operacionais de gases com efeito de estufa são as emissões de gases com efeito de estufa associadas ao consumo de energia dos sistemas técnicos do edifício durante a utilização e o funcionamento do edifício, ou seja, estão associadas ao aquecimento, arrefecimento e ventilação [30].

Ao longo deste trabalho o foco principal passa pela análise e tratamento das emissões de carbono operacionais, não sendo abordadas as emissões incorporadas.

### 2.5. Estratégias para obtenção de um edifício com necessidade de energia quase nulas e neutro em carbono operacional

A procura para atingir um edifício com necessidades de energia quase nulas e neutro em carbono passa, necessariamente, por minimizar necessidades energéticas e, em complemento, utilizar energia de origem renovável para colmatar as necessidades energéticas que se pretendem residuais.

As estratégias para a obtenção de um edifício com estas características podem ser divididas em estratégias bioclimáticas que abordam os métodos passivos de redução do consumo de energia,

estratégias tecnológicas que abordam os sistemas de climatização, ventilação e iluminação e ainda as estratégias para uma produção mais “verde” de energia.

### **2.5.1. Estratégias Bioclimáticas**

Vários fatores são responsáveis pela necessidade energética destes sistemas como a orientação do edifício, os elementos construtivos utilizados, a inércia térmica do mesmo e a iluminação natural [52], entre outros.

As estratégias definidas são influenciadas pelo clima existente. A classificação climática de Köppen-Geiger é uma classificação com mais de um século de existência e uma das mais conhecidas mundialmente. Ela baseia-se principalmente na quantidade e distribuição da precipitação e da temperatura, anual e mensal. Os elementos de temperatura e precipitação constituem um critério inicial para a divisão dos tipos de clima.

A classificação divide o mundo em cinco zonas climáticas, de A a E sendo que zonas A dizem respeito a zonas tropicais ou equatoriais, zona B são zonas áridas ou secas, C são zonas com temperaturas quentes/moderadas zona, D são zonas continentais e E são zonas polares. Cada zona divide-se em algumas subzonas, que se apresentam por uma letra minúscula e que estabelecem o tipo de clima dentro do grupo, as particularidades do regime pluviométrico.

Para Portugal continental, o clima é do tipo C, subtipo Cs (clima moderado com Verão seco) e depois divide-se em duas zonas: Csa, clima temperado com Verão quente e seco nas regiões interiores do vale do Douro assim como nas regiões a sul do sistema montanhoso Montejunto-Estrela e Csb, clima temperado com Verão seco e suave, em quase todas as regiões a norte do sistema montanhoso Montejunto-Estrela e nas regiões do litoral oeste do Alentejo e Algarve [53].

Prontamente realiza-se uma descrição mais pormenorizada destes fatores e da sua importância no decréscimo do consumo de energia, em particular daqueles que se mostram mais adaptados ao clima onde se insere o caso em estudo.

#### **2.5.1.1 Orientação do Edifício**

A orientação de um edifício desempenha um papel muito importante no desempenho energético do mesmo, uma vez que, é fulcral aproveitar ao máximo os ganhos solares para o interior do edifício em situações que o auxílio da radiação solar é necessário e restringir a sua entrada nos casos em que esta radiação não contribua positivamente [54].

Pela análise da Figura 6 percebe-se que, para o hemisfério Norte, a orientação a Sul é aquela que permite obter maiores ganhos solares, ou seja, nesta orientação os ganhos térmicos são superiores e a iluminação natural também é superior. Tendo em conta que no Inverno o importante é o aquecimento dos edifícios é crucial uma maior entrada de radiação, como se sucede numa fachada orientada a Sul. Já para o caso do Verão é imperativo minimizar os ganhos solares de radiação e no caso da orientação a Sul a incidência solar faz-se com grandes ângulos, reduzindo os ganhos solares [55].

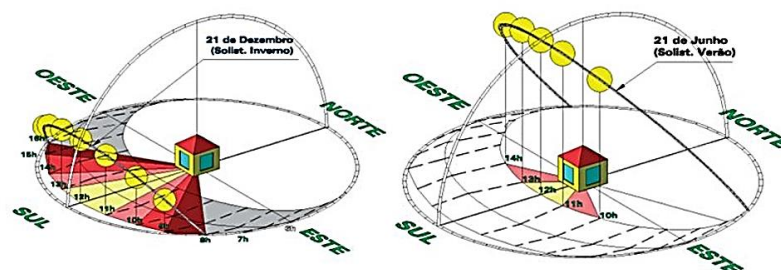


Figura 6- Radiação solar diária para as estações do Inverno (esquerda) e Verão (direita) [55]

Esta definição de orientação é simplista pois para realmente definir a orientação do edifício é importante ter em consideração o local e a sua envolvente, como a topografia, vegetação, os edifícios vizinhos e futuras construções que poderão resultar em obstáculos [54].

### 2.5.1.2 Envolvente do Edifício

Os edifícios NZEB requerem uma construção de elevada qualidade com o uso de materiais e técnicas que potenciam elevada eficiência energética. Por isso, a envolvente do edifício é algo essencial na redução do consumo de energia.

A transmissão de calor por condução através da envolvente dos edifícios, quer sejam as perdas de calor através dos elementos construtivos da envolvente no Inverno, quer os ganhos indesejáveis de calor através dos mesmos elementos no Verão, são fatores que ditam o comportamento térmico dos edifícios [55]. A envolvente divide-se em envolvente opaca onde se inserem as paredes, a cobertura e o pavimento e a envolvente envidraçada onde se inserem as janelas.

- Envolvente Opaca:

A cobertura é o elemento da envolvente mais exposto à radiação solar, sendo, também, o maior responsável pelas perdas de calor e, por isso, também crucial para obter um bom desempenho energético. O isolamento térmico potencia a diminuição das necessidades de energia [52]. Porém, é necessária cautela na utilização do isolamento pois, a ausência de um sistema de ventilação ou um sistema insuficiente pode resultar no sobreaquecimento dos espaços. Isto deve-se ao facto do calor ter tendência a subir e encontrando uma barreira forte vai ficar concentrado no espaço [56].

Coberturas ajardinadas são outra opção no melhoramento do desempenho energético pois ajudam a atenuar o clima do próprio edifício contribuindo para a redução do impacto dos extremos menos confortáveis do clima exterior [52].

Os pavimentos que estão em contacto direto com o exterior (com o solo ou com espaços interiores não aquecidos, como uma cave) são uma fonte de perdas caloríficas devido aos fluxos de energia que nele ocorrem [57]. É importante definir corretamente o pavimento térreo pois este vai influenciar o comportamento do espaço interior, contribuindo para a qualidade e resistência dos revestimentos interiores. No caso do contacto direto com o solo é crucial o conhecimento detalhado das suas características e tendo em conta o seu comportamento e constituição adotam-se variados métodos e soluções de impermeabilização [56].

De modo a reduzir as perdas de energia associadas ao pavimento é fundamental a utilização de isolamento térmico, devidamente selecionado de acordo com as solicitações presentes no

pavimento [54]. Para os pavimentos em contacto com o solo o isolamento deve ser colocado sobre o terreno, já para os pavimentos em contacto com espaços interiores não aquecidos o isolamento deve ser colocado sob o suporte do pavimento, de forma a, não prejudicar o efeito da inércia térmica [57]. A Figura 7 demonstra as constituições destes tipos de pavimento, mostrando a posição do isolamento térmico em cada caso.

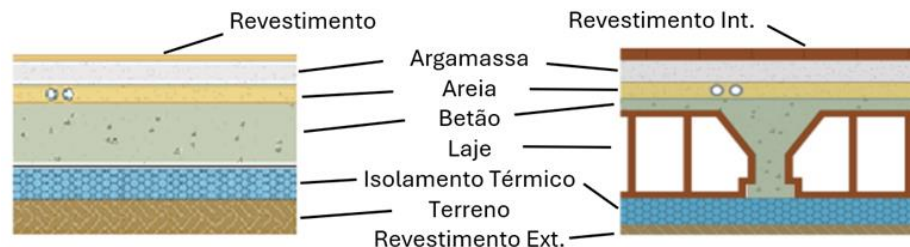


Figura 7- Constituição típica de pavimentos em contacto com o exterior. À esquerda com o solo e à direita com espaços interiores não aquecidos (adaptado [49])

O último elemento da envolvente opaca a ser abordado são as paredes exteriores. As paredes exteriores possuem uma área da envolvente muito elevada e nela realizam-se transferências de calor entre o ambiente interior e exterior, sendo fundamental o controlo destes fluxos na obtenção do conforto térmico no interior [57]. Paredes pouco eficientes resultam em elevadas perdas (ou ganhos) de calor e ainda podem levar ao desenvolvimento de focos de condensação, fungos e bolores enquanto paredes eficientes conservam o calor no interior da casa melhorando o conforto e permitindo a redução dos consumos e consequentes custos de energia associados a equipamentos de climatização. Além disso, contribuem ainda para uma melhoria na salubridade do edifício e aumentam o isolamento acústico [58].

Em Portugal o tipo de parede mais utilizado desde 2013 é a parede dupla ou simples de alvenaria de tijolo com isolamento pelo exterior. O isolamento pelo exterior é mais adequado em termos de eficiência energética pois este assegura uma aplicação uniforme que corrige pontes térmicas da envolvente e ainda evita problemas de humidade e condensação [58]. Existem diversos tipos de aplicação de isolamento pelo exterior, mas apenas se abordará o isolamento pelo exterior com revestimento contínuo sobre isolante (ETICS) e com revestimento independente e espaço de ar ventilado (fachada ventilada).

O sistema ETICS é constituído pelos seguintes elementos: suporte, isolante térmico, elementos de fixação por colagem e/ou mecânica, camada de base, rede de reforço (neste caso fibra de vidro), primário e acabamento, como se pode ver na Figura 8.

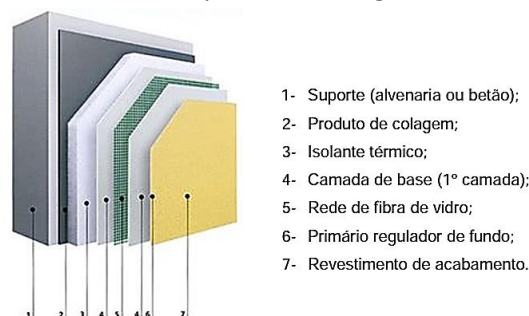


Figura 8-Constituição de um sistema ETICS (adaptado [59])

As vantagens deste sistema, além das expressas anteriormente que são comuns a isolamentos pelo exterior, são a temperatura da parede estar sempre próxima da temperatura interior, o potenciamento da inércia térmica interior, a diminuição da espessura das paredes exteriores e o facto de se poder aplicar também a renovações. As suas desvantagens são o cuidado e o pormenor necessário na construção pois, o mínimo erro gera patologias e ainda o facto de necessitar de manutenção redobrada para verificar a existência destas patologias [56].

A fachada ventilada consiste numa camada exterior de proteção do edifício afastada da parede, existindo uma câmara-de-ar para garantir a circulação de ar entre o revestimento exterior e a parede, sendo que o ar frio entra pela parte inferior e sai a uma temperatura superior pela parte superior. Existe também uma estrutura interior que é revestida [56], [57]. Esta fachada considera-se ventilada pois a câmara-de-ar permite a ventilação natural e contínua da parede do edifício, através do efeito de chaminé onde o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior, como se pode ver na Figura 9 [60].



Figura 9-Esquema do fluxo de calor numa fachada ventilada [60]

Esta opção tem uma grande vantagem relativamente ao ETICS que é o facto de devido à sua vasta gama de revestimentos e ao facto de maximizar a área interior do edifício, consegue-se reabilitar edifícios com valor patrimonial. Outras vantagens são o facto de manter a temperatura interna, prevenir o surgimento de fissuras, ser seguro relativamente a incêndios, raios solares e humidade e ainda diminuir o fabrico de resíduos em obras. Porém, também existem desvantagens relativas ao facto de a mão-de-obra e a fiscalização não ser devidamente qualificada para o valor da matéria-prima e ainda o custo elevado na fase precoce do projeto [56].

- Envolvente Envidraçada:

Nos envidraçados existe troca de calor por condução, convecção e radiação e as propriedades que são mais importantes de analisar são a emissividade (capacidade de transmissão de energia por radiação), o fator solar (razão entre a energia total que entra num local através desse vidro e a energia solar incidente) e o coeficiente de transmissão térmica do conjunto constituído pela caixilharia e pelo vidro [60].

Consideram-se elementos envidraçados aqueles cuja área envidraçada seja igual ou superior a 25% da área total do elemento [51]. A envolvente envidraçada é preponderante na obtenção de uma boa eficiência energética. A escolha da caixilharia e do tipo de vidro para os vãos envidraçados é crucial no comportamento térmico do edifício assim como a sua área, a

localização e a proteção solar [31], [52]. É bastante importante a utilização de envidraçados eficientes aumentando consequentemente o isolamento térmico destes, o que resulta numa redução dos custos energéticos e num conforto térmico e acústico superior [61]. Para obter envidraçados eficientes deve-se considerar as características da caixilharia, como a sua permeabilidade ao ar, estanquidade à água, isolamento acústico, isolamento térmico e resistência ao fogo e também se deve ter em atenção o tipo de vidro escolhido e o número de lâminas deste, mas também a escolha do gás a colocar entre as lâminas, aconselhando-se a escolha de um gás mais pesado com baixa condutividade térmica [56].

Assumindo que o edifício está orientado a Sul, como se explica anteriormente, a área de envidraçado deve ser cerca de 40% dessa fachada e também se deve ter em atenção a razão entre a área do envidraçado e a área do espaço. Envidraçados muito grandes relativamente à fachada não constituem uma boa solução, uma vez que, não existem grandes vantagens em termos de ganhos no Inverno e existe a hipótese de sobreaquecimento no Verão [54]. Para evitar estes problemas existem várias estratégias como o revestimento de baixa emissividade, o revestimento solar protetivo e o sombreamento.

- Inércia térmica:

A inércia térmica é a capacidade de um material armazenar calor e posteriormente o devolver assegurando o conforto térmico no verão, ao evitar o aquecimento excessivo e também no inverno, estabilizando o aquecimento no interior [60]. Ela existe em todos os materiais e depende diretamente das suas características, por exemplo, materiais como betão e tijolos que possuem massas volúmicas elevadas têm valores elevados de inércia térmica. É importante conjugar estes materiais maciços com elementos mais leves como tetos falsos ou madeiras, de forma a garantir uma grande estabilidade térmica aos espaços interiores.

A inércia térmica divide-se em 3 classes: fraca, média e forte que estão associadas à massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento,  $I_t$ , e que se encontra demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8- Classes de inércia térmica [48]

<b>Classes de Inércia Térmica</b>	<b><math>I_t</math> [<math>kg/m^2</math>]</b>
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

Elementos construtivos muito pesados e densos geram uma inércia térmica mais forte, não havendo isolamento térmico. Apesar disso, a utilização de isolamentos térmicos é fulcral para se atingir poupanças energéticas satisfatórias [31]. O isolamento deve ser aplicado pelo exterior aumentando a inércia térmica, contrariando o que se sucede em isolamentos aplicados no interior que cancelam a contribuição dos materiais e a sua inércia [60].

### 2.5.1.3 Conforto térmico

Um sistema passivo é um sistema que permite atingir o conforto térmico sem necessitar de recorrer a meios mecânicos, muitas vezes utilizados na iluminação, no aquecimento e no arrefecimento. Por exemplo, um sistema solar passivo define-se como um sistema que utiliza meios naturais (neste caso as radiações solares) para arrefecer ou aquecer um espaço [31].

Realiza-se uma divisão dos sistemas de climatização em sistemas de aquecimento e sistemas de arrefecimento passivos.

- Aquecimento passivo:

Os sistemas de aquecimento passivo são parte integrante da estrutura construtiva de um edifício, funcionando no sentido de obter ganhos solares máximos que compensam as perdas de calor no Inverno sem necessitar da utilização de meios mecânicos de climatização, diminuindo o consumo de energia para aquecimento [57]. Estes sistemas dividem-se em sistemas de ganho direto, indireto e de ganho isolado.

Os sistemas de ganho direto são os mais usuais e ao mesmo tempo os mais simples e basicamente traduzem-se num edifício bem isolado, com vãos envidraçados que possibilitem a incidência da radiação para o espaço e para as envoltentes opacas [52]. Resumidamente, cada divisão útil num edifício pode funcionar como um sistema de ganho direto se ele contiver um envidraçado bem orientado que permita a incidência de radiação solar no espaço e nas suas envoltentes opacas, envoltentes que têm a missão de proporcionar conforto térmico atenuando a amplitude térmica do edifício [62]. Na Figura 10 encontra-se uma demonstração de um sistema de ganho direto.

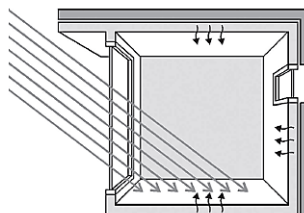


Figura 10- Sistema de ganho direto [62]

As vantagens deste sistema são a sua elevada eficiência na contenção do calor, o custo reduzido comparativamente aos outros sistemas e a boa iluminação natural que permite. Já as suas desvantagens são os estragos dos materiais interiores causados pela radiação direta, a necessidade de estar orientado corretamente e as possíveis assimetrias na temperatura interior [57].

Nos sistemas de ganho indireto a energia é captada com a utilização de um elemento que funciona como acumulador de calor, permitindo assim ao sistema não estar totalmente dependente das horas de exposição solar como se sucede nos ganhos diretos. O que se sucede é que a radiação não incide diretamente no espaço, mas sim na envoltente opaca, absorvendo e transferindo a energia para o interior por condução e convecção, conseguindo armazenar a mesma devido à inércia térmica dos elementos possibilitando então temperaturas aceitáveis em dias de fraca radiação e prevenindo temperaturas muito elevadas em dias de forte insolação [62].

Um exemplo de um sistema de ganho indireto são as paredes de trombe. Esta solução é uma solução integrada na parede exterior, tendo na sua constituição um elemento envidraçado, colocado pelo exterior e bem orientado, e um elemento vertical opaco, colocado pelo interior. Entre estes dois elementos existe uma caixa-de-ar com largura entre 5 e 20 cm. Estas paredes podem ou não ser ventiladas. Nas não ventiladas a caixa-de-ar não tem ligação ao exterior nem ao interior e a temperatura entre o envidraçado e a parede é superior, mas o calor não é tão uniformemente distribuído. As ventiladas possuem aberturas na zona inferior e superior e possibilitam a circulação de ar a caixa-de-ar e o espaço interior através da convecção [59]. Na Figura 9 encontra-se representado uma parede trombe ventilada e não ventilada no Inverno. Algumas das vantagens das paredes de trombe são a diminuição das oscilações de temperatura no interior do edifício e o aumento dos ganhos térmicos no inverno diminuindo as necessidades de aquecimento, resultando em poupança energética e diminuição dos gases efeito estufa. Algumas desvantagens são o facto das soluções ventiladas poderem levar a uma utilização indevida associada à falta de instrução dos utilizadores e ainda a existência de sobreaquecimento no verão, que exige mecanismos de circulação de ar ou proteção solar [59].



Figura 11- Parede de Trombe com ventilação (à esquerda) e sem ventilação (à direita) no Inverno [59]

Nos sistemas de ganho isolado a captação dos ganhos solares realiza-se num compartimento anexo, onde o calor é armazenado e depois transferido para o interior do edifício através de uma parede de separação [57]. Exemplos destes sistemas são as estufas e os coletores de ar. No caso das estufas combinam-se os ganhos diretos e os indiretos na medida em que se capta o calor na estufa, ganho direto, e esta captação é propagada pelo movimento forçado ou natural do ar que, por vezes, fica retido nas envolventes opacas e é aquecido por radiação depois sendo então um ganho indireto [52].

- Arrefecimento passivo:

Tal como se sucede no aquecimento passivo também o arrefecimento passivo não utiliza meios mecânicos para alcançar o conforto térmico. As estratégias utilizadas baseiam-se na ventilação natural, no controlo da radiação solar que embate nos envidraçados, no arrefecimento pelo solo, no arrefecimento evaporativo e no arrefecimento radiativo [62].

No presente trabalho abordam-se a ventilação natural, o arrefecimento pelo solo e o arrefecimento evaporativo.

O arrefecimento evaporativo é um método muito utilizado no arrefecimento passivo e consiste no movimento do ar que ao incidir numa superfície húmida, resultando numa diminuição da temperatura e aumento do vapor de água no ar. Quanto maior a área de incidência maior a

evaporação e conseqüentemente maior arrefecimento. O arrefecimento evaporativo indireto utiliza um permutador de calor, de modo a retirar calor do ar sem alterar a humidade do mesmo. O ar atravessa os tubos que estão húmidos no seu exterior, sendo então arrefecido ao longo da sua passagem pelos tubos e adicionando vapor, ou seja, conservando os valores de humidade [63].

A ventilação natural consiste no movimento natural do vento que é controlado e circulado através da envolvente do edifício tendo em conta as condições de conforto [64]. Este é um dos métodos mais utilizados e permite controlar a qualidade do oxigénio interior e o fluxo de ar no interior e ainda alcançar altas taxas de ventilação no Verão para o arrefecimento sem precisar de consumos energéticos externos. A maior desvantagem é os problemas relacionados com a recuperação de calor o que pode levar a grandes perdas de calor no Inverno, apesar destas perdas poderem ser compensadas com os ganhos solares ou com os ganhos internos [65], [66]. Este método depende diretamente da implantação e disposição dos edifícios e ainda do sombreamento, uma vez que, este influencia o fluxo do ar pelos envidraçados. A ventilação natural pode ser obtida através da ventilação cruzada, a ventilação por efeito de chaminé, a chaminé solar, o aspirador estático e a torre de vento [62], [64]. Por exemplo, a ventilação cruzada acontece utilizando aberturas de ventilação no lado oposto do compartimento, o que vai causar o movimento do ar no espaço [65].

O arrefecimento pelo solo utiliza o facto da temperatura do solo não sofrer grandes variações, sendo praticamente constante, de forma a reduzir a temperatura do ar. Basicamente, o solo pode ser considerado um enorme dissipador de calor, fornecendo refrigeração no Verão e aquecimento no Inverno ao edifício [64], [67]. Pode-se dividir este método de arrefecimento em arrefecimento por túnel de vento subterrâneo e a utilização de paredes terrestres a envolver o edifício (earth berming). Num túnel de vento subterrâneo o ar movimenta-se por lá, como se pode ver na Figura 12 arrefecendo no caso do Verão e aquecendo no caso do Inverno. As trocas de calor são afetadas pela superfície da tubagem, o comprimento e profundidade do túnel e a humidade da terra e do ar [67].

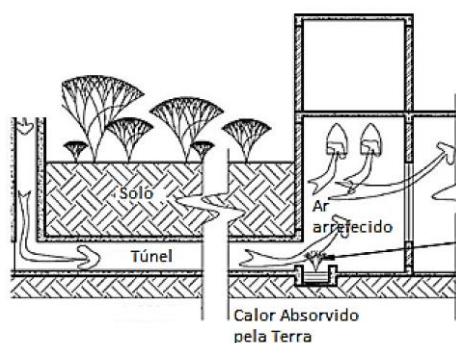


Figura 12- Princípio de funcionamento de um túnel de vento subterrâneo (adaptado [67])

#### 2.5.1.4 Iluminação natural

O método mais eficiente energeticamente de iluminar um espaço é a utilização da luz natural. As estratégias de controlo e orientação da luz solar dividem-se em 2 grupos: pela lateral ou pela

parte superior. Os envidraçados são o método mais comum e simples de entrada de luz pela lateral e a utilização somente desta estratégia não é a mais vantajosa para espaços grandes, uma vez que, os pontos mais afastados dos envidraçados não recebem a iluminação necessária. Para se obter uma distribuição mais homogênea da luz natural pode-se recorrer a sistemas de iluminação como as prateleiras de luz, vidro prismático ou a utilização de persianas. A entrada de luz pelo topo é mais eficiente que pela lateral e o método mais comum é a utilização de claraboias [68], [69]. Apesar disto, demasiada iluminação natural é prejudicial pois implica envidraçados maiores que acarretam necessidades maiores de energia.

## **2.5.2. Estratégias Tecnológicas**

O consumo de energia dos edifícios deve-se em grande parte aos sistemas de iluminação e climatização.

### **2.5.2.1 Sistemas Climatização**

Os sistemas de climatização são responsáveis por garantir o conforto térmico dos edifícios e a sua eficácia é influenciada, essencialmente pela seleção adequada dos equipamentos face às necessidades dos espaços e pelo elevado rendimento que os mesmos apresentam. Nos casos em que se pretende aquecimento e arrefecimento recomenda-se a utilização de sistemas centralizados com recursos a bombas de calor, pois apresentam eficiências com elevado rendimento [70].

A eficiência energética de uma bomba de calor define-se no valor do seu COP (coeficiente de desempenho) quando se trata de aquecimento e no seu EER (rácio de eficiência energética) no arrefecimento. Ambas as medidas revelam a quantidade de energia térmica fornecida por unidade de energia elétrica consumida, ou seja, um sistema de aquecimento que forneça 4 kW de energia térmica consumindo 1 kW de energia elétrica possui um COP de 4. Por isso, quanto maior o COP ou o EER mais eficiente é o sistema.

Apesar da sua importância estas medidas encontram-se limitadas pelas condições nominais. Por isso, os valores mais corretos são os valores sazonais, o SCOP (coeficiente de desempenho GWP (Potencial de aquecimento global sazonal de aquecimento) e o SEER (coeficiente de desempenho sazonal de arrefecimento). Estes valores são determinados pela razão entre a procura anual de aquecimento/arrefecimento e o respetivo consumo elétrico anual. Em suma, são medidas similares que consideram as necessidades e cargas variáveis ao longo de um ano [71].

Uma vez que os sistemas técnicos de climatização, nomeadamente as bombas de calor, contribuem grandemente para as emissões de gases com efeito de estufa, devem ser utilizados equipamentos com fluidos de trabalho com menor potencial de aquecimento global (GWP) e com um nível de desempenho mais elevado. O GWP é um termo utilizado para descrever a potência relativa, molécula a molécula, de um gás com efeito de estufa, tendo em conta o tempo que permanece ativo na atmosfera [72].

Dentro dos fluidos mais correntes em bombas de calor, o R410A é uma mistura de dois fluidos e é um dos mais comuns, mas possui um GWP de 2088, pelo que, como alternativa a este surgiu

o R32, um fluido puro com GWP de 675 [73]. Como alternativa atual, existem as bombas de calor com R290 (propano) como fluido refrigerante. Devido ao seu GWP de 3, é muito menos nocivo para o ambiente sendo também mais vantajoso ao nível das propriedades termodinâmicas, da elevada eficiência e do custo.

#### **2.5.2.2 Sistemas Iluminação**

Haverá sempre a necessidade de recorrer a iluminação artificial e, por isso, é importante a instalação de sistemas de iluminação eficientes. Recorrendo a lâmpadas fluorescentes de alta eficiência aplicadas em luminárias com refletores de alta refletividade é possível obter densidades de potência entre os 4 e os 6 W/m<sup>2</sup> e utilizando lâmpadas de diodo emissor de luz (LED) é possível obter valores ainda mais baixos. Uma boa conceção arquitetónica que privilegia a maximização da iluminação natural, aliada a um sistema automático de comando da iluminação artificial, reduz drasticamente o consumo de energia em iluminação [74].

Um sistema automático de comando alia o controlo através da presença de ocupantes com a regulação através do conhecimento do nível de luz dos espaços. Este controlo permite um decréscimo considerável nos consumos de energia da iluminação [74].

Assim, para se atingir o objetivo nZEB é necessário a aplicação das mais eficientes tecnologias de iluminação artificial aliada a uma conceção otimizada em termos de iluminação natural.

#### **2.5.3. Estratégias para a produção de energia**

Um balanço energético quase nulo e a neutralidade carbónica operacional obtém-se apostando em técnicas de produção de energia renovável. As energias renováveis que vão ser abordadas são a energia solar, a eólica e a biomassa.

- Energia Solar:

A energia solar é a energia mais utilizada nos edifícios, maioritariamente na forma de energia solar térmica e painéis fotovoltaicos. Portugal possui condições excelentes de exposição solar o que torna a energia solar muito viável. A energia solar térmica e os painéis fotovoltaicos são facilmente instalados em fachadas e coberturas, o que os torna boas estratégias na renovação de um edifício e lhes dá vantagem em relação a outras estratégias de energia renovável [75].

Um sistema de energia solar térmica produz energia que pode ser transmitida para o aquecimento de água (através de um tanque de armazenamento de água), para o aquecimento do ar interior e ainda para o arrefecimento do interior (através de um refrigerador de adsorção). Os painéis fotovoltaicos são uma opção menos eficiente, mas podem cobrir praticamente a área total de uma fachada ou cobertura e ainda têm a vantagem de a energia produzida em excesso poder ser vendida. Existem também os sistemas híbridos que combinam os dois anteriores e utilizam uma quantidade maior da energia incidente recolhendo também o calor residual dos painéis, aumentando assim a produção de eletricidade [75], [76].

- Energia Eólica:

A energia eólica é também uma energia renovável muito importante na redução do consumo energético. As turbinas eólicas aproveitam o movimento do vento para gerar energia que é

então utilizada nos edifícios. Para o caso de edifícios, a adoção de turbinas com potências baixas é uma solução para regiões que possuam ventos muito fortes e por isso, permitem retirar muita energia deste meio [77].

Existem também sistemas que conjugam os painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas de pequena escala, sendo vantajosos pois diminuem as variações da energia solar ou dos sistemas eólicos, garantido assim maior estabilidade na produção de energia.

- Biomassa:

A biomassa consiste na utilização de partes biodegradáveis de produtos de origem vegetal e dos seus resíduos, provenientes da agricultura ou silvicultura, que podem ser utilizados como combustíveis de forma a fornecer energia.

A biomassa pode ser renovada, mas o seu uso excessivo na produção de calor pode gerar um consumo de recursos muito elevado. A biomassa sob a forma de “pellets” é um método utilizado no aquecimento dos espaços, mas esta emite dióxido de carbono associado à combustão dos mesmos reduzindo assim a qualidade do ar [78].

## 2.6. Ferramentas informáticas de Modelação e Cálculo

As ferramentas informáticas de modelação e cálculo são fundamentais no estudo do desempenho energético de habitações. As ferramentas utilizadas foram o CYPE Architecture, o Open BIM Analytical Model, o Open BIM Construction Systems e o CYPETHERM EPlus. Todas estas ferramentas pertencem à empresa CYPE, empresa que desenvolve ferramentas de cálculo de estruturas, conforto, redes e orçamentação. Estas ferramentas respeitam o conceito BIM (Building Information Model ou em português Modelo de Informação da Construção), ou seja, permitem a partilha de informação entre todos os intervenientes ao longo do projeto, da construção, da manutenção e da desconstrução de um edifício [79].

De seguida, faz-se a descrição das ferramentas de cálculo mencionadas anteriormente.

### 2.6.1. CYPE Architecture

Esta ferramenta de cálculo foi desenvolvida para permitir a modelação tridimensional de um edifício, sendo dotado de ferramentas clássicas da modelação e ferramentas que provêm da modelação BIM. Estas ferramentas dividem-se em três grupos, sendo estes o Esboço, a Arquitetura e o Mobiliário. Existem duas estratégias de modelação para esta ferramenta que são a modelação sequencial e a modelação direta. A modelação sequencial consiste na importação dos desenhos bidimensionais e, a partir disso desenvolve-se o modelo arquitetónico enquanto na modelação direta o utilizador desenvolve o projeto deste o conceptual até ao modelo arquitetónico [80].

Na Figura 13 encontra-se o logótipo desta ferramenta de cálculo.

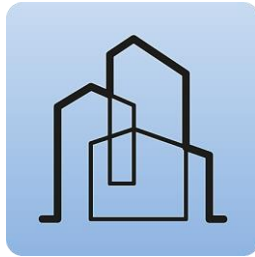


Figura 13- Logótipo da ferramenta de cálculo CYPE Architecture [81]

### 2.6.2. Open BIM Analytical Model

O Open BIM Analytical Model é uma ferramenta de cálculo que tem como função obter um modelo geométrico analítico que se utiliza para análise térmica e acústica baseada num modelo BIM. O programa permite definir todos os componentes que constituem o modelo analítico, sendo eles os espaços, as superfícies, as arestas e as juntas e ainda as relações entre os mesmos [82].

Na Figura 14 encontra-se o logótipo desta ferramenta de cálculo.

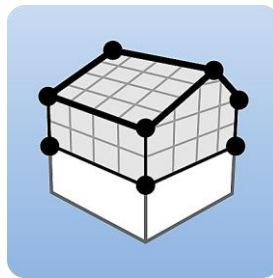


Figura 14-Logótipo da ferramenta de cálculo Open BIM Analytical Model [82]

### 2.6.3. Open BIM Construction Systems

Esta ferramenta de cálculo tem como objetivo definir as características das soluções construtivas do projeto permitindo definir a tipologia e as propriedades das soluções, definir as espessuras de cada material que em conjunto formam uma solução construtiva e ainda permite atribuir as soluções construtivas aos elementos do modelo arquitetónico [83].

Na Figura 15 encontra-se o logótipo desta ferramenta de cálculo.

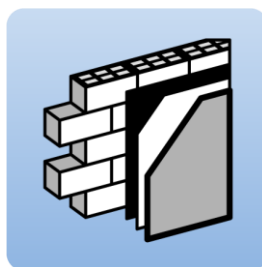


Figura 15-Logótipo da ferramenta de cálculo Open BIM Construction Systems [83]

#### 2.6.4. CYPETHERM EPlus

O CYPETHERM EPlus é uma ferramenta de cálculo que possibilita a modelação e simulação energética de edifícios baseando-se no EnergyPlus™, uma ferramenta de cálculo acreditada pela norma ASHRAE 140. Esta norma define procedimentos de teste para validar, diagnosticar e melhorar a modelação energética de edifícios.

A ferramenta de cálculo dispõe de diversas valências, tais como: sombreamento automático, cálculo dos coeficientes de transmissão térmica, cálculo do coeficiente de transferência de calor em elementos em contacto com o solo e ainda a determinação das necessidades e dos consumos energéticos com base no método de simulação dinâmica multizona. Além disso, o CYPETHERM EPlus permite gerar relatórios das necessidades e consumos energéticos, das condensações existentes, do conforto interior, da descrição dos materiais e dos elementos construtivos e ainda das pontes térmicas lineares (PTL) [84].

Na Figura 16 encontra-se o logótipo desta ferramenta de cálculo.



Figura 16- Logótipo da ferramenta de cálculo CYPETHERM EPlus [84]

## Revisão Bibliográfica

## 3. Métodos e Aplicação

Neste capítulo realiza-se a apresentação do caso estudo onde se caracteriza o edifício e a sua envolvente térmica. Seguidamente, expõe-se as características internas do edifício como os seus ocupantes, a iluminação e os equipamentos associados e ainda os requisitos de conforto associado à ventilação e climatização. Além da apresentação do caso estudo, apresenta-se e descreve-se as diversas localizações abordadas ao longo deste trabalho.

Posteriormente, aborda-se todo o processo associado à simulação energética, desde a modelação geométrica e construtiva às emissões de dióxido de carbono. Nesta parte, pode-se dividir entre os dados que são necessários introduzir para a realização da simulação energética e os dados que são obtidos após a simulação energética

Por último, apresentam-se as medidas de melhoria do edifício. As melhorias dividem-se em duas estratégias: estratégias bioclimáticas e estratégias tecnológicas. As estratégias bioclimáticas dizem respeito às medidas realizadas na envolvente térmica do edifício enquanto as estratégias tecnológicas debruçam-se sobre suprir as necessidades energéticas residuais através de melhorias na iluminação, ventilação e climatização.

### 3.1. Apresentação do Caso de Estudo

#### 3.1.1. Caracterização do Edifício

O caso de estudo em análise é uma moradia unifamiliar de tipologia T3 e arquitetura tradicional. O edifício é isolado, tem fachadas orientadas a Norte, Sul, Este e Oeste e a área do terreno onde se insere é de 770 m<sup>2</sup>. Na Figura 17 encontra-se a planta de implantação onde é possível verificar as orientações das fachadas e a área do terreno (limitada pelas linhas vermelhas). Nas Figura 18, Figura 19 e Figura 20 encontram-se as plantas do edifício (rés-do-chão e cave) e da cobertura em desvão. Cada piso tem um pé direito de 2,70 metros porém o rés-do-chão tem uma área de 204,90 m<sup>2</sup> e a cave de 164,45 m<sup>2</sup>. Os alçados representados na Figura 21 mostram que se trata de uma casa em águas-furtadas, cave subterrânea excetuando uma fachada exposta que diz respeito à entrada para a garagem. A cave é compartimentada por uma garagem e umas escadas de acesso ao rés-do-chão. O piso principal é constituído por três quartos, três quartos de banho, uma sala, uma cozinha, dois halls e um espaço para escadas também. Além disso, o rés-do-chão é circundado parcialmente por um alpendre.

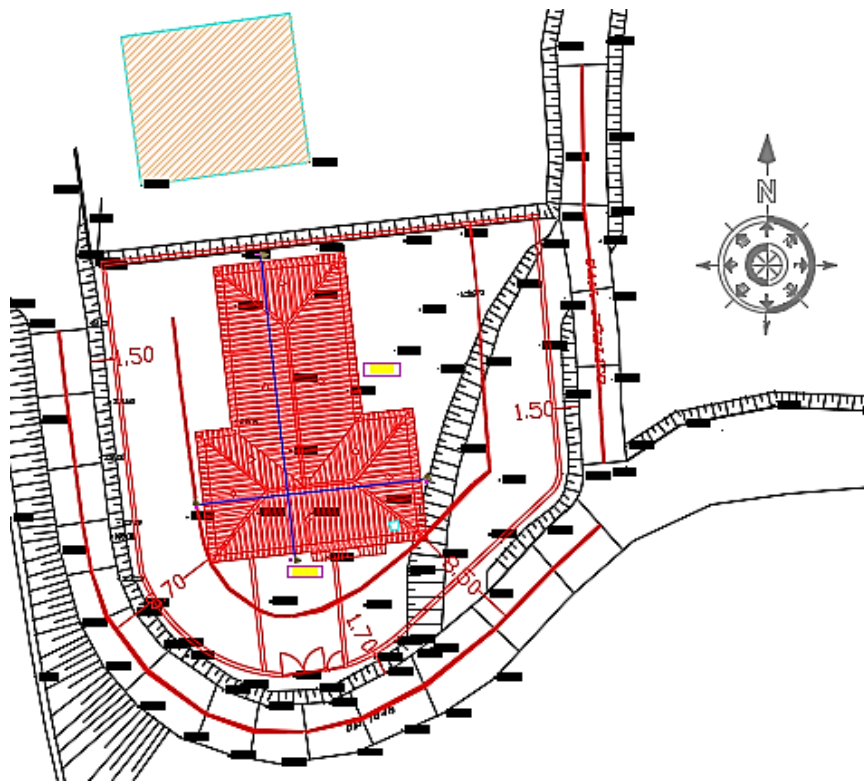


Figura 17- Planta de implantação do caso de estudo

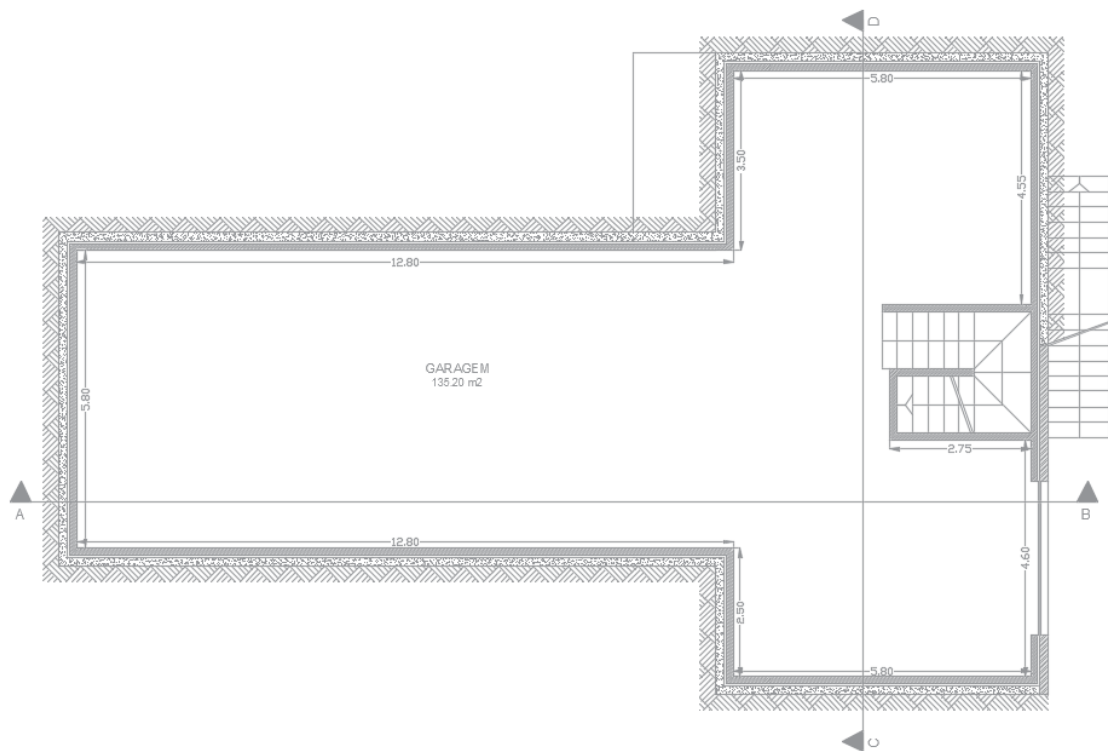


Figura 18- Planta da Cave

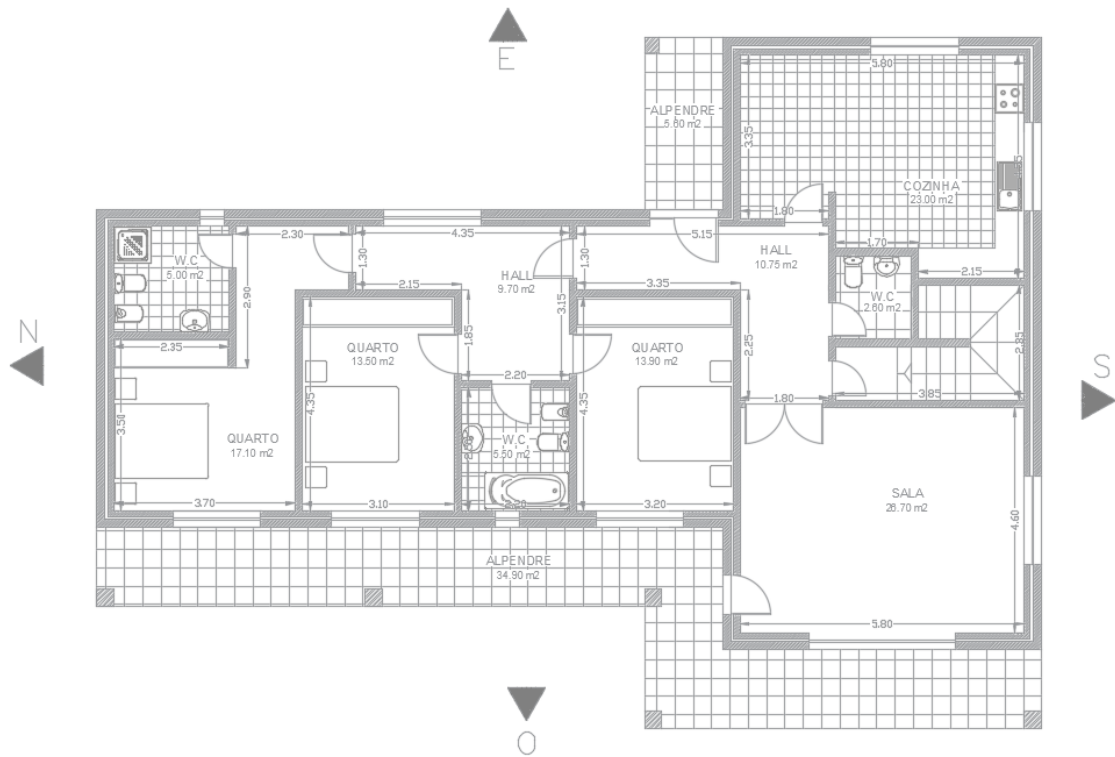


Figura 19- Planta do Rés-do-Chão

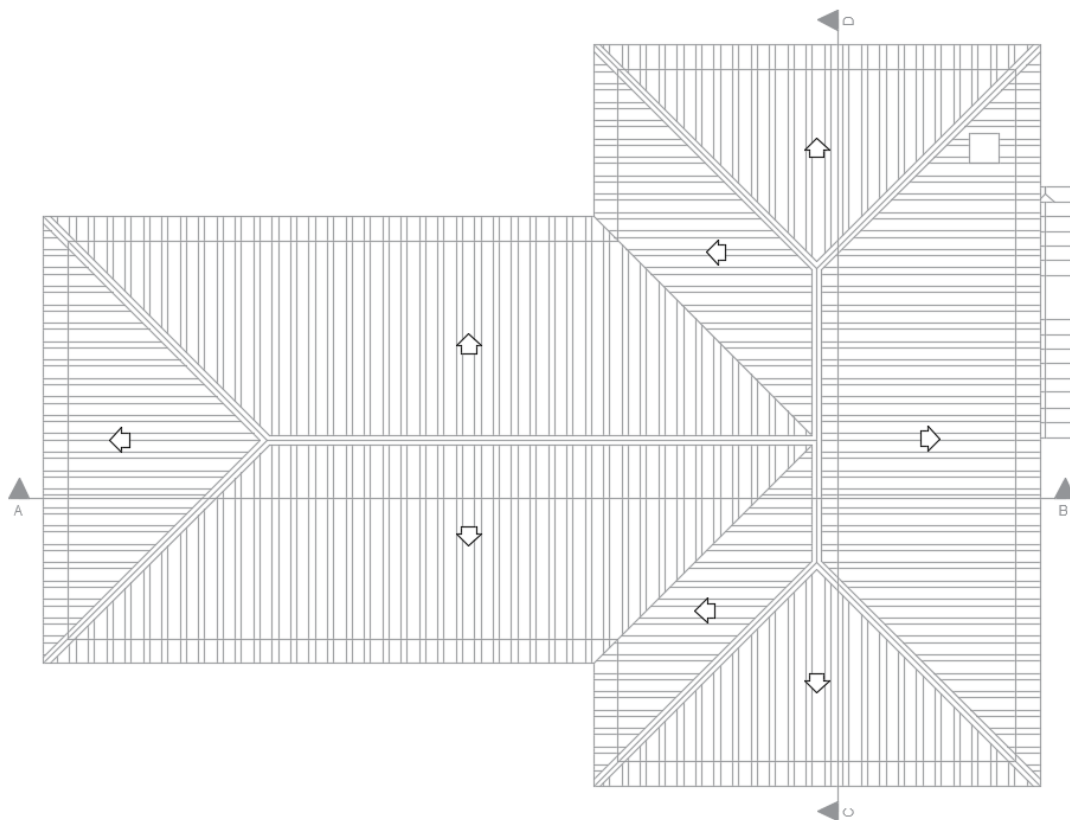


Figura 20- Planta da Cobertura

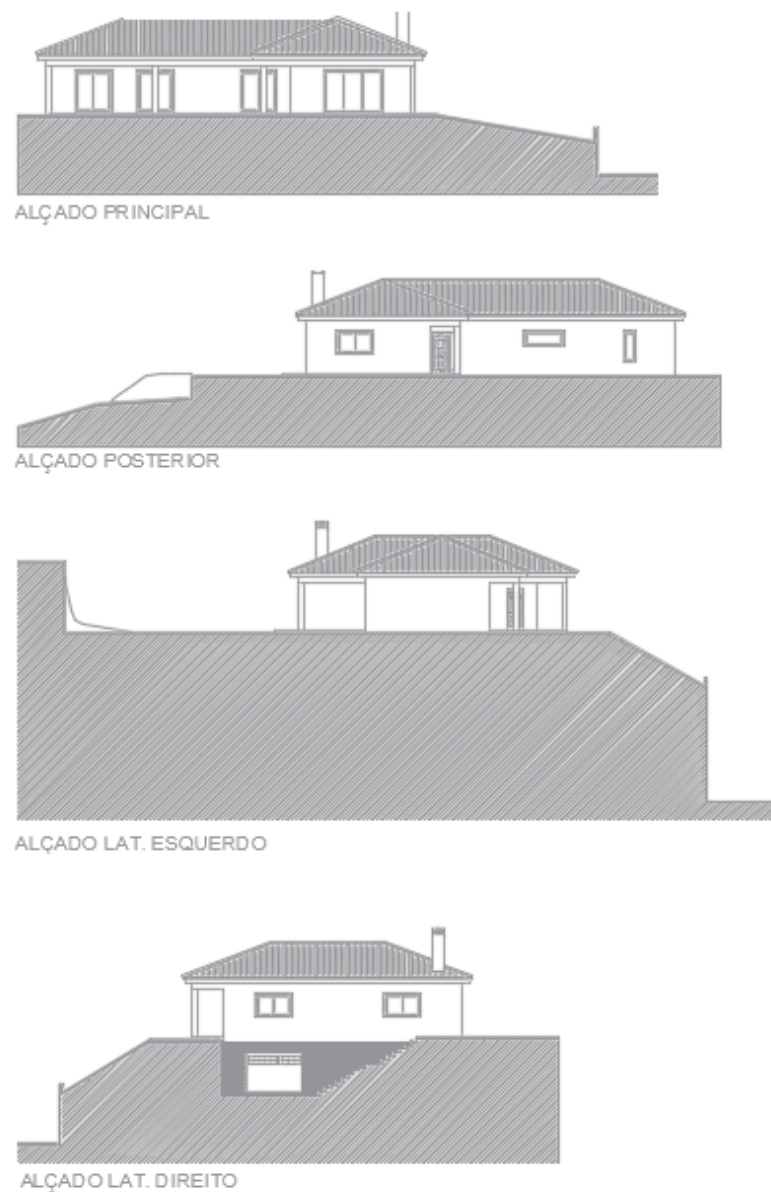


Figura 21- Alçados do Caso de Estudo

Na tabela seguinte faz-se uma caracterização de cada espaço do edifício, apresentando a localização, a orientação das fachadas, a área e ainda a tipologia.

Tabela 9- Caracterização dos espaços do caso de estudo

<b>Espaço</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Piso</b>	<b>Orientação das Fachadas</b>	<b>Tipo de Espaço [51]</b>
<b>Quarto 1</b>	17,10	Rés-do-Chão	Norte, Este e Oeste	Espaço interior útil
<b>Quarto 2</b>	13,50	Rés-do-Chão	Oeste	Espaço interior útil
<b>Quarto 3</b>	13,90	Rés-do-Chão	Oeste	Espaço interior útil
<b>WC 1</b>	5,00	Rés-do-Chão	Norte e Este	Espaço interior útil

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Piso	Orientação das Fachadas	Tipo de Espaço [51]
WC 2	5,50	Rés-do-Chão	Oeste	Espaço interior útil
WC 3	2,60	Rés-do-Chão	-----	Espaço interior útil
Hall 1	9,70	Rés-do-Chão	Este	Espaço interior útil
Hall 2	10,75	Rés-do-Chão	Este	Espaço interior útil
Cozinha	23,00	Rés-do-Chão	Norte, Este e Sul	Espaço interior útil
Sala	23,75	Rés-do-Chão	Norte, Oeste e Sul	Espaço interior útil
Garagem	135,20	Cave	Sul	Espaço interior não útil
Desvão da Cobertura	204,30	-----	Norte, Sul, Este e Oeste	Espaço interior não útil

### 3.1.2. Caracterização dos Climas em Estudo

Neste trabalho realiza-se o estudo do edifício para quatro climas diferentes de modo a entender o impacto de cada clima nas necessidades energéticas e nas soluções propostas. O caso base é na cidade do Porto, região do grande Porto a uma altitude média de 94 metros. Os dados climáticos e geográficos encontram-se resumidos na Tabela 10.

Tabela 10- Dados Climáticos e Geográficos do Caso de Estudo

Dados Climáticos e Geográficos do Caso de Estudo	
Latitude	41,3° N
Longitude	8,6° O
Altitude	94 m
Zona Climática de Inverno	I <sub>1</sub>
Temperatura média exterior de Aquecimento	9,9 °C
Duração do Período de Aquecimento	6,2 meses
Graus-Dia	1250 °C
Zona Climática de Verão	V <sub>2</sub>
Temperatura média exterior de Arrefecimento	20,9 °C
Classificação Climática de Köppen-Geiger	Csb

Os restantes casos apresentados dizem respeito às cidades de Bragança, Peso da Régua e Faro. Definiram-se estas três cidades devido às diversidades de zonamento climático que existe entre elas e a cidade padrão. De seguida, apresentam-se os dados para a cidade de Bragança, região

do Alto Trás-os-Montes a uma altitude média de 680 metros. Os dados climáticos e geográficos desta encontram-se resumidos na Tabela 11.

Tabela 11- Dados Climáticos e Geográficos da cidade de Bragança

<b>Dados Climáticos e Geográficos da cidade de Bragança</b>	
<b>Latitude</b>	41,6° N
<b>Longitude</b>	7,1° O
<b>Altitude</b>	680 m
<b>Zona Climática de Inverno</b>	I <sub>3</sub>
<b>Temperatura média exterior de Aquecimento</b>	5,5 °C
<b>Duração do Período de Aquecimento</b>	7,3 meses
<b>Graus-Dia</b>	2015 °C
<b>Zona Climática de Verão</b>	V <sub>2</sub>
<b>Temperatura média exterior de Arrefecimento</b>	21,5 °C
<b>Classificação Climática de Köppen-Geiger</b>	Csb

A cidade do Peso da Régua encontra-se na região do Douro a uma altitude média de 579 metros. Os dados climáticos e geográficos desta encontram-se resumidos na Tabela 12.

Tabela 12- Dados Climáticos e Geográficos da cidade do Peso da Régua

<b>Dados Climáticos e Geográficos da cidade do Peso da Régua</b>	
<b>Latitude</b>	41,1° N
<b>Longitude</b>	7,4° O
<b>Altitude</b>	579 m
<b>Zona Climática de Inverno</b>	I <sub>2</sub>
<b>Temperatura média exterior de Aquecimento</b>	6,3 °C
<b>Duração do Período de Aquecimento</b>	6,9 meses
<b>Graus-Dia</b>	1764 °C
<b>Zona Climática de Verão</b>	V <sub>3</sub>
<b>Temperatura média exterior de Arrefecimento</b>	22,7 °C
<b>Classificação Climática de Köppen-Geiger</b>	Csa

A cidade de Faro encontra-se na região do Algarve a uma altitude média de 145 metros. Os dados climáticos e geográficos desta encontram-se resumidos na Tabela 13.

Tabela 13- Dados Climáticos e Geográficos da cidade de Faro

Dados Climáticos e Geográficos da cidade de Faro	
Latitude	37,3 °N
Longitude	8,0 °O
Altitude	145 m
Zona Climática de Inverno	I <sub>1</sub>
Temperatura média exterior de Aquecimento	11,3 °C
Duração do Período de Aquecimento	4,8 meses
Graus-Dia	987 °C
Zona Climática de Verão	V <sub>3</sub>
Temperatura média exterior de Arrefecimento	23,1 °C
Classificação Climática de Köppen-Geiger	Csa

### 3.1.3. Caracterização Térmica da Envolvente

A envolvente do edifício corresponde à fronteira através da qual se fazem as trocas de calor com o exterior e, por tal, é necessário proceder à sua delimitação e caracterização térmica.

Todos os materiais definidos nesta habitação dizem respeito a uma construção típica portuguesa do final da década de 80, uma vez que, esta habitação data do ano de 1989. A caracterização física dos materiais foi retirada da publicação do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) denominada ITE 50 que tem no catálogo diversos materiais de construção portuguesa, apresentando as suas propriedades, como a massa volúmica, o calor específico e a resistência térmica.

#### 3.1.3.1 Envolvente opaca

Em primeiro lugar, definem-se os elementos da opaca exterior que englobam as paredes exteriores de espaços úteis e não úteis, muros de cave, a cobertura, o alpendre e a laje térrea. Na Tabela 14 encontram-se as soluções construtivas dos elementos da envolvente opaca exterior e o respetivo coeficiente de transmissão térmico. O coeficiente de transmissão térmico das portas exteriores foi retirado do “Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios” do SCE [51].

Tabela 14- Soluções construtivas da envolvente opaca exterior

Elemento	Material	Espessura (cm)	U (W/(m <sup>2</sup> .°C))
Paredes exteriores de espaços úteis	Tijolo cerâmico furado	15	0,86
	Caixa de Ar	5	
	Tijolo cerâmico furado	15	

Elemento	Material	Espessura (cm)	U ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )
Paredes exteriores de espaços não úteis	Granito	15	-
	Caixa de Ar	5	
	Granito	15	
Porta Exterior	Madeira Maciça	-----	2,70

De seguida, definem-se os materiais do sistema de compartimentação que incluem as paredes interiores e os pavimentos entre pisos. Na Tabela 15 encontram-se as soluções construtivas dos elementos deste sistema.

Tabela 15- Soluções construtivas do sistema de compartimentação

Elemento	Material	Espessura (cm)	U ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )
Paredes interiores compartimentação de espaços úteis	Tijolo cerâmico furado	15	1,16
Paredes interiores compartimentação com espaços não úteis	Tijolo cerâmico furado	15	1,16
Teto em contacto com espaço não útil	Pavimentos Aligeirados (Bloco betão normal), fluxo ascendente/ descendente	25	2,30 / 1,75
Pavimento sobre espaço não útil	Pavimentos Aligeirados (Bloco betão normal), fluxo ascendente/ descendente	30	2,00 / 1,55

Por último, apresentam-se as soluções construtivas para a envolvente em contacto com o solo. Realiza-se esta apresentação somente porque é necessário para a ferramenta de cálculo utilizada. Porém, esta envolvente não possui requisitos a cumprir.

Tabela 16- Soluções construtivas da envolvente opaca em contacto com o solo

Elemento	Material	Espessura (cm)	U ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )
Paredes exteriores de espaços não úteis	Granito	15	-
	Caixa de Ar	5	
	Granito	15	
Laje Térrea	Betão Normal	25	-

### 3.1.3.2 Envolvente não opaca

A envolvente não opaca ou envolvente envidraçada é crucial na redução das necessidades energéticas. Numa primeira instância é importante verificar as características dos envidraçados existentes. Mais uma vez, as soluções existentes dizem respeito a uma casa típica portuguesa do final dos anos 80. Nos envidraçados as propriedades mais importantes de analisar são o fator solar (razão entre a energia total que entra num local através desse vidro e a energia solar

incidente) e o coeficiente de transmissão térmica do conjunto constituído pela caixilharia e pelo vidro [60].

Esta moradia unifamiliar possui envidraçados orientados para Sul, Este e Oeste. O valor de U para os vãos envidraçados foi retirado do documento do LNEC que se debruça acerca dos coeficientes de transmissão térmica de elementos construtivos, vulgarmente conhecido por ITE 50 [85]. Neste caso os vãos envidraçados possuem caixilharia metálica sem corte térmico, tipologia simples, vidro duplo e uma espessura da lâmina de ar de 6 mm. O fator solar do vidro é retirado do Manual do SCE. Na Tabela 17 encontram-se as soluções construtivas e as características térmicas dos elementos .

Tabela 17- Soluções construtivas da envolvente não opaca

Elemento	Material	U (W/(m <sup>2</sup> .°C))	Fator solar
Janela Exterior	Vidro Duplo Corrente com Caixilharia em Alumínio Termolacado	4,30	0,78

### 3.1.3.3 Condições fronteira

A delimitação da envolvente é outro aspeto que permite caracterizar o edifício termicamente. A envolvente do edifício está diretamente ligada às condições fronteira que se encontram na Tabela 18.

Tabela 18- Condições fronteira em edifícios de habitação [51]

Condição fronteira	Elementos que separam o espaço interior útil
Exterior	Do ambiente exterior
Interior com $b_{ztu} > 0,7$	De espaços interiores não úteis com $b_{ztu} > 0,7$
	De zonas de circulação comum com $b_{ztu} > 0,7$
	De frações vizinhas de comércio e serviços com $b_{ztu} > 0,7$
Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	De espaços interiores não úteis com $b_{ztu} \leq 0,7$
	De zonas de circulação comum com $b_{ztu} \leq 0,7$
	De edifícios adjacentes
	De frações vizinhas de comércio e serviços com $b_{ztu} \leq 0,7$
Sem trocas térmicas	De frações vizinhas de habitação
Solo	De elementos que contactam com o solo

O valor de  $b_{ztu}$  é retirado da Tabela 19 e depende de diversos fatores como o volume do espaço interior não útil ( $V_{enu}$ ), a relação entre o somatório das áreas dos elementos de todas as frações que separam os espaços interiores úteis do espaço interior não útil ( $A_i$ ) e o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do ambiente exterior ( $A_u$ ) e ainda do facto de o espaço interior não útil ter aberturas de ventilação permanentemente abertas (F) ou não (f).






Tabela 19- Coeficiente de redução [51]

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

No caso da envolvente entre os espaços úteis e a garagem define-se, por consulta do manual técnico, um valor de  $b_{ztu}$  de 1 uma vez que se trata de um espaço fortemente ventilado [51]. Para o caso da envolvente opaca interior que compartimenta os espaços úteis do desvão da cobertura, o  $V_{enu}$  é cerca de  $170 m^3$  e a relação  $A_i/A_u$  dá 0,55. O desvão do telhado não possui abertura de ventilação permanentemente abertas, pelo que, o valor  $b_{ztu}$  é de 0,8.

A delimitação da envolvente em planta segue um código de cores que se encontra na Tabela 20. Na Figura 22 encontra-se a delimitação da envolvente em planta.

Tabela 20- Cores para a marcação da envolvente

Código de cores (RGB)	Condições fronteira
 Vermelho (255,0,0)	Exterior
 Amarelo (255,255,0)	Interior com $b_{ztu} > 0,7$
 Azul (0,0,255)	Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$
 Verde (0,255,0)	Sem trocas térmica
 Ciano (0,255,255)	Solo

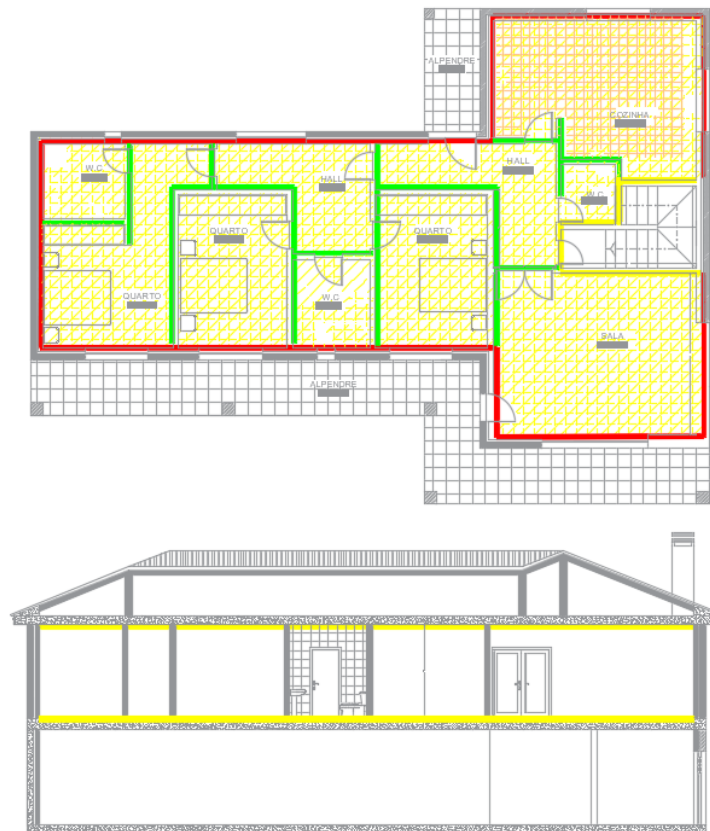


Figura 22- Delimitação da envolvente

### 3.1.3.4 Qualidade térmica da envolvente

Depois da definição das soluções construtivas e das suas características térmicas é importante enquadrar se as mesmas respeitam as diretivas existentes. Como referido no subcapítulo 2.3.2, a legislação portuguesa define requisitos mínimos relativos à envolvente dos edifícios [48]. A legislação define valores diferentes consoante o zonamento climático em causa, sendo que, neste caso de estudo apenas se aborda os valores para o zonamento climático da cidade do Porto ((zonamento climático  $I_1$  e  $V_2$ )). Na Tabela 21 encontra-se uma comparação entre os valores legislados e os valores das soluções existentes.

Tabela 21- Análise da qualidade térmica da envolvente

Elemento Construtivo	U legislado ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )	U real ( $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ )	Veredito
Paredes exteriores de espaços úteis	0,50	0,89	Não cumpre
Pavimento sobre espaço não útil	0,40	2,00 / 1,55	Não cumpre
Teto em contacto com espaço não útil	0,40	2,30 / 1,75	Não cumpre
Paredes interiores compartimentação com espaços não úteis	0,50	1,54	Não cumpre
Janela exterior	2,80	4,30	Não cumpre

Constata-se que nenhum dos elementos construtivos cumpre com os requisitos definidos pela legislação portuguesa para nova construção à presente data, como, aliás, seria expetável.

### 3.1.4. Caraterização Funcional

Neste capítulo definem-se as caraterísticas dos ganhos internos de cada espaço. Estes ganhos dividem-se em ganhos por iluminação, por ocupação e por equipamentos associados à atividade doméstica.

#### 3.1.4.1 Ocupação

Uma das propriedades essenciais para definir os ganhos por ocupação é o calor gerado pela atividade metabólica realizada no espaço. Na Tabela 22 encontram-se diversas atividades usuais numa habitação e o calor gerado pelas mesmas.

Tabela 22- Geração típica de calor para diversas atividades (adaptado [12])

Atividade	$W/m^2$	met
<b>Descanso</b>		
Dormir	40	0,7
Reclinado	45	0,8
Sentado, quieto	60	1,0
De pé, relaxado	70	1,2
<b>Caminhar (numa superfície plana)</b>		
3,2 km/h (0,9 m/s)	115	2,0
4,3 km/h (1,2 m/s)	150	2,6
6,4 km/h (1,8 m/s)	220	3,8
<b>Atividades ocupacionais diversas</b>		
Cozinhar	95 a 115	1,6 a 2,0
Limpar a Casa	115 a 220	2,0 a 3,4
Sentado, movimento intenso dos membros	130	2,2

De seguida é necessário converter os valores retirados da Tabela 22 para calor gerado por pessoa. Para isso, recorre-se à equação (5) que utiliza a área de DuBois da superfície corporal ( $A_{Du}$ ) para realizar esta conversão. A  $A_{Du}$  para ocupantes com idades superiores a 14 anos é de  $1,80 m^2$  [51].

$$Atividade_{Pessoa} = Atividade_{Área} * A_{Du} \quad (5)$$

Na Tabela 23 encontram-se as atividades definidas para cada espaço, o calor retirado da Tabela 22 para essas atividades e a respetiva conversão para calor gerado por pessoa. Os quartos de banho não se encontram na Tabela 23 pois, como são espaços com utilização muito pontual opta-se por não considerar estes ganhos internos.

Tabela 23- Calor gerado por pessoa para cada espaço

<b>Espaço</b>	<b>Atividade</b>	<b><math>W/m^2</math></b>	<b><math>W/pessoa</math></b>
Quartos 1, 2 e 3	Dormir	40	72
Halls 1 e 2	De pé, relaxado	70	126
Cozinha	Cozinhar	105	189
Sala	Sentado, quieto	60	108

Tendo o calor gerado por pessoa para cada espaço é necessário definir o número de ocupantes de cada um deles. Os quartos 2 e 3 são quartos singulares logo possuem 1 ocupante já o quarto 1 destina-se a 2 ocupantes. Os halls, a cozinha e a sala são espaços comuns da habitação logo são frequentados pelos 4 ocupantes.

Em qualquer ganho interno é muito importante definir os perfis de utilização, de modo a tornar o mais real possível a simulação. Realiza-se uma diferenciação entre período laboral (segunda a sexta-feira) e fim-de-semana. Na Tabela 24 encontram-se os perfis de utilização dos diversos espaços para o período laboral e para o fim-de-semana.

Tabela 24- Perfis de utilização da ocupação

<b>Espaços</b>	<b>Perfis de Utilização</b>	
Quarto 1, 2 e 3	Laboral	100% das 22 às 8 horas; Sem ocupação no restante
	Fim-de-Semana	100% das 23 às 10 horas; Sem ocupação no restante
Hall 1 e 2	Laboral	25% das 8 às 9, das 18 às 20 e das 21 às 22 horas; Sem ocupação no restante
	Fim-de-Semana	25% das 10 às 12, das 14 às 20 e das 22 às 23 horas; Sem ocupação no restante
Cozinha	Laboral	25% das 19 às 20 horas; 100% das 8 às 9 horas e das 20 às 21 horas; Sem ocupação no restante
	Fim-de-Semana	25% das 16 às 18 horas; 50% das 10 às 11, das 12 às 13 e das 20 às 21 horas; 100% das 13 às 14 e das 21 às 22 horas; Sem ocupação no restante
Sala	Laboral	50% das 18 às 20 horas; 100% das 21 às 22 horas; Sem ocupação no restante
	Fim-de-Semana	50% das 11 às 12 e das 14 às 20 horas; 75% das 22 às 23 horas; Sem ocupação no restante

### 3.1.4.2 Iluminação

Depois dos ganhos por ocupação, define-se os ganhos por iluminação. Inicialmente define-se a característica transversal a todos os espaços habitáveis, sendo ela a potência de iluminação instalada. O documento da ASHRAE define para um edifício de habitação uma potência de iluminação instalada de  $5,5 W/m^2$  [86].

Dentro ainda da iluminação é também necessário definir os seus perfis de utilização. Os perfis de iluminação são distintos entre espaços, porém semelhantes na distinção entre perfis de Inverno e de Verão. Os perfis de Inverno estão associados aos meses de Outubro a Março e os de Verão dizem respeito aos meses de Abril a Setembro. Na Tabela 25 encontram-se os perfis de utilização dos diversos espaços para o Inverno e Verão.

Tabela 25- Perfis de utilização da iluminação

<b>Espaços</b>	<b>Perfis de Utilização</b>	
<b>Quarto 1, 2 e 3</b>	Verão	60% das 21 às 23 horas; Desligado no restante
	Inverno	60% das 8 às 9 horas e das 20 às 23 horas; Desligado no restante
<b>WC 1,2 e 3</b>	Verão	25% das 20 às 24 horas; Desligado no restante
	Inverno	25% das 8 às 9 horas e das 17 às 24 horas; Desligado no restante
<b>Hall 1 e 2</b>	Verão	30% das 20 às 23 horas; Desligado no restante
	Inverno	30% das 8 às 9 horas e das 17 às 23 horas; Desligado no restante
<b>Cozinha</b>	Verão	70% das 20 às 22 horas; 25% das 19 às 20 horas e das 22 às 23 horas; Desligado no restante
	Inverno	30% das 10 às 18 horas; 80% das 8 às 10 horas e das 18 às 22 horas; Desligado no restante
<b>Sala</b>	Verão	50% das 21 às 23 horas; Desligado no restante
	Inverno	25% das 20 às 21 horas; 50% das 18 às 20 horas e das 21 às 22 horas; Desligado no restante

### 3.1.4.3 Equipamentos

Por último definem-se os ganhos internos associados aos equipamentos internos. Para isso é necessário caracterizar a potência dos equipamentos e o seu perfil de utilização. Tanto os WC como os Halls não possuem equipamentos internos relevantes, pelo que, o seu ganho interno neste aspeto é nulo.

Estipula-se que cada quarto possui uma televisão, a sala uma televisão e um computador e a cozinha está equipada com um forno, fogão, frigorífico e microondas. As potências destes equipamentos foram consultadas no documento da ASHRAE [12] e encontram-se na Tabela 26.

Tabela 26- Potência dos equipamentos internos [12]

<b>Equipamento</b>	<b>Potência (W)</b>
Televisão 584 mm LED, ecrã plano	50
Computador, Processador 3,5 GHz e 8 GB RAM	42
Forno	1612
Fogão	653
Microondas	1141
Frigorífico	322

Por último e como nos restantes ganhos internos é necessário definir os perfis de utilização dos equipamentos. Faz-se uma distinção em perfis para o período laboral e para o fim-de-semana. Na Tabela 27 encontram-se os perfis de utilização dos diversos equipamentos para os dois períodos.

Tabela 27-Perfis de utilização dos equipamentos internos

Equipamentos	Perfis de Utilização	
<b>Televisão dos Quartos</b>	Laboral	75% das 22 às 23 horas; Desligado no restante
	Fim-de-Semana	75% das 23 à 1 hora; Desligado no restante
<b>Televisão da Sala</b>	Laboral	75% das 18 às 20 e das 21 às 22 horas; Desligado no restante
	Fim-de-Semana	75% das 11 às 12, das 14 às 20 e das 22 às 23 horas; Desligado no restante
<b>Computador da Sala</b>	Laboral	75% das 18 às 20 e das 21 às 22 horas; Desligado no restante
	Fim-de-Semana	50% das 14 às 20 horas; Desligado no restante
<b>Fogão</b>	Laboral	15% das 19 às 20 horas; Desligado no restante
	Fim-de-Semana	15% das 12 às 13 e das 19 às 20 horas; Desligado no restante
<b>Forno</b>	Laboral	10% das 19 às 20 horas; Desligado no restante
	Fim-de-Semana	10% das 12 às 13 e das 20 às 21 horas ; Desligado no restante
<b>Microondas</b>	Laboral	10% das 8 às 9 e das 20 às 21 horas; Desligado no restante
	Fim-de-Semana	10% das 10 às 11, das 12 às 13 e das 20 às 21 horas; Sem ocupação no restante
<b>Frigorífico</b>	Laboral/ Fim-de-Semana	Sempre a 15%

### 3.1.5. Requisitos de Conforto e QAI

Neste subcapítulo definem-se as características associadas à ventilação existente e às temperaturas interior de conforto.

