



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Estudo paramétrico de otimização de sistemas de climatização para edifícios residenciais

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente

Autor

Liliana Armanda Cortês de Sousa

Orientador

Nuno Albino Vieira Simões

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Com a colaboração:



Coimbra, julho, 2015

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Professor Nuno Simões agradeço pela oportunidade da realização e a orientação prestada no decorrer deste projeto.

Uma palavra de agradecimento ao ITeCons e a todos os seus colaboradores, em especial à Eng^a Rosário Fino.

Aos meus pais expesso a minha gratidão pelo apoio e motivação sempre prestados ao longo destes anos. Ao meu irmão, em especial, o meu obrigado pela motivação constante que me deu, pelas inúmeras palavras de incentivo que muito contribuíram para que conseguisse chegar aqui.

Por último um agradecimento a todas as pessoas que me ajudaram tanto na execução deste projeto, como no meu percurso académico até então. Em particular ao Diogo Piedade pelo apoio, paciência e incentivo que sempre teve durante a realização do projeto.

Obrigada

RESUMO

Atualmente, o paradigma energético traduz-se num aumento constante da procura de energia elétrica e também por um constante aumento da fatura energética que leva a que se tornasse urgente a necessidade de adotar medidas eficazes para a redução destes custos, no sentido de promover a racionalização da energia e a utilização sustentável das diferentes formas de energia.

Na Europa, os edifícios residenciais representam uma grande fatia da energia consumida, assim sendo, é nestes edifícios que se torna pertinente intervir. Por vezes, pequenas mudanças podem contribuir significativamente para o aumento da poupança e da eficiência energética.

A implementação de sistemas de climatização, nos últimos anos, têm aumentado nos edifícios residenciais com o intuito de melhorar as condições de conforto térmico do edifício. Neste âmbito, a presente dissertação pretende estudar a influência de certos parâmetros na otimização de sistemas de climatização.

O dimensionamento de sistemas de climatização é feito, regra geral e especialmente no setor residencial, de forma expedita, conduzindo a um sobredimensionamento dos sistemas. Neste sentido, é necessário ter um conhecimento mais próximo da realidade das potências de aquecimento e de arrefecimento a adquirir num determinado edifício residencial, reconhece-se a importância de ter ferramentas que permitam aos projetistas obter um dimensionamento mais realista e em tempo útil.

Este estudo consiste na avaliação das potências de climatização que permitirá efetuar um dimensionamento adequado dos sistemas de climatização a instalar, verificando a influência da localização do edifício, a zona climática em que se insere, a sua orientação, a área de cada espaço a climatizar e as características construtivas do edifício. Para isso, foram elaboradas diversas simulações dinâmicas com o recurso ao programa *EnergyPlus* integrado no *DesignBuilder*, conjugando todos estes parâmetros em estudo.

Palavras-chave: Eficiência energética, edifícios residenciais, dimensionamento sistemas de climatização, necessidades de aquecimento e de arrefecimento.

ABSTRACT

Currently, the energy paradigm is reflected in a steady increase in electricity demand and also by a steady increase in the energy bill that leads to become an urgent need to take effective measures to reduce these costs, in order to promote the rationalization energy and the sustainable use of different forms of energy.

In Europe, residential buildings account for a large slice of energy consumed, therefore, it is in these buildings that is pertinent to intervene. Sometimes small changes can significantly contribute to increased savings and energy efficiency.

Implementation of HVAC systems, in recent years, have increased in residential buildings in order to improve the thermal comfort of the building. In this context, the present work aims to study the influence of certain parameters in HVAC systems optimization.

The HVAC system design is done generally and especially in the residential sector, expeditiously, leading to oversizing of the systems. Thus, it is necessary to have a closer knowledge of the reality of the heating and cooling powers to acquire on a particular residential building, it is recognized the importance of having tools that enable designers to get a more realistic and in good time.

This study consists of the evaluation of HVAC powers that will allow make a proper sizing of HVAC systems to be installed by checking the influence of the building location, the climate zone in which it operates, its orientation, the area of each room to be conditioned and constructive characteristics of the building. For this, we have been prepared various dynamics simulations with the use of integrated EnergyPlus program DesignBuilder, combining all these parameters under study.

Keywords: Energy efficiency, residential buildings, HVAC system design, heating and cooling needs.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABELAS.....	viii
SIMBOLOGIA.....	x
ABREVIATURAS.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação e objetivos.....	4
1.2 Estrutura da dissertação.....	5
2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	6
2.1 Metodologia.....	6
2.1.1 Programa de cálculo.....	8
2.2 Descrição dos edifícios.....	8
2.2.1 Edifícios simulados.....	8
2.2.2 Zonas térmicas.....	10
2.2.3 Definição e caracterização das soluções construtivas.....	12
2.2.3.1 Pacote incorporando parede simples e vidro simples.....	14
2.2.3.2 Pacote incorporando parede dupla rebocada com vidro simples e vidro duplo: construção posterior a 1960.....	14
2.2.3.3 Pacote incorporando parede dupla com isolamento e vidro duplo.....	15
2.2.3.4 Pacote incorporando parede dupla (REH) e vidro duplo.....	16
2.3 Zonas climáticas.....	16
2.4 Representação esquemática do problema.....	18
2.5 Pressupostos de simulação.....	18
2.5.1 Determinação das potências de arrefecimento.....	19
2.5.2 Determinação das potências de aquecimento.....	20
3 RESULTADOS.....	21
3.1 Análise de resultados para a zona climática I1V2 (Porto).....	21
3.1.1 Influência da área dos espaços a climatizar.....	21
3.1.2 Influência da envolvente dos espaços a climatizar e das condições fronteira....	23
3.1.2.1 Piso em que se localiza a fração (térreo, intermédio, cobertura).....	26
3.1.2.2 Condições de fronteira.....	31
3.1.3 Análise comparativa das diferentes zonas térmicas.....	34
3.2 Análise comparativa dos resultados para diferentes zonas climáticas.....	40
3.2.1 Zona climática de inverno.....	40
3.2.1.1 Zona climática I1.....	40

3.2.1.2	Zona climática I2.....	42
3.2.1.3	Zona climática I3.....	43
3.2.2	Zona climática de verão.....	45
3.2.2.1	Zona climática V2.....	45
3.2.2.2	Zona climática V3.....	46
3.2.3	Estudo das variações máximas e mínimas nas potências.....	47
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
4.1	Conclusões.....	50
4.2	Sugestões para desenvolvimentos futuros.....	51
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
ANEXOS.....		57
Anexo A	– Pacote da solução construtiva: Parede simples e vidro simples.....	57
Anexo B	– Pacote da solução construtiva: Parede dupla rebocada com vidro simples e vidro duplo: construção posterior a 1960.....	59
Anexo C	– Pacote da solução construtiva: Parede dupla com isolamento e vidro duplo.....	61
Anexo D	– Pacote da solução construtiva: Parede dupla (REH) e vidro duplo.....	63
Anexo E	– Resultados para a zona climática I1V2 (Porto).....	65
Anexo F	– Zona climática I1.....	68
Anexo G	– Zona climática I2.....	69
Anexo H	– Zona climática I3.....	70
Anexo I	– Zona climática de inverno (I1, I2, I3).....	71
Anexo J	– Zona climática de verão (V2, V3).....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Sistema de certificação energética de um edifício (Ferreira e Domingos, 2011).	3
Figura 2.1 – Simulação em que o edifício tem as quatro envolventes exteriores: a) Edifício 1 - edifício com espaços interiores de tipo “A”; b) Edifício 4 - edifício com espaços interiores de tipo “B” (espaços com menor área).	9
Figura 2.2 – Simulação em que o edifício tem edifícios adjacentes a Norte e a Sul: a) Edifício 2 - edifício com espaços interiores de tipo “A”; b) Edifício 5 - edifício com espaços interiores de tipo “B” (espaços com menor área).	9
Figura 2.3 – Simulação em que o edifício tem edifícios adjacentes a Oeste e a Este: a) Edifício 3 - edifício com espaços interiores de tipo “A”; b) Edifício 6 - edifício com espaços interiores de tipo “B” (espaços com menor área).	10
Figura 2.4 – Representação esquemática da vista interior: a) das zonas de tipo “A” e b) das zonas de tipo “B”.	10
Figura 2.5 – Zonas térmicas com fachada exterior.	10
Figura 2.6 – Zonas térmicas com fachadas exteriores e paredes em contato com edifícios adjacentes: a) edifício adjacente a Norte e Sul; b) edifício adjacente a Oeste e Este.	11
Figura 2.7 – Zonas térmicas: a) zona térmica Q; b) zona térmica R; c) zona térmica S.	11
Figura 2.8 – Zonas térmicas: zona térmica T; b) zona térmica U.	11
Figura 2.9 – Zonas térmicas: a) zona térmica X; b) zona térmica V.	12
Figura 2.10 – Síntese da evolução das paredes em Portugal (Flores-Colen et al., 2015).	13
Figura 2.11 – Zonas climáticas: a) de inverno; b) de verão (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013, 2013).	17
Figura 2.12 – Esquema representativo das combinações estudadas.	18
Figura 3.1 – Esquema representativo das combinações estudadas para a influência da área dos espaços a climatizar.	22
Figura 3.2 – Resultados das potências de aquecimento e arrefecimento obtidas para a fração térreo através de simulação: a) Edifícios de tipologia A; b) Edifícios de tipologia B.	22
Figura 3.3 – Esquema representativo das combinações estudadas para a influência da envolvente dos espaços a climatizar e das condições de fronteira.	24
Figura 3.4 – Resultados obtidos para o piso térreo de cada edifício e para cada pacote de solução construtiva relativos à: a) potência de aquecimento; b) potência de arrefecimento.	24
Figura 3.5 – Resultados das potências do edifício 1 de tipologia A para as diferentes soluções construtivas e pisos: a) potência de aquecimento; b) potência de arrefecimento.	27
Figura 3.6 – Resultados das potências do edifício 2 de tipologia A para as diferentes soluções construtivas e pisos: a) potência de aquecimento; b) potência de arrefecimento.	28

Figura 3.7 – Resultados das potências do edifício 3 de tipologia A para as diferentes soluções construtivas e pisos: a) potência de aquecimento; b) potência de arrefecimento.....	30
Figura 3.8 – Esquema representativo das combinações estudadas para a análise comparativa das diferentes zonas térmicas.	35
Figura 3.9 – Esquema representativo das zonas térmicas do edifício 1.....	37
Figura 3.10 – Esquema representativo das zonas térmicas: a) Edifício 2; b) Edifício 3.	38
Figura 3.11 – Potências de climatização em W/m^2 para o edifício de tipologia A, localizado no Porto: a) Potência de aquecimento; b) Potência de arrefecimento.	39
Figura 3.12 – Variação das potências de climatização em função da localização: a) potência máxima; b) potência mínima (figuras com escalas diferentes).	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Zonas climáticas e as respetivas cidades em estudo.	6
Tabela 2.2 – Relação das condições de climatização simuladas para cada piso de cada edifício.	7
Tabela 2.3 – Resistências térmicas superficiais de cada elemento construtivo.	13
Tabela 2.4 – Valores do coeficiente global de transmissão de calor para cada elemento construtivo para o pacote incorporante parede simples e vidro simples.	14
Tabela 2.5 – Valores do coeficiente global de transmissão de calor para cada elemento construtivo para o pacote incorporando parede dupla rebocada e vidro duplo.	15
Tabela 2.6 – Valores do coeficiente global de transmissão de calor para cada elemento construtivo para o pacote incorporando parede dupla com isolamento e vidro duplo.	15
Tabela 2.7 – Valores do coeficiente global de transmissão de calor para cada elemento construtivo para a envolvente parede dupla com isolamento.	16
Tabela 2.8 – Descrição das zonas climáticas em análise.	17
Tabela 3.1 – Redução verificada nas potências de climatização com a alteração das tipologias e envolventes dos edifícios.	23
Tabela 3.2 – Variação das potências de climatização, em relação à situação com menor potência: influência da alteração da envolvente dos edifícios.	25
Tabela 3.3 – Variação das potências de climatização, em relação à situação com menor potência: influência da localização das frações no edifício 1.	27
Tabela 3.4 – Variação das potências de climatização, em relação à situação com menor potência: influência da localização das frações no edifício 2.	29
Tabela 3.5 – Variação das potências de climatização, em relação à situação com menor potência: influência da localização das frações no edifício 3.	30
Tabela 3.6 – Reduções de potência do piso térreo com a alteração das condições de fronteira (climatização) do piso adjacente.	32
Tabela 3.7 – Reduções verificadas com a alteração das condições de fronteira do piso intermédio (função da climatização dos pisos adjacentes).	33
Tabela 3.8 – Reduções verificadas com a alteração das condições de fronteira do piso de cobertura (função da climatização dos pisos adjacentes).	34
Tabela 3.9 – Potências (kW) obtidas para os edifícios de tipologia A e para as restantes zonas térmicas.	36
Tabela 3.10 – Redução verificada entre as zonas térmicas A/B/C/D e E/F/G/H do edifício 1.	37
Tabela 3.11 – Diferenças verificadas entre as zonas térmicas do edifício 2 e 3.	38

Tabela 3.12 – Tabela comparativa das potências de aquecimento e arrefecimento da zona climática I1 para as zonas térmicas Q e X para o pacote de soluções construtivas com a referência “parede dupla (REH) e vidro duplo”.....	41
Tabela 3.13 – Tabela comparativa das potências de aquecimento e arrefecimento da zona climática I2 para as zonas térmicas Q e X para o pacote de soluções construtivas com a referência “parede dupla (REH) e vidro duplo”.....	43
Tabela 3.14 – Tabela comparativa das potências de aquecimento e arrefecimento da zona climática I3 para as zonas térmicas Q e X para o pacote de soluções construtivas com a referência “parede dupla (REH) e vidro duplo”.....	44
Tabela 3.15 – Variações verificadas entre as zonas climáticas de verão V2 para o edifício 1 de tipologia A.....	46
Tabela 3.16 – Variações verificadas entre as zonas climáticas de verão V3 para o edifício 1 de tipologia A.....	47
Tabela 3.17 – Potências máximas e mínimas de cada zona climática para a zona térmica J do edifício 2, para o piso de cobertura.....	48

SIMBOLOGIA

e – Espessura	[m]
P_{aque} – Potência de aquecimento	[kW]
P_{arref} – Potência de arrefecimento	[kW]
R_i – Resistência térmica da camada composta pelo material i	$[(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}]$
R_{se} – Resistência térmica superficial exterior	$[(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}]$
R_{si} – Resistência térmica superficial interior	$[(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}]$
U – Coeficiente de transmissão de calor	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$
U_{wdn} – Coeficiente de transmissão de médio dia-noite (de um envidraçado vertical)	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$
λ – Coeficiente de condutibilidade térmica	$[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$

ABREVIATURAS

ADENE – Agência para a Energia;

AE – Auditorias Energéticas;

APA – Agência Portuguesa do Ambiente;

AQS – Água Quente Sanitária;

ASHRAE – “American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers” - Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e de Ar Condicionado;

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar condicionado;

CE – Comissão Europeia;

CO₂ – Dióxido de Carbono;

EE – Eficiência Energética;

ENU – Espaço não útil;

EPBD – Diretiva do desempenho energético de edifícios;

EPS – Poliestireno expandido moldado;

EU – “European Union” - União Europeia;

ICB – “Insulation cork board” - Aglomerado de cortiça expandida;

IEE – Índice de Eficiência Energética;

ITE – Informação Técnica de Edifícios;

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

n.a – não aplicável;

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos;

NZEB – Edifício de Balanço energético quase zero;

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifício de Comercio e Serviço;

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação;

SCE – Sistema de Certificação Energética dos edifícios;

URA – Utilização Racional de Energia.