#### 3.1.5.1 Ventilação

A ventilação, como já mencionado, é muito importante pois impacta diretamente as necessidades energéticas de um edifício e também a qualidade do ar interior. A legislação portuguesa define valores de referência para o caudal de ventilação de modo a obter uma QAI aceitável.

Uma vez que o edifício data do final da década de 80 define-se que a ventilação é natural e que existem infiltrações. Tendo em conta a falta de legislação existente no final dos anos 80 acerca da renovação do ar decide-se recorrer à primeira legislação em vigor. Daí é possível retirar que,

a taxa de referência para a renovação do ar, para garantia da qualidade do ar interior, é de 0,6 renovações por hora [35]. Para efeitos da simulação recorrendo a ferramentas de cálculo e, uma vez que, fala-se de ventilação natural define-se a ventilação está sempre a funcionar a 100%.

### **3.1.5.2 Temperatura Interior**

A definição das temperaturas interiores é crucial para a obtenção das necessidades térmicas de um edifício e para o conforto térmico de um espaço.

Atualmente, e como já mencionado no subcapítulo 2.1, a temperatura máxima e mínima de conforto pode ser retirada na Norma Europeia 16798-1. Esta norma define quatro categorias sendo que este edifício se insere na categoria III, que diz respeito a edifícios existentes. Para esta categoria e tendo em conta que este é um edifício residencial, pode-se retirar da Tabela 2, que as temperaturas mínimas e máximas de conforto são, respetivamente, 18,0 e 27,0 °C [14].

## **3.2. Simulação Energética**

A simulação energética do edifício realiza-se com recurso à ferramenta de cálculo “CYPETHERM EPlus”. Para realizar a simulação é necessário primeiramente realizar a modelação geométrica e construtivo, o zonamento térmico e a caracterização climática.

### **3.2.1. Modelação Geométrica**

A modelação do edifício foi realizada com recurso à ferramenta de cálculo CYPE Architecture. O primeiro passo é a importação das plantas disponibilizadas. De seguida é importante colocar as mesmas coordenadas de origem para todos os pisos.

O próximo passo na modelação do edifício passa pela criação de diversos níveis associados aos pisos e, posteriormente, acoplar as plantas importadas a eles. Foi também criado um nível intermédio associado às escadas que fazem a ligação entre a cave e o rés-do-chão.

Tendo os níveis criados e as respetivas plantas associadas segue-se a modelação dos elementos construtivos deste edifício. Inicialmente modelam-se as lajes dos pisos e da cobertura, fazendo a divisão entre pavimento térreo, laje entre pisos, laje de cobertura e ainda laje exterior (alpendre). Seguidamente, modelam-se as paredes que se dividem nas seguintes categorias: parede exterior, interior, muro de cave e meeiras. Neste caso de estudo existem paredes exteriores, interiores e muros de cave.

De seguida, modelam-se as aberturas onde se encaixam os vãos envidraçados, as portas e a abertura para a garagem. No caso da abertura para a garagem apenas se define a localização, as dimensões e a geometria enquanto nas portas define-se também o tipo de abertura (porta de batente ou de correr, simples ou dupla) e o tipo de puxador. Nos vãos envidraçados é necessário definir todas as propriedades apresentadas nas outras aberturas e ainda a altura ao parapeito e o número de folhas da janela. Nas janelas os tipos de abertura existentes são fixo,

de batente ou de correr. Na Tabela 28 apresentam-se todas as aberturas existentes neste edifício e as suas propriedades.

Tabela 28- Aberturas do Caso de Estudo

Abertura	Dimensões (m)	Quantidade	Altura ao Parapeito (m)
Entrada para Garagem	3,00 x 2,10	1	-----
Porta de Batente Simples	0,85 x 2,05	9	-----
Porta de Batente Simples	1,30 x 2,00	1	-----
Porta de Batente Dupla	1,70 x 2,05	1	-----
Porta de Correr Simples	0,80 x 2,00	1	-----
Janela de Correr 2 Folhas	1,80 x 2,20	3	0
Janela de Correr 3 Folhas	3,00 x 2,20	1	0
Janela de Batente 2 Folhas	1,90 x 1,25	2	1,00
Janela de Batente 2 Folhas	1,95 x 1,25	1	0,70
Janela Fixa Simples	0,50 x 2,20	1	0
Janela Fixa Simples	2,15 x 0,85	1	1,20
Janela Fixa Simples	0,65 x 1,65	1	0,40

A última etapa na modelação do edifício realiza-se recorrendo à ferramenta de cálculo “Open BIM Analytical Model” e diz respeito à atribuição de grupos de espaços e à geração do modelo analítico. Os grupos foram definidos tendo em conta a orientação, proximidade e tipologia resultando em sete grupos. Os grupos são: “Quarto 2/3 + WC 2”, “Suite” onde se inserem o Quarto 1 e o WC 1, “Halls + WC 3”, “Cozinha”, “Sala”, “Não Útil” constituído pela garagem e pelos dois espaços das escadas e “Cobertura”. Neste caso de estudo foram gerados 15 espaços, 267 superfícies e 238 arestas, como se pode verificar na Figura 23.

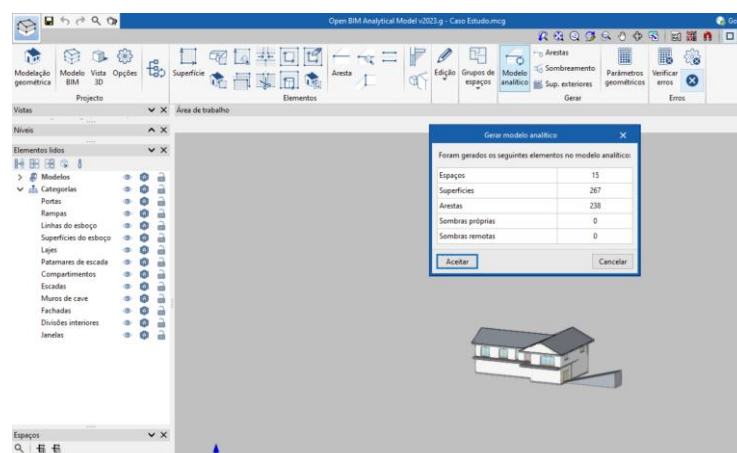


Figura 23- Interface do Open BIM Analytical Model para a geração do modelo analítico

### 3.2.2. Modelação Construtiva

Após modelar geometricamente todos os elementos arquitetónicos que constituem este caso de estudo é necessário definir os seus materiais, recorrendo à ferramenta de cálculo “Open BIM Construction Systems”. O programa faz a divisão entre os elementos da envolvente exterior e da interior. Na Figura 24 é possível verificar a interface da ferramenta de cálculo descrita acima.

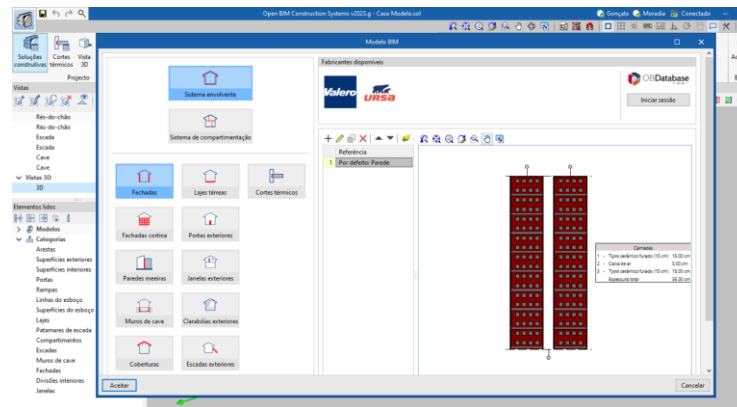


Figura 24-Interface do Open BIM Construction Systems para a atribuição das soluções construtivas

Para definir os materiais de cada elemento arquitetónico é necessário seleccionar a sua referência e definindo as camadas e o material. Os materiais foram retirados da biblioteca do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) que fornece diversas categorias de materiais e ainda as suas propriedades, como a massa volúmica, o calor específico e a resistência térmica.

Em primeiro lugar, definem-se os elementos da envolvente exterior seguidos dos elementos do sistema de compartimentação e por ultimo os elementos em contacto com o solo. Os materiais definidos encontram-se descritos no subcapítulo 3.1.3.

### 3.2.3. Zonamento Térmico

Para realizar a simulação energética é necessário caracterizar corretamente as zonas previamente definidas. O primeiro passo para isso passa por classificar cada zona em habitável e não habitável. Neste caso de estudo existem cinco zonas habitáveis que tratam os espaços habitacionais, propriamente ditos, tais como, sala, cozinha, quartos, quartos de banho e espaços de circulação respetivos e duas zonas não habitáveis (garagem e desvão de telhado). Em seguida, para as zonas habitáveis é necessário definir a temperatura máxima e mínima de conforto que, como já mencionado no subcapítulo 3.1.5.2, são, respetivamente, 18,0 e 27,0 °C.

É também essencial definir os perfis de utilização para os sistemas de aquecimento e arrefecimento, sendo que se definiram perfis mensais. Considerando que a duração da estação de aquecimento para o município do Porto é de 6,2 meses, como se pode verificar pela Tabela 10, define-se que o aquecimento está ligado durante 7 meses, sendo estes meses referentes ao Outono e Inverno (Outubro a Março) e ainda Abril. Para o arrefecimento também se decide que está ligado durante 7 meses, sendo eles, os da Primavera e Verão (Abril a Setembro) e ainda Outubro. Define-se também que durante os respetivos meses o aquecimento e o arrefecimento

estariam sempre ligados e que as temperaturas seriam respetivamente, a temperatura mínima de conforto e a temperatura máxima de conforto.

#### **3.2.4. Número de Horas de Desconforto**

Opta-se por realizar uma simulação energética do edifício sem ganhos internos e sistemas de climatização para compreender as necessidades energéticas somente do edifício e entender a influência que os materiais construtivos têm nas mesmas. Esta simulação permite constatar se as temperaturas interiores dos espaços deste edifício estão muito afastadas das temperaturas de conforto. Isto possibilita o estudo prévio das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. Se as temperaturas interiores estiverem muito abaixo do limite mínimo de conforto existirão elevados consumos energéticos para aquecer estes espaços. O oposto para o arrefecimento.

Para isso, recorre-se à ferramenta de cálculo do CBE (Center For The Building Environment) que permite visualizar as zonas de conforto térmico através de gráficos onde as temperaturas exteriores do ar são a abcissa e as temperaturas operativas a ordenada, de acordo com a Norma Europeia 16798 [14]. Nesta ferramenta de cálculo é necessário introduzir as temperaturas exteriores do local e as temperaturas operativas dos espaços. As temperaturas exteriores são retiradas da ferramenta de cálculo do LNEC, o “CLIMAS-SCE”. As temperaturas operativas provêm da simulação energética deste edifício, apresentando valores horários para todos os meses do ano.

#### **3.2.5. Ocorrência de Condensações**

A análise das condensações é bastante importante pois a existência de condensações no edifício pode causar danos à estrutura, problemas de saúde dos ocupantes, qualidade do ar inferior e desconforto. A simulação energética permite obter diversos relatórios sendo um deles o relatório de condensações. Neste relatório é possível verificar a existência de condensações superficiais e intersticiais para cada solução construtiva da envolvente térmica do edifício. As condensações superficiais têm em consideração a humidade superficial crítica e permitem prevenir o risco de existência de bolores e o risco de corrosão e ainda as condensações intersticiais que contemplam gráficos de pressão/temperaturas e de quantidade de água saturada/evaporada acumulada nas interfaces. A ferramenta de cálculo possui limitações no estudo da probabilidade de ocorrência de condensações pois apenas realiza a verificação em elementos construtivos, não realizando em envidraçados ou portas. Esta limitação não permite então a análise das condensações em envidraçados, pelo que, a mesma não se realizará neste trabalho.

#### **3.2.6. Dados Climáticos**

Como já mencionado, a simulação energética realiza-se com recurso à ferramenta de cálculo “CYPETHERM EPlus”.

## Métodos e Aplicação

Um passo crucial na realização da simulação energética passa pela definição dos dados climáticos do local em estudo. Os dados climáticos relativos às diversas localizações foram retirados da ferramenta de cálculo “CLIMAS-SCE” desenvolvido pelo LNEC. Além disso, define-se a altitude, latitude, longitude e o tipo de clima (no caso de Portugal é clima quente [87]). Na Figura 25 encontra-se a interface do “CYPETHERM EPlus” com a definição dos dados climáticos do Porto.

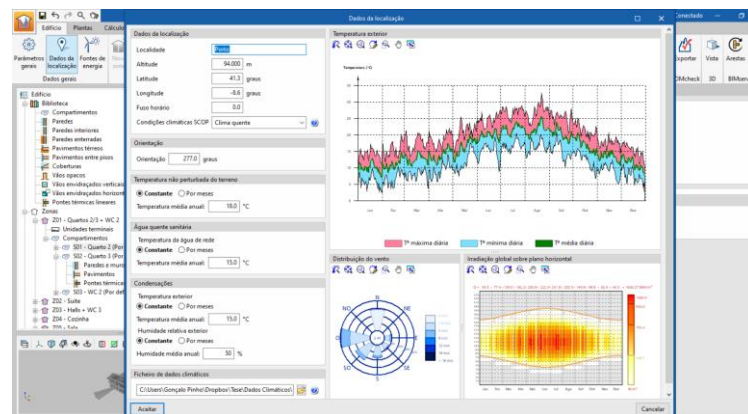


Figura 25- Interface do “CYPETHERM Eplus” para os dados climáticos do Porto

### 3.2.7. Necessidades Energéticas

Antes de se realizar a simulação energética que permite obter as necessidades energéticas do edifício é fulcral verificar se existe algum erro no edifício modelado e caracterizado que impeça a simulação energética. Como é possível constatar pela Figura 26, o modelo está correto pelo que, estão reunidas as condições para realizar a simulação energética.

A simulação energética permite obter diversos relatórios sendo um dos mais importantes o relatório das necessidades energéticas, Neste relatório é possível retirar dados acerca das necessidades energéticas mensais, das necessidades anuais por unidade de área e das necessidades de aquecimento e arrefecimento para cada espaço do edifício.

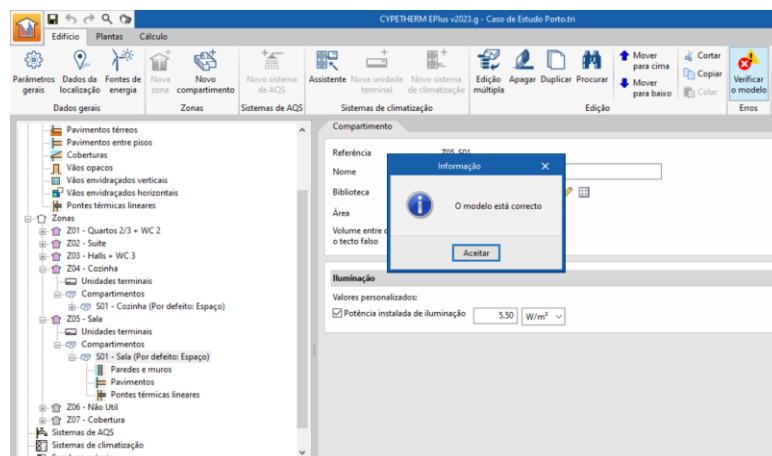


Figura 26- Interface do “CYPETHERM EPlus” para a validação do modelo em estudo

### 3.2.8. Cargas Térmicas de Aquecimento e Arrefecimento

As cargas térmicas (CT) de um edifício são essenciais para a seleção dos sistemas de climatização. As variáveis necessárias a definir no cálculo das CT são idênticas às variáveis necessárias para as necessidades térmicas. Estes dois conceitos diferenciam-se principalmente no facto das CT serem determinadas para o pior caso, no aquecimento, e com os ganhos internos maximizados (isto é, considerando a 100% de utilização) para o arrefecimento. As CT tratam então momentos específicos do dia, em W, enquanto as necessidades térmicas preveem o comportamento térmico do edifício com recurso às variáveis definidas, em W.h.

De acordo com os parâmetros atrás enunciados, e com base nas características físicas da envolvente, nas condições nominais de temperatura exterior (dados climáticos), nas temperaturas interiores assumidas e nas taxas de renovação de ar exterior consideradas, é possível calcular as cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento ambiente dos diferentes espaços a tratar.

A ferramenta de cálculo utilizada é o “CYPETHERM LOADS”, ferramenta de simulação dinâmica. A grande vantagem do uso deste programa é a possibilidade de importar a informação necessária das outras ferramentas Open BIM já mencionadas.

### 3.2.9. Emissões CO<sub>2</sub>

A ferramenta de cálculo permite obter as emissões de dióxido de carbono operacional. Para tal, a ferramenta permite definir os fatores de emissão de CO<sub>2</sub> para as diversas fontes de energia (eletricidade, biomassa, carvão, gás natural, etc.). No caso do edifício inicial assume-se que a fonte de energia é apenas eletricidade e o fator de combustível é de 0,529 [88]. Este valor foi retirado do documento da Agencia Portuguesa do Ambiente (APA), sendo que este documento não possui dados anteriores ao ano de 2005, pelo que, foi esse o valor considerado.

Na Tabela 29 é possível verificar os fatores de conversão de energia primária em toneladas de dióxido de carbono.

Tabela 29- Fatores de conversão de energia primária para emissões de CO<sub>2</sub> [51]

Tipo de Energia	Fator de conversão [kgCO <sub>2</sub> /kWh <sub>EP</sub> ]
Eletricidade (ano 2005)	0,529
Eletricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL Canalizado (propano)	0,170
GPL Garrafas	
Renovável	0

### 3.3. Medidas de Melhoria

Com o edifício definido e os consumos energéticos calculados procede-se então à realização das medidas necessárias para tornar o edifício num edifício NZEB e carbono neutro. Para isso, inicialmente realizam-se melhorias nas soluções construtivas seguidas de melhorias nos sistemas de climatização, sempre priorizando sistemas passivos aos ativos.

#### 3.3.1. Estratégias Bioclimáticas

Como referido anteriormente, a existência de um edifício NZEB pressupõe a existência de envolventes eficientes. Neste caso em particular e visto se tratar de uma renovação de um edifício e não de uma construção nova existem algumas condicionantes gerais. Uma delas passa pelo posicionamento dos isolamentos, que não devem diminuir a área útil dos espaços interiores e outra passa pela praticidade da melhoria desse elemento da envolvente. Esta melhoria passa pela otimização do coeficiente de transmissão térmica dos elementos e de, no caso da envolvente envidraçada, fator solar do vidro. Como referido anteriormente, no subcapítulo 2.3.2 existe regulamentação que decreta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios [48]. O cumprimento deste regulamento já permite a obtenção de envolventes muito mais eficientes, porém, aplica-se o conceito NZEB20, abordado anteriormente. Em suma, a melhoria da envolvente segue o princípio de ser, pelo menos, 20% mais eficiente que os valores legislados.

Realiza-se a diferenciação entre a envolvente opaca e a envolvente envidraçada na seguinte análise, uma vez que, a envolvente envidraçada diferencia-se da opaca nas propriedades a considerar, nomeadamente o fator solar dos vidros.

##### 3.3.1.1 Condições fronteira

A primeira mudança no sentido da melhoria energética passa pela colocação de uma porta que permita uma separação mais estanque entre a garagem e as escadas de acesso aos espaços úteis. A colocação desta porta permite também uma melhor QAI dos espaços habitacionais pois cria uma barreira à passagem do monóxido de carbono proveniente dos tubos de escape do veículos na garagem.

Esta mudança também altera a delimitação da envolvente do edifício pois a envolvente entre os espaços úteis e o espaço não útil das escadas de acesso altera para interior com  $b_{ztu} \leq 0,7$ . Para este caso específico, o  $V_{enu}$  é igual a  $38 \text{ m}^3$  e a relação  $A_i/A_u$  dá 2,20. Com a implementação da porta o espaço não útil não tem aberturas de ventilação permanente abertas, pelo que, se retira da Tabela 19 um valor de  $b_{ztu}$  de 0,4.

Respeitando o código de cores [51], a delimitação da envolvente nas plantas encontra-se na Figura 27.

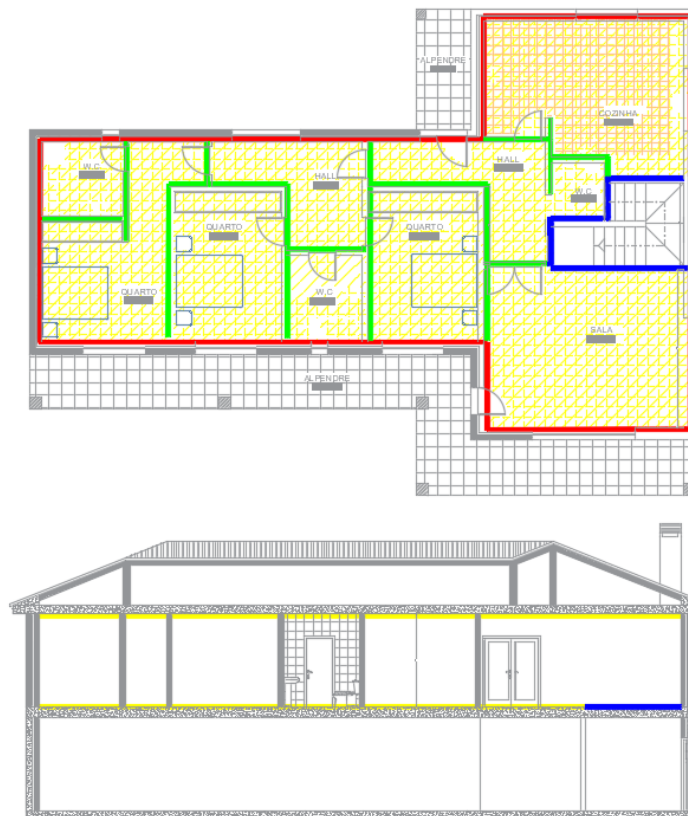


Figura 27-Delimitação da envolvente resultante das melhorias

### 3.3.1.2 Envolvente opaca

Diversos elementos da envolvente opaca são renovados no sentido da melhoria energética do edifício. As paredes exteriores, paredes interiores de compartimentação com espaços não úteis, o teto em contacto com espaço não útil, o pavimento sobre espaço não útil e as portas exteriores são os elementos desta envolvente que são otimizados. No caso das portas exteriores, como a área de envidraçado é inferior a 25% da área total elas enquadram-se na envolvente opaca, como referido no subcapítulo 2.5.1.2.

Outro elemento da envolvente que se mantém inalterado são as paredes interiores de fronteira entre dois espaços úteis, uma vez que, não existem trocas térmicas entre eles podendo ser considerandos como um sistema adiabático e dessa forma, a colocação de isolamento não traria nenhuma vantagem ao nível térmico e ainda causaria uma diminuição na área útil dos espaços.

#### Paredes exteriores de espaços úteis:

Como já mencionado anteriormente no subcapítulo 2.5.1.2, o isolamento pelo exterior, onde se insere o método ETICS, é o método mais adequado ao nível da eficiência energética sendo ainda um método mais prático para uma renovação visto ser um complemento à alvenaria já existente. Além disso, não provoca alterações na dimensão do espaço interior. Por estas razões é a opção escolhida neste caso.

A legislação define que as paredes exteriores de um edifício de habitação, para o caso do Porto (zonamento climático  $I_1$ ), não devem exceder um coeficiente de transmissão térmica de 0,5

$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ . Cumprindo o conceito NZEB20, este valor deve ser aperfeiçoado em 20%, resultando assim num U máximo de  $0,4 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ .

O isolante térmico seleccionado foi o poliestireno extrudido (XPS) pois é um dos isolantes mais comuns e com melhores propriedades térmicas.

O U das paredes melhoradas é calculado através das seguintes equações, retiradas do documento ITE50 [85]. Através da consulta deste documento retira-se que o XPS possui uma condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) de  $0,037 W/(m \cdot ^\circ C)$  e que as paredes iniciais possuem um U de  $0,86 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ .

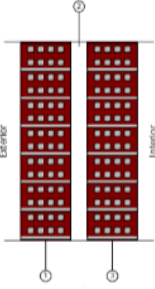
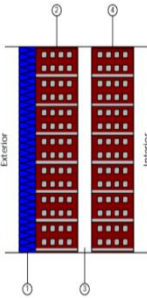
$$U_{Par.Nova} = \frac{1}{1/U_{Par.Inicial} + R_{iso}} \quad (6)$$

$$R_{iso} = \frac{e_{iso}}{\lambda} \quad (7)$$

Por fim, é necessário definir a espessura do isolamento ( $e_{iso}$ ), de modo a obter um coeficiente satisfatório. Define-se um isolamento com espessura de 6 cm resultando assim em paredes exteriores com coeficiente de transmissão térmica ( $U_{Par.Nova}$ ) de  $0,36 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$

A Tabela 30 apresenta a comparação entre as paredes iniciais e as melhoradas.

Tabela 30- Comparação entre as paredes exteriores iniciais e melhoradas

	<p>Tijolo cerâmico furado- 15 cm Caixa de ar- 5 cm Tijolo cerâmico furado- 15 cm</p>		<p>Poliestireno extrudido (XPS)- 6 cm Tijolo cerâmico furado- 15 cm Caixa de ar- 5 cm Tijolo cerâmico furado- 15 cm</p>
<p><math>U= 0,86 W/(m^2 \cdot ^\circ C)</math></p>		<p><math>U= 0,36 W/(m^2 \cdot ^\circ C)</math></p>	

#### Paredes interiores de compartimentação com espaços não úteis:

Para as paredes interiores em contacto com o espaço das escadas de acesso o princípio de funcionamento é igual às paredes exteriores. Aliás, a legislação define o mesmo valor máximo de U, o que significa que, cumprindo a melhoria em pelo menos 20%, o U máximo é de  $0,4$  também.

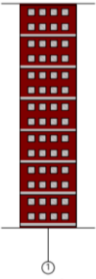
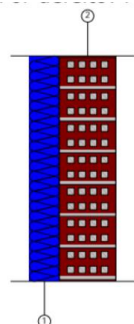
O isolante é na mesma o XPS e o método de cálculo utiliza também as equações (6) e (7). Além disso é também necessária a utilização da equação (8), uma vez que, são paredes de separação entre um espaço útil interior (aquecido) e um local não-aquecido [85].

$$U_{Par.Inicial} = \frac{1}{1/U + 0,09} \quad (8)$$

O U é retirado do documento do ITE50 também e para uma parede simples com alvenaria de tijolo esse valor é igual a 1,3 W/(m<sup>2</sup>.°C), resultando num U da parede inicial de 1,16 W/(m<sup>2</sup>.°C). Define-se um isolamento com espessura de 8 cm visto que com 6 cm não se obtém o resultado desejado. Com esta espessura de isolamento selecionada, as paredes interiores em contacto com espaços não úteis possuem um coeficiente de transmissão térmica de 0,33 W/(m<sup>2</sup>.°C).

Também neste elemento é apresentada a comparação entre as paredes iniciais e as melhoradas, na Tabela 31.

Tabela 31- Comparação entre as paredes interiores em contacto com espaços não úteis iniciais e melhoradas

	Tijolo cerâmico furado- 15 cm		Poliestireno extrudado (XPS)- 8 cm Tijolo cerâmico furado- 15 cm
U= 1,16 W/(m <sup>2</sup> .°C)		U= 0,33 W/(m <sup>2</sup> .°C)	

#### Pavimento sobre espaço não útil:

O isolamento térmico é, mais uma vez, a melhor opção na melhoria energética dos elementos. Como mencionado no subcapítulo 2.5.1.2, nos pavimentos em contacto com espaços interiores não aquecidos o isolamento deve ser colocado sob o suporte do pavimento.

A legislação define que os pavimentos deste caso devem ter um valor máximo de coeficiente de transmissão térmica de 0,4 W/(m<sup>2</sup>.°C). Cumprindo o conceito NZEB20, o U máximo passa para 0,32 W/(m<sup>2</sup>.°C).

O método de cálculo é bastante semelhante ao do caso anterior das paredes interiores em contacto com espaços não úteis, havendo apenas uma pequena mudança na equação (8) que altera para a equação (9) no caso de fluxo descendente e para a equação (10) para fluxo

ascendente. O ar tem tendência a movimentar-se dos espaços mais quentes para os mais frios, pelo que, o fluxo não é linear na sua trajetória.


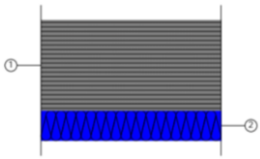
$$U_{Pav.Melhorado} = \frac{1}{1/U + 0,13} \quad (9)$$

$$U_{Pav.Melhorado} = \frac{1}{1/U + 0,06} \quad (10)$$

O U é retirado do documento do ITE50 e para um pavimento em contacto com um espaço não aquecido com 10 cm de isolamento (XPS) esse valor é igual a 0,33 W/(m<sup>2</sup>.°C), resultando num U do pavimento melhorado de 0,316 W/(m<sup>2</sup>.°C) para fluxo descendente e de 0,323 W/(m<sup>2</sup>.°C) para fluxo ascendente.

Também neste elemento é apresentada a comparação entre o pavimento inicial e o melhorado, na Tabela 32.

Tabela 32-Comparação entre o pavimento sobre espaço não útil inicial e melhorado

	<p>Bloco de betão normal- 30 cm</p>		<p>Bloco de betão normal- 30 cm Poliestireno extrudado (XPS)- 10 cm</p>
<p>U= 1,55 / 2,00 W/(m<sup>2</sup>.°C) (descendente/ascendente)</p>		<p>U= 0,316 / 0,323 W/(m<sup>2</sup>.°C) (descendente/ascendente)</p>	

Teto em contacto com espaço não útil:

O teto e o pavimento em contacto com espaço não útil possuem as mesmas obrigações a nível legislativo, pelo que, o U máximo para este elemento é também igual a 0,32 W/(m<sup>2</sup>.°C).

A solução construtiva adotada no sentido da melhoria energética passa pela colocação de isolamento térmico sobre a esteira horizontal. Considera-se que o desvão existente é ventilado tendo assim vantagens térmicas e também se considera que o desvão tem acesso para arrumos ou espaço técnico [85]. Por estas razões, o coeficiente de transmissão térmica é calculado para o conjunto entre o espaço interior e o desvão da cobertura.

O U da laje de cobertura é calculado através da soma das resistências térmicas de todos os materiais, recorrendo então à equação (11). A solução construtiva entre o espaço interior e o


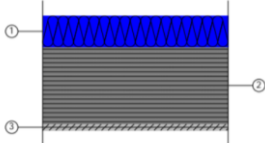
desvão da cobertura passa por um revestimento de teto (estruque), a laje e o isolante térmico (XPS).

$$U_{Cob} = \frac{1}{R_{si} + R_{estruque} + R_{laje} + R_{iso} + R_{si}} \quad (11)$$

A resistência térmica superficial ( $R_{si}$ ) para um fluxo ascendente é igual a  $0,10 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$  enquanto para fluxo descendente é  $0,17 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ . A resistência térmica para um laje de betão normal com 25 cm de altura e fluxo do ar ascendente é igual a  $0,22 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$  e para fluxo descendente é  $0,26 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ . Estes valores foram retirados do documento do ITE50. As resistências térmicas do revestimento de teto e do isolante térmico são calculadas com recurso à equação (7). O estruque não tradicional possui uma condutibilidade térmica de  $0,18 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$  e com uma espessura de 2 cm obtém-se uma resistência térmica de  $0,11 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ . No caso do isolante opta-se por uma espessura de 10 cm o que resulta numa resistência térmica  $2,70 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ . Aplicando estes valores na equação (11) obtém-se um coeficiente de transmissão térmica para o teto em contacto com espaço não útil de  $0,31 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  para fluxo ascendente e  $0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  para fluxo descendente. Este valor cumpre os pressupostos mencionados.

A Tabela 33 apresenta a comparação entre a laje de cobertura inicial e a melhorada.

Tabela 33- Comparação entre a laje de cobertura inicial e melhorada

	<p>Bloco de betão normal- 25 cm</p>		<p>Poliestireno extrudado (XPS)- 10 cm Bloco de betão normal- 25 cm Estruque- 2 cm</p>
<p><math>U = 1,75 / 2,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})</math> (descendente/ascendente)</p>	<p><math>U = 0,29 / 0,31 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})</math> (descendente/ascendente)</p>		

#### Portas Exteriores:

No caso das portas exteriores e, adotou-se um valor genérico para uma porta de madeira, valor esse igual a  $2,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Assim, pretende-se a colocação de uma porta que seja, pelo menos, 20% mais eficiente que esta porta genérica. Ou seja, uma porta com um U máximo de  $2,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Como referência construtiva para as portas existentes seleciona-se a gama Portaro® Entrada da marca Vicaima, uma gama construída com materiais naturais e reciclados (madeira e derivados de madeira). A ficha técnica desta gama encontra-se no Anexo B.

Por fim e mais importante, obtém-se um coeficiente de transmissão térmica para as portas de  $1,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

### 3.3.1.3 Envolvente Envidraçada

Como mencionado na revisão bibliográfica, mais concretamente no subcapítulo 2.5.1.2, a utilização de envidraçados eficientes é algo crucial num edifício sustentável. Para isso é necessário ter em atenção diversos aspetos como o isolamento térmico, a caixilharia existente e o tipo do vidro. Além disso, as propriedades mais importante de monitorizar são o coeficiente de transmissão térmica do conjunto constituído pela caixilharia e pelo vidro e o fator solar.

A legislação já referida define que os elementos da envolvente envidraçada de um edifício de habitação devem, para o caso do Porto (zonamento climático  $I_1$ ), ter um coeficiente de transmissão térmica máximo de  $2,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Cumprindo o conceito NZEB20, este valor passa para  $2,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . O fator solar máximo também é definido pela legislação, sendo que, para um edifício de habitação com inércia térmica média ou forte, este valor é igual a 0,56 e com inércia fraca é 0,10. Aperfeiçoando este valor fica um fator solar máximo de 0,45 ou 0,08 respetivamente.

A inércia térmica, como referido anteriormente no subcapítulo 2.5.1.2, é afetada pela utilização de isolamento térmico sendo que, isolamentos pelo exterior permitem maximizar a inércia térmica do espaço. Estes dados permitem prever que os espaços em estudo possuem uma inercia média ou forte, porém é necessário comprovar. Para fazer esta comprovação utiliza-se a ferramenta de cálculo “CYPETHERM SCE-Hab” da família CYPE também que permite introduzir o edifício modelado e ele realiza a verificação legal do mesmo. O fator solar introduzido de 0,39 (valor explicado abaixo) cumpre os requisitos percebendo-se então que a inércia térmica dos espaços é média ou forte, como esperado. A Figura 28 permite confirmar o descrito acima.

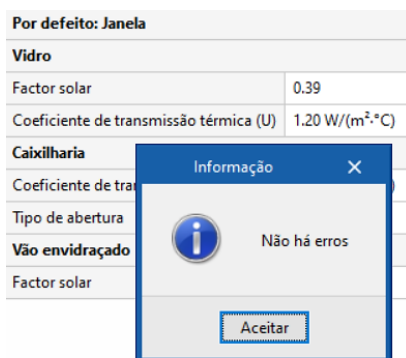


Figura 28- Verificação da inércia térmica dos espaços

Como referência construtiva para as os envidraçados existentes seleciona-se a gama SOLEAL 55 da marca TECHNAL, uma gama pensada para cumprir os requisitos dos edifícios de baixo consumo energético. Esta gama apresenta caixilharia em alumínio, mas uma gama de alumínio de alta qualidade composta por, no mínimo, 75% de alumínio reciclado.

Estes vãos envidraçados possuem um corte térmico de 20 mm, resultando num coeficiente de transmissão térmica de  $1,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  e um fator solar de 0,39.

A ficha técnica desta gama encontra-se no Anexo C.

Como referido anteriormente também no subcapítulo 2.5.1.2, os dispositivos de proteção solar são um método eficiente de prevenção de sobreaquecimento no Verão. Para este caso optou-se pela colocação de persianas exteriores com lâminas ajustáveis que permitem uma regulação perfeita da luz e da entrada do ar e ainda contribuem para o conforto e eficiência energética.

O coeficiente de transmissão solar é um dado que é necessário introduzir na ferramenta de cálculo para a caracterização dos dispositivos de proteção solar. Este coeficiente especifica as propriedades dos materiais de sombreamento de janelas. Assume-se que as propriedades de reflexão e emissividade são as mesmas em ambos os lados do estore. Define-se um valor de 0,5 para este coeficiente, valor recomendado pela ferramenta de cálculo.

### 3.3.2. Estratégias Tecnológicas

Como referido anteriormente o consumo de energia dos edifícios deve-se em grande parte aos sistemas de iluminação e climatização. Tendo em conta que as estratégias bioclimáticas não permitem a obtenção de um edifício sem necessidades energéticas, é necessário implementar medidas tecnológicas para suprir necessidades restantes. As estratégias encontram-se divididas em estratégias de iluminação, ventilação e climatização.

#### 3.3.2.1 Iluminação

Como mencionado no subcapítulo 2.5.1.4, idealmente a iluminação do edifício é obtida recorrendo unicamente a soluções passivas como a iluminação natural e o uso de estratégias de controlo. Apesar disso, e como é o caso deste edifício, é necessário recorrer a iluminação artificial.

Inicialmente define-se um valor de potência de iluminação de  $5,5 \text{ W/m}^2$ , como já mencionado no subcapítulo 3.1.4.2. Este valor genérico pode ser melhorado com a instalação de lâmpadas com elevada eficiência luminosa como é o caso das lâmpadas LED.

Em primeiro lugar é necessário definir a iluminância média ( $\bar{E}_m$ ) para os diferentes espaços do edifício. A iluminância traduz-se na quantidade de luz, proveniente de um sistema de iluminação, que incide no espaço [51].

Na Tabela 34 encontram-se os valores de iluminância definidos para os tipos de espaços que constituem o edifício.

Tabela 34- Valores de iluminância média por espaço

Espaço	Iluminância média (lux)
Quarto	150
Hall	150
WC	325
Sala	325
Cozinha	520

Um passo muito importante é a seleção de uma luminária com excelente eficácia luminosa. A eficácia luminosa ( $Ef_{\text{luminosa}}$ ) é a relação entre a quantidade total de luz emitida e a potência

elétrica consumida. Como referência para a luminária selecionou-se o modelo LuxSpace da marca Philips. Este modelo tem uma eficácia luminosa de 130 lm/W. A ficha técnica encontra-se no Anexo D.

Com estes dados é possível obter a densidade de potência instalada (DPI) através da seguinte equação:

$$DPI = \bar{E}_m / Ef_{luminosa} \quad (12)$$

Assim obtém-se uma densidade de potência instalada de 1,2 W/m<sup>2</sup> para os quartos e os halls, 2,5 W/m<sup>2</sup> para a sala e os quartos de banho e 4 W/m<sup>2</sup> para a cozinha.

### 3.3.2.2 Ventilação

Tendo em conta que não existe ventilação mecânica no edifício, o primeiro passo para o seu melhoramento passa pela implementação de uma unidade de recuperação de calor. Opta-se por esta solução pois, o ar novo introduzido por infiltração ou depressão está a uma temperatura igual ao ar exterior, levando a um grande dispêndio de energia no seu aquecimento e arrefecimento de modo a alcançar as temperaturas de conforto. Com a utilização de um sistema de recuperação de calor, aproveita-se parte da energia desperdiçada no ar de extração para aquecer/arrefecer parcialmente o ar novo. Por estes motivos, a implementação de uma URC altamente eficiente permite obter uma elevada qualidade do ar interior e ainda uma poupança energética substancial.

A legislação atual define que a taxa de renovação do ar interior mínima é de 0,5 rph e, por isso, a URC tem de cumprir este requisito [51]. O caudal de ar a insuflar pela URC deve ser igual ao caudal de ar extraído, de modo que o edifício não se encontre em depressão ou sobrepessão. Para verificar o caudal mínimo de ar novo recorre-se à Equação (13).

$$Q_{Ar\ Novo\ mín} = R_{ph} * V_{tot} \quad (13)$$

O volume total ( $V_{tot}$ ) é determinado multiplicando a área total dos espaços ventilados pelo seu pé direito resultando num volume total de 357 m<sup>3</sup>. Assim, obtém-se que o caudal mínimo de ar novo ( $Q_{Ar\ Novo\ mín}$ ) é 178,5 m<sup>3</sup>/h.

A extração de ar realiza-se nas instalações sanitárias. Para as instalações sanitárias, o caudal mínimo de extração é retirado da Tabela 35, sendo que, neste caso de estudo define-se que as instalações sanitárias são de funcionamento contínuo pois o sistema de ventilação tem um período de funcionamento, no mínimo, igual ao do espaço que a instalação sanitária serve [48].

Tabela 35- Caudais mínimos de extração de ar [51]

Tipo de Espaço	Sistema de Extração	$Q_{ext\ mín}$ [m <sup>3</sup> /h]
Instalação sanitária privada	Com funcionamento contínuo	Máx (45; 10 x $A_{espaço}$ )
	Sem funcionamento contínuo	Máx (90; 10 x $A_{espaço}$ )

Define-se que nas instalações sanitárias com duche e sanita (WC 1 e 2) são extraídos 90 m<sup>3</sup>/h enquanto na de serviço (WC 3) extraem-se 45 m<sup>3</sup>/h.

Assim, somando os caudais de extração das instalações sanitárias obtém-se um caudal total de extração de ar de 225 m<sup>3</sup>/h, valor que cumpre a taxa de renovação do ar interior mínima. Em suma, a URC necessita de extrair/insuflar 225 m<sup>3</sup>/h para o edifício.

Além do caudal de ar, existem diversos parâmetros que caracterizam a URC sendo os mais relevantes a eficiência e a potência elétrica.

Como referência para a URC selecionou-se o modelo Power Play 95h-300 da marca France Air e as suas características principais encontram-se na Tabela 36. A ficha técnica desta gama encontra-se no Anexo E.

Tabela 36- Características da unidade de ventilação com recuperação de calor

<b>URC</b>		
<b>Condições Ambiente</b>		
Inverno – Temperatura interior	°C	18
Verão – Temperatura interior	°C	27
<b>Recuperador de calor</b>		
Tipo		Placas
Eficiência Inverno	%	90
Eficiência Verão	%	88
<b>Módulo de insuflação</b>		
Ventilador de insuflação		Sim, Velocidade Variável
Caudal Total	m <sup>3</sup> /h	225
Pressão estática	Pa	100
<b>Módulo de extração</b>		
Ventilador de extração		Sim, Velocidade Variável
Caudal Total	m <sup>3</sup> /h	225
Pressão estática	Pa	100
<b>Dados Elétricos</b>		
Potência	W	120
Alimentação	V/f	230/1

### 3.3.2.3 Climatização

A utilização de bombas de calor é a melhor solução para climatização pois as bombas de calor são sistemas com eficiências energéticas elevadas. Isto deve-se à capacidade de utilizar energia renovável, permitindo retirar bastante energia do meio envolvente e resultando num menor consumo de energia para a produção de energia térmica e também em menores emissões de dióxido de carbono.

## Métodos e Aplicação

O dimensionamento da bomba de calor faz-se recorrendo às cargas térmicas do edifício. Após realizar o cálculo obtém-se uma carga térmica total de aquecimento de 4200 W e de arrefecimento de 3800 W, valores a considerar no dimensionamento da bomba de calor. O relatório das cargas térmicas do edifício encontra-se no Anexo G.

Com este valor é possível selecionar a bomba de calor a utilizar. A eficiência energética de uma bomba de calor define-se no valor do seu COP (coeficiente de desempenho) quando se trata de aquecimento e no seu EER (rácio de eficiência energética) no arrefecimento. Ambas as medidas revelam a quantidade de energia térmica fornecida por unidade de energia elétrica consumida, ou seja, um sistema de aquecimento que forneça 4 kW de energia térmica consumindo 1 kW de energia elétrica possui um COP de 4. Por isso, quanto maior o COP ou o EER mais eficiente é o sistema.

Apesar da sua importância estas medidas encontram-se limitadas pelas condições nominais. Por isso, os valores mais corretos são os valores sazonais, o SCOP (coeficiente de desempenho sazonal de aquecimento) e o SEER (coeficiente de desempenho sazonal de arrefecimento). Estes valores são determinados pela razão entre a procura anual de aquecimento/arrefecimento e o respetivo consumo elétrico anual. Em suma, são medidas similares que consideram as necessidades e cargas variáveis ao longo de um ano [71].

Consultando o documento da ADENE, é possível retirar os requisitos mínimos de eficiência para equipamentos de climatização nomeadamente bombas de calor. De lá, retira-se que bombas de calor com permuta exterior a ar devem ter como características COP superior a 3,20 e EER superior a 2,80 [89].

Outra modo de balizar a eficiência dos equipamentos é recorrendo à etiqueta energética dos mesmos. A etiqueta energética é uma ferramenta que disponibiliza informação precisa e comparável acerca do equipamento, auxiliando a pessoa na seleção do mesmo. As etiquetas energéticas para equipamentos de aquecimento ambiente são definidas através de um regulamento da UE [90]. Atualmente as classes energéticas estão entre A+++ e D, sendo A+++ o mais eficiente. Antes de 2017, as classes eram entre A++ e G e a etiqueta energética era algo semelhante à Figura 29. Na etiqueta das bombas de calor é importante perceber o mapa relativo às três zonas climáticas europeias, uma vez que, como a fonte de energia é a temperatura exterior, o COP da bomba depende do local da instalação. De qualquer modo, a classe energética é transversal a toda a Europa pois baseia-se no clima médio.

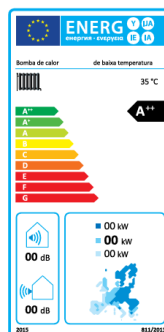


Figura 29- Exemplo de etiqueta energética de uma bomba de calor a baixa temperatura [91]

Com vista a um edifício altamente eficiente, as bombas de calor para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS devem ter uma classe de eficiência energética igual ou superior a “A+” [71].

Uma bomba de calor que funciona a baixa temperatura é mais eficiente que uma que funcione a temperaturas superiores pois, a energia necessária para aquecer a água será logicamente menor. Quando aliado a pavimento radiante hidráulico obtém-se a solução mais eficiente atualmente. Isto porque o pavimento radiante funciona a baixa temperatura, com água a cerca de 35 °C. Quando comparado com o sistema tradicional de radiadores a diferença é bastante considerável já que num sistema de radiadores a água circula a cerca de 70 °C. No caso do arrefecimento acontece o efeito contrário, ou seja, trabalha com água a temperaturas superiores e, portanto, mais próximas das temperaturas de conforto. O sistema radiante trabalha com água entre os 15 e os 18° C, enquanto os sistemas convencionais trabalham com água a 7° C.

Apesar de ser uma opção muito eficaz e confortável em termos de aquecimento, o pavimento radiante possui limitações em termos de arrefecimento, podendo não conseguir remover a totalidade das cargas térmicas nos dias mais quentes. Ao nível do arrefecimento, o sistema de pavimento radiante encontra-se limitado a potências entre os 40 e os 50 W/m<sup>2</sup>. Por isso, quando a superfície do pavimento não é suficiente para vencer a carga térmica da habitação, pode-se aumentar a superfície radiante com a implementação de teto radiante.

Com os valores calculados das cargas térmicas e a função da bomba de calor definidas é possível selecionar a bomba de calor a implementar no edifício.

Como referência para a BC selecionou-se o modelo EPSK06AV3, da gama Altherma 4HF da marca Daikin e as suas características principais encontram-se na Tabela 37. A ficha técnica desta gama encontra-se no Anexo F.

Uma das limitações da bomba de calor selecionada é a falta de informação do valor de SEER para uma temperatura da água arrefecida de 18°C, pelo que, utiliza-se o valor existente para água a 7°C. O valor de SEER para 7°C será inferior a um valor para 18°C, devido à maior diferença de temperatura entre a água de circulação e os espaços a climatizar, portanto, é possível assumir que os resultados obtidos para este valor de SEER seriam ainda mais otimizados caso existisse a informação acerca do SEER para 18 °C.

Tabela 37- Características da Bomba de Calor

<b>BC</b>		
<b>Bomba de Calor</b>		
Tipo	Ar- Água	
Fluido	R290	
<b>Modo de Aquecimento</b>		
Potência Aquecimento	kW	5,81
Temperatura da água aquecida	°C	35
COP	5,19	

## Métodos e Aplicação

<b>BC</b>		
SCOP (Clima médio e temperatura água aquecida de 35°C)		5,12
Classe Eficiência		A+++
<b>Modo de Arrefecimento</b>		
Potência Arrefecimento	kW	6,37
Temperatura da água arrefecida	° C	18
EER		5,63
SEER (Clima médio e temperatura água arrefecida de 7°C)		5,38
<b>Dados Elétricos</b>		
Alimentação Elétrica	V/-/Hz	230/1/50
Consumo Aquecimento	kW	1,12
Consumo Arrefecimento	kW	1,13

## 4. Resultados e Discussão

Concluindo a exposição dos métodos utilizados na componente prática do estudo, procede-se à apresentação dos resultados obtidos, discutindo e escrutinando os mesmos. Desta forma, estes resultados são divididos entre o caso de estudo inicial e o caso de estudo com as melhorias realizadas.

### 4.1. Caso de Estudo

Os resultados do caso de estudo fornecido são essenciais para a perceção das melhorias necessárias para a obtenção de um edifício NZEB. Inicialmente apresentam-se os resultados obtidos seguidos da análise e discussão dos mesmos. Depois apresentam-se os resultados com as melhorias propostas seguidos da sua análise.

#### 4.1.1. Impacto das Estratégias Bioclimáticas

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados para o caso fornecido e de seguida apresentam-se os resultados com as estratégias bioclimáticas implementadas. Esta apresentação permite analisar o impacto que as estratégias bioclimática têm no caso de estudo.

##### 4.1.1.1 Número de Horas de Desconforto

A primeira simulação a ser realizada é a simulação do edifício sem ganhos internos nem sistemas de climatização. Escolhe-se realizar esta simulação para compreender as necessidades energéticas somente do edifício e entender a influência que os materiais construtivos têm nas mesmas.

Esta simulação permite constatar se as temperaturas interiores dos espaços deste edifício estão muito afastadas das temperaturas de conforto. Isto possibilita o estudo prévio das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. Se as temperaturas interiores estiverem muito abaixo do limite mínimo de conforto existirão elevados consumos energéticos para aquecer estes espaços. O oposto para o arrefecimento. Para isso, recorre-se à ferramenta de cálculo do CBE, abordada no subcapítulo 3.2.4, que permite fazer este enquadramento.

Na Tabela 38 apresenta-se o número de horas em que a temperatura interior está fora dos limites de conforto e o seu peso nas horas totais do respetivo mês. Os resultados apresentados são apenas para as zonas habitáveis de estadia mais prolongado pois são as mais relevantes.

Tabela 38- Temperaturas interiores fora da zona de conforto

Mês	Quarto 2/3 + WC 2	%	Suite	%	Cozinha	%	Sala	%
Janeiro	744	100,00	744	100,00	744	100,00	723	97,18
Fevereiro	670	99,70	672	100,00	672	100,00	583	86,76
Março	680	91,40	744	100,00	744	100,00	524	70,43
Abril	622	86,39	720	100,00	720	100,00	409	56,81
Mai	319	42,88	406	92,34	392	74,46	224	30,11
Junho	9	1,25	47	23,06	30	13,47	2	0,28
Julho	0	0,00	0	1,08	0	0,00	0	0,00
Agosto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	23	3,09
Setembro	14	1,94	55	2,92	85	7,22	11	1,53
Outubro	276	37,10	421	49,87	433	55,51	223	29,97
Novembro	690	95,83	720	100,00	720	100,00	560	77,78
Dezembro	744	100,00	744	100,00	744	100,00	715	96,10

De seguida, nas Figura 30 e Figura 31 apresentam-se os gráficos anuais das temperaturas interiores com os limites superiores e inferiores de conforto, permitindo entender ainda melhor os resultados tabelados. Apenas se apresentam os resultados para a zona do Quarto 2/3 e para a Sala pois têm orientações diferentes.

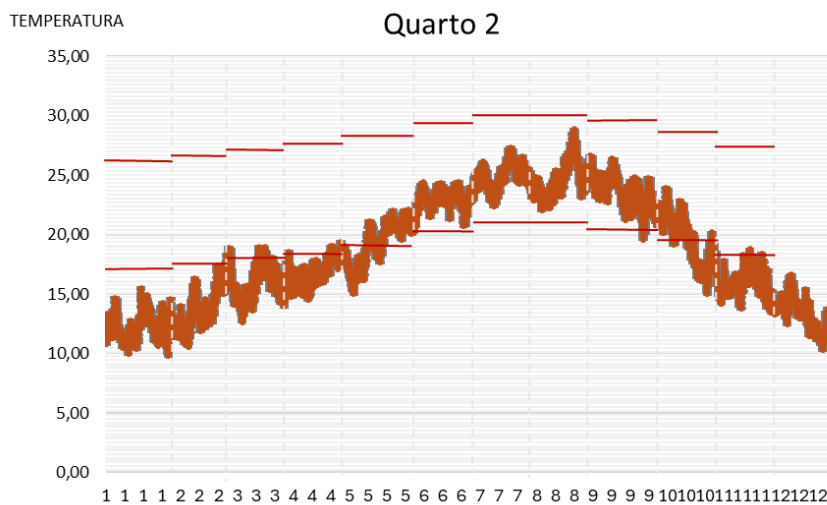


Figura 30- Temperaturas interiores e de conforto para a zona do Quarto

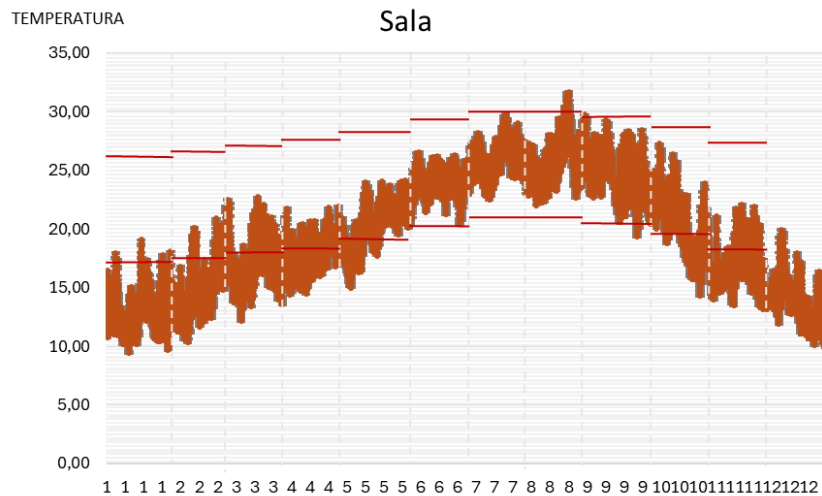


Figura 31- Temperaturas interiores e de conforto para a zona da Sala

Analisando estes resultados conclui-se que este edifício não apresentará grandes necessidades de arrefecimento pois, entre os meses de Junho e Setembro as temperaturas interiores estão praticamente sempre dentro da zona de conforto. Relativamente ao aquecimento o cenário é o oposto, praticamente nunca as temperaturas interiores se encontram dentro dos valores de conforto revelando que é completamente necessário aquecer os espaços para se obter uma sensação de conforto no Inverno. Fazendo uma análise a cada zona é também perceptível que a sala é o espaço com temperaturas superiores associado ao facto de estar maioritariamente orientado para Sul e para Oeste. Isto leva a que consiga ter algumas horas com temperaturas interiores confortáveis nos meses de Janeiro e Dezembro ao contrário dos outros espaços, mas que também possua mais horas com temperaturas desconfortáveis no mês de Agosto.

De seguida, apresentam-se os mesmos resultados, mas com as melhorias propostas na envolvente do edifício.

Apresenta-se então, na Tabela 39, nas Figura 32 e Figura 33 os resultados com as estratégias bioclimáticas.

Tabela 39- Temperaturas interiores fora da zona de conforto para o caso melhorado no Porto

Mês	Quarto 2/3 + WC 2	%	Suite	%	Cozinha	%	Sala	%
<b>Janeiro</b>	744	100,00	744	100,00	744	100,00	739	99,33
<b>Fevereiro</b>	672	100,00	672	100,00	672	100,00	617	91,82
<b>Março</b>	744	100,00	744	100,00	744	100,00	487	65,46
<b>Abril</b>	720	100,00	720	100,00	720	100,00	363	50,42
<b>Mai</b>	474	63,71	687	92,34	554	74,46	192	25,81
<b>Junho</b>	47	6,53	166	23,06	97	13,47	0	0,00

## Resultados e Discussão

Mês	Quarto 2/3 + WC 2	%	Suite	%	Cozinha	%	Sala	%
Julho	0	0,00	8	1,08	0	0,00	0	0,00
Agosto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	11	1,48
Setembro	0	0,00	21	2,92	52	7,22	0	0,00
Outubro	201	27,02	371	49,87	413	55,51	120	16,13
Novembro	700	97,22	720	100,00	720	100,00	507	70,42
Dezembro	744	100,00	744	100,00	744	100,00	720	96,77

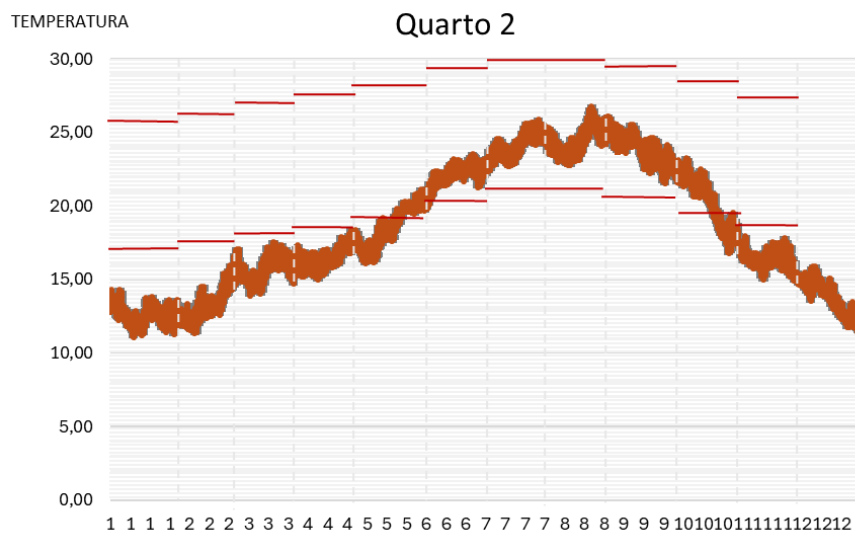


Figura 32-Temperaturas interiores e de conforto para a zona do Quarto com as estratégias bioclimáticas aplicadas

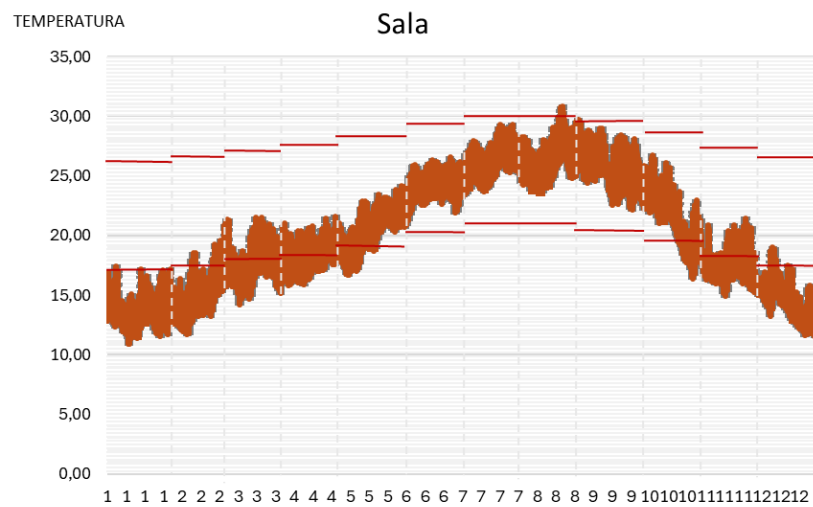


Figura 33- Temperaturas interiores e de conforto para a zona da Sala com as estratégias bioclimáticas aplicadas

Analisando agora o caso com a introdução das estratégias bioclimáticas e comparando-o com o inicial, percebe-se que a amplitude térmica das temperaturas interiores diminui claramente.

Analisando apenas para a zona da sala verifica-se que a amplitude térmica para o caso inicial é de cerca de 22,3°C e para o caso melhorado a mesma diminui para 20°C, um redução superior a 2°C. No caso das temperaturas nos meses de Inverno nota-se claramente que estas são superiores, mesmo estando ainda fora da zona de conforto. No Verão a diferença é diminuta mantendo-se na mesma dentro do conforto. Como esperado, as melhorias construtivas uniformizam mais as temperaturas interiores, ficando mais enquadradas com as temperaturas de conforto. Com estes dados, é esperado que as necessidades energéticas de aquecimento diminuam e as de arrefecimento se mantenham semelhantes, visto já estarem dentro dos limites de conforto.

#### 4.1.1.2 Ocorrência de Condensações

Como mencionado anteriormente, a simulação energética permite obter diversos relatórios sendo um deles o relatório de condensações. Este relatório encontra-se no Anexo H e dele é possível verificar se existe probabilidade de ocorrência de condensações. Na Figura 34 apresenta-se um excerto do relatório onde é possível entender que existem condensações superficiais no teto em contacto com espaço não útil.

**1.2. LC1**

**1.2.1. Resultados do cálculo de condensações**

**1.2.1.1. Condensação superficial**

**$f_{Rsi} = 0.324 \geq f_{Rsi,min} = 0.444$**   
 O elemento construtivo apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{se})$ , em que  $U = 2.703 \text{ W/m}^2\text{-K}$  e  $R_{se} = 0.25 \text{ m}^2\text{-K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $\varphi_{s,crit} \leq 0.8$ .

Figura 34- Verificação de condensações no caso de estudo

A introdução das estratégias bioclimáticas tem também como objetivo retificar as condensações existentes. O relatório completo encontra-se no Anexo I e dele retira-se a Figura 35, onde para o mesmo elemento apresentado acima se verifica que não existe probabilidade de ocorrência de condensações na solução melhorada.

**1.2. LC1**

**1.2.1. Resultados do cálculo de condensações**

**1.2.1.1. Condensação superficial**

**$f_{Rsi} = 0.864 \geq f_{Rsi,min} = 0.709$**   
 O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{se})$ , em que  $U = 0.546 \text{ W/m}^2\text{-K}$  e  $R_{se} = 0.25 \text{ m}^2\text{-K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $\varphi_{s,crit} \leq 0.8$ .

Figura 35-Verificação de condensações no caso de estudo com as estratégias bioclimáticas

#### 4.1.1.3 Necessidades Energéticas

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados retirados do relatório das necessidades energéticas.

Para o caso inicial, o relatório encontra-se na íntegra no Anexo J e permite obter a Tabela 40 da qual resulta a Figura 36. O critério de sinais adotado consiste em utilizar valores positivos para os fluxos de energia adicionados ao espaço (ganhos) e valores negativos para os fluxos de energia retirados do espaço (perdas). As necessidades energéticas em ventilação estão contabilizadas nas necessidades em aquecimento e arrefecimento. Tanto a tabela como a figura dizem respeito às necessidades energéticas anuais por unidade de área do edifício divididas pelas diversas vertentes de transferência de energia, sendo que, o gráfico permite compreender o peso de cada vertente na necessidade energética global.

Tabela 40- Balanço energético anual por unidade de área para o caso inicial

Necessidades Energéticas	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)	%
Aquecimento	71,18	86
Arrefecimento	-1,28	2
Equipamento	6,32	8
Iluminação	4,26	5

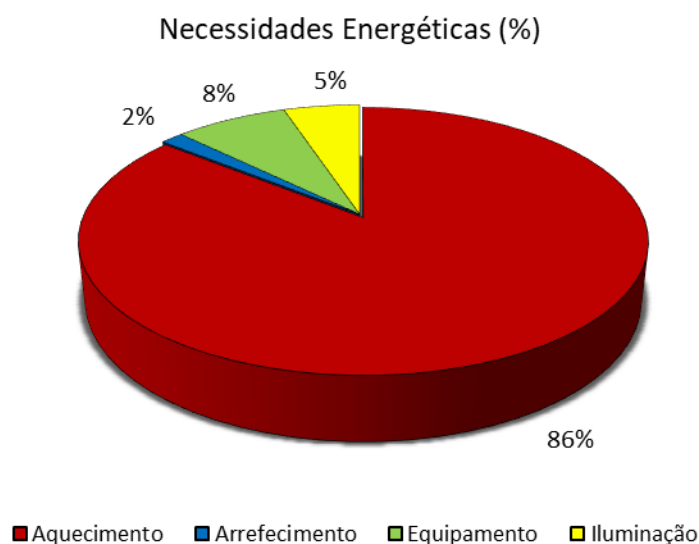


Figura 36- Balanço energético do caso inicial

A Tabela 41 apresenta um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada espaço.

Tabela 41- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada espaço para o caso inicial

<b>Espaço</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Necessidade Energética de Aquecimento (kWh/(m<sup>2</sup>. ano))</b>	<b>%</b>	<b>Necessidade Energética de Arrefecimento (kWh/(m<sup>2</sup>. ano))</b>	<b>%</b>
<b>Quarto 1</b>	17,10	69,82	9	0,21	3
<b>Quarto 2</b>	13,50	49,72	6	2,68	34
<b>Quarto 3</b>	13,90	65,19	8	0,12	2
<b>WC 1</b>	5,00	107,71	14	0,03	0
<b>WC 2</b>	5,50	79,79	10	0,11	1
<b>WC 3</b>	2,60	105,48	14	0,05	1
<b>Hall 1</b>	9,70	77,91	10	0,09	1
<b>Hall 2</b>	10,75	79,83	10	0,08	1
<b>Cozinha</b>	23,00	76,27	10	0,58	7
<b>Sala</b>	23,75	63,74	8	3,96	50

De seguida, na Tabela 42 e na Tabela 43 faz-se uma apresentação mais detalhada da transferência de energia mensal nas suas diversas vertentes, apresentando-se também os dados nas figuras que os sucedem. Estes dados permitem analisar os valores obtidos para as necessidades de aquecimento e arrefecimento.

Tabela 42- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial

<b>Transferência Energia (kWh)</b>	<b>Vent.</b>	<b>Equip.</b>	<b>Illum.</b>	<b>Ocup.</b>	<b>Env. Opaca</b>	<b>Env. Envidraçado</b>
<b>Janeiro</b>	-1517,7	67,9	66	190,4	-1667,2	308,9
<b>Fevereiro</b>	-1186,8	61,9	59,7	173,8	-1346,4	450,6
<b>Março</b>	-1335	68,6	66	190,8	-571,5	608,9

## Resultados e Discussão

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Abril</b>	-1097,9	66,6	25,6	184,1	-244,3	569,2
<b>Outubro</b>	-858,9	67,9	66	177,9	-212,8	626,8
<b>Novembro</b>	-1042,3	65,9	63,9	183,6	-683,2	483,7
<b>Dezembro</b>	-1277,5	69,3	66	196	-1400,4	238,2

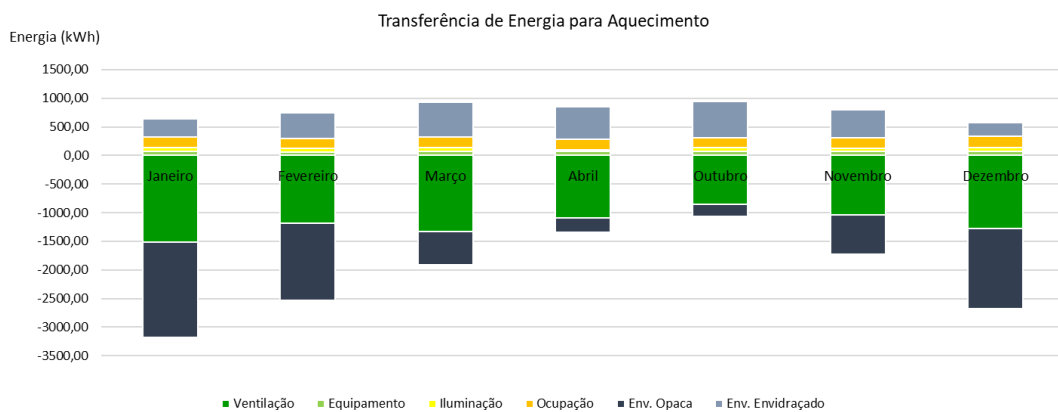


Figura 37- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial

Tabela 43- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Abril</b>	-1097,9	66,6	25,6	184,1	-244,3	569,2
<b>Maio</b>	-984,2	67,9	26,4	179,7	188,3	539,5
<b>Junho</b>	-876,4	66,6	25,6	155,7	129,6	514
<b>Julho</b>	-752,3	68,6	26,4	142,1	14,1	568,8
<b>Agosto</b>	-729,6	67,9	26,4	143,4	-48,3	643,9

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Setembro</b>	-747,2	67,3	25,6	154,4	-180,4	716,6
<b>Outubro</b>	-858,9	67,9	66	177,9	-212,8	626,8

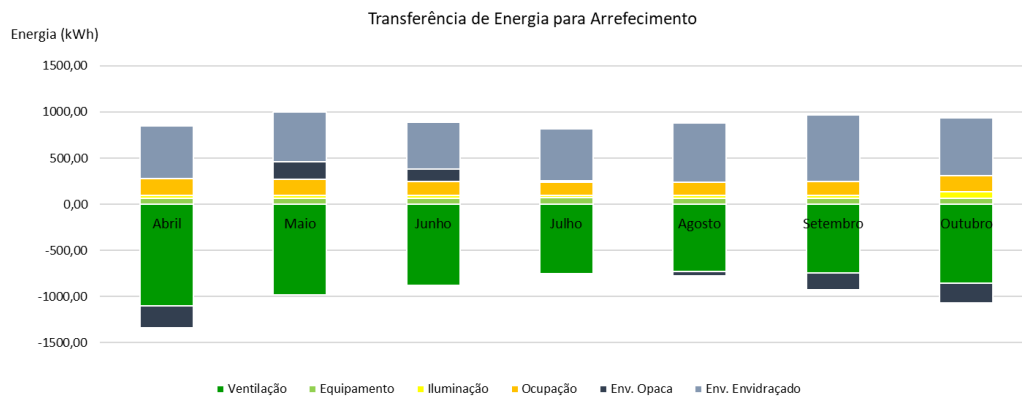


Figura 38- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial

Analisando estes resultados percebe-se que o arrefecimento retira energia ao edifício e o aquecimento, equipamentos e iluminação adiciona energia ao edifício. Seguidamente, também é possível entender através da análise da Figura 36 que o aquecimento é o grande responsável pelas necessidades energéticas do edifício, representando mais de 85% das mesmas. Contraditoriamente a esta vertente, o arrefecimento representa cerca de 2% das necessidades energéticas do edifício. Analisando concretamente os valores, retira-se que as necessidades energéticas de aquecimento são cerca de 55 vezes superiores às necessidades de arrefecimento. Esta discrepância já era expectável pois, como referido anteriormente, as temperaturas interiores no Verão encontram-se dentro dos valores de conforto e no Inverno o mesmo não acontece.

Fazendo agora uma análise mais detalhada às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável, consultando a Tabela 41, é perceptível que os WC's e os halls são os espaços com necessidades energéticas de aquecimento por unidade de área mais elevadas devido ao facto de estes possuírem menos ganhos internos, sendo mesmo nulos no caso dos equipamentos internos. Esta ausência da energia dos ganhos internos leva a maiores necessidades energéticas de aquecimento. Em sentido contrário, a mesma ausência de ganhos internos gera menores necessidades energéticas de arrefecimento, verificando-se isso neste caso de estudo. Ainda dentro destes espaços, mas agora focando mais no WC 1 e no WC 3 é natural que estes espaços possuam maiores necessidades de aquecimento do que os restantes, uma vez que, o WC 1 tem as suas fachadas viradas para Norte sobretudo e além disso possui duas fachadas em contacto com o exterior. Já no caso do WC 3 as necessidades de aquecimento superiores devem-se, em grande parte, ao facto dele estar em contacto direto com espaços não úteis onde não existe controlo de temperatura e ainda existem aberturas de ventilação permanentes.

A orientação das fachadas é um fator preponderante nas necessidades de aquecimento e arrefecimento e isso reflete-se neste caso de estudo. Analisando as necessidades energéticas da sala percebe-se que comparativamente aos restantes espaços habitáveis ela possui menores necessidades de aquecimento e maiores necessidades de arrefecimento devido ao facto de ter as suas fachadas orientadas maioritariamente a sul e também a poente, possuindo então uma exposição solar superior aos restantes espaços. O caso da cozinha é mais complexo, uma vez que, possui fachadas orientadas para Norte, Sul e Este e possui um maior número de equipamentos internos, equipamentos esses com potências caloríficas consideravelmente superiores aos restantes. Devido a estas características espera-se que a necessidade energética não seja bastante elevada nem bastante baixa, algo que se confirma, porém, seria expetável que as necessidades de arrefecimento fossem superiores aos valores obtidos de 0,58 kWh/(m<sup>2</sup>.ano).

Analisando mais detalhadamente os dados relativos à transferência de energia mensal que resulta nas necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento conclui-se que, no período de aquecimento, a renovação do ar e as infiltrações juntamente com a envolvente opaca retiram bastante energia ao edifício, enquanto a envolvente envidraçada é a que mais energia fornece ao mesmo. Estes dados revelam que uma envolvente mais eficaz termicamente é crucial para diminuir as necessidades de aquecimento. Relativamente aos dados para arrefecimento, as conclusões são semelhantes, porém, os dados demonstram que a energia retirada e fornecida ao edifício quase se anulam, resultando nas baixas necessidades de energia evidenciadas.

De seguida, apresentam-se os mesmos resultados, mas agora para o caso com a implementação das estratégias bioclimáticas.

A simulação energética do caso melhorado permite obter um relatório com as necessidades energéticas. Este relatório encontra-se no Anexo K e de lá retiraram-se os dados que se encontram na Tabela 44 e que permitem obter a Figura 39.

Tabela 44- Balanço energético anual por unidade de área para o caso melhorado

<b>Necessidades Energéticas</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>%</b>
<b>Aquecimento</b>	27,27	70
<b>Arrefecimento</b>	-1,29	3
<b>Equipamento</b>	6,32	16
<b>Iluminação</b>	4,26	11

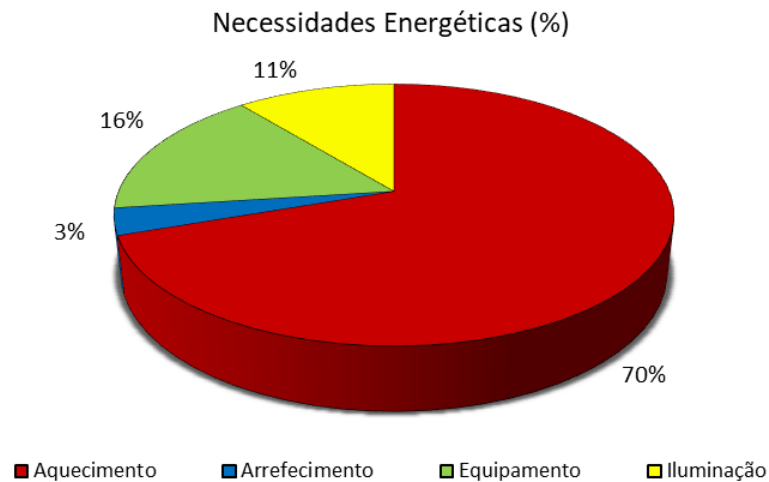


Figura 39- Balanço energético do caso melhorado

A Tabela 45 apresenta um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada espaço.

Tabela 45- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada espaço para o caso melhorado

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Necessidade Energética de Aquecimento		Necessidade Energética de Arrefecimento	
		(kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%	(kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%
<b>Quarto 1</b>	17,10	34,36	11	0,00	0
<b>Quarto 2</b>	13,50	10,89	3	3,90	48
<b>Quarto 3</b>	13,90	17,52	6	0,00	0
<b>WC 1</b>	5,00	58,85	19	0,00	0
<b>WC 2</b>	5,50	36,93	12	0,00	0
<b>WC 3</b>	2,60	43,16	14	0,00	0
<b>Hall 1</b>	9,70	32,19	10	0,00	0
<b>Hall 2</b>	10,75	34,54	11	0,00	0
<b>Cozinha</b>	23,00	27,42	9	0,18	2
<b>Sala</b>	23,75	21,86	7	4,03	50

## Resultados e Discussão

Depois da apresentação generalizada e detalhada por espaço das necessidades energéticas, apresenta-se a transferência de energia mensal total nas suas diversas vertentes.

Tabela 46- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo melhorado

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Janeiro</b>	-1297,7	67,9	66	189,7	-287,4	216,3
<b>Fevereiro</b>	-996	61,9	59,7	172,8	-258,9	281,4
<b>Março</b>	-1097,9	68,6	66	188,9	169,3	370,6
<b>Abril</b>	-941	66,6	25,6	182,7	205,2	355
<b>Outubro</b>	-808,1	67,9	66	170,5	162,6	341,4
<b>Novembro</b>	-895,1	65,9	63,9	181,1	61,2	276,7
<b>Dezembro</b>	-1164,5	69,3	66	194,8	-197,9	167,6

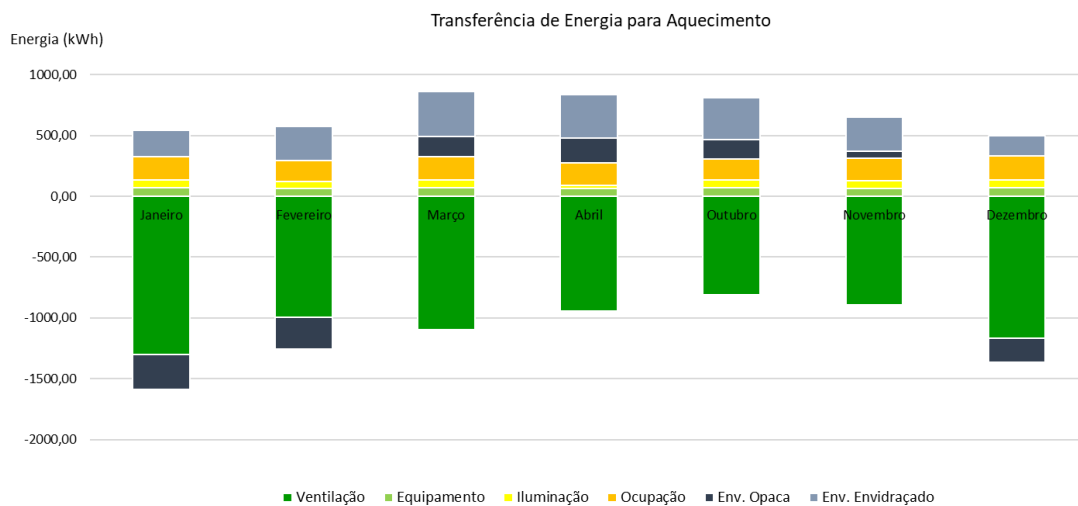


Figura 40- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo melhorado

Tabela 47- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo melhorado

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Abril</b>	-941	66,6	25,6	182,7	205,2	355
<b>Mai</b>	-907,7	67,9	26,4	179,9	340,3	346,2
<b>Junho</b>	-839,5	66,6	25,6	157,3	201,4	340,1
<b>Julho</b>	-802,4	68,6	26,4	144,8	75,7	372,9
<b>Agosto</b>	-773	67,9	26,4	141,4	69,5	399,1
<b>Setembro</b>	-702,3	67,3	25,6	147,7	61	413,5
<b>Outubro</b>	-808,1	67,9	66	170,5	162,6	341,4

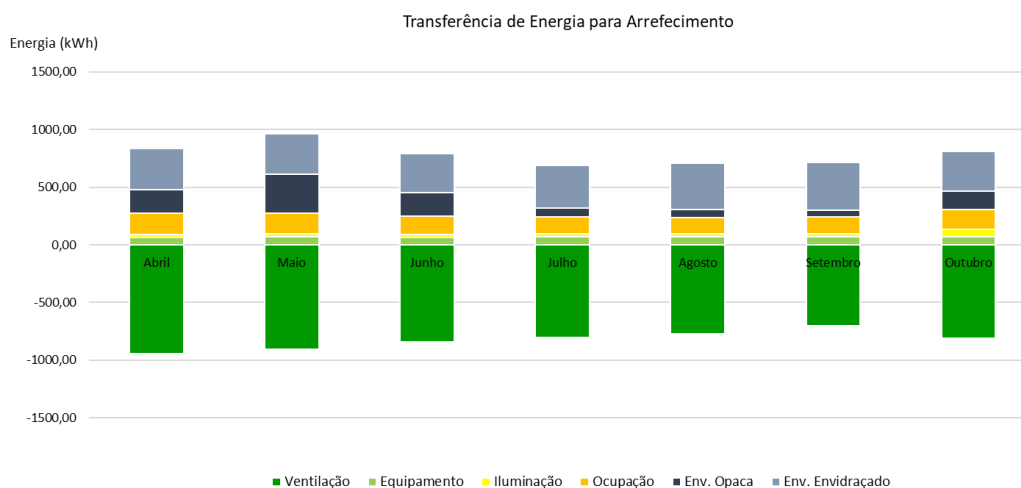


Figura 41- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo melhorado

Analisando estes resultados, retira-se que os valores dos ganhos internos (iluminação e equipamentos internos) se mantêm iguais. Estes resultados eram expeáveis tendo em conta que os parâmetros que caracterizam estes ganhos não foram alterados. Outro valor que se mantém praticamente igual e já não seria tão expeável são as necessidades de arrefecimento. Esperava-se que com as melhorias construtivas aplicadas as necessidades de arrefecimento

diminuísem, porém isto não acontece. Isto deve-se ao facto deste valor já ser bastante baixo e por isso, o impacto não se faz sentir.

No caso do aquecimento a redução energética é claramente notória e vai de acordo ao expetável. Com as melhorias construtivas impostas existe uma redução abrupta nas necessidades energéticas de aquecimento, diminuindo cerca de 62%. Estes resultados de aquecimento e arrefecimento vão, mais uma vez, de acordo aos dados apresentados nos gráficos do CBE comentados anteriormente. O resultado de aquecimento permite compreender bem o impacto das soluções construtivas na transformação de um edifício em NZEB.

Através destas duas análises percebe-se as alterações no balanço energético do edifício. Como o aquecimento diminui consideravelmente e as restantes necessidades se mantiveram iguais ou praticamente iguais é natural que o aquecimento represente menos no balanço e as restantes necessidades representem mais.

Além disso, as transferências de energia pela envolvente e pela ventilação permitem entender o impacto das soluções construtivas. No período de aquecimento, as transferências de energia pela envolvente opaca diminuem consideravelmente e em determinados meses fornecem energia ao edifício ao invés de extraírem como acontece no caso inicial. Já no caso da envolvente envidraçada esta mantém-se a fornecer energia, mas com uma diminuição de quase 40% das suas necessidades iniciais.

### 4.1.2. Impacto das Estratégias Tecnológicas

Depois da análise anterior, constata-se que ainda são necessárias medidas para a obtenção de um edifício descarbonizado. Essas medidas passam pela implementação de estratégias tecnológicas como sistemas de iluminação e climatização eficientes.

#### 4.1.2.1 Necessidades Energéticas

Em primeiro lugar apresentam-se os resultados com as melhorias nos sistemas de iluminação. Semelhante ao caso anterior apenas com as estratégias bioclimáticas, também aqui se apresentam os dados retirados do relatório das necessidades energéticas, relatório que se encontra no Anexo L. Na Tabela 48 encontra-se o balanço energético anual e na Figura 42 a distribuição das diversas vertentes.

Tabela 48- Balanço energético anual por unidade de área para o caso com melhorias na iluminação

<b>Necessidades Energéticas</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>%</b>
<b>Aquecimento</b>	27,27	75
<b>Arrefecimento</b>	-0,91	2
<b>Equipamento</b>	6,32	17
<b>Iluminação</b>	1,97	5

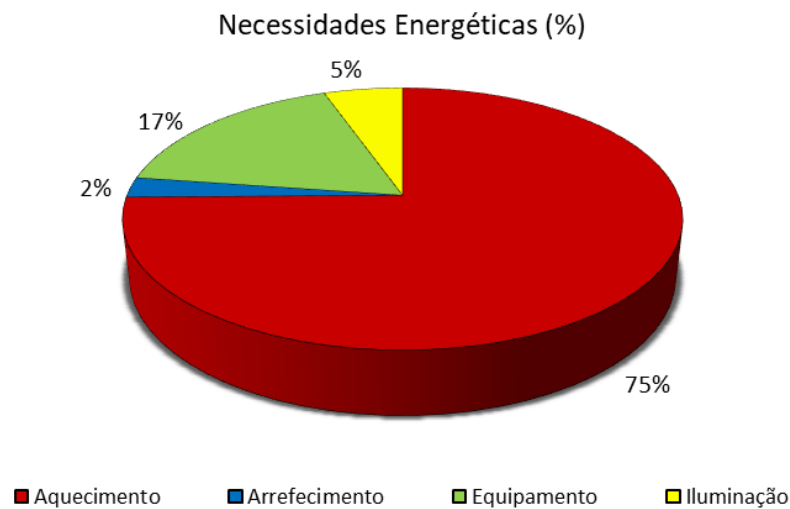


Figura 42- Balanço energético do caso com iluminação melhorada

Analisando os resultados com as melhorias na iluminação retira-se que os resultados foram de encontro ao esperado no geral. As necessidades energéticas de iluminação diminuíram de 4,26 kWh/(m<sup>2</sup>.ano) para 1,97 kWh/(m<sup>2</sup>.ano), havendo então uma redução em cerca de 54% da necessidade energética. No balanço energético do edifício, as necessidades de iluminação passam de representar 11% para 5% das necessidades totais do edifício.

Além desta redução esperada, também as necessidades de arrefecimento diminuíram para um valor quase nulo de 0,91 kWh/(m<sup>2</sup>.ano). Isto era expeável pois as necessidades de arrefecimento estão diretamente relacionadas com os ganhos internos do edifício. Considerando que apenas com as melhorias construtivas este caso já possuía baixas necessidades de arrefecimento, sendo elas bastante próximas de zero, a melhoria no sistema de iluminação podia ser a única medida necessária para obter um edifício confortável nos meses de Verão. Apesar de não ser totalmente, este sistema de iluminação permite menos gastos energéticos para arrefecimento.

Depois desta análise, constata-se que ainda são necessárias medidas para a obtenção de um edifício descarbonizado. Essas medidas passam pelas melhorias dos sistemas ativos de aquecimento/arrefecimento e ventilação.

#### Implementação URC:

Em primeiro lugar, abordam-se os resultados com a introdução de unidade de recuperação de calor. Como já mencionado anteriormente, a introdução de uma URC permite aproveitar parte da energia desperdiçada no ar de extração para aquecer/arrefecer parcialmente o ar novo, permitindo assim uma poupança energética substancial.

Apresentam-se então os dados retirados do relatório das necessidades energéticas, mais concretamente o balanço energético anual nas suas variadas vertentes, na Tabela 49 e a distribuição das mesmas na Figura 43. No caso da ventilação apresentam-se as necessidades de

energia elétricas para acionamento dos ventiladores, uma vez que, como já mencionado, as necessidades térmicas de ventilação encontram-se incluídas nas necessidades de aquecimento e arrefecimento.

No Anexo M encontra-se o todo o relatório exportado do programa.

Tabela 49- Balanço energético anual por unidade de área para a implementação da URC

<b>Necessidades Energéticas</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>.ano)</b>	<b>%</b>
<b>Aquecimento</b>	20,79	60
<b>Arrefecimento</b>	-1,15	3
<b>Equipamento</b>	6,32	18
<b>Iluminação</b>	1,97	6
<b>Ventiladores da URC</b>	4,64	13



Figura 43- Balanço energético do caso com implementação URC

De seguida, na Tabela 50 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento para cada grupo de espaços. Optou-se por considerar grupos de espaços e não espaços individuais como anteriormente foi realizado porque o programa apenas permite a inserção de terminais de ar por grupo de espaços.

Tabela 50- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento por grupo de espaços com a implementação da URC

Grupo de Espaços	Necessidade Energética de Aquecimento (kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%	Necessidade Energética de Arrefecimento (kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%
Quartos 2/3 + WC 2	17,10	16	0,01	0
Suite	22,14	21	0,00	0
Halls + WC 3	29,24	27	0,00	0
Cozinha	22,58	21	0,19	3
Sala	15,99	15	5,34	96

Analisando estes dados, os valores que saltam logo à atenção são o facto das necessidades de aquecimento diminuírem de 27,27 para 20,79 e as de arrefecimento aumentarem de 0,91 para 1,15 kWh/(m<sup>2</sup>. ano). Isto representa uma redução em cerca de 24% das necessidades de aquecimento e um aumento em cerca de 26% das de arrefecimento. No global, o aquecimento passa a representar 60% das necessidades ao invés dos 75% que representava anteriormente e no arrefecimento este valor passa de 2% para 3%. Isto deve-se também com a introdução de uma nova necessidade energética, que é a necessidade de energia elétrica para o acionamento dos ventiladores da URC. Analisando somente esses dados percebe-se que eles representam cerca de 13% das necessidades globais, superando as necessidades de arrefecimento

O impacto causado no aquecimento vai de encontro ao esperado e demonstra que o aproveitamento da energia extraída é uma medida que permite alcançar poupança energética. Já no sentido contrário, o aumento causado no arrefecimento não é algo desejável e expetável, mas considerando as baixas necessidades existentes, o impacto do calor gerado pelos ventiladores da URC pode justificar este aumento.

Independentemente desse aumento, as necessidades continuam a ser extremamente baixas e como se pode verificar na Tabela 50, apenas as zonas da sala e da cozinha necessitam de arrefecimento. Estes dados também são confirmados recorrendo às tabelas acerca do número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto, que confirmam que apenas é necessário arrefecer a sala e a cozinha. Mais uma vez, o facto da sala ser a zona com maiores necessidades de arrefecimento está relacionado com a sua orientação para sudoeste.

#### Implementação URC e BC:

Uma vez que a URC não resolve as necessidades de aquecimento e arrefecimento é necessário recorrer a um sistema de climatização, introduzindo então uma bomba de calor altamente eficiente. Como as necessidades de arrefecimento são quase nulas opta-se por inicialmente apenas utilizar a bomba de calor para aquecimento. Como mencionado no subcapítulo 3.3.2.3,

a solução definida é uma bomba de calor a baixa temperatura aliada a pavimento radiante hidráulico.

Apresentam-se então os dados retirados do relatório das necessidades energéticas, mais concretamente o balanço energético anual nas suas variadas vertentes, na Tabela 51. No Anexo N encontra-se todo o relatório exportado do programa.

Tabela 51- Balanço energético anual por unidade de área para a implementação da URC e BC

<b>Necessidades Energéticas</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>. ano)</b>	<b>%</b>
<b>Aquecimento</b>	20,79	60
<b>Arrefecimento</b>	-1,15	3
<b>Equipamento</b>	6,32	18
<b>Iluminação</b>	1,97	6
<b>Ventiladores da URC</b>	4,64	13

Apresentam-se estes dados apenas para confirmar que as mesmas não alteram com a introdução de sistemas de climatização. Isto deve-se ao facto das necessidades energéticas se referirem à quantidade de energia necessária para operar e manter um edifício confortavelmente, sendo então alteradas pelos métodos passivos já mencionados como a orientação, a envolvente, a ventilação e os ganhos internos.

#### 4.1.2.2 Número de Horas de Desconforto

A introdução de sistemas de ventilação ou climatização mecânicos permite uma nova análise, que parece semelhante a casos anteriores, mas não é. Com estes sistemas é possível verificar se a temperatura interior dos espaços está dentro dos valores de conforto e o número de horas em que a temperatura está fora do conforto. Com estes dados é possível entender então se os equipamentos são eficazes para o caso de estudo.

#### Implementação URC:

Apresentam-se então os dados retirados do relatório de conforto, mais concretamente o número de horas nas quais a temperatura do ar dos espaços se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento. Estes dados permitem analisar, para as zonas climatizadas, as horas em que a temperatura está acima/abaixo dos valores definidos. No Anexo O encontra-se todo o relatório exportado do programa. Na Tabela 52 encontram-se os dados para o grupo do quartos 2 e 3 e do WC 2.

Tabela 52- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC com a implementação da URC

	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Anual</b>	<b>%</b>
<b>Aquec. (horas)</b>	744	672	615	335	-	-	-	-	-	-	195	744	3305	38

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	318	288	300	200	-	-	-	-	-	-	118	320	1544	18
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	11	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 53 encontram-se os dados para a suite.

Tabela 53- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da suite com a implementação da URC

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	744	672	744	564	-	-	-	-	-	-	531	744	3999	46
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	318	288	319	235	-	-	-	-	-	-	196	320	1676	19
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 54 encontram-se os dados para os halls e WC.

Tabela 54- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos halls e WC com a implementação da URC

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	744	672	744	642	-	-	-	-	-	-	612	744	4158	47
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	164	152	169	131	-	-	-	-	-	-	119	174	909	10
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 55 encontram-se os dados para a cozinha.

Tabela 55- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha com a implementação da URC

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	744	671	653	426	-	-	-	-	-	-	393	722	3609	41
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	125	115	52	17	-	-	-	-	-	-	5	111	425	5
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	23	20	3	-	-	-	46	1
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	23	20	3	-	-	-	46	1

De seguida, na Tabela 56 encontram-se os dados para a sala.

Tabela 56- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala com a implementação da URC

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	722	589	223	59	-	-	-	-	-	-	160	676	2429	28
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	127	99	4	-	-	-	-	-	-	-	1	107	338	4
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	1	29 9	378	264	3	-	-	945	11
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	1	90	104	82	-	-	-	276	3

Recorrendo aos dados do relatório de conforto interior que permitem obter as tabelas anteriores, também é possível elaborar um gráfico com as temperaturas interiores ao longo do ano e verificar se estão dentro dos limites de conforto. Opta-se por apenas apresentar o gráfico para a zona da sala de forma a ser mais sucinto, e considerando que esta zona satisfaz o pretendido com o gráfico. Sendo assim, na Figura 44 é possível verificar o gráfico das temperaturas de conforto com os respetivos limites traçados para a zona da sala.

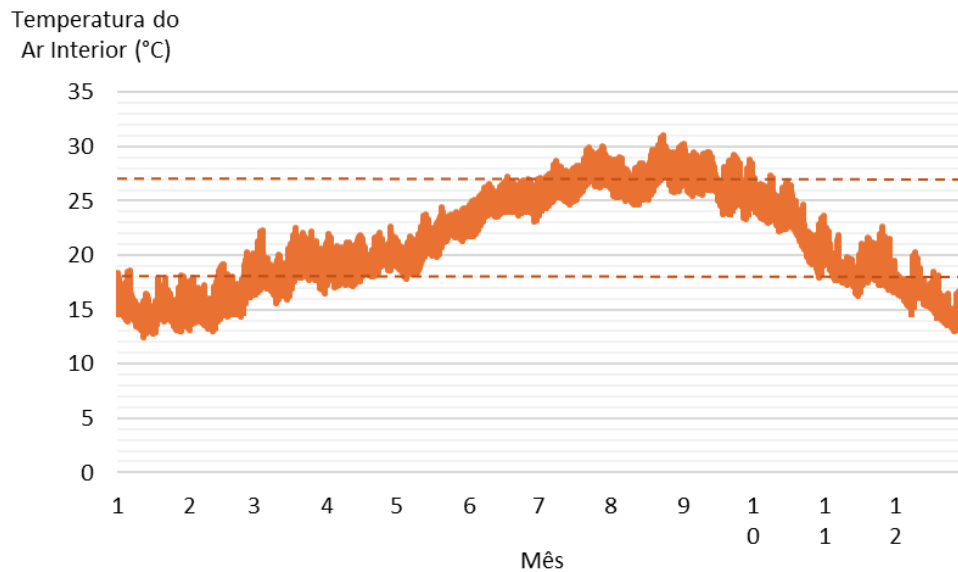


Figura 44- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala com a implementação da URC

Retira-se destes dados que todas as zonas do edifício necessitam de aquecimento e que, em concordância com os restantes casos já analisados, a zona dos halls e WC é a que tem maiores necessidades e consequentemente maior número de horas afastadas dos valores de conforto.

Em suma, a implementação da URC permite realizar a ventilação necessária e ainda diminuir as necessidades de aquecimento do espaço, porém, não as elimina totalmente.

#### Implementação URC e BC:

De seguida, e semelhante ao apresentado anteriormente também aqui se apresentam os dados retirados do relatório de conforto. No Anexo P encontra-se todo o relatório exportado do programa. Na Tabela 57 encontram-se os dados para o grupo do quartos 2 e 3 e do WC 2.

Tabela 57- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC com a implementação da URC e BC

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	11	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 58 encontram-se os dados para a suite.

Tabela 58- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da suite com a implementação da URC e BC

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 59 encontram-se os dados para os halls e WC.

Tabela 59- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos halls e WC com a implementação da URC e BC

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 60 encontram-se os dados para a cozinha.

Tabela 60- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha com a implementação da URC e BC

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	23	20	3	-	-	-	46	1
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	23	20	3	-	-	-	46	1

De seguida, na Tabela 61 encontram-se os dados para a sala.

Tabela 61- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala com a implementação da URC e BC

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	1	299	378	264	3	-	-	944	11
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	1	90	104	82	-	-	-	277	3

Como apresentado anteriormente também aqui se apresenta o gráfico das temperaturas de conforto com os respetivos limites traçados para a zona da sala, na Figura 45.

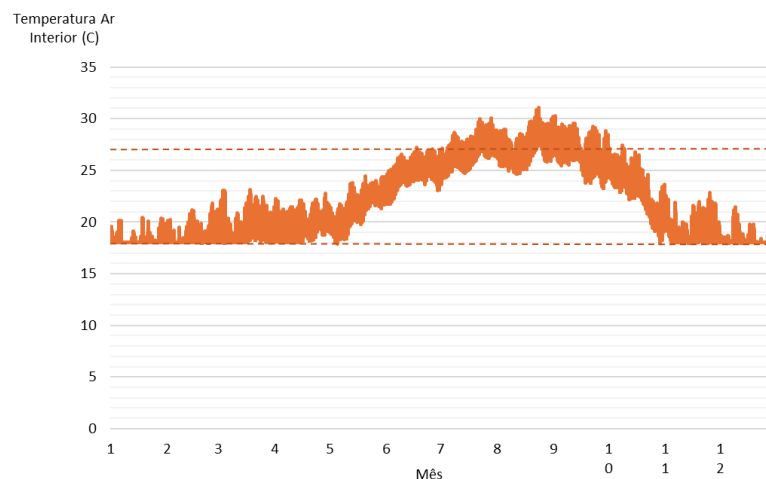


Figura 45- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala com a implementação da URC e da BC

Destes dados é possível concluir que a temperatura do ar interior está dentro dos limites de conforto para todas as zonas do edifício durante toda a estação de aquecimento. Significa então que a bomba de calor introduzida permite obter um edifício termicamente confortável para os seus ocupantes durante a estação de aquecimento.

Recorrendo a estas mesmas tabelas retira-se também que as zonas dos quartos e WC, a cozinha e a sala possuem horas foras dos limites de conforto e por essa razão, necessitam de um sistema de arrefecimento. A sala destaca-se claramente das outras zonas pois, como já esperado, é a zona com maior número de horas fora do conforto. Enquanto a zona dos quartos e da cozinha apenas têm 11 e 46 horas respetivamente durante um ano inteiro, valores praticamente insignificativos, a zona da sala possui 944 horas foras dos limites de conforto.

Em suma, a implementação da BC para aquecimento com pavimento radiante permite obter um edifício confortável no inverno, porém, não permite obter o mesmo no verão. Por essa razão, a implementação de um sistema de arrefecimento com pavimento radiante utilizando a mesma bomba de calor é necessário.

Implementação URC e BC para aquecimento e arrefecimento:

Mais uma vez, utiliza-se a mesma bomba de calor com pavimento radiante hidráulico. Como já mencionado no subcapítulo 3.3.2.3, o pavimento radiante está limitado a  $50 \text{ W/m}^2$ , e, no caso da sala, como se pode verificar no Anexo G, necessita de  $60 \text{ W/m}^2$ . Por isso, decide-se colocar pavimento e teto radiante para existir superfície radiante suficiente para arrefecer o espaço.

Apenas se apresentam os dados das zonas com temperaturas fora do conforto pois considera-se redundante a apresentação das outras zonas. No Anexo Q encontra-se todo o relatório de conforto interior exportado do programa e na Tabela 62 encontram-se os dados para o grupo do quartos 2 e 3 e do WC 2.

Tabela 62- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC com a implementação da URC e BC com arrefecimento

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 63 encontram-se os dados para a cozinha.

Tabela 63- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha com a implementação da URC e BC para arrefecimento

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 64 encontram-se os dados para a sala.

Tabela 64- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala com a implementação da URC e BC para arrefecimento

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

Como apresentado anteriormente também aqui se apresenta o gráfico das temperaturas de conforto com os respetivos limites traçados para a zona da sala, na Figura 46.

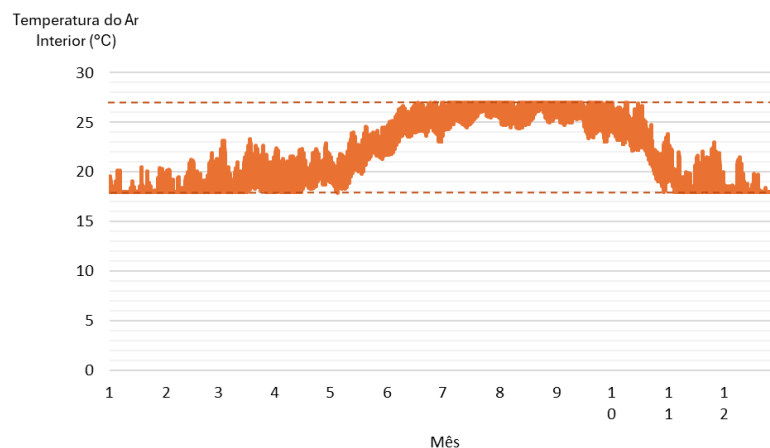


Figura 46- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala com a implementação da URC e da BC para aquecimento e arrefecimento

Analisando as tabelas retira-se que o sistema de arrefecimento é eficaz e permite eliminar as horas fora dos limites de conforto. Obtém-se assim um edifício termicamente confortável ao longo do ano todo para todos os espaços úteis que o contemplam.

#### 4.1.3. Consumo de Energia

Como mencionado ao longo deste trabalho, a utilização de energias renováveis permitirá obter um edifício sem emissões de dióxido de carbono operacional.

De modo a perceber quais as necessidades de energia primária a obter de fontes renováveis para alimentar estes equipamentos de ventilação e climatização recorre-se ao relatório de

consumo energético que se encontra na íntegra Anexo R. Deste relatório é possível retirar os dados que se encontram na Tabela 65.

Além da apresentação dos resultados de consumo elétrico para o caso final com a implementação da URC e da BC também se realiza a apresentação dos resultados para o caso inicial sem qualquer melhoria caso o aquecimento fosse assegurado por resistência térmica e o arrefecimento por um “chiller” de referência com EER igual a 2,9. O valor do “chiller” foi consultado no Manual de SCE que indica que, na ausência de sistemas de climatização para arrefecimento, considerar por defeito um “chiller” com permuta exterior a ar e EER igual a 2,9 [51]. O aquecimento por resistência térmica é um aquecimento que converte a energia elétrica em calor, ou seja, o consumo elétrico é igual ao calor fornecido. Isto significa que as necessidades de aquecimento são iguais ao consumo elétrico.

Tabela 65- Consumo elétrico anual por unidade de área para a implementação da URC e BC

Consumo elétrico	Caso Inicial		Caso Final	
	kWh/ano	kWh/(m <sup>2</sup> .ano)	kWh/ano	kWh/(m <sup>2</sup> .ano)
<b>Aquecimento</b>	9075,5	71,2	2952,2	23,20
<b>Arrefecimento</b>	56,3	0,4	27,1	0,2
<b>Ventiladores da URC</b>	-	-	592,4	4,6
<b>Iluminação</b>	543,2	4,3	251,8	2,0
<b>Equipamentos</b>	805,8	6,3	805,8	6,3
<b>Total</b>	10480,8	82,2	4629,3	36,1

Retira-se então que os equipamentos e os sistemas de climatização, ventilação e iluminação consomem cerca de 4630 kWh/ano de energia elétrica. Quando comparado com o caso inicial, que consome cerca de 10500 kWh/ano de energia elétrica, verifica-se uma redução em cerca de 56% do consumo. Demonstra-se claramente que a definição de soluções eficientes permite uma redução no consumo energético considerável.

De modo a obter um edifício descarbonizado é necessário implementar um sistema de painéis fotovoltaicos capaz de suprir este consumo elétrico.

Nesta dissertação não se fará o dimensionamento dos painéis, mas como já mencionado no subcapítulo 2.5.3, estes painéis podem cobrir praticamente a área total de uma fachada ou cobertura.

#### 4.1.4. Emissões CO<sub>2</sub>

Em primeiro lugar, apresentam-se as emissões de dióxido de carbono para o caso inicial com os equipamentos mencionados anteriormente. Depois, também é importante analisar as emissões de dióxido de carbono do edifício caso a energia elétrica consumida não fosse proveniente de fontes renováveis, de modo a entender o impacto das energias renováveis na descarbonização do edifício. Por último, apresentam-se os dados assumindo que toda a energia elétrica consumida é gerada pelos painéis fotovoltaicos em associação a baterias de acumulação, é exetável que o edifício não possua emissões de dióxido de carbono operacional. A Tabela 66, retirada do relatório de consumo energético presente no Anexo R, confirma esta assunção. Os fatores de conversão de energia primária em toneladas de dióxido de carbono foram retirados da Tabela 29.

Tabela 66- Emissões de dióxido de carbono do edifício

<b>Emissões</b>	<b>kg. CO<sub>2</sub>/ ano</b>	<b>kg. CO<sub>2</sub>/ m<sup>2</sup>.ano</b>
Caso Inicial	5190,8	40,7
Caso Final sem energia renovável	465,3	3,6
Caso Final com energia renovável	0,0	0,0

Com estes resultados é possível concluir que os objetivos desta dissertação foram obtidos e que através das melhorias na envolvente e na iluminação, com introdução de sistemas de climatização eficientes e com o recurso a energias renováveis é possível obter edifícios descarbonizados que preencham todos os requisitos de conforto térmico.

## 4.2. Caso de Estudo em Diferentes Zonas Climáticas de Portugal

Os resultados obtidos colocando o caso de estudo em três localizações distintas, com distintos zonamentos climáticos, permitem examinar o impacto dos dados climáticos na definição da melhor solução de descarbonização de um edifício.

Inicialmente apresentam-se os resultados obtidos para o caso fornecido seguido da análise e discussão dos mesmos. Depois apresentam-se os resultados com as melhorias propostas.

### 4.2.1. Impacto das Estratégias Bioclimáticas

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados para o caso fornecido na cidade de Bragança, Peso da Régua e Faro e de seguida apresentam-se os resultados com as estratégias bioclimáticas implementadas.

#### 4.2.1.1 Número de Horas de Desconforto

Inicialmente, e em semelhança com o apresentado anteriormente apresentam-se os resultados para a simulação do edifício sem qualquer ganhos internos e climatização, permitindo analisar o impacto das melhorias realizadas na envolvente.

Em primeiro lugar aborda-se os resultados para o caso de estudo inicial na cidade de Bragança.

- Bragança:

Neste caso, é importante salientar que segundo a ferramenta de cálculo do CBE temperaturas exteriores inferiores a 10 °C nunca têm valores de temperaturas de conforto associados, pelo que, se considera que nos meses em que a temperatura média exterior é inferior a 10 °C, todas as horas do mês estão fora das temperaturas de conforto. Na Tabela 67 apresentam-se o número de horas em que a temperatura interior está fora dos limites de conforto e o seu peso nas horas totais do respetivo mês.

Tabela 67- Temperaturas interiores fora da zona de conforto em Bragança

Mês	Quarto 2/3 + WC 2	%	Suite	%	Cozinha	%	Sala	%
<b>Janeiro</b>	744	100,00	744	100,00	744	100,00	744	100,00
<b>Fevereiro</b>	672	100,00	672	100,00	672	100,00	672	100,00
<b>Março</b>	744	100,00	744	100,00	744	100,00	744	100,00
<b>Abril</b>	708	98,33	720	100,00	720	100,00	552	76,67
<b>Mai</b>	495	66,53	564	75,81	543	72,98	350	47,04
<b>Junho</b>	119	16,53	257	35,69	210	29,17	74	10,28
<b>Julho</b>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	42	5,65
<b>Agosto</b>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	29	3,90
<b>Setembro</b>	30	4,17	126	17,50	149	20,69	31	4,31
<b>Outubro</b>	361	48,52	564	75,81	592	79,57	343	46,10
<b>Novembro</b>	720	100,00	720	100,00	720	100,00	720	100,00
<b>Dezembro</b>	744	100,00	744	100,00	744	100,00	744	100,00

De seguida, nas Figura 47 e Figura 48 também se apresentam os gráficos das temperaturas interiores com os respetivos limites superiores e inferiores de conforto que permitem entender ainda melhor os resultados tabelados.

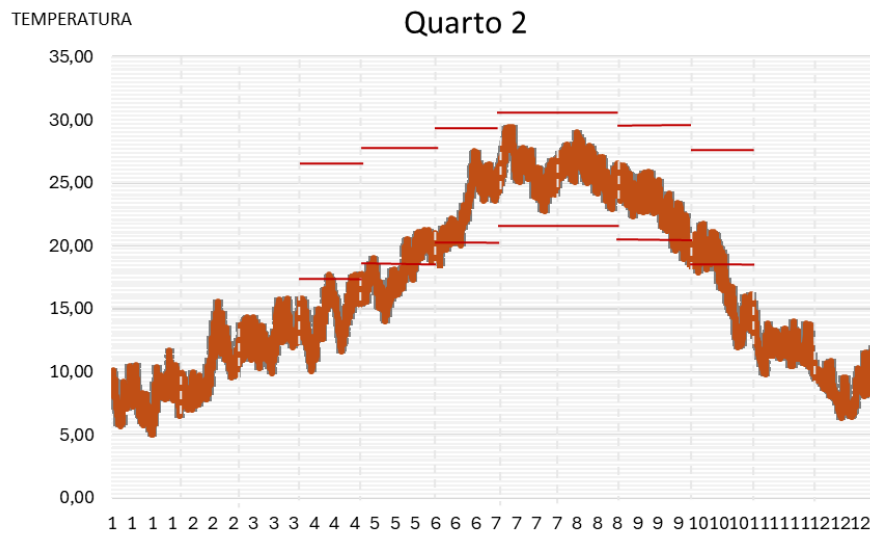


Figura 47- Temperaturas interiores e de conforto para a zona do Quarto na cidade de Bragança

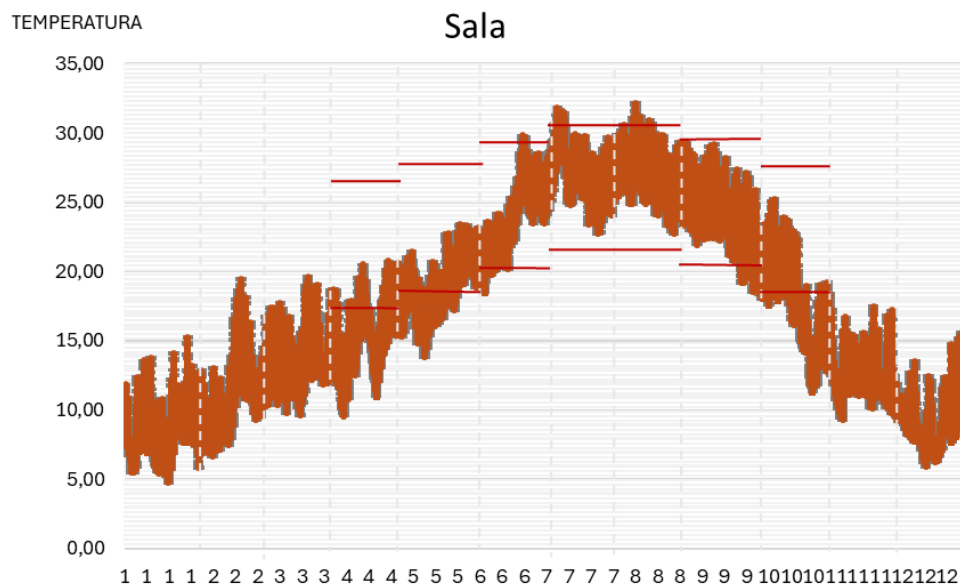


Figura 48- Temperaturas interiores e de conforto para a zona da Sala na cidade de Bragança

De seguida, apresentam-se os mesmos resultados, mas com as melhorias impostas na envolvente do edifício.

Apresenta-se então, na Tabela 68, nas Figura 49 e Figura 50 os resultados com as estratégias bioclimáticas.

Tabela 68- Temperaturas interiores fora da zona de conforto para o caso melhorado em Bragança

Mês	Quarto 2/3 + WC 2	%	Suite	%	Cozinha	%	Sala	%
Janeiro	744	100,00	744	100,00	744	100,00	744	100,00
Fevereiro	672	100,00	672	100,00	672	100,00	672	100,00

## Resultados e Discussão

<b>Março</b>	744	100,00	744	100,00	744	100,00	744	100,00
<b>Abril</b>	720	100,00	720	100,00	720	100,00	599	83,19
<b>Maió</b>	656	88,17	744	100,00	706	94,89	351	47,18
<b>Junho</b>	295	40,97	432	60,00	369	51,25	39	5,42
<b>Julho</b>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	15	2,02
<b>Agosto</b>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	50	6,72
<b>Setembro</b>	0	0,00	89	12,36	109	15,14	2	0,28
<b>Outubro</b>	292	39,25	532	71,51	583	78,36	233	31,32
<b>Novembro</b>	720	100,00	720	100,00	720	100,00	720	100,00
<b>Dezembro</b>	744	100,00	744	100,00	744	100,00	744	100,00

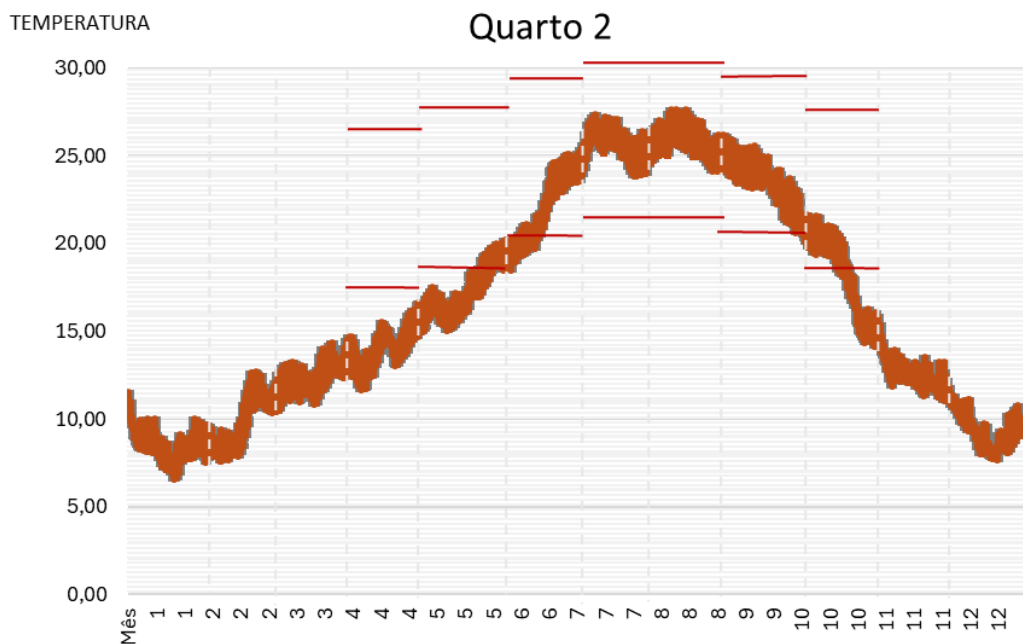


Figura 49- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada do Quarto em Bragança

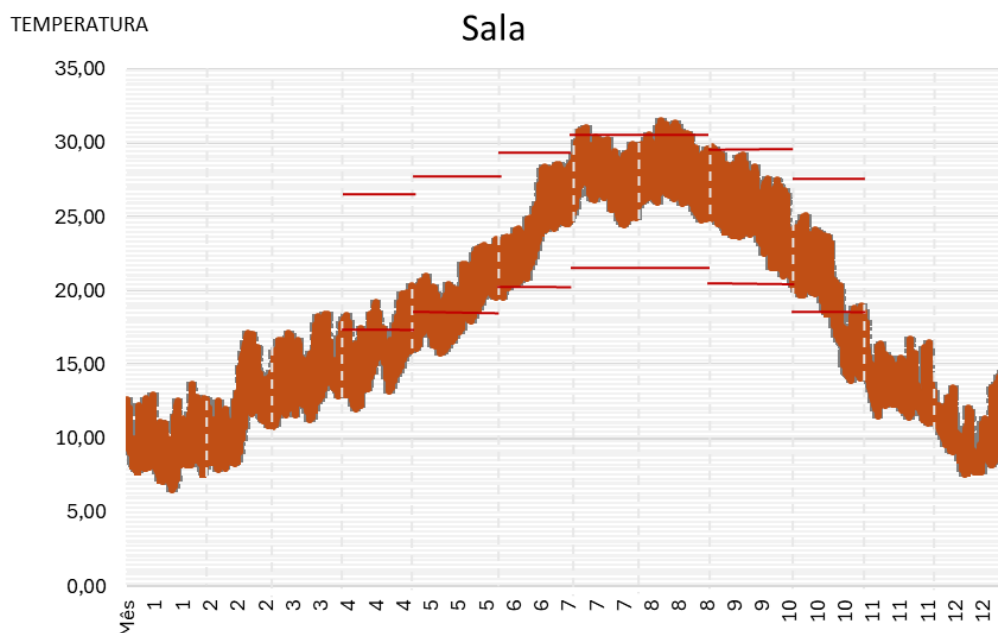


Figura 50- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada da Sala em Bragança

- Peso da Régua:

Na Tabela 69 apresenta-se o número de horas em que a temperatura interior está fora dos limites de conforto e o seu peso nas horas totais do respetivo mês de forma a, realizar um enquadramento das temperaturas interiores nas zonas de conforto.

Tabela 69- Temperaturas interiores fora da zona de conforto no Peso da Régua

Mês	Quarto 2/3 + WC 2	%	Suite	%	Cozinha	%	Sala	%
Janeiro	744	100,00	744	100,00	744	100,00	744	100,00
Fevereiro	672	100,00	672	100,00	672	100,00	672	100,00
Março	659	88,58	740	99,46	744	100,00	593	79,70
Abril	660	91,67	720	100,00	720	100,00	474	65,83
Maió	351	47,18	549	73,79	505	67,88	232	31,18
Junho	165	22,92	213	30,00	203	28,19	113	15,69
Julho	0	0,00	0	0,00	0	0,00	101	13,58
Agosto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	122	16,40
Setembro	5	0,69	22	3,06	33	4,58	26	3,61
Outubro	400	53,76	545	73,25	559	75,13	307	41,26
Novembro	708	98,33	720	100,00	720	100,00	614	85,28
Dezembro	744	100,00	744	100,00	744	100,00	744	100,00

## Resultados e Discussão

De seguida, nas Figura 51 e Figura 52 apresentam-se os gráficos das temperaturas interiores com os respetivos limites superiores e inferiores de conforto que permitem entender ainda melhor os resultados tabelados.

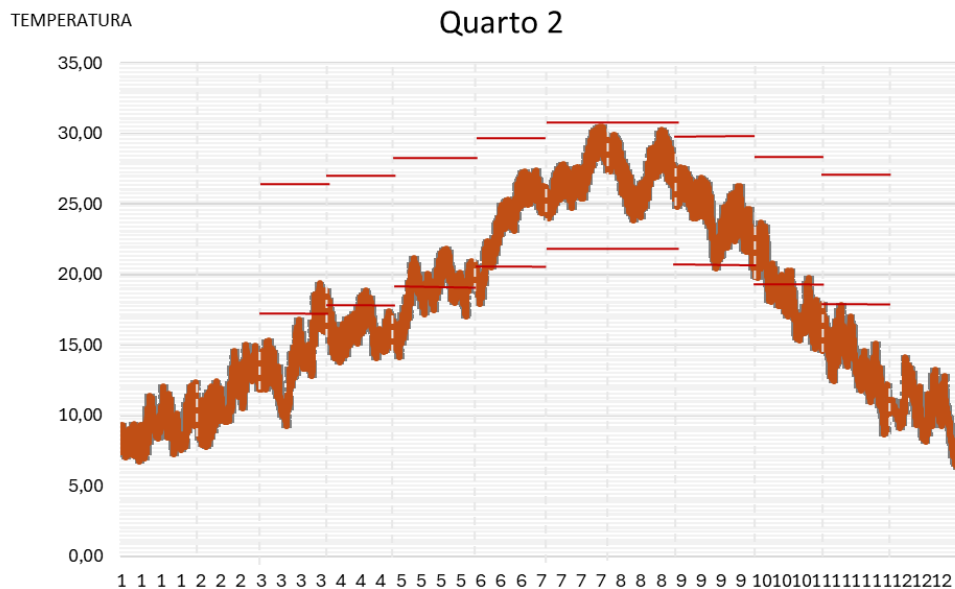


Figura 51- Temperaturas interiores e de conforto para a zona do Quarto no Peso da Régua

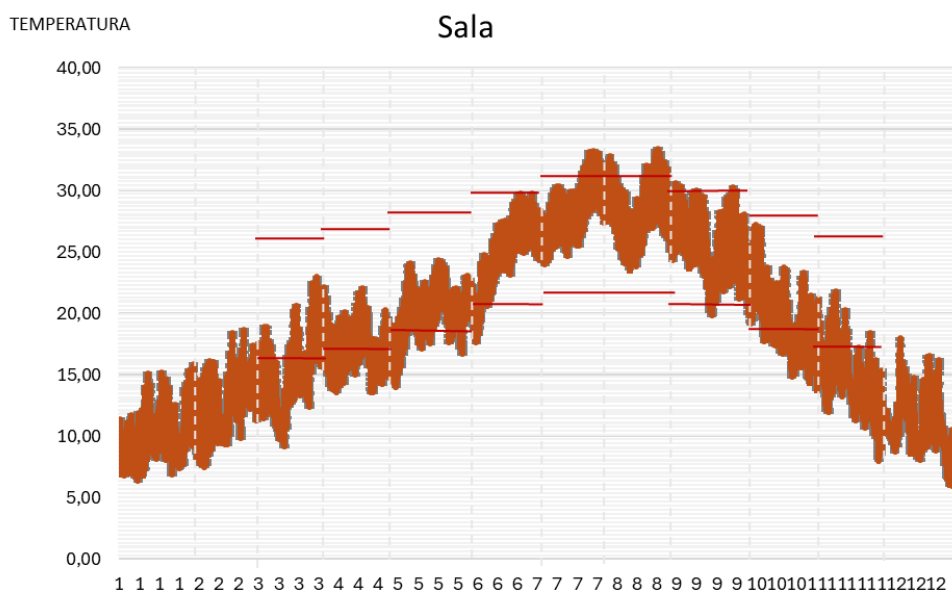


Figura 52- Temperaturas interiores e de conforto para a zona da Sala no Peso da Régua

De seguida, apresentam-se os mesmos resultados, mas com as melhorias impostas na envolvente do edifício.

Apresenta-se então, na Tabela 70, nas Figura 53 e Figura 54 os resultados com as estratégias bioclimáticas.

Tabela 70- Temperaturas interiores fora da zona de conforto para o caso melhorado no Peso da Régua

Mês	Quarto 2/3 + WC 2	%	Suite	%	Cozinha	%	Sala	%
Janeiro	744	100,00	744	100,00	744	100,00	744	100,00
Fevereiro	672	100,00	672	100,00	672	100,00	672	100,00
Março	744	100,00	744	100,00	744	100,00	636	85,48
Abril	720	100,00	720	100,00	720	100,00	421	58,47
Mai	598	80,38	744	100,00	700	94,09	176	23,66
Junho	282	39,17	352	48,89	301	41,81	116	16,11
Julho	0	0,00	0	0,00	0	0,00	89	11,96
Agosto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	153	20,56
Setembro	0	0,00	2	0,28	4	0,56	42	5,83
Outubro	313	42,07	502	67,47	506	68,01	182	24,46
Novembro	712	98,89	720	100,00	720	100,00	594	82,50
Dezembro	744	100,00	744	100,00	744	100,00	744	100,00

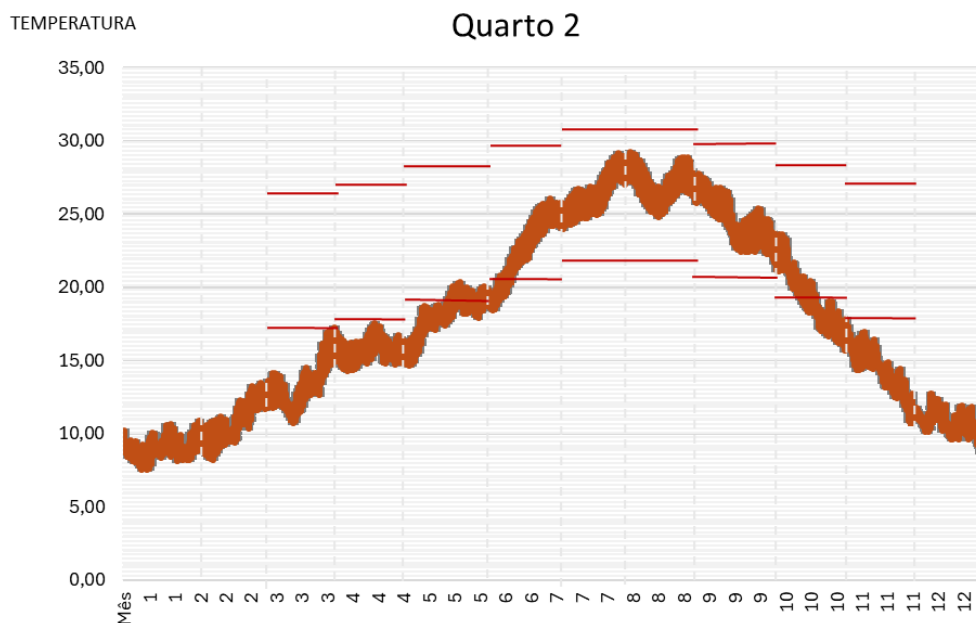


Figura 53- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada do Quarto na cidade do Peso da Régua

## Resultados e Discussão

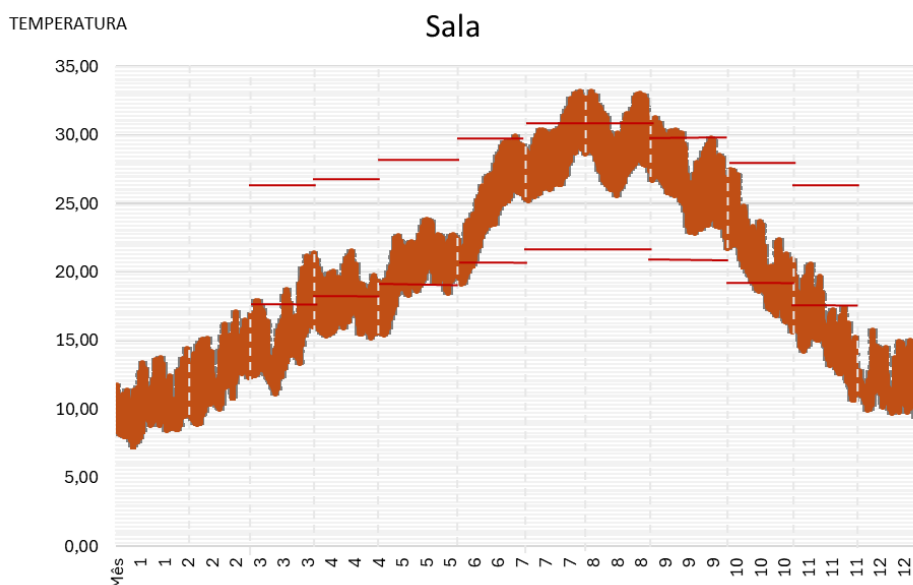


Figura 54- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada da Sala na cidade do Peso da Régua

- Faro:

Na Tabela 71 apresenta-se o número de horas em que a temperatura interior está fora dos limites de conforto e o seu peso nas horas totais do respetivo mês de forma a, realizar um enquadramento das temperaturas interiores nas zonas de conforto.

Tabela 71- Temperaturas interiores fora da zona de conforto em Faro

Mês	Quarto 2/3 + WC 2	%	Suite	%	Cozinha	%	Sala	%
Janeiro	738	99,19	744	100,00	744	100,00	612	82,26
Fevereiro	649	96,58	672	100,00	672	100,00	501	74,55
Março	624	83,87	721	96,91	722	97,04	388	52,15
Abril	384	53,33	635	88,19	629	87,36	238	33,06
Maió	186	25,00	348	46,77	319	42,88	110	14,78
Junho	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Julho	0	0,00	0	0,00	0	0,00	66	8,87
Agosto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	79	10,62
Setembro	0	0,00	19	2,64	21	2,92	53	7,36
Outubro	99	13,31	348	46,77	392	52,69	86	11,56
Novembro	450	62,50	660	91,67	685	95,14	311	43,19
Dezembro	628	84,41	744	100,00	744	100,00	530	71,24

De seguida, nas Figura 55 e Figura 56 também se apresentam os gráficos das temperaturas interiores com os respetivos limites superiores e inferiores de conforto que permitem entender ainda melhor os resultados tabelados.

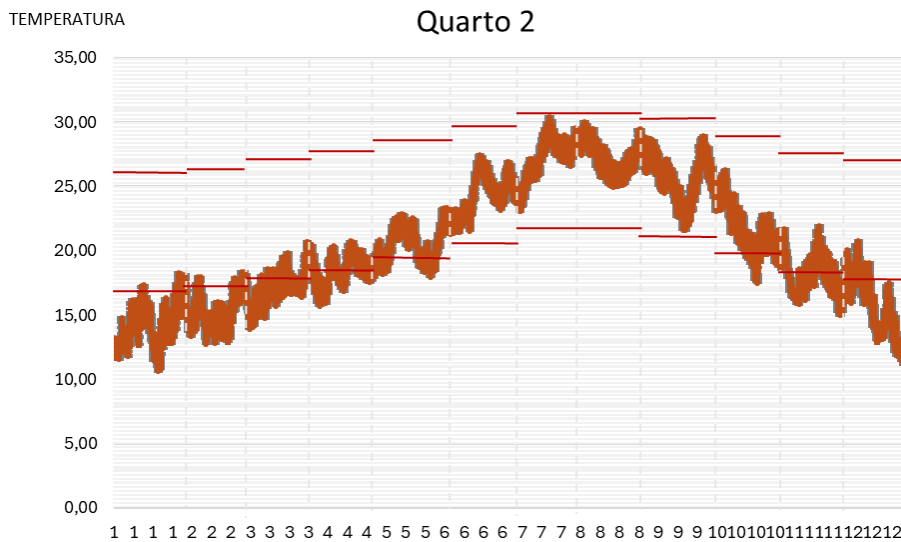


Figura 55- Temperaturas interiores e de conforto para a zona do Quarto na cidade de Faro

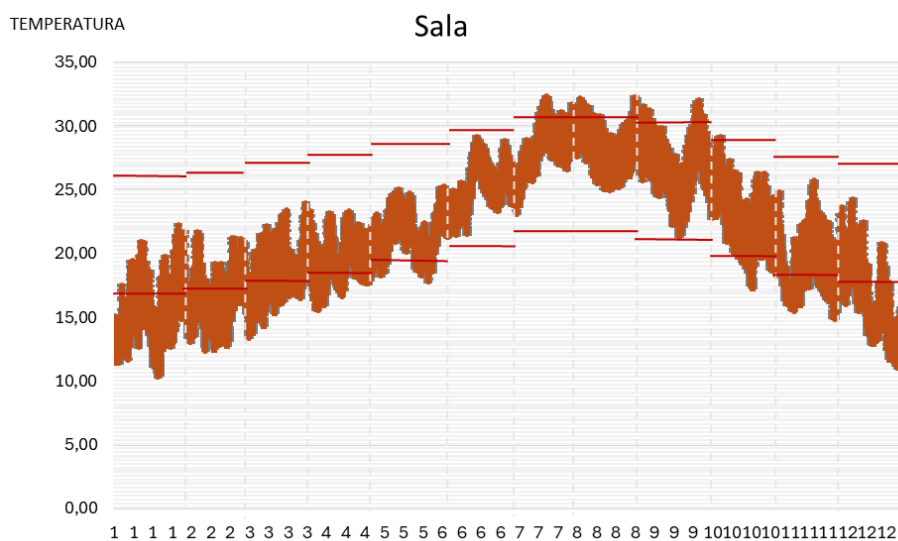


Figura 56- Temperaturas interiores e de conforto para a zona da Sala na cidade de Faro

De seguida, apresentam-se os mesmos resultados, mas com as melhorias impostas na envolvente do edifício.

Apresenta-se então, na Tabela 72, nas Figura 57 e Figura 58 os resultados com as estratégias bioclimáticas.

## Resultados e Discussão

Tabela 72- Temperaturas interiores fora da zona de conforto para o caso melhorado em Faro

Mês	Quarto 2/3 + WC 2	%	Suite	%	Cozinha	%	Sala	%
Janeiro	744	100,00	744	100,00	744	100,00	646	86,83
Fevereiro	672	100,00	672	100,00	672	100,00	504	75,00
Março	721	96,91	744	100,00	744	100,00	315	42,34
Abril	623	86,53	720	100,00	720	100,00	126	17,50
Maió	330	44,35	683	91,80	521	70,03	23	3,09
Junho	73	10,14	247	34,31	106	14,72	0	0,00
Julho	0	0,00	0	0,00	0	0,00	74	9,95
Agosto	0	0,00	0	0,00	0	0,00	124	16,67
Setembro	0	0,00	0	0,00	0	0,00	82	11,39
Outubro	18	2,42	319	42,88	325	43,68	31	4,17
Novembro	429	59,58	704	97,78	699	97,08	139	19,31
Dezembro	666	89,52	744	100,00	744	100,00	425	57,12

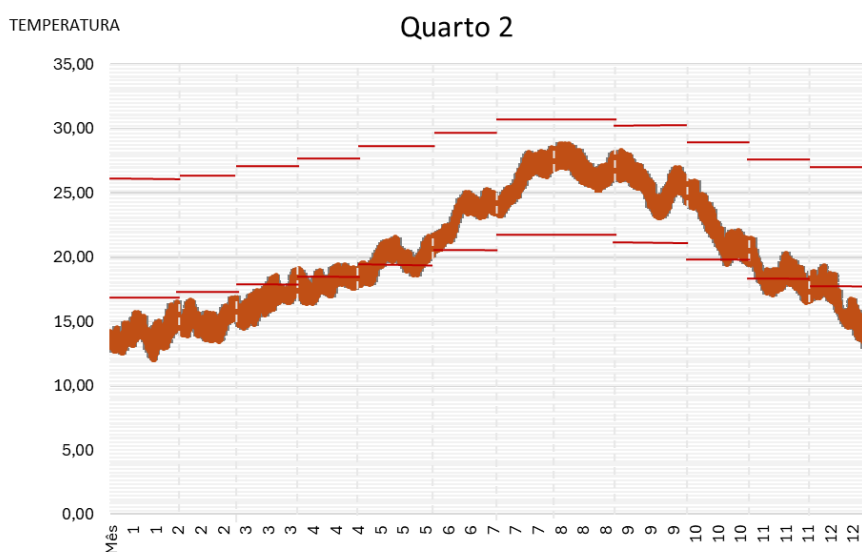


Figura 57- Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada do Quarto na cidade de Faro

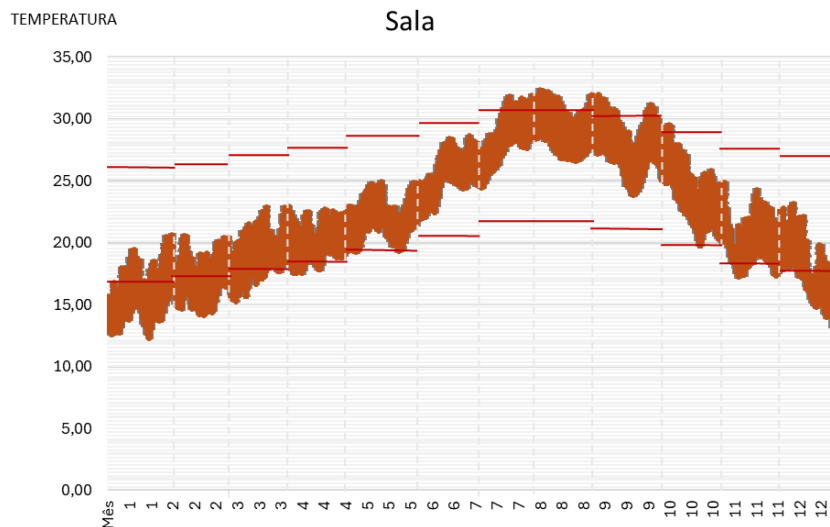


Figura 58-Temperaturas interiores e de conforto para a zona melhorada da Sala na cidade de Faro

Inicialmente realiza-se uma análise aos resultados iniciais das três localizações em estudo. A cidade de Bragança é a que possui temperaturas mais baixas durante um maior período temporal, registando até temperaturas exteriores negativas em diversos dias seguida da cidade do Peso da Régua com temperaturas também negativas em certos dias, porém esta ocorrência é menor. Já com temperaturas superiores encontra-se a cidade do Porto, não registando temperaturas negativas em nenhum dia assim como a cidade de Faro que tem temperaturas exteriores superiores a 5 °C em praticamente todos os dias do ano. Estes resultados são os esperados pois de todas as cidades em estudo, Bragança é a que possui um Inverno mais ríspido segundo o seu zonamento climático. Em sentido contrário está a cidade de Faro que possui um inverno mais quente e por isso, as temperaturas interiores estão mais enquadradas nos limites de conforto. Relativamente aos meses de Verão, retira-se que a cidade do Peso da Régua é aquela cujas temperaturas exteriores mais se afastam da temperatura máxima de conforto de 27 °C, chegando mesmo a superar os 35 °C em certos dias. A cidade de Faro também tem um perfil de temperaturas exteriores similar ao Peso da Régua, porém as suas temperaturas são consideravelmente superiores no mês de Agosto e esta não tem um valor máximo tão elevado, atingindo no máximo os 35 °C. Ou seja, as cidades com Verões mais rípidos) são aquelas cujas temperaturas mais se distanciam do limite de conforto e que, por isso, irão necessitar de maior quantidade de energia no seu arrefecimento.

Realizando a mesma análise, mas agora com as estratégias bioclimáticas implementadas, conclui-se que os resultados obtidos seguem o mesmo prisma do caso no Porto. As amplitudes térmicas diminuem em todos os casos sendo na mesma a sala o espaço com temperaturas superiores. É também perceptível que nos locais com verões mais rípidos e conseqüentemente maiores necessidades energéticas as temperaturas interiores diminuem e ficam mais uniformizadas. Isto não é tão perceptível no caso do Porto visto ser uma zona com poucas necessidades energéticas de arrefecimento. De resto, as conclusões são semelhantes ao caso inicial. A cidade de Bragança continua a ser a que possui temperaturas mais baixas e as cidades de Faro e do Peso da Régua as que têm temperaturas mais altas. Estes resultados são concordantes com os seus zonamentos climáticos, como seria esperado.

#### 4.2.1.2 Ocorrência de Condensações

A apresentação dos resultados dos relatórios de condensações é semelhante ao que foi realizado para o caso no Porto.

- Bragança:

Na Figura 59 apresenta-se um excerto do relatório onde é possível entender que existem condensações superficiais na laje de cobertura.

**1.2. LC1**

**1.2.1. Resultados do cálculo de condensações**

**1.2.1.1. Condensação superficial**

**$f_{Rsi} = 0.324 \geq f_{Rsi,min} = 0.444$**   
O elemento construtivo apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{se})$ , em que  $U = 2.703 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{se} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $\varphi_{s,crit} \leq 0.8$ .

Figura 59- Verificação de condensações no caso de estudo em Bragança

A introdução das estratégias bioclimáticas tem também como objetivo retificar as condensações existentes. Na Figura 60 verifica-se que, para o mesmo elemento apresentado acima, não existem condensações atualmente.

**1.2. LC1**

**1.2.1. Resultados do cálculo de condensações**

**1.2.1.1. Condensação superficial**

**$f_{Rsi} = 0.864 \geq f_{Rsi,min} = 0.709$**   
O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{se})$ , em que  $U = 0.546 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{se} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $\varphi_{s,crit} \leq 0.8$ .

Figura 60-Verificação de condensações no caso de estudo com as estratégias bioclimáticas em Bragança

- Peso da Régua:

Na Figura 61 apresenta-se um excerto do relatório onde é possível entender que existem condensações superficiais na laje de cobertura.

**1.2. LC1**

**1.2.1. Resultados do cálculo de condensações**

**1.2.1.1. Condensação superficial**

**$f_{Rsi} = 0.324 \geq f_{Rsi,min} = 0.444$**   
O elemento construtivo apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{se})$ , em que  $U = 2.703 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{se} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $\varphi_{s,crit} \leq 0.8$ .

Figura 61- Verificação de condensações no caso de estudo no Peso da Régua

A introdução das estratégias bioclimáticas tem também como objetivo retificar as condensações existentes. Na Figura 62 verifica-se que, para o mesmo elemento apresentado acima, não existem condensações atualmente.

**1.2. LC1**

**1.2.1. Resultados do cálculo de condensações**

**1.2.1.1. Condensação superficial**

**$f_{Rsi} = 0.864 \geq f_{Rsi,min} = 0.709$**   
 O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.546 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $\varphi_{si,crit} \leq 0.8$ .

Figura 62-Verificação de condensações no caso de estudo com as estratégias bioclimáticas no Peso da Régua

- Faro:

Na Figura 63 apresenta-se um excerto do relatório onde é possível entender que existem condensações superficiais na laje de cobertura.

**1.2. LC1**

**1.2.1. Resultados do cálculo de condensações**

**1.2.1.1. Condensação superficial**

**$f_{Rsi} = 0.324 \geq f_{Rsi,min} = 0.444$**   
 O elemento construtivo apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 2.703 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $\varphi_{si,crit} \leq 0.8$ .

Figura 63- Verificação de condensações no caso de estudo em Faro

A introdução das estratégias bioclimáticas tem também como objetivo retificar as condensações existentes. Na Figura 64 verifica-se que, para o mesmo elemento apresentado acima, não existem condensações atualmente.

**1.2. LC1**

**1.2.1. Resultados do cálculo de condensações**

**1.2.1.1. Condensação superficial**

**$f_{Rsi} = 0.864 \geq f_{Rsi,min} = 0.709$**   
 O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.546 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $\varphi_{si,crit} \leq 0.8$ .

Figura 64-Verificação de condensações no caso de estudo com as estratégias bioclimáticas

#### 4.2.1.3 Necessidades Energéticas

Neste subcapítulo apresentam-se os resultados retirados do relatório das necessidades energéticas.

- Bragança:

A Tabela 73 diz respeito ao balanço energético anual por unidade de área do edifício para a cidade de Bragança e a Figura 65 demonstra o peso de cada vertente nas necessidades totais do edifício. Tal como para o caso na cidade do Porto, também aqui se apresenta um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável, situado na Tabela 74.

Tabela 73- Balanço energético anual por unidade de área para o caso inicial em Bragança

<b>Necessidades Energéticas</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>. ano)</b>	<b>%</b>
<b>Aquecimento</b>	144,28	90
<b>Arrefecimento</b>	-4,79	3
<b>Equipamento</b>	6,32	4
<b>Iluminação</b>	4,26	3



Figura 65- Balanço energético anual do caso inicial em Bragança

Tabela 74- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável para o caso inicial em Bragança

<b>Espaço</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Necessidade Energética de Aquecimento</b>		<b>Necessidade Energética de Arrefecimento</b>	
		<b>(kWh/(m<sup>2</sup>. ano))</b>	<b>%</b>	<b>(kWh/(m<sup>2</sup>. ano))</b>	<b>%</b>
<b>Quarto 1</b>	17,10	140,55	9	1,44	4
<b>Quarto 2</b>	13,50	115,68	8	9,32	29
<b>Quarto 3</b>	13,90	126,73	8	0,99	3
<b>WC 1</b>	5,00	191,76	13	0,61	2
<b>WC 2</b>	5,50	154,94	10	0,93	3
<b>WC 3</b>	2,60	194,23	13	0,92	3

<b>Espaço</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Necessidade Energética de Aquecimento (kWh/(m<sup>2</sup>. ano))</b>	<b>%</b>	<b>Necessidade Energética de Arrefecimento (kWh/(m<sup>2</sup>. ano))</b>	<b>%</b>
<b>Hall 1</b>	9,70	150,03	10	0,96	3
<b>Hall 2</b>	10,75	150,99	10	0,94	3
<b>Cozinha</b>	23,00	154,44	10	3,36	10
<b>Sala</b>	23,75	140,75	9	12,73	40

De seguida realiza-se uma exposição detalhada da transferência de energia mensal total do ano. Também aqui, é apresentado o balanço energético do edifício para todos os meses do ano contabilizando a energia perdida e ganha nas diversas vertentes do edifício e da sua ocupação.