1 INTRODUÇÃO

Um aumento na procura de energia contribui de forma negativa sobre a qualidade de vida das populações e do seu meio ambiente. Com o aquecimento global, a destruição da camada de ozono e a poluição resultam em problemas críticos de saúde (Abu Bakar et al., 2015). A forma como a energia disponível é utilizada torna-se numa questão chave e, por isso, o aumento da eficiência energética é imprescindível para uma diminuição do consumo energético global, assim como o aumento dos correspondentes benefícios económicos.

A nível global, o consumo da energia em 2013, distribui-se pelos principais setores, sendo estes a indústria com 32%, os transportes com 28%, o residencial com 22% e o comercial com 18%. Contudo, no consumo de energia nos edifícios está previsto um crescimento de 45% entre 2020 até 2025 (EIA@, 2015).

Na União Europeia, 41% do consumo da energia final deve-se dos edifícios, estimando-se que 30% são utilizados em edifícios residenciais (Guerra et al., 2009). Contudo, mais de 50% do consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética. Esta redução pode representar uma diminuição anual de 400 milhões de toneladas de CO₂, equivalente praticamente à totalidade do compromisso da União Europeia no âmbito do Protocolo de Quioto (ADENE@, 2015a).

A Comissão Europeia considera que as poupanças de energia mais significativas ocorrerão nos setores dos edifícios residenciais e comerciais, das indústrias transformadoras e no setor dos transportes. Com estas reduções setoriais, estima-se poupar cerca de 390 Mtep anuais, isto é, 100 mil milhões de euros por ano até 2020, permitindo ainda diminuir as emissões de CO₂ em 780 milhões de toneladas por ano (União Europeia@, 2015).

A nível nacional, de acordo com o Relatório do Estado do Ambiente de 2013, para o ano de 2011, o consumo de energia nos principais setores de atividade económica foi de 35,8% nos transportes, 33,7% na indústria, 16,6% no setor doméstico, 11,3% nos serviços e 2,6% na agricultura e pescas (APA@, 2015). O setor residencial representa cerca de 3,9 milhões de alojamentos, contribuiu com cerca de 30% no consumo da eletricidade, o que evidencia a necessidade de moderar em especial este consumo elétrico. Uma das principais causas apontadas para o aumento do consumo da energia, persiste na ineficiência dos equipamentos utilizados no setor, dos procedimentos e hábitos de utilização desses equipamentos.

Porém, com algumas pequenas intervenções nos edifícios, que não implicam grandes custos, é possível poupar até 30-35% de energia, mantendo as mesmas condições de conforto (ADENE@, 2015b).

Nos dias de hoje, a eficiência energética tornou-se uma parte vital da estratégia de muitos países, tem vindo a ter um papel importante no que diz respeito ao controle do uso de energia, bem como na redução de custos e manutenção do conforto dos edifícios (Rosenberg, 2014). Assim, a eficiência energética salienta que as condições de conforto proporcionadas pelos edifícios residenciais dependem de alguns fatores, no qual se incluem as características de construção do edifício e dos sistemas de climatização (Isolani, 2008).

Relativamente aos sistemas de climatização, as bombas de calor são consideradas dos sistemas mais eficazes para aquecimento e arrefecimento de edifícios (Zarella et al., 2015). Neste sentido, nos últimos anos, as bombas de calor têm sido alvo de estudo por parte de vários autores. O autor Junghans debruçou-se, por exemplo, na comparação da viabilidade económica e ambiental dos sistemas de bomba de calor em edifícios residenciais com diferentes padrões de isolamentos para regiões com climas distintos (Junghans, 2015). Já, Aste et al. optou por uma análise mais económica dos sistemas, referindo que apesar dos sistemas de bomba de calor serem uma tecnologia versátil, o seu dimensionamento está relacionado com o clima específico, condições operacionais e económicas (Aste et al., 2013).

Já Molinari et al. estudaram a relação entre o desempenho dos sistemas de bomba de calor sob a influência da localização do isolamento na envolvente. Este estudo permitiu quantificar o impacto de diferentes configurações no projeto sobre a necessidade de utilização final de energia (Molinari et al., 2013). Assim, concluíram que a energia necessária para os sistemas de bomba de calor é dependente da espessura do isolamento da envolvente do edifício. Isto é, o aumento do isolamento da envolvente permite reduzir os gastos energéticos dos sistemas de bomba de calor, contribuindo de forma benéfica para a redução das necessidades energéticas.

Apesar de existirem alguns artigos relativos aos sistemas de bomba de calor, ainda existe muita incerteza sobre o seu desempenho real (Madonna e Bazzocchi, 2013). Os consumos estão sempre dependentes do clima, das configurações dos sistemas e das características de construção.

Um aspeto importante a ter em consideração é a legislação que tem sido aplicada ao longo dos anos na União Europeia, e em particular, em Portugal, para este setor em específico. Ao longo dos anos tem sido implementadas normas e regulamentos que influenciam as atividades de engenharia em projetos de climatização nos edifícios. Assim, a Comunidade Europeia tem vindo a aprovar várias políticas de energia, em destaque, a diretiva EPBD, diretiva 2002/91/CE

do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético de edifícios. Esta diretiva foi recentemente reformulada e, no dia 19 de maio de 2010, a Diretiva 2010/31/UE foi publicada e aprovada pelo Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia a fim de aumentar a eficiência de energia de edifícios da EU (Ferreira e Pinheiro, 2011).

A diretiva EPBD tornou-se num marco importante, pois contribuiu num progresso considerável para atingir os objetivos de eficiência da energia, notando-se uma considerável evolução no sentido de melhorar o desempenho energético e da construção de edifícios sustentáveis. A diretiva reformulada aumentou a ambição para se estimular a construção de edifícios de balanço energético quase nulo (NZEB). A diretiva veio, assim, impor aspetos importantes como requisitos mínimos de desempenho energético, a inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado e a obrigatoriedade de certificação energética dos edifícios (Ferreira e Domingos, 2011).

A certificação energética dos edifícios é efetuada de acordo com a classificação presente na Figura 1.1, em que constam 9 classes energéticas, de A⁺ a G. Os edifícios com menor consumo de energia classificam-se na classe A⁺. De modo geral, a certificação energética deve fornecer uma informação clara e detalhada sobre o desempenho da energia do edifício, permitindo a correta comparação entre os diferentes edifícios (Casals, 2006). A classe depende da relação entre as necessidades nominais da energia primária do edifício (N_{tc}) e as necessidades do edifício de referência (N_t).

Classe energética	N_{tc}/N_t
A +	$\leq 0,25$
A	$> 0,25 - 0,5$
B	$> 0,5 - 0,75$
B -	$> 0,75 - 1$
C	$> 1 - 1,5$
D	$> 1,5 - 2$
E	$> 2 - 2,5$
F	$> 2,5 - 3$
G	> 3

↑
 Novos
 edifícios

 ↓
 Edifícios existentes

Figura 1.1 – Sistema de certificação energética de um edifício (Ferreira e Domingos, 2011).

No sentido de transpor a presente diretiva para Portugal, foi publicado o Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de Agosto, que num único diploma, inclui os três seguintes regulamentos: o Sistema de Certificação Energética dos edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho

Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Este decreto-lei tem como finalidade assegurar a aplicação das condições de eficiência energética, as condições de qualidade do ar interior e a utilização de sistemas de energias renováveis. Porém, além da atualização dos requisitos de qualidade térmica são introduzidos requisitos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios. Foram, deste modo, estabelecidos padrões mínimos de eficiência energética para os sistemas de climatização e de preparação de água quente sanitária (AQS).

No entanto, em complemento à eficiência energética, mantém-se a promoção da utilização de fontes de energia renovável, com clarificação e reforço dos métodos para quantificação do respetivo contributo, e com natural destaque para o aproveitamento do recurso solar, abundantemente disponível no nosso país (Legislação Portuguesa, 2013).

Recentemente, a Portaria (extrato) nº 15793-H/2013 de 3 de Dezembro, relativa às regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, vem salientar a importância da contribuição renovável dos sistemas de climatização, nomeadamente das bombas de calor. Deste modo, vem permitir grandes oportunidades para o uso das bombas de calor para o aquecimento e arrefecimento dos edifícios novos e existentes (Sarbu e Sebarchievici, 2014).

1.1 Motivação e objetivos

Este trabalho pretende contribuir para a racionalização do uso dos recursos energéticos, através da otimização dos sistemas de climatização dos edifícios residenciais. Tendo o intuito de sensibilizar os projetistas para o dimensionamento dos sistemas de climatização.

A presente dissertação tem como principal objetivo a otimização de sistemas de climatização em edifícios residenciais. A primeira fase é dedicada à elaboração do problema a ser analisado. Este problema pretende dar resposta às necessidades de aquecimento e de arrefecimento, nomeadamente no conhecimento das possíveis potências de aquecimento e de arrefecimento a adquirir num determinado edifício residencial.

Neste sentido, selecionou-se um programa computacional que recorre a simulações dinâmicas para estimar as necessidades de aquecimento e arrefecimento.

O estudo compreende um edifício multifamiliar com 3 pisos específicos, onde é possível diferenciar o comportamento das frações juntos ao solo, dos pisos intermédios e junto à cobertura. Para o edifício em causa, estudo a influência da variação de alguns parâmetros na

determinação das potências de aquecimento e de arrefecimento, nomeadamente, a área dos espaços, a zona climática, as soluções construtivas da envolvente, a existência ou não de edifícios adjacentes e a climatização dos diferentes pisos.

Numa segunda fase, é realizado uma análise crítica dos resultados no sentido de dar resposta a determinadas questões, como exemplo, quais os fatores que mais influenciam a potência, ou seja: qual o papel da área na determinação da potência, quais as variações mais significativas nas diferentes zonas climáticas, qual a alteração de um piso para outro e em função das orientações.

1.2 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em 4 capítulos. A descrição sumária relativa a cada uma das partes corresponde ao seguinte:

O presente capítulo diz respeito à Introdução, onde se identifica o contexto da dissertação, caracterizando genericamente os objetivos principais, no que respeita à pesquisa e desenvolvimento prático.

No segundo capítulo apresenta-se a Descrição do problema, no qual se descreve a metodologia a ser aplicada para a resolução do problema, assim como a apresentação sucinta de todos os passos a seguir. Partindo da escolha do programa a utilizar, das características do edifícios, da seleção das zonas climáticas, das soluções construtivas, das zonas térmicas e, por fim, das condições de fronteira a aplicar no caso de estudo.

O terceiro capítulo diz respeito aos Resultados, onde além da sua apresentação se procede à análise crítica dos mesmos. Neste capítulo apresenta-se em pormenor os resultados relativos à zona climática I1V2, correspondente à zona do Porto, onde é possível analisar-se a influência das áreas dos espaços a climatizar, a influência da envolvente dos espaços, das condições de fronteira e das zonas térmicas nas necessidades de aquecimento e de arrefecimento. Seguidamente, confronta-se todas as zonas climáticas de inverno e de verão do sentido de se ter uma visão mais alargada das alterações visíveis nas necessidades energéticas.

Por fim, no último capítulo, intitulado Considerações finais, apresentam-se as principais conclusões do trabalho, confrontando os objetivos propostos com os resultados alcançados. São também apresentadas algumas sugestões para possíveis trabalhos futuros.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Nos últimos anos, com a crescente procura de sistemas de climatização no sector residencial e no sentido de evitar o sobredimensionamento de sistemas e consequente aumento do consumo energético, deve-se estimular-se o dimensionamento adequado dos sistemas de climatização. No presente capítulo apresenta-se uma metodologia de dimensionamento que consistirá na divisão dos edifícios por área dos espaços de climatização, seguido do estudo das condições de fronteira e das envolventes para as diferentes zonas climáticas.

2.1 Metodologia

O presente problema em estudo tem como base principal o cálculo das necessidades de aquecimento e de arrefecimento existentes num edifício residencial. No entanto, é de salientar a particularidade de variar em alguns parâmetros importantes no cálculo e variar a sua influência nas necessidades.

Neste âmbito, utilizou-se o software *DesignBuilder* que permite determinar, para diferentes zonas climáticas, as necessidades de aquecimento, de arrefecimento assim como as potências necessárias dos equipamentos de forma a compensar as referidas necessidades.

Os edifícios simulados têm 3 pisos (térreo, intermédio e de cobertura) e tendo-se variado os seguintes aspetos: área, envolvente, zona climática, temperatura de dimensionamento, soluções construtivas e condições de climatização em cada piso.

Neste estudo os edifícios foram simulados com uma área de 30,25 m² e com uma área de 16 m². Relativamente à envolvente do edifício simularam-se 3 situações distintas: edifício com as quatro envolventes exteriores, ou seja, o edifício não tem nenhum edifício adjacente; edifício com edifícios adjacentes a Oeste e a Este e edifício com edifícios adjacentes a Norte e a Sul.

Na Tabela 2.1 encontram-se descritas as zonas climáticas estudadas, assim como as correspondentes cidades.

Tabela 2.1 – Zonas climáticas e as respetivas cidades em estudo.

Zona Climática	Cidade
IIV2	Porto (Grande Porto)
IIV3	Santarém (Beira Interior Sul)

Zona Climática	Cidade
I2V2	Coimbra (Baixo Mondego)
I2V3	Covilhã (Cova da Beira)
I3V1	Vila Pouca de Aguiar (Alto Trás-os-Montes)
I3V2	Guarda (Beira Interior Norte)
I3V3	Penedono (Dão-Lafões)

No que diz respeito à determinação das temperaturas de dimensionamento, recorreu-se ao ficheiro climático de cada zona climática em estudo, de onde foram retiradas as temperaturas mais baixa e mais alta do ano.