Tabela 75- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial em Bragança

<b>Transferência Energia (kWh)</b>	<b>Vent.</b>	<b>Equip.</b>	<b>Illum.</b>	<b>Ocup.</b>	<b>Env. Opaca</b>	<b>Env. Envidraçado</b>
<b>Janeiro</b>	-2176,2	67,9	66	190,6	-719,9	177,7
<b>Fevereiro</b>	-1817,5	61,9	59,7	174	-579,7	346,2
<b>Março</b>	-1689,1	68,6	66	192,5	-494,3	582,1
<b>Abril</b>	-1465,7	66,6	25,6	185,9	-363,3	538,9
<b>Outubro</b>	-1104,3	67,9	66	180,7	-194,8	624,8
<b>Novembro</b>	-1574,9	65,9	63,9	184,9	-464,6	349,1
<b>Dezembro</b>	-1958,7	69,3	66	196,3	-644,8	124,8

## Resultados e Discussão

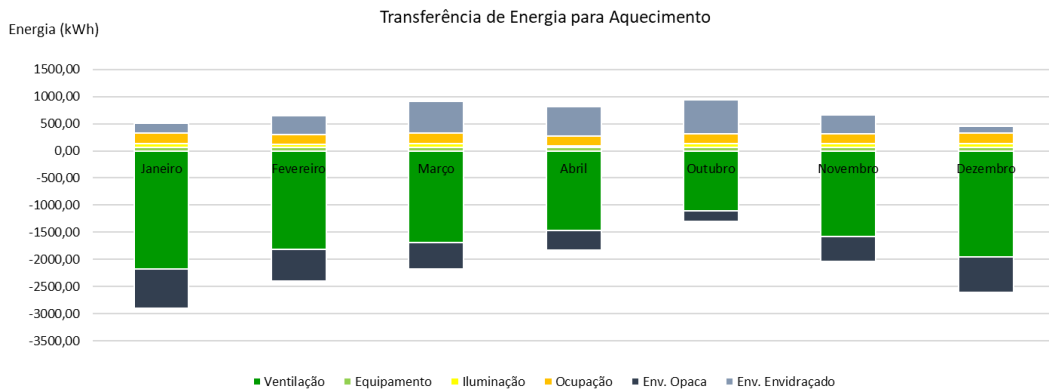


Figura 66- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial em Bragança

Tabela 76- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial em Bragança

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Illum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Abril</b>	-1465,7	66,6	25,6	185,9	-363,3	538,9
<b>Mai</b>	-988,9	67,9	26,4	185,3	-97,3	598
<b>Junho</b>	-764,9	66,6	25,6	160	-91,1	596,1
<b>Julho</b>	-666,1	68,6	26,4	137,3	-3,1	653
<b>Agosto</b>	-626,9	67,9	26,4	134,7	-40,6	763
<b>Setembro</b>	-843	67,3	25,6	150,4	-77	769,4
<b>Outubro</b>	-1104,3	67,9	66	180,7	-194,8	624,8

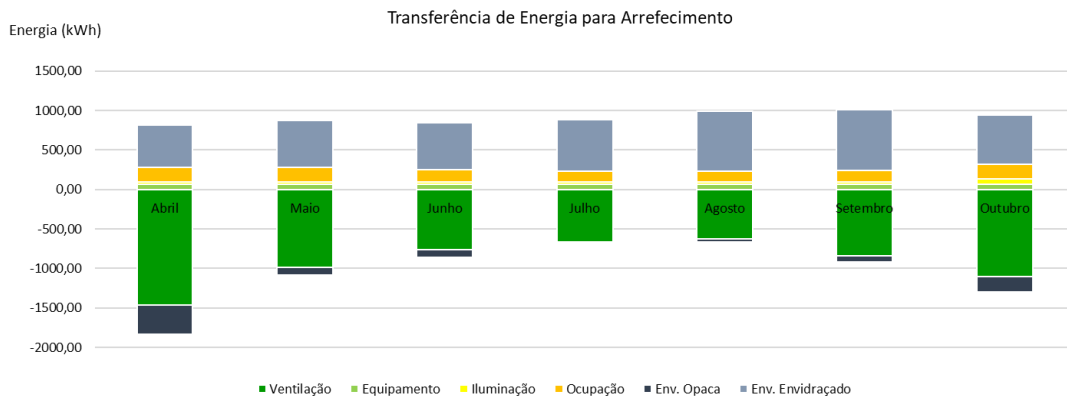


Figura 67- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial em Bragança

De seguida apresentam-se os resultados com as estratégias bioclimáticas implementadas.

Tabela 77- Balanço energético anual por unidade de área para o caso melhorado em Bragança

Necessidades Energéticas	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)	%
Aquecimento	61,09	82
Arrefecimento	-3,20	4
Equipamento	6,32	8
Iluminação	4,26	6



Figura 68- Balanço energético anual do caso melhorado em Bragança

A Tabela 78 apresenta um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada espaço.

Tabela 78- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada espaço para o caso melhorado em Bragança

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Necessidade Energética de Aquecimento (kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%	Necessidade Energética de Arrefecimento (kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%
<b>Quarto 1</b>	17,10	69,59	10	0,00	0
<b>Quarto 2</b>	13,50	37,00	5	8,46	43
<b>Quarto 3</b>	13,90	43,94	6	0,03	0
<b>WC 1</b>	5,00	103,31	19	0,00	0
<b>WC 2</b>	5,50	71,08	10	0,00	0
<b>WC 3</b>	2,60	77,12	11	0,00	0
<b>Hall 1</b>	9,70	65,79	10	0,00	0
<b>Hall 2</b>	10,75	68,16	10	0,00	0
<b>Cozinha</b>	23,00	64,29	9	1,76	9
<b>Sala</b>	23,75	57,95	8	9,49	48

De seguida, realiza-se uma exposição detalhada da transferência de energia mensal total do ano. Também aqui, é apresentado o balanço energético do edifício para todos os meses do ano contabilizando a energia perdida e ganha nas diversas vertentes do edifício e da sua ocupação.

Tabela 79- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado em Bragança

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Janeiro</b>	-1886,9	67,9	66	190,4	-537,2	177,8
<b>Fevereiro</b>	-1586,2	61,9	59,7	173,9	-338,2	240,7
<b>Março</b>	-1524,4	68,6	66	192	-129,2	357,6

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Abril</b>	-1344,2	66,6	25,6	185,3	119,7	336,2
<b>Outubro</b>	-1029,2	67,9	66	178,9	214,5	329,8
<b>Novembro</b>	-1362,2	65,9	63,9	184,4	-182,1	224,1
<b>Dezembro</b>	-1691,9	69,3	66	196,1	-483,6	140,7

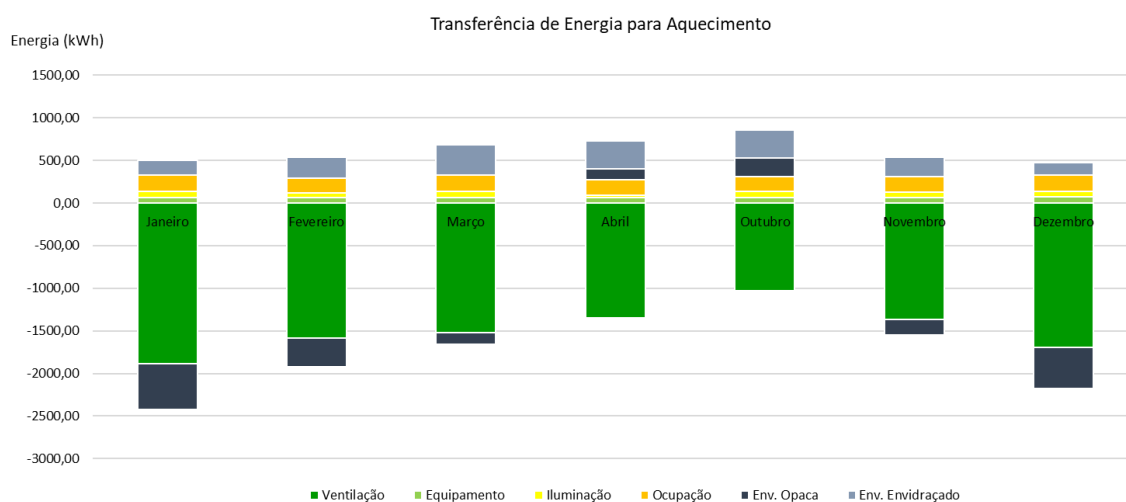


Figura 69- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado em Bragança

Tabela 80- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial em Bragança

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Abril</b>	-1344,2	66,6	25,6	185,3	119,7	336,2
<b>Mai</b>	-956,1	67,9	26,4	184,3	322,4	356
<b>Junho</b>	-642,5	66,6	25,6	159,5	44,4	366,3
<b>Julho</b>	-525,5	68,6	26,4	134,3	60,8	391,6

## Resultados e Discussão

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Agosto</b>	-470,4	67,9	26,4	132,4	-15,8	436,4
<b>Setembro</b>	-723,1	67,3	25,6	148,5	106,7	415,1
<b>Outubro</b>	-1029,2	67,9	66	178,9	214,5	329,8

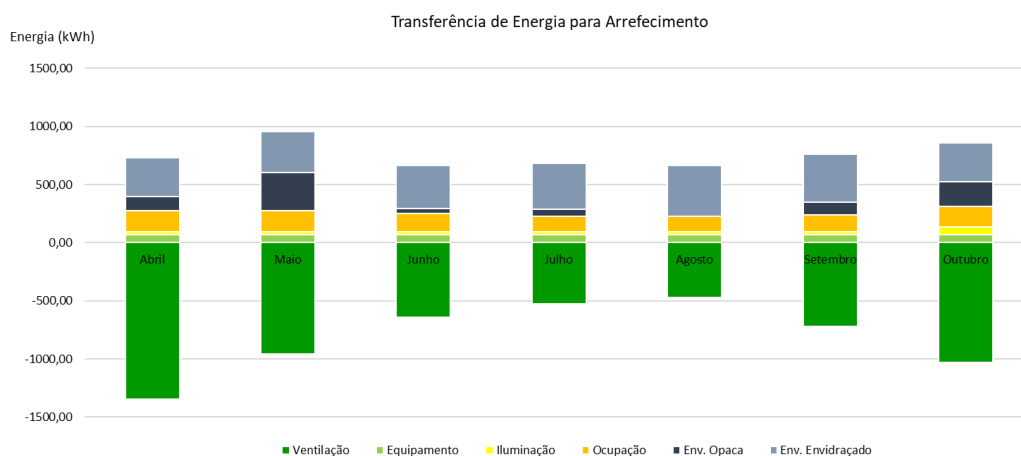


Figura 70- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso melhorado em Bragança

- Peso da Régua:

O balanço energético anual por unidade de área do edifício e o peso de cada vertente nas necessidades totais do edifício encontram-se apresentados na Tabela 81 e na Figura 71 respetivamente. O resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável encontra-se na Tabela 82.

Tabela 81- Balanço energético anual por unidade de área para o caso inicial no Peso da Régua

Necessidades Energéticas	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)	%
<b>Aquecimento</b>	118,01	85
<b>Arrefecimento</b>	-10,01	7
<b>Equipamento</b>	6,32	5
<b>Iluminação</b>	4,26	3



Figura 71- Balanço energético anual do caso inicial no Peso da Régua

Tabela 82- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável para o caso inicial no Peso da Régua

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Necessidade Energética de Aquecimento		Necessidade Energética de Arrefecimento	
		(kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%	(kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%
<b>Quarto 1</b>	17,10	115,48	9	4,90	7
<b>Quarto 2</b>	13,50	90,39	7	17,82	24
<b>Quarto 3</b>	13,90	105,08	8	3,77	5
<b>WC 1</b>	5,00	163,10	13	2,69	4
<b>WC 2</b>	5,50	127,97	10	4,11	5
<b>WC 3</b>	2,60	163,07	13	4,24	6
<b>Hall 1</b>	9,70	124,48	10	3,75	5
<b>Hall 2</b>	10,75	126,07	10	3,69	5
<b>Cozinha</b>	23,00	127,39	10	8,15	11
<b>Sala</b>	23,75	111,74	9	22,17	29

## Resultados e Discussão

De seguida, realiza-se uma exposição detalhada da transferência de energia mensal total do ano. Também aqui, é apresentado o balanço energético do edifício para todos os meses do ano contabilizando a energia perdida e ganha nas diversas vertentes do edifício e da sua ocupação.

Tabela 83- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial no Peso da Régua

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Janeiro</b>	-1999,9	67,9	66	190,6	-2612,3	245,5
<b>Fevereiro</b>	-1539,5	61,9	59,7	174	-1914,5	482,9
<b>Março</b>	-1359,4	68,6	66	191,3	-1303,2	598,4
<b>Abril</b>	-1189,2	66,6	25,6	184,9	-540,5	610,9
<b>Outubro</b>	-846	67,9	66	176,1	-375,9	675,1
<b>Novembro</b>	-1390,1	65,9	63,9	183,7	-1323,8	452,9
<b>Dezembro</b>	-1772,2	69,3	66	196,2	-2204,2	186,1

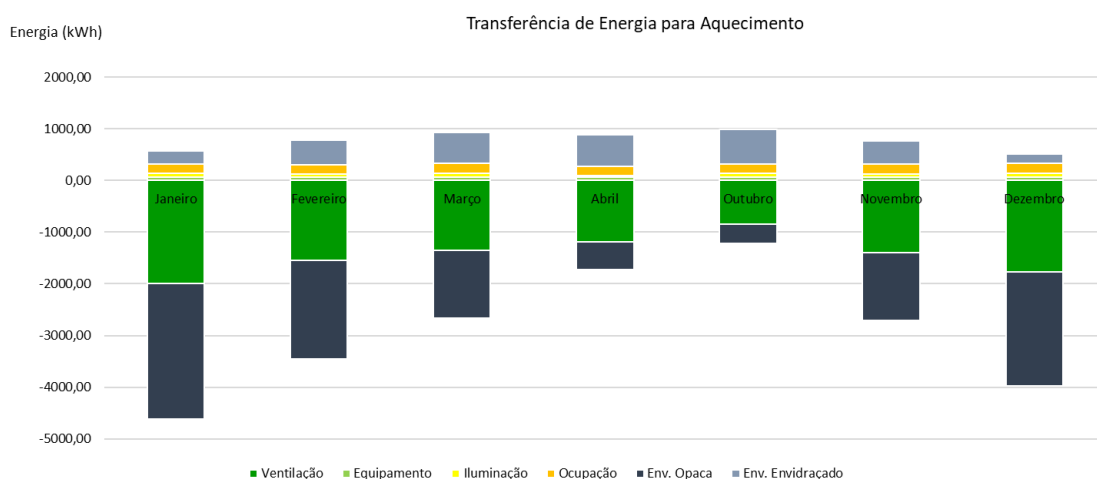


Figura 72- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso inicial no Peso da Régua

Tabela 84- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial no Peso da Régua

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Abril</b>	-1189,2	66,6	25,6	184,9	-540,5	610,9
<b>Maio</b>	-713,9	67,9	26,4	181,5	-120,7	580,3
<b>Junho</b>	-363,9	66,6	25,6	156	-352,1	582,6
<b>Julho</b>	-248,6	68,6	26,4	133,1	-96,6	701
<b>Agosto</b>	-302,9	67,9	26,4	129,2	-139,8	769,4
<b>Setembro</b>	-512,1	67,3	25,6	143,8	-412,1	794,2
<b>Outubro</b>	-846	67,9	66	176,1	-375,9	675,1

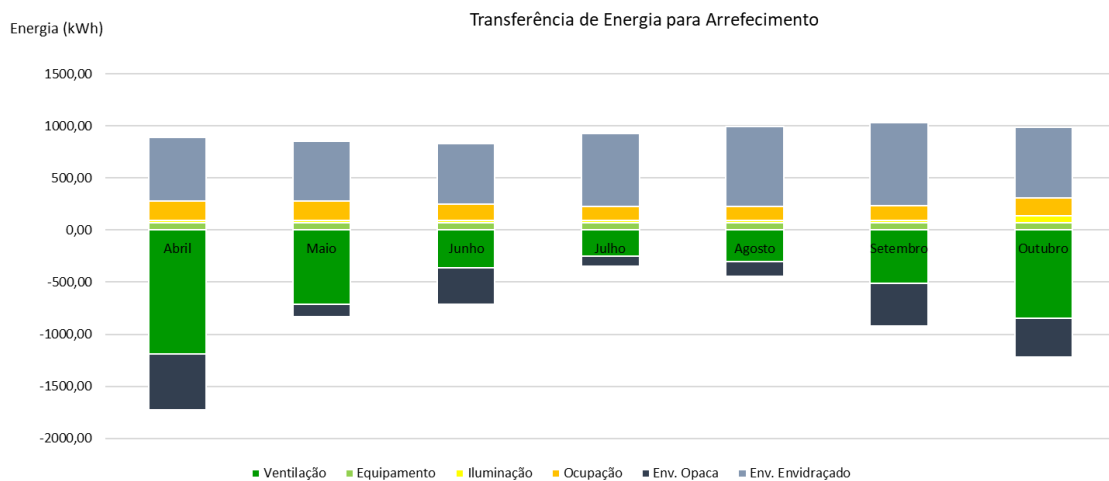


Figura 73- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso inicial no Peso da Régua

De seguida apresentam-se os resultados com as estratégias bioclimáticas implementadas.

Tabela 85- Balanço energético anual por unidade de área para o caso melhorado no Peso da Régua

<b>Necessidades Energéticas</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>. ano)</b>	<b>%</b>
<b>Aquecimento</b>	48,79	75
<b>Arrefecimento</b>	-5,79	9
<b>Equipamento</b>	6,32	10
<b>Iluminação</b>	4,26	7



Figura 74 -Balanço energético anual do caso melhorado no Peso da Régua

A Tabela 86 apresenta um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada espaço.

Tabela 86- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada espaço para o caso melhorado no Peso da Régua

<b>Espaço</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Necessidade Energética de Aquecimento (kWh/(m<sup>2</sup>. ano))</b>	<b>%</b>	<b>Necessidade Energética de Arrefecimento (kWh/(m<sup>2</sup>. ano))</b>	<b>%</b>
<b>Quarto 1</b>	17,10	57,00	11	0,57	2
<b>Quarto 2</b>	13,50	26,73	5	13,94	38
<b>Quarto 3</b>	13,90	34,59	6	0,20	1
<b>WC 1</b>	5,00	87,85	16	1,31	4

<b>Espaço</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Necessidade Energética de Aquecimento (kWh/(m<sup>2</sup>.ano))</b>	<b>%</b>	<b>Necessidade Energética de Arrefecimento (kWh/(m<sup>2</sup>.ano))</b>	<b>%</b>
<b>WC 2</b>	5,50	58,77	11	0,09	0
<b>WC 3</b>	2,60	65,19	12	0,04	0
<b>Hall 1</b>	9,70	53,79	10	0,47	1
<b>Hall 2</b>	10,75	56,26	11	0,51	1
<b>Cozinha</b>	23,00	51,37	10	4,57	12
<b>Sala</b>	23,75	44,08	8	15,22	24

De seguida, realiza-se uma exposição detalhada da transferência de energia mensal total do ano. Também aqui, é apresentado o balanço energético do edifício para todos os meses do ano contabilizando a energia perdida e ganha nas diversas vertentes do edifício e da sua ocupação.

Tabela 87- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado no Peso da Régua

<b>Transferência Energia (kWh)</b>	<b>Vent.</b>	<b>Equip.</b>	<b>Illum.</b>	<b>Ocup.</b>	<b>Env. Opaca</b>	<b>Env. Envidraçado</b>
<b>Janeiro</b>	-1766,9	67,9	66	190,4	-518,1	201,5
<b>Fevereiro</b>	-1404,5	61,9	59,7	173,7	-345,8	294,9
<b>Março</b>	-1346,8	68,6	66	190,7	-79,7	358,8
<b>Abril</b>	-1283,9	66,6	25,6	183,9	310,2	361,7
<b>Outubro</b>	-940,8	67,9	66	173,8	253,4	348,8
<b>Novembro</b>	-1292,9	65,9	63,9	183,1	-2,8	264
<b>Dezembro</b>	-1559	69,3	66	195,9	-380,4	160,3

## Resultados e Discussão

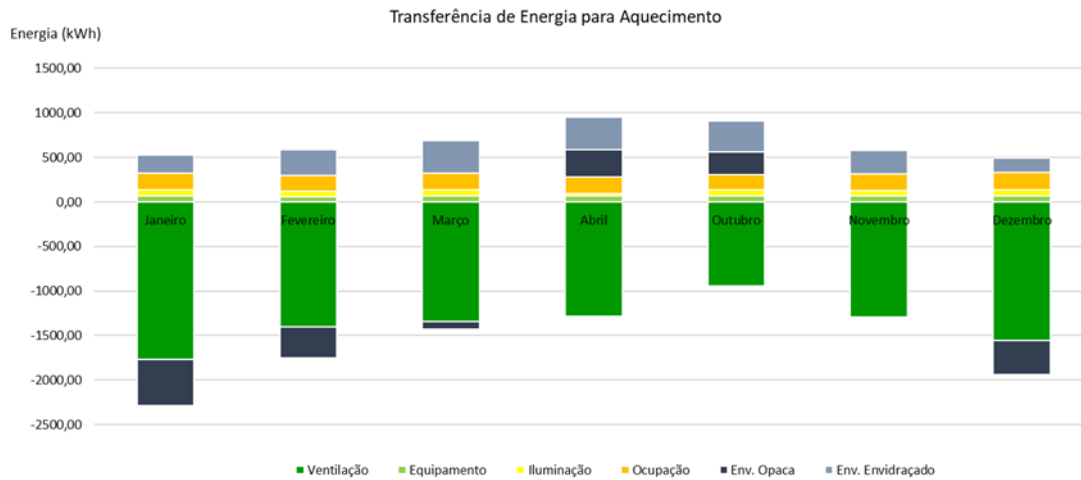


Figura 75- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado no Peso da Régua

Tabela 88- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial no Peso da Régua

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Abril</b>	-1283,9	66,6	25,6	183,9	310,2	361,7
<b>Maio</b>	-876,1	67,9	26,4	180	254,6	348,2
<b>Junho</b>	-500,4	66,6	25,6	155,4	-64,6	360,5
<b>Julho</b>	-385,8	68,6	26,4	131,1	22,3	414
<b>Agosto</b>	-414,8	67,9	26,4	126,7	63,4	436,8
<b>Setembro</b>	-602,7	67,3	25,6	141	35	427,7
<b>Outubro</b>	-940,8	67,9	66	173,8	253,4	348,8

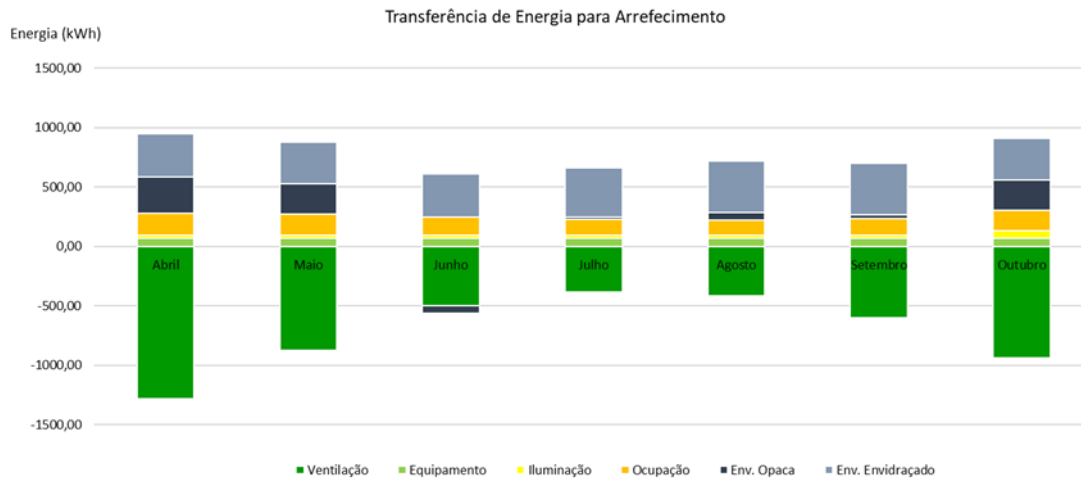


Figura 76- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso melhorado no Peso da Régua

- Faro:

O balanço energético anual por unidade de área do edifício e o peso de cada vertente nas necessidades totais do edifício encontram-se apresentados na Tabela 89 e na Figura 77 respetivamente. Apresenta-se um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável, situado na Tabela 90.

Tabela 89- Balanço energético anual por unidade de área para o caso inicial em Faro

Necessidades Energéticas	kWh/(m <sup>2</sup> .ano)	%
Aquecimento	41,11	66
Arrefecimento	-10,35	17
Equipamento	6,32	10
Iluminação	4,26	7

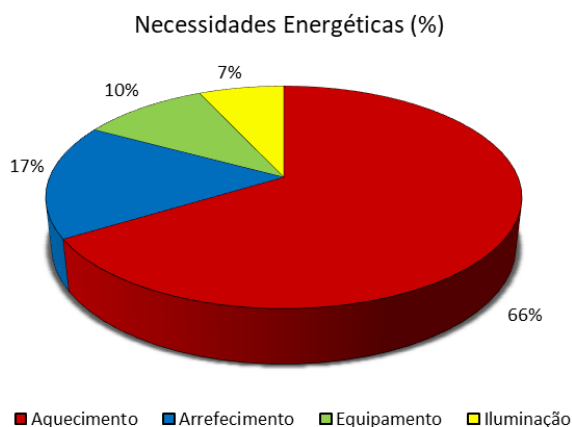


Figura 77- Balanço energético anual do caso inicial em Faro

Tabela 90- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável para o caso inicial em Faro

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Necessidade Energética de Aquecimento (kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%	Necessidade Energética de Arrefecimento (kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%
Quarto 1	17,10	40,86	9	4,93	6
Quarto 2	13,50	22,51	5	18,44	24
Quarto 3	13,90	39,27	8	3,73	5
WC 1	5,00	73,47	16	2,57	3
WC 2	5,50	46,13	10	3,91	5
WC 3	2,60	66,22	14	4,23	5
Hall 1	9,70	46,92	10	3,69	5
Hall 2	10,75	49,55	11	3,64	5
Cozinha	23,00	46,97	10	8,63	11
Sala	23,75	31,54	7	23,16	30

De seguida, realiza-se uma exposição detalhada da transferência de energia mensal total do ano. Também aqui, é apresentado o balanço energético do edifício para todos os meses do ano contabilizando a energia perdida e ganha nas diversas vertentes do edifício e da sua ocupação.

Tabela 91- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso de estudo inicial em Faro

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Illum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Janeiro</b>	-1321,5	67,9	66	189,2	-1420,1	631,8
<b>Fevereiro</b>	-1163,1	61,9	59,7	172,2	-931,4	656,4
<b>Março</b>	-1196,2	68,6	66	188,2	-419,2	792,1
<b>Abril</b>	-1138,4	66,6	25,6	180,9	89,3	653,1
<b>Outubro</b>	-913,4	67,9	66	158,8	-172,5	820,4
<b>Novembro</b>	-991	65,9	63,9	176,3	-368,7	764,3
<b>Dezembro</b>	-1212,9	69,3	66	192,6	-1011,7	605,5

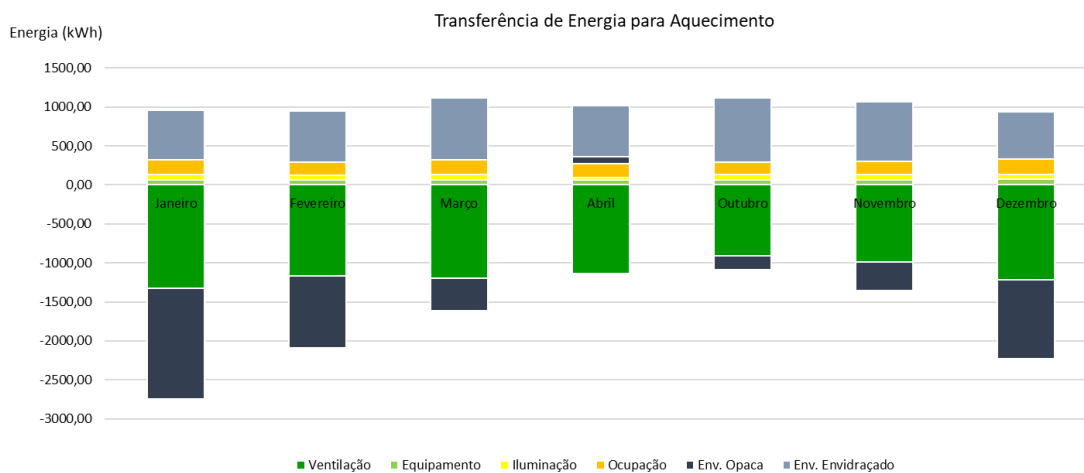


Figura 78- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso inicial em Faro

## Resultados e Discussão

Tabela 92- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso de estudo inicial em Faro

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Abril</b>	-1138,4	66,6	25,6	180,9	89,3	653,1
<b>Mai</b>	-947,9	67,9	26,4	176,7	137,7	563,8
<b>Junho</b>	-761,9	66,6	25,6	152,5	64,4	535,2
<b>Julho</b>	-547,1	68,6	26,4	135,8	224,1	628,2
<b>Agosto</b>	-603,6	67,9	26,4	129,2	177,8	737
<b>Setembro</b>	-612,9	67,3	25,6	137,1	-213,9	824,4
<b>Outubro</b>	-913,4	67,9	66	158,8	-172,5	820,4

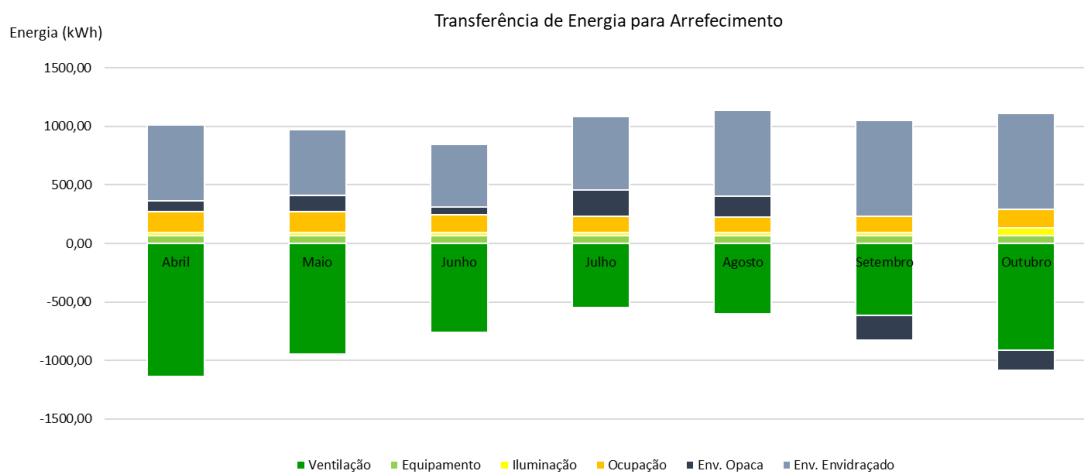


Figura 79- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso inicial em Faro

De seguida apresentam-se os resultados com as estratégias bioclimáticas implementadas.

Tabela 93- Balanço energético anual por unidade de área para o caso melhorado em Faro

Necessidades Energéticas	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)	%
Aquecimento	15,00	47
Arrefecimento	-6,01	19
Equipamento	6,32	20
Iluminação	4,26	13



Figura 80- Balanço energético anual do caso melhorado em Faro

A Tabela 94 apresenta um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada espaço.

Tabela 94- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de cada espaço para o caso melhorado em Faro

Espaço	Área (m <sup>2</sup> )	Necessidade Energética de Aquecimento		Necessidade Energética de Arrefecimento	
		(kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%	(kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%
<b>Quarto 1</b>	17,10	20,31	11	0,46	1
<b>Quarto 2</b>	13,50	2,94	2	14,45	38
<b>Quarto 3</b>	13,90	9,32	5	0,12	0
<b>WC 1</b>	5,00	41,62	22	1,38	4

## Resultados e Discussão

<b>Espaço</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Necessidade Energética de Aquecimento (kWh/(m<sup>2</sup>.ano))</b>	<b>%</b>	<b>Necessidade Energética de Arrefecimento (kWh/(m<sup>2</sup>.ano))</b>	<b>%</b>
<b>WC 2</b>	5,50	21,69	12	0,04	0
<b>WC 3</b>	2,60	28,04	15	0,03	0
<b>Hall 1</b>	9,70	18,75	10	0,40	1
<b>Hall 2</b>	10,75	20,97	11	0,46	1
<b>Cozinha</b>	23,00	15,55	8	4,81	13
<b>Sala</b>	23,75	8,77	5	15,92	42

De seguida, realiza-se uma exposição detalhada da transferência de energia mensal total do ano. Também aqui, é apresentado o balanço energético do edifício para todos os meses do ano contabilizando a energia perdida e ganha nas diversas vertentes do edifício e da sua ocupação.

Tabela 95- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado em Faro

<b>Transferência Energia (kWh)</b>	<b>Vent.</b>	<b>Equip.</b>	<b>Ilum.</b>	<b>Ocup.</b>	<b>Env. Opaca</b>	<b>Env. Envidraçado</b>
<b>Janeiro</b>	-1149,4	67,9	66	188,6	-242,2	347,4
<b>Fevereiro</b>	-1037,9	61,9	59,7	171,5	-46,9	356
<b>Março</b>	-1102,8	68,6	66	187,2	149,9	437,1
<b>Abril</b>	-1061,6	66,6	25,6	179,2	365,9	379,2
<b>Outubro</b>	-818,8	67,9	66	155,6	139,8	422,8
<b>Novembro</b>	-904,1	65,9	63,9	174,8	170,6	382,6
<b>Dezembro</b>	-1062	69,3	66	191,9	-24,5	322,1

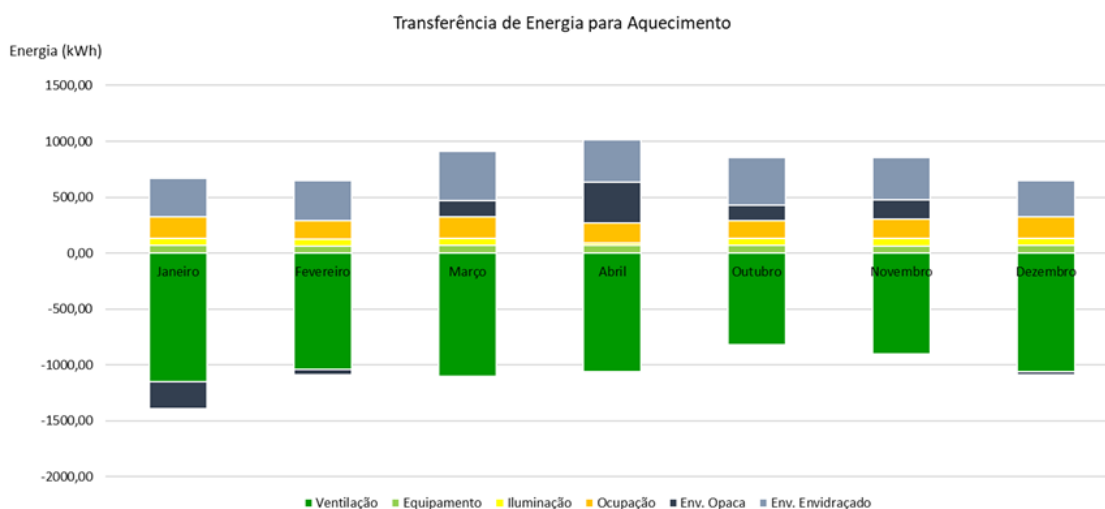


Figura 81- Transferência de energia mensal associada ao aquecimento para o caso melhorado em Faro

Tabela 96- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso melhorado em Faro

Transferência Energia (kWh)	Vent.	Equip.	Ilum.	Ocup.	Env. Opaca	Env. Envidraçado
<b>Abril</b>	-1061,6	66,6	25,6	179,2	365,9	379,2
<b>Maio</b>	-891	67,9	26,4	173,6	277,5	348,4
<b>Junho</b>	-623	66,6	25,6	148,4	67,3	338,7
<b>Julho</b>	-410,6	68,6	26,4	131,7	40,4	381,1
<b>Agosto</b>	-453,7	67,9	26,4	126	101,5	432,2
<b>Setembro</b>	-477,3	67,3	25,6	134,4	-33,7	449,9
<b>Outubro</b>	-818,8	67,9	66	155,6	139,8	422,8

## Resultados e Discussão

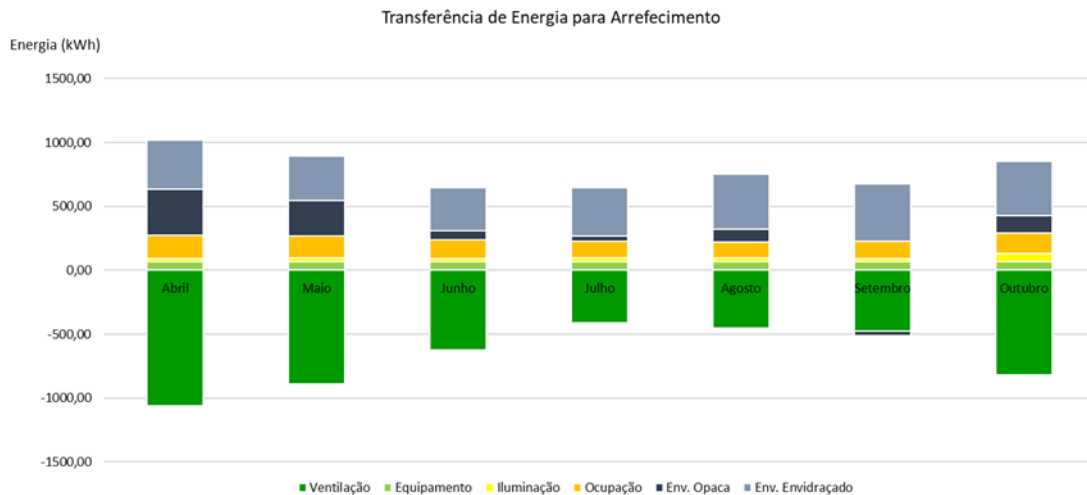


Figura 82- Transferência de energia mensal associada ao arrefecimento para o caso melhorado em Faro. Analisando primeiramente os casos iniciais para as diversas localizações, observa-se que o caso em Bragança é o que possui maiores necessidades de aquecimento seguido do caso do Peso da Régua, depois do Porto e por último a cidade de Faro. Estes resultados vão de acordo ao esperado, uma vez que, a cidade de Bragança possui um zonamento climático de Inverno de  $I_3$ , a cidade do Peso da Régua de  $I_2$  e a cidade do Porto e Faro de  $I_1$  e quanto maior o zonamento climático mais ríspido é o Inverno [51], daí maiores necessidades de aquecimento. Os gráficos de temperaturas exteriores e de conforto de cada cidade também explicam estas diferentes necessidades energéticas de aquecimento.

Para o arrefecimento aplica-se o mesmo raciocínio logo, as cidades com zonamento climático de Verão  $V_3$  (Peso da Régua e Faro) têm maiores necessidades energéticas que as cidades com zonamento climático de Verão  $V_2$  (Bragança e Porto). Analisando também os gráficos temperaturas exteriores e temperaturas interiores retira-se que a cidade do Peso da Régua é aquela cujas temperaturas exteriores mais se afastam da temperatura máxima de conforto de  $27\text{ }^\circ\text{C}$ , chegando mesmo a superar os  $35\text{ }^\circ\text{C}$  em certos dias. A cidade de Faro também tem um perfil de temperaturas exteriores similar ao Peso da Régua, porém as suas temperaturas são consideravelmente superiores no mês de Agosto e esta não tem um valor máximo tão elevado, atingindo no máximo os  $35\text{ }^\circ\text{C}$ . Assim percebe-se os valores semelhantes das necessidades de aquecimento dos casos nestas duas cidades, sendo ligeiramente superior no caso de Faro.

Realizando a mesma análise, mas agora com as estratégias bioclimáticas implementadas, conclui-se que as necessidades de aquecimento e arrefecimento são semelhantes na sua relação relativamente aos casos iniciais. O caso em Bragança continua a ser o que possui maiores necessidades de aquecimento seguido do caso do Peso da Régua, depois do Porto e por último a cidade de Faro. As necessidades de aquecimento diminuem consideravelmente comparando com os casos iniciais e esta diminuição é sempre na ordem dos 60%. Já no caso do arrefecimento, as cidades de Faro e do Peso da Régua possuem necessidades praticamente iguais sendo que Faro continua a se superiorizar ligeiramente. Depois segue-se o caso de Bragança e por último o do Porto, que como já mencionado tem necessidades muito baixas. Através da análise das diversas localizações é possível entender o impacto das melhorias

construtivas no arrefecimento. Nos casos do Peso da Régua e de Faro as necessidades de arrefecimento diminuem em cerca de 40%, valores mais coerentes com o esperado. Os resultados obtidos vão todos de acordo aos gráficos do CBE previamente apresentados e comentados, como expetável.

Ao contrário do que acontece nos casos iniciais onde o arrefecimento, a ventilação e infiltração e a envolvente opaca extraem energia ao edifício e as restantes vertentes fornecem, nos casos melhorados isto já não é constante. Agora a envolvente opaca oscila consoante a localização e sobretudo consoante as necessidades energéticas de aquecimento. Nos casos na cidade de Bragança e no Peso da Régua esta envolvente extrai energia ao edifício e nos outros casos ela fornece. Daqui retira-se que quanto maiores as necessidades energéticas de aquecimento maior a tendência para a envolvente opaca extrair energia do edifício.

#### 4.2.2. Impacto das Estratégias Tecnológicas

Depois da análise anterior, constata-se que ainda são necessárias medidas para a obtenção de um edifício descarbonizado. Essas medidas passam pela implementação de estratégias tecnológicas como sistemas de iluminação e climatização eficientes.

##### 4.2.2.1 Necessidades Energéticas

Em concordância com o que tem sido apresentado, opta-se por realizar simulações energéticas para outras cidades permitindo retirar várias conclusões acerca do impacto dos dados climáticos.

Nestes casos apenas se apresentam os dados com a implementação simultânea da URC e da BC a realizar aquecimento e arrefecimento.

- Bragança:

Em primeiro lugar apresentam-se os dados retirados do relatório das necessidades energéticas, dados esses que se encontram na Tabela 97 e que permitem obter a Figura 83.

Tabela 97- Balanço energético anual por unidade de área para o caso final na cidade de Bragança

Necessidades Energéticas	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)	%
Aquecimento	53,04	77
Arrefecimento	-2,51	4
Equipamento	6,32	9
Iluminação	1,97	3
Ventiladores da URC	4,64	7

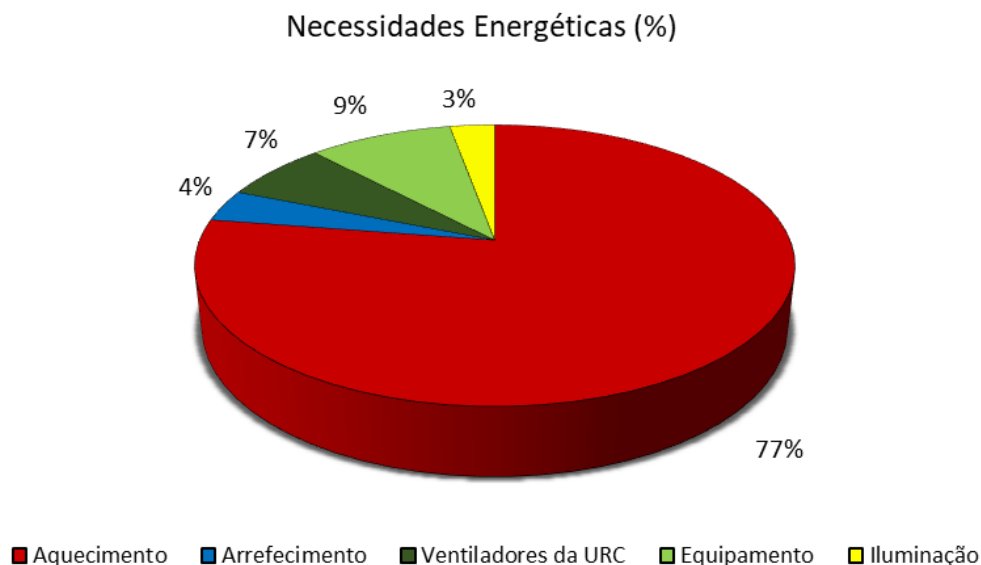


Figura 83- Balanço energético para o caso final na cidade de Bragança

De seguida, na Tabela 98 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento para cada grupo de espaços.

Tabela 98- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento por grupo de espaços para o caso final na cidade de Bragança

Grupo de Espaços	Necessidade Energética de Aquecimento		Necessidade Energética de Arrefecimento	
	(kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%	(kWh/(m <sup>2</sup> . ano))	%
<b>Quartos 2/3 + WC 2</b>	48,26	18	0,74	6
<b>Suite</b>	51,39	19	0,00	0
<b>Halls + WC 3</b>	60,36	23	0,00	0
<b>Cozinha</b>	57,90	22	1,62	14
<b>Sala</b>	50,18	19	9,60	80

- Peso da Régua:

Apresentam-se os dados retirados do relatório das necessidades energéticas, dados esses que se encontram na Tabela 99 e que permitem obter a Figura 84.

Tabela 99- Balanço energético anual por unidade de área para o caso final na cidade do Peso da Régua

Necessidades Energéticas	kWh/(m <sup>2</sup> .ano)	%
Aquecimento	41,28	70
Arrefecimento	-5,07	9
Equipamento	6,32	11
Iluminação	1,97	3
Ventiladores da URC	4,64	8

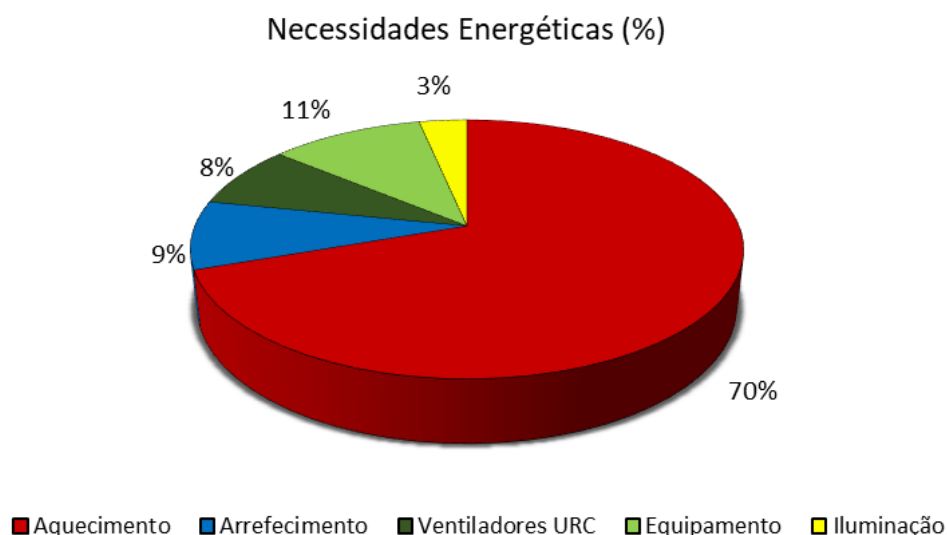


Figura 84- Balanço energético para o caso final na cidade do Peso da Régua

De seguida, na Tabela 100 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento para cada grupo de espaços.

Tabela 100- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento por grupo de espaços para o caso final na cidade do Peso da Régua

Grupo de Espaços	Necessidade Energética de Aquecimento		Necessidade Energética de Arrefecimento	
	(kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	%	(kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	%
Quartos 2/3 + WC 2	36,66	17	3,42	24
Suite	40,93	20	0,81	3

Grupo de Espaços	Necessidade Energética de Aquecimento (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	%	Necessidade Energética de Arrefecimento (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	%
Halls + WC 3	49,25	23	0,14	1
Cozinha	45,52	22	4,34	16
Sala	37,27	18	15,22	57

- Faro:

Apresentam-se os dados retirados do relatório das necessidades energéticas, dados esses que se encontram na Tabela 101 e que permitem obter a Figura 85.

Tabela 101- Necessidades energéticas anuais por unidade de área para o caso final na cidade de Faro

Necessidades Energéticas	kWh/(m <sup>2</sup> .ano)	%
Aquecimento	10,77	37
Arrefecimento	-5,37	18
Equipamento	6,32	22
Iluminação	1,97	7
Ventiladores da URC	4,64	16

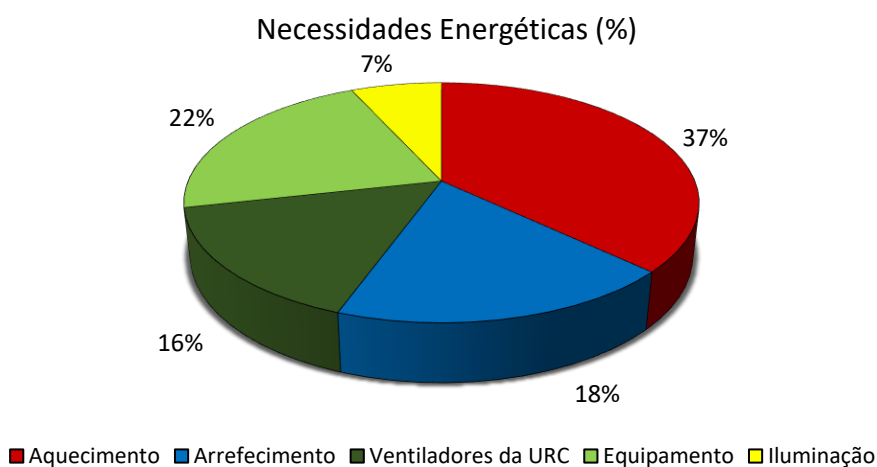


Figura 85- Balanço energético para o caso final na cidade de Faro

De seguida, na Tabela 102 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento para cada grupo de espaços.

Tabela 102- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento por grupo de espaços para o caso final na cidade de Faro

Grupo de Espaços	Necessidade Energética de Aquecimento (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	%	Necessidade Energética de Arrefecimento (kWh/(m <sup>2</sup> .ano))	%
Quartos 2/3 + WC 2	7,59	13	3,56	14
Suite	12,62	22	0,82	3
Halls + WC 3	17,53	31	0,11	0
Cozinha	12,73	22	4,63	18
Sala	6,24	11	16,21	64

Escrutinando estes resultados das diversas localizações abordadas e relacionando-os com o caso do Porto, concluir-se que as necessidades de aquecimento e arrefecimento são semelhantes na sua relação relativamente aos casos anteriores. O caso em Bragança continua a ser o que possui maiores necessidades de aquecimento seguido do caso do Peso da Régua, depois do Porto e por último a cidade de Faro. Já no caso do arrefecimento, a cidade de Faro e do Peso da Régua possuem necessidades praticamente iguais sendo que Faro continua a se superiorizar ligeiramente. Depois segue-se o caso de Bragança e por último o do Porto, que como já mencionado tem necessidades muito baixas.

#### 4.2.2.2 Número de Horas de Desconforto

Com a introdução dos sistemas de ventilação e climatização é possível verificar se a temperatura interior dos espaços está dentro dos valores de conforto e o número de horas em que a temperatura está fora do conforto. Com estes dados é possível entender então se os equipamentos são eficazes para as diversas localizações em estudo.

- Bragança:

Apresentam-se os dados retirados do relatório de conforto, mais concretamente o número de horas nas quais a temperatura do ar dos espaços se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento. Na Tabela 103 encontram-se os dados para o grupo do quartos 2 e 3 e do WC 2.

Tabela 103- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC para o caso final na cidade de Bragança

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	458	211	1	1	-	-	-	-	-	-	1	241	913	10

## Resultados e Discussão

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	232	119	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	463	5
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 104 encontram-se os dados para a suite.

Tabela 104- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da suite para o caso final na cidade de Bragança

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 105 encontram-se os dados para os halls e WC.

Tabela 105- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos halls e WC para o caso final na cidade de Bragança

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	56	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	87	1
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 106 encontram-se os dados para a cozinha.

Tabela 106- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha para o caso final na cidade de Bragança

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	39	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	71	1
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 107 encontram-se os dados para a sala.

Tabela 107- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala para o caso final na cidade de Bragança

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	84	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	161	2
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

Recorrendo aos dados do relatório de conforto interior que permitem obter a tabela anterior, também é possível elaborar um gráfico com as temperaturas interiores ao longo do ano e verificar se estão dentro dos limites de conforto. Na Figura 86 é possível verificar o gráfico das temperaturas de conforto com os respetivos limites traçados para a zona da sala.

## Resultados e Discussão

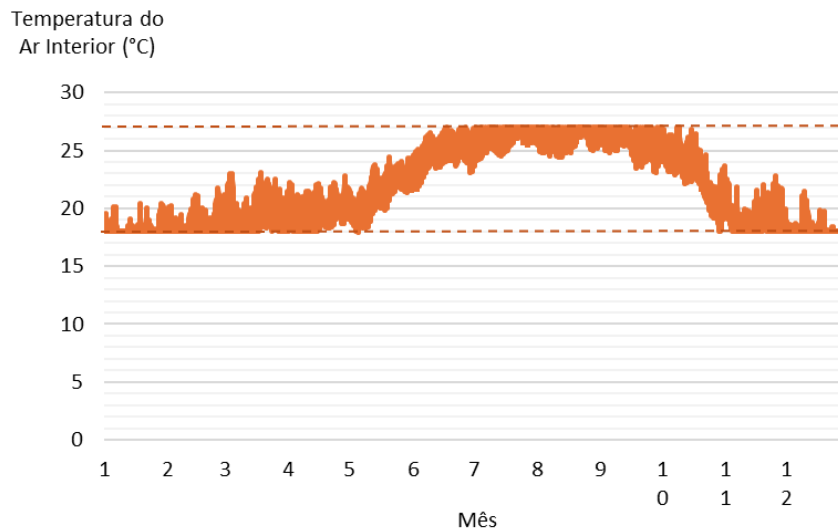


Figura 86- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala no caso final na cidade de Bragança

- Peso da Régua:

Apresentam-se os dados retirados do relatório de conforto, mais concretamente o número de horas nas quais a temperatura do ar dos espaços se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento. Na Tabela 108 encontram-se os dados para o grupo do quartos 2 e 3 e do WC 2.

Tabela 108- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC para o caso final na cidade do Peso da Régua

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	248	37	-	-	-	-	-	-	-	-	2	72	358	4
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	118	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	171	2
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 109 encontram-se os dados para a suite.

Tabela 109- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da suite para o caso final na cidade do Peso da Régua

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 110 encontram-se os dados para os halls e WC.

Tabela 110- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos halls e WC para o caso final na cidade do Peso da Régua

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	5	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	33	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 111 encontram-se os dados para a cozinha.

Tabela 111- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha para o caso final na cidade do Peso da Régua

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	6	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	31	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 112 encontram-se os dados para a sala.

Tabela 112- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala para o caso final na cidade do Peso da Régua

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	29	10	-	-	-	-	-	-	-	-	1	17	57	1
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

Recorrendo aos dados do relatório de conforto interior que permitem obter a tabela anterior, também é possível elaborar um gráfico com as temperaturas interiores ao longo do ano e verificar se estão dentro dos limites de conforto. Na Figura 87 é possível verificar o gráfico das temperaturas de conforto com os respetivos limites traçados para a zona da sala.

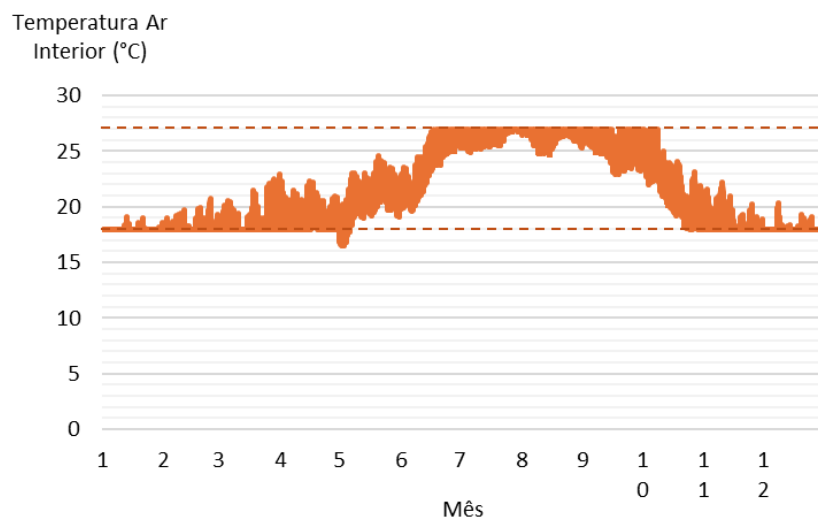


Figura 87- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala no caso final na cidade do Peso da Régua

- Faro:

Apresentam-se os dados retirados do relatório de conforto, mais concretamente o número de horas nas quais a temperatura do ar dos espaços se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento. Na Tabela 113 encontram-se os dados para o grupo do quartos 2 e 3 e do WC 2.

Tabela 113- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos quartos e WC para o caso final na cidade de Faro

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 114 encontram-se os dados para a suite.

Tabela 114- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da suite para o caso final na cidade de Faro

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 115 encontram-se os dados para os halls e WC.

Tabela 115- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona dos halls e WC para o caso final na cidade de Faro

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

## Resultados e Discussão

De seguida, na Tabela 116 encontram-se os dados para a cozinha.

Tabela 116- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da cozinha para o caso final na cidade de Faro

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

De seguida, na Tabela 117 encontram-se os dados para a sala.

Tabela 117- Número de horas em que a temperatura interior está fora do conforto para a zona da sala para o caso final na cidade de Faro

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	%
<b>Aquec. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Aquec. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0
<b>Arref. (horas/ ocup.)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0

Recorrendo aos dados do relatório de conforto interior que permitem obter a tabela anterior, também é possível elaborar um gráfico com as temperaturas interiores ao longo do ano e verificar se estão dentro dos limites de conforto. Na Figura 88 é possível verificar o gráfico das temperaturas de conforto com os respetivos limites traçados para a zona da sala.

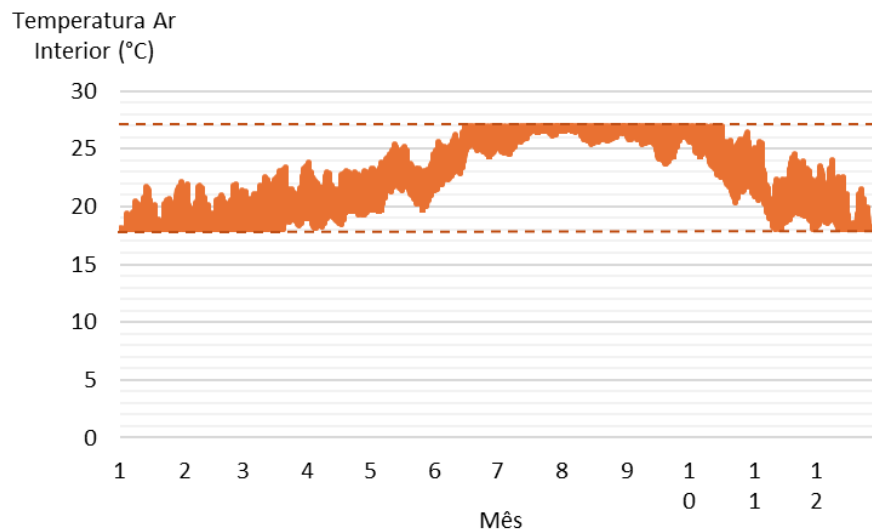


Figura 88- Temperatura do ar interior ao longo do ano para a sala no caso final na cidade de Faro

Analisando os dados apresentados conclui-se que ao nível do arrefecimento todos os casos estão dentro dos valores de conforto. Isto já seria exetável, visto que, apesar das necessidades de arrefecimento serem maiores em Faro e no Peso da Régua, elas continuam a não ser elevadas. Quando se compara o maior valor de arrefecimento com o menor de aquecimento verifica-se que, mesmo assim, o valor de aquecimento é o dobro do de arrefecimento. Em suma, uma vez que, Portugal não é um país muito quente na sua globalidade, esta bomba de calor dimensionada para a cidade do Porto funcionaria perfeitamente no arrefecimento dos restantes locais do país.

Já no caso do aquecimento o mesmo não se sucede. Logicamente na cidade de Faro não existem horas fora do conforto, uma vez que, Faro possui necessidades inferiores às da cidade do Porto e se a bomba de calor tem potência suficiente para operar no Porto também terá para Faro. Já nos casos na cidade de Bragança e do Peso da Régua, é possível verificar pelas tabelas apresentadas que existem diversas horas fora dos limites de conforto. Pela análise das tabelas retira-se que apenas a zona da suite não possui horas em que as temperaturas estão fora dos limites de conforto. Além disso, e de acordo com as suas necessidades energéticas, o caso na cidade de Bragança é onde se encontra o maior afastamento das temperaturas de conforto. Concluindo, a bomba de calor dimensionada para a cidade do Porto não garante o conforto necessário, não cumprindo o propósito para todos os locais.

#### 4.2.3. Consumo de Energia

Para entender as necessidades elétricas que a implementação da URC e da BC acarretam recorre-se ao relatório de consumo de energia.

- Bragança:

A partir do relatório de consumo de energia tiram-se os valores de consumo dos sistemas de ventilação e climatização. Na Tabela 118 é possível verificar estes consumos.

Tabela 118- Consumo elétrico anual por unidade de área para a implementação da URC e BC para a cidade de Bragança

Consumo elétrico	Caso Inicial		Caso Final	
	kWh/ano	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)	kWh/ano	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)
<b>Aquecimento</b>	18395,9	144,3	4165,5	32,7
<b>Arrefecimento</b>	210,6	1,7	62,2	0,5
<b>Ventiladores da URC</b>	-	-	592,4	4,6
<b>Iluminação</b>	543,2	4,3	251,8	2,0
<b>Equipamentos</b>	805,8	6,3	805,8	6,32
<b>Total</b>	19955,5	156,5	5877,7	46,1

Retira-se então que os sistemas de climatização e ventilação existentes consomem cerca de 5880 kWh/ano de energia elétrica, sendo que inicialmente o edifício consome cerca de 19960 kWh/ano de energia elétrica.

- Peso da Régua:

A partir do relatório de consumo de energia retiram-se os valores de consumo dos sistemas de ventilação e climatização. Na Tabela 119 é possível verificar estes consumos.

Tabela 119- Consumo elétrico anual por unidade de área para a implementação da URC e BC para a cidade do Peso da Régua

Consumo elétrico	Caso Inicial		Caso Final	
	kWh/ano	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)	kWh/ano	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)
<b>Aquecimento</b>	15046,4	118,0	3684,2	28,9
<b>Arrefecimento</b>	440,1	3,5	126,3	1,0
<b>Ventiladores da URC</b>	-	-	592,4	4,6
<b>Iluminação</b>	543,2	4,3	251,8	2,0
<b>Equipamentos</b>	805,8	6,3	805,8	6,32
<b>Total</b>	16835,5	132,0	5460,5	42,8

Retira-se então que os sistemas de climatização e ventilação existentes consomem cerca de 5460 kWh/ano de energia elétrica, sendo que inicialmente o edifício consome cerca de 16840 kWh/ano de energia elétrica.

#### Faro:

A partir do relatório de consumo de energia retiram-se os valores de consumo dos sistemas de ventilação e climatização. Na Tabela 120 é possível verificar estes consumos.

Tabela 120- Consumo elétrico anual por unidade de área para a implementação da URC e BC para a cidade de Faro

Consumo elétrico	Caso Inicial		Caso Final	
	kWh/ano	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)	kWh/ano	kWh/(m <sup>2</sup> . ano)
<b>Aquecimento</b>	5242,2	41,11	1856,4	14,6
<b>Arrefecimento</b>	455,0	3,6	134,1	1,1
<b>Ventiladores da URC</b>	-	-	592,4	4,6
<b>Iluminação</b>	543,2	4,3	251,8	2,0
<b>Equipamentos</b>	805,8	6,3	805,8	6,32
<b>Total</b>	7046,2	55,3	3640,5	28,6

Retira-se então que os sistemas de climatização e ventilação existentes consomem cerca de 3640 kWh/ano de energia elétrica, sendo que inicialmente o edifício consome cerca de 7046,2 kWh/ano de energia elétrica.

A análise dos consumos elétricos para as diversas localizações permite concluir que o consumo elétrico está diretamente ligado com as necessidades energéticas do espaço. Quanto maior a amplitude térmica entre a temperatura exterior e a temperatura de conforto interior maior será o consumo elétrico e consequentemente menor será o seu SCOP ou SEER. Por isso é que o consumo elétrico da bomba é superior no caso na cidade de Bragança e inferior no caso da cidade de Faro. Também se retira que quanto maior o consumo elétrico inicial, maior o impacto das estratégias utilizados. No caso de Bragança, o consumo elétrico sofre uma redução em cerca de 71% dos valores iniciais, no Peso da Régua esse valor é de 68%, no Porto é 56% e em Faro é 49%.

### 4.3. Análise dos resultados

A análise dos resultados foi realizada ao longo da apresentação dos mesmos e pode ser resumida nos seguintes pontos.

## Resultados e Discussão

Numa primeira análise ao edifício existente conclui-se que este não necessita de grandes necessidades de arrefecimento pois, as temperaturas interiores estão praticamente sempre dentro da zona de conforto. No aquecimento isto já não se sucede e praticamente nunca as temperaturas interiores estão dentro dos valores de conforto, revelando que é essencial aquecer os espaços para se obter uma sensação de conforto no Inverno.

Com a introdução das estratégias bioclimáticas, percebe-se que a amplitude térmica das temperaturas interiores diminui claramente. Como esperado, as melhorias construtivas uniformizam mais as temperaturas interiores, ficando mais enquadradas com as temperaturas de conforto. Com estes dados, é natural que as necessidades energéticas de aquecimento diminuam e as de arrefecimento se mantenham semelhantes, visto já estarem dentro dos limites de conforto.

Os resultados para as diversas localizações permitem concluir que estas estratégias são eficazes para qualquer localização, no sentido em que diminuem a amplitude térmica entre a temperatura exterior e a interior. As amplitudes térmicas diminuem em todos os casos sendo na mesma a sala o espaço com temperaturas superiores. É também perceptível que nos locais com verões mais rípidos e conseqüentemente maiores necessidades energéticas as temperaturas interiores diminuem e ficam mais uniformizadas. Isto não é tão perceptível no caso do Porto visto ser um local com poucas necessidades energéticas de arrefecimento. De resto, as conclusões são semelhantes ao caso inicial. A cidade de Bragança continua a ser a que possui temperaturas mais baixas e as cidades de Faro e do Peso da Régua as que têm temperaturas mais altas. Estes resultados são concordantes com os seus zonamentos climáticos, como seria esperado.

Analisando agora as condensações conclui-se que a introdução das estratégias bioclimáticas permite resolver os problemas de condensações que o caso inicial apresenta. Esta conclusão é transversal às quatro localizações abordadas.

Debruçando agora sobre os resultados das necessidades energéticas, a introdução das estratégias bioclimáticas permite uma redução energética superior a 60% nas necessidades de aquecimento. Porém, para o caso no Porto esperava-se que as necessidades de arrefecimento diminuíssem, o que não se sucede. Isto deve-se ao facto deste valor já ser bastante baixo e por isso, o impacto não se faz sentir. Analisando para as diversas localizações é então possível entender o impacto das melhorias construtivas no arrefecimento. Nos casos do Peso da Régua e de Faro as necessidades de arrefecimento diminuem em cerca de 40%, valores mais coerentes com o esperado.

Analisando os resultados com a introdução das estratégias tecnológicas, retira-se que as necessidades energéticas de aquecimento diminuem com a introdução da URC, porém, mantém-se inalteradas com a introdução de sistemas de climatização. A implementação da URC permite realizar a ventilação necessária e ainda diminuir as necessidades de aquecimento do espaço, porém, não as elimina totalmente.

Verificando os dados somente para o Porto conclui-se que a implementação da BC para aquecimento com pavimento radiante permite obter um edifício confortável no inverno, porém, não permite obter o mesmo no verão. Por essa razão, a implementação de um sistema

de arrefecimento com pavimento radiante utilizando a mesma bomba de calor é necessário. Depois da sua implementação, retira-se que o sistema de arrefecimento é eficaz e permite eliminar as horas fora dos limites de conforto. Obtém-se assim um edifício termicamente confortável ao longo do ano todo para todos os espaços úteis que o contemplam.

A implementação destes sistemas nas restantes localizações, permite concluir ao nível do arrefecimento todos os casos estão dentro dos valores de conforto. Já no caso do aquecimento o mesmo não se sucede. Nas cidades de Bragança e do Peso da Régua, é possível verificar pelos resultados apresentados que existem diversas horas fora dos limites de conforto. Concluindo, a bomba de calor dimensionada para a cidade do Porto não garante o conforto necessário, não cumprindo o propósito para todos os locais.

A análise dos consumos elétricos para as diversas localizações permite entender que a mesma bomba de calor possui diferentes pontos de funcionamento tendo em conta as temperaturas exteriores onde se insere. Quanto maior a amplitude térmica entre a temperatura exterior e a temperatura de conforto interior maior será o consumo elétrico da bomba e, por essa razão, o consumo elétrico da bomba é superior no caso na cidade de Bragança e inferior no caso da cidade de Faro.

Em síntese, a definição de uma solução construtiva e de uma solução de climatização não é linear e depende muito do local onde se insere. Se os resultados obtidos para os diversos casos em Portugal não são homogéneos, muito menos serão quando se trata de uma entidade tão diversa como a União Europeia.

## Resultados e Discussão

## 5. Conclusão

Neste capítulo apresentam-se as conclusões relativas ao trabalho realizado, tendo em conta os objetivos propostos. Além disso, apresentam-se as limitações encontradas no desenvolvimento do trabalho.

Por fim, apresentam-se as propostas de trabalhos futuros com vista à constante evolução e melhoria do trabalho realizado.

### 5.1. Conclusões finais

Esta tese tinha como principal objetivo estudar a possibilidade de transformar um edifício unifamiliar existente num edifício com baixas necessidades energéticas e neutro em emissões de dióxido de carbono operacional. No final da elaboração deste trabalho conclui-se que este objetivo foi alcançado e que diversas ilações foram retiradas ao longo do trabalho.

O foco ao longo do trabalho foi a análise de estratégias bioclimáticas nas necessidades energéticas do edifício. Numa primeira análise ao edifício verifica-se que o aquecimento representa cerca de 85% das necessidades energéticas globais do edifício e, com a realização de melhorias na envolvente do edifício é possível reduzir em mais de 60% estas necessidades.

Tendo em consideração que as estratégias bioclimáticas permitiram minimizar as necessidades energéticas, mas não eliminá-las, colmatou-se os valores existentes com a introdução de estratégias tecnológicas. A introdução destas estratégias permite concluir que a unidade de recuperação de calor realiza a ventilação necessária e ainda diminui as necessidades energéticas de aquecimento, mas não as elimina totalmente, sendo necessário recorrer a uma bomba de calor para realizar aquecimento e arrefecimento dos locais. A implementação de uma bomba de calor permite então, por fim, obter um edifício termicamente confortável ao longo do ano para todos os espaços úteis que o contemplam.

Como objetivo adicional, tinha-se proposto estudar o edifício em diversas localizações ao longo do país que permitissem averiguar a interferência da localização nos resultados obtidos. Após a realização deste trabalho conclui-se que a implementação destas medidas não permite obter um edifício termicamente confortável em todas as localizações, durante a estação de aquecimento.

## Conclusão

A realização deste trabalho demonstra, inequivocamente, que uma abordagem adaptada às condições específicas do local e às necessidades do edifício é essencial para garantir uma solução viável ao nível do conforto térmico e do desempenho energético.

## 5.2. Limitações e trabalhos futuros

Na sequência do desenvolvimento desta dissertação surgiram algumas limitações relativamente à ferramenta de cálculo utilizada. A ferramenta utilizada não permite o estudo das condensações nos elementos da envolvente envidraçada, limitando assim a análise da probabilidade de ocorrência de condensações.

No decorrer deste trabalho surgiram também alguns aspetos que se revelaram interessantes para uma abordagem futura. De seguida, apresentam-se os temas que poderão ser abordados no sentido de complementar e melhorar o trabalho desenvolvido:

- Realizar o dimensionamento da rede de painéis fotovoltaicos tendo em consideração o consumo energético apresentado, a orientação e inclinação da cobertura e a radiação solar disponível no local;
- Desenvolver a análise do período de retorno do investimento associado à melhoria da envolvente térmica, à implementação dos sistemas técnicos e à integração de fontes de energia renovável;
- Estudar a solução definida recorrendo a ferramentas de simulação dinâmica que integram projeções climáticas a médio e longo prazo, de modo a analisar comportamento térmico e energético do edifício.

## Referências

- [1] E. Benhelal, G. Zahedi, E. Shamsaei, e A. Bahadori, «Global strategies and potentials to curb CO<sub>2</sub> emissions in cement industry», *J Clean Prod*, vol. 51, pp. 142–161, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.049>.
- [2] D. J. Wuebbles e A. K. Jain, «Concerns about climate change and the role of fossil fuel use», *Fuel Processing Technology*, vol. 71, n. 1, pp. 99–119, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(01\)00139-4](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(01)00139-4).
- [3] S. Bilgen, «Structure and environmental impact of global energy consumption», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 890–902, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.004>.
- [4] S. Pachauri, Ed., «Energy Analysis and Energy Intensities for India», em *An Energy Analysis of Household Consumption: Changing Patters of Direct and Indirect Use in India*, Dordrecht: Springer Netherlands, 2007, pp. 39–84. doi: 10.1007/978-1-4020-5712-0\_3.
- [5] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, e C. Pout, «A review on buildings energy consumption information», *Energy Build*, vol. 40, n. 3, pp. 394–398, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>.
- [6] P. J. Zarco-Periñán, F. J. Zarco-Soto, I. M. Zarco-Soto, J. L. Martínez-Ramos, e R. Sánchez-Durán, «CO<sub>2</sub> Emissions in Buildings: A Synopsis of Current Studies», 1 de Setembro de 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/en15186635.
- [7] F. Yuan *et al.*, «Thermal comfort in hospital buildings – A literature review», *Journal of Building Engineering*, vol. 45, p. 103463, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103463>.
- [8] F. Nicol, M. Humphreys, e S. Roaf, «ADAPTIVE THERMAL COMFORT- Principles and Practice», 2012.
- [9] L. Matias e C. Pina dos Santos, «CONFORTO TÉRMICO ADAPTATIVO NO SETOR RESIDENCIAL EM PORTUGAL», 2013.
- [10] S. Carlucci, L. Bai, R. de Dear, e L. Yang, «Review of adaptive thermal comfort models in built environmental regulatory documents», *Build Environ*, vol. 137, pp. 73–89, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.053>.

## Referências

- [11] B. W. Olesen e G. S. Brager, «A Better Way to Predict Comfort», 2004. [Em linha]. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/2m34683k>
- [12] R. and A.-C. E. American Society of Heating, *ASHRAE Handbook. Fundamentals*. 2021.
- [13] A. BOERSTRA, «New health & comfort promoting CEN standard», *REHVA Journal*, Ago. 2019, [Em linha]. Disponível em: [www.cen.eu](http://www.cen.eu)
- [14] Comité Europeu de Normalização, *EN 16798-1*. 2019.
- [15] D. Bienvenido-Huertas, D. Sánchez-García, C. Rubio-Bellido, e J. A. Pulido-Arcas, «Influence of the Improvement in Thermal Expectation Levels with Adaptive Setpoint Temperatures on Energy Consumption», *Applied Sciences*, vol. 10, n. 15, p. 5282, Jul. 2020, doi: 10.3390/app10155282.
- [16] A. F. S. Feliciano, «Convergência para NZEB de um Grande Edifício de Serviços em Vila Nova de Gaia», Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2016.
- [17] P. Linares e X. Labandeira, «ENERGY EFFICIENCY: ECONOMICS AND POLICY», *J Econ Surv*, vol. 24, n. 3, pp. 573–592, Jul. 2010, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2009.00609.x>.
- [18] International Energy Outlook, «With projections to 2040», *Energy Information Administration (IEA)*, Washington DC, 2013.
- [19] P. H. Shaikh, N. B. M. Nor, P. Nallagownden, I. Elamvazuthi, e T. Ibrahim, «A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 34, pp. 409–429, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.027>.
- [20] J. Bernardo, «Eficiência Energética nos Edifícios da Administração Pública Central», Nov. 2016.
- [21] INE- Instituto Nacional de Estatística, «CONSUMO DE ENERGIA NO SECTOR DOMÉSTICO-2020», Jul. 2021.
- [22] Conselho Europeu (2002 Dez 16), *Directiva 2002/91/CE*. Bruxelas.
- [23] Conselho Europeu (2009 Abr 23), *Directiva 2009/28/CE*. Estrasburgo.
- [24] Parlamento Europeu e Conselho (2010 Mai 19), *Directiva 2010/31/UE*. Estrasburgo.
- [25] Parlamento Europeu e Conselho (2012 Out 25), *Directiva 2012/27/UE*. Estrasburgo.
- [26] Parlamento Europeu e Conselho (2018 Mai 30), *Directiva 2018/844/UE*. Estrasburgo.
- [27] Parlamento Europeu e Conselho (2019 Jun 05), *Directiva 2019/944/UE*. Bruxelas.
- [28] Comissão Europeia (2019 Dez 11), *Pacto Ecológico Europeu*.

## Referências

- [29] Comissão Europeia (2021 Jul 14), *Objetivo 55*. Bruxelas.
- [30] Parlamento Europeu e Conselho (2024 Abr 24), *Diretiva 2024/1275/UE*. Estrasburgo.
- [31] A. Filipe Araújo Esteves, «ESTRATÉGIA PARA ALCANÇAR O NEARLY ZERO ENERGY BUILDING (NZEB) NA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL», Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de MESTRE, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2021.
- [32] Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (1990 Fev 06), *Decreto-Lei n.º 40/90*. Lisboa.
- [33] Ministério da Economia e da Inovação (2006 Abr 04), *Decreto-Lei n.º 78/2006*. Lisboa.
- [34] Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (2006 Abr 04), *Decreto-Lei n.º 79/2006*. Lisboa.
- [35] Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (2006 Abr 04), *Decreto-Lei n.º 80/2006*. Lisboa.
- [36] Ministério da Economia e do Emprego (2013 Ago 20), *Decreto-Lei n.º 118/2013*. Lisboa.
- [37] Ministérios do Ambiente Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade Emprego e Segurança Social (2013 Nov 29), *Portaria n.º 349-A/2013*. Lisboa.
- [38] Ministérios do Ambiente Ordenamento do Território e Energia (2013 Nov 29), *Portaria n.º 349-B/2013*. Lisboa.
- [39] Ministérios do Ambiente Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade Emprego e Segurança Social (2013 Dez 02), *Portaria n.º 349-D/2013*. Lisboa.
- [40] Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia e Direção Geral de Energia e Geologia (2013 Dez 02), *Despacho n.º 15793/2013*. Lisboa.
- [41] Ministérios do Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Economia (2016 Fev 04), *Portaria n.º 17-A/2016*. Lisboa.
- [42] Ministérios do Trabalho Solidariedade e Segurança Social e Ambiente e Transição Energética (2019 Jan 30), *Portaria n.º 42/2019*. Lisboa.
- [43] Ministério do Ambiente e Transição Energética (2019 Abr 02), *Portaria n.º 98/2019*. Lisboa.
- [44] Presidência do Conselho de Ministros (2019 Jul 01), *Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050)*. Lisboa.
- [45] Presidência do Conselho de Ministros (2020 Dez 07), *Decreto-Lei n.º 101-D/2020*. Lisboa.

## Referências

- [46] Ministérios da Saúde e Ambiente e Ação Climática (2021 Jul 01), *Portaria n.º 138-G/2021*. Lisboa.
- [47] Ministério do Ambiente e Ação Climática (2021 Jul 01), *Portaria n.º 138-H/2021*. Lisboa.
- [48] Ministérios do Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação (2021 Jul 01), *Portaria n.º 138-I/2021*. Lisboa.
- [49] Ministérios do Ambiente e Ação Climática e Direção Geral de Energia e Geologia (2021 Jul 01), *Despacho n.º 6476/2021*. Lisboa.
- [50] ADENE e Direção-Geral de Energia e Geologia, «Nota Técnica- Edifícios NZEB20 e outros conceitos úteis para acesso a incentivos», 2024.
- [51] ADENE e Direção-Geral de Energia e Geologia, «Manual SCE- Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios», 2021.
- [52] P. J. D. Santos, «O novo desafio dos NZEB (Nearly Zero Energy Buildings)», Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2018.
- [53] IPMA, «Classificação do Clima», <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>.
- [54] S. Marco André Pereira Guedes da, «EDIFÍCIOS COM NECESSIDADES QUASE NULAS DE ENERGIA (NZEB) EM PAÍSES DO SUL DA EUROPA O Caso Específico de Portugal», Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2020. [Em linha]. Disponível em: <http://www.fe.up.pt>
- [55] H. Gonçalves e J. M. Graça, «Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal», 2004.
- [56] B. M. Q. Teixeira, «ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA EDIFÍCIOS NZEB», Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2021. [Em linha]. Disponível em: <http://www.fe.up.pt>
- [57] A. Fernando Medeiros Jorge, «Convergência para NZEB de um edifício classificado», Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Edificações Orientadores, INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, Lisboa, 2013.
- [58] ADENE - Agência para a Energia, «Saiba mais sobre Isolamento de Paredes», *10 Soluções de Eficiência Energética*, Out. 2016.
- [59] A. J. F. Vaz, D. R. de S. M. Ferreira, E. C. P. Luso, e S. M. A. Fernandes, *Manual BIOURB: MANUAL PARA A CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DA DIVERSIDADE BIOCONSTRUTIVA*. Bragança, 2013.
- [60] P. A. C. dos Santos, «NZEB: Nearly Zero Energy Building Metodologias para Implementação NZEB Aplicação a Edifício Unifamiliar Novo», Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2017.

- [61] ADENE - Agência para a Energia, «Saiba mais sobre Janelas Eficientes», *10 Soluções de Eficiência Energética*, 2016.
- [62] V. F. C. L. de Sousa, «Sistemas passivos na construção em Portugal: Análise de um caso de estudo », Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2018.
- [63] M. Santamouris e D. Kolokotsa, «Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art», *Energy Build*, vol. 57, pp. 74–94, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.002>.
- [64] H. Altan, M. Hajibandeh, K. Tabet Aoul, e A. Deep, «Passive Design», em *Springer Tracts in Civil Engineering*, 2016, pp. 209–236. doi: 10.1007/978-3-319-31967-4\_8.
- [65] V. Chetan, K. Nagaraj, P. S. Kulkarni, S. K. Modi, e U. N. Kempaiah, «Review of Passive Cooling Methods for Buildings», *J Phys Conf Ser*, vol. 1473, n. 1, p. 012054, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1473/1/012054.
- [66] T. Schulze, D. Gürlich, e U. Eicker, «Performance assessment of controlled natural ventilation for air quality control and passive cooling in existing and new office type buildings», *Energy Build*, vol. 172, pp. 265–278, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.023>.
- [67] M. A. Kamal, «An Overview of Passive Cooling Techniques in Buildings: Design Concepts and Architectural Interventions», *Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture*, vol. 55, Jan. 2012.
- [68] E. J. Gago, T. Muneer, M. Knez, e H. Köster, «Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 1–13, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.002>.
- [69] L. M. Fernández-Ahumada, M. Osuna-Mérida, J. López-Sánchez, F. J. Gómez-Uceda, R. López-Luque, e M. Varo-Martínez, «Use of Polar Heliostats to Improve Levels of Natural Lighting inside Buildings with Little Access to Sunlight», *Sensors*, vol. 22, n. 16, 2022, doi: 10.3390/s22165996.
- [70] A. R. C. Teixeira, «Avaliação de Soluções de Climatização aplicadas num Edifício de Comércio e Serviços para atingir Classificação nZEB», Dez. 2021.
- [71] ADENE- Agência para a Energia, «ORIENTAÇÕES TÉCNICAS E GERAIS - Eficiência Energética dos Edifícios Residenciais», 2023.
- [72] C. Yang, S. Seo, N. Takata, K. Thu, e T. Miyazaki, «The life cycle climate performance evaluation of low-GWP refrigerants for domestic heat pumps», *International Journal of Refrigeration*, vol. 121, pp. 33–42, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.09.020>.

## Referências

- [73] A. Alabdulkarem, R. Eldeeb, Y. Hwang, V. Aute, e R. Radermacher, «Testing, simulation and soft-optimization of R410A low-GWP alternatives in heat pump system», *International Journal of Refrigeration*, vol. 60, pp. 106–117, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.08.001>.
- [74] F. Alexandre Oliveira da Cunha, «Estudo de estratégias e tecnologias de climatização para atingir Edifícios nZEB», 2015.
- [75] S. M. Silva, R. Mateus, L. Marques, M. Ramos, e M. Almeida, «Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB design concept in Portugal – Energy, economics and environmental life cycle analysis», *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 156, pp. 59–74, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.04.053>.
- [76] C. Good, I. Andresen, e A. G. Hestnes, «Solar energy for net zero energy buildings – A comparison between solar thermal, PV and photovoltaic–thermal (PV/T) systems», *Solar Energy*, vol. 122, pp. 986–996, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.10.013>.
- [77] P. Shen e N. Lior, «Vulnerability to climate change impacts of present renewable energy systems designed for achieving net-zero energy buildings», *Energy*, vol. 114, pp. 1288–1305, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.078>.
- [78] K. Severnyák, «Contradictions of low-emission nZEB buildings», *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 323, n. 1, p. 012006, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/323/1/012006.
- [79] José Carlos Lino, Miguel Azenha, e Paulo Lourenço, «Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas», 2012.
- [80] Paula Assis, Ricardo Figueira, Paulo Oliveira, e Carlos Costa, «Conceção de software de arquitetura, implementação e contributo para o fluxo de trabalho Open BIM», *Top Informática*.
- [81] Cype, «CYPE Architecture User’s Manual 3D architectural modelling software, specifically designed for multidisciplinary collaboration».
- [82] Victor Díez Montenegro, Sebastien Agnolin, e Pascal Ducruet, «Development of an architectural acoustic study through a complete Open BIM workflow», *CYPE Ingenieros S.A*, 2021.
- [83] Cype, «<https://info.cype.com/pt/produto/open-bim-construction-systems/>».
- [84] CYPE, «Manual de Utilizador», *CYPETHERM EPlus – Exemplo prático – Open BIM*, Fev. 2021.
- [85] C. A. Pina dos Santos e L. Matias, *ITE 50: Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. 2006.
- [86] R. and A.-C. E. American Society of Heating, *ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.2-2018: Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings*. 2018.

## Referências

- [87] Comissão Europeia (2013 Mar 01), *Diretiva 2013/114/UE*. Bruxelas.
- [88] Associação Portuguesa do Ambiente, *Fator de Emissão da Eletricidade*. Portugal, 2024.
- [89] Direção-Geral de Energia e Geologia e ADENE, «Guia SCE-Indicadores de Desempenho Energético (REH)», 2020.
- [90] Comissão Europeia (2013 Fev 18), *Regulamento Delegado (UE) Nº 811/2013*. Bruxelas.
- [91] ADENE- Agência para a Energia, *MANUAL DA ETIQUETA ENERGÉTICA*. 2017. [Em linha]. Disponível em: [www.label-pack-a-plus.eu/portugal/](http://www.label-pack-a-plus.eu/portugal/)

## Referências

# Declaração de Integridade

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração.

Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim.

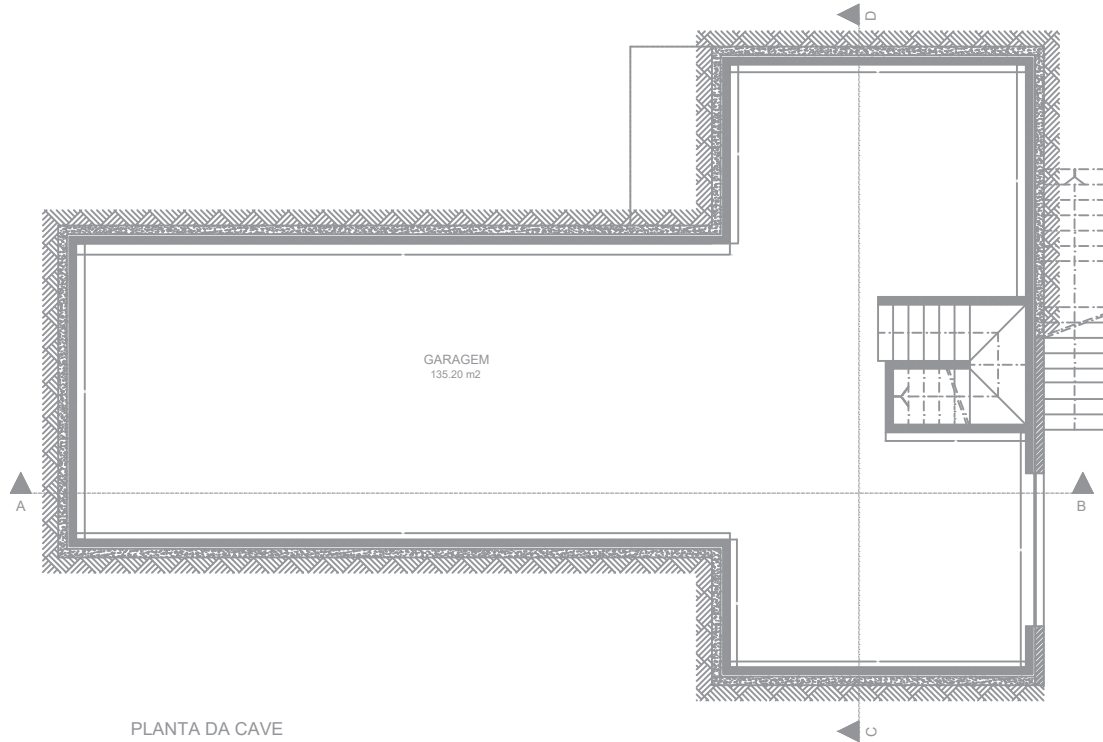
Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO.

NOME: Gonçalo da Costa Pinho

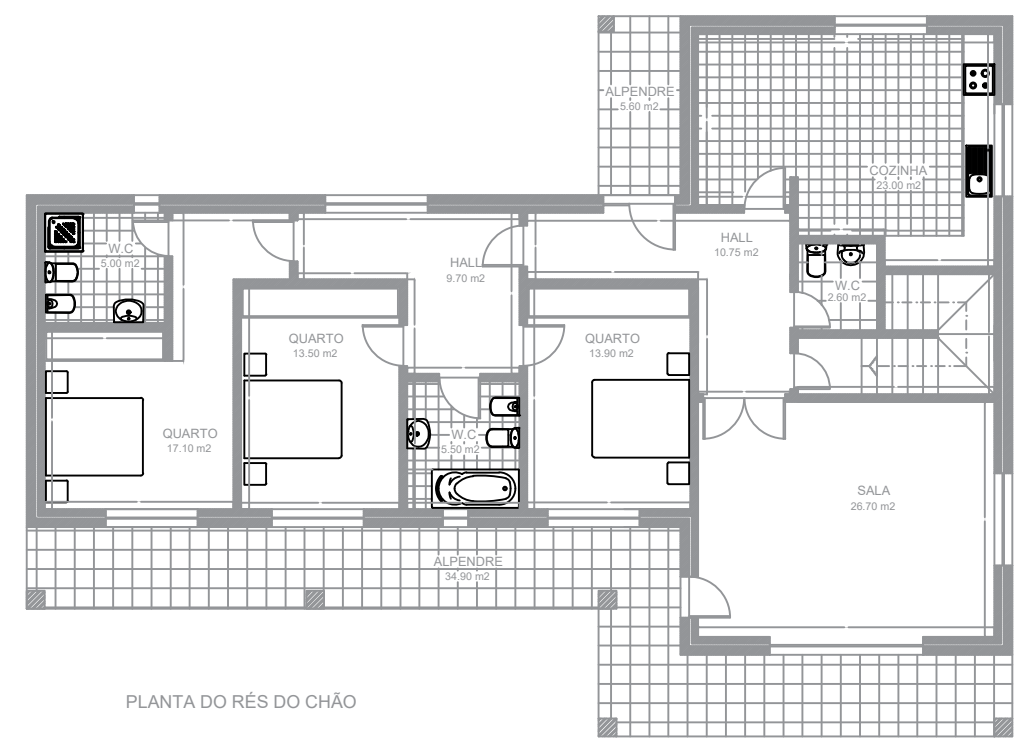
ISEP, Porto, 20 de junho de 2025



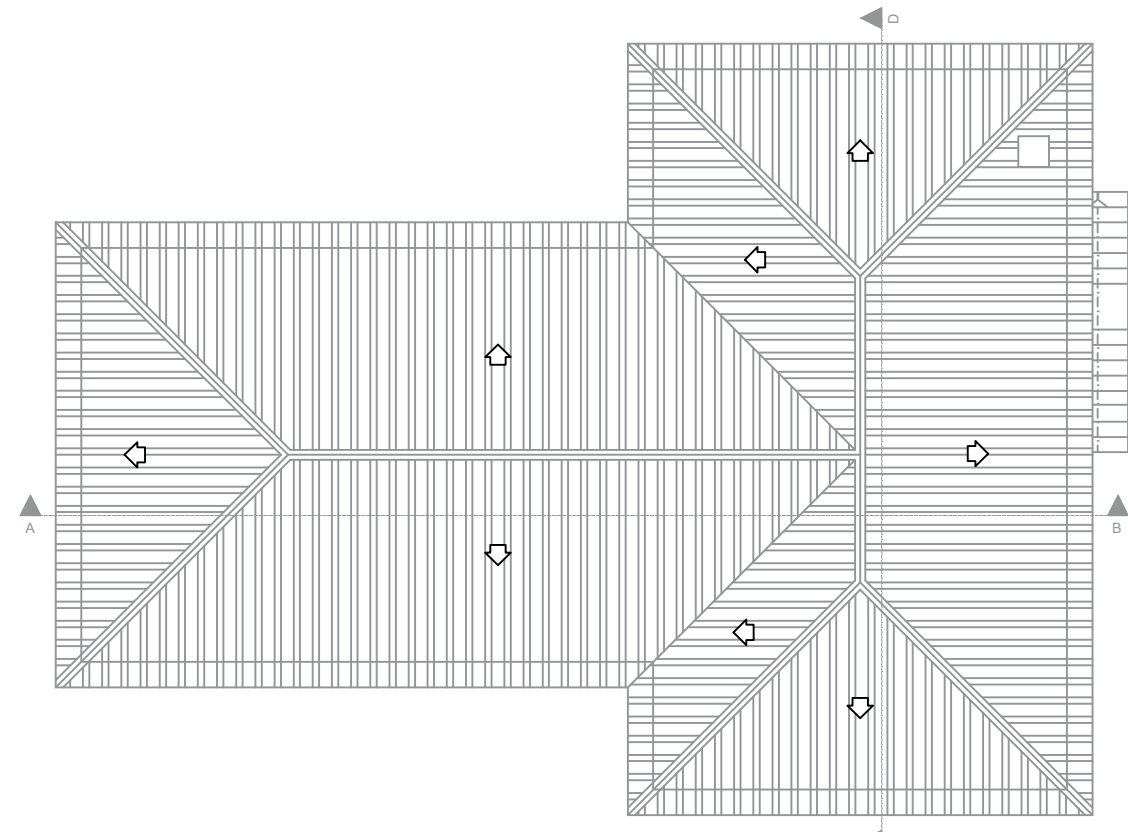
## **Anexo A- Plantas, Alçados e Cortes do Caso de Estudo**



PLANTA DA CAVE

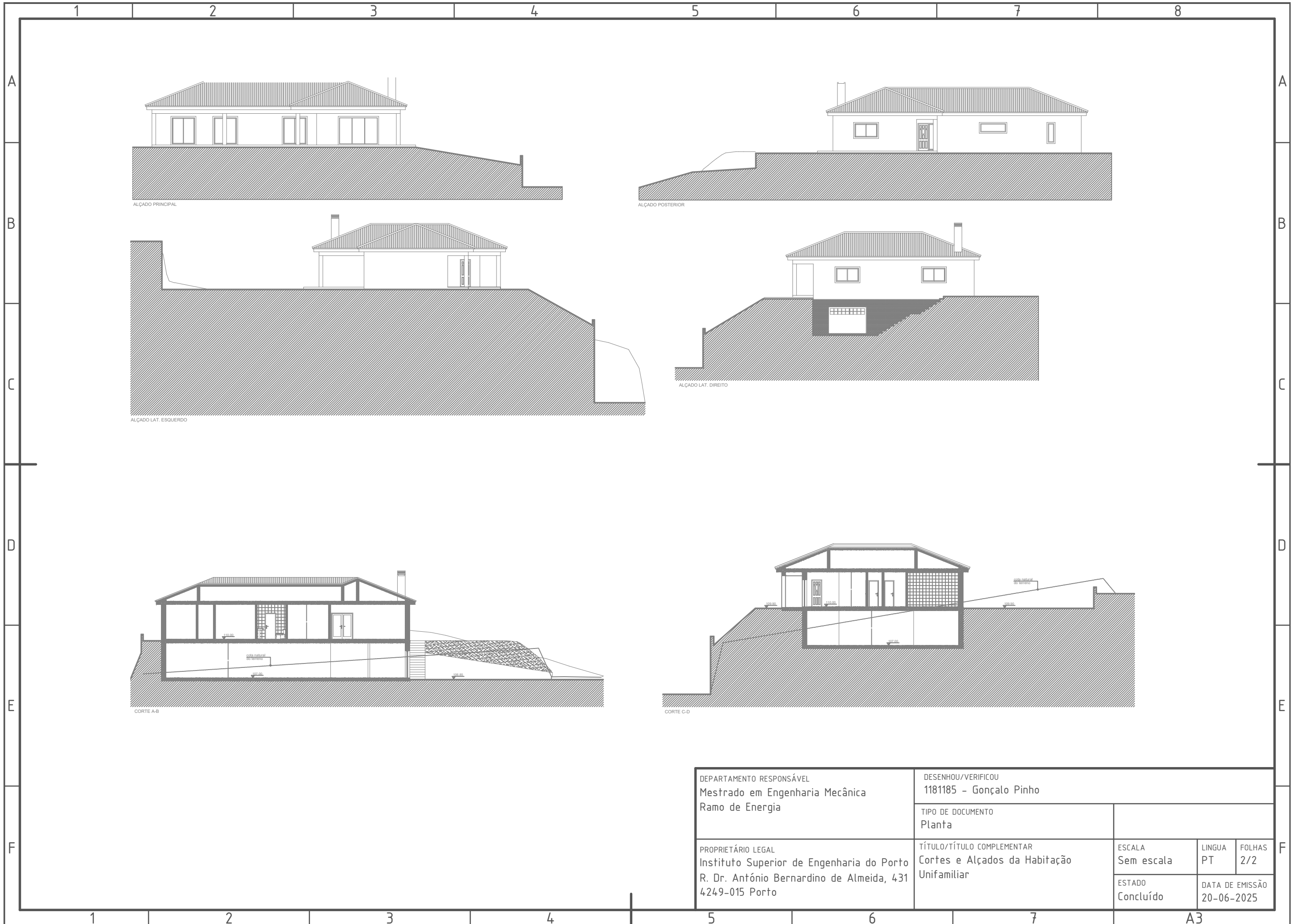


PLANTA DO RÉS DO CHÃO



PLANTA DA COBERTURA

DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL Mestrado em Engenharia Mecânica Ramo de Energia	DESENHOU/VERIFICOU 1181185 - Gonçalo Pinho			
	TIPO DE DOCUMENTO Planta			
PROPRIETÁRIO LEGAL Instituto Superior de Engenharia do Porto R. Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015 Porto	TÍTULO/TÍTULO COMPLEMENTAR Plantas da Habitação Unifamiliar		ESCALA Sem escala	LINGUA PT
			ESTADO Concluído	FOLHAS 1/2
			DATA DE EMISSÃO 20-06-2025	



DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL Mestrado em Engenharia Mecânica Ramo de Energia	DESENHOU/VERIFICOU 1181185 - Gonçalo Pinho			
	TIPO DE DOCUMENTO Planta			
PROPRIETÁRIO LEGAL Instituto Superior de Engenharia do Porto R. Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4249-015 Porto	TÍTULO/TÍTULO COMPLEMENTAR Cortes e Alçados da Habitação Unifamiliar	ESCALA Sem escala	LINGUA PT	FOLHAS 2/2
		ESTADO Concluído	DATA DE EMISSÃO 20-06-2025	

## **Anexo B- Ficha Técnica da Porta**

## DESCRIÇÃO GERAL

Produto que integra numa peça única, porta, aro e acessórios para entrada de habitações.

## ECO-INFORMAÇÃO

Solução construída com materiais de base natural e reciclados. Mais de 70% da sua massa é composta por materiais de base natural (madeira e derivados de madeira). Produto com certificação FSC®, que assegura que as matérias são provenientes de florestas geridas de forma responsável.

Coefficiente de transmissão térmica que contribuí para um melhor desempenho energético dos espaços e edifício.

## CERTIFICAÇÃO

Coefficiente transmissão térmica  $U_D=1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  de acordo com as normas ISO 10077-1 e 10077-2.

## PORTA

Estrutura perimetral em réguas de madeira.

Interior em aglomerado de madeira, características segundo a norma EN 13986,

Faces em fibra de madeira (MDF), características segundo a norma EN 13986.

Orla em madeira revestida a condizer com a face da porta.

Espessura de 44mm.

## ARO

Prumo em contraplacado com 20mm, reforçado no interior com chapa de aço em inox.

Guarnição fixa e ajustável em contraplacado, características segundo a norma EN 13986.

Perfil de isolamento.

## REVESTIMENTOS

Naturdor® - folha de madeira natural ou com velatura.

Dekordor® 3D - revestimento com relevo, design vertical e horizontal.

Dekordor® HD - laminado de elevada resistência.

Dekordor® SD - decorative foil.

Lacdor - lacado com core RAL aproximada

## ACESSÓRIOS

Fechadura de segurança 1 ponto.

Dobradiças de 4" em aço inox.

## OPÇÕES

Barra de calafetagem automática.

Fechadura segurança 3 pontos.

Visor.



ENTRADA

## ENTRADA



The mark of responsible forestry

## FSC



COEFICIENTE  
TÉRMICO

## 1,8W/M<sup>2</sup>.°C



MOBILITY

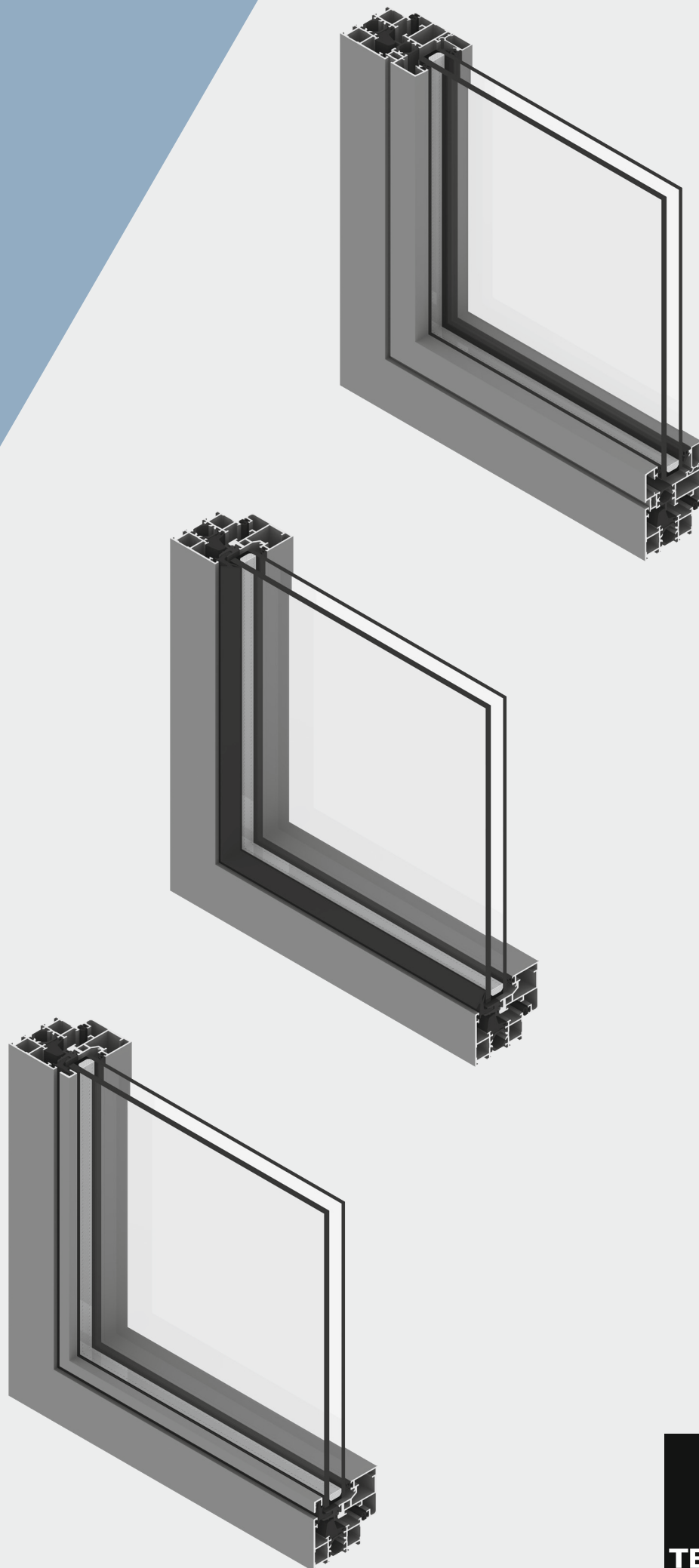
Nota: Dependendo das características ou configurações do produto, as dimensões podem variar. Tendo como objetivo a constante melhoria da nossa gama de produtos, reservamos o direito de fazer alterações sem aviso prévio. Dimensões em milímetros.

## **Anexo C- Ficha Técnica das Janelas**

# SOLEAL FY 55

## CONCEPTION

4812.009



# Performances thermiques

## ■ Coefficient Ug d'isolation des vitrages

VITRAGES VERTICAUX  
(pente  $\geq 60^\circ$ )

liste non limitative, à titre d'exemples

marques commerciales / émissivités certifiées		
Planibel Top N (AGC)		0,04
Clima Guard Premium (Guardian) iPlus Sun (Interpane) iPasol neutre 73/42 Optitherm S3 et Suncool 70/40 (Pilk.) Planibel Energy N et Planibel Top NT Planistar (SGG) Planitherm ultra N (SGG) Sun-Guard Super Neutral 70/41		0,03
Planibel Energy NT (AGC) Stopray Vision 60-T iPasol neutre 50/27 - 68/37 (Interpane) iPasol natura 67/37 Sun-Guard Super Neutral 62/34 Sun-Guard Super Neutral 40/23		0,02
Sun-Guard E performance Planibel Top 1.0 (AGC) Planitherm One (SGG) CoolLite Xtrême 60/28 (SGG) iPlus 1.0 (Interpane)		0,01

Valeurs Ug selon composition du vitrage  
selon EN673

### DOUBLE VITRAGES

épaisseur lame d'air ou Argon (mm)	épaisseur (mm) 6 + 6	Ug vitrage 4+4 ou 6+6		épaisseur (mm) 4 + 10	Ug vitrage 4+10 ou 4+FA44.1		épaisseur (mm)	Ug vitrage FA64.1 + FA44.1	
		air	argon 85%		air	argon 85%		air	argon 85%
8	20	2,1	1,7	22	2,1	1,7	27		
10	22	1,8	1,5	24	1,8	1,5			
12	24	1,6	1,3	26	1,6	1,3			
14	26	1,5	1,2	28	1,5	1,2			
16	28	1,4	1,2	30	1,4	1,2			
18	30	1,4	1,2	32	1,4	1,2			
20	32	1,4	1,2	34	1,4	1,2	39	1,4	1,2
8	20	2,1	1,7	22	2,1	1,7			
10	22	1,8	1,5	24	1,8	1,5			
12	24	1,6	1,3	26	1,6	1,3			
14	26	1,5	1,2	28	1,4	1,2			
16	28	1,4	1,1	30	1,4	1,1			
18	30	1,4	1,2	32	1,4	1,1			
20	32	1,4	1,2	34	1,4	1,2	39	1,4	1,2
			argon 90%			argon 90%			argon 90%
14	26	1,4	1,1	28	1,4	1,1			
16	28	1,3	1,1	30	1,3	1,1			
18	30	1,3	1,1	32	1,3	1,1			
20	32	1,4	1,1	34	1,3	1,1	39	1,3	1,1
			argon 90%			argon 90%			argon 90%
14	26	1,4	1,1	26	1,4	1,1			
16	28	1,3	1,0	28	1,3	1,0			
18	30	1,3	1,1	30	1,3	1,1			
20	32	1,3	1,1	32	1,3	1,1	39	1,3	1,1

Les valeurs d'émissivité indiquées sont conformes à la base de données CEKAL.

Les vitrages les plus performants peuvent être fabriqués avec intercalaire isolant, ce qui améliore sensiblement la performance  $U_w$  des fenêtres. Les tableaux de performance de nos menuiseries incluent cette possibilité.

## ■ Facteur solaire et transmission lumineuse des vitrages

Facteur Solaire g  
et  
Transmission Lumineuse TL

liste non limitative, à titre d'exemples

marques commerciales / émissivités		
Planibel Top N (AGC)		0,04
Clima Guard Premium (Guardian) iPlus Sun (Interpane) iPasol neutre 73/42 Optitherm S3 (Pilkington) Suncool 70/40 (Pilkington) Planibel Energy N (AGS) Planibel TOP NT Planistar (SGG) Planitherm ultra N (SGG) Sun-Guard Super Neutral 70/41		0,03
Planibel Energy NT (AGC) Stopray Vision 60-T iPasol neutre 50/27 (Interpane) iPasol neutre 68/37 iPasol natura 67/37 Sun-Guard Super Neutral 40/23		0,02
Sun-Guard E performance Planibel Top 1.0 (AGC) Planitherm One (SGG) CoolLite Xtrême 60/28 (SGG) iPlus 1.0 (Interpane)		0,01

### DOUBLE VITRAGES

Facteurs Solaires g (EN410)	Facteurs Lumineux TL (EN410)
épaisseurs verres 4+4	épaisseurs verres 4+4
couche basse émissivité en face 2	
0.60	0.78
0.63	0.80
0.43	0.71
0.42	0.73
0.61	0.80
0.39	0.71
0.42	0.71
0.64	0.80
0.42	0.71
0.58	0.80
0.41	0.70
0.45	0.75
0.37	0.60
0.27	0.50
0.37	0.68
0.37	0.67
0.23	0.40
0.42	0.66
0.50	0.70
0.49	0.71
0.28	0.60
0.53	0.74

## **Anexo D- Ficha Técnica da Luminária**



# LuxSpace montagem em superfície – elevada eficiência, conforto visual e design atraente

## LuxSpace, surface mounted

Os clientes procuram otimizar todos os recursos que possuem e tal implica não só os custos de funcionamento (energia, etc.) como também os recursos humanos disponíveis. A poupança de energia é, portanto, uma prioridade; contudo não deverá ter um efeito negativo no bem-estar dos funcionários, que necessitam de um ambiente agradável para serem mais produtivos, nem nos clientes, que pretendem desfrutar da experiência de compra. LuxSpace oferece a combinação perfeita entre eficiência, conforto da luz e design, sem comprometer o desempenho da iluminação (restituição cromática e uniformidade de cor). Disponibiliza várias opções para criar o ambiente pretendido, independentemente da aplicação.

### Benefícios

- Eficiência máxima em toda a gama: até 100 lm/W
- Cria uma luz suave e natural que assegura o conforto visual

## LuxSpace, surface mounted

### Informações gerais

Driver incluído	Sim
Fonte de luz substituível	Não
Número de unidades de equipamento	1 unidade
Service tag	Sim

### Caraterísticas técnicas da luz

Índice de Restituição Cromática (IRC)	>80
Tipo de ótica	-

### Funcionamento e caraterísticas elétricas

Classe de proteção IEC	Classe de segurança I
Tensão de entrada	220 a 240 V
Frequência de linha	50 to 60 Hz
Adequado para uma comutação aleatória	Sim

### Características mecânicas e compartimento

Cor do compartimento	Branco
Código de proteção mecânica contra impactos	IK02
Código de proteção de entrada	IP20

### Aprovação e aplicação

Intervalo de temperatura ambiente	+10 a +25 °C
Marca CE	Sim
Marca ENEC	Marca ENEC
Marca de inflamabilidade	Para montagem em superfícies normalmente inflamáveis
Teste de resistência do cabo	Temperatura 650 °C, duração 30 s

### Desempenho inicial (em conformidade com a IEC)

Tolerância do fluxo luminoso	+/-10%
------------------------------	--------

### Caraterísticas técnicas da luz

Order Code	Full Product Name	Temperatura de cor correlacionada (Nom.)	Eficácia luminosa (nominal) (Nom.)	Fluxo Luminoso
97088800	DN570C LED20S/830 PSU-E C WH	3000 K	134 lm/W	2.200 lm
97089500	DN570C LED20S/840 PSU-E C WH	4000 K	149 lm/W	2.200 lm
97090100	DN571C LED20S/830 PSU-E C WH	3000 K	134 lm/W	2.200 lm
97091800	DN571C LED20S/840 PSU-E C WH	4000 K	149 lm/W	2.200 lm
97092500	DN570C LED20S/830 DIA-VLC-E C WH	3000 K	134 lm/W	2.200 lm
97093200	DN570C LED20S/840 DIA-VLC-E C WH	4000 K	149 lm/W	2.200 lm
97094900	DN571C LED20S/830 DIA-VLC-E C WH	3000 K	134 lm/W	2.200 lm
97095600	DN571C LED20S/840 DIA-VLC-E C WH	4000 K	149 lm/W	2.200 lm
97096300	DN570C LED24S/830 PSU-E C WH	3000 K	130 lm/W	2.600 lm
97097000	DN570C LED24S/840 PSU-E C WH	4000 K	141 lm/W	2.600 lm
97098700	DN570C LED24S/830 DIA-VLC-E C WH	3000 K	130 lm/W	2.600 lm
97099400	DN570C LED24S/840 DIA-VLC-E C WH	4000 K	141 lm/W	2.600 lm
97100700	DN571C LED24S/830 DIA-VLC-E C WH	3000 K	130 lm/W	2.600 lm
97101400	DN571C LED24S/840 DIA-VLC-E C WH	4000 K	141 lm/W	2.600 lm
97102100	DN570C LED40S/830 PSU-E C WH	3000 K	133 lm/W	4.400 lm
97103800	DN570C LED40S/840 PSU-E C WH	4000 K	147 lm/W	4.400 lm
97104500	DN570C LED40S/830 DIA-VLC-E C WH	3000 K	133 lm/W	4.400 lm
97105200	DN570C LED40S/840 DIA-VLC-E C WH	4000 K	147 lm/W	4.400 lm

### Funcionamento e caraterísticas elétricas

Order Code	Full Product Name	Consumo de Energia	Order Code	Full Product Name	Consumo de Energia
97088800	DN570C LED20S/830 PSU-E C WH	16,4 W	97097000	DN570C LED24S/840 PSU-E C WH	18,4 W
97089500	DN570C LED20S/840 PSU-E C WH	14,8 W	97098700	DN570C LED24S/830 DIA-VLC-E C WH	20 W
97090100	DN571C LED20S/830 PSU-E C WH	16,4 W	97099400	DN570C LED24S/840 DIA-VLC-E C WH	18,4 W
97091800	DN571C LED20S/840 PSU-E C WH	14,8 W	97100700	DN571C LED24S/830 DIA-VLC-E C WH	20 W
97092500	DN570C LED20S/830 DIA-VLC-E C WH	16,4 W	97101400	DN571C LED24S/840 DIA-VLC-E C WH	18,4 W
97093200	DN570C LED20S/840 DIA-VLC-E C WH	14,8 W	97102100	DN570C LED40S/830 PSU-E C WH	33 W
97094900	DN571C LED20S/830 DIA-VLC-E C WH	16,4 W	97103800	DN570C LED40S/840 PSU-E C WH	30 W
97095600	DN571C LED20S/840 DIA-VLC-E C WH	14,8 W	97104500	DN570C LED40S/830 DIA-VLC-E C WH	33 W
97096300	DN570C LED24S/830 PSU-E C WH	20 W	97105200	DN570C LED40S/840 DIA-VLC-E C WH	30 W

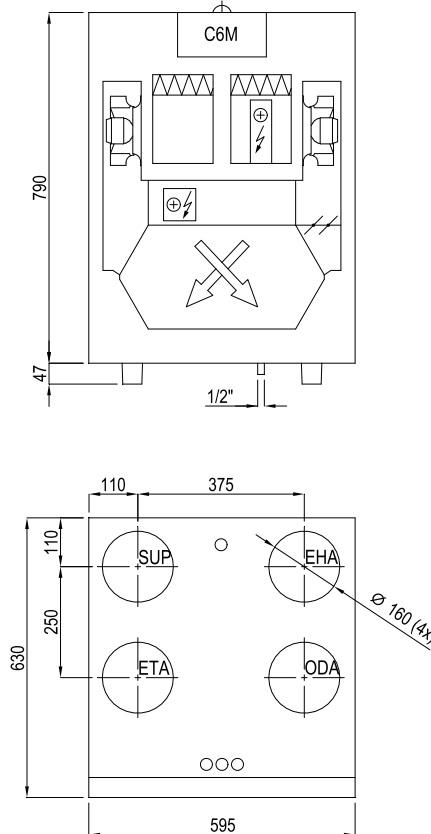
### Controlos e regulação

## **Anexo E- Ficha Técnica da Unidade de Recuperação de Calor**

Date: 04/09/2024

Air handling unit model:

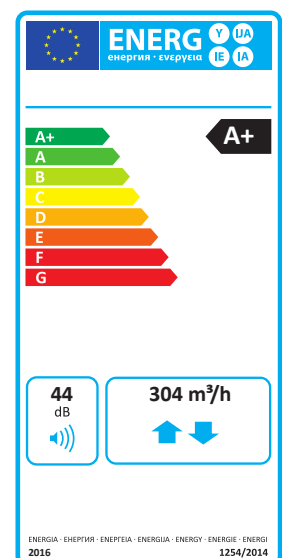
**POWERPLAY-95h-300-V-L1-F7/M5-C6M-X**



ODA - outdoor air  
SUP - supply air  
ETA - extract air  
EHA - exhaust air

**TECHNICAL SPECIFICATION**

Unit category		RVU
Unit type		BVU
Type of HRS		Counter flow heat exchanger
Heat exchanger type		Condensing
Panel thickness	[mm]	30
Dimensions bxhxl	[mm]	630×790×595
Duct connection	[mm]	4×160
Filter dimensions bxhxl	[mm]	365×132×46
Mass	[kg]	42
Max current	[A]	8,3
Supply voltage	[V]	1~ 230
Color		RAL 9003
Version		Vertical
Inspection side		Left



POWERPLAY-95h-300-V-L1-F7/M5-C6M-X

Heater		Electric
Motor type		EC motor
Controller		C6M
SPI	[W/(m³/h)]	0,28

**INPUT DATA**

Supply		
Nominal flow rate	[m³/h]	225
Nominal external pressure (ΔPs, ext.)	[Pa]	100
Exhaust		
Nominal flow rate	[m³/h]	225
Nominal external pressure (ΔPs, ext.)	[Pa]	100
Climate parameters		
Winter		
Outdoor temperature	[°C]	3,5
Outdoor relative humidity	[%]	82,0
Summer		
Outdoor temperature	[°C]	32,0
Outdoor relative humidity	[%]	37,0
Set point temperature		
Winter	[°C]	20,0

**CALCULATION DATA IN SPECIFIED WORKING POINT**

<b>AHU data</b>		
SFP	[kW/(m³/s)]	1,40
SFP (STR 2.01.02 2016)	[W·h/m³]	0,39
Energy class of the building (STR 2.01.02 2016)		A++

<b>Filter data</b>		
	Supply	Exhaust
Filter class(EN ISO 16890)	ePM1 60% (F7)	ePM10 50% (M5)
Pressure drop (clean filter)	[Pa]	61
		36

<b>Heat exchanger data</b>					
		Winter		Summer	
		Supply	Exhaust	Supply	Exhaust
Actual temp. efficiency	[%]	90,4		87,9	
Dry temp. efficiency	[%]	87,4		87,9	
Energy recovery	[kW]	1,2		-0,5	
Face velocity	[m/s]	1,2	1,2	1,2	1,2

POWERPLAY-95h-300-V-L1-F7/M5-C6M-X

Pressure drop	[Pa]	92	92	103	103
Inlet temperature	[°C]	3,5	20,0	32,0	25,0
Inlet rel. humidity	[%]	82	50	37	50
Outlet temperature	[°C]	18,4	7,1	25,8	31,2
Outlet rel. humidity	[%]	29	100	53	35
Condensation	[kg/h]		0,3	0,0	0,0

**Electric heater data**

		Winter
Capacity	[kW]	0,12
Outlet temperature	[°C]	20,0
Outlet rel. humidity	[%]	26,6
Max power	[kW]	0,5

**Fans data**

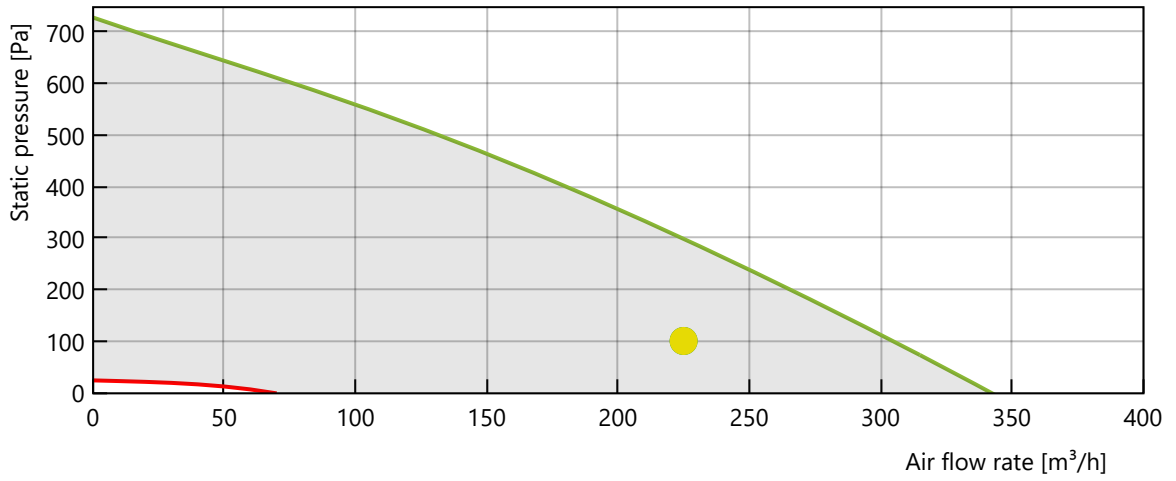
Input power	[W]	85,0	
Max current	[A]	0,8	
Nominal voltage	[V]	200..240	
Overall efficiency	[%]	40	
		Supply	Exhaust
Rotating speed	[RPM]	3102	2880
Running current	[A]	0,45	0,37
Static pressure	[Pa]	302	256
Usable power	[W]	48	40
Specific fan power	[kW/(m <sup>3</sup> /s)]	0,77	0,63

**ACOUSTICS DATA**

Frequency	[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)
Outdoor Lw	[dB]	50	51	50	50	49	44	39	35	53
Supply Lw	[dB]	61	66	68	67	64	61	57	50	69
Extract Lw	[dB]	49	49	48	47	47	42	38	33	51
Exhaust Lw	[dB]	59	63	65	64	61	59	55	48	66
Casing Lw	[dB]	54	55	53	42	39	34	25	19	47
Casing Lp 1 m	[dB]	51	52	49	38	35	30	22	16	43
Casing Lp 3 m	[dB]	46	47	40	30	29	22	15	9	36

POWERPLAY-95h-300-V-L1-F7/M5-C6M-X

PLOT



## **Anexo F- Ficha Técnica da Bomba de Calor**



Daikin Altherma high  
temperature split  
Technical Data  
EPSK06-10AV3





---

# TABLE OF CONTENTS

# EPSK06-10AV3

---

1	<b>Features</b>	4
	EPSK06-10AV3	4
2	<b>Specifications</b>	5
3	<b>Capacity graphs</b>	36
	Cooling Capacity Graphs	36
	Cooling Capacity Graphs - quiet mode	37
	Heating Capacity Graphs	38
	Heating Capacity Graphs - quiet mode	40
4	<b>Capacity tables</b>	42
	Certification Programs	42
	Domestic Hot Water performance	43
5	<b>Dimensional drawings</b>	45
6	<b>Piping diagrams</b>	46
7	<b>Wiring diagrams</b>	47
	Wiring Diagrams - Single Phase	47
8	<b>Sound data</b>	48
	Sound Pressure Spectrum - Cooling	48
	Sound Pressure Spectrum - Heating	49
	Sound Pressure Spectrum Quiet Mode	50
9	<b>Installation</b>	51
	Installation Method	51
	Installation Method in cascade applications	52
10	<b>Operation range</b>	53

# 1 Features

## 1 - 1 EPSK06-10AV3

- › Best-in-class heating capacity, ensuring warmth at cold ambient
- › Outdoor unit extracts heat from the outdoor air, even at -28°C
- › By heat pump operation only, the outdoor unit delivers a leaving water temperature of 70-75°C at -15°C ambient temperature
- › Ultra low sound level of 50-54 dBA
- › Choosing natural refrigerant R-290 product reduces the environmental impact, leading to lower energy consumption



-28°

Guaranteed operation down to -28°C




Onecta app (optional)



Online controller

## 2 Specifications

### 2 - 1 Specifications

Technical specifications				EPBX10A4V + EPSK06AV3	EPBX10A4V + EPSK08AV3	EPBX10A4V + EPSK10AV3		
Indoor unit				EPBX10AF4V				
Outdoor unit				EPSK06ARV3	EPSK08ARV3	EPSK10ARV3		
Heating capacity	Nom.		kW	5.81 (1)	7.62 (1)	8.11 (1)		
Cooling capacity	Nom.		kW	6.00 (2) / 6.37 (3)	6.89 (2) / 6.37 (3)	7.84 (2) / 6.37 (3)		
Power input	Heating	Nom.	kW	1.12 (1)	1.52 (1)	1.64 (1)		
	Cooling	Nom.	kW	1.55 (2) / 1.13 (3)	1.85 (2) / 1.13 (3)	2.17 (2) / 1.13 (3)		
COP				5.19 (1)	5.01 (1)	4.94 (1)		
EER				3.87 (2) / 5.63 (3)	3.73 (2) / 5.63 (3)	3.62 (2) / 5.63 (3)		
Pump	Nominal ESP	Heating unit	kPa	59.3				
General	Supplier/Manufacturer details	Name and address		Daikin Europe N.V. - Zandvoordestraat 300, 8400 Oostende, Belgium				
		Name or trademark		Daikin Europe N.V.				
	Product description	Air-to-water heat pump			Yes			
		Brine-to-water heat pump			No			
		Heat pump combination heater			No			
		Low-temperature heat pump			No			
		Supplementary heater integrated			Yes			
		Water-to-water heat pump			No			
	LW(A) Sound power level (according to EN14825)	dB(A)		dB(A)	45			
	LW(A) Sound power level (according to EN14825)	dB(A)		dB(A)	45		47	
Sound condition Ecodesign and energy label				Sound power in heating mode, measured according to the EN12102 under conditions of the EN14825. Ecodesign sound level is not representing the maximum sound level of this product				
Space heating general	Other	Capacity control		Inverter				
		Pck (Crankcase heater mode)		kW	0			
		Poff (Off mode)		kW	0.021			
		Psb (Standby mode)		kW	0.021			
		Pto (Thermostat off)		kW	0.021			
	Integrated supplementary heater	Psup		kW	4.5			
		Type of energy input			Electrical			
Space heating 	Average climate water outlet 55°C	General	Annual energy consumption	kWh	3,438	3,903	4,363	
			$\eta_s$ (Seasonal space heating efficiency)	%	153	156	158	
			Prated at -10°C	kW	6.5	7.5	8.5	
			SCOP		3.91	3.97	4.02	
			Seasonal space heating eff. class			A+++		
		A Condition (-7°CDB/-8°CWB)	Cdh (Degradation heating)			1		
			COPd			2.65	2.64	2.62
			Pdh		kW	5.7	6.6	7.4
			PERd		%	106	105.5	104.9


## 2 Specifications

### 2 - 1 Specifications

Technical specifications				EPBX10A4V + EPSK06AV3	EPBX10A4V + EPSK08AV3	EPBX10A4V + EPSK10AV3	
Space heating Average climate water outlet 55°C	B Condition (2°CDB/1°CWB)	Cdh (Degradation heating)		1			
		COPd		3.86	3.92	3.98	
		Pdh	kW	3.5	4.1	4.7	
		PERd	%	154.4	156.8	159.1	
	C Condition (7°CDB/6°CWB)	Cdh (Degradation heating)		1			
		COPd		4.68	4.8	4.93	
		Pdh	kW	2.3	2.6	2.9	
		PERd	%	187.2	192.1	197	
	D Condition (12°CDB/11°CWB)	Cdh (Degradation heating)		1			
		COPd		6.38	6.45	6.52	
		Pdh	kW		2.8		
		PERd	%	255.1	258	260.8	
	Tol (temperature operating limit)	COPd		2.38	2.33	2.28	
		Pdh		6.2	7.4	8.4	
		PERd		95.1	93	91.1	
		TOL			-10		
		WTOL			55		
	Rated heat output supplementary capacity	Psup (at Tdesign -10°C)		0.3		0	
		Tbiv (bivalent temperature)	COPd		2.65	2.33	2.28
			Pdh		5.7	7.4	8.4
PERd			106	93	91.1		
Tbiv			-7		-10		
Cold climate water outlet 55°C	General	Annual energy consumption		4,952	5,360	5,968	
		ηs (Seasonal space heating efficiency)		126	135	137	
		Prated at -22°C		6.5	7.5	8.5	
	A Condition (-7°CDB/-8°CWB)	Cdh (Degradation heating)		1			
		COPd		2.94	2.98	3.01	
		Pdh	kW	3.7	4.5	5.2	
		PERd	%	117.7	119.1	120.5	
	B Condition (2°CDB/1°CWB)	Cdh (Degradation heating)		1			
		COPd		3.79	3.99	4.18	
		Pdh	kW	2.3	2.9	3.4	
PERd		%	151.6	159.5	167.4		
C Condition (7°CDB/6°CWB)	Cdh (Degradation heating)		1				
	COPd		5.06	5.09	5.11		
	Pdh	kW		2.4			
	PERd	%	202.5	203.4	204.2		

## 2 Specifications

### 2 - 1 Specifications

Technical specifications			EPBX10A4V + EPSK06AV3	EPBX10A4V + EPSK08AV3	EPBX10A4V + EPSK10AV3		
Space heating 	Cold climate water outlet 55°C	D Condition (12°CDB- B/11°CWB)	COPd	6.72	6.55	6.38	
			Pdh	kW		2.9	
		PERd	%	268.9	262	255	
		Tol (tem- perature operating limit)	COPd		1.71		
			Pdh	kW	4.5	5.5	
		PERd	%		68.5		
		TOL	°C		-22		
		WTOL	°C		55		
		G Condition (-15°CDB/-)	COPd		2.3	2.24	2.19
			Pdh	kW	5.4	6.1	6.8
	PERd		%	91.8	89.6	87.4	
	Tbiv (bivalent tempera- ture)	COPd		2.3	2.24	2.19	
		Pdh	kW	5.4	6.1	6.8	
		PERd	%	91.8	89.6	87.4	
		Tbiv	°C		-15		
		Rated heat output sup- plementary capacity	Psup (at Tdesign -22°C) kW	2		3	
	Warm climate water outlet 55°C	General	Annual energy consumption	kWh	1,868	2,317	2,491
			ηs (Seasonal space heating efficiency)	%	183	186	179
			Prated at 2°C	kW	6.5	8.2	8.5
		B Condition (2°CDB- B/1°CWB)	Cdh (Degradation heating)			1	
COPd					3.04		
Pdh			kW		6.1		
		PERd	%		121.5		
C Condition (7°CDB- B/6°CWB)		Cdh (Degradation heating)			1		
		COPd		4.07		4.08	
		Pdh	kW	4.3		5.2	
	PERd	%	162.8		163.3		
D Condition (12°CDB- B/11°CWB)	Cdh (Degradation heating)			1			
	COPd		5.81		5.99		
	Pdh	kW		2.8			
	PERd	%	232.4		239.4		
Tbiv (bivalent tempera- ture)	COPd		3.43	3.45	3.51		
	Pdh	kW	5.6	6.9	7.4		
	PERd	%	137	138.1	140.2		
	Tbiv	°C		4			
Average climate water outlet 35°C	General	Annual energy consumption	kWh	2,624	3,009	3,408	
		ηs (Seasonal space heating efficiency)	%	202		203	

## 2 Specifications

### 2 - 1 Specifications

Technical specifications				EPBX10A4V + EPSK06AV3	EPBX10A4V + EPSK08AV3	EPBX10A4V + EPSK10AV3	
Space heating	Average climate water outlet	General	Prated at -10°C	kW	6.5	7.5	8.5
			SCOP		5.12	5.15	
	35°C		Seasonal space heating eff. class				A+++
A Condition		COPd		3.49		3.4	3.31
		(-7°C-	Pdh	kW	5.8	6.7	7.5
		B/-8°CWB)	PERd	%	139.7	136.1	132.4
		B Condition	Cdh (Degradation heating)				1
		(2°C-	COPd		5.04	5.06	5.07
		B/11°CWB)	Pdh	kW	3.4	4	4.6
			PERd	%	201.5	202.2	203
		C Condition	Cdh (Degradation heating)				0.9
		(7°C-	COPd		6.37	6.43	6.48
		B/6°CWB)	Pdh	kW	2.5	2.7	2.9
			PERd	%	254.9	257	259.2
		D Condition	Cdh (Degradation heating)				0.9
		(12°C-	COPd		8.15	8.23	8.3
		B/11°CWB)	Pdh	kW		2.9	
			PERd	%	325.9	329	332.2
		Tol (tem-	COPd		3.11	2.97	2.84
		perature	Pdh	kW	5.8	7.4	8.3
		operating	PERd	%	124.2	118.6	113.4
		limit)	TOL	°C		-10	
			WTOL	°C		35	
		G Condition	PERd				0
		(-15°CDB/-)					
		Tbiv	COPd		3.49	2.97	2.84
		(bivalent	Pdh	kW	5.8	7.4	8.3
		tempera-	PERd	%	139.7	118.6	113.4
		ture)	Tbiv	°C	-7	-10	
		Rated heat	Psup (at Tdesign -10°C)				0
		output sup-			0.7		
		plementary					
		capacity					
	Cold climate water outlet	General	Annual energy consumption		3,643	4,304	4,948
				ns (Seasonal space heating efficiency)	%	170	169
	35°C		Prated at -22°C		6.4	7.5	8.5
			A Condition	COPd		3.86	3.84
		(-7°C-	Pdh	kW	4.2	4.6	5
		B/-8°CWB)	PERd	%	154.4	153.7	153.1
		B Condition	Cdh (Degradation heating)				1
		(2°C-	COPd		5.04	4.94	4.84

## 2 Specifications

### 2 - 1 Specifications

Technical specifications				EPBX10A4V + EPSK06AV3	EPBX10A4V + EPSK08AV3	EPBX10A4V + EPSK10AV3			
Space heating 	Cold climate water outlet 35°C	B Condition (2°CDB/1°CWB)	Pdh	kW	2.5	2.9	3.2		
			PERd	%	201.4	197.4	193.8		
			Cdh (Degradation heating)				0.9		
		C Condition (7°CDB/6°CWB)	COPd		6.34	6.43	6.47		
			Pdh	kW		2.5			
			PERd	%	253.6	257.3	258.8		
		D Condition (12°CDB/11°CWB)	Cdh (Degradation heating)				0.9		
			COPd		7.71	7.85	7.98		
			Pdh	kW		2.9			
		Tol (temperature operating limit)	PERd	%	308.4	314.2	319.3		
			COPd			2.18			
			Pdh	kW	4.2		5.1		
		G Condition (-15°CDB/-)	PERd	%	87.1		87		
			TOL	°C		-22			
			WTOL	°C		35			
		Warm climate water outlet 35°C	General	Annual energy consumption		kWh	1,364	1,561	1,755
				ηs (Seasonal space heating efficiency)		%	252	254	256
				Prated at 2°C		kW	6.5	7.5	8.5
			B Condition (2°CDB/1°CWB)	Cdh (Degradation heating)				1	
				COPd		4.39			
				Pdh	kW	5.2			
			C Condition (7°CDB/6°CWB)	PERd	%	175.4			
				Cdh (Degradation heating)				1	
				COPd		5.88	5.86	5.84	
Tbiv (bivalent temperature)	Pdh		kW	4.1	5	5.9			
	PERd		%	235.4	234.6	233.7			
	COPd			4.85	4.79	4.72			
Rated heat output supplementary capacity	Pdh	kW	5.5	6.3	7.1				
	PERd	%	194.2	191.4	188.7				
	Psup (at Tdesign -22°C)	kW	2.2	2.4	3.4				
Space heating 	Warm climate water outlet 35°C	Tbiv (bivalent temperature)	Tbiv	°C	4				
			Cdh (Degradation heating)				0.9		
		D Condition (12°CDB/11°CWB)	COPd		7.81	8	8.18		
			Pdh	kW		2.9			
		PERd	%	312.4	319.8	327.2			

(1)Condition: Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 35°C (DT = 5°C) |

(2)Cooling: EW 12°C; LW 7°C; ambient conditions: 35°CDB |

(3)Cooling: EW 23°C; LW 18°C; ambient conditions: 35°CDB

Technical specifications				EPBX10A9W + EPSK06AV3	EPBX10A9W + EPSK08AV3	EPBX10A9W + EPSK10AV3
Indoor unit					EPBX10AF9W	
Outdoor unit				EPSK06ARV3	EPSK08ARV3	EPSK10ARV3
Heating capacity	Nom.		kW	5.81 (1)	7.62 (1)	8.11 (1)
Cooling capacity	Nom.		kW	6.00 (2) / 6.37 (3)	6.89 (2) / 6.37 (3)	7.84 (2) / 6.37 (3)
Power input	Heating	Nom.	kW	1.12 (1)	1.52 (1)	1.64 (1)
	Cooling	Nom.	kW	1.55 (2) / 1.13 (3)	1.85 (2) / 1.13 (3)	2.17 (2) / 1.13 (3)
COP				5.19 (1)	5.01 (1)	4.94 (1)
EER				3.87 (2) / 5.63 (3)	3.73 (2) / 5.63 (3)	3.62 (2) / 5.63 (3)
Pump	Nominal ESP	Heating unit	kPa	59.3		

# 4 Capacity tables

## 4 - 1 Certification Programs

4

### EPSK06-10AV3 EPSK08-10AW1 EPSK12-14AW1

Rated data for certification programmes - heating mode

Tamb [°C]	EWC [°C]	LWC [°C]	EPSK06ARV3		EPSK08ARV3		EPSK08ARW1		EPSK10ARV3		EPSK10ARW1		EPSK12ARW1		EPSK14ARW1		Used for:
			HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	
7/6	30	35	5,81	5,19	7,62	5,01	7,62	5,01	8,11	4,94	8,11	4,94	10,24	5,50	10,24	5,50	Keymark, EHPA
0/1	(30)	35	5,39	4,46	5,59	4,46	5,59	4,46	6,06	5,59	6,06	5,59	6,11	4,06	6,11	4,06	EHPA
-7/8	(35)	35	6,23	3,38	7,06	3,32	7,06	3,32	9,11	2,85	9,11	2,85	10,52	3,49	10,52	3,49	General
7/6	40	45	5,83	4,15	7,66	4,10	7,66	4,10	8,19	4,06	8,19	4,06	10,22	4,31	10,22	4,31	General
0/0	(40)	45	5,33	3,75	6,41	2,95	6,41	2,95	7,44	2,43	7,44	2,43	10,77	3,03	10,77	3,03	MCS
7/6	47	55	6,08	3,46	7,85	3,42	7,85	3,42	8,40	3,41	8,40	3,41	10,91	3,60	10,91	3,60	Keymark, EHPA

Rated data for certification programmes - cooling mode

Tamb [°C]	EWE [°C]	LWE [°C]	EPSK06ARV3		EPSK08ARV3		EPSK08ARW1		EPSK10ARV3		EPSK10ARW1		EPSK12ARW1		EPSK14ARW1		Used for:
			CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	
35	23	18	6,37	5,63	6,37	5,63	6,37	5,63	6,37	5,63	6,37	5,63	6,74	6,02	6,74	6,02	General
35	12	7	6,00	3,87	6,89	3,73	6,89	3,73	7,84	3,62	7,84	3,62	9,37	3,55	11,30	3,28	General

Nominal cooling capacity

Tamb [°C]	EWE [°C]	LWE [°C]	EPSK06ARV3		EPSK08ARV3		EPSK08ARW1		EPSK10ARV3		EPSK10ARW1		EPSK12ARW1		EPSK14ARW1		Used for:
			CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	
35	23	18	6,37	5,63	6,37	5,63	6,37	5,63	6,37	5,63	6,37	5,63	6,74	6,02	6,74	6,02	General
35	12	7	6,00	3,87	6,89	3,73	6,89	3,73	7,84	3,62	7,84	3,62	9,37	3,55	11,30	3,28	General

Seasonal data - cooling

PHE	EER	PLC	OCE	LWE [°C]		Low temperature Application		EPSK10ARV3	EPSK10ARW1	EPSK12ARW1	EPSK14ARW1
				7/6	0/1	7/6	0/1				
6,0	5,39	212	670	6,8	5,35	6,8	5,35	7,9	7,9	9,0	11,0
6,8	6,00	211	674	6,8	5,35	6,8	5,35	7,9	7,9	9,0	11,0
6,8	6,00	211	674	6,8	5,35	6,8	5,35	7,9	7,9	9,0	11,0
6,8	6,00	211	674	6,8	5,35	6,8	5,35	7,9	7,9	9,0	11,0

Rated data for certification programmes - domestic hot water performance

Indoor unit	Outdoor unit	EPN <sup>1</sup> /S1U <sup>1</sup> /118A <sup>1</sup>		EPN <sup>1</sup> /S1U <sup>1</sup> /123A <sup>1</sup>		EPN <sup>1</sup> /S1U <sup>1</sup> /123A <sup>1</sup>		EPN <sup>1</sup> /S1U <sup>1</sup> /123A <sup>1</sup>		EPN <sup>1</sup> /S1U <sup>1</sup> /123A <sup>1</sup>		Used for:
		Application	Application	Application	Application	Application	Application	Application	Application			
Application	Application	Average climate	Average climate	Average climate	Average climate	Average climate	Average climate	Average climate	Average climate	Average climate	Average climate	Keymark
Domestic hot water tank volume [l]	Domestic hot water tank volume [l]	180	180	220	220	294	294	477	477	30347	30347	
Tapping pattern	Tapping pattern	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	
Heat-up time (h:min:ss)	Heat-up time (h:min:ss)	1:13:41	1:08:50	1:39:48	1:39:48	2:13:56	2:13:56	3:18:51	3:18:51	4:43	4:43	
P <sub>in</sub> [°C]	P <sub>in</sub> [°C]	46,96	46,96	47,39	47,39	45,2	45,2	41,8	41,8	44,5	44,5	
P <sub>out</sub> [°C]	P <sub>out</sub> [°C]	42,1	43,9	42,1	43,9	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
V <sub>in</sub> [l]	V <sub>in</sub> [l]	204	204	253	253	145,0	145,0	150,4	150,4	235,4	235,4	
V <sub>out</sub> [l]	V <sub>out</sub> [l]	117,28	116,26	121,24	117,28	116,26	121,2	100,74	100,74	110,8	123,87	
COP <sub>HW</sub> [l]	COP <sub>HW</sub> [l]	2,93	2,91	3,03	2,93	2,91	3,03	2,52	2,52	2,77	3,10	

Symbols

HC	Heating capacity measured according to EN 14511	LWE	Leaving water evaporator temperature [°C]
CC	Cooling capacity, measured according to EN 14511	Tamb	Ambient temperature [°C DB/WB]
COP/EER	Coefficient of Performance/Energy efficiency ratio according to EN 14511	P <sub>in</sub>	Reference
EWC	Entering water condenser temperature [°C]	P <sub>out</sub>	Standby power input
LWC	Leaving water condenser temperature [°C]	V <sub>in</sub>	Equivalent domestic hot water volume [l]
EWE	Entering water evaporator temperature [°C]	P <sub>out</sub>	Efficiency [h]
		COP <sub>HW</sub>	Domestic hot water COP

4D155514

### EPSK06-10AV3 EPSK08-10AW1 EPSK12-14AW1

Rated data for certification programmes - heating mode  
Measured according to -UNI/TS 11300-

Condition	Tamb [°C]	LWC [°C]	PLR [%]	EPSK06ARV3		EPSK08ARV3		EPSK08ARW1		EPSK10ARV3		EPSK10ARW1		EPSK12ARW1		EPSK14ARW1	
				HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	HC [kW]	COP	HC [kW]	COP
A	-7/-8	34	100	6,22	3,45	7,94	3,22	7,94	3,22	8,51	2,82	8,51	2,82	10,44	3,12	13,74	2,80
B	2/1	30	100	4,88	3,96	5,94	3,62	5,94	3,62	6,94	3,47	6,94	3,47	9,50	4,36	11,09	3,76
C	7/6	27	100	5,91	6,48	7,55	5,82	7,55	5,82	9,64	5,39	9,64	5,39	10,62	5,87	10,73	4,79
D	12/11	24	100	6,96	8,58	6,96	8,58	6,96	8,58	8,36	7,80	8,36	7,80	10,96	9,09	13,50	8,26
A	-7/-8	52	100	6,47	2,60	8,18	2,46	8,18	2,46	9,76	2,38	9,76	2,38	12,22	2,49	13,87	2,19
B	2/1	42	100	4,44	2,99	5,89	3,00	5,89	3,00	7,25	3,00	7,25	3,00	9,44	3,43	10,93	3,19
C	7/6	36	100	5,95	5,22	7,65	4,90	7,65	4,90	9,81	4,68	9,81	4,68	12,28	5,34	10,52	4,24
D	12/11	30	100	4,87	7,53	6,30	7,14	6,30	7,14	8,25	6,85	8,25	6,85	10,41	7,82	12,91	6,96

Rated data for certification programmes - cooling mode  
Measured according to -UNI/TS 11300-

Condition	Tamb [°C]	LWE [°C]	PLR [%]	EPSK06ARV3		EPSK08ARV3		EPSK08ARW1		EPSK10ARV3		EPSK10ARW1		EPSK12ARW1		EPSK14ARW1	
				CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER	CC [kW]	EER
A	35	18	100	8,61	5,53	9,67	5,10	9,67	5,10	10,78	4,79	10,78	4,79	11,97	4,24	14,50	3,72
B	30	18	75	6,24	7,15	7,64	6,83	7,64	6,83	8,46	6,70	8,46	6,70	10,00	5,45	12,49	4,90
C	25	18	50	4,45	9,86	4,79	9,74	4,79	9,74	5,67	9,50	5,67	9,50	6,71	7,08	8,60	6,14
D	20	18	25	3,37	12,25	3,37	12,25	3,37	12,25	3,37	12,25	3,37	12,25	9,59	7,82	9,59	7,82
A	35	7	100	6,00	3,87	6,91	3,76	6,91	3,76	7,84	3,62	7,84	3,62	9,37	3,55	11,30	3,28
B	30	7	75	4,39	4,96	4,97	4,77	4,97	4,77	5,66	4,62	5,66	4,62	7,27	3,99	9,13	3,68
C	25	7	50	2,93	6,01	3,39	5,97	3,39	5,97	4,11	5,93	4,11	5,93	4,93	4,92	6,34	4,57
D	20	7	25	6,54	5,90	6,54	5,90	6,54	5,90	6,54	5,90	6,54	5,90	7,03	5,46	7,07	5,50