Para cada edifício simulado, analisaram-se os 5 tipos de pacotes de soluções construtivas:

- parede simples e vidro simples;
- parede dupla e vidro simples;
- parede dupla e vidro duplo;
- parede dupla com isolamento e vidro duplo;
- parede dupla (REH) e vidro duplo.

Por fim, para as condições de climatização de cada piso, o que se pretende analisar são as diferentes condições de climatização, conforme descritas na Tabela 2.2. Assim, em cada edifício efetuaram-se 8 simulações em aquecimento e 8 em arrefecimento, para as diferentes soluções construtivas em estudo e para cada zona climática.

Tabela 2.2 – Relação das condições de climatização simuladas para cada piso de cada edifício.

Piso	Piso superior climatizado	Piso inferior climatizado
Térreo	Sim	n.a
Térreo	Não	n.a
Intermédio	Não	Não
Intermédio	Não	Sim
Intermédio	Sim	Não
Intermédio	Sim	Sim
Cobertura	n.a	Sim
Cobertura	n.a	Não

É de salientar dois aspetos, o primeiro é que o piso de cobertura em desvão não habitável é simulado como sendo o piso intermédio, considerando o piso superior não climatizado. Já o

segundo aspeto é que o piso de cobertura com sótão habitável é simulado como piso intermédio, considerando o piso superior climatizado.

2.1.1 Programa de cálculo

O software *DesignBuilder* é uma interface gráfica para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*. Permite uma rápida e fácil introdução de geometrias e oferece um conjunto de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de edifícios (Natural Works@, 2015). A utilização de modelos dinâmicos permite elaborar simulações de maior complexidade com base num elevado número de variáveis, levando assim à obtenção de resultados mais realísticos e mais rigorosos das necessidades energéticas nas diferentes estações do ano.

A interface do *DesignBuilder* permite ao utilizador modelar o edifício através da criação de “blocos” que são desenhados num espaço 3D, podendo estes ser moldados de forma a criar uma geometria muito próxima da geometria real do edifício. Possui uma vasta base de dados a nível de materiais de construção, ganhos internos (ocupação, iluminação e equipamentos), sistemas AVAC.

O *DesignBuilder* tem como base de cálculo o software *EnergyPlus*, que consiste num programa de simulação de energia para edifícios desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, no qual permite modelar o aquecimento, arrefecimento, ventilação do edifício assim como outros fluxos de energia (Tronchin e Fabbri, 2008).

O software *EnergyPlus* foi desenvolvido à medida que crescia a necessidade de ter um programa que garantisse soluções integradas que incluíssem não só o cálculo de cargas térmicas e consumos numa base horária, multizona, mas também um estudo mais detalhado sobre o impacto dos sistemas de climatização e ventilação nos consumos energéticos totais de um edifício.

2.2 Descrição dos edifícios

As frações em estudo inserem-se em edifícios multifamiliares constituídos por 3 pisos. Neste âmbito, foram desenhados 2 edifícios, cada um deles com três pisos, no qual se pretende simular o piso térreo, piso intermédio e piso de cobertura em terraço. Consideraram-se edifícios com espaços climatizados com uma área de 30,25 m², designados por edifícios de tipologia A, e espaços com área de 16 m², tendo-se assumido serem edifícios de tipologia B. Em ambos assumiu-se um pé direito de 2,75 m.

2.2.1 Edifícios simulados

As figuras seguintes apresentam os edifícios desenhados, edifícios de tipologia A e edifícios de tipologia B. No entanto, para cada edifício foram analisadas três simulações distintas, que se

apresentam nas figuras seguintes. A Figura 2.1 apresenta a simulação em que o edifício tem as quatro envolventes exteriores, já a Figura 2.2 apresenta a simulação em que o edifício tem edifícios adjacentes a Norte e a Sul, por fim, a Figura 2.3 apresenta a simulação em que edifício tem edifícios adjacentes a Oeste e Este.

Para uma melhor perspectiva das áreas em estudo, a Figura 2.4 representa de forma esquemática as vistas das respetivos zonas interiores.

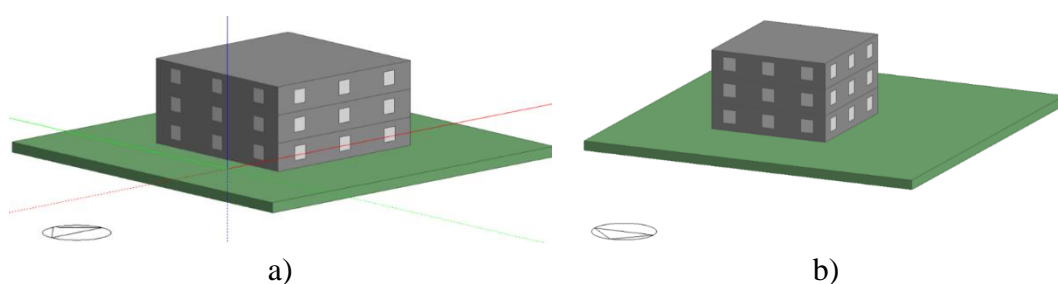


Figura 2.1 – Simulação em que o edifício tem as quatro envolventes exteriores: a) Edifício 1 - edifício com espaços interiores de tipo “A”; b) Edifício 4 - edifício com espaços interiores de tipo “B” (espaços com menor área).

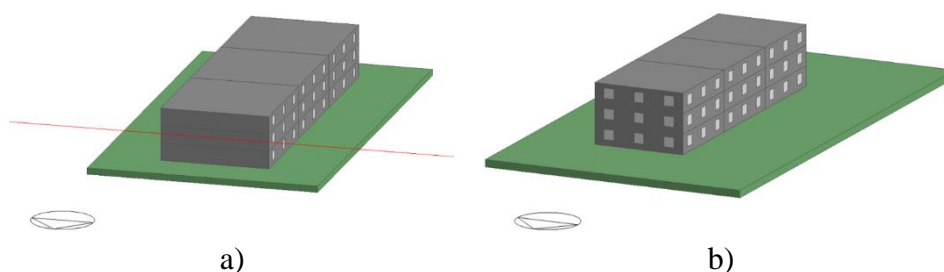


Figura 2.2 – Simulação em que o edifício tem edifícios adjacentes a Norte e a Sul: a) Edifício 2 - edifício com espaços interiores de tipo “A”; b) Edifício 5 - edifício com espaços interiores de tipo “B” (espaços com menor área).

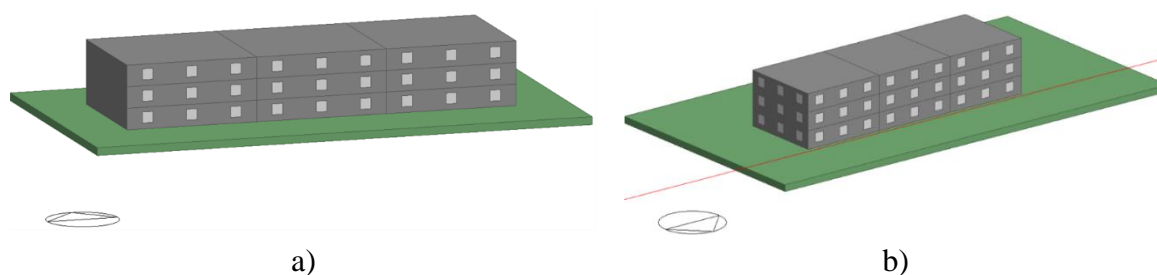


Figura 2.3 – Simulação em que o edifício tem edifícios adjacentes a Oeste e a Este: a) Edifício 3 - edifício com espaços interiores de tipo “A”; b) Edifício 6 - edifício com espaços interiores de tipo “B” (espaços com menor área).

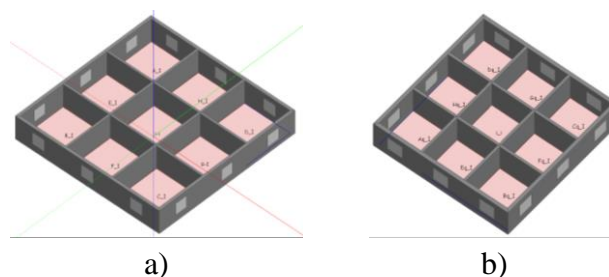


Figura 2.4 – Representação esquemática da vista interior: a) das zonas de tipo “A” e b) das zonas de tipo “B”.

2.2.2 Zonas térmicas

Uma zona térmica entende-se como sendo um conjunto de espaços que se encontram submetidos à mesma temperatura. Assim, com o intuito de simular um maior número de situações de exposição, foram definidas 16 tipos de zonas térmicas. Estas zonas térmicas apresentam-se na Figura 2.5 e Figura 2.6 e estão nomeadas de A a O. Porém, a Figura 2.5 apresenta a situação em que o edifício não tem edifício adjacentes, não há fachadas em contato com outros edifícios. Já a Figura 2.6 apresenta a situação oposta, situação em que existe edifícios adjacentes em contato com as fachadas.

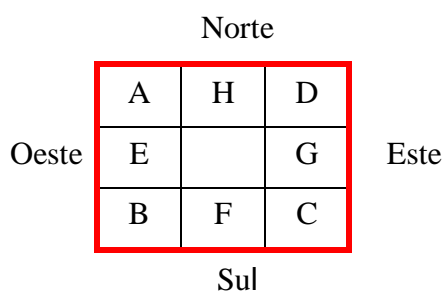


Figura 2.5 – Zonas térmicas com fachada exterior.

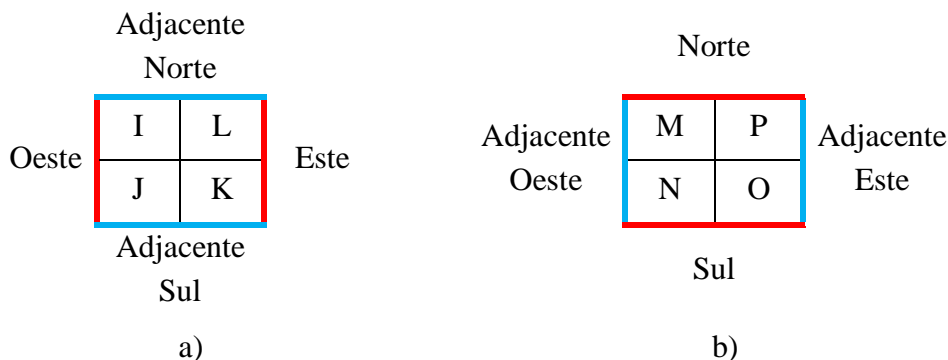


Figura 2.6 – Zonas térmicas com fachadas exteriores e paredes em contato com edifícios adjacentes: a) edifício adjacente a Norte e Sul; b) edifício adjacente a Oeste e Este.

Para as zonas térmicas apresentadas, de A a P, o valor a determinar para a potência de aquecimento, P_{aque} e de arrefecimento, P_{arref} , é obtido através da simulação no software *DesignBuilder*. No entanto, para além destas zonas térmicas identificadas, também é possível obter outras novas combinações, neste caso, é possível obter um conjunto de 7 combinações que resultam das combinações das potências das zonas de A a P. Estas possíveis combinações apresentam-se na Figura 2.7, na Figura 2.8 e na Figura 2.9.

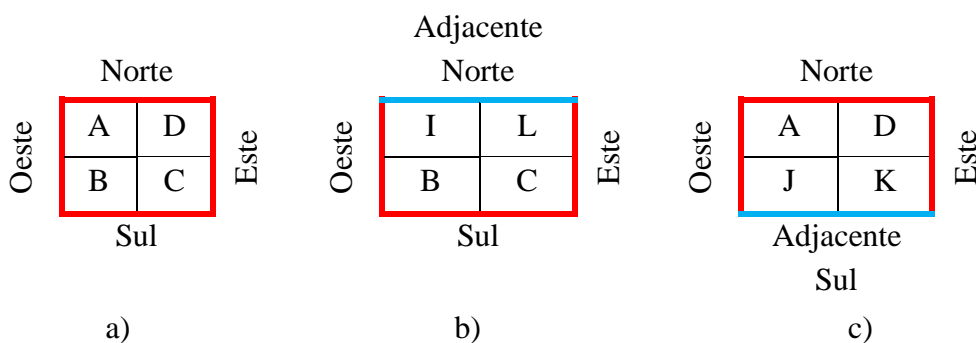


Figura 2.7 – Zonas térmicas: a) zona térmica Q; b) zona térmica R; c) zona térmica S.

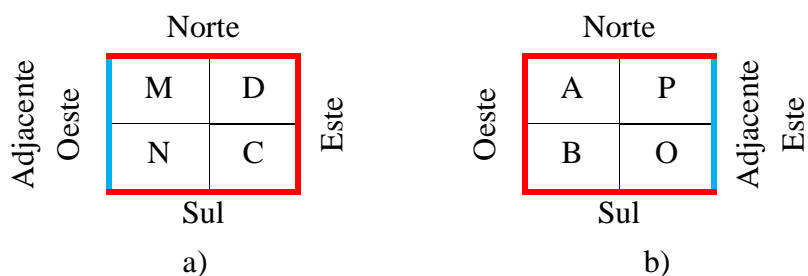


Figura 2.8 – Zonas térmicas: a) zona térmica T; b) zona térmica U.

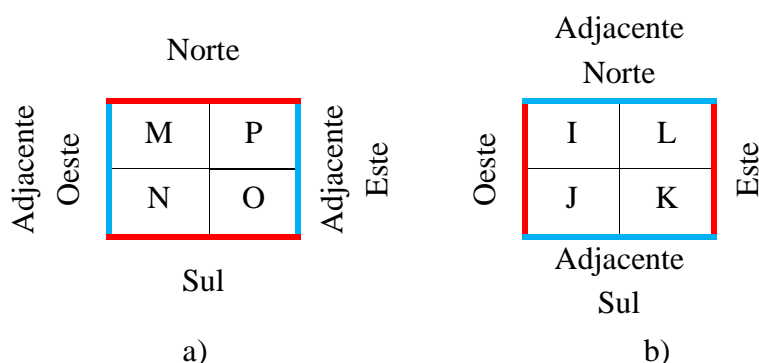


Figura 2.9 – Zonas térmicas: a) zona térmica X; b) zona térmica V.