4D155514

## **Anexo G- Relatório de Cargas Térmicas**

## ÍNDICE

1. ARREFECIMIENTO.....	2
1.1. Zona 1.....	2
2. AQUECIMENTO.....	3
2.1. Zona 1.....	3
3. GRÁFICOS.....	3
3.1. Zona 1.....	3

# Relatório de cargas térmicas

## 1. ARREFECIMENTO

### 1.1. Zona 1

#### Resumo das cargas de arrefecimento da zona: Zona 1

	Externas					Internas		Ventilação			Totais			
	A (m <sup>2</sup> )	Condução (W)	Solar (W)	Inf. lat. (W)	Inf. sens. (W)	Lat. (W)	Sens. (W)	Caudal (l/s)	Lat. (W)	Sens. (W)	Lat. (W)	Sens. (W)	Total (W/m <sup>2</sup> )	Total (W)
Carga máxima de arrefecimento por compartimento														
Quarto 1 (Por defeito: Espaço)	17	56	0	0	0	48	102	6	-4	4	44	163	12	207
Quarto 2 (Por defeito: Espaço)	13	-10	643	0	0	43	75	5	-10	2	33	709	55	742
Quarto 3 (Por defeito: Espaço)	14	11	0	0	0	88	151	5	-15	2	74	163	17	237
WC 1 (Por defeito: Espaço)	5	22	0	0	0	34	97	2	-5	1	28	120	30	148
WC 2 (Por defeito: Espaço)	5	7	0	0	0	34	98	2	-6	1	28	106	24	134
WC 3 (Por defeito: Espaço)	3	6	0	0	0	34	91	1	-3	0	31	98	49	129
Cozinha (Por defeito: Espaço)	23	89	95	0	0	192	620	9	-24	3	168	807	43	975
Sala (Por defeito: Espaço)	27	8	1173	0	0	130	307	10	-20	3	110	1492	60	1602
Espaço_009 (Por defeito: Espaço)	10	14	0	0	0	34	108	4	-10	1	23	124	15	147
Hall 2 (Por defeito: Espaço)	11	19	0	0	0	34	111	4	-11	2	22	131	14	153
Carga máxima simultânea de arrefecimento para o conjunto de compartimentos: 21 de Outubro às 16h (15 hora solar aparente)														
Zona 1	127.5							48			474	3253	29.23	3727

#### Abreviaturas

A	Superfície
Condução	Cargas devidas aos ganhos de calor por condução
Solar	Cargas devidas aos ganhos de calor por radiação solar
Inf. lat.	Infiltração latente
Inf. sens.	Infiltração sensível
Lat.	Latente

# Relatório de cargas térmicas

Sens. | Sensível

## 2. AQUECIMENTO

### 2.1. Zona 1

#### Resumo das cargas de aquecimento da zona: Zona 1

	Externas				Ventilação			Totais			
	A (m <sup>2</sup> )	Condução (W)	Inf. lat. (W)	Inf. sens. (W)	Caudal (l/s)	Lat. (W)	Sens. (W)	Lat. Sens. (W)	Total (W/m <sup>2</sup> )	Total (W)	
Carga máxima de aquecimento por compartimento											
Quarto 1 (Por defeito: Espaço)	17.0	535	0	0	6	0	15	0	549	32.26	549
Quarto 2 (Por defeito: Espaço)	13.5	369	0	0	5	0	12	0	381	28.25	381
Quarto 3 (Por defeito: Espaço)	13.9	320	0	0	5	0	12	0	332	23.83	332
WC 1 (Por defeito: Espaço)	5.0	204	0	0	2	0	4	0	208	41.58	208
WC 2 (Por defeito: Espaço)	5.5	149	0	0	2	0	5	0	154	28.03	154
WC 3 (Por defeito: Espaço)	2.6	78	0	0	1	0	2	0	80	30.42	80
Cozinha (Por defeito: Espaço)	22.9	826	0	0	9	0	20	0	846	36.90	846
Sala (Por defeito: Espaço)	26.6	966	0	0	10	0	23	0	989	37.11	989
Espaço_009 (Por defeito: Espaço)	9.7	274	0	0	4	0	8	0	283	29.27	283
Hall 2 (Por defeito: Espaço)	10.7	321	0	0	4	0	9	0	331	30.94	331
Carga máxima simultânea de aquecimento para o conjunto de compartimentos											
Zona 1	127.5				48			0	4153	32.57	4153

#### Abreviaturas

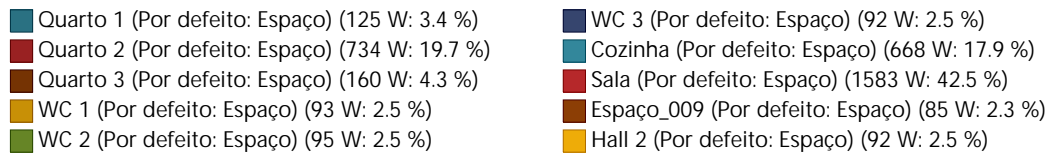
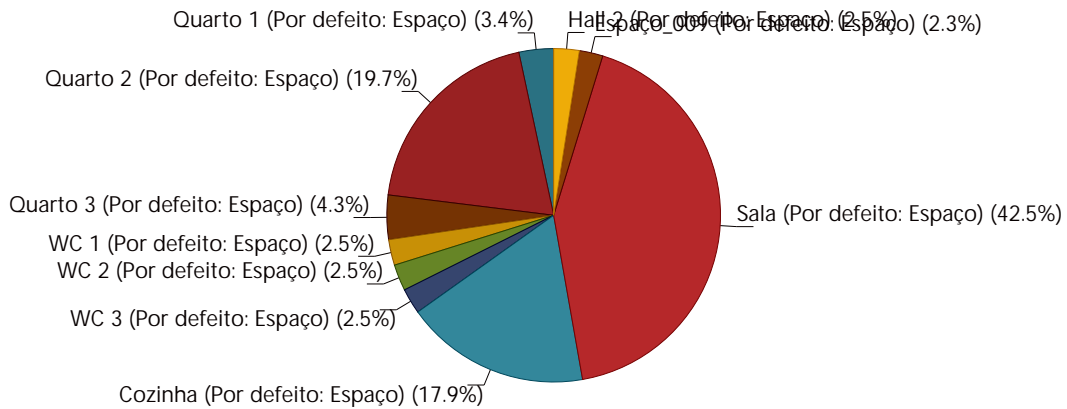
A	Superfície
Condução	Cargas devidas aos ganhos de calor por condução
Inf. lat.	Infiltração latente
Inf. sens.	Infiltração sensível
Lat.	Latente
Sens.	Sensível

## 3. GRÁFICOS

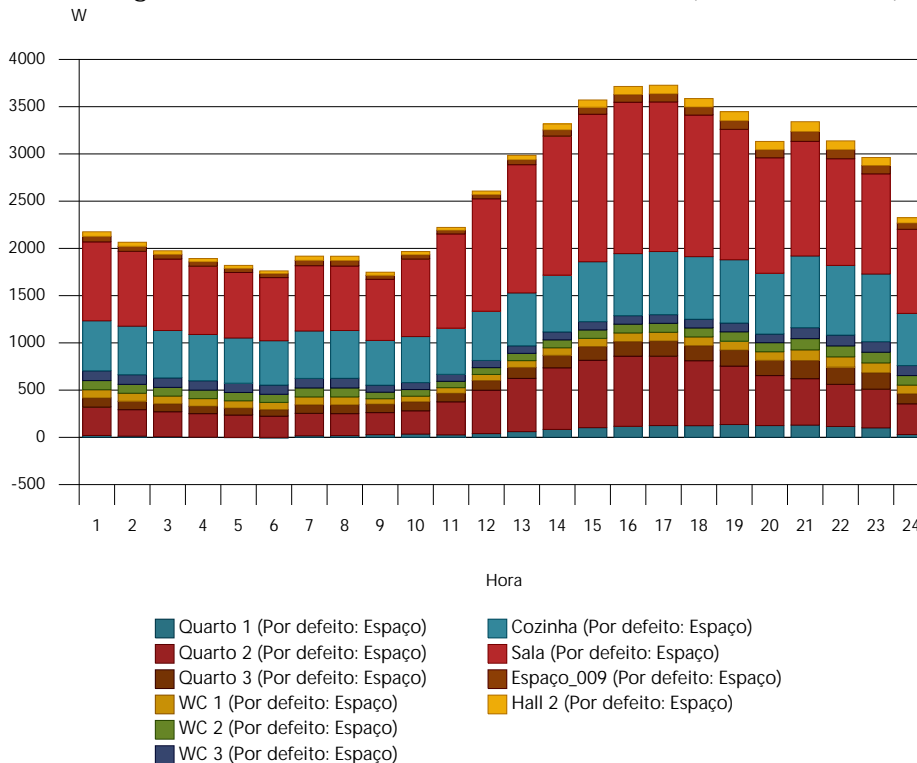
### 3.1. Zona 1

Carga máxima simultânea de arrefecimento (3727 W)  
21 de Outubro às 16h (15 hora solar aparente)

## Relatório de cargas térmicas

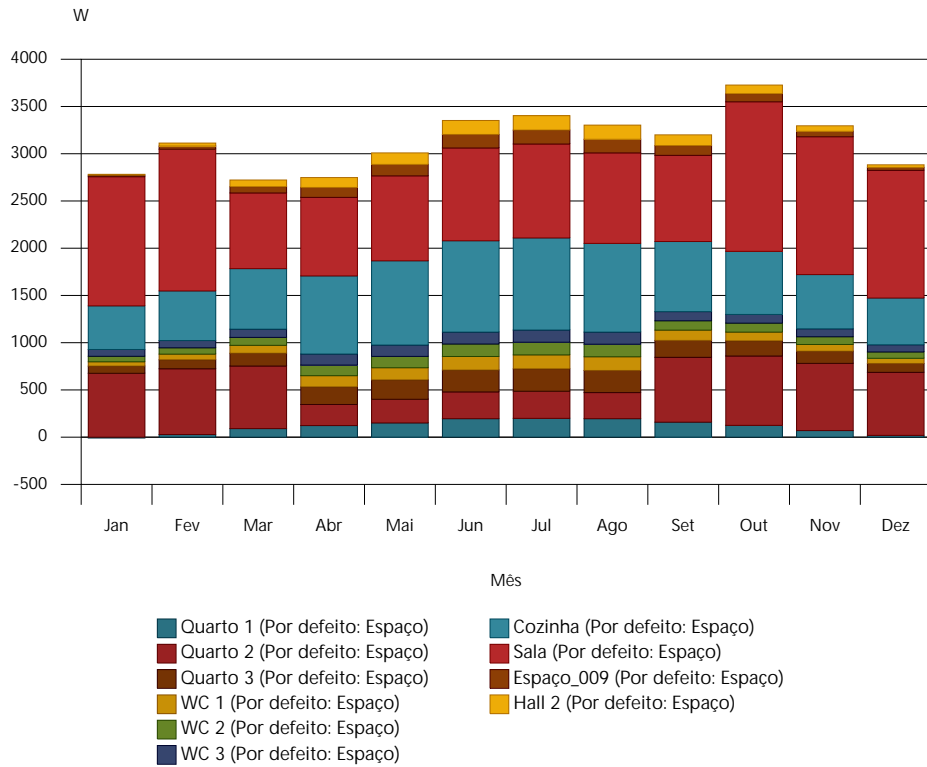


### Evolução horária da carga máxima simultânea de arrefecimento (21 de Outubro)

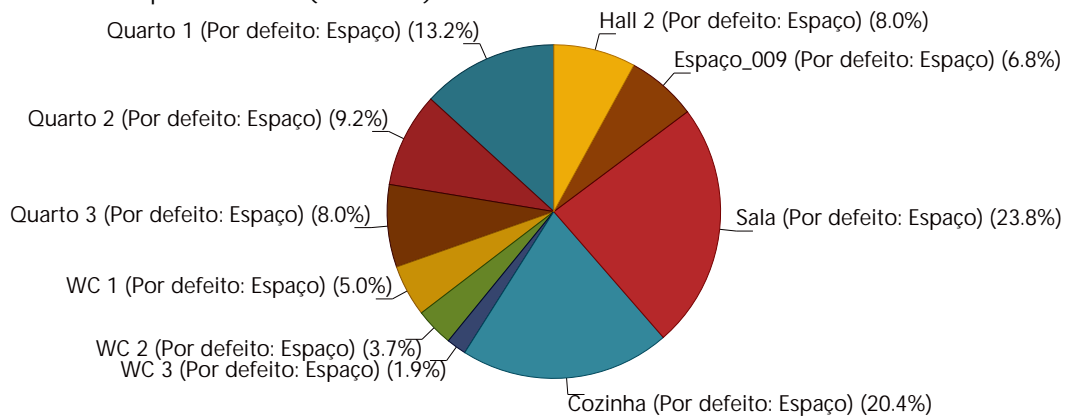


### Evolução anual da carga máxima simultânea de arrefecimento

# Relatório de cargas térmicas



## Carga máxima de aquecimento (4153 W)



Quarto 1 (Por defeito: Espaço) (549 W: 13.2 %)	WC 3 (Por defeito: Espaço) (80 W: 1.9 %)
Quarto 2 (Por defeito: Espaço) (381 W: 9.2 %)	Cozinha (Por defeito: Espaço) (846 W: 20.4 %)
Quarto 3 (Por defeito: Espaço) (332 W: 8.0 %)	Sala (Por defeito: Espaço) (989 W: 23.8 %)
WC 1 (Por defeito: Espaço) (208 W: 5.0 %)	Espaço_009 (Por defeito: Espaço) (283 W: 6.8 %)
WC 2 (Por defeito: Espaço) (154 W: 3.7 %)	Hall 2 (Por defeito: Espaço) (331 W: 8.0 %)

## **Anexo H- Relatório de Condensações para o Caso Inicial**

# Condensações

UNE EN ISO 13788

## ÍNDICE

1. QUARTOS 2/3 + WC 2.....	5
1.1. Por defeito: Parede.....	5
1.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	5
1.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	5
1.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	6
1.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	6
1.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	7
1.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	8
1.2. LC1.....	8
1.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	8
1.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	8
1.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	9
1.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	10
1.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	11
1.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	12
1.3. LP1.....	12
1.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	12
1.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	12
1.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	13
1.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	14
1.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	15
1.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	16
2. SUITE.....	16
2.1. Por defeito: Parede.....	16
2.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	16
2.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	17
2.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	17
2.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	18
2.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	19
2.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	20
2.2. LC1.....	20
2.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	20
2.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	20
2.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	21
2.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	22
2.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	23
2.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	24
2.3. LP1.....	24
2.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	24
2.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	24
2.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	25
2.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	26
2.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	27
2.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	28

3. HALLS + WC 3.....	28
3.1. Por defeito: Parede.....	28
3.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	28
3.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	29
3.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	29
3.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	30
3.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	31
3.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	32
3.2. Por defeito: Parede.....	32
3.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	32
3.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	32
3.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	33
3.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	34
3.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	35
3.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	36
3.3. LC1.....	36
3.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	36
3.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	36
3.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	37
3.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	38
3.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	39
3.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	40
3.4. LP1.....	40
3.4.1. Resultados do cálculo de condensações.....	40
3.4.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	40
3.4.3. Descrição do elemento construtivo.....	41
3.4.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	42
3.4.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	43
3.4.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	44
4. COZINHA.....	44
4.1. Por defeito: Parede.....	44
4.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	44
4.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	45
4.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	45
4.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	46
4.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	47
4.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	48
4.2. Por defeito: Parede.....	48
4.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	48
4.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	48
4.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	49
4.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	50
4.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	51
4.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	52
4.3. LC1.....	52
4.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	52
4.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	52
4.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	53

4.3.4.	Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	54
4.3.5.	Cálculo de condensações intersticiais.....	55
4.3.6.	Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	56
4.4.	LP1.....	56
4.4.1.	Resultados do cálculo de condensações.....	56
4.4.2.	Condições higrotérmicas de cálculo.....	56
4.4.3.	Descrição do elemento construtivo.....	57
4.4.4.	Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	58
4.4.5.	Cálculo de condensações intersticiais.....	59
4.4.6.	Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	60
5.	SALA.....	60
5.1.	Por defeito: Parede.....	60
5.1.1.	Resultados do cálculo de condensações.....	60
5.1.2.	Condições higrotérmicas de cálculo.....	61
5.1.3.	Descrição do elemento construtivo.....	61
5.1.4.	Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	62
5.1.5.	Cálculo de condensações intersticiais.....	63
5.1.6.	Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	64
5.2.	LC1.....	64
5.2.1.	Resultados do cálculo de condensações.....	64
5.2.2.	Condições higrotérmicas de cálculo.....	64
5.2.3.	Descrição do elemento construtivo.....	65
5.2.4.	Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	66
5.2.5.	Cálculo de condensações intersticiais.....	67
5.2.6.	Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	68
5.3.	LP1.....	68
5.3.1.	Resultados do cálculo de condensações.....	68
5.3.2.	Condições higrotérmicas de cálculo.....	68
5.3.3.	Descrição do elemento construtivo.....	69
5.3.4.	Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	70
5.3.5.	Cálculo de condensações intersticiais.....	71
5.3.6.	Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	72

# Condensações

## 1. QUARTOS 2/3 + WC 2

### 1.1. Por defeito: Parede

#### 1.1.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 1.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{R_{si}} = 0.779 \text{ }^3 f_{R_{si,min}} = 0.444$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{R_{si}}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.886 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{R_{si,min}}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \text{ } \approx 0.8$ .

##### 1.1.1.2. Condensação intersticial

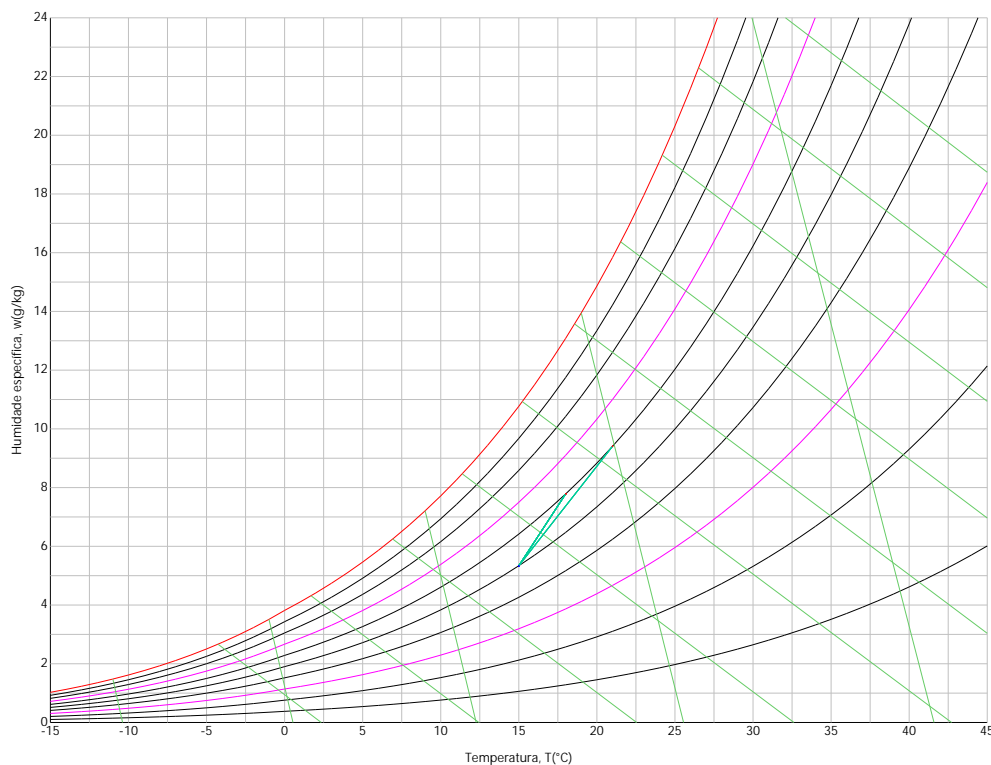
O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

### 1.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Condições exteriores</b>													
Temperatura, $\theta_e$	(°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$	(%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
<b>Condições interiores</b>													
Temperatura, $\theta_i$	(°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	21.0	21.0	21.0	21.0	18.0	18.0	18.0
Humidade relativa, $\phi_i$	(%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

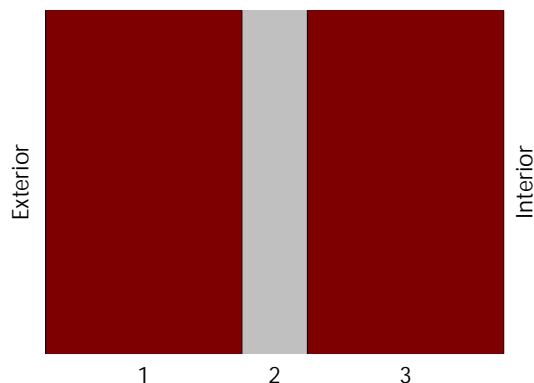
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 94 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



## Condensações

### 1.1.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogêneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

Por defeito: Parede		e (cm)	l (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
R <sub>se</sub>				0.04		
1	Tijolo cerâmico furado (15 cm)	15.0	0.385	0.38961	1	0.15
2	Caixa de ar	5.0		0.18000		0.01
3	Tijolo cerâmico furado (15 cm)	15.0	0.385	0.38961	1	0.15
R <sub>si</sub>				0.13		

onde:

- e: Espessura, cm.
- l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).
- R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.
- m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.
- S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.
- R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.
- R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogêneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e <sub>T</sub>	cm	35.0
Resistência térmica total, R <sub>T</sub>	m <sup>2</sup> ·K/W	1.1292
Espessura de ar equivalente total, S <sub>d,T</sub>	m	0.31
Transmitância térmica, U	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0.886
Factor de resistência superficial interior, f <sub>Rsi</sub>	--	0.779

onde:

- E<sub>T</sub>: Espessura total do elemento, cm.
- R<sub>T</sub>: Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais R<sub>se</sub> e R<sub>si</sub>, m<sup>2</sup>·K/W.
- S<sub>d,T</sub>: Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.
- U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).
- f<sub>Rsi</sub>: Factor de resistência superficial interior, calculado como (1 - U·R<sub>si</sub>), em que U = 0.886 W/m<sup>2</sup>·K e R<sub>si</sub> = 0.25 m<sup>2</sup>·K/W.

### 1.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de j<sub>si,cr</sub> £ 0.8 .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de f<sub>Rsi,min</sub> fica da seguinte forma:

## Condensações

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Fevereiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Março	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Abril	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Mai	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Junho	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Julho	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Agosto	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Setembro	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Outubro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Novembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Dezembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000

onde:

- $q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.
- $j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.
- $q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.
- $j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.
- $P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.
- $P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.
- $q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.
- $f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.779 > f_{Rsi,min} = 0.444$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.1.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Por defeito: Parede	$q$ (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	$j$ (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> .mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0		
Face exterior	15.11	1716.103	852.204	49.7	--	--
Interface 1-2	16.14	1833.750	1038.733	56.6	--	--
Interface 2-3	16.62	1890.449	1051.168	55.6	--	--
Face interior	17.65	2018.460	1237.698	61.3	--	--
Ar interior	18.00	2062.830	1237.698	60.0		

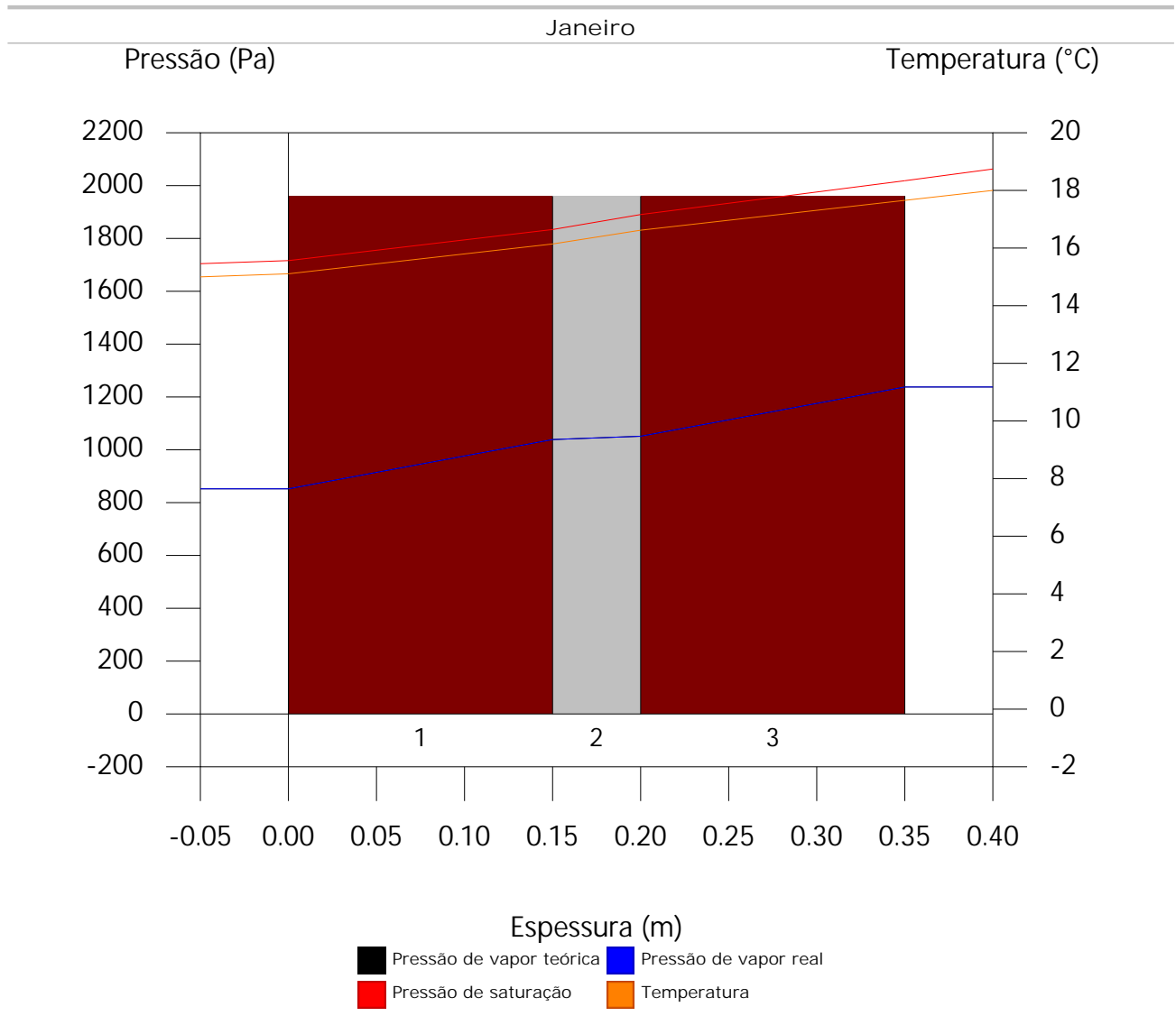
onde:

- $q$ : Temperatura, °C.
- $P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.
- $P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.
- $j$ : Humidade relativa, %.
- $g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).
- $M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

# Condensações

## 1.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## 1.2. LC1

### 1.2.1. Resultados do cálculo de condensações

#### 1.2.1.1. Condensação superficial

$$f_{R_{si}} = 0.324 \text{ } ^3 f_{R_{si, \min}} = 0.444$$

O elemento construtivo apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{R_{si}}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 2.703 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{R_{si, \min}}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si, cr}$  é 0.8.

#### 1.2.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

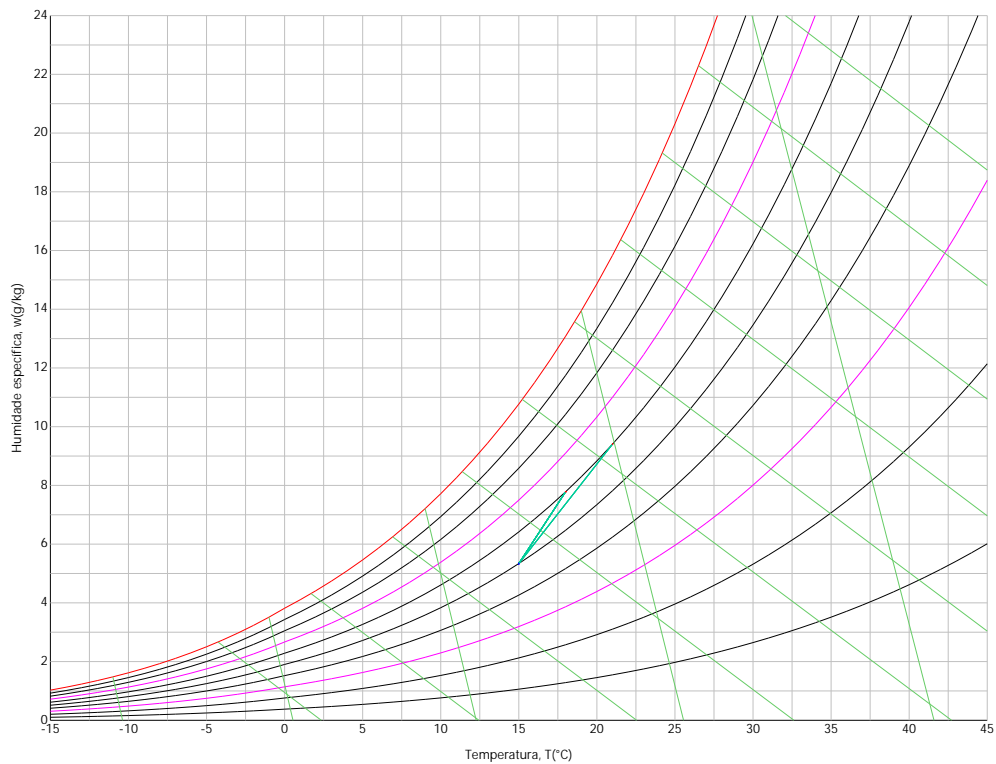
#### 1.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

# Condensações

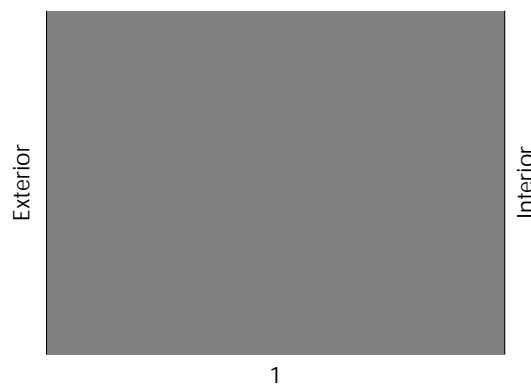
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	21.0	21.0	21.0	21.0	18.0	18.0	18.0
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 94 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 1.2.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogêneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

## Condensações

	LC1	e (cm)	l (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
R <sub>se</sub>				0.04		
1	P.A. Base blocos > 0,3_Furos=3_fluxoascendente (25 cm)	25.0	1.087	0.22999	1	0.25
R <sub>si</sub>				0.10		

onde:

- e: Espessura, cm.
- l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).
- R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.
- m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.
- S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.
- R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.
- R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e <sub>T</sub>	cm	25.0
Resistência térmica total, R <sub>T</sub>	m <sup>2</sup> ·K/W	0.3700
Espessura de ar equivalente total, S <sub>d,T</sub>	m	0.25
Transmitância térmica, U	W/(m <sup>2</sup> ·K)	2.703
Factor de resistência superficial interior, f <sub>Rsi</sub>	--	0.324

onde:

- E<sub>T</sub>: Espessura total do elemento, cm.
- R<sub>T</sub>: Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais R<sub>se</sub> e R<sub>si</sub>, m<sup>2</sup>·K/W.
- S<sub>d,T</sub>: Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.
- U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).
- f<sub>Rsi</sub>: Factor de resistência superficial interior, calculado como (1 - U·R<sub>si</sub>), em que U = 2.703 W/m<sup>2</sup>·K e R<sub>si</sub> = 0.25 m<sup>2</sup>·K/W.

### 1.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de j<sub>si,cr</sub> £ 0.8 .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de f<sub>Rsi,min</sub> fica da seguinte forma:

	q <sub>e</sub> (°C)	j <sub>e</sub> (%)	q <sub>i</sub> (°C)	j <sub>i</sub> (%)	P <sub>i</sub> (Pa)	P <sub>sat</sub> (q <sub>si</sub> ) (Pa)	q <sub>si,min</sub> (°C)	f <sub>Rsi,min</sub>
Janeiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Fevereiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Março	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Abril	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Mai	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Junho	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Julho	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Agosto	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Setembro	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Outubro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Novembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Dezembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000

onde:

- q<sub>e</sub>: Temperatura do ar exterior, °C.
- j<sub>e</sub>: Humidade relativa do ar exterior, %.
- q<sub>i</sub>: Temperatura do ar interior, °C.

## Condensações

- $j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.  
 $P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.  
 $P_{sat}(q_s)$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.  
 $q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.  
 $f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.324 < f_{Rsi,min} = 0.444$ , não se cumpre a condição de dimensionamento e consequentemente podem ser produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.2.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

LC1	q (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	j (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0		
Face exterior	15.32	1740.322	852.204	49.0	--	--
Face interior	17.19	1959.986	1237.698	63.1	--	--
Ar interior	18.00	2062.830	1237.698	60.0		

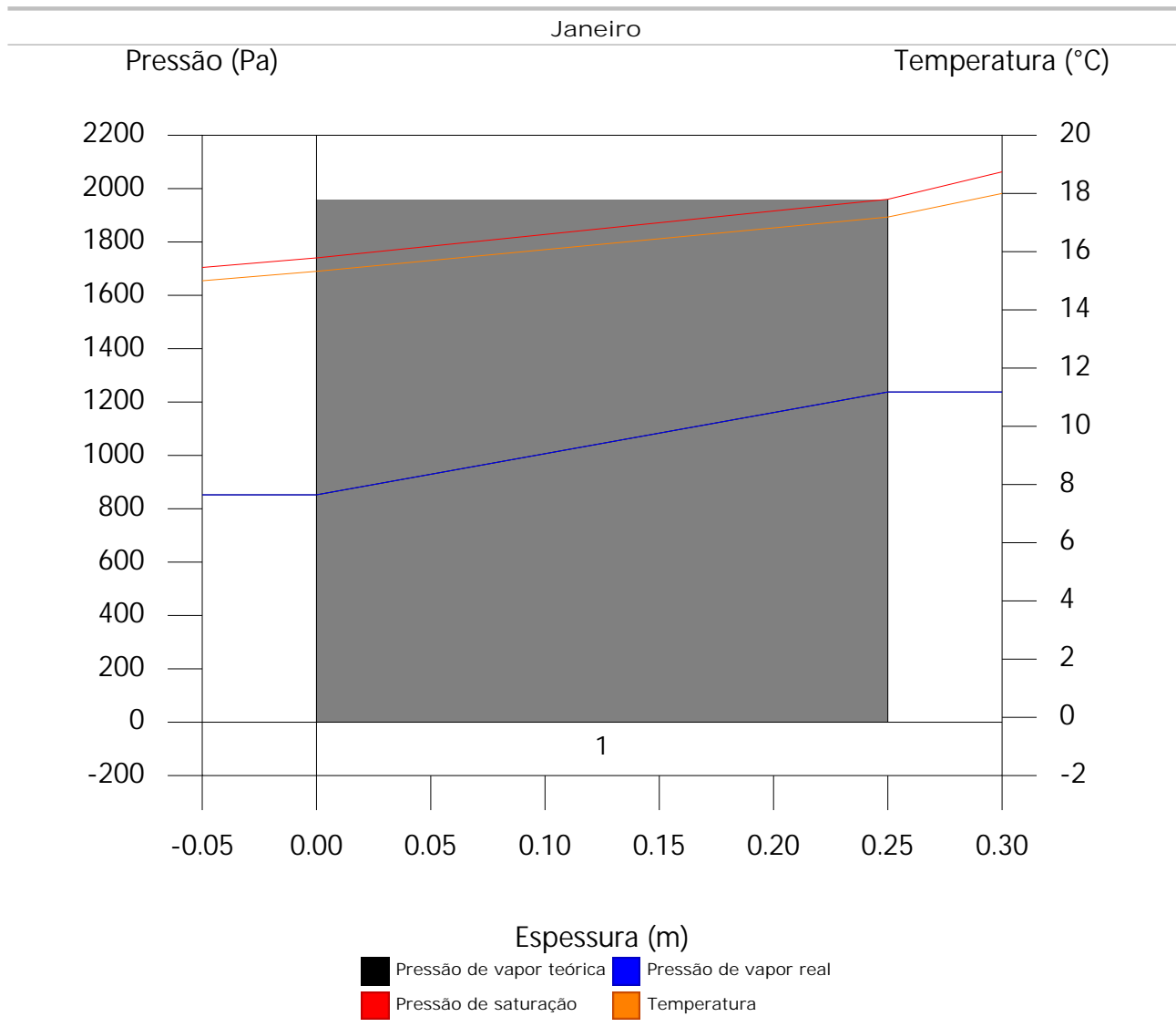
onde:

- $q$ : Temperatura, °C.  
 $P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.  
 $P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.  
 $j$ : Humidade relativa, %.  
 $g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).  
 $M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

# Condensações

## 1.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## 1.3. LP1

### 1.3.1. Resultados do cálculo de condensações

#### 1.3.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0,609 \text{ } ^3 f_{Rsi,min} = 0,444$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 1,563 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr}$  é 0,8.

#### 1.3.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

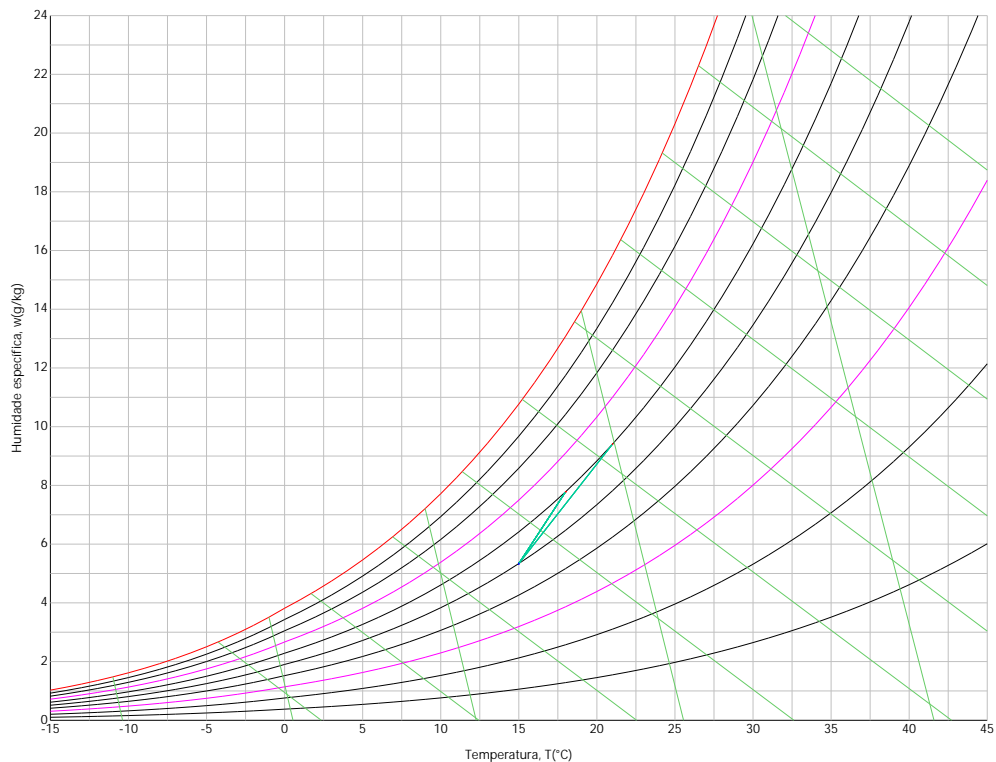
### 1.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

# Condensações

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Condições exteriores</b>												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
<b>Condições interiores</b>												
Temperatura, $\theta_i$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	21.0	21.0	21.0	21.0	18.0	18.0	18.0
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 94 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 1.3.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

## Condensações

	LP1	e (cm)	l (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
						0.17
1	P.A. Base blocos > 0,3_Furos=3_fluxodescendente (30 cm)	30.0	1.000	0.30000	1	0.3
						0.17

onde:

- e: Espessura, cm.
- l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).
- R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.
- m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.
- S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.
- R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.
- R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e <sub>T</sub>	cm	30.0
Resistência térmica total, R <sub>T</sub>	m <sup>2</sup> ·K/W	0.6400
Espessura de ar equivalente total, S <sub>d,T</sub>	m	0.30
Transmitância térmica, U	W/(m <sup>2</sup> ·K)	1.563
Factor de resistência superficial interior, f <sub>Rsi</sub>	--	0.609

onde:

- E<sub>T</sub>: Espessura total do elemento, cm.
- R<sub>T</sub>: Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais R<sub>se</sub> e R<sub>si</sub>, m<sup>2</sup>·K/W.
- S<sub>d,T</sub>: Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.
- U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).
- f<sub>Rsi</sub>: Factor de resistência superficial interior, calculado como (1 - U·R<sub>si</sub>), em que U = 1.563 W/m<sup>2</sup>·K e R<sub>si</sub> = 0.25 m<sup>2</sup>·K/W.

### 1.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de j<sub>si,cr</sub> £ 0.8 .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de f<sub>Rsi,min</sub> fica da seguinte forma:

	q <sub>e</sub> (°C)	j <sub>e</sub> (%)	q <sub>i</sub> (°C)	j <sub>i</sub> (%)	P <sub>i</sub> (Pa)	P <sub>sat</sub> (q <sub>si</sub> ) (Pa)	q <sub>si,min</sub> (°C)	f <sub>Rsi,min</sub>
Janeiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Fevereiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Março	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Abril	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Mai	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Junho	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Julho	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Agosto	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Setembro	15.0	50.0	21.0	65.0	1615.63	2019.54	17.7	0.444
Outubro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Novembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Dezembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000

onde:

- q<sub>e</sub>: Temperatura do ar exterior, °C.
- j<sub>e</sub>: Humidade relativa do ar exterior, %.
- q<sub>i</sub>: Temperatura do ar interior, °C.

## Condensações

- $j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.  
 $P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.  
 $P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.  
 $q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.  
 $f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.609 > f_{Rsi,min} = 0.444$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.3.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

LP1	q (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	j (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> ·mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0		
Face exterior	15.80	1793.836	852.204	47.5	--	--
Face interior	17.20	1961.717	1237.698	63.1	--	--
Ar interior	18.00	2062.830	1237.698	60.0		

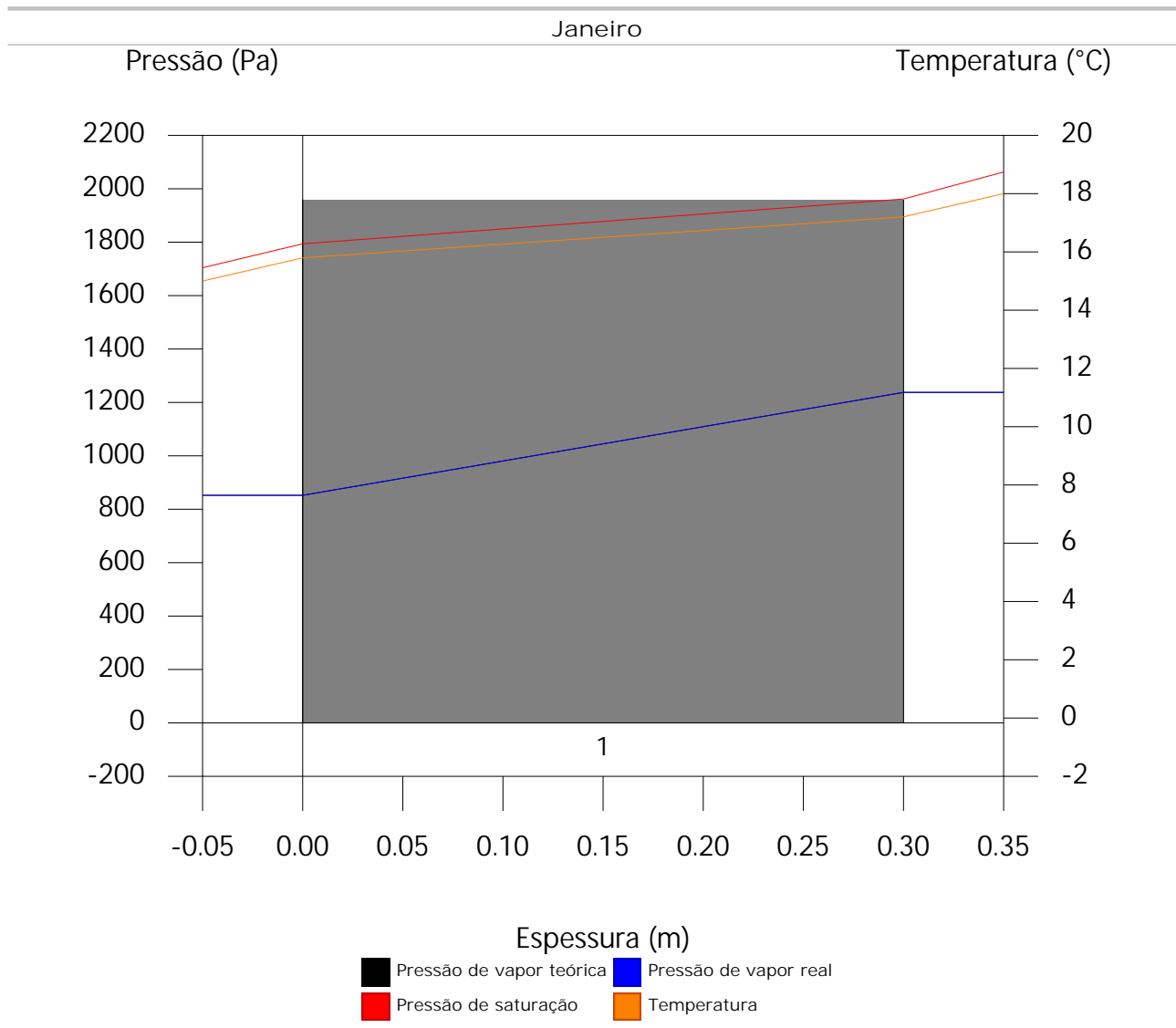
onde:

- $q$ : Temperatura, °C.  
 $P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.  
 $P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.  
 $j$ : Humidade relativa, %.  
 $g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>·mês).  
 $M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

# Condensações

## 1.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## 2. SUITE

### 2.1. Por defeito: Parede

#### 2.1.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 2.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{R_{si}} = 0.779 \text{ } ^3 f_{R_{si,min}} = 0.444$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{R_{si}}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.886 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{R_{si,min}}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr}$  é 0.8.

##### 2.1.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

## **Anexo I- Relatório de Condensações para o Caso Melhorado**

# Condensações

UNE EN ISO 13788

## ÍNDICE

1. QUARTOS 2/3 + WC 2.....	5
1.1. Por defeito: Parede.....	5
1.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	5
1.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	5
1.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	6
1.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	6
1.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	7
1.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	8
1.2. LC1.....	8
1.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	8
1.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	8
1.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	9
1.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	10
1.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	11
1.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	12
1.3. LP1.....	12
1.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	12
1.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	12
1.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	13
1.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	14
1.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	15
1.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	16
2. SUITE.....	16
2.1. Por defeito: Parede.....	16
2.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	16
2.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	17
2.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	17
2.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	18
2.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	19
2.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	20
2.2. LC1.....	20
2.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	20
2.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	20
2.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	21
2.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	22
2.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	23
2.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	24
2.3. LP1.....	24
2.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	24
2.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	24
2.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	25
2.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	26
2.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	27
2.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	28

3. HALLS + WC 3.....	28
3.1. Por defeito: Parede.....	28
3.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	28
3.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	29
3.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	29
3.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	30
3.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	31
3.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	32
3.2. Por defeito: Parede.....	32
3.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	32
3.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	32
3.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	33
3.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	34
3.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	35
3.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	36
3.3. LC1.....	36
3.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	36
3.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	36
3.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	37
3.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	38
3.3.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	39
3.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	40
3.4. LP1.....	40
3.4.1. Resultados do cálculo de condensações.....	40
3.4.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	40
3.4.3. Descrição do elemento construtivo.....	41
3.4.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	42
3.4.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	43
3.4.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	44
4. COZINHA.....	44
4.1. Por defeito: Parede.....	44
4.1.1. Resultados do cálculo de condensações.....	44
4.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	45
4.1.3. Descrição do elemento construtivo.....	45
4.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	46
4.1.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	47
4.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	48
4.2. Por defeito: Parede.....	48
4.2.1. Resultados do cálculo de condensações.....	48
4.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	48
4.2.3. Descrição do elemento construtivo.....	49
4.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	50
4.2.5. Cálculo de condensações intersticiais.....	51
4.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	52
4.3. LC1.....	52
4.3.1. Resultados do cálculo de condensações.....	52
4.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo.....	52
4.3.3. Descrição do elemento construtivo.....	53

4.3.4.	Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	54
4.3.5.	Cálculo de condensações intersticiais.....	55
4.3.6.	Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	56
4.4.	LP1.....	56
4.4.1.	Resultados do cálculo de condensações.....	56
4.4.2.	Condições higrotérmicas de cálculo.....	56
4.4.3.	Descrição do elemento construtivo.....	57
4.4.4.	Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	58
4.4.5.	Cálculo de condensações intersticiais.....	59
4.4.6.	Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	60
5.	SALA.....	60
5.1.	Por defeito: Parede.....	60
5.1.1.	Resultados do cálculo de condensações.....	60
5.1.2.	Condições higrotérmicas de cálculo.....	61
5.1.3.	Descrição do elemento construtivo.....	61
5.1.4.	Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	62
5.1.5.	Cálculo de condensações intersticiais.....	63
5.1.6.	Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	64
5.2.	LC1.....	64
5.2.1.	Resultados do cálculo de condensações.....	64
5.2.2.	Condições higrotérmicas de cálculo.....	64
5.2.3.	Descrição do elemento construtivo.....	65
5.2.4.	Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	66
5.2.5.	Cálculo de condensações intersticiais.....	67
5.2.6.	Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	68
5.3.	LP1.....	68
5.3.1.	Resultados do cálculo de condensações.....	68
5.3.2.	Condições higrotérmicas de cálculo.....	68
5.3.3.	Descrição do elemento construtivo.....	69
5.3.4.	Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica.....	70
5.3.5.	Cálculo de condensações intersticiais.....	71
5.3.6.	Representação gráfica das condensações intersticiais previstas.....	72

# Condensações

## 1. QUARTOS 2/3 + WC 2

### 1.1. Por defeito: Parede

#### 1.1.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 1.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.909 \text{ }^3 f_{Rsi,min} = 0.709$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.364 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr} \approx 0.8$ .

##### 1.1.1.2. Condensação intersticial

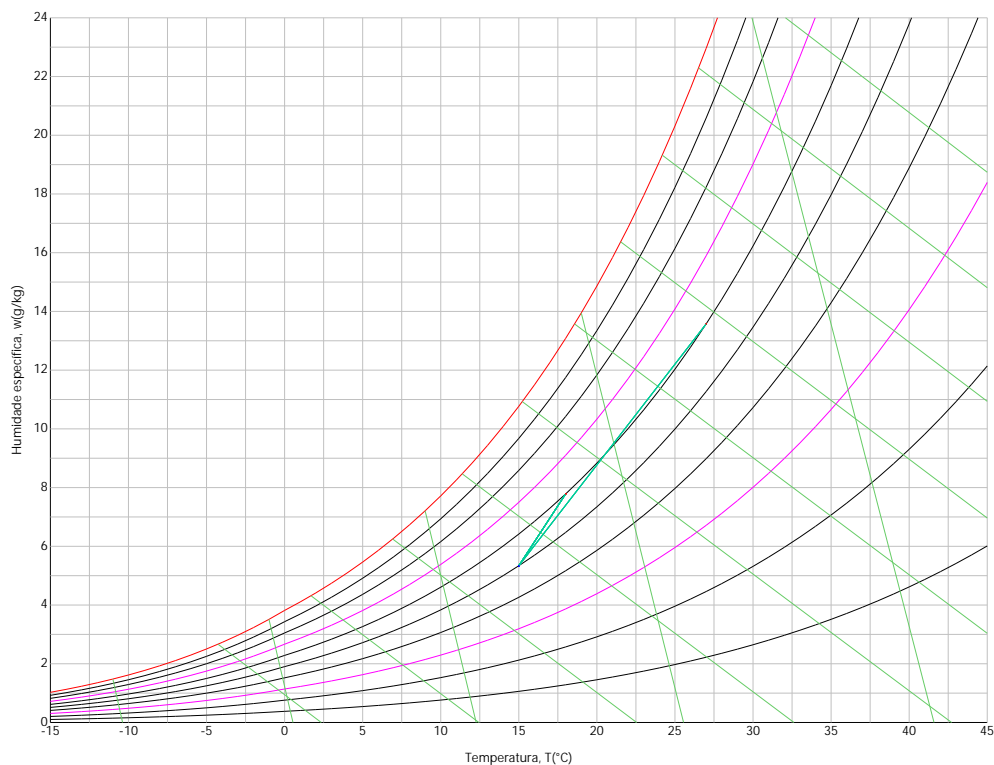
O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

### 1.1.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Condições exteriores</b>													
Temperatura, $\theta_e$	(°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$	(%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
<b>Condições interiores</b>													
Temperatura, $\theta_i$	(°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	27.0	27.0	27.0	27.0	18.0	18.0	18.0
Humidade relativa, $\phi_i$	(%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

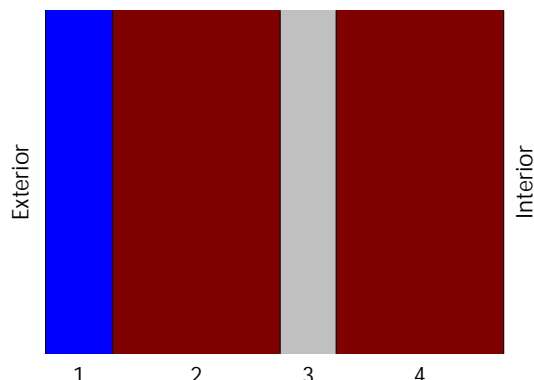
O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 94 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



## Condensações

### 1.1.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogêneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

Por defeito: Parede		e (cm)	l (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
<b>R<sub>se</sub></b>				0.04		
1	Poliestireno extrudido (XPS)	6.0	0.037	1.62162	1	0.06
2	Tijolo cerâmico furado (15 cm)	15.0	0.385	0.38961	1	0.15
3	Referência	5.0		0.18000		0.01
4	Tijolo cerâmico furado (15 cm)	15.0	0.385	0.38961	1	0.15
<b>R<sub>si</sub></b>				0.13		

onde:

- e: Espessura, cm.
- l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).
- R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.
- m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.
- S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.
- R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.
- R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogêneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e <sub>T</sub>	cm	41.0
Resistência térmica total, R <sub>T</sub>	m <sup>2</sup> ·K/W	2.7508
Espessura de ar equivalente total, S <sub>d,T</sub>	m	0.37
Transmitância térmica, U	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0.364
Factor de resistência superficial interior, f <sub>Rsi</sub>	--	0.909

onde:

- E<sub>T</sub>: Espessura total do elemento, cm.
- R<sub>T</sub>: Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais R<sub>se</sub> e R<sub>si</sub>, m<sup>2</sup>·K/W.
- S<sub>d,T</sub>: Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.
- U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).
- f<sub>Rsi</sub>: Factor de resistência superficial interior, calculado como (1 - U·R<sub>si</sub>), em que U = 0.364 W/m<sup>2</sup>·K e R<sub>si</sub> = 0.25 m<sup>2</sup>·K/W.

### 1.1.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de j<sub>si,cr</sub> £ 0.8 .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de f<sub>Rsi,min</sub> fica da seguinte

## Condensações

forma:

	$q_e$ (°C)	$j_e$ (%)	$q_i$ (°C)	$j_i$ (%)	$P_i$ (Pa)	$P_{sat}(q_{si})$ (Pa)	$q_{si,min}$ (°C)	$f_{Rsi,min}$
Janeiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Fevereiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Março	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Abril	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Maio	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Junho	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Julho	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Agosto	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Setembro	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Outubro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Novembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Dezembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000

onde:

- $q_e$ : Temperatura do ar exterior, °C.
- $j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.
- $q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.
- $j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.
- $P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.
- $P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.
- $q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.
- $f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.909 > f_{Rsi,min} = 0.709$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.1.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

Por defeito: Parede	$q$ (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	$j$ (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> .mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0		
Face exterior	15.04	1709.200	852.204	49.9	--	--
Interface 1-2	16.81	1913.711	914.716	47.8	--	--
Interface 2-3	17.24	1965.928	1070.998	54.5	--	--
Interface 3-4	17.43	1990.471	1081.417	54.3	--	--
Face interior	17.86	2044.514	1237.698	60.5	--	--
Ar interior	18.00	2062.830	1237.698	60.0		

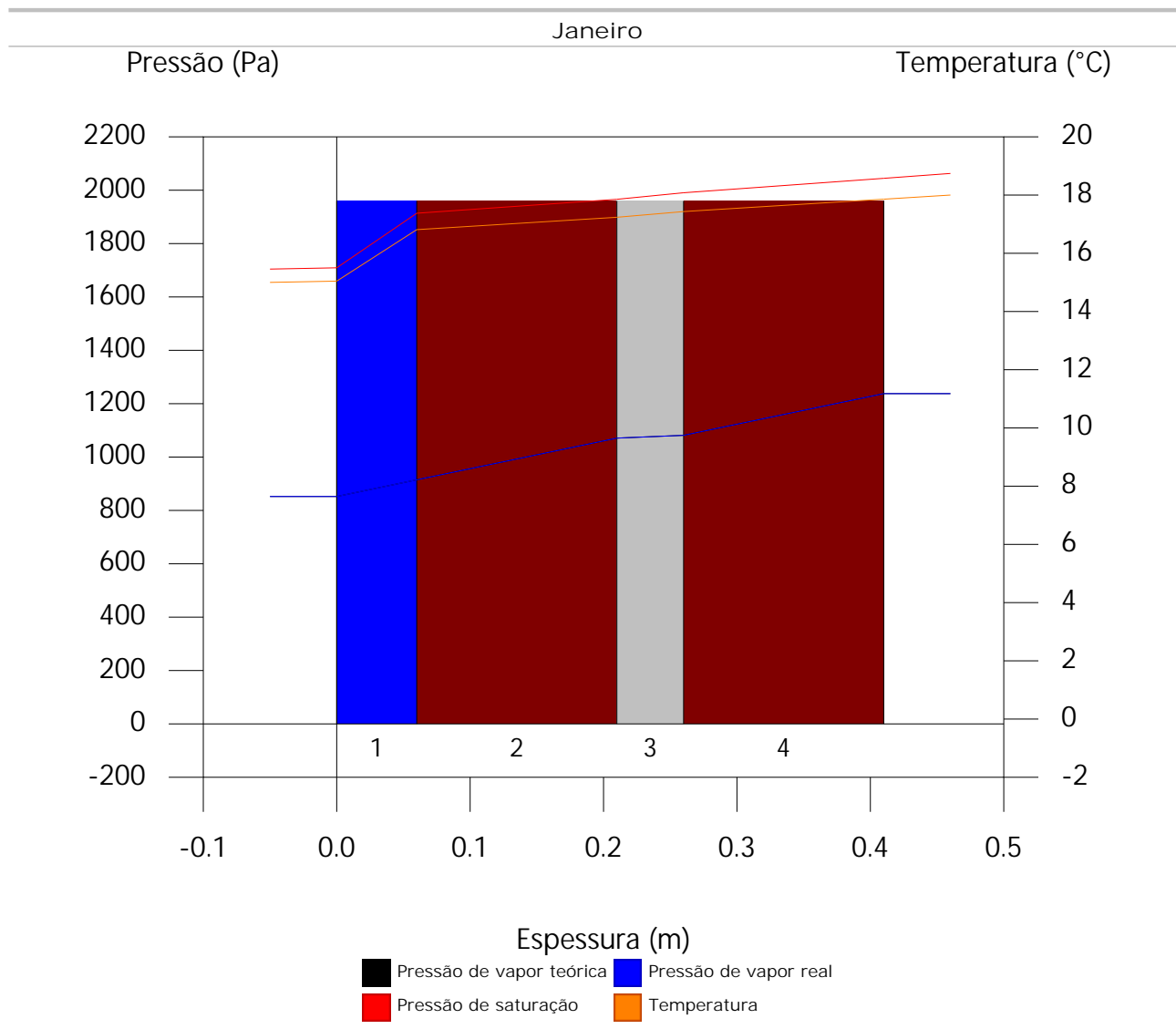
onde:

- $q$ : Temperatura, °C.
- $P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.
- $P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.
- $j$ : Humidade relativa, %.
- $g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).
- $M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

# Condensações

## 1.1.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## 1.2. LC1

### 1.2.1. Resultados do cálculo de condensações

#### 1.2.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.864 \cdot f_{Rsi,min} = 0.709$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.546 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr}$  é 0.8.

#### 1.2.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

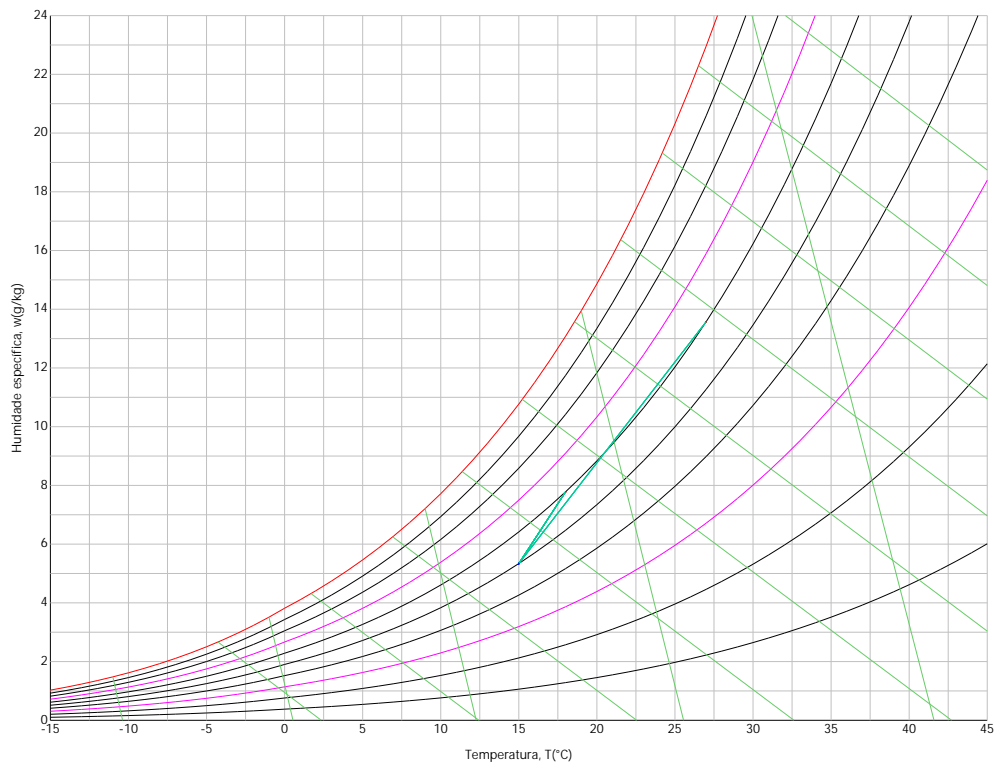
### 1.2.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

# Condensações

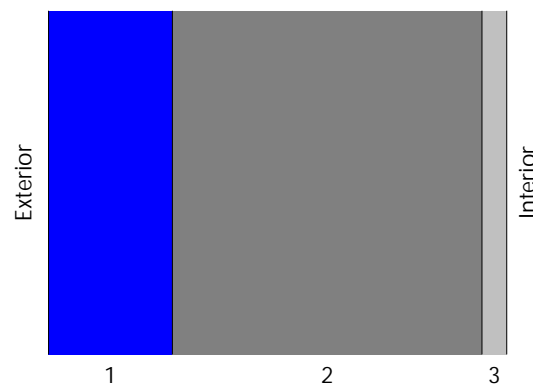
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Condições exteriores</b>												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
<b>Condições interiores</b>												
Temperatura, $\theta_i$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	27.0	27.0	27.0	27.0	18.0	18.0	18.0
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 94 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 1.2.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogêneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

## Condensações

LC1		e (cm)	l (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
<b>R<sub>se</sub></b>				0.04		
1	Poliestireno extrudido (XPS)	10.0	0.074	1.35135	1	0.1
2	P.A. Base blocos > 0,3_Furos=3_fluxoascendente (25 cm)	25.0	1.087	0.22999	1	0.25
3	Estuque com inertes leves	2.0	0.180	0.11111	1	0.02
<b>R<sub>si</sub></b>				0.10		

onde:

- e: Espessura, cm.
- l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).
- R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.
- m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.
- S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.
- R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.
- R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e <sub>T</sub>	cm	37.0
Resistência térmica total, R <sub>T</sub>	m <sup>2</sup> ·K/W	1.8325
Espessura de ar equivalente total, S <sub>d,T</sub>	m	0.37
Transmitância térmica, U	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0.546
Factor de resistência superficial interior, f <sub>Rsi</sub>	--	0.864

onde:

- E<sub>T</sub>: Espessura total do elemento, cm.
- R<sub>T</sub>: Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais R<sub>se</sub> e R<sub>si</sub>, m<sup>2</sup>·K/W.
- S<sub>d,T</sub>: Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.
- U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).
- f<sub>Rsi</sub>: Factor de resistência superficial interior, calculado como (1 - U·R<sub>si</sub>), em que U = 0.546 W/m<sup>2</sup>·K e R<sub>si</sub> = 0.25 m<sup>2</sup>·K/W.

### 1.2.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de j<sub>si,cr</sub> £ 0.8 .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de f<sub>Rsi,min</sub> fica da seguinte forma:

	q <sub>e</sub> (°C)	j <sub>e</sub> (%)	q <sub>i</sub> (°C)	j <sub>i</sub> (%)	P <sub>i</sub> (Pa)	P <sub>sat</sub> (q <sub>si</sub> ) (Pa)	q <sub>si,min</sub> (°C)	f <sub>Rsi,min</sub>
Janeiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Fevereiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Março	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Abril	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Mai	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Junho	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Julho	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Agosto	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Setembro	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Outubro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Novembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Dezembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000

onde:

- q<sub>e</sub>: Temperatura do ar exterior, °C.

## Condensações

- $j_e$ : Humidade relativa do ar exterior, %.
- $q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.
- $j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.
- $P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.
- $P_{sat}(q_s)$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.
- $q_{s,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.
- $f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.864 > f_{Rsi,min} = 0.709$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.2.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

LC1	$q$ (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	$j$ (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> .mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0		
Face exterior	15.07	1711.606	852.204	49.8	--	--
Interface 1-2	17.28	1971.011	956.391	48.5	--	--
Interface 2-3	17.65	2018.428	1216.860	60.3	--	--
Face interior	17.84	2041.692	1237.698	60.6	--	--
Ar interior	18.00	2062.830	1237.698	60.0		

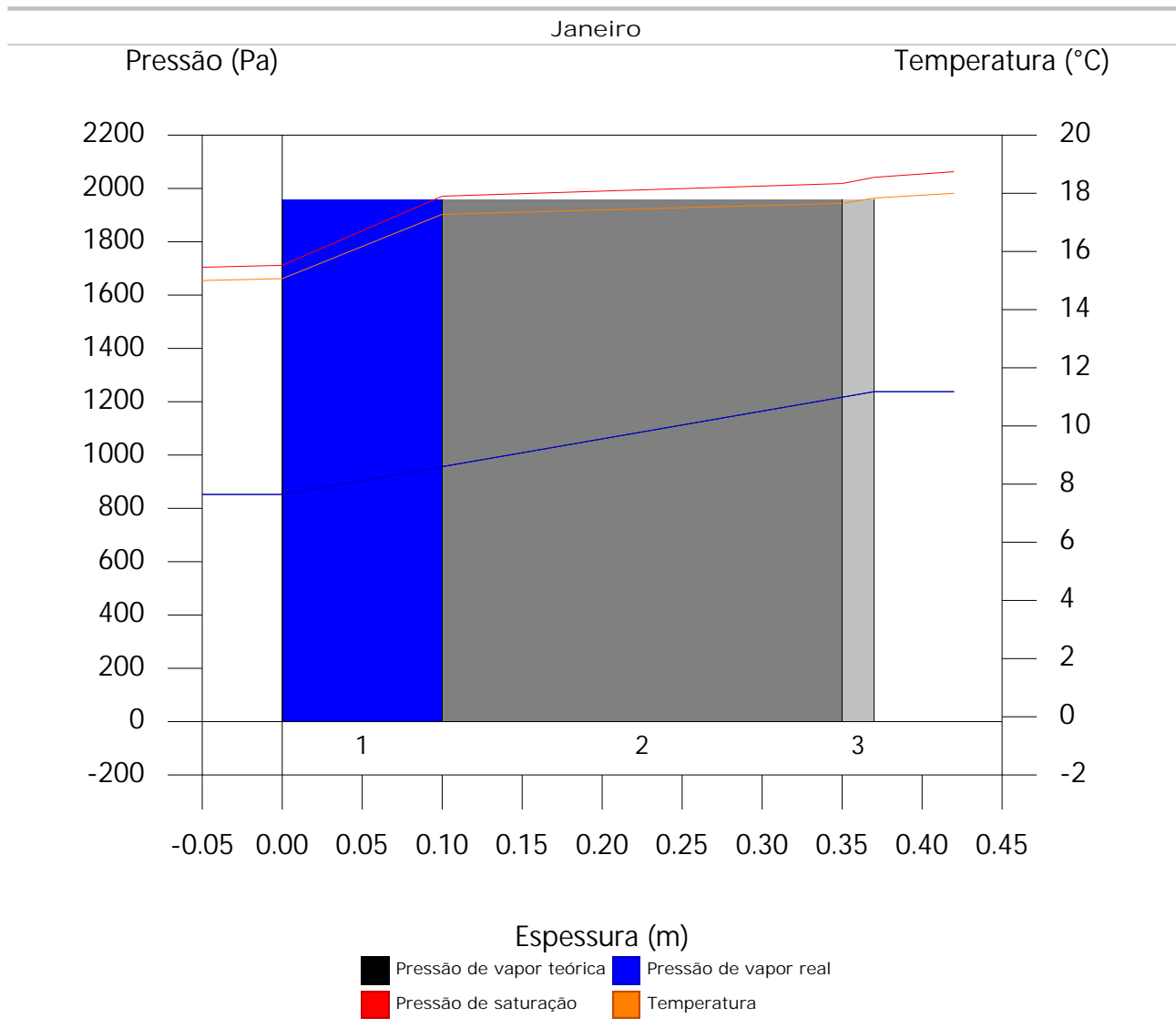
onde:

- $q$ : Temperatura, °C.
- $P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.
- $P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.
- $j$ : Humidade relativa, %.
- $g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).
- $M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

# Condensações

## 1.2.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## 1.3. LP1

### 1.3.1. Resultados do cálculo de condensações

#### 1.3.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.874 \text{ } ^3 f_{Rsi, \min} = 0.709$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.502 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi, \min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si, cr}$  é 0.8.

#### 1.3.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

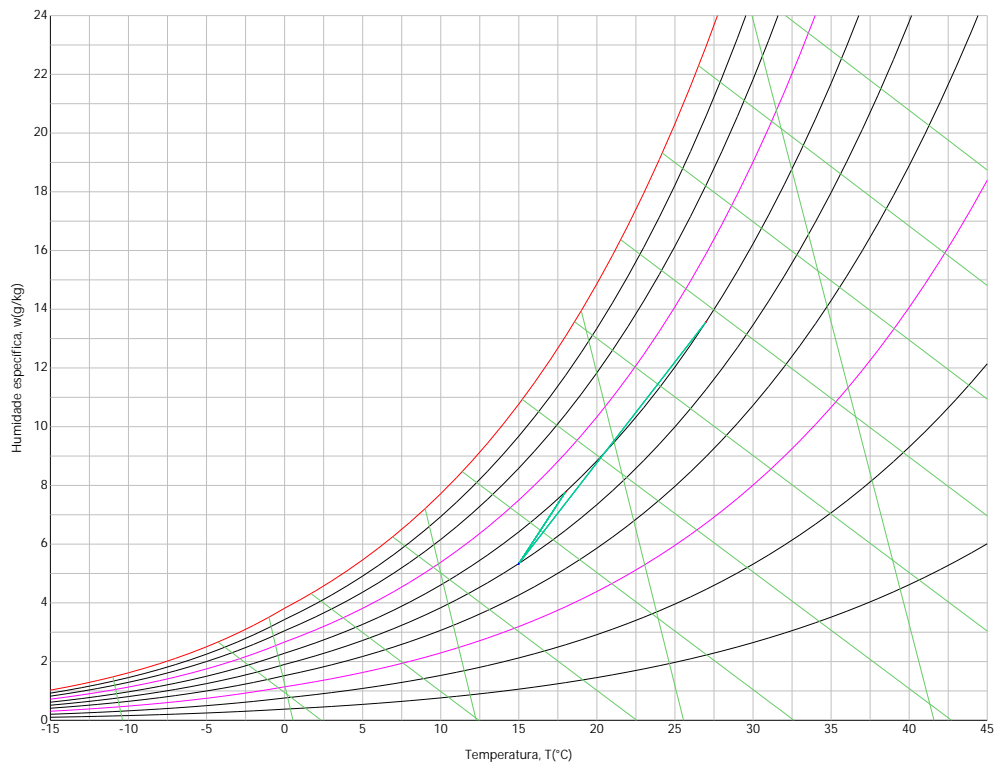
#### 1.3.2. Condições higrotérmicas de cálculo

As condições higrotérmicas exteriores e interiores utilizadas para realizar o cálculo de condensações são as seguintes:

# Condensações

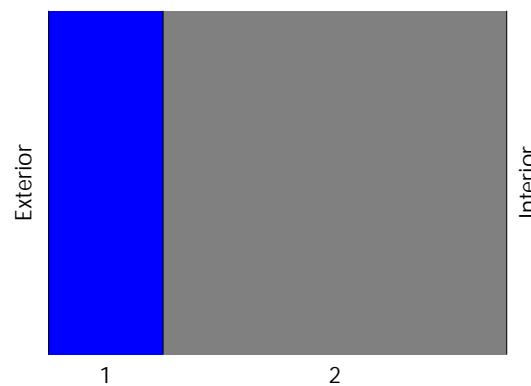
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condições exteriores												
Temperatura, $\theta_e$ (°C)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Humidade relativa, $\phi_e$ (%)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Condições interiores												
Temperatura, $\theta_i$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	27.0	27.0	27.0	27.0	18.0	18.0	18.0
Humidade relativa, $\phi_i$ (%)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60

O diagrama psicrométrico associado à localização, com uma altura acima do nível do mar de 94 m, mostra-se seguidamente, representando através de segmentos de recta as transições desde cada condição exterior de cálculo à sua correspondente condição interior.



### 1.3.3. Descrição do elemento construtivo

O esquema da composição do elemento construtivo, em secção, é o seguinte:



As características térmicas e as propriedades de difusão do vapor de água das camadas homogéneas de faces paralelas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo são as seguintes:

## Condensações

LP1		e (cm)	l (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)	m	S <sub>d</sub> (m)
<b>R<sub>se</sub></b>		0.17				
1	Poliestireno extrudido (XPS)	10.0	0.074	1.35135	1	0.1
2	P.A. Base blocos > 0,3_Furos=3_fluxodescendente (30 cm)	30.0	1.000	0.30000	1	0.3
<b>R<sub>si</sub></b>		0.17				

onde:

- e: Espessura, cm.
- l: Condutibilidade térmica do material, W/(m·K).
- R: Resistência térmica do material, m<sup>2</sup>·K/W.
- m: Factor de resistência à difusão do vapor de água do material.
- S<sub>d</sub>: Espessura de ar equivalente face à difusão do vapor de água, m.
- R<sub>se</sub>: Resistência térmica superficial exterior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.
- R<sub>si</sub>: Resistência térmica superficial interior do elemento, m<sup>2</sup>·K/W.

A informação de cálculo relativa aos parâmetros higrotérmicos do elemento completo, derivada do modelo de camadas homogéneas, é a seguinte:

Grandeza	Uds.	Valor
Espessura total do elemento, e <sub>T</sub>	cm	40.0
Resistência térmica total, R <sub>T</sub>	m <sup>2</sup> ·K/W	1.9914
Espessura de ar equivalente total, S <sub>d,T</sub>	m	0.40
Transmitância térmica, U	W/(m <sup>2</sup> ·K)	0.502
Factor de resistência superficial interior, f <sub>Rsi</sub>	--	0.874

onde:

- E<sub>T</sub>: Espessura total do elemento, cm.
- R<sub>T</sub>: Resistência térmica total do elemento, somatório da resistência térmica de cada camada, incluindo as resistências superficiais R<sub>se</sub> e R<sub>si</sub>, m<sup>2</sup>·K/W.
- S<sub>d,T</sub>: Espessura de ar equivalente total, somatório da espessura equivalente de cada camada do elemento, m.
- U: Transmitância térmica do elemento, calculada como o inverso da resistência térmica total, W/(m<sup>2</sup>·K).
- f<sub>Rsi</sub>: Factor de resistência superficial interior, calculado como (1 - U·R<sub>si</sub>), em que U = 0.502 W/m<sup>2</sup>·K e R<sub>si</sub> = 0.25 m<sup>2</sup>·K/W.

### 1.3.4. Cálculo do factor de temperatura superficial interior necessário para evitar a humidade superficial crítica

Com o objectivo de prevenir os efeitos adversos da humidade superficial crítica, foi limitada a humidade relativa máxima na superfície interior a um valor de j<sub>si,cr</sub> £ 0.8 .

Dadas as condições higrotérmicas exteriores, assim como as interiores, o cálculo de f<sub>Rsi,min</sub> fica da seguinte forma:

	q <sub>e</sub> (°C)	j <sub>e</sub> (%)	q <sub>i</sub> (°C)	j <sub>i</sub> (%)	P <sub>i</sub> (Pa)	P <sub>sat</sub> (q <sub>si</sub> ) (Pa)	q <sub>si,min</sub> (°C)	f <sub>Rsi,min</sub>
Janeiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Fevereiro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Março	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Abril	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Mai	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Junho	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Julho	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Agosto	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Setembro	15.0	50.0	27.0	65.0	2316.10	2895.12	23.5	0.709
Outubro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Novembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000
Dezembro	15.0	50.0	18.0	65.0	1340.84	1676.05	14.7	0.000

onde:

- q<sub>e</sub>: Temperatura do ar exterior, °C.
- j<sub>e</sub>: Humidade relativa do ar exterior, %.

## Condensações

- $q_i$ : Temperatura do ar interior, °C.  
 $j_i$ : Humidade relativa do ar interior, aumentada com um coeficiente de segurança 5%, %.  
 $P_i$ : Pressão de vapor no ambiente interior, Pa.  
 $P_{sat}(q_{si})$ : Pressão de saturação do vapor de água mínima aceitável para a superfície interior, Pa.  
 $q_{si,min}$ : Mínima temperatura superficial interior aceitável, calculada com base na pressão de saturação mínima aceitável, °C.  
 $f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo.

Dado que  $f_{Rsi} = 0.874 > f_{Rsi,min} = 0.709$ , não são produzidas condensações superficiais no elemento construtivo.

### 1.3.5. Cálculo de condensações intersticiais

São apresentados seguidamente os resultados alcançados no cálculo das temperaturas e pressões em cada uma das interfaces formadas na união entre as camadas homogéneas que compõem o modelo de cálculo do elemento construtivo.

Cálculo de condensações intersticiais no mês de Janeiro.

LP1	q (°C)	$P_{sat}$ (Pa)	$P_n$ (Pa)	j (%)	$g_c$ (g/(m <sup>2</sup> .mês))	$M_a$ (g/m <sup>2</sup> )
Ar exterior	15.00	1704.407	852.204	50.0		
Face exterior	15.26	1732.713	852.204	49.2	--	--
Interface 1-2	17.29	1972.767	948.577	48.1	--	--
Face interior	17.74	2029.847	1237.698	61.0	--	--
Ar interior	18.00	2062.830	1237.698	60.0		

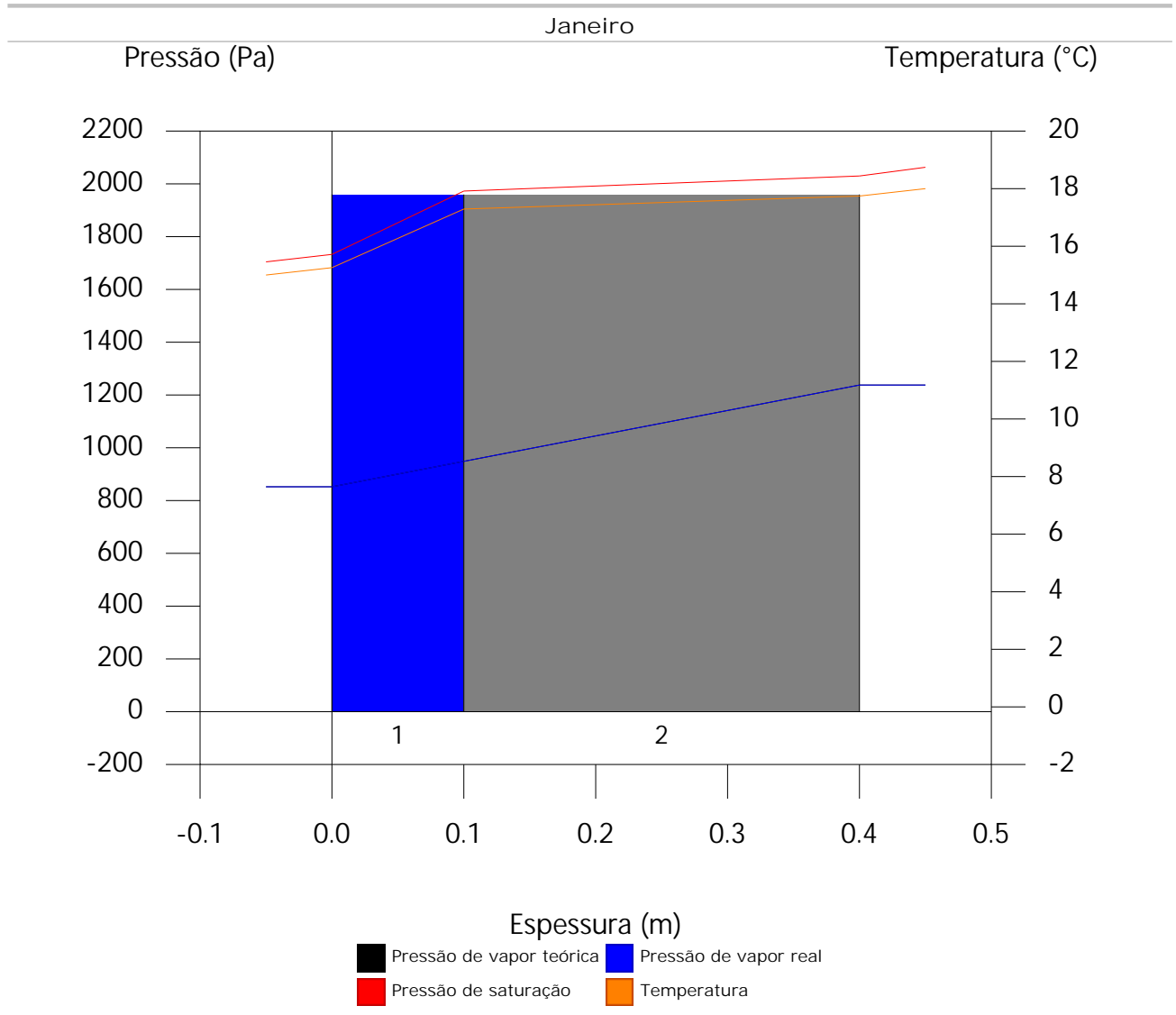
onde:

- $q$ : Temperatura, °C.  
 $P_{sat}$ : Pressão de saturação do vapor de água, Pa.  
 $P_n$ : Pressão do vapor de água, Pa.  
 $j$ : Humidade relativa, %.  
 $g_c$ : Densidade de fluxo de condensação, g/(m<sup>2</sup>.mês).  
 $M_a$ : Conteúdo acumulado de humidade por unidade de superfície, g/m<sup>2</sup>.

>> Representação gráfica (Janeiro)

# Condensações

## 1.3.6. Representação gráfica das condensações intersticiais previstas



## 2. SUITE

### 2.1. Por defeito: Parede

#### 2.1.1. Resultados do cálculo de condensações

##### 2.1.1.1. Condensação superficial

$$f_{Rsi} = 0.909 \quad f_{Rsi,min} = 0.709$$

O elemento construtivo não apresenta condensações superficiais.

onde:

$f_{Rsi}$ : Factor de resistência superficial interior, calculado como  $(1 - U \cdot R_{si})$ , em que  $U = 0.364 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  e  $R_{si} = 0.25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .

$f_{Rsi,min}$ : Factor de resistência superficial interior mínimo, necessário para evitar a humidade superficial crítica, calculado considerando um valor de  $j_{si,cr}$  é 0.8.

##### 2.1.1.2. Condensação intersticial

O elemento construtivo não apresenta condensações intersticiais.

## **Anexo J- Relatório de Necessidades Energéticas para o Caso Inicial**

Necessidade energética

## ÍNDICE

1. RESUMO DO CÁLCULO DA NECESSIDADE ENERGÉTICA.....	3
2. RESULTADOS MENSAIS.....	3
2.1. Balanço energético anual do edifício.....	3
2.2. Necessidade energética mensal de aquecimento e arrefecimento.....	5
2.3. Evolução da temperatura.....	5
2.4. Resultados numéricos do balanço energético por zona e mês.....	10
3. MODELO DE CÁLCULO DO EDIFÍCIO.....	14
3.1. Agrupamentos de compartimentos.....	14

# Necessidade energética

## 1. RESUMO DO CÁLCULO DA NECESSIDADE ENERGÉTICA.

A seguinte tabela é um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável, junto com a necessidade total do edifício.

Zonas habitáveis	$S_u$ (m <sup>2</sup> )	$D_{aquec}$ (kWh/ano)	$D_{aquec}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$D_{arref}$ (kWh/ano)	$D_{arref}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Quarto 2 (Por defeito: Espaço)	13.50	671.01	49.72	36.19	2.68
Quarto 3 (Por defeito: Espaço)	13.93	908.24	65.19	1.66	0.12
WC 2 (Por defeito: Espaço)	5.49	438.39	79.79	0.63	0.11
Quarto 1 (Por defeito: Espaço)	17.03	1189.10	69.82	3.60	0.21
WC 1 (Por defeito: Espaço)	5.01	539.21	107.71	0.15	0.03
WC 3 (Por defeito: Espaço)	2.63	277.60	105.48	0.14	0.05
Espaço_009 (Por defeito: Espaço)	9.66	752.43	77.91	0.83	0.09
Hall 2 (Por defeito: Espaço)	10.69	853.17	79.83	0.81	0.08
Cozinha (Por defeito: Espaço)	22.92	1748.37	76.27	13.35	0.58
Sala (Por defeito: Espaço)	26.65	1698.51	63.74	105.49	3.96
	127.50	9076.02	71.18	162.85	1.28

onde:

$S_u$ : Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.

$D_{aquec}$ : Valor calculado da necessidade energética de aquecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

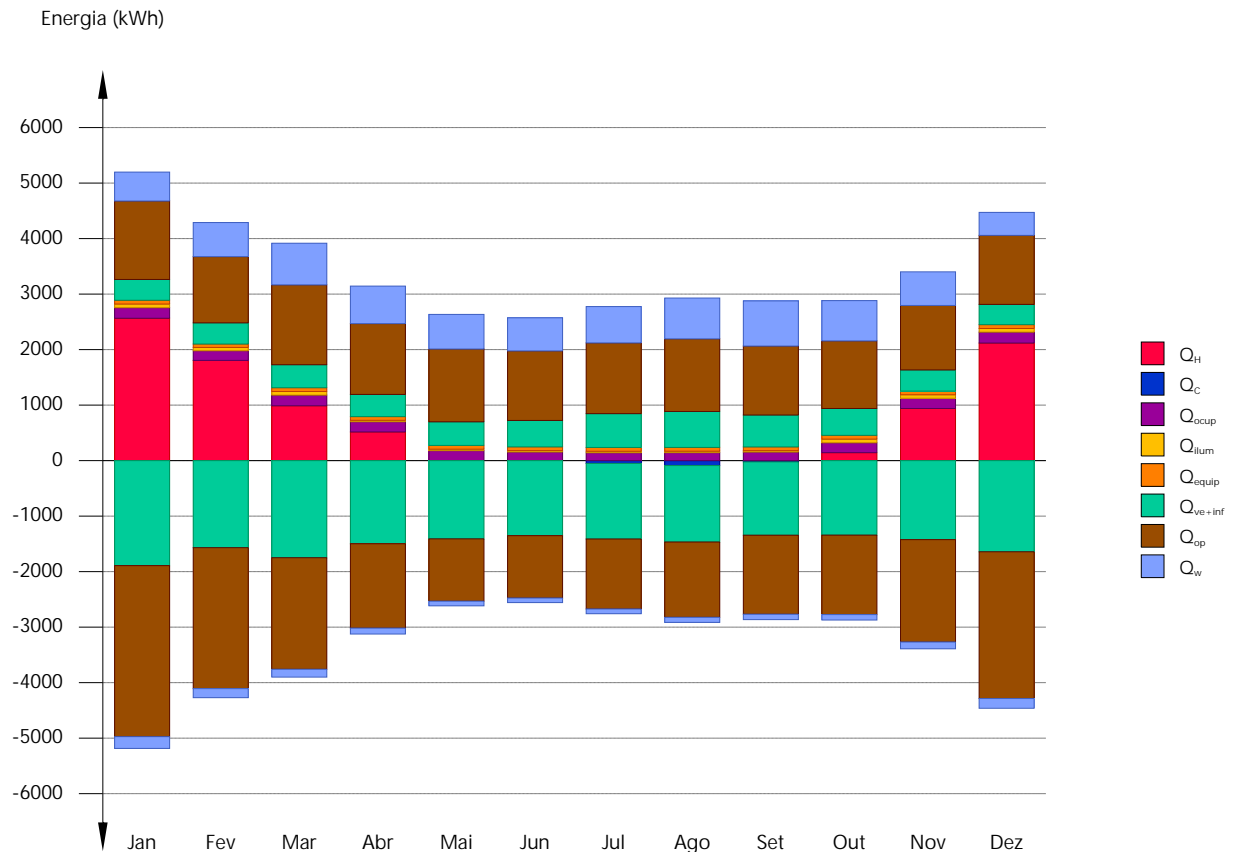
$D_{arref}$ : Valor calculado da necessidade energética de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## 2. RESULTADOS MENSAIS.

### 2.1. Balanço energético anual do edifício.

O seguinte gráfico de barras mostra o balanço energético do edifício mês a mês, contabilizando a energia perdida ou ganha por transmissão térmica através de elementos pesados e leves ( $Q_{op}$  e  $Q_w$ , respectivamente), a energia transferida por ventilação e infiltrações ( $Q_{ve+inf}$ ), o ganho de calor interno devido à ocupação ( $Q_{ocup}$ ), à iluminação ( $Q_{ilum}$ ) e ao equipamento interno ( $Q_{equip}$ ), assim como a contribuição necessária de aquecimento ( $Q_H$ ) e arrefecimento ( $Q_C$ ).

# Necessidade energética



Na seguinte tabela são mostrados os valores numéricos correspondentes ao gráfico anterior, do balanço energético do edifício completo, como soma das energias envolvidas no balanço energético de cada uma das zonas térmicas que formam o modelo de cálculo do edifício.

O critério de sinais adoptado consiste em utilizar valores positivos para energias fornecidas à zona de cálculo, e negativos para a energia extraída.

	Jan (kWh)	Fev (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	Mai (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Set (kWh)	Out (kWh)	Nov (kWh)	Dez (kWh)	Ano (kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Balanço energético anual do edifício.														
$Q_{op}$	1413.7	1193.1	1438.8	1276.0	1311.5	1253.2	1274.7	1308.5	1242.3	1218.2	1161.4	1243.4	-6023.35	-47.24
$Q_w$	-3080.9	-2539.5	-2010.3	-1520.3	-1123.2	-1123.6	-1260.6	-1356.8	-1423.7	-1431.0	-1844.6	-2643.8	6269.38	49.17
$Q_{ve+inf}$	374.4	381.3	414.2	399.8	425.4	475.8	609.2	648.0	574.3	483.8	381.3	364.9	-12405.93	-97.30
$Q_{equip}$	67.9	61.9	68.6	66.6	67.9	66.6	68.6	67.9	67.3	67.9	65.9	69.3	806.21	6.32
$Q_{illum}$	66.0	59.7	66.0	25.6	26.4	25.6	26.4	26.4	25.6	66.0	63.9	66.0	543.74	4.26
$Q_{occup}$	190.4	173.8	190.8	184.1	179.7	155.7	142.1	143.4	154.4	177.9	183.6	196.0	2071.80	16.25
$Q_H$	2564.7	1805.6	988.2	516.6	--	--	--	--	--	143.4	939.2	2118.4	9076.02	71.18
$Q_C$	--	--	--	--	--	--	-50.8	-89.1	-22.8	-0.0	--	--	-162.85	-1.28
$Q_{HC}$	2564.7	1805.6	988.2	516.6	--	--	50.8	89.1	22.8	143.4	939.2	2118.4	9238.87	72.46

onde:

$Q_{op}$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos pesados em contacto com o exterior, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_w$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos leves em contacto com o exterior, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{ve+inf}$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica por ventilação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{equip}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido ao equipamento interno, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{illum}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à iluminação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{occup}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à ocupação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_H$ : Energia fornecida de aquecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

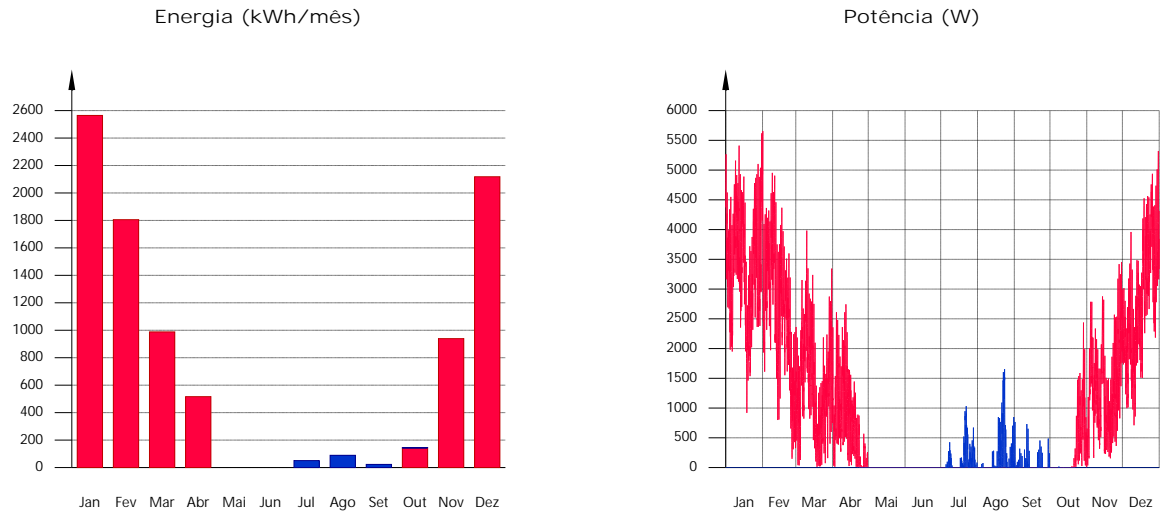
# Necessidade energética

$Q_c$ : Energia fornecida de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{HC}$ : Energia fornecida de aquecimento e arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## 2.2. Necessidade energética mensal de aquecimento e arrefecimento.

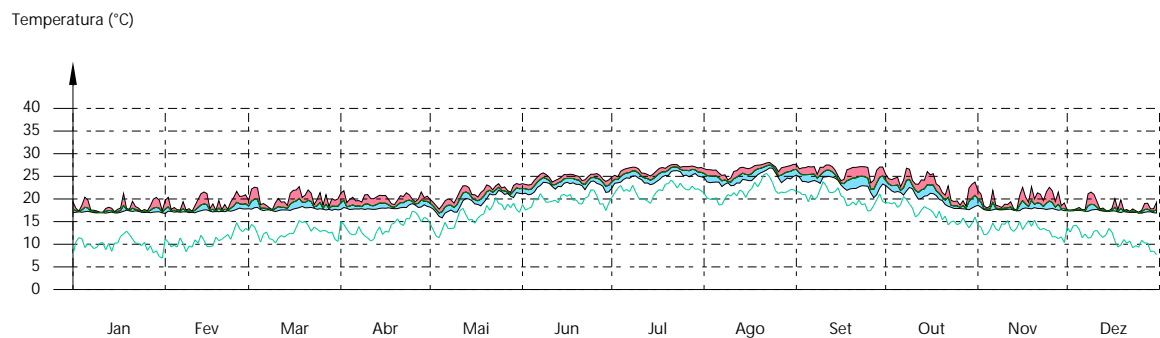
Considerando apenas a necessidade energética a cobrir pelos sistemas de aquecimento e arrefecimento, as necessidades energéticas e de potência útil instantânea ao longo da simulação anual mostram-se nos seguintes gráficos:



## 2.3. Evolução da temperatura.

A evolução da temperatura operativa interior nas zonas modeladas do edifício objeto de projecto mostra-se nos seguintes gráficos, que mostram a evolução das temperaturas mínimas, máximas e médias de cada dia, em cada zona:

Quarto 2 (Por defeito: Espaço)



Quarto 3 (Por defeito: Espaço)

## **Anexo K- Relatório de Necessidades Energéticas para o Caso com Melhorias na Envolvente**

Necessidade energética

## ÍNDICE

1. RESUMO DO CÁLCULO DA NECESSIDADE ENERGÉTICA.....	3
2. RESULTADOS MENSAIS.....	3
2.1. Balanço energético anual do edifício.....	3
2.2. Necessidade energética mensal de aquecimento e arrefecimento.....	5
2.3. Evolução da temperatura.....	5
2.4. Resultados numéricos do balanço energético por zona e mês.....	10
3. MODELO DE CÁLCULO DO EDIFÍCIO.....	14
3.1. Agrupamentos de compartimentos.....	14

# Necessidade energética

## 1. RESUMO DO CÁLCULO DA NECESSIDADE ENERGÉTICA.

A seguinte tabela é um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável, junto com a necessidade total do edifício.

Zonas habitáveis	$S_u$ (m <sup>2</sup> )	$D_{aquec}$ (kWh/ano)	$D_{aquec}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$D_{arref}$ (kWh/ano)	$D_{arref}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Quarto 1 (Por defeito: Espaço)	17.03	585.09	34.36	0.00	0.00
Quarto 2 (Por defeito: Espaço)	13.50	146.96	10.89	52.66	3.90
WC 2 (Por defeito: Espaço)	5.49	202.88	36.93	0.00	0.00
Quarto 3 (Por defeito: Espaço)	13.93	244.08	17.52	0.00	0.00
WC 1 (Por defeito: Espaço)	5.01	294.61	58.85	0.00	0.00
WC 3 (Por defeito: Espaço)	2.63	113.59	43.16	0.00	0.00
Espaço_009 (Por defeito: Espaço)	9.66	310.86	32.19	0.00	0.00
Hall 2 (Por defeito: Espaço)	10.69	369.12	34.54	0.00	0.00
Cozinha (Por defeito: Espaço)	22.92	628.48	27.42	4.02	0.18
Sala (Por defeito: Espaço)	26.65	582.59	21.86	107.41	4.03
	127.50	3478.26	27.28	164.09	1.29

onde:

$S_u$ : Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.

$D_{aquec}$ : Valor calculado da necessidade energética de aquecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

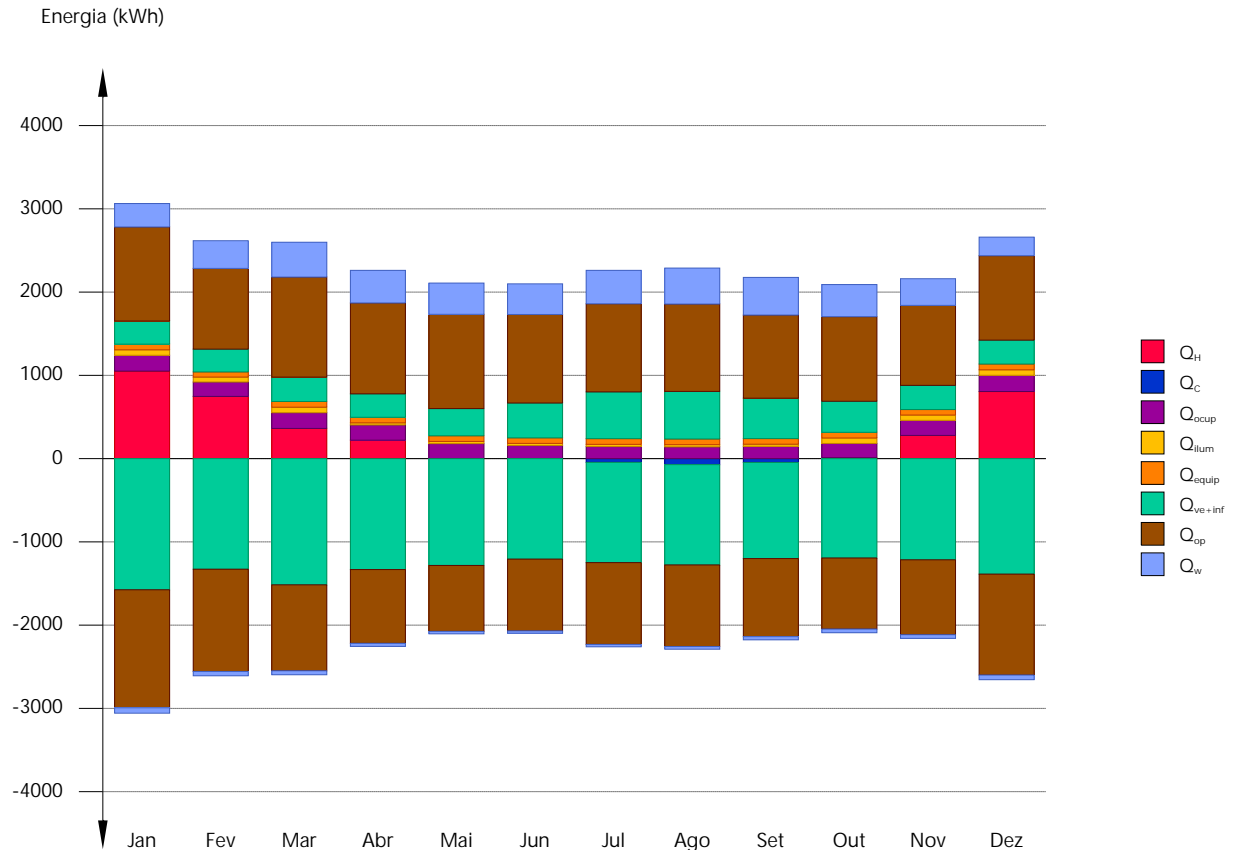
$D_{arref}$ : Valor calculado da necessidade energética de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## 2. RESULTADOS MENSAIS.

### 2.1. Balanço energético anual do edifício.

O seguinte gráfico de barras mostra o balanço energético do edifício mês a mês, contabilizando a energia perdida ou ganha por transmissão térmica através de elementos pesados e leves ( $Q_{op}$  e  $Q_w$ , respectivamente), a energia transferida por ventilação e infiltrações ( $Q_{ve+inf}$ ), o ganho de calor interno devido à ocupação ( $Q_{ocup}$ ), à iluminação ( $Q_{lum}$ ) e ao equipamento interno ( $Q_{equip}$ ), assim como a contribuição necessária de aquecimento ( $Q_H$ ) e arrefecimento ( $Q_C$ ).

# Necessidade energética



Na seguinte tabela são mostrados os valores numéricos correspondentes ao gráfico anterior, do balanço energético do edifício completo, como soma das energias envolvidas no balanço energético de cada uma das zonas térmicas que formam o modelo de cálculo do edifício.

O critério de sinais adoptado consiste em utilizar valores positivos para energias fornecidas à zona de cálculo, e negativos para a energia extraída.

	Jan (kWh)	Fev (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	Mai (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Set (kWh)	Out (kWh)	Nov (kWh)	Dez (kWh)	Ano (kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Balanço energético anual do edifício.														
$Q_{op}$	1129.7	969.6	1201.6	1091.6	1132.2	1063.2	1058.1	1048.9	998.5	1016.0	960.6	1014.1	602.15	4.72
$Q_w$	-1417.1	-1228.5	-1032.3	-886.4	-791.9	-861.8	-982.4	-979.4	-937.5	-853.4	-899.4	-1212.0	3880.73	30.44
$Q_{ve+inf}$	277.7	273.5	292.7	281.8	326.7	418.6	561.8	571.8	485.1	373.0	290.4	287.0	-11163.25	-87.55
$Q_{equip}$	67.9	61.9	68.6	66.6	67.9	66.6	68.6	67.9	67.3	67.9	65.9	69.3	806.21	6.32
$Q_{illum}$	66.0	59.7	66.0	25.6	26.4	25.6	26.4	26.4	25.6	66.0	63.9	66.0	543.74	4.26
$Q_{occup}$	189.7	172.8	188.9	182.7	179.9	157.3	144.8	141.4	147.7	170.5	181.1	194.8	2051.69	16.09
$Q_H$	1051.1	747.1	362.7	221.5	--	--	--	--	--	11.5	278.5	805.9	3478.26	27.28
$Q_C$	--	--	--	--	--	-0.0	-45.2	-72.2	-46.2	-0.5	--	--	-164.09	-1.29
$Q_{HC}$	1051.1	747.1	362.7	221.5	--	0.0	45.2	72.2	46.2	12.1	278.5	805.9	3642.35	28.57

onde:

- $Q_{op}$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos pesados em contacto com o exterior, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_w$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos leves em contacto com o exterior, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_{ve+inf}$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica por ventilação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_{equip}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido ao equipamento interno, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_{illum}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à iluminação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_{occup}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à ocupação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_H$ : Energia fornecida de aquecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

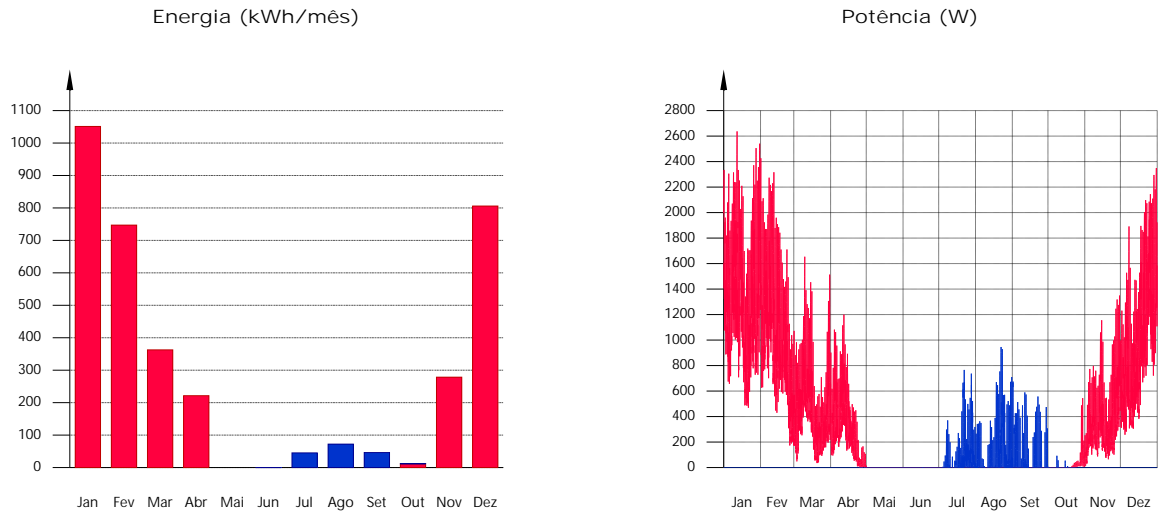
# Necessidade energética

$Q_c$ : Energia fornecida de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{HC}$ : Energia fornecida de aquecimento e arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## 2.2. Necessidade energética mensal de aquecimento e arrefecimento.

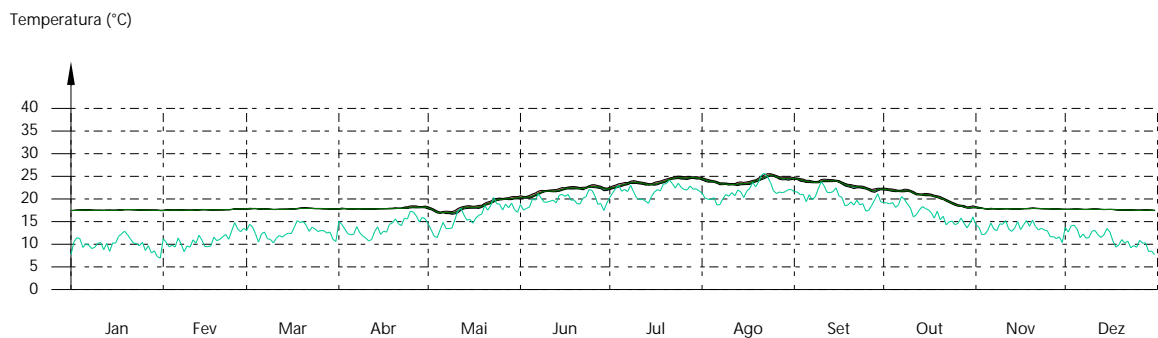
Considerando apenas a necessidade energética a cobrir pelos sistemas de aquecimento e arrefecimento, as necessidades energéticas e de potência útil instantânea ao longo da simulação anual mostram-se nos seguintes gráficos:



## 2.3. Evolução da temperatura.

A evolução da temperatura operativa interior nas zonas modeladas do edifício objeto de projecto mostra-se nos seguintes gráficos, que mostram a evolução das temperaturas mínimas, máximas e médias de cada dia, em cada zona:

Quarto 1 (Por defeito: Espaço)



Quarto 2 (Por defeito: Espaço)

# **Anexo L- Relatório de Necessidades Energéticas para o Caso com Melhorias na Iluminação**

Necessidade energética

## ÍNDICE

1. RESUMO DO CÁLCULO DA NECESSIDADE ENERGÉTICA.....	3
2. RESULTADOS MENSAIS.....	3
2.1. Balanço energético anual do edifício.....	3
2.2. Necessidade energética mensal de aquecimento e arrefecimento.....	4
2.3. Evolução da temperatura.....	4
2.4. Resultados numéricos do balanço energético por zona e mês.....	7
3. MODELO DE CÁLCULO DO EDIFÍCIO.....	9
3.1. Agrupamentos de compartimentos.....	9

# Necessidade energética

## 1. RESUMO DO CÁLCULO DA NECESSIDADE ENERGÉTICA.

A seguinte tabela é um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável, junto com a necessidade total do edifício.

Zonas habitáveis	$S_u$	$D_{aquec}$		$D_{arref}$	
	(m <sup>2</sup> )	(kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)	(kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Quartos 2/3 + WC 2	36.02	856.77	23.79	0.35	0.01
Suite	18.94	554.71	29.29	0.00	0.00
Halls + WC 3	22.98	848.63	36.93	0.00	0.00
Cozinha	22.92	650.50	28.38	3.42	0.15
Sala	26.65	566.15	21.25	111.73	4.19
	127.50	3476.75	27.27	115.51	0.91

onde:

$S_u$ : Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.

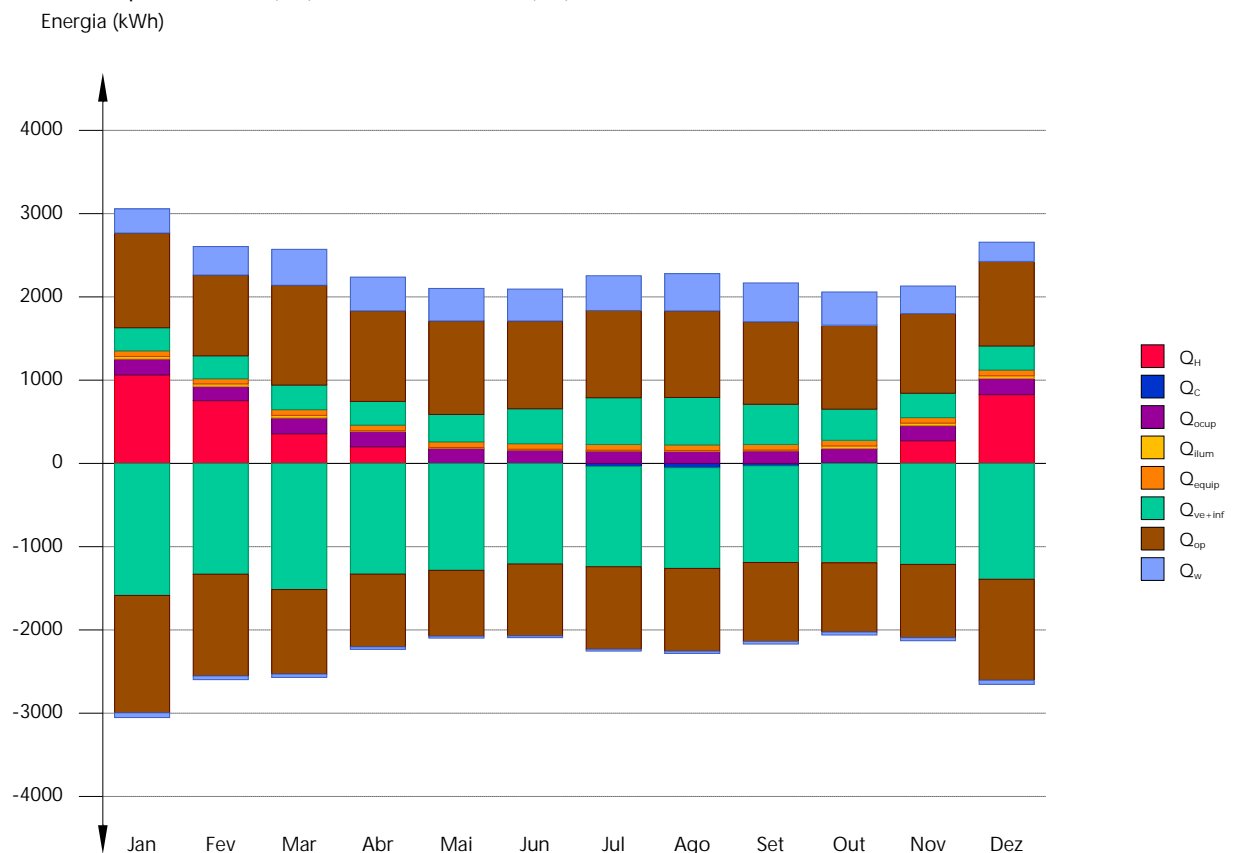
$D_{aquec}$ : Valor calculado da necessidade energética de aquecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$D_{arref}$ : Valor calculado da necessidade energética de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## 2. RESULTADOS MENSAIS.

### 2.1. Balanço energético anual do edifício.

O seguinte gráfico de barras mostra o balanço energético do edifício mês a mês, contabilizando a energia perdida ou ganha por transmissão térmica através de elementos pesados e leves ( $Q_{op}$  e  $Q_w$ , respectivamente), a energia transferida por ventilação e infiltrações ( $Q_{ve+inf}$ ), o ganho de calor interno devido à ocupação ( $Q_{ocup}$ ), à iluminação ( $Q_{ilum}$ ) e ao equipamento interno ( $Q_{equip}$ ), assim como a contribuição necessária de aquecimento ( $Q_H$ ) e arrefecimento ( $Q_C$ ).



Na seguinte tabela são mostrados os valores numéricos correspondentes ao gráfico anterior, do balanço energético do edifício completo, como soma das energias envolvidas no balanço energético de cada uma das zonas térmicas que formam o modelo de cálculo do edifício.

## Necessidade energética

O critério de sinais adoptado consiste em utilizar valores positivos para energias fornecidas à zona de cálculo, e negativos para a energia extraída.

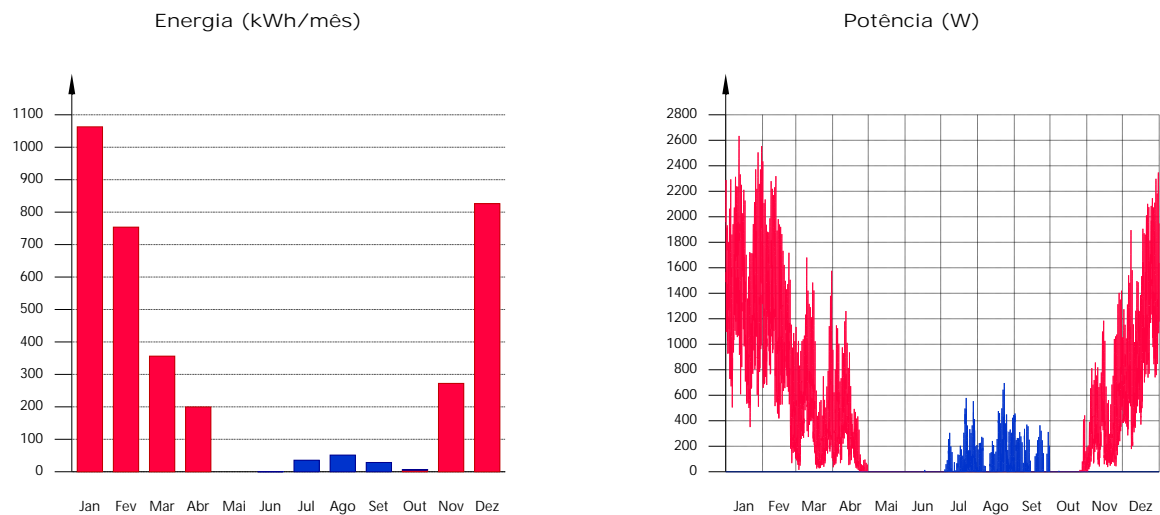
	Jan (kWh)	Fev (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	Mai (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Set (kWh)	Out (kWh)	Nov (kWh)	Dez (kWh)	Ano (kWh/ano) (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
Balço energético anual do edifício.														
$Q_{op}$	1137.4	970.0	1198.7	1087.6	1123.0	1054.2	1048.0	1039.7	990.8	1008.8	956.9	1016.4	599.74	4.70
$Q_w$	-1409.5	-1221.8	-1015.3	-873.2	-791.1	-862.9	-991.0	-994.2	-948.3	-831.3	-880.2	-1213.0	4120.75	32.32
$Q_{ve+inf}$	290.1	342.5	431.7	405.2	390.5	383.3	417.2	447.2	466.5	398.7	330.8	230.6	-11183.12	-87.71
$Q_{ve-inf}$	-57.2	-44.3	-39.5	-29.3	-22.8	-21.5	-22.2	-26.1	-31.1	-35.3	-36.0	-48.2		
$Q_{equip}$	277.3	275.0	295.2	285.0	328.7	419.3	561.6	569.5	482.2	373.7	292.7	288.2	806.22	6.32
$Q_{equip}$	-1585.8	-1330.9	-1514.9	-1330.2	-1284.4	-1208.4	-1205.5	-1210.0	-1161.7	-1194.5	-1213.3	-1392.0		
$Q_{illum}$	67.9	61.9	68.6	66.6	67.9	66.6	68.6	67.9	67.3	67.9	65.9	69.3	251.76	1.97
$Q_{illum}$	31.7	28.6	31.7	10.8	11.1	10.8	11.1	11.1	10.8	31.7	30.7	31.7		
$Q_{occup}$	189.8	173.0	189.1	182.9	180.3	159.7	147.6	143.8	150.0	172.7	181.4	194.9	2065.24	16.20
$Q_H$	1063.0	753.8	356.3	199.7	--	--	--	--	--	5.7	272.2	826.1	3476.75	27.27
$Q_C$	--	--	--	--	--	-0.0	-35.6	-51.4	-28.6	-0.0	--	--	-115.51	-0.91
$Q_{HC}$	1063.0	753.8	356.3	199.7	--	0.0	35.6	51.4	28.6	5.7	272.2	826.1	3592.27	28.17

onde:

- $Q_{op}$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos pesados em contacto com o exterior, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_w$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos leves em contacto com o exterior, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_{ve+inf}$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica por ventilação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_{equip}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido ao equipamento interno, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_{illum}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à iluminação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_{occup}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à ocupação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_H$ : Energia fornecida de aquecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_C$ : Energia fornecida de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $Q_{HC}$ : Energia fornecida de aquecimento e arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

### 2.2. Necessidade energética mensal de aquecimento e arrefecimento.

Considerando apenas a necessidade energética a cobrir pelos sistemas de aquecimento e arrefecimento, as necessidades energéticas e de potência útil instantânea ao longo da simulação anual mostram-se nos seguintes gráficos:



### 2.3. Evolução da temperatura.

A evolução da temperatura operativa interior nas zonas modeladas do edifício objeto de projecto mostra-se nos seguintes gráficos, que mostram a evolução das temperaturas mínimas, máximas e médias de cada dia, em cada zona:

# **Anexo M- Relatório de Necessidades Energéticas para o Caso com Implementação da URC**

Necessidade energética

## ÍNDICE

1. RESUMO DO CÁLCULO DA NECESSIDADE ENERGÉTICA.....	3
2. RESULTADOS MENSAIS.....	3
2.1. Balanço energético anual do edifício.....	3
2.2. Necessidade energética mensal de aquecimento e arrefecimento.....	4
2.3. Evolução da temperatura.....	4
2.4. Resultados numéricos do balanço energético por zona e mês.....	7
3. MODELO DE CÁLCULO DO EDIFÍCIO.....	9
3.1. Agrupamentos de compartimentos.....	9

# Necessidade energética

## 1. RESUMO DO CÁLCULO DA NECESSIDADE ENERGÉTICA.

A seguinte tabela é um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável, junto com a necessidade total do edifício.

Zonas habitáveis	$S_u$ (m <sup>2</sup> )	(kWh/ano)	$D_{aquec}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	(kWh/ano)	$D_{arref}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Quartos 2/3 + WC 2	36.02	615.85	17.10	0.50	0.01
Suite	18.94	419.29	22.14	0.00	0.00
Halls + WC 3	22.98	671.80	29.24	0.00	0.00
Cozinha	22.92	517.67	22.58	4.25	0.19
Sala	26.65	426.01	15.99	142.22	5.34
	127.50	2650.63	20.79	146.98	1.15

onde:

$S_u$ : Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.

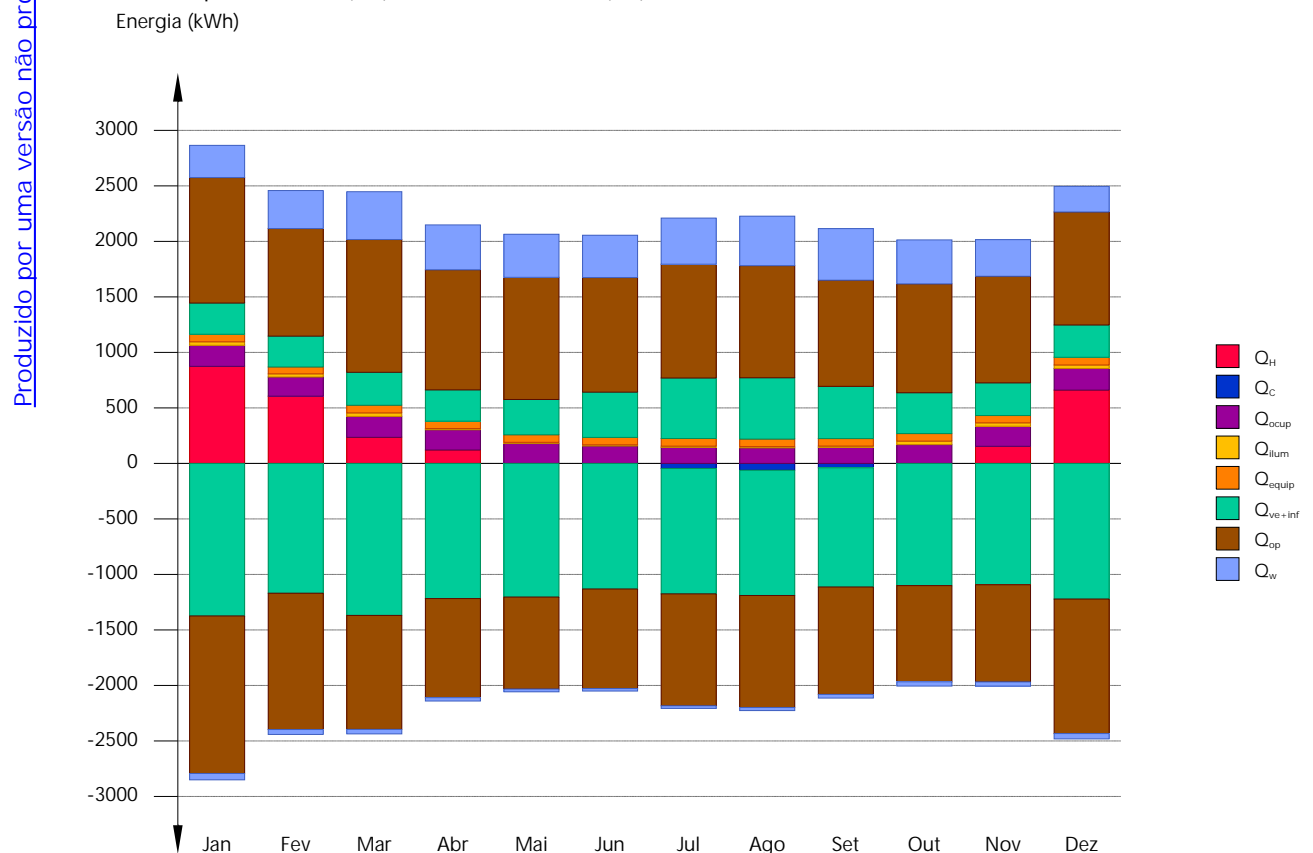
$D_{aquec}$ : Valor calculado da necessidade energética de aquecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$D_{arref}$ : Valor calculado da necessidade energética de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## 2. RESULTADOS MENSAIS.

### 2.1. Balanço energético anual do edifício.

O seguinte gráfico de barras mostra o balanço energético do edifício mês a mês, contabilizando a energia perdida ou ganha por transmissão térmica através de elementos pesados e leves ( $Q_{op}$  e  $Q_w$ , respectivamente), a energia transferida por ventilação e infiltrações ( $Q_{ve+inf}$ ), o ganho de calor interno devido à ocupação ( $Q_{ocup}$ ), à iluminação ( $Q_{ilum}$ ) e ao equipamento interno ( $Q_{equip}$ ), assim como a contribuição necessária de aquecimento ( $Q_H$ ) e arrefecimento ( $Q_C$ ).



Na seguinte tabela são mostrados os valores numéricos correspondentes ao gráfico anterior, do balanço energético do edifício completo, como soma das energias envolvidas no balanço energético de cada uma das zonas térmicas que formam o modelo de cálculo do edifício.

# Necessidade energética

O critério de sinais adoptado consiste em utilizar valores positivos para energias fornecidas à zona de cálculo, e negativos para a energia extraída.

	Jan (kWh)	Fev (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	Mai (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Set (kWh)	Out (kWh)	Nov (kWh)	Dez (kWh)	Ano (kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Balanco energético anual do edifício.														
$Q_{op}$	1130.4	969.2	1196.0	1082.0	1100.4	1032.1	1024.9	1009.9	956.0	980.8	960.0	1018.0	231.41	1.81
$Q_w$	-1418.8	-1227.5	-1026.8	-892.6	-828.8	-896.1	-1008.0	-1009.1	-967.4	-866.5	-875.4	-1211.3	4090.44	32.08
$Q_{ve+inf}$	289.9	342.2	430.9	404.0	388.1	381.1	415.6	445.6	464.7	396.1	329.9	230.4	-9828.27	-77.08
$Q_{ve+inf}$	-57.3	-44.5	-40.4	-30.4	-24.5	-22.9	-23.3	-27.5	-33.0	-38.5	-37.3	-48.3		
$Q_{equip}$	281.2	277.9	297.1	281.9	317.8	408.0	545.1	552.4	470.6	367.8	294.3	291.1		
$Q_{equip}$	-1374.2	-1169.5	-1369.2	-1217.5	-1204.1	-1131.3	-1129.9	-1128.2	-1074.0	-1100.5	-1093.1	-1222.1		
$Q_{illum}$	67.9	61.9	68.6	66.6	67.9	66.6	68.6	67.9	67.3	67.9	65.9	69.3	806.22	6.32
$Q_{illum}$	31.7	28.6	31.7	10.8	11.1	10.8	11.1	11.1	10.8	31.7	30.7	31.7	251.76	1.97
$Q_{occup}$	189.5	172.6	188.5	182.2	179.0	156.9	144.6	140.2	145.7	169.3	180.7	194.6	2043.81	16.03
$Q_H$	874.4	605.7	234.9	121.0	--	--	--	--	--	0.0	154.1	660.5	2650.63	20.79
$Q_C$	--	--	--	--	--	-0.2	-45.4	-61.5	-39.5	-0.3	--	--	-146.98	-1.15
$Q_{HC}$	874.4	605.7	234.9	121.0	--	0.2	45.4	61.5	39.5	0.3	154.1	660.5	2797.60	21.94

onde:

$Q_{op}$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos pesados em contacto com o exterior, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_w$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos leves em contacto com o exterior, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{ve+inf}$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica por ventilação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{equip}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido ao equipamento interno, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{illum}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à iluminação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{occup}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à ocupação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

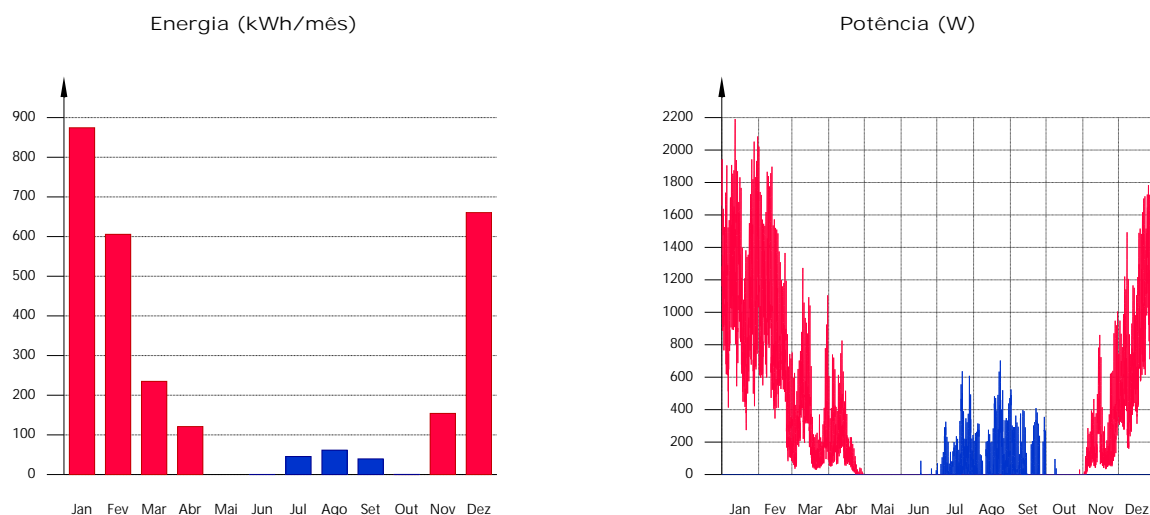
$Q_H$ : Energia fornecida de aquecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_C$ : Energia fornecida de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{HC}$ : Energia fornecida de aquecimento e arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## 2.2. Necessidade energética mensal de aquecimento e arrefecimento.

Considerando apenas a necessidade energética a cobrir pelos sistemas de aquecimento e arrefecimento, as necessidades energéticas e de potência útil instantânea ao longo da simulação anual mostram-se nos seguintes gráficos:



## 2.3. Evolução da temperatura.

A evolução da temperatura operativa interior nas zonas modeladas do edifício objeto de projecto mostra-se nos seguintes gráficos, que mostram a evolução das temperaturas mínimas, máximas e médias de cada dia, em cada zona:

# **Anexo N- Relatório de Necessidades Energéticas para o Caso com Implementação da URC e BC**

Necessidade energética

## ÍNDICE

1. RESUMO DO CÁLCULO DA NECESSIDADE ENERGÉTICA.....	3
2. RESULTADOS MENSAIS.....	3
2.1. Balanço energético anual do edifício.....	3
2.2. Necessidade energética mensal de aquecimento e arrefecimento.....	4
2.3. Evolução da temperatura.....	4
2.4. Resultados numéricos do balanço energético por zona e mês.....	7
3. MODELO DE CÁLCULO DO EDIFÍCIO.....	9
3.1. Agrupamentos de compartimentos.....	9

# Necessidade energética

## 1. RESUMO DO CÁLCULO DA NECESSIDADE ENERGÉTICA.

A seguinte tabela é um resumo dos resultados obtidos no cálculo da necessidade energética de aquecimento e arrefecimento de cada zona habitável, junto com a necessidade total do edifício.

Zonas habitáveis	$S_u$ (m <sup>2</sup> )	(kWh/ano)	$D_{aquec}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	(kWh/ano)	$D_{arref}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Quartos 2/3 + WC 2	36.02	615.85	17.10	0.50	0.01
Suite	18.94	419.29	22.14	0.00	0.00
Halls + WC 3	22.98	671.80	29.24	0.00	0.00
Cozinha	22.92	517.67	22.58	4.25	0.19
Sala	26.65	426.01	15.99	142.22	5.34
	127.50	2650.63	20.79	146.98	1.15

onde:

$S_u$ : Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.

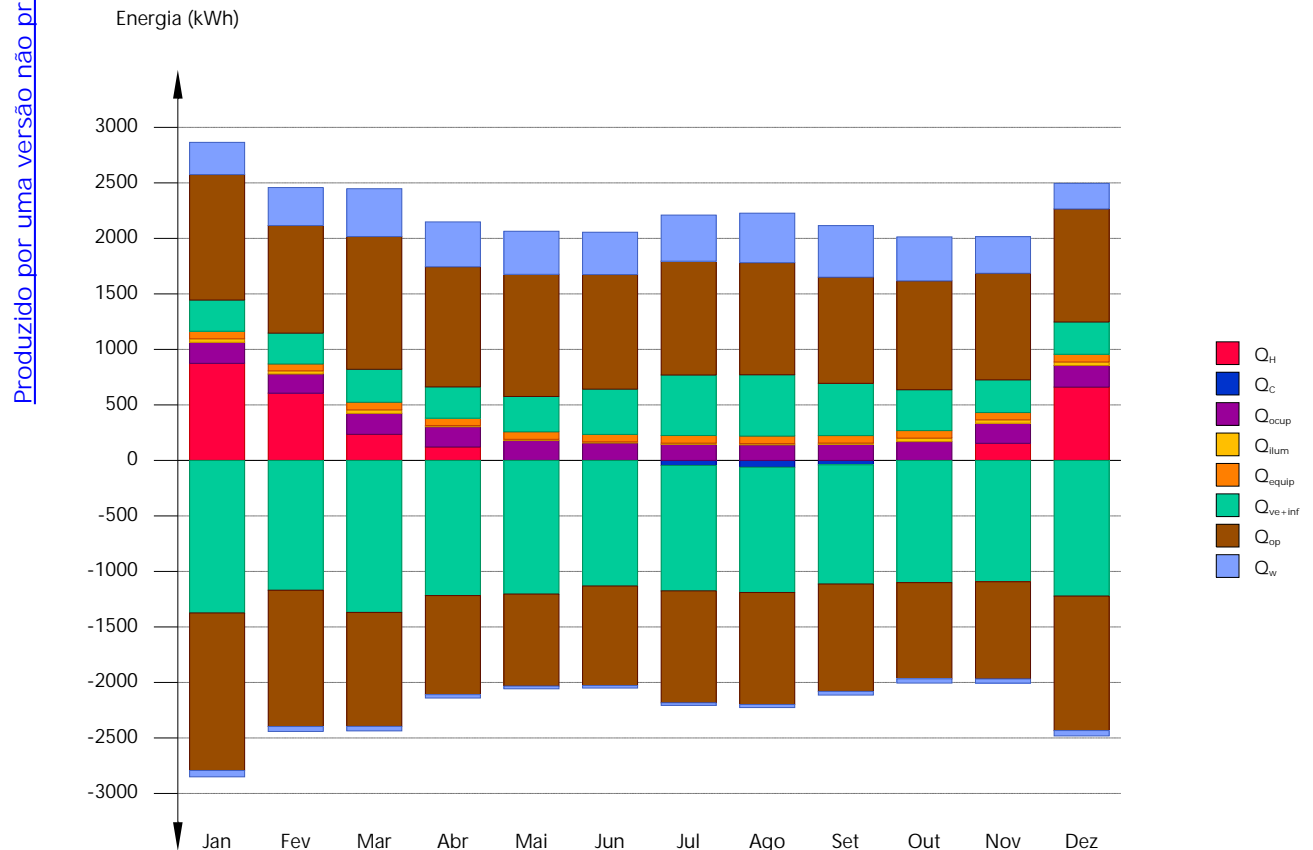
$D_{aquec}$ : Valor calculado da necessidade energética de aquecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$D_{arref}$ : Valor calculado da necessidade energética de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## 2. RESULTADOS MENSAIS.

### 2.1. Balanço energético anual do edifício.

O seguinte gráfico de barras mostra o balanço energético do edifício mês a mês, contabilizando a energia perdida ou ganha por transmissão térmica através de elementos pesados e leves ( $Q_{op}$  e  $Q_w$ , respectivamente), a energia transferida por ventilação e infiltrações ( $Q_{ve+inf}$ ), o ganho de calor interno devido à ocupação ( $Q_{ocup}$ ), à iluminação ( $Q_{ilum}$ ) e ao equipamento interno ( $Q_{equip}$ ), assim como a contribuição necessária de aquecimento ( $Q_H$ ) e arrefecimento ( $Q_C$ ).



Na seguinte tabela são mostrados os valores numéricos correspondentes ao gráfico anterior, do balanço energético do edifício completo, como soma das energias envolvidas no balanço energético de cada uma das zonas térmicas que formam o modelo de cálculo do edifício.

# Necessidade energética

O critério de sinais adoptado consiste em utilizar valores positivos para energias fornecidas à zona de cálculo, e negativos para a energia extraída.