Para a determinação das potências de aquecimento e de arrefecimento para estas novas zonas térmicas, nomeadas de Q a X, consideraram-se as seguintes combinações:

$$\begin{aligned}
 P_Q &= 25\% P_A + 25\% P_D + 25\% P_B + 25\% P_C & P_U &= 25\% P_A + 25\% P_B + 25\% P_P + 25\% P_O \\
 P_R &= 25\% P_I + 25\% P_L + 25\% P_B + 25\% P_C & P_V &= 25\% P_I + 25\% P_K + 25\% P_J + 25\% P_L \\
 P_S &= 25\% P_A + 25\% P_D + 25\% P_J + 25\% P_K & P_X &= 25\% P_M + 25\% P_N + 25\% P_O + 25\% P_P \\
 P_T &= 25\% P_M + 25\% P_N + 25\% P_D + 25\% P_C
 \end{aligned}$$

2.2.3 Definição e caracterização das soluções construtivas

Na caracterização de cada solução construtiva é necessário ter conhecimento sobre a quantidade de calor que é transferido através da mesma, ou seja, ter conhecimento sobre o coeficiente global de transmissão de calor, U , expresso na seguinte equação (Despacho nº15793-K/2013, 2013):

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_i + R_{se}} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \quad (1)$$

Em que:

- R_i – Resistência térmica da camada composta pelo material i ;
- R_{se} – Resistência térmica superficial exterior;
- R_{si} – Resistência térmica superficial interior.

Para o cálculo do U é necessário proceder à recolha das propriedades dos materiais que constituem cada solução construtiva. A partir das tabelas Santos e Matias que constam no ITE 50 do LNEC (Santos e Matias, 2006) é possível fazer esse levantamento. A resistência térmica de cada material, R_i , pode ser determinada recorrendo à equação:

$$R_i = \frac{e}{\lambda} \left[\frac{(m^2 \cdot ^\circ C)}{W} \right] \quad (2)$$

Em que:

e – Espessura;

λ – Coeficiente de condutibilidade térmica.

Porém, além do conhecimento das resistências térmicas dos materiais também é necessária determinar os valores das resistências térmicas superficiais, R_{si} e R_{se} . Para tal, recorre-se ao quadro I.3 das tabelas do ITE 50 e retiram-se os valores correspondentes a cada situação, conforme descrita na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Resistências térmicas superficiais de cada elemento construtivo.

Elemento construtivo	$R_{se} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$	$R_{si} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$
Parede Exterior	0,04	0,13
Parede Interior	0,13	0,13
Parede em contacto com ENU	0,13	0,13
Parede em contacto com terreno	0,04	0,13
Laje em contacto com o terreno	0,04	0,17
Laje de cobertura	0,04	0,10
Laje para ENU (vertical ascendente)	0,10	0,10
Laje para ENU (vertical descendente)	0,17	0,17
Laje divisória	0,10	0,17

Com base na evolução das tipologias construtivas em Portugal ao longo dos anos, Figura 2.10, selecionaram-se quatro tipos de envolvente construtivas, assim como três tipos de janelas que foram consideradas no estudo.

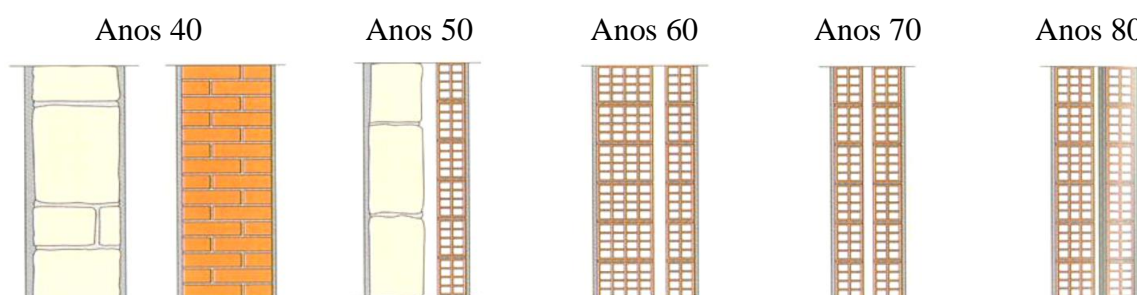


Figura 2.10 – Síntese da evolução das paredes em Portugal (Flores-Colen et al., 2015).

Assim, é possível estabelecer-se uma correspondência com as tipologias dos edifícios, de acordo com as suas características estruturais, diretamente relacionadas com a época de construção e com as tecnologias construtivas empregues (Pinho e Fernando, 2008).

2.2.3.1 Pacote incorporando parede simples e vidro simples

A parede simples é o tipo de parede mais comum nos edifícios em Portugal até aos 50 anos, mesmo antes da introdução das caixas-de-ar e dos materiais isolantes. A introdução de materiais de isolamento tornou possível melhorar significativamente as propriedades térmicas e acústicas destas paredes.

O presente pacote, designado por parede simples e vidro simples contempla o que está apresentado na Tabela 2.4. Para a caracterização destas soluções construtivas em análise recorreu-se às tabelas do ITE 50 do LNEC e assim estimou-se os valores dos coeficientes de transmissão de calor para cada solução construtiva considerada que se encontram na Tabela 2.4 de forma resumida. Contudo, no Anexo A é possível analisar em pormenor as características definidas para cada solução construtiva em análise.

Tabela 2.4 – Valores do coeficiente global de transmissão de calor para cada elemento construtivo para o pacote incorporante parede simples e vidro simples.

Soluções construtivas	U [W/(m ² . °C)]
Parede exterior	1,39
Parede de compartimentação	1,78
Cobertura exterior	1,88
Pavimento interior	1,5
Pavimento interior em contato com o solo	1,5
Janela com vidro simples	5,2

É importante referir que as potências térmicas de aquecimento obtidas foram agravadas em 5% para a correção das pontes térmicas lineares.

2.2.3.2 Pacote incorporando parede dupla rebocada com vidro simples e vidro duplo: construção posterior a 1960

Para a definição da solução construtiva consideram-se os valores por defeito constantes no ITE 54 (Rodrigues e Santos, 2011) referentes aos edifícios com construção posterior a 1960.

A Tabela 2.5 apresenta resumidamente, os valores estimados do coeficiente de transmissão de calor para cada solução construtiva que incorpora o presente pacote. No Anexo B é possível analisar em pormenor as suas características.

Tabela 2.5 – Valores do coeficiente global de transmissão de calor para cada elemento construtivo para o pacote incorporando parede dupla rebocada e vidro duplo.

Soluções construtivas	U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]
Parede exterior	0,96
Parede de compartimentação	1,78
Cobertura exterior	2,60
Pavimento interior	1,67
Pavimento interior em contato com o solo	2,01
Janela com vidro duplo	3,30
Janela com vidro simples	5,20

É importante salientar que o coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores foram majoradas em 35 % para a correção das pontes térmicas planas. Também as potências térmicas de aquecimento obtidas foram agravadas em 5% para a correção das pontes térmicas lineares.

2.2.3.3 Pacote incorporando parede dupla com isolamento e vidro duplo

As paredes multicamadas, parede dupla, são as paredes mais comuns na construção em Portugal, atualmente, com predominância para as paredes duplas de alvenaria de tijolo furado com caixa-de-ar parcialmente preenchida com materiais de isolamento térmico.

A Tabela 2.6 apresenta, para as soluções construtivas que completam o presente pacote, os valores estimados do coeficiente de transmissão de calor para cada solução construtiva considerada. Na análise do Anexo C é possível verificar em pormenor as características dos elementos definidos para cada solução construtiva estudada.

Tabela 2.6 – Valores do coeficiente global de transmissão de calor para cada elemento construtivo para o pacote incorporando parede dupla com isolamento e vidro duplo.

Soluções construtivas	U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]
Parede exterior	0,68
Parede de compartimentação	1,84
Cobertura exterior	1,02
Pavimento interior	1,29
Pavimento interior em contato com o solo	0,98
Janela com vidro duplo	3,10

É importante referir que as potências térmicas de aquecimento obtidas foram agravadas em 5% para a correção das pontes térmicas lineares.

2.2.3.4 Pacote incorporando parede dupla (REH) e vidro duplo

Para a definição das soluções construtivas a implementar no edifício REH, consideraram-se os valores de coeficiente de transmissão térmica de referência (U_{ref}), que constituem o Decreto-lei 118/2013 de 20 de Agosto (Legislação Portuguesa, 2013). Deste modo, as soluções construtivas a analisar estão em concordância com a legislação atual.

O atual pacote, parede dupla (REH) e vidro duplo, incorpora as soluções construtivas presentes na Tabela 2.7. A tabela apresenta, de forma resumida, os valores estimados do coeficiente de transmissão de calor para cada solução construtiva considerada. Porém, no Anexo D é possível analisar em pormenor as características dos elementos definidos para cada solução construtiva em estudo.

Tabela 2.7 – Valores do coeficiente global de transmissão de calor para cada elemento construtivo para a envolvente parede dupla com isolamento.

Soluções construtivas	U [W/(m ² .°C)]
Parede exterior	0,34
Parede de compartimentação	1,78
Cobertura exterior	0,33
Pavimento interior	1,23
Pavimento interior para desvão sanitário	0,28
Janela com vidro duplo	2,67

Contudo, o coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores foi majorado em 35% para correção das pontes térmicas planas. Também as potências térmicas de aquecimento obtidas foram agravados em 5% para correção das pontes térmicas lineares.

2.3 Zonas climáticas

Em relação às zonas climáticas, é importante ter em conta o Despacho 15793-F (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013, 2013), no qual faz referência ao zoneamento climático do país, que se baseia na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível 3. O despacho propõe três zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2, V3), a Figura 2.11. As zonas climáticas servem de base à aplicação dos requisitos de qualidade térmica da envolvente.

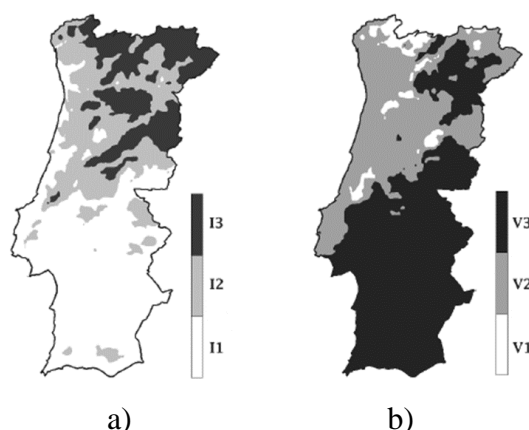


Figura 2.11 – Zonas climáticas: a) de inverno; b) de verão (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013, 2013).

A combinação I1V1 e I2V1 não foram contemplados por serem situações que não ocorram em situações normais. A Tabela 2.8 apresenta, assim, todas as zonas climáticas em estudo, os seus dados relativos ao nome do ficheiro climático, à altitude, à temperatura de dimensionamento de inverno e de verão. As temperaturas de dimensionamento correspondem às temperaturas mais baixas e às temperaturas mais elevadas registadas para cada zona climática. Estas correspondem às temperaturas mais favoráveis da estação de aquecimento e da estação de arrefecimento para o estudo.

Tabela 2.8 – Descrição das zonas climáticas em análise.

Zona climática	Cidade	Ficheiro climático	Altitude (m)	Temperatura mínima de inverno	Temperatura máxima de verão
I1V2	Porto	PRT_PORTO_IWEC	74	0°C	32°C
I1V3	Santarém	PRT_SANTAREM_INETI	123	2.5°C	35.3°C
I2V2	Coimbra	PRT_COIMBRA_IWEC	140	2°C	33.7°C
I2V3	Covilhã	PRT_COVILHA_INETI	450	-0.8°C	33.3°C
I3V1	Vila Pouca de Aguiar	PRT_VILA_POUCA_DE_AGUIAR_INETI	723	-3.6°C	36°C
I3V2	Guarda	PRT_GUARDA_INETI	1056	-1.7°C	31.8°C

I3V3	Penedono	PRT_PENEDONO_INETI	923	-1.4°C	34.9°C
-------------	----------	--------------------	-----	--------	--------

É importante referir que para cada zona climática em estudo foram simulados todos os tipos de frações dos edifícios e para as diferentes possibilidades de soluções construtivas.

2.4 Representação esquemática do problema

Em suma, a Figura 2.12 apresenta de forma esquemática a metodologia a ser aplicada ao longo do problema. Partindo da divisão dos edifícios por tipologia, seguida da variação das condições de fronteira (zonas térmicas), dos pacotes de solução (parede simples e vidro simples,...) e por fim das zonas climáticas (Porto, Santarém,...). De salientar que a metodologia aplicada também é realizada para a mesma combinação quando os edifícios são de tipologia B, embora no esquema não esteja discriminado.

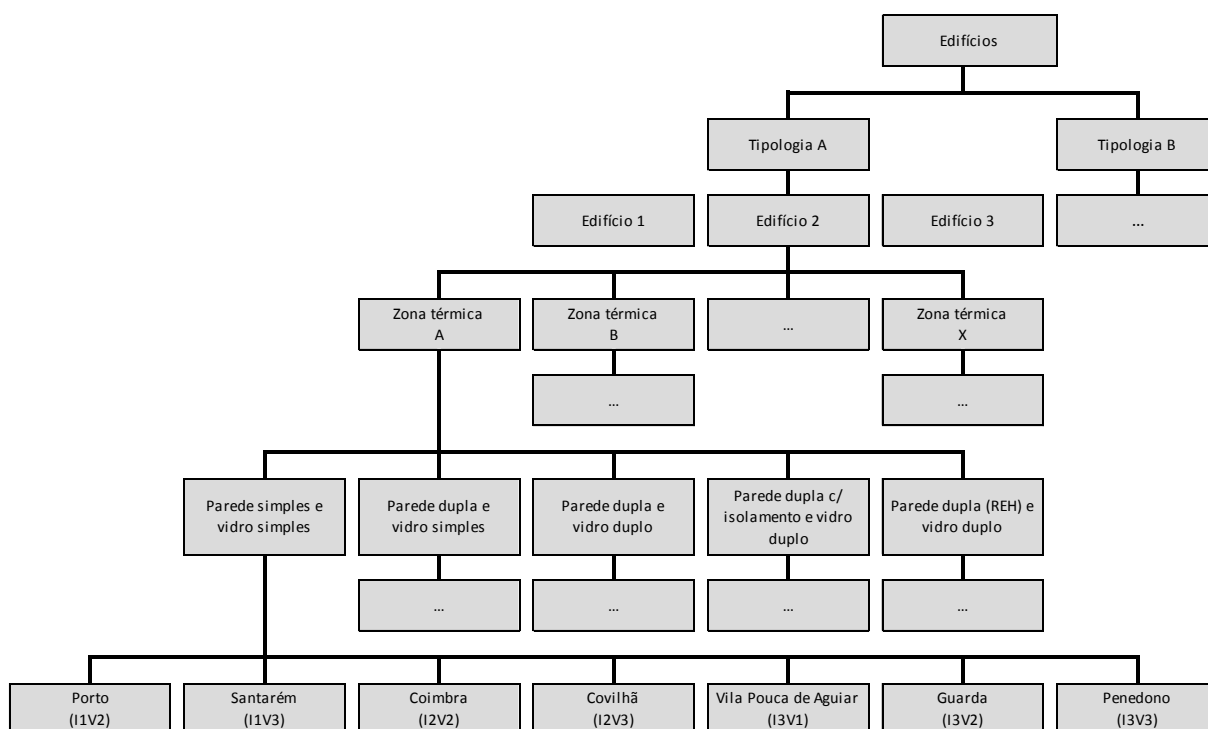


Figura 2.12 – Esquema representativo das combinações estudadas.

2.5 Pressupostos de simulação

Para a determinação da potência de aquecimento é estabelecida uma temperatura de conforto interior de 20°C. Mas para a determinação da potência de arrefecimento é estimada uma temperatura interior de conforto de 25°C.

2.5.1 Determinação das potências de arrefecimento

A determinação das potências de arrefecimento para as zonas térmicas em análise, baseia-se no método de balanço de calor standard da ASHRAE que está implementado no programa *EnergyPlus*. Assim, a potência total é calculada como sendo a variação de entalpia entre o ar de retorno da zona térmica e as condições de ar fornecido.

O método aplicado, método de balanço de calor standard da ASHRAE, é modelado assumindo que:

- Não há recuperação de calor;
- Não há aquecimento;
- Não há humificação/desumificação;
- A temperatura de conforto definida (25°C).

As simulações de cargas de arrefecimento usando o programa *EnergyPlus*, apresenta as condições:

- Temperaturas periódicas externas em regime permanente, calculadas usando as condições máximas e mínima de verão;
- Sem vento;
- Incluindo os ganhos solares através das janelas e da ventilação natural;
- Incluindo os ganhos internos devido aos ocupantes, iluminação e outro equipamento;
- Incluindo considerações de transmissão de calor por condução e convecção entre zonas a diferentes temperaturas.

Na simulação calculam-se temperaturas e fluxos de calor para a zona para cada meia hora, determinando as cargas de arrefecimento requeridas para manter a temperatura de conforto estabelecida para cada zona.

Relativamente à carga máxima de arrefecimento para cada zona, esta é multiplicado por uma margem de segurança de 1,15 para a obtenção potência máxima recomendada do equipamento. Esta margem tem em consideração a capacidade de arrefecimento adicional que possa ser necessária para arrefecer a zona com um tempo de pré arrefecimento razoável, além de garantir que o equipamento tem capacidade de resposta a condições de verão mais severas. Esta margem de segurança de 1,15, segundo as recomendações da ASHRAE, refere que o sistema está sobredimensionado em 15%.

2.5.2 Determinação das potências de aquecimento

Os cálculos da potência de aquecimento são efetuados tendo como finalidade o dimensionamento os equipamentos de maneira a que estes sejam capazes de satisfazer as necessidades de aquecimento para as condições do dia mais frio que ocorre para o local a que o ficheiro climático diz referência.

As simulações para determinação da potência de aquecimento requerida usando o programa *EnergyPlus*, apresenta as condições:

- Temperatura exterior constante, sendo esta a temperatura mais baixa que ocorre para a zona climática em estudo;
- Velocidade e direção do vento;
- Não considera os ganhos solares;
- Não considera os ganhos internos devido a iluminação, equipamento e ocupação;
- As zonas aquecidas são-no em permanência de modo a atingir a temperatura de conforto em aquecimento (20°C);
- Inclui considerações de condução de calor e convecção entre zonas a diferentes temperaturas.

A carga máxima de aquecimento para cada zona é multiplicado por uma margem de segurança de 1,25 para a obtenção potência máxima recomendada do equipamento. Esta margem tem em conta a capacidade de aquecimento adicional que possa ser necessária para aquecer a zona com um tempo de pré aquecimento razoável, além de garantir que o equipamento tem capacidade de resposta a condições de inverno mais severas. Esta margem de segurança de 1,25, segundo as recomendações da ASHRAE, corresponde a um sobredimensionamento de 25%.

3 RESULTADOS

No presente capítulo procede-se à apresentação e análise dos resultados obtidos no presente estudo. Inicialmente, opta-se por apresentar os resultados agrupados para as zonas climáticas de inverno e de verão definidas no atual Despacho 15793-F. Neste contexto, apresenta-se em pormenor os resultados referentes à zona climática I1V2 (Porto), no qual se analisa a influência da área dos espaços a climatizar, a influência da envolvente dos espaços, das condições de fronteira e das zonas térmicas nas potências de aquecimento e de arrefecimento. Posteriormente efetuar-se-á uma análise global entre todas as zonas climáticas estudadas, no sentido de averiguar as possíveis diferenças entre cada uma delas.

3.1 Análise de resultados para a zona climática I1V2 (Porto)

Na presente seção apresenta-se em pormenor a análise da zona climática I1V2 para cada um dos pacotes de soluções construtivas e, também, alguns dos possíveis fatores que influenciam as potências de climatização.

3.1.1 Influência da área dos espaços a climatizar

Como referido anteriormente, no capítulo 2, efetuaram-se 3 simulações distintas para cada tipologia de edifícios. Para os edifícios de tipologia A simularam-se os Edifícios de 1 a 3 consoante a presença de edifícios adjacentes. No mesmo sentido, simularam-se os Edifícios de 4 a 6 para os edifícios de tipologia B.

Os Edifícios 1 e 4 apresentam as simulações em que o edifício tem as quatro envolventes exteriores, já os Edifícios 2 e 5 apresentam as simulações em que o edifício tem edifícios adjacentes a Norte e a Sul e, por fim, os Edifícios 3 e 6 apresentam as simulações em que o edifício tem edifícios adjacentes a Oeste e a Este.

A figura seguinte, Figura 3.1, apresenta esquematicamente os procedimentos a aplicar na análise da influência da área dos espaços a climatizar, começando pela divisão dos edifícios, seguida do estudo do pacote de solução designado por “parede simples e vidro simples” para a zona climática I1V2 (Porto). De referir que a metodologia aplicada também se realiza para a mesma combinação quando os edifícios são de tipologia B, embora no esquema não esteja discriminado.

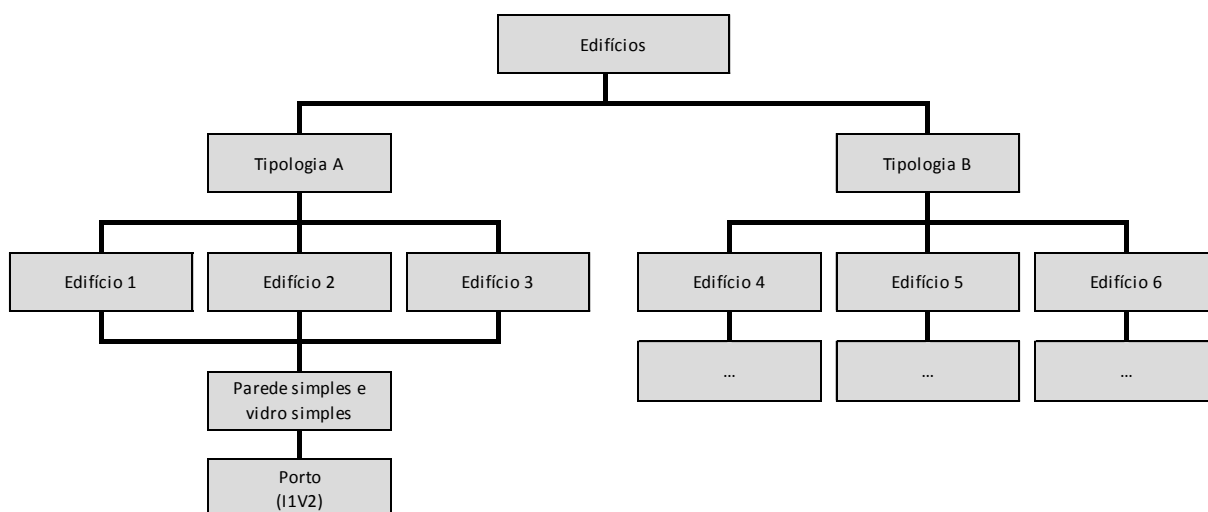


Figura 3.1 – Esquema representativo das combinações estudadas para a influência da área dos espaços a climatizar.

Neste contexto, a Figura 3.2 apresenta os resultados obtidos para o piso térreo, tendo em conta que o piso superior não está climatizado, e para o pacote de solução de estudo, pacote “parede simples e vidro simples”.

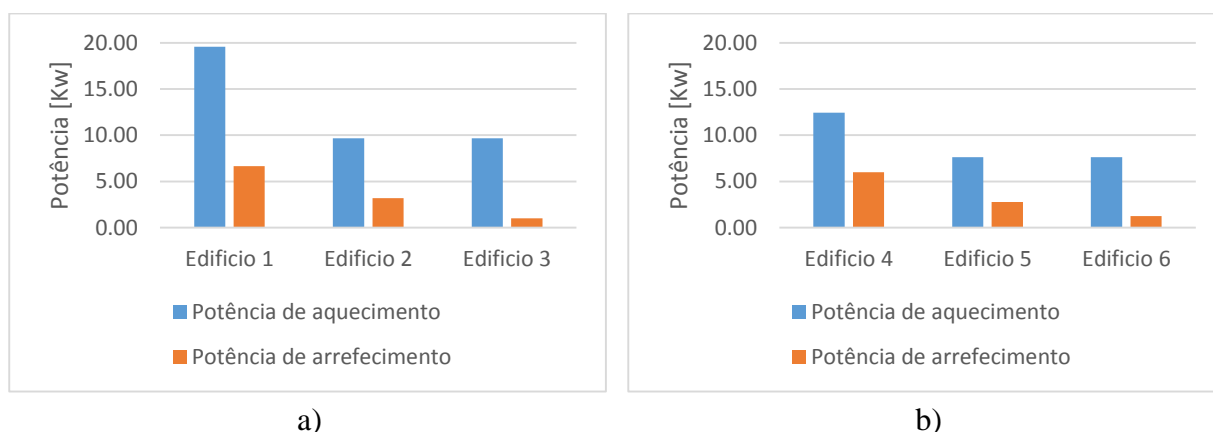


Figura 3.2 – Resultados das potências de aquecimento e arrefecimento obtidas para a fração térreo através de simulação: a) Edifícios de tipologia A; b) Edifícios de tipologia B.

Da observação dos resultados verifica-se que para ambos os edifícios a P_{aque} é a que requer valores mais elevados para a climatização dos espaços, sendo que com a variação das áreas dos espaços a climatizar, nos edifícios de tipologia A a potência é superior relativamente aos edifícios de tipologia B, atingindo os 36% de aumento. Esta diferença é visível na Tabela 3.1

onde se verifica as reduções verificadas nas potências com a alteração das tipologias dos edifícios.

Tabela 3.1 – Redução verificada nas potências de climatização com a alteração das tipologias e envolventes dos edifícios.

		Edifícios								
Do edifício		1	2	1	4	5	4	1	2	3
Para o edifício		2	3	3	5	6	6	4	5	6
Redução	P_{aque}	-51%	0%	-51%	-39%	0%	-39%	-36%	-21%	-21%
	P_{arref}	-52%	-69%	-85%	-54%	-56%	-79%	-10%	-13%	+24%

Da análise da tabela, é notório que a presença de edifícios adjacentes nos edifícios de tipologia A, independentemente da orientação deles, conduz a uma diminuição superior a 50% nas potências de climatização. Já nos edifícios de tipologia B, essa diferença é um pouco inferior, rondando os 40 a 50% da potência.

É de destacar que as reduções mais significativas verificam-se para a P_{arref} na passagem dos edifícios com as envolventes exteriores para os edifícios com edifícios adjacente a Oeste e Este. No entanto, para estes edifícios surge um pequeno aumento na P_{arref} , cerca de 24%, na passagem da tipologia A para a B. Verifica-se também que para a P_{aque} os edifícios que têm edifícios adjacentes requerem as mesmas potências para a climatização do espaço.

3.1.2 Influência da envolvente dos espaços a climatizar e das condições fronteira

Para avaliar a influência das envolventes dos espaços começou-se por analisar a variação das potências, de aquecimento e de arrefecimento, para os diversos edifícios, tendo em consideração a respetiva zona climática.

De modo representativo, a Figura 3.3, apresenta esquematicamente a metodologia a aplicar na análise da influência da envolvente dos espaços a climatizar e das condições de fronteira. Inicialmente, começa-se pela divisão dos edifícios (tipologia A e B) seguida da sua subdivisão (do edifício 1 ao edifício 6), seguida do estudo dos pacotes de soluções construtivas para a zona climática I1V2 (Porto). De referir que a metodologia aplicada também se realiza para a mesma combinação quando os edifícios são de tipologia B, embora no esquema não esteja discriminado.

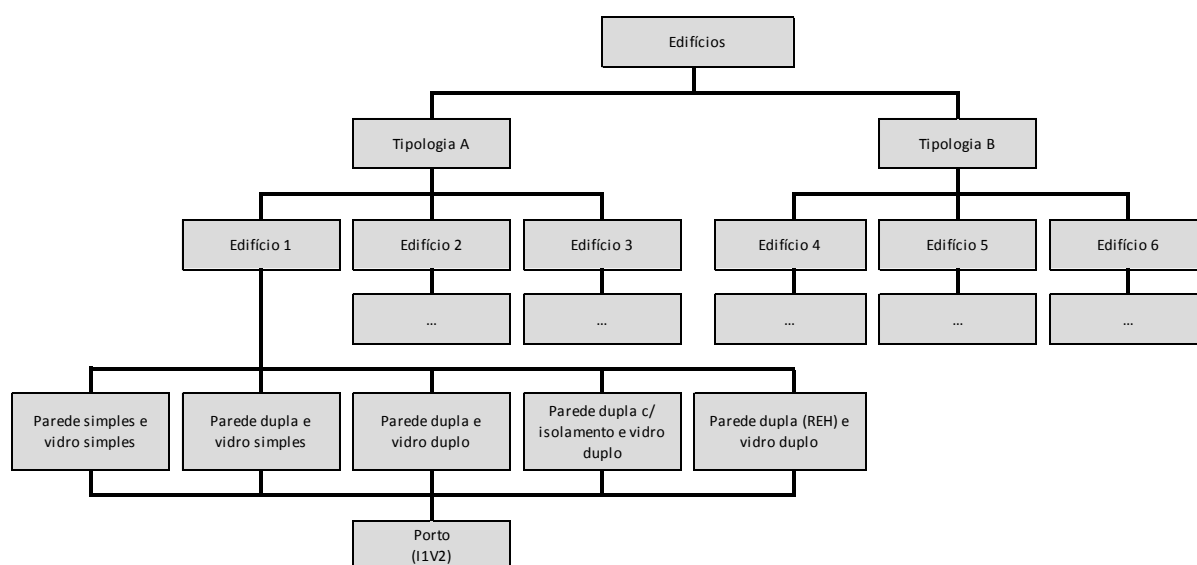


Figura 3.3 – Esquema representativo das combinações estudadas para a influência da envolvente dos espaços a climatizar e das condições de fronteira.