	Jan (kWh)	Fev (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	Mai (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Set (kWh)	Out (kWh)	Nov (kWh)	Dez (kWh)	Ano (kWh/ano)	Ano (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Balanco energético anual do edifício.														
$Q_{op}$	1130.4	969.2	1196.0	1082.0	1100.4	1032.1	1024.9	1009.9	956.0	980.8	960.0	1018.0	231.41	1.81
$Q_w$	-1418.8	-1227.5	-1026.8	-892.6	-828.8	-896.1	-1008.0	-1009.1	-967.4	-866.5	-875.4	-1211.3	4090.44	32.08
$Q_{ve+inf}$	289.9	342.2	430.9	404.0	388.1	381.1	415.6	445.6	464.7	396.1	329.9	230.4	-9828.27	-77.08
$Q_{ve+inf}$	-57.3	-44.5	-40.4	-30.4	-24.5	-22.9	-23.3	-27.5	-33.0	-38.5	-37.3	-48.3		
$Q_{equip}$	281.2	277.9	297.1	281.9	317.8	408.0	545.1	552.4	470.6	367.8	294.3	291.1		
$Q_{equip}$	-1374.2	-1169.5	-1369.2	-1217.5	-1204.1	-1131.3	-1129.9	-1128.2	-1074.0	-1100.5	-1093.1	-1222.1		
$Q_{illum}$	67.9	61.9	68.6	66.6	67.9	66.6	68.6	67.9	67.3	67.9	65.9	69.3	806.22	6.32
$Q_{illum}$	31.7	28.6	31.7	10.8	11.1	10.8	11.1	11.1	10.8	31.7	30.7	31.7	251.76	1.97
$Q_{occup}$	189.5	172.6	188.5	182.2	179.0	156.9	144.6	140.2	145.7	169.3	180.7	194.6	2043.81	16.03
$Q_H$	874.4	605.7	234.9	121.0	--	--	--	--	--	0.0	154.1	660.5	2650.63	20.79
$Q_C$	--	--	--	--	--	-0.2	-45.4	-61.5	-39.5	-0.3	--	--	-146.98	-1.15
$Q_{HC}$	874.4	605.7	234.9	121.0	--	0.2	45.4	61.5	39.5	0.3	154.1	660.5	2797.60	21.94

onde:

$Q_{op}$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos pesados em contacto com o exterior, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_w$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica através de elementos leves em contacto com o exterior, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{ve+inf}$ : Transferência de energia correspondente à transmissão térmica por ventilação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{equip}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido ao equipamento interno, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{illum}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à iluminação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{occup}$ : Transferência de energia correspondente ao ganho interno de calor devido à ocupação, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

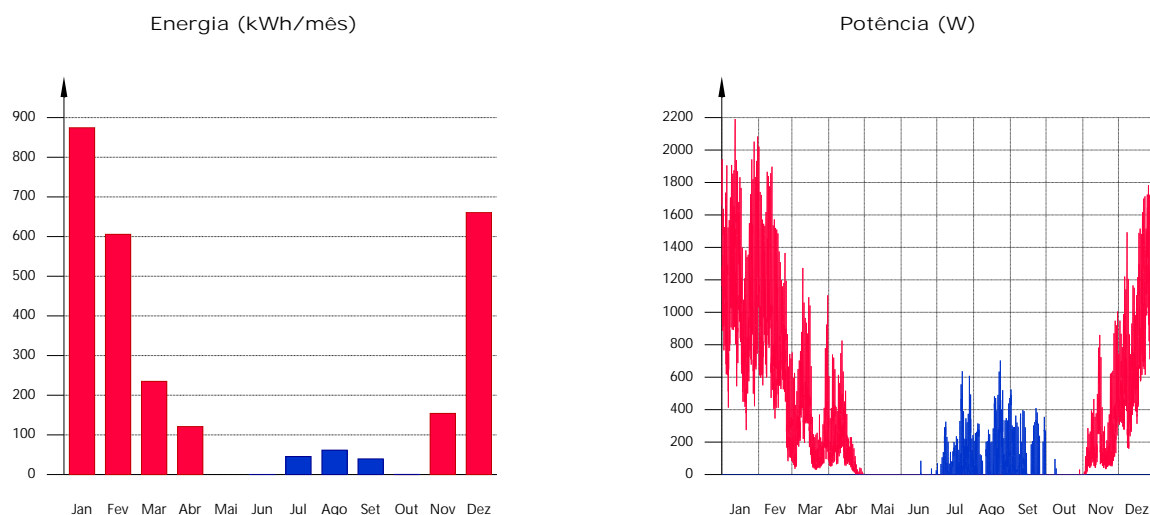
$Q_H$ : Energia fornecida de aquecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_C$ : Energia fornecida de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

$Q_{HC}$ : Energia fornecida de aquecimento e arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

## 2.2. Necessidade energética mensal de aquecimento e arrefecimento.

Considerando apenas a necessidade energética a cobrir pelos sistemas de aquecimento e arrefecimento, as necessidades energéticas e de potência útil instantânea ao longo da simulação anual mostram-se nos seguintes gráficos:



## 2.3. Evolução da temperatura.

A evolução da temperatura operativa interior nas zonas modeladas do edifício objeto de projecto mostra-se nos seguintes gráficos, que mostram a evolução das temperaturas mínimas, máximas e médias de cada dia, em cada zona:

## **Anexo O- Relatório de Conforto Interior para o Caso com Implementação da URC**

## Conforto interior

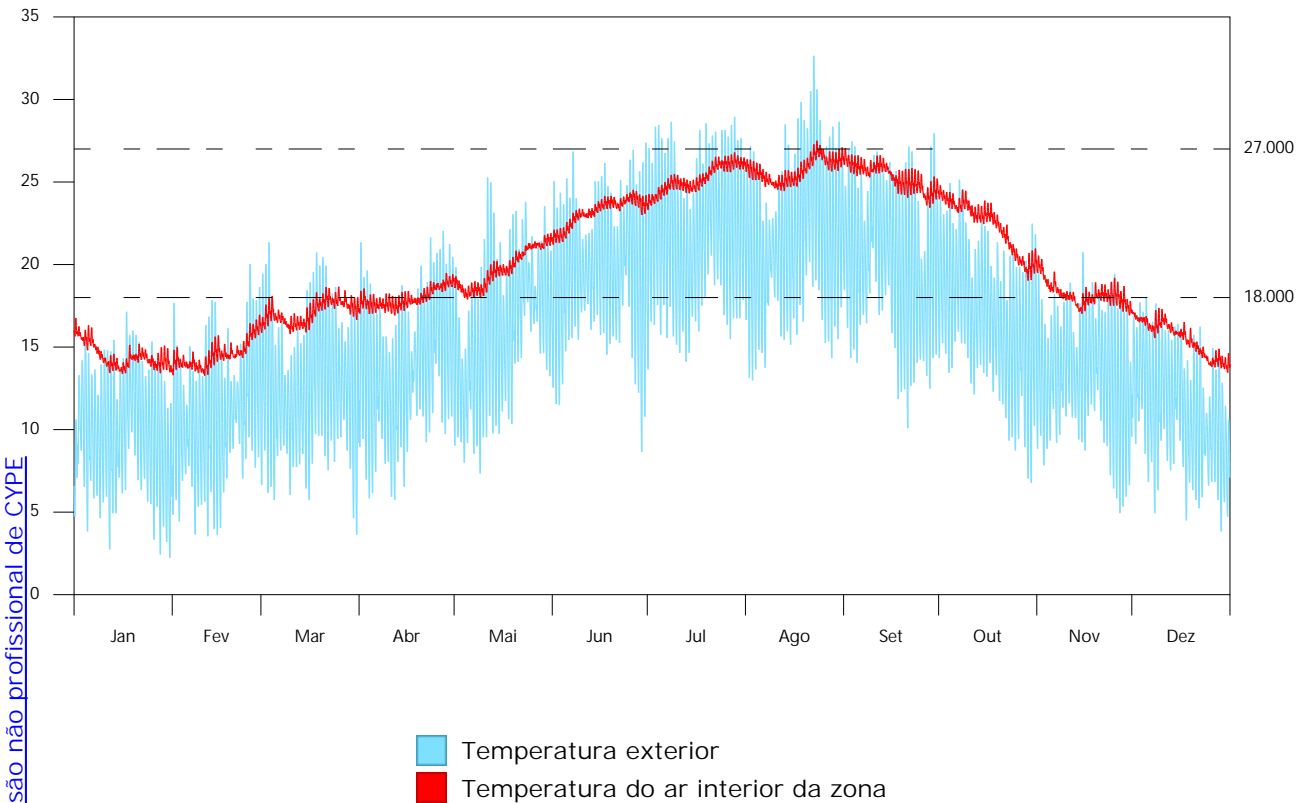
## ÍNDICE

1. Z01_QUARTOS 2/3 + WC 2.....	3
2. Z02_SUITE.....	4
3. Z03_HALLS + WC 3.....	5
4. Z04_COZINHA.....	6
5. Z05_SALA.....	7

# Conforto interior

## 1. Z01\_QUARTOS 2/3 + WC 2

Temperatura (°C)



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	16.8	17.0	18.7	19.5	21.9	24.5	26.8	27.5	27.0	24.8	20.5	17.4	27.5
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	0	25	2	0	0	0	27
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	13.4	13.3	15.8	16.9	17.9	21.2	23.3	24.5	23.4	19.0	16.9	13.5	13.3
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	744	672	680	425	7	0	0	0	0	0	303	744	3575
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	318	288	315	224	5	0	0	0	0	0	177	320	1647
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	744.00	672.00	615.00	334.50	--	--	--	--	--	--	195.00	744.00	3304.50
Aquecimento (Horas/Ocupação)	318.00	288.00	299.75	200.00	--	--	--	--	--	--	118.25	320.00	1544.00
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	11.00	--	--	--	--	11.00
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Número de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

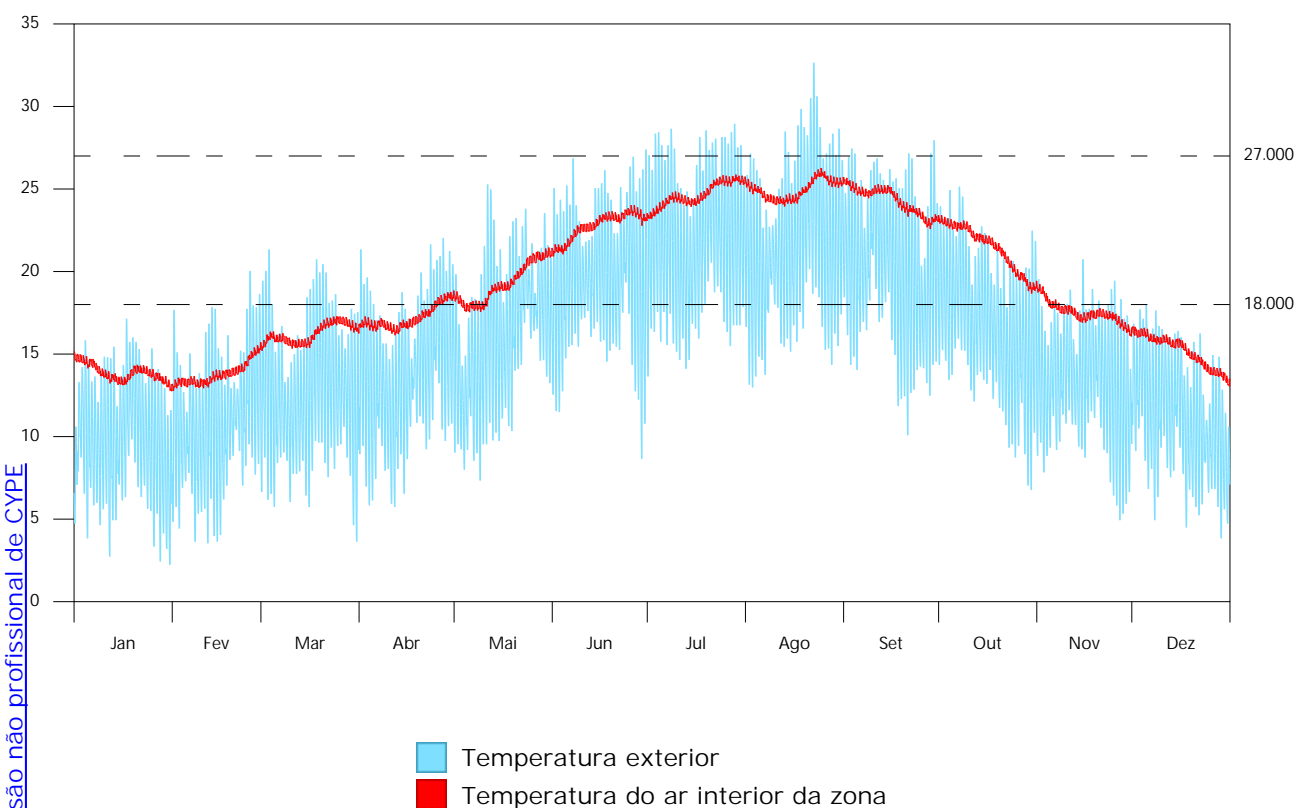
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 2. Z02\_SUITE

Temperatura (°C)



Produzido por uma versão não profissional de CYPE

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	15.2	15.7	17.3	18.8	21.5	24.0	25.9	26.3	25.7	23.4	19.3	16.7	26.3
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	12.7	12.8	15.2	16.1	17.5	20.9	23.2	23.9	22.6	18.7	16.1	13.1	12.7
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	744	672	744	588	134	0	0	0	0	0	597	744	4223
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	318	288	319	244	21	0	0	0	0	0	235	320	1745
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	744.00	672.00	744.00	564.00	--	--	--	--	--	--	530.50	744.00	3998.50
Aquecimento (Horas/Ocupação)	318.00	288.00	319.00	235.00	--	--	--	--	--	--	195.50	320.00	1675.50
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

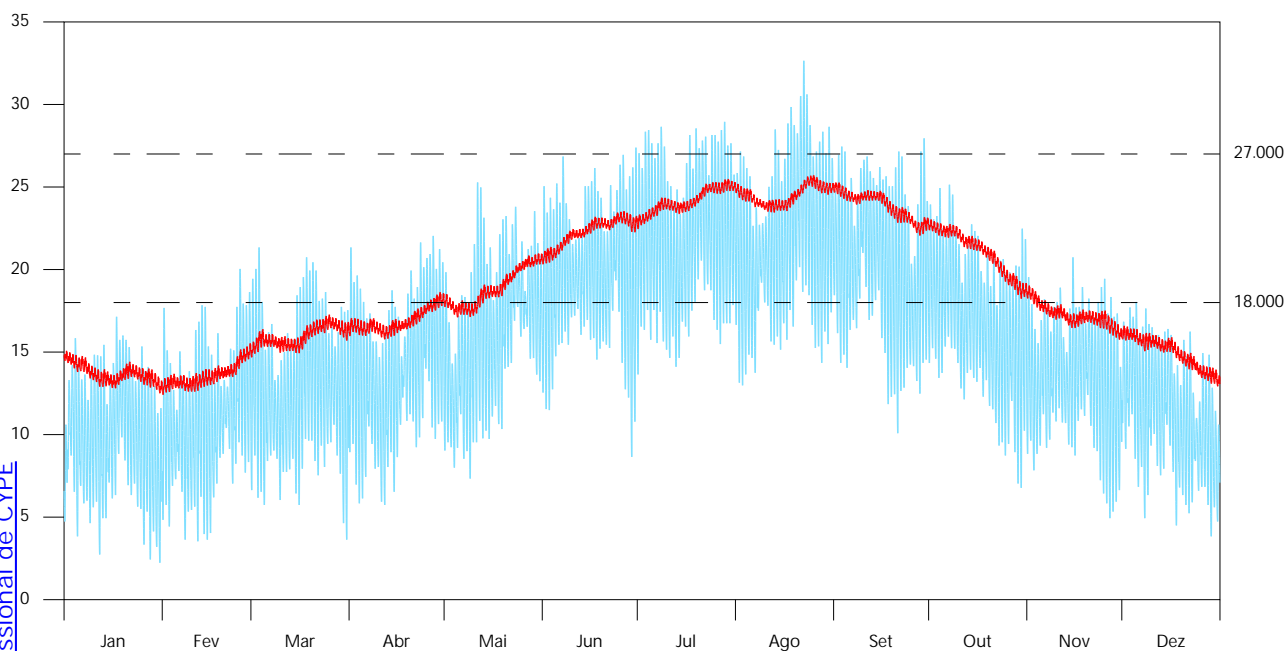
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 3. Z03\_HALLS + WC 3

Temperatura (°C)



■ Temperatura exterior  
■ Temperatura do ar interior da zona

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	15.1	15.5	17.3	18.6	21.0	23.5	25.5	25.7	25.3	23.0	19.0	16.6	25.7
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	12.5	12.4	14.7	15.8	17.1	20.3	22.5	23.5	22.1	18.2	15.8	12.9	12.4
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	744	672	744	670	239	0	0	0	0	0	635	744	4448
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	164	152	169	135	32	0	0	0	0	0	128	174	954
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	744.00	672.00	744.00	642.00	--	--	--	--	--	--	611.75	744.00	4157.75
Aquecimento (Horas/Ocupação)	164.00	152.00	169.00	131.25	--	--	--	--	--	--	118.75	174.00	909.00
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

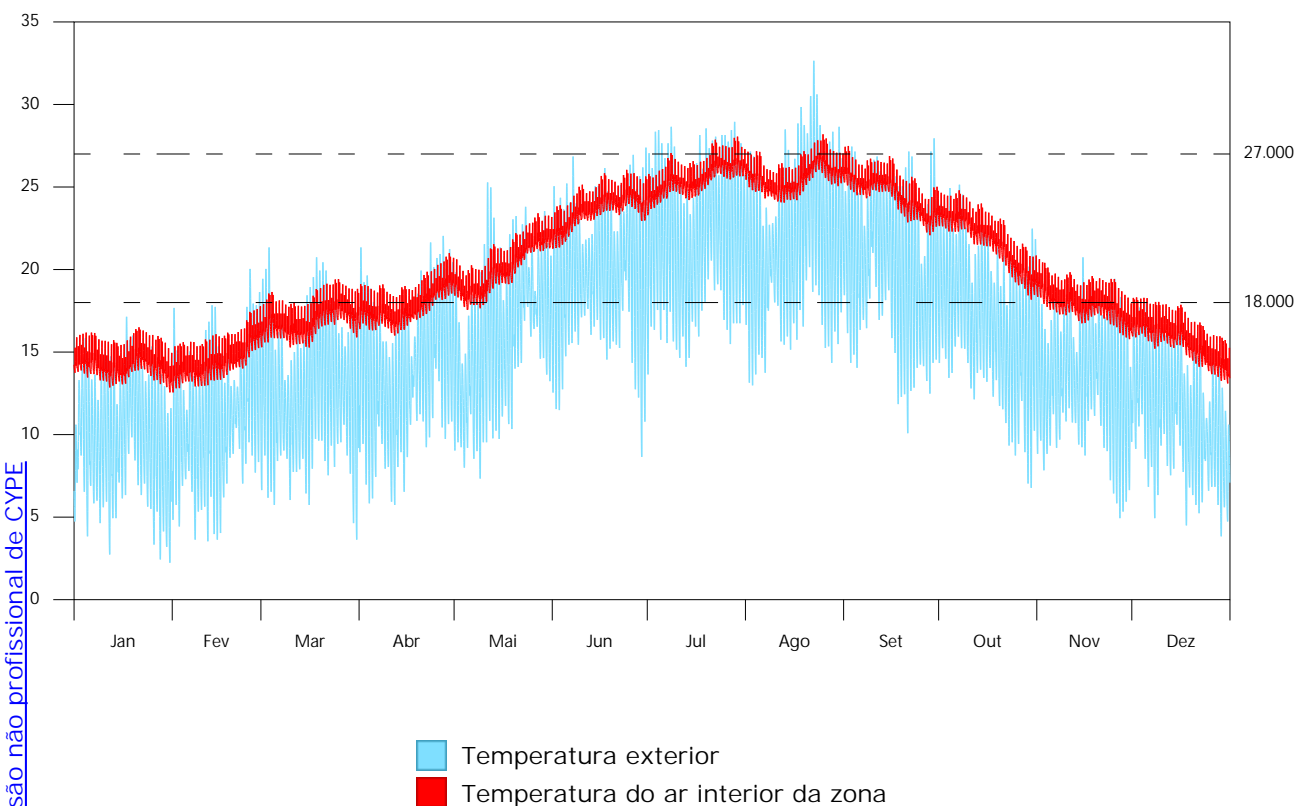
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 4. Z04\_COZINHA

Temperatura (°C)



Produzido por uma versão não profissional de CYPE

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	16.5	17.8	19.4	21.0	23.4	26.0	28.1	28.2	27.5	24.8	20.6	18.3	28.2
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	29	32	4	0	0	0	65
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	29	31	4	0	0	0	64
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	12.6	12.6	15.3	16.0	17.6	21.3	23.3	24.1	22.1	18.2	15.8	13.1	12.6
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	744	672	676	459	44	0	0	0	0	0	474	735	3804
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	125	116	66	25	0	0	0	0	0	0	10	124	466
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	744.00	671.25	653.00	425.50	--	--	--	--	--	--	393.25	722.25	3609.25
Aquecimento (Horas/Ocupação)	125.00	115.25	51.75	16.50	--	--	--	--	--	--	5.00	111.25	424.75
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	23.00	20.00	3.00	--	--	--	46.00
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	23.00	19.75	3.00	--	--	--	45.75

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

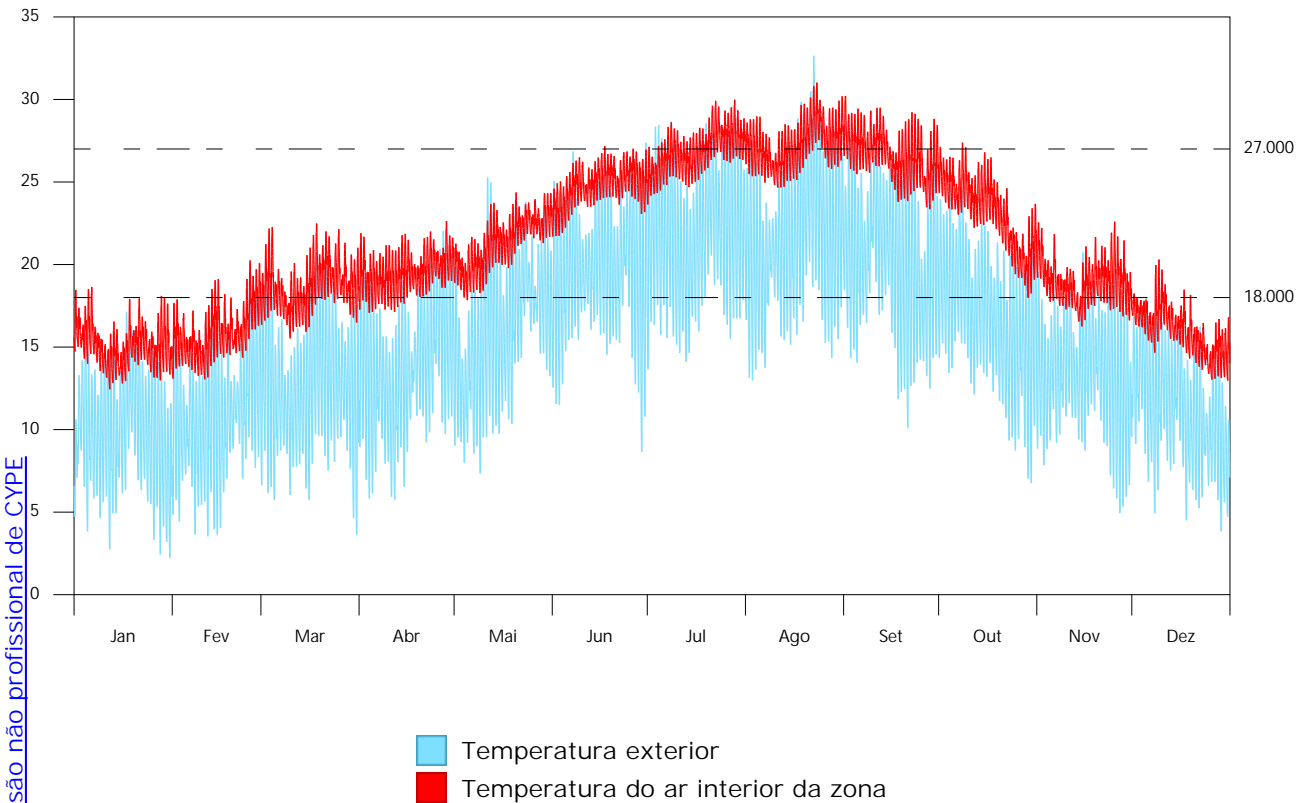
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 5. Z05\_SALA

Temperatura (°C)



Produzido por uma versão não profissional de CYPE

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	18.6	20.2	22.5	22.6	24.4	27.2	30.0	31.0	30.2	27.4	22.6	20.3	31.0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	3	341	415	293	7	0	0	1059
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	2	100	112	93	0	0	0	307
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	12.4	13.0	15.5	17.1	17.8	21.7	23.6	24.7	23.4	18.0	16.3	13.0	12.4
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	730	602	255	84	3	0	0	0	0	1	202	692	2569
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	129	101	6	0	0	0	0	0	0	0	2	117	355
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	722.00	589.00	223.25	59.00	--	--	--	--	--	--	159.75	676.00	2429.00
Aquecimento (Horas/Ocupação)	126.75	98.75	4.25	--	--	--	--	--	--	--	0.50	107.25	337.50
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	0.50	298.75	378.00	264.00	2.50	--	--	943.75
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	0.50	89.75	104.00	82.00	--	--	--	276.25

\*Número de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

## **Anexo P- Relatório de Conforto Interior para o Caso com Implementação da URC e BC**

## Conforto interior

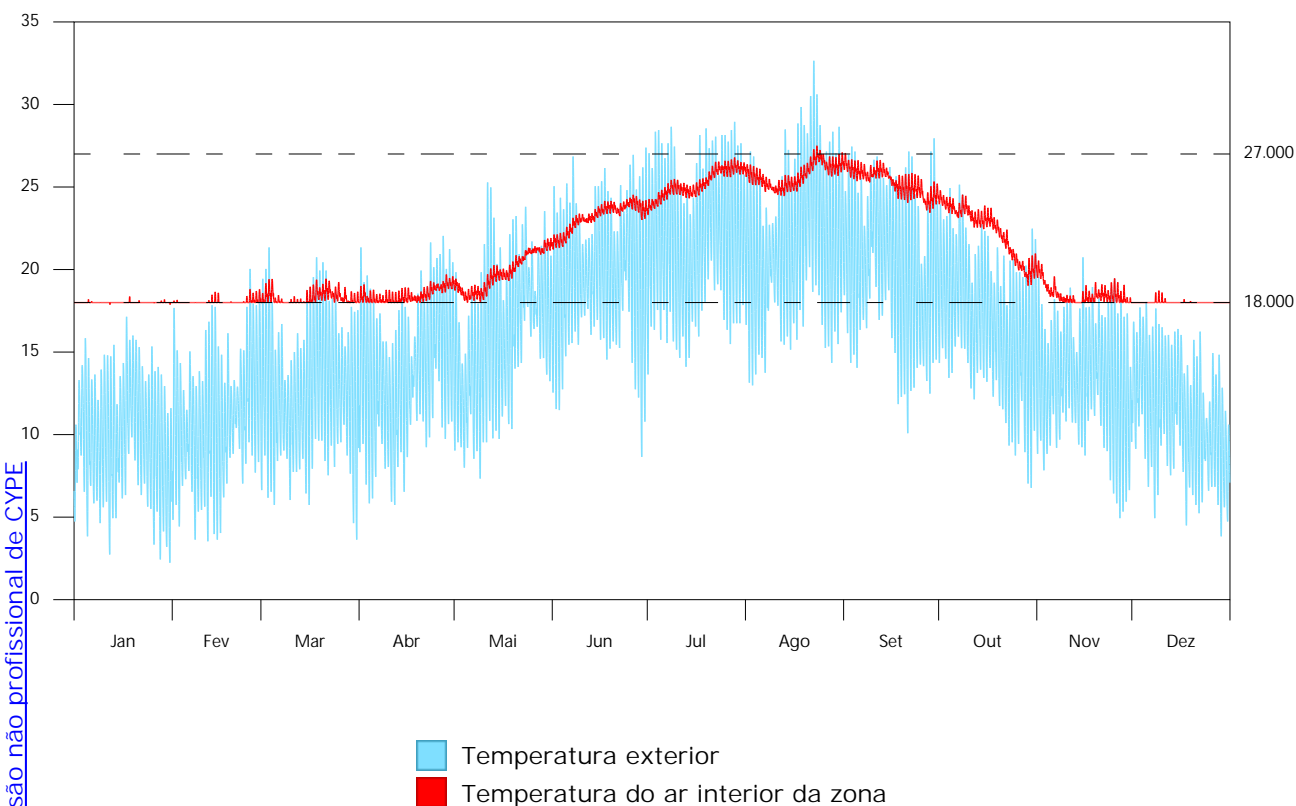
## ÍNDICE

1. Z01_QUARTOS 2/3 + WC 2.....	3
2. Z02_SUITE.....	4
3. Z03_HALLS + WC 3.....	5
4. Z04_COZINHA.....	6
5. Z05_SALA.....	7

# Conforto interior

## 1. Z01\_QUARTOS 2/3 + WC 2

Temperatura (°C)



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	18.4	18.8	19.4	19.7	21.9	24.5	26.8	27.5	27.0	24.8	20.5	18.7	27.5
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	0	25	2	0	0	0	27
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	17.9	18.0	18.0	18.0	18.0	21.2	23.3	24.5	23.4	19.0	18.0	18.0	17.9
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	432	345	148	67	1	0	0	0	0	0	78	393	1464
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	212	191	91	56	1	0	0	0	0	0	51	187	789
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Aquecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	11.00	--	--	--	--	11.00
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Número de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

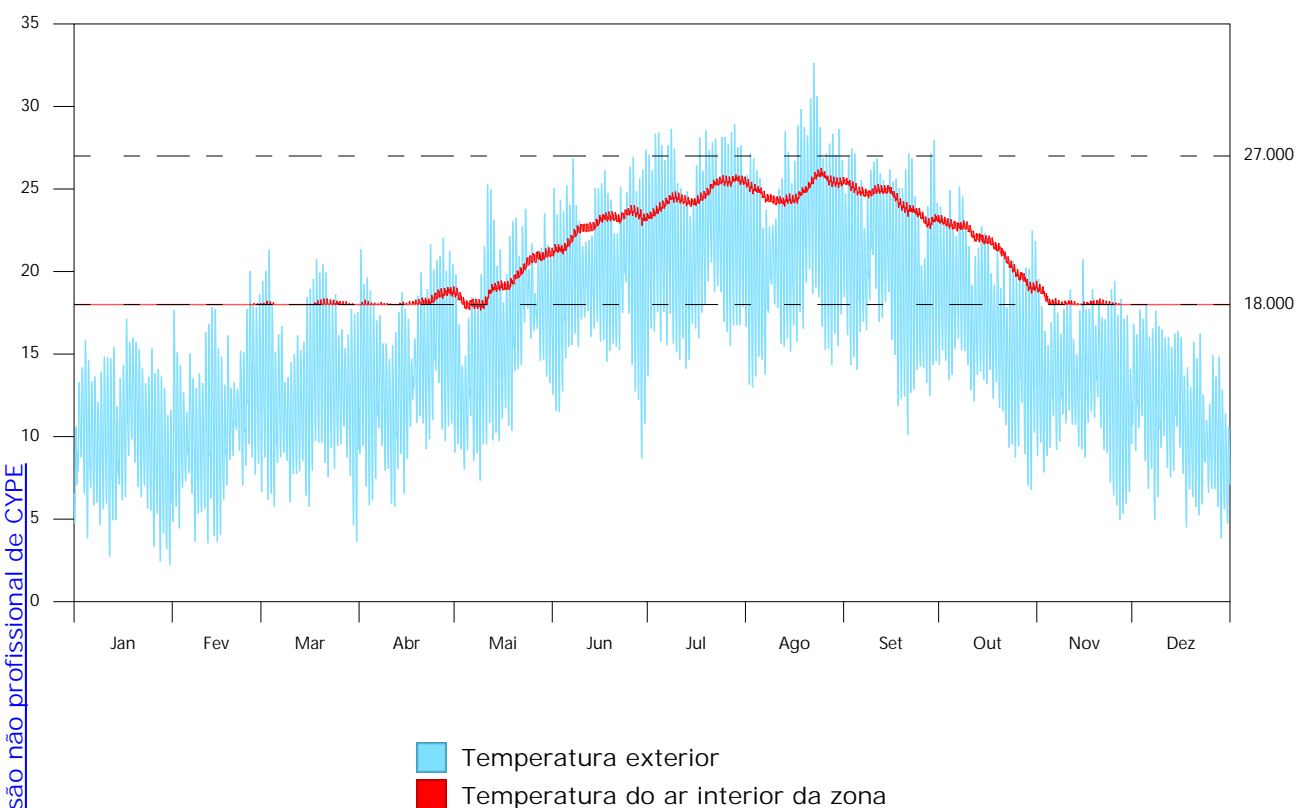
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 2. Z02\_SUITE

Temperatura (°C)



Produzido por uma versão não profissional de CYPE

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	18.0	18.1	18.4	19.1	21.5	24.0	25.9	26.3	25.7	23.4	19.3	18.0	26.3
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	17.6	20.9	23.2	23.9	22.6	18.7	18.0	18.0	17.6
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	375	331	322	196	100	0	0	0	0	0	226	355	1905
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	166	154	111	66	3	0	0	0	0	0	51	162	713
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Aquecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

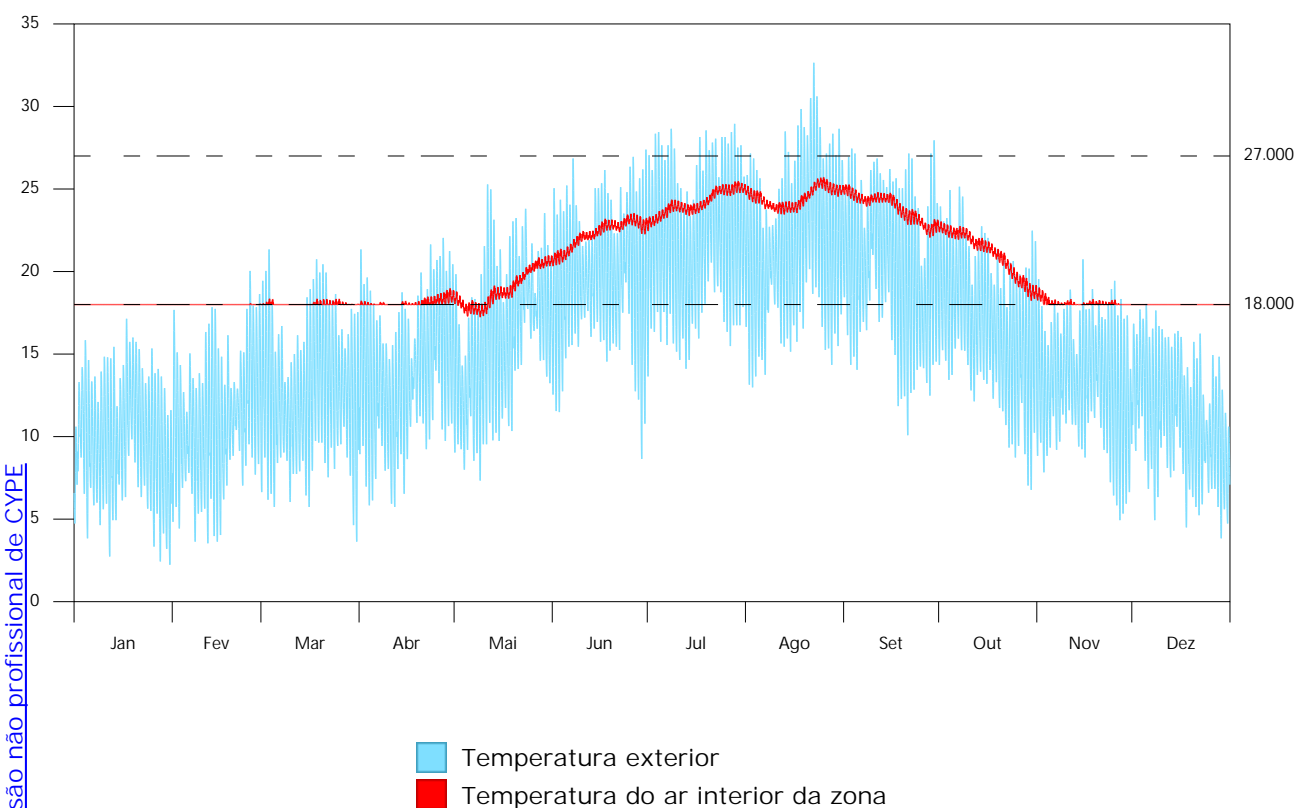
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 3. Z03\_HALLS + WC 3

Temperatura (°C)



Produzido por uma versão não profissional de CYPE

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	18.0	18.1	18.3	19.0	21.0	23.5	25.5	25.7	25.3	23.0	19.0	18.0	25.7
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	17.2	20.3	22.5	23.5	22.1	18.2	18.0	18.0	17.2
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	410	374	282	196	190	0	0	0	0	0	216	371	2039
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	84	53	24	14	16	0	0	0	0	0	11	55	257
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Aquecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

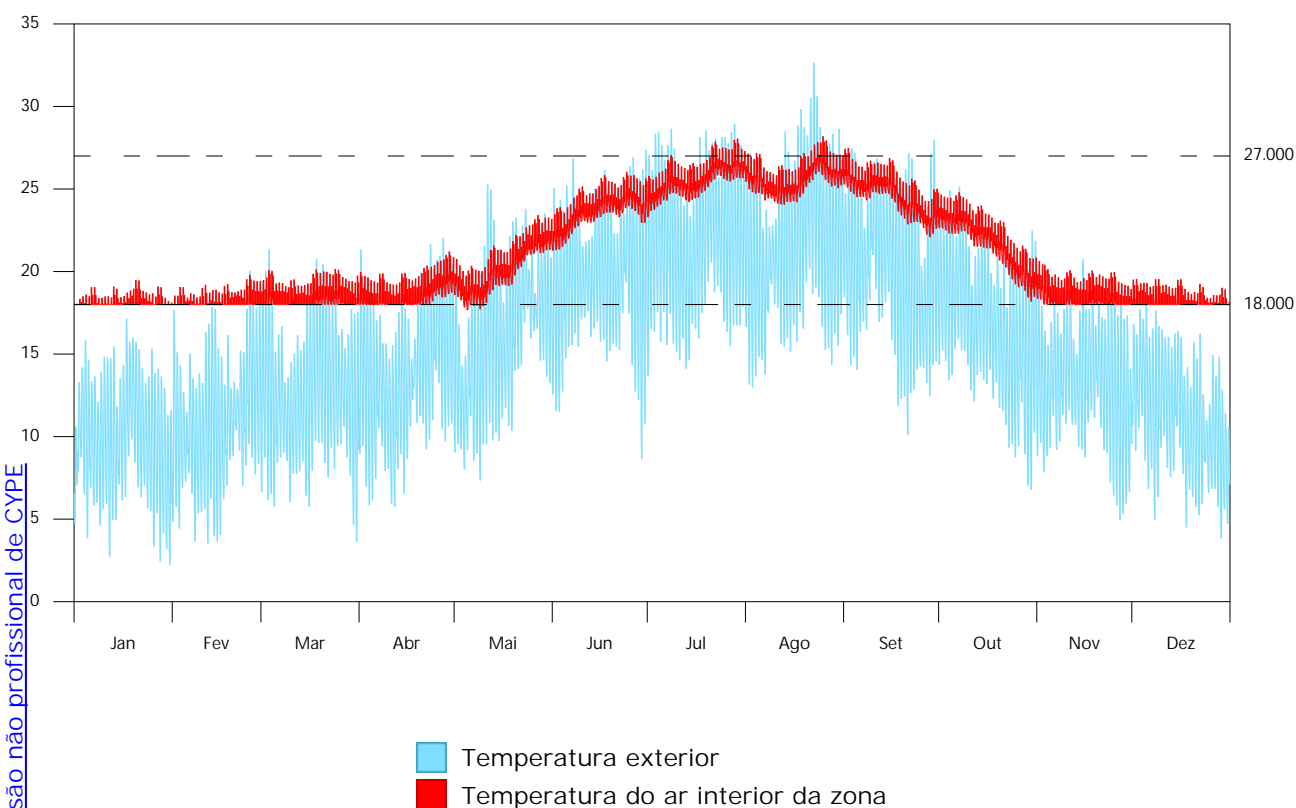
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 4. Z04\_COZINHA

Temperatura (°C)



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	19.5	19.8	20.2	21.2	23.4	26.0	28.1	28.2	27.5	24.8	20.6	19.5	28.2
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	29	32	4	0	0	0	65
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	29	31	4	0	0	0	64
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	17.7	21.3	23.3	24.1	22.1	18.2	18.0	18.0	17.7
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	318	292	205	136	35	0	0	0	0	0	149	287	1422
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	25
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Aquecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	23.00	20.00	3.00	--	--	--	46.00
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	23.00	19.75	3.00	--	--	--	45.75

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

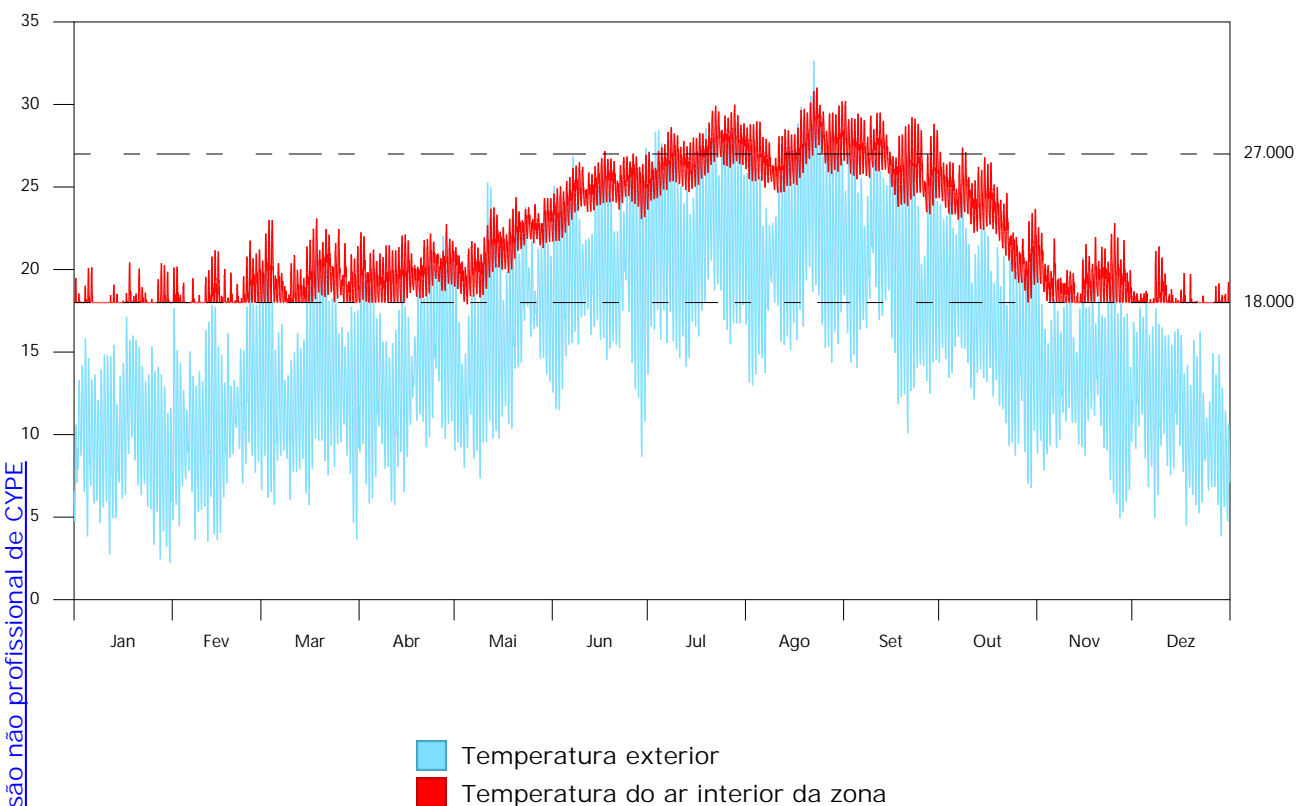
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 5. Z05\_SALA

Temperatura (°C)



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)													
$T_{int,max}$ (°C)	20.4	21.8	23.1	22.7	24.4	27.2	30.0	31.0	30.2	27.4	22.8	21.4	31.0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	4	341	415	293	7	0	0	1060
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	2	100	112	93	0	0	0	307
Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)													
$T_{int,min}$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	17.9	21.7	23.6	24.7	23.4	18.0	18.0	18.0	17.9
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	312	195	65	18	2	0	0	0	0	0	64	270	926
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	26	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	59
Horas fora do setpoint*													
Aquecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Aquecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	0.50	298.75	378.00	264.00	2.50	--	--	943.75
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	0.50	89.75	104.00	82.00	--	--	--	276.25

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

## **Anexo Q- Relatório de Conforto Interior para o Caso com Implementação da URC e BC para Aquecimento e Arrefecimento**

## Conforto interior

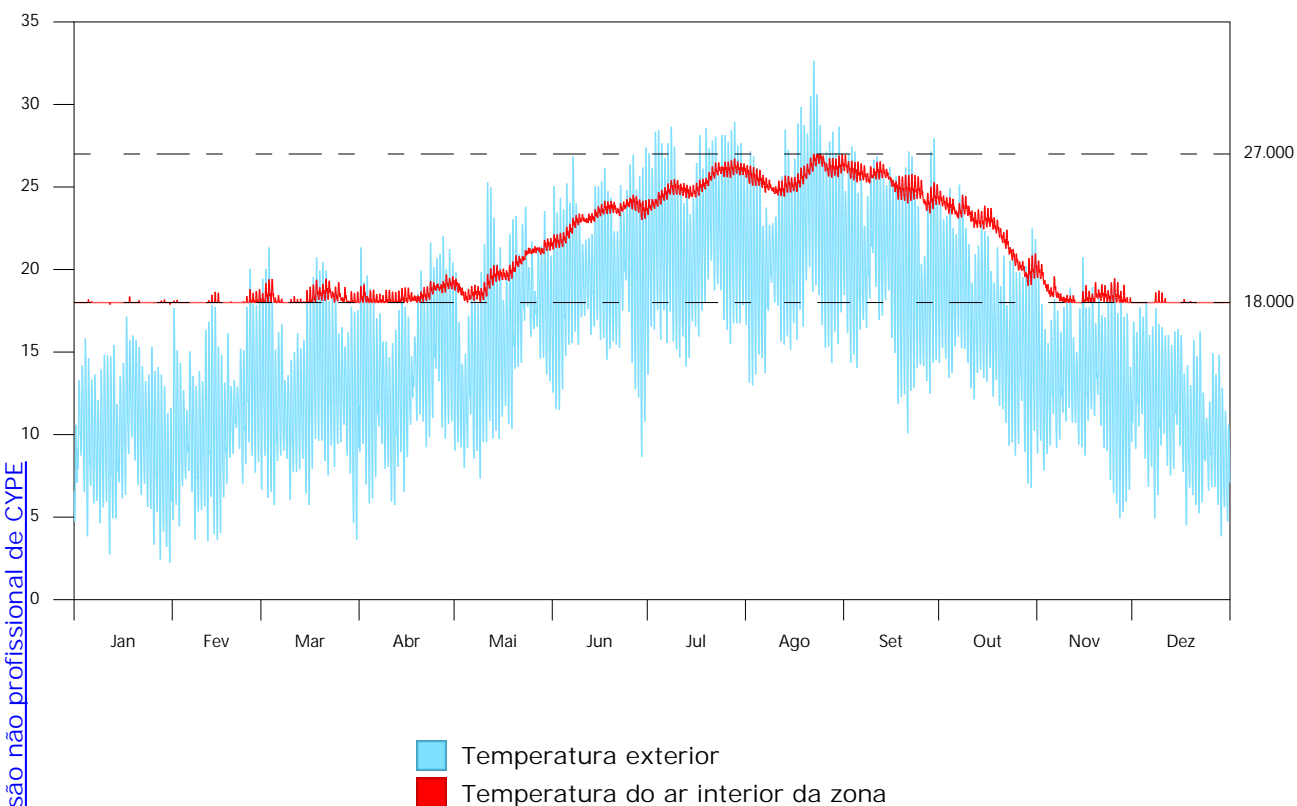
## ÍNDICE

1. Z01_QUARTOS 2/3 + WC 2.....	3
2. Z02_SUITE.....	4
3. Z03_HALLS + WC 3.....	5
4. Z04_COZINHA.....	6
5. Z05_SALA.....	7

# Conforto interior

## 1. Z01\_QUARTOS 2/3 + WC 2

Temperatura (°C)



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	18.4	18.8	19.4	19.7	21.9	24.5	26.7	27.0	26.9	24.8	20.5	18.7	27.0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	17.9	18.0	18.0	18.0	18.0	21.2	23.3	24.4	23.4	19.0	18.0	18.0	17.9
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	432	345	148	67	1	0	0	0	0	0	97	367	1457
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	212	191	91	56	1	0	0	0	0	0	66	173	790
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Aquecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Número de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

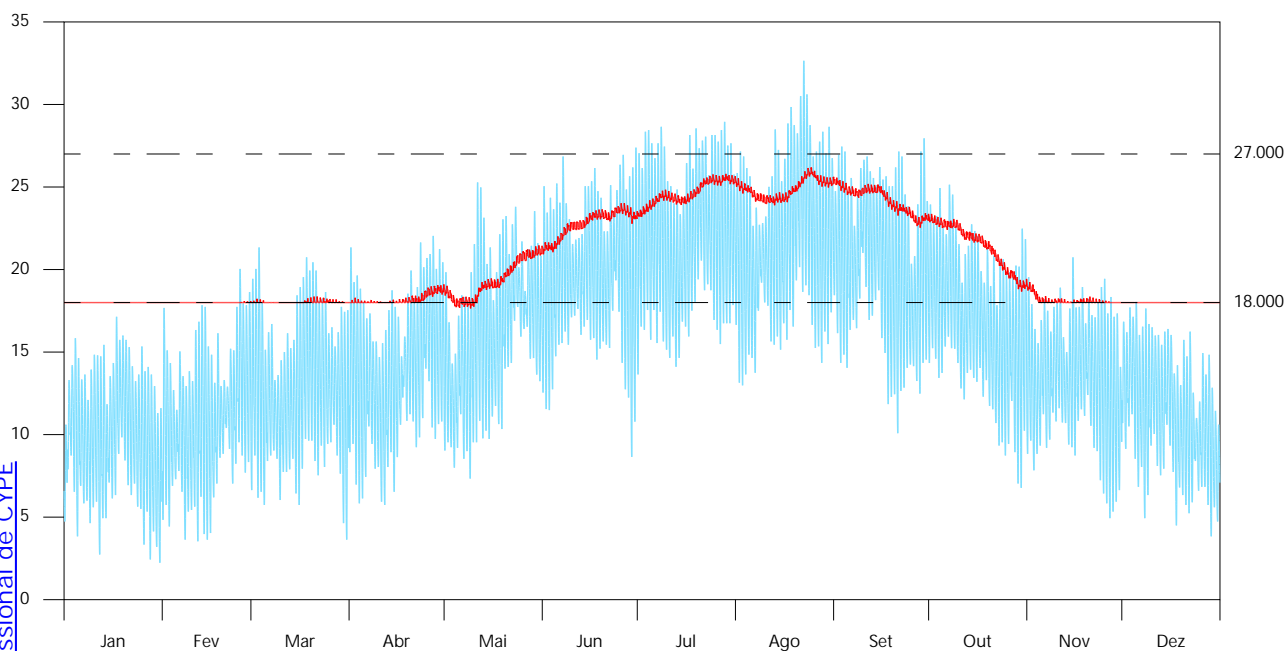
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 2. Z02\_SUITE

Temperatura (°C)



■ Temperatura exterior  
■ Temperatura do ar interior da zona

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	18.0	18.1	18.4	19.1	21.5	24.0	25.8	26.2	25.6	23.4	19.3	18.0	26.2
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	17.6	20.9	23.2	23.9	22.5	18.7	18.0	18.0	17.6
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	375	331	322	196	100	0	0	0	0	0	237	382	1943
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	166	154	111	66	3	0	0	0	0	0	50	180	730
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Aquecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

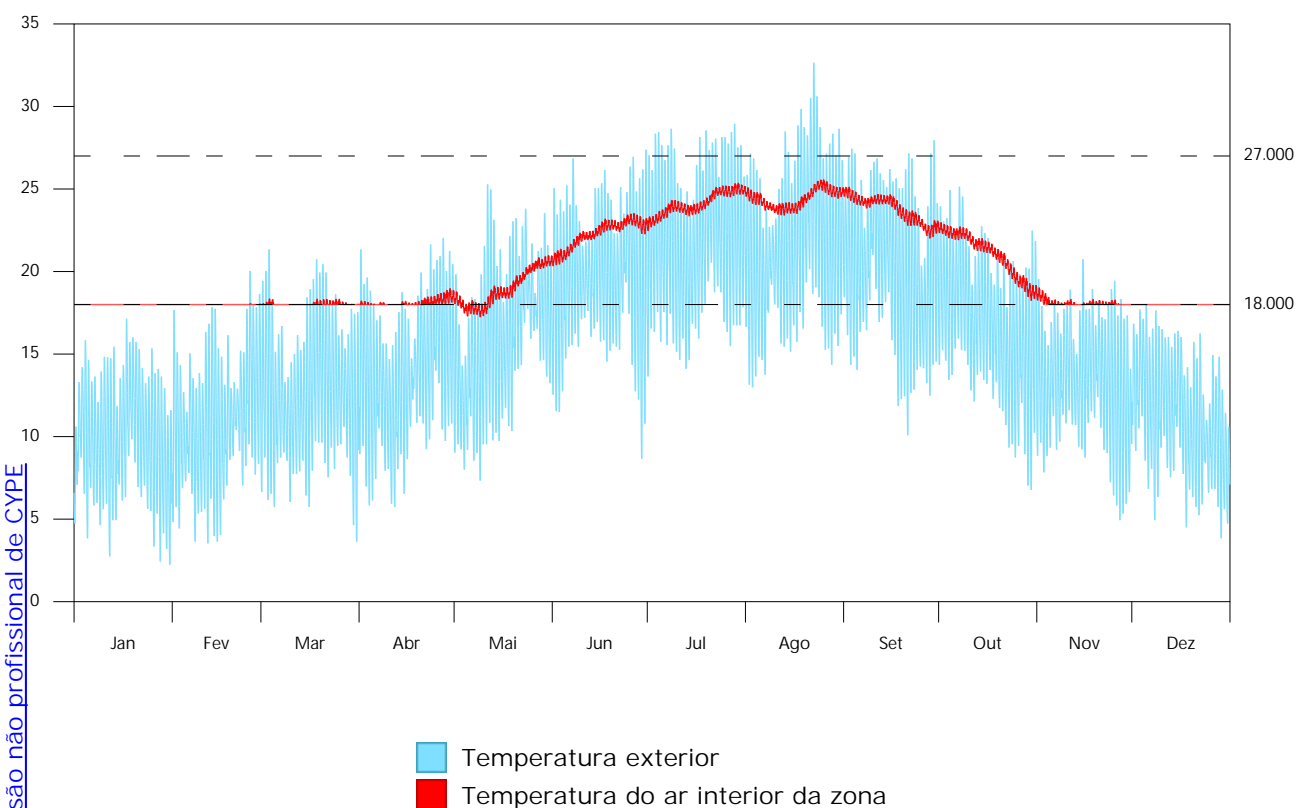
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 3. Z03\_HALLS + WC 3

Temperatura (°C)



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	18.0	18.1	18.3	19.0	21.0	23.5	25.4	25.6	25.1	23.0	19.0	18.0	25.6
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	17.2	20.3	22.5	23.4	22.0	18.2	18.0	18.0	17.2
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	410	374	282	196	190	0	0	0	0	0	235	368	2055
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	84	53	24	14	16	0	0	0	0	0	9	64	264
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Aquecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Número de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

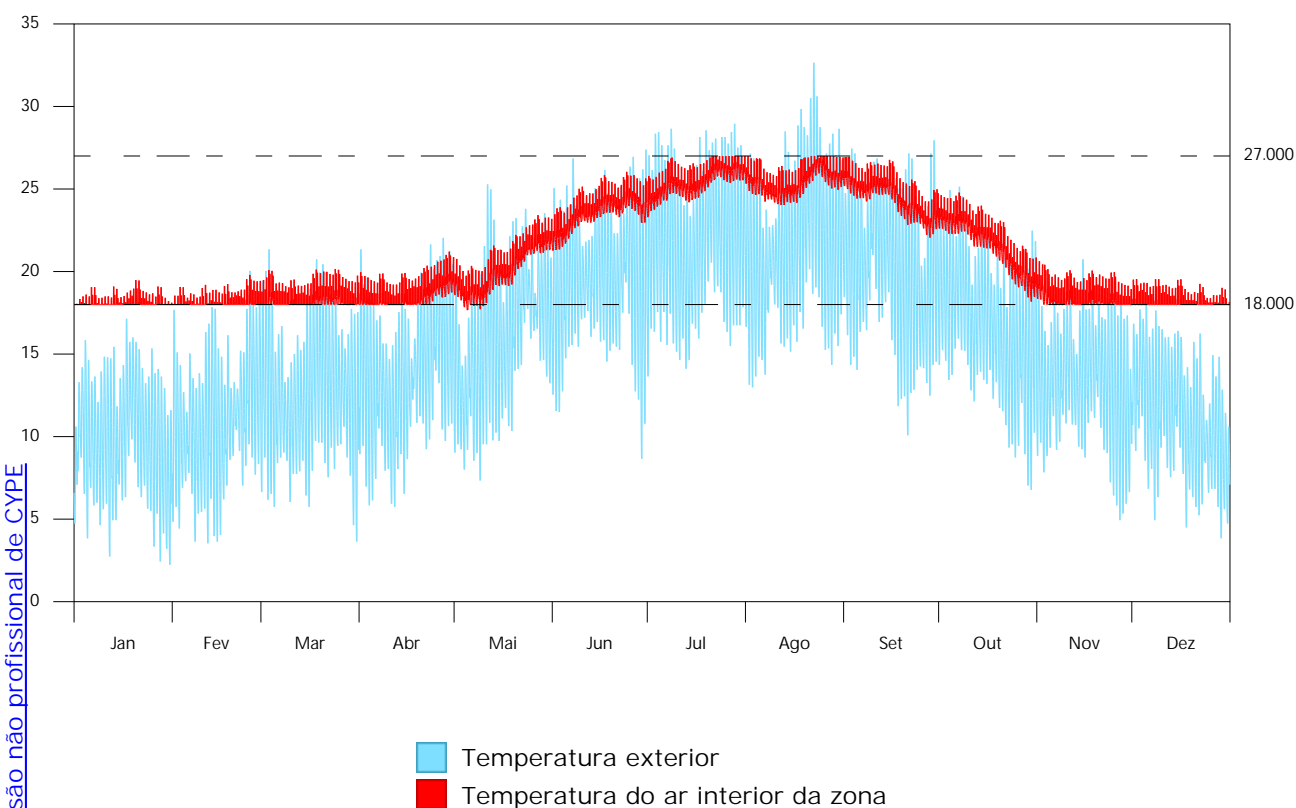
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 4. Z04\_COZINHA

Temperatura (°C)



Produzido por uma versão não profissional de CYPE

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	19.5	19.8	20.2	21.2	23.4	26.0	27.0	27.0	26.9	24.8	20.6	19.5	27.0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	6
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	17.7	21.3	23.3	24.0	22.1	18.2	18.0	18.0	17.7
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	318	292	205	136	35	0	0	0	0	0	152	312	1450
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	12	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	28
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Aquecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

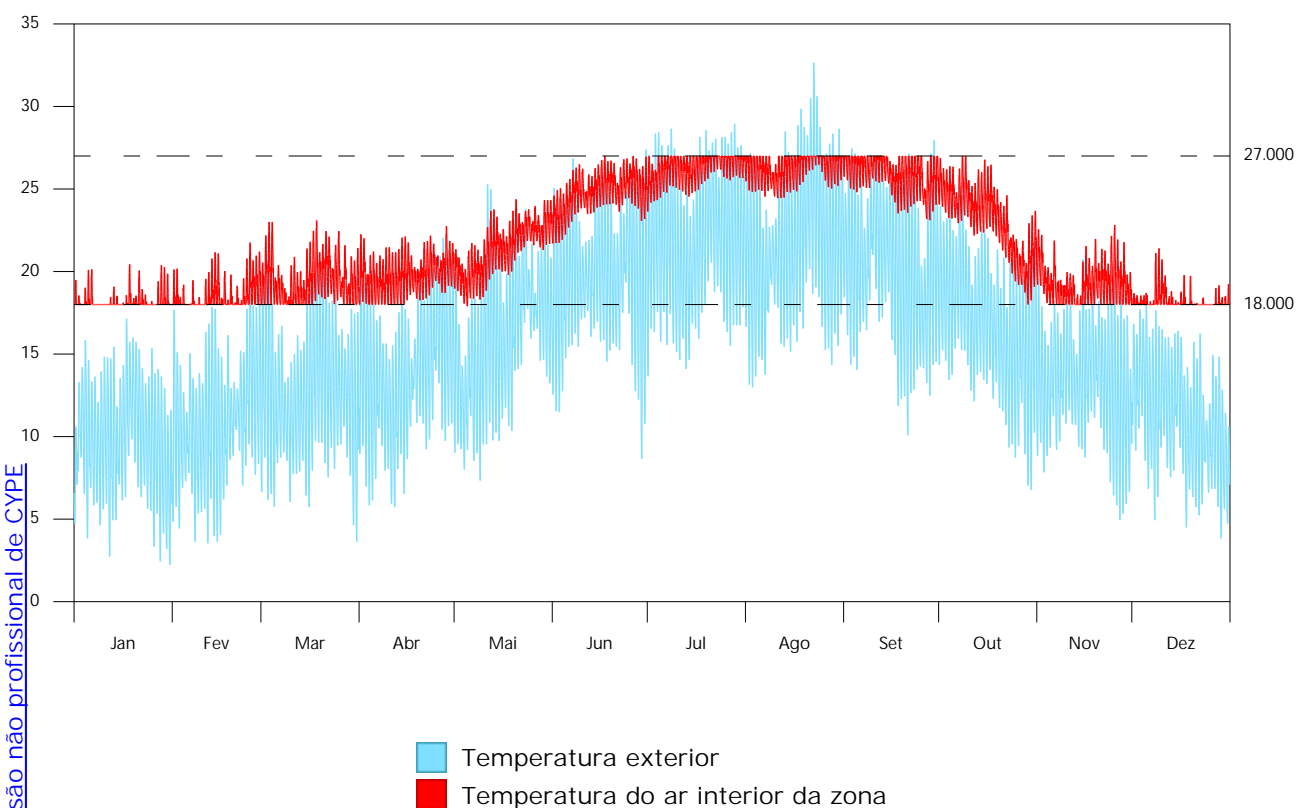
onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

# Conforto interior

## 5. Z05\_SALA

Temperatura (°C)



Produzido por uma versão não profissional de CYPE

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>Temperatura máxima de conforto (27.0 °C)</b>													
$T_{int,max}$ (°C)	20.4	21.8	23.1	22.7	24.4	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	22.8	21.4	27.0
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas)	0	0	0	0	0	0	96	109	76	1	0	0	282
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Horas/Ocupação)	0	0	0	0	0	0	7	5	4	0	0	0	16
<b>Temperatura mínima de conforto (18.0 °C)</b>													
$T_{int,min}$ (°C)	18.0	18.0	18.0	18.0	17.9	21.7	23.6	24.4	23.1	18.0	18.0	18.0	17.9
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas)	312	195	65	18	2	0	0	0	0	0	68	272	932
$T_{int} < T_{min,conf}$ (Horas/Ocupação)	26	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	56
<b>Horas fora do setpoint*</b>													
Aquecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Aquecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0
Arrefecimento (Horas/Ocupação)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0

\*Número de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

onde:

- $T_{int}$ : Temperatura do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,max}$ : Temperatura máxima do ar interior da zona, °C.
- $T_{int,min}$ : Temperatura mínima do ar interior da zona, °C.
- $T_{max,conf}$ : Temperatura máxima de conforto, °C.
- $T_{min,conf}$ : Temperatura mínima de conforto, °C.

## **Anexo R- Relatório de Consumo de Energia**

## Consumo energético

## ÍNDICE

1. RESULTADOS DO CÁLCULO DO CONSUMO ENERGÉTICO.....	3
1.1. Resultados mensais.....	3
1.1.1. Consumo energético anual do edifício.....	3
1.1.2. Resultados por zona habitável e mês.....	3
2. RENDIMENTO DOS EQUIPAMENTOS DOS SISTEMAS TÉCNICOS.....	5
3. MODELO DE CÁLCULO DO EDIFÍCIO.....	6
3.1. Necessidade energética do edifício.....	6
3.1.1. Necessidade energética de aquecimento e arrefecimento.....	6
3.1.2. Necessidade energética de AQS.....	6
3.2. Factores de conversão.....	6

# Consumo energético

## 1. RESULTADOS DO CÁLCULO DO CONSUMO ENERGÉTICO

### 1.1. Resultados mensais.

#### 1.1.1. Consumo energético anual do edifício.

		Jan (kWh)	Fev (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	Mai (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Set (kWh)	Out (kWh)	Nov (kWh)	Dez (kWh)	Ano (kWh/ano) (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
EDIFÍCIO (S <sub>u</sub> = 127.50 m <sup>2</sup> ; V = 344.26 m <sup>3</sup> )															
Necessidade energética	Aquecimento	874.4	605.7	234.9	121.0	--	--	--	--	--	0.0	154.1	660.5	2650.6	20.8
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	0.2	45.4	61.5	39.5	0.3	--	--	147.0	1.2
	AQS	259.2	234.1	259.2	250.8	259.2	250.8	259.2	250.8	259.2	250.8	259.2	250.8	3051.6	23.9
	TOTAL	1133.6	839.8	494.1	371.8	259.2	251.0	304.6	320.7	290.3	259.5	405.0	919.7	5849.2	45.9
Electricidade (f <sub>esp</sub> = 1.658)	EP <sub>aquec</sub>	691.6	592.2	438.9	278.2	--	--	--	--	--	0.3	305.8	645.2	2952.2	23.2
	EP <sub>aquec</sub>	1637.8	1402.2	1039.4	658.7	--	--	--	--	--	0.8	724.1	1527.8	6990.8	54.8
	EP <sub>nr,aquec</sub>	1146.5	981.5	727.6	461.1	--	--	--	--	--	0.6	506.8	1069.5	4893.6	38.4
	EP <sub>arref</sub>	--	--	--	--	--	0.0	8.4	11.6	7.1	0.0	--	--	27.1	0.2
	EP <sub>nr,arref</sub>	--	--	--	--	--	0.0	19.8	27.4	16.8	0.1	--	--	64.1	0.5
	EP <sub>arref</sub>	--	--	--	--	--	0.0	13.9	19.2	11.7	0.0	--	--	44.9	0.4
	EP <sub>aps</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	EP <sub>nr,aps</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	EP <sub>aps</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	EP <sub>nr,aps</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	EP <sub>ilum</sub>	31.7	28.6	31.7	10.8	11.1	10.8	11.1	11.1	10.8	31.7	30.7	31.7	251.8	2.0
	EP <sub>ilum</sub>	75.0	67.7	75.0	25.5	26.4	25.5	26.4	26.4	25.5	75.0	72.6	75.0	596.2	4.7
	EP <sub>nr,ilum</sub>	52.5	47.4	52.5	17.9	18.5	17.9	18.5	18.5	17.9	52.5	50.8	52.5	417.3	3.3
	Electricidade autoconsumida (f <sub>esp</sub> = 1.658)	EP	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-3231.0
	EP	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-7651.1	-60.0
	EP <sub>nr</sub>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-5355.7	-42.0
	C <sub>ef,tot</sub>	723.3	620.8	470.6	289.0	11.1	10.8	19.5	22.7	17.9	32.0	336.4	676.9	--	--
	C <sub>ep</sub>	1712.8	1470.0	1114.4	684.2	26.4	25.6	46.2	53.8	42.3	75.9	796.7	1602.8	--	--
	C <sub>ep,nr</sub>	1199.0	1029.0	780.1	479.0	18.5	17.9	32.3	37.7	29.6	53.1	557.7	1122.0	--	--

onde:

- S<sub>u</sub>: Superfície habitável do edifício, m<sup>2</sup>.
- V: Volume útil habitável do edifício, m<sup>3</sup>.
- f<sub>esp</sub>: Factor de conversão de energia final a energia primária procedente de fontes não renováveis.
- EF: Energia final consumida pelo sistema em ponto de consumo, kWh.
- EP: Consumo de energia primária, kWh.
- EP<sub>nr</sub>: Consumo de energia primária de origem não renovável, kWh.
- C<sub>ef,tot</sub>: Consumo de energia em ponto de consumo (energia final), kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- C<sub>ep</sub>: Consumo total de energia primária, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- C<sub>ep,nr</sub>: Consumo de energia primária de origem não renovável, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

### 1.2. Resultados por zona habitável e mês

Partos 2/3 + WC 2 (S<sub>u</sub> = 36.02 m<sup>2</sup>; V = 97.26 m<sup>3</sup>)

		Jan (kWh)	Fev (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	Mai (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Set (kWh)	Out (kWh)	Nov (kWh)	Dez (kWh)	Ano (kWh/ano) (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
Necessidade energética	Aquecimento	222.6	146.0	40.4	14.1	--	--	--	--	--	--	19.5	173.3	615.8	17.1
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	--	--	0.5	--	--	--	--	0.5	0.0
	AQS	64.8	58.5	64.8	62.7	64.8	62.7	64.8	64.8	62.7	64.8	62.7	64.8	762.9	21.2
	TOTAL	287.4	204.6	105.2	76.8	64.8	62.7	64.8	65.3	62.7	64.8	82.2	238.1	1379.3	38.3

		Jan (h)	Fev (h)	Mar (h)	Abr (h)	Mai (h)	Jun (h)	Jul (h)	Ago (h)	Set (h)	Out (h)	Nov (h)	Dez (h)	Ano (h)	
Horas fora do setpoint*	Aquecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

		Jan (kWh)	Fev (kWh)	Mar (kWh)	Abr (kWh)	Mai (kWh)	Jun (kWh)	Jul (kWh)	Ago (kWh)	Set (kWh)	Out (kWh)	Nov (kWh)	Dez (kWh)	Ano (kWh/ano) (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	
Energia útil proporcionada	AQS <sub>sol</sub>	19.4	17.6	19.4	18.8	19.4	18.8	19.4	19.4	18.8	19.4	18.8	19.4	228.9	6.4
	AQS <sub>sis</sub>	45.4	41.0	45.4	43.9	45.4	43.9	45.4	45.4	43.9	45.4	43.9	45.4	534.0	14.8

onde:

- S<sub>u</sub>: Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.

# Consumo energético

V: Volume útil da zona habitável, m<sup>3</sup>.  
 AQS<sub>sol</sub>: Energia solar útil proporcionada, kWh.  
 AQS<sub>sis</sub>: Energia útil proporcionada pelo sistema, kWh.

Suite (S<sub>u</sub> = 18.94 m<sup>2</sup>; V = 51.13 m<sup>3</sup>)

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Necessidade energética	Aquecimento	127.9	95.9	45.9	25.4	--	--	--	--	--	--	29.6	94.7	419.3	22.1
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	AQS	64.8	58.5	64.8	62.7	64.8	62.7	64.8	64.8	62.7	64.8	62.7	64.8	762.9	40.3
	TOTAL	192.7	154.4	110.7	88.1	64.8	62.7	64.8	64.8	62.7	64.8	92.3	159.5	1182.2	62.4

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
		(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)
Horas fora do setpoint*	Aquecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Energia útil proporcionada	AQS <sub>sol</sub>	19.4	17.6	19.4	18.8	19.4	18.8	19.4	19.4	18.8	19.4	18.8	19.4	228.9	12.1
	AQS <sub>sis</sub>	45.4	41.0	45.4	43.9	45.4	43.9	45.4	45.4	43.9	45.4	43.9	45.4	534.0	28.2

onde:

S<sub>u</sub>: Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.  
 V: Volume útil da zona habitável, m<sup>3</sup>.  
 AQS<sub>sol</sub>: Energia solar útil proporcionada, kWh.  
 AQS<sub>sis</sub>: Energia útil proporcionada pelo sistema, kWh.

Halls + WC 3 (S<sub>u</sub> = 22.98 m<sup>2</sup>; V = 62.04 m<sup>3</sup>)

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Necessidade energética	Aquecimento	188.7	145.5	82.5	51.4	--	--	--	--	--	0.0	59.8	144.0	671.8	29.2
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	AQS	64.8	58.5	64.8	62.7	64.8	62.7	64.8	64.8	62.7	64.8	62.7	64.8	762.9	33.2
	TOTAL	253.5	204.0	147.3	114.1	64.8	62.7	64.8	64.8	62.7	64.8	122.5	208.8	1434.7	62.4

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
		(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)
Horas fora do setpoint*	Aquecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Energia útil proporcionada	AQS <sub>sol</sub>	19.4	17.6	19.4	18.8	19.4	18.8	19.4	19.4	18.8	19.4	18.8	19.4	228.9	10.0
	AQS <sub>sis</sub>	45.4	41.0	45.4	43.9	45.4	43.9	45.4	45.4	43.9	45.4	43.9	45.4	534.0	23.2

onde:

S<sub>u</sub>: Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.  
 V: Volume útil da zona habitável, m<sup>3</sup>.  
 AQS<sub>sol</sub>: Energia solar útil proporcionada, kWh.  
 AQS<sub>sis</sub>: Energia útil proporcionada pelo sistema, kWh.

Cozinha (S<sub>u</sub> = 22.92 m<sup>2</sup>; V = 61.89 m<sup>3</sup>)

## Consumo energético

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Necessidade energética	Aquecimento	170.1	122.0	48.6	27.7	--	--	--	--	--	--	30.6	118.6	517.7	22.6
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	--	2.1	1.9	0.2	--	--	--	4.3	0.2
	AQS	64.8	58.5	64.8	62.7	64.8	62.7	64.8	64.8	62.7	64.8	62.7	64.8	762.9	33.3
	TOTAL	234.9	180.6	113.4	90.4	64.8	62.7	66.9	66.7	62.9	64.8	93.3	183.4	1284.8	56.1

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
		(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)
Horas fora do setpoint*	Aquecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Energia útil proporcionada	AQS <sub>sol</sub>	19.4	17.6	19.4	18.8	19.4	18.8	19.4	19.4	18.8	19.4	18.8	19.4	228.9	10.0
	AQS <sub>sis</sub>	45.4	41.0	45.4	43.9	45.4	43.9	45.4	45.4	43.9	45.4	43.9	45.4	534.0	23.3

onde:

- S<sub>u</sub>: Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.  
V: Volume útil da zona habitável, m<sup>3</sup>.  
AQS<sub>sol</sub>: Energia solar útil proporcionada, kWh.  
AQS<sub>sis</sub>: Energia útil proporcionada pelo sistema, kWh.

Sala (S<sub>u</sub> = 26.65 m<sup>2</sup>; V = 71.95 m<sup>3</sup>)

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Necessidade energética	Aquecimento	165.0	96.2	17.6	2.5	--	--	--	--	--	0.0	14.8	129.9	426.0	16.0
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	0.2	43.3	59.1	39.3	0.3	--	--	142.2	5.3
	TOTAL	165.0	96.2	17.6	2.5	--	0.2	43.3	59.1	39.3	0.3	14.8	129.9	568.2	21.3

		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
		(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)
Horas fora do setpoint*	Aquecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Arrefecimento	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

\*Numero de horas nas quais a temperatura do ar dos compartimentos da zona se situa fora do intervalo de temperaturas de setpoint de aquecimento ou de arrefecimento, com uma margem superior a 0.2 °C para aquecimento e 0.2 °C para arrefecimento.

onde:

- S<sub>u</sub>: Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.  
V: Volume útil da zona habitável, m<sup>3</sup>.  
AQS<sub>sol</sub>: Energia solar útil proporcionada, kWh.  
AQS<sub>sis</sub>: Energia útil proporcionada pelo sistema, kWh.

## 2. RENDIMENTO DOS EQUIPAMENTOS DOS SISTEMAS TÉCNICOS

Seguidamente indica-se o consumo de energia final (EF) e o rendimento estacional dos equipamentos de produção dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e produção de AQS, obtidos da simulação do edifício.

O rendimento estacional expressa a relação entre a produção de energia térmica do equipamento de produção e o seu consumo total de energia.

	Descrição	Vector energético	EF (kWh/ano)	Rendimento estacional
Equipamentos de produção para aquecimento				
BC	Bomba de calor ar-água	Electricidade	2952.20	6.02

# Consumo energético

Descrição	Vector energético	EF (kWh/ano)	Rendimento estacional	
Equipamentos de produção para arrefecimento				
BC 1	Equipamento de rendimento constante	Electricidade	0.16	5.38
BC 4	Equipamento de rendimento constante	Electricidade	1.07	5.38
BC 5	Equipamento de rendimento constante	Electricidade	25.83	5.38

onde:

EF: Consumo de energia final, kWh/ano.

## 3. MODELO DE CÁLCULO DO EDIFÍCIO.

### 3.1. Necessidade energética do edifício.

#### 3.1.1. Necessidade energética de aquecimento e arrefecimento.

Zonas habitáveis	$S_u$ (m <sup>2</sup> )	$D_{aquec}$ (kWh/ano)	$D_{aquec}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$D_{arref}$ (kWh/ano)	$D_{arref}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Quartos 2/3 + WC 2	36.02	615.85	17.10	0.50	0.01
Suite	18.94	419.29	22.14	--	--
Halls + WC 3	22.98	671.80	29.24	--	--
Cozinha	22.92	517.67	22.58	4.25	0.19
Sala	26.65	426.01	15.99	142.22	5.34
	127.50	2650.63	20.79	146.98	1.15

onde:

$S_u$ : Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.

$D_{aquec}$ : Valor calculado da necessidade energética de aquecimento, kWh/ano.

$D_{arref}$ : Valor calculado da necessidade energética de arrefecimento, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

#### 3.1.2. Necessidade energética de AQS.

O salto térmico utilizado no cálculo da energia térmica necessária realiza-se entre uma temperatura de referência definida na zona, e a temperatura da água de rede na localização do edifício projectado, de valores:

	Jan (°C)	Fev (°C)	Mar (°C)	Abr (°C)	Mai (°C)	Jun (°C)	Jul (°C)	Ago (°C)	Set (°C)	Out (°C)	Nov (°C)	Dez (°C)
Temperatura da água de rede	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0

Mostram-se seguidamente os resultados do cálculo da necessidade energética de AQS para cada zona habitável do edifício, junto com as necessidades diárias, a percentagem da necessidade coberta por energia renovável, e a restante a satisfazer através de energias não renováveis.

Zonas habitáveis	$Q_{AQS}$ (l/dia)	$T_{ref}$ (°C)	$S_u$ (m <sup>2</sup> )	$D_{AQS}$ (kWh/ano)	$D_{AQS}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	% <sub>AS</sub> (%)	$D_{AQS, sis}$ (kWh/ano)	$D_{AQS, sis}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Quartos 2/3 + WC 2	40.0	60.0	36.02	762.91	21.18	30.0	534.04	14.83
Suite	40.0	60.0	18.94	762.91	40.28	30.0	534.04	28.20
Halls + WC 3	40.0	60.0	22.98	762.91	33.20	30.0	534.04	23.24
Cozinha	40.0	60.0	22.92	762.91	33.28	30.0	534.04	23.30
	160.0		100.86	3051.64	30.26		2136.15	21.18

onde:

$Q_{AQS}$ : Caudal diário necessário de água quente sanitária, l/dia.

$T_{ref}$ : Temperatura de referência, °C.

$S_u$ : Superfície útil da zona habitável, m<sup>2</sup>.

$D_{AQS}$ : Necessidade energética correspondente ao serviço de água quente sanitária, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

%<sub>AS</sub>: Percentagem coberta por energia solar da necessidade energética de água quente sanitária, %.

$D_{AQS, sis}$ : Necessidade energética de AQS coberta pelo sistema, kWh/m<sup>2</sup>.ano.

### 3.2. Factores de conversão

Vector energético	$C_{ef}$ (kWh/ano)	$C_{ef}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$f_{esp}$	$C_{ep}$ (kWh/ano)	$C_{ep}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$f_{esp, nr}$	$C_{ep, nr}$ (kWh/ano)	$C_{ep, nr}$ (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	$f_{CO2}$	kg CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /ano)	kg CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> .ano)
Electricidade produzida in situ (renovável)	3231.02	25.34	1.000	3231.02	25.34	0.000	--	--	0.000	--	--

# Consumo energético

onde:

- $C_{ef}$ : Consumo de energia em ponto de consumo (energia final), kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $f_{cep}$ : Factor de conversão de energia final a energia primária.
- $C_{ep}$ : Consumo de energia primária, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $f_{cep, nr}$ : Factor de conversão de energia final a energia primária procedente de fontes não renováveis.
- $C_{ep, nr}$ : Consumo de energia primária de origem não renovável, kWh/m<sup>2</sup>.ano.
- $f_{co2}$ : Factor de conversão de energia final a emissões de CO<sub>2</sub>, kg CO<sub>2</sub>/kWh.
- kg CO<sub>2</sub>: Emissões de CO<sub>2</sub>, kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.ano.