Assim, neste caso específico, para o piso térreo e tendo em conta que o piso superior é climatizado obtiveram-se os seguintes resultados demonstrados na Figura 3.4 relativos às P_{aque} e à P_{arref} .

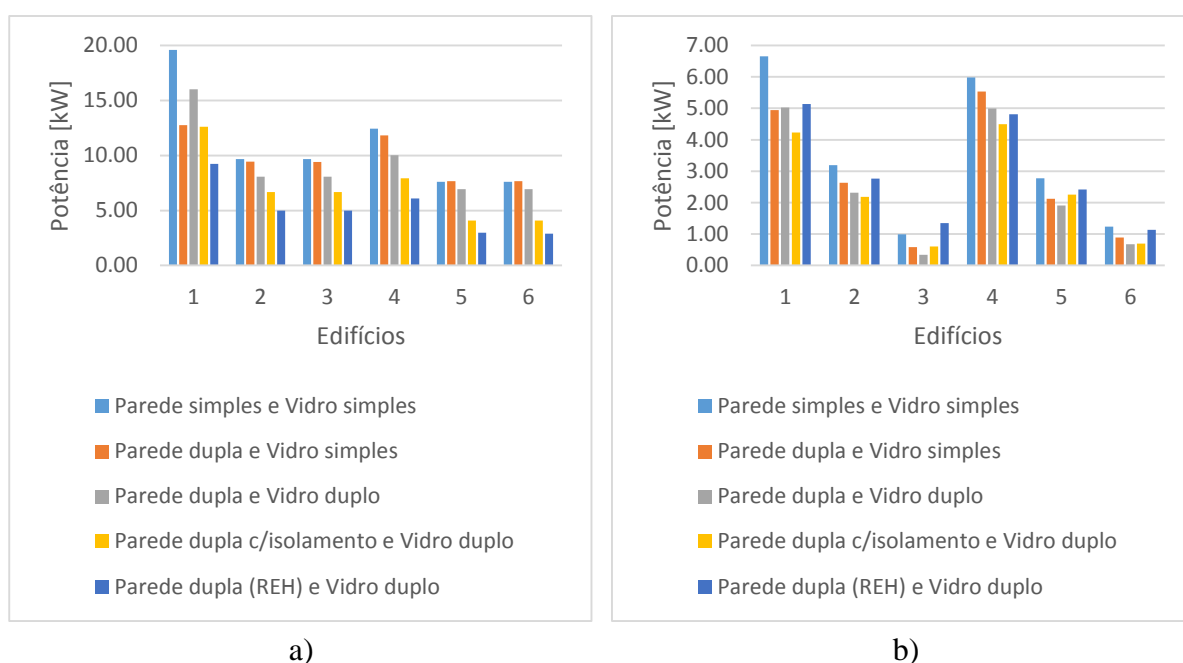


Figura 3.4 – Resultados obtidos para o piso térreo de cada edifício e para cada pacote de solução construtiva relativos à: a) potência de aquecimento; b) potência de arrefecimento.

Da análise das figuras é visível que os edifícios que não têm edifícios adjacentes são os que necessitam de mais potência para a climatização do mesmo espaço, já o oposto, é verificado para os edifícios que têm edifícios adjacentes. No caso da P_{arref} os edifícios com edifícios adjacentes a Oeste e a Este são os que correspondem à situação mais favorável, implicando menores consumos energéticos para o arrefecimento do espaço. No geral, é notório um decréscimo gradual das potências ao longo das evoluções das soluções construtivas. A Tabela 3.2 apresenta as reduções verificadas em relação à solução construtiva com menores consumos energéticos apresenta para cada edifício.

Tabela 3.2 – Variação das potências de climatização, em relação à situação com menor potência: influência da alteração da envolvente dos edifícios.

		Potência de aquecimento						
		Edifício	1	2	3	4	5	6
Referência do pacote de soluções construtivas		parede simples e vidro simples	+53%	+48%	+48%	+51%	+61%	+62%
		parede dupla e vidro simples	+28%	+47%	+47%	+48%	+61%	+62%
		parede dupla e vidro duplo	+42%	+38%	+38%	+39%	+57%	+58%
		parede dupla c/isolamento e vidro duplo	+27%	+25%	+25%	+23%	+27%	+29%
		parede dupla (REH) e vidro duplo	-	-	-	-	-	-
		Potência de arrefecimento						
		Edifício	1	2	3	4	5	6
Referência do pacote de soluções construtivas		parede simples e vidro simples	+36%	+31%	+66%	25%	+31%	+45%
		parede dupla e vidro simples	+14%	+17%	+42%	+19%	+10%	+24%
		parede dupla e vidro duplo	+16%	+6%	-	+10%	-	-
		parede dupla c/isolamento e vidro duplo	-	-	+44%	-	+16%	+3%
		parede dupla (REH) e vidro duplo	+18%	+21%	+75%	+7%	+21%	+40%

Da observação da tabela é visível para a P_{aque} que o pacote de solução construtiva designada por “parede dupla (REH) e vidro duplo”, para ambos os edifícios, é a solução construtiva mais eficiente, no sentido de necessitar de menos potência para a climatização do espaço. Podendo assim verificar-se uma redução na ordem dos 53% em relação à solução que mais necessidades energéticas requer, sendo este o pacote de solução construtiva “parede simples e vidro simples”. No entanto, conclui-se que os valores resultantes da potência para cada solução construtiva no edifício 2 e 3 e para o edifício 4 e 5 são exatamente as mesmas, ou seja, não existe nenhuma alteração da P_{aque} com a introdução de edifícios adjacentes com diferentes orientações, o que

implica que a posição dos edifícios adjacentes não tem grande significado mas sim a presença ou não de edifícios adjacentes.

Relativamente à P_{arref} constata-se que para todos os edifícios nem sempre a melhor solução construtiva é a mesma, esta vai variando consoante os edifícios. No entanto, a pior solução construtiva é sempre a mesma para todos os edifícios, sendo a solução construtiva parede simples e vidro simples a que apresenta maiores necessidades de arrefecimento.

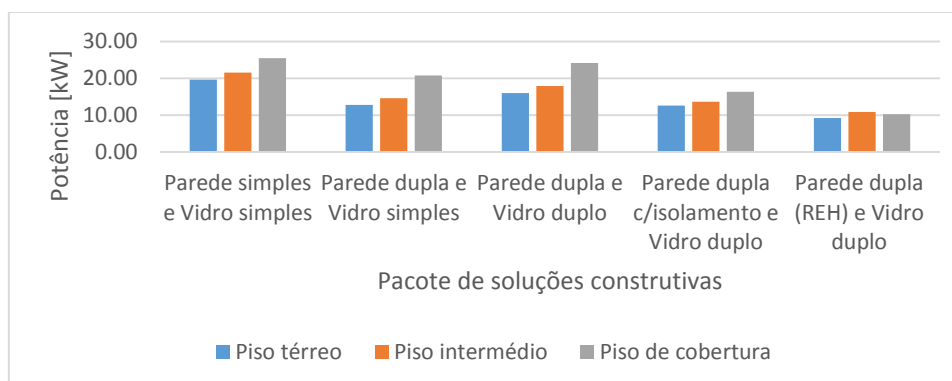
3.1.2.1 Piso em que se localiza a fração (térreo, intermédio, cobertura)

Como descrito no capítulo 2, pretende-se estudar a influência da condição de fronteira, em função da existência ou não de frações adjacentes climatizadas, conforme descritas na descrição do problema, na P_{aque} e na P_{arref} a adquirir no sistema de climatização. Assim, analisam-se os diferentes pisos para os diversos edifícios de tipologia A.

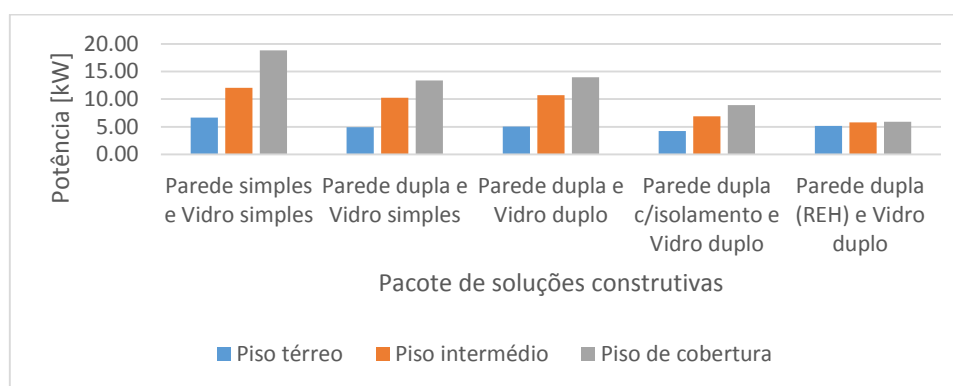
▪ Edifício 1 - Edifício com as quatro envolventes exteriores

Neste caso, a Figura 3.5 apresenta os resultados obtidos para as potências de climatização das diversas soluções construtivas e pisos em análise.

Da observação da figura é possível analisar-se que o piso de cobertura é o que requer mais necessidades energéticas, quer de aquecimento e de arrefecimento, o oposto é verificado para o piso térreo, piso que menos necessidades energéticas necessita para a climatização dos espaços. Relativamente às soluções construtivas, o pacote com a solução construtiva “parede dupla (REH) e vidro duplo” é a que apresentam menos necessidades, sendo esta a solução mais favorável, já o oposto é verificado para o pacote da solução construtiva “parede simples e vidro simples”.



a)



b)

Figura 3.5 – Resultados das potências do edifício 1 de tipologia A para as diferentes soluções construtivas e pisos: a) potência de aquecimento; b) potência de arrefecimento.

No entanto, é notório que existe uma diferença significativa da potência entre os diferentes pisos, embora no pacote da solução construtiva mais favorável não seja tão visível. Estas diferenças nas potências podem-se verificar na Tabela 3.3.

A tabela apresenta o aumento percentual da potência em relação à solução ótima para diferentes pacotes de soluções construtivas e para os diferentes pisos do edifício 1. Este pacote de solução construtiva é a que não apresenta quaisquer valores associados.

Tabela 3.3 – Variação das potências de climatização, em relação à situação com menor potência: influência da localização das frações no edifício 1.

Potência de aquecimento

Referência do pacote de soluções construtivas	parede simples e vidro simples	parede dupla e vidro simples	parede dupla e vidro duplo	parede dupla c/isolamento e vidro duplo	parede dupla (REH) e vidro duplo
Piso térreo	+53%	+28%	+42%	+27%	-
Piso intermédio	+50%	+26%	+40%	+20%	-
Piso de cobertura	+60%	+51%	+58%	+37%	-
Potência de arrefecimento					
Piso térreo	+36%	+14%	+16%	-	+18%
Piso intermédio	+52%	+44%	+46%	+17%	-
Piso de cobertura	+69%	+56%	+58%	+34%	-

▪ Edifício 2 - Edifício com edifícios adjacentes a Norte e a Sul

Para o edifício 2 obteve-se a figura seguinte, Figura 3.6, correspondentes às potências de climatização para cada solução construtiva e os respetivos pisos. A figura revela que, em relação, ao edifício 1, este novo edifício apresenta valores semelhantes, isso deve-se ao facto de estarmos perante uma situação em que existe frações (pisos) inferiores e superiores. Também é possível analisar que o piso de cobertura continua a ser o piso que necessita de mais necessidades energéticas e também que o pacote de solução construtiva designada por “parede dupla (REH) e vidro duplo” é a mais favorável.

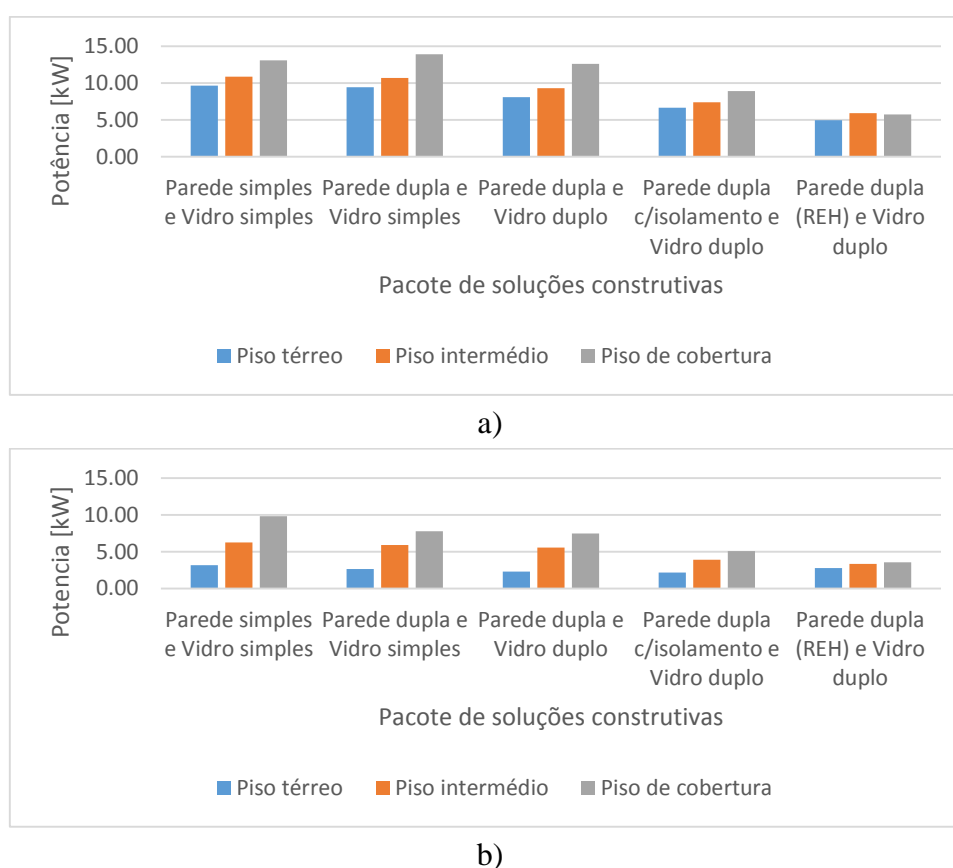


Figura 3.6 – Resultados das potências do edifício 2 de tipologia A para as diferentes soluções construtivas e pisos: a) potência de aquecimento; b) potência de arrefecimento.

De modo a complementar estas conclusões, a Tabela 3.4 apresenta a variação percentual entre as diversas soluções construtivas em relação à solução construtiva mais favorável, tanto para a situação de aquecimento como de arrefecimento. Da análise da tabela é notável que os maiores aumentos de potência são verificadas para o pacote da solução construtiva “parede simples e

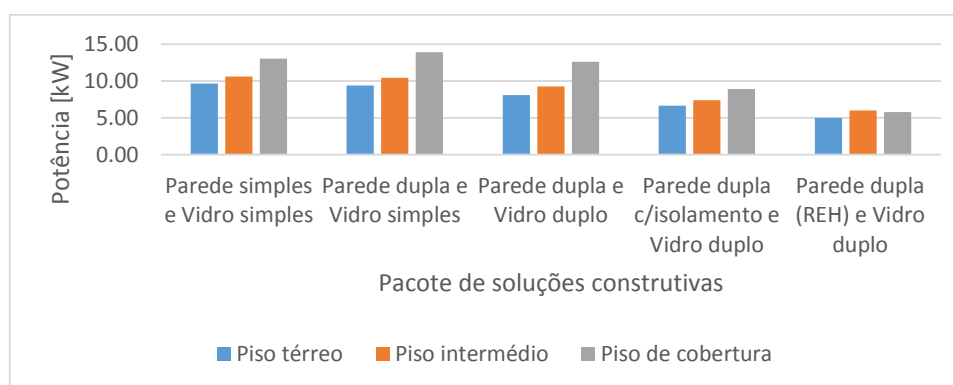
vidro simples”. Assim, esta é considerada a pior envolvente, pois é a que mais potência requer para a climatização dos espaços.

Tabela 3.4 – Variação das potências de climatização, em relação à situação com menor potência: influência da localização das frações no edifício 2.

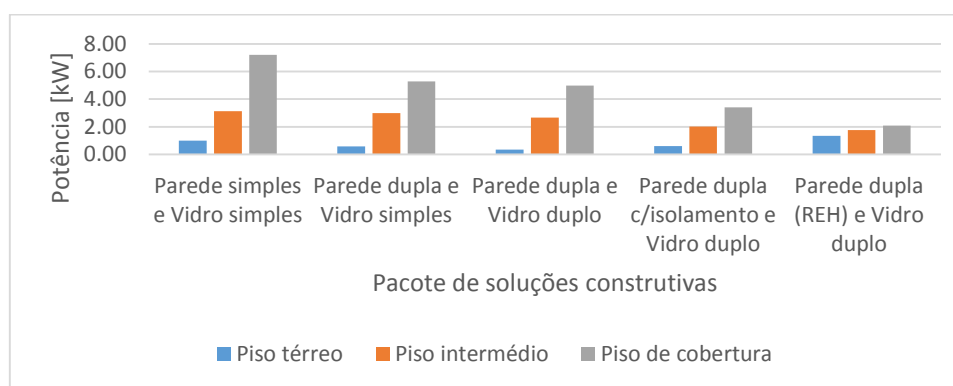
Potência de aquecimento					
Referência do pacote de soluções construtivas	parede simples e vidro simples	parede dupla e vidro simples	parede dupla e vidro duplo	parede dupla c/isolamento e vidro duplo	parede dupla (REH) e vidro duplo
Piso térreo	+48%	+47%	+38%	+25%	-
Piso intermédio	+45%	+45%	+36%	+20%	-
Piso de cobertura	+56%	+58%	+54%	+35%	-
Potência de arrefecimento					
Piso térreo	+31%	+17%	+6%	-	+21%
Piso intermédio	+47%	+44%	+40%	+14%	-
Piso de cobertura	+64%	+54%	+53%	+30%	-

▪ Edifício 3 - Edifício com edifícios adjacentes a Oeste e a Este

A Figura 3.7 apresenta os resultados evidenciados para o edifício 3. Em relação às necessidades de aquecimento, e neste caso é verificável que correspondem praticamente aos mesmos valores apresentados para o edifício 2. Como a diferença entre o edifício 2 e 3 é o posicionamento dos edifícios adjacentes (ver Figura 2.2 e Figura 2.3), conclui-se, mais uma vez, que para as necessidades de aquecimento a posição dos edifícios adjacentes e respetiva orientação de exposição do edifício em estudo não têm influência nas P_{aque} .



a)



b)

Figura 3.7 – Resultados das potências do edifício 3 de tipologia A para as diferentes soluções construtivas e pisos: a) potência de aquecimento; b) potência de arrefecimento.

Relativamente às necessidades de arrefecimento é possível verificar que o edifício 3 é o que apresenta menores necessidades energéticas. É ainda possível verificar uma grande diferença entre os pisos térreos e os pisos de cobertura. Também neste caso, o pacote denominado “parede dupla (REH) e vidro duplo” é a mais favorável para o piso intermédio e piso de cobertura, já para o piso térreo o pacote designado por “parede dupla e vidro duplo” é a mais satisfatória.

No sentido de verificar as variações sentidas com as alterações das envolventes para os diferentes pisos, a Tabela 3.5 apresenta essas mesmas variações para ambas situações: potências de aquecimento e arrefecimento.

Tabela 3.5 – Variação das potências de climatização, em relação à situação com menor potência: influência da localização das frações no edifício 3.

Potência de aquecimento

Referência do pacote de soluções construtivas	parede simples e vidro simples	parede dupla e vidro simples	parede dupla e vidro duplo	parede dupla c/isolamento e vidro duplo	parede dupla (REH) e vidro duplo
Piso térreo	+48%	+47%	+38%	+25%	-
Piso intermédio	+44%	+43%	+35%	+19%	-
Piso de cobertura	+56%	+58%	+54%	+35%	-

Potência de arrefecimento					
Referência do pacote de soluções construtivas	parede simples e vidro simples	parede dupla e vidro simples	parede dupla e vidro duplo	parede dupla c/isolamento e vidro duplo	parede dupla (REH) e vidro duplo
Piso térreo	+66%	+42%	-	+44%	+75%
Piso intermédio	+44%	+42%	+34%	+13%	-
Piso de cobertura	+71%	+61%	+58%	+39%	-

Da análise da tabela verifica-se, para a P_{aque} , que as variações na potência rondam entre os 19% e os 58% para os diferentes pacotes de soluções construtivas. Também é verificado que os pacotes de solução referenciados por “parede simples e vidro simples” e “parede dupla e vidro simples” têm variações semelhantes. Relativamente à alteração das frações, constata-se que o piso térreo e o piso de cobertura têm as mesmas variações sentidas em relação ao melhor pacote de solução construtiva, sendo estas as variações mais elevadas. No entanto, o piso intermédio é o que apresenta as menores variações sentidas, entre os 19% e os 44%.

Já em relação à P_{arref} , as variações sentidas na potência oscilam entre os 13% e os 75%. Como na P_{aque} , também na P_{arref} é verificável, com a alteração das frações, que o piso térreo e o piso de cobertura apresentam as variações mais significativas em relação ao melhor pacote de solução construtiva. Já o oposto é verificável para o piso intermédio, este apresenta as menores variações sentidas em comparação com as restantes frações.

3.1.2.2 Condições de fronteira

Em relação às condições de fronteira, ou seja, do nível de climatização do piso inferior e/ou superior, analisou-se o impacto que as necessidades de aquecimento e de arrefecimento iriam sofrer. No Anexo E é possível analisar os resultados obtidos, para as potências de climatização, para ambas as frações em estudo (piso térreo, intermédio e de cobertura).

▪ Piso térreo

Quando se está a estudar o piso térreo e se alteram as condições de climatização do piso imediatamente a uma, verifica-se que as potências de climatização são menores quando esse piso é climatizado, tal como era expectável. Com isso, a implementação de um piso superior climatizado vai implicar menores necessidades de climatização no piso inferior.

No sentido de analisar mais detalhadamente os resultados, a Tabela 3.6 apresenta as reduções verificadas nas necessidades energéticas. Da análise da tabela, constata-se que as reduções mais significativas, na P_{aque} , dizem respeito ao pacote designado “parede dupla (REH) e vidro duplo”.

Esta conclusão verifica-se para todos os edifícios em estudo, variando entre os 31 % e os 36 %. No caso da P_{arref} verifica-se uma oscilação nas reduções, entre os 16 % e os 79%.

Tabela 3.6 – Reduções de potência do piso térreo com a alteração das condições de fronteira (climatização) do piso adjacente.

Potência de aquecimento						
Referência do pacote de soluções construtivas:	Edifícios					
	1	2	3	4	5	6
parede simples e vidro simples	-17%	-17%	-18%	-15%	-11%	-11%
parede dupla e vidro simples	-27%	-20%	-20%	-18%	-13%	-13%
parede dupla e vidro duplo	-23%	-23%	-23%	-21%	-14%	-14%
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	-16%	-21%	-17%	-16%	-15%	-15%
parede dupla (REH) e vidro duplo	-36%	-33%	-33%	-31%	-32%	-31%

Potência de arrefecimento						
Referência do pacote de soluções construtivas:	Edifícios					
	1	2	3	4	5	6
parede simples e vidro simples	-20%	-21%	-37%	-17%	-13%	-16%
parede dupla e vidro simples	-31%	-19%	-33%	-18%	-16%	-23%
parede dupla e vidro duplo	-25%	-25%	-79%	-22%	-20%	-32%
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	-22%	-22%	-56%	-20%	-24%	-24%
parede dupla (REH) e vidro duplo	-28%	-26%	-29%	-24%	-23%	-23%

▪ Piso intermédio

Das situações consideradas para o piso intermédio, é importante salientar, tal como previsível, a situação em que ambos os pisos (superior e inferior) são climatizados é a mais satisfatória, pois é a que implica menores consumos energéticos, quer de aquecimento e de arrefecimento. Apresenta-se abaixo a ordem pela qual se obtêm as menores potências para as diferentes combinações de condição de fronteira, ou seja, em função da otimização dos pisos adjacentes:

- 1º piso inferior climatizado e piso superior climatizado
- 2º piso inferior não climatizado e piso superior climatizado
- 3º piso inferior climatizado e piso superior não climatizado
- 4º piso inferior não climatizado e piso superior não climatizado

Por outro lado, é igualmente importante referir que para todas estas condições de climatização estudadas, o pacote denominado “parede dupla (REH) e vidro duplo” é a que apresenta maiores percentagens de redução nas potências.

No sentido de aprofundar mais os resultados, a Tabela 3.7 apresenta as diminuições registadas no piso intermédio com a alteração das condições de climatização, mais concretamente, a tabela permite analisar a passagem da situação menos favorável, piso inferior e superior não climatizados, para a situação com menores potências, piso inferior e superior climatizados.

Tabela 3.7 – Reduções verificadas com a alteração das condições de fronteira do piso intermédio (função da climatização dos pisos adjacentes).

Potência de aquecimento						
Referência do pacote de soluções construtivas:	Edifícios					
	1	2	3	4	5	6
parede simples e vidro simples	-24%	-24%	-25%	-22%	-20%	-20%
parede dupla e vidro simples	-35%	-26%	-28%	-25%	-25%	-25%
parede dupla e vidro duplo	-31%	-30%	-30%	-29%	-28%	-28%
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	-27%	-25%	-25%	-30%	-22%	-24%
parede dupla (REH) e vidro duplo	-45%	-40%	-39%	-41%	-42%	-41%

Potência de arrefecimento						
Referência do pacote de soluções construtivas:	Edifícios					
	1	2	3	4	5	6
parede simples e vidro simples	-15%	-15%	-21%	-13%	-12%	-14%
parede dupla e vidro simples	-21%	-16%	-21%	-14%	-12%	-14%
parede dupla e vidro duplo	-29%	-17%	-25%	-15%	-13%	-17%
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	-17%	-14%	-17%	-14%	-13%	-14%
parede dupla (REH) e vidro duplo	-34%	-2%	-28%	-30%	-28%	-30%

▪ **Piso de cobertura**

Para o piso de cobertura é verificável que sempre que o piso inferior é climatizado corresponde à situação mais favorável, uma vez que é possível reduzir nas necessidades energéticas. E mais uma vez, o pacote nomeado por “parede dupla (REH) e vidro duplo” é a que apresenta valores de potência mais baixos para a climatização dos espaços, daí as reduções das necessidades energéticas são mais significativas. Neste contexto, a Tabela 3.8 apresenta as diminuições verificadas para este piso com a alteração das condições de climatização.

Tabela 3.8 – Reduções verificadas com a alteração das condições de fronteira do piso de cobertura (função da climatização dos pisos adjacentes).

Potência de aquecimento						
Referência do pacote de soluções construtivas:	Edifícios					
	1	2	3	4	5	6
parede simples e vidro simples	-11%	-11%	-11%	-11%	-10%	-10
parede dupla e vidro simples	-13%	-11%	-11%	-11%	-11%	-11
parede dupla e vidro duplo	-13%	-12%	-12%	-12%	-12%	-12
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	-11%	-15%	-11%	-12%	-11%	-11
parede dupla (REH) e vidro duplo	-28%	-24%	-24%	-26%	-26%	-25

Potência de arrefecimento						
Referência do pacote de soluções construtivas:	Edifícios					
	1	2	3	4	5	6
parede simples e vidro simples	-6%	-5%	-3%	-7%	-6%	-4%
parede dupla e vidro simples	-7%	-4%	-3%	+5%	-5%	-4%
parede dupla e vidro duplo	-6%	-5%	-3%	-7%	-6%	-4%
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	-8%	-6%	-4%	-8%	-18%	-5%
parede dupla (REH) e vidro duplo	-20%	-15%	-11%	-19%	-18%	-16%

Da análise da tabela é possível verificar que, por exemplo para o edifício 2, para a P_{aque} é possível reduzir entre os 11% e os 24%, dependendo do tipo de envolvente, enquanto que no edifício 1 se obtém uma redução máxima de 28 %, com a envolvente com melhor qualidade térmica. Porém, as diminuições da P_{arref} não são assim tão elevadas, variando entre os 3% e os 20%, sendo que as variações mais elevadas correspondem aos edifícios que não têm edifícios adjacentes.

De um modo geral, é importante salientar que para os três pisos distintos, o edifício 1 é o que apresenta maiores reduções nas necessidades energéticas. Relativamente às soluções construtivas, o pacote referente à “parede dupla (REH) e vidro duplo” é que a evidencia maiores percentagens de redução nas potências. Por outro lado, na P_{aque} dos edifícios 2 e 3 os valores obtidos não diferem muito entre si, o que nos leva a concluir que, para este caso específico, a posição dos edifícios adjacentes não é revelante, ou seja, a orientação das fachadas expostas não se revela um fator com um grande impacto na variabilidade das potências de climatização.

3.1.3 Análise comparativa das diferentes zonas térmicas

No estudo das zonas térmicas, foram analisadas todas as 23 zonas térmicas, nomeadas de A a X. Devido à grande quantidade de resultados obtidos, serão apresentados os resultados referentes aos edifícios de tipologia A correspondentes ao piso intermédio em que se fixaram

as condições de climatização do piso inferior e o piso superior, tendo-se optado por os manter não climatizados.

Neste sentido, a Figura 3.8, apresenta esquematicamente a metodologia a ser aplicada para a análise das diferentes zonas térmicas. Inicialmente, começa-se pela divisão dos edifícios por tipologia, seguida do estudo das variações das condições de fronteira (zonas térmicas), do estudo dos pacotes de solução construtiva, e por fim, o estudo para a zona climática I1V2 (Porto).

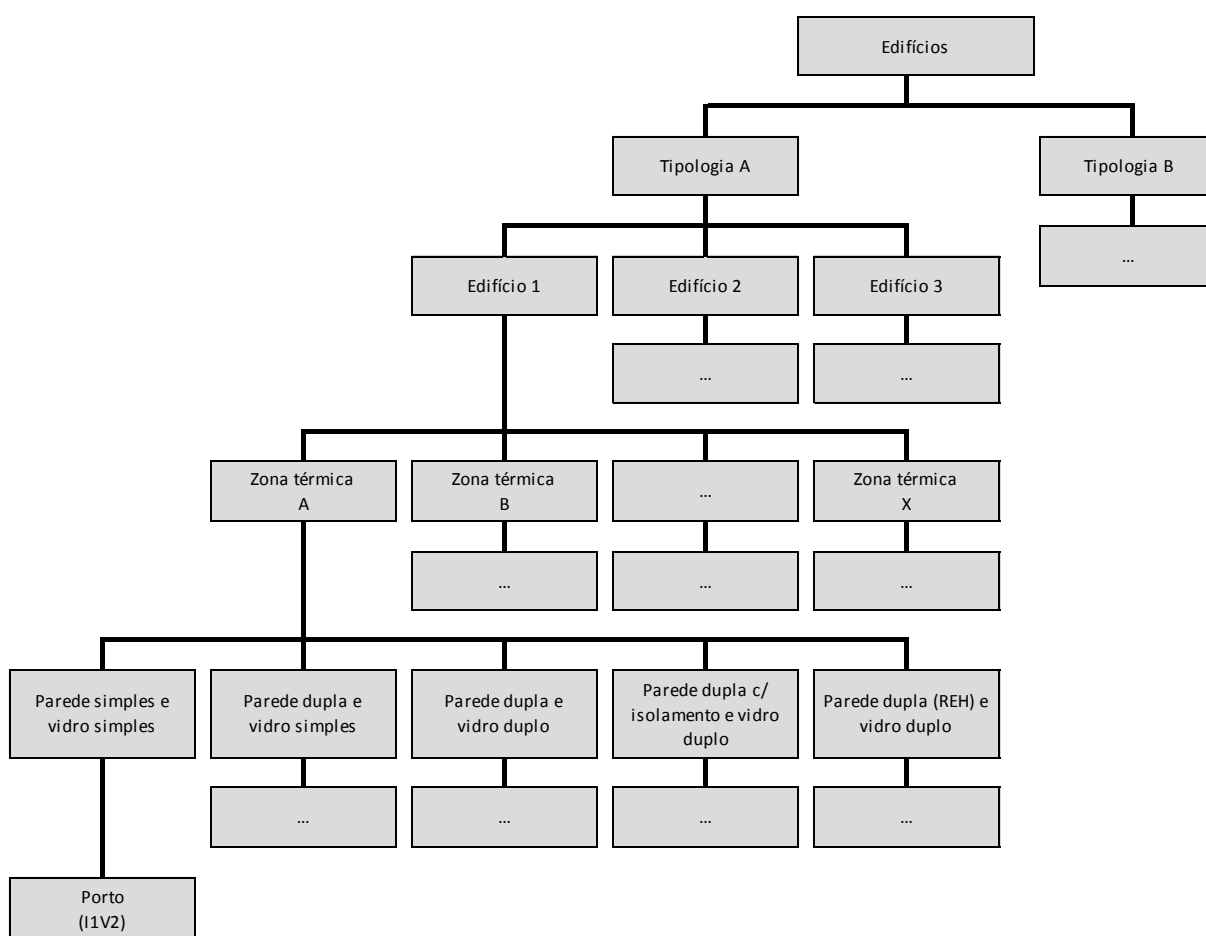


Figura 3.8 – Esquema representativo das combinações estudadas para a análise comparativa das diferentes zonas térmicas.

A Tabela 3.9 apresenta os resultados obtidos das potências de aquecimento e de arrefecimento para este caso em concreto. Da sua análise geral, pode-se verificar que o pacote designado por “parede dupla (REH) e vidro duplo” é o que apresenta os valores mais baixos de P_{aque} e de P_{arref} para os diferentes tipos de envolventes, o que se traduz em menores consumos energéticos de climatização.

No entanto, também é notório que na P_{aque} , as potências diferem pouco entre os edifícios 2 e 3 e em cada um deles não se verifica variações para as diferentes zonas térmicas. O que leva a concluir que nestes casos a posição da zona térmica e a orientação dos edifícios adjacentes não tem relevância para o estudo das zonas térmicas, mas o facto de ter ou não edifícios adjacentes é que é pertinente.

Tabela 3.9 – Potências (kW) obtidas para os edifícios de tipologia A e para as restantes zonas térmicas.

Edifício	Zona térmica	Referência do pacote de soluções construtivas									
		parede simples e vidro simples		parede dupla e vidro simples		parede dupla e vidro duplo		parede dupla c/isolamento e vidro duplo		parede dupla (REH) e vidro duplo	
		P_{aque}	P_{arref}	P_{aque}	P_{arref}	P_{aque}	P_{arref}	P_{aque}	P_{arref}	P_{aque}	P_{arref}
1	A	2,94	2,03	2,03	1,82	2,42	1,84	1,85	1,06	1,46	0,87
	B	2,94	2,22	2,03	1,93	2,42	1,94	1,85	1,16	1,46	0,92
	C	2,94	1,70	2,03	1,45	2,42	1,53	1,85	0,98	1,46	0,80
	D	2,94	1,39	2,03	1,20	2,42	1,28	1,85	0,86	1,46	0,72
	E	2,45	1,73	1,61	1,49	2,06	1,50	1,55	0,98	1,25	0,78
	F	2,44	1,00	1,61	0,77	2,06	0,88	1,55	0,62	1,25	0,57
	G	2,45	1,22	1,61	1,06	2,06	1,14	1,55	0,77	1,25	0,65
	H	2,45	0,77	1,61	0,56	2,06	0,59	1,55	0,50	1,25	0,46
2	I	2,72	1,81	2,68	1,67	2,32	1,58	1,85	1,09	1,48	0,92
	J	2,72	1,81	2,68	1,67	2,32	1,58	1,85	1,09	1,48	0,92
	K	2,72	1,30	2,68	1,29	2,32	1,21	1,85	0,86	1,48	0,75
	L	2,72	1,30	2,68	1,29	2,32	1,21	1,85	0,86	1,48	0,75
3	M	2,65	0,65	2,61	0,59	2,31	0,51	1,85	0,45	1,50	0,39
	N	2,65	0,92	2,61	0,91	2,31	0,82	1,85	0,57	1,50	0,50
	O	2,65	0,92	2,61	0,91	2,31	0,82	1,85	0,57	1,50	0,50
	P	2,65	0,65	2,61	0,59	2,31	0,51	1,85	0,43	1,50	0,37
	Q	2,94	1,84	2,03	1,60	2,42	1,65	1,85	1,01	1,46	0,83
	R	2,83	1,76	2,36	1,58	2,37	1,57	1,85	1,02	1,47	0,85
	S	2,83	1,63	2,36	1,49	2,37	1,48	1,85	0,97	1,47	0,82
	T	2,80	1,17	2,32	1,04	2,36	1,04	1,85	0,71	1,48	0,60
	U	2,80	1,46	2,32	1,31	2,36	1,28	1,85	0,81	1,48	0,66
	V	2,72	1,56	2,68	1,48	2,32	1,39	1,85	0,97	1,48	0,83
	W	2,65	0,78	2,61	0,75	2,31	0,66	1,85	0,50	1,50	0,44
	X	2,65	0,78	2,61	0,75	2,31	0,66	1,85	0,50	1,50	0,44

Relativamente ao edifício 1, na P_{aque} é verificável que para cada envolvente, as zonas térmicas que se situam nas extremidades, ou seja, a zona térmica A, B, C e D apresentam os mesmos

valores. A mesma situação também é verificável para as zonas térmicas situadas nas laterais, zona térmica E, F, G e H, sendo que estas últimas zonas térmicas requerem menos necessidades energéticas devido ao facto de se situarem entre duas zonas térmicas. Este facto está ilustrado na Figura 3.9, onde é possível visualizar as zonas térmicas constituintes do edifício 1, apresentam-se com o mesmo padrão de cor as que apresentam os mesmos valores.

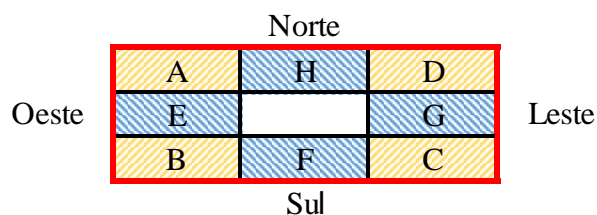


Figura 3.9 – Esquema representativo das zonas térmicas do edifício 1.

As zonas térmicas que contêm os mesmos valores representam-se com a mesma cor, sendo que as zonas térmicas apresentadas com sombreado a amarelo apresenta maior valor de potência. A diferença na potência verificada entre estas zonas térmicas constam na Tabela 3.10, onde é visível que a envolvente parede dupla e vidro simples é a que equivale à máxima redução verificada em todas as envolventes em estudo, 21%. Já a mínima redução corresponde à envolvente parede dupla (REH) e vidro duplo com 14%.

Tabela 3.10 – Redução verificada entre as zonas térmicas A/B/C/D e E/F/G/H do edifício 1.

Referência do pacote de soluções construtivas	Diferença [kW]	%
parede simples e vidro simples	0,49	-17
parede dupla e vidro simples	0,42	-21
parede dupla e vidro duplo	0,35	-15
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	0,30	-16
parede dupla (REH) e vidro duplo	0,21	-14

Por outro lado, na P_{arref} dos edifícios 2 e 3, é possível analisar que as zonas térmicas em contacto com as mesmas fachadas exteriores apresentam os mesmos valores de potência. A Figura 3.10 apresenta esquematicamente as zonas térmicas que contêm os mesmos valores, ou seja, as zonas térmicas representadas com a mesma cor significa que têm o mesmo valor de potência, para o edifício em causa. As zonas apresentadas com um sombreado a azul significam que são as zonas térmicas que têm as potências mais elevadas.

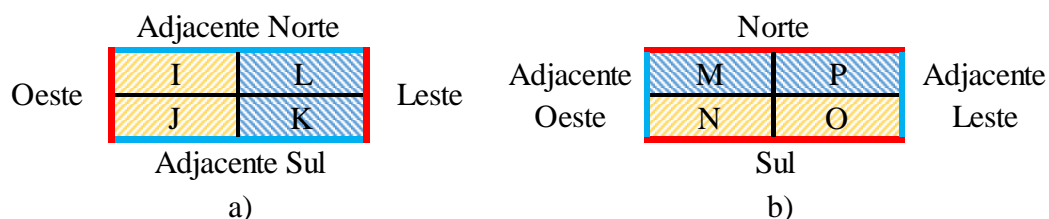


Figura 3.10 – Esquema representativo das zonas térmicas: a) Edifício 2; b) Edifício 3.

No entanto, é possível analisar quais as diferenças entre essas zonas térmicas para os respetivos edifícios. A Tabela 3.11 apresenta essas diferenças verificadas nas potências de arrefecimento para os diferentes edifícios. Assim, a máxima redução verificada entre essas zonas térmicas corresponde a 28% para o pacote “parede dupla e vidro simples” e a mínima de 18% relativa à ao pacote “parede dupla (REH) e vidro duplo”, correspondentes ao edifício 2. Para o edifício 3 a máxima redução verificada corresponde ao pacote “parede dupla e vidro duplo” com 38% e a mínima de 21% para ao pacote “parede dupla c/isolamento e vidro duplo”. Por outro lado, também se verifica que quanto melhor é a qualidade da envolvente, menores são as diferenças.

Tabela 3.11 – Diferenças verificadas entre as zonas térmicas do edifício 2 e 3.

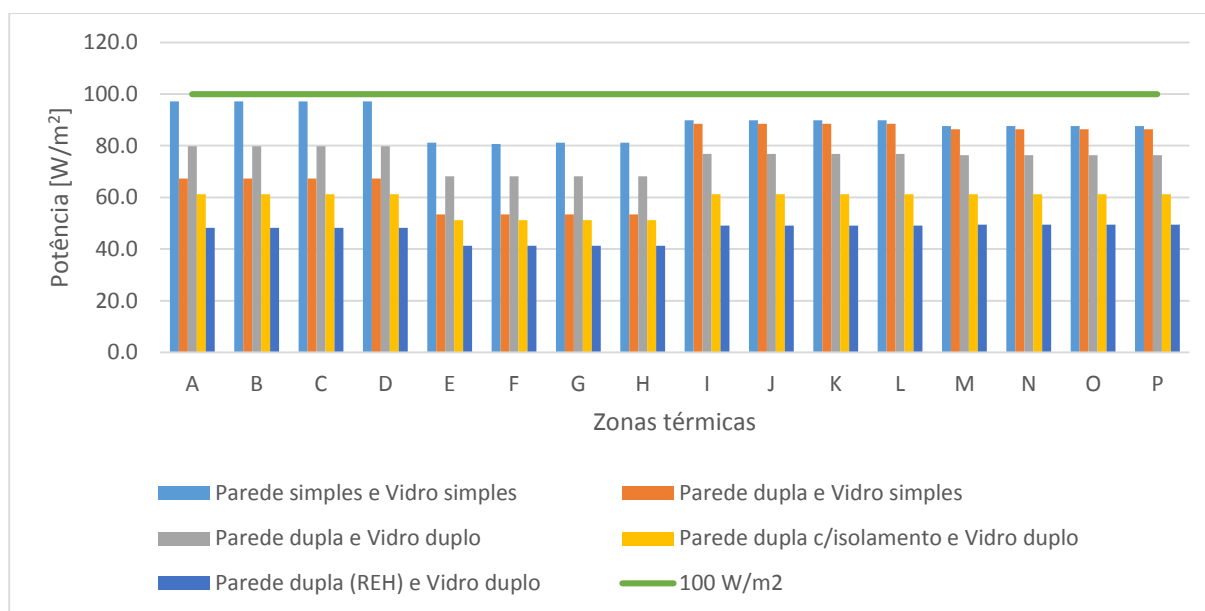
Edifício	2		3	
	Diferença [kW]	%	Diferença [kW]	%
Referência do pacote de soluções construtivas:				
parede simples e vidro simples	0,51	-28	0,27	-29
parede dupla e vidro simples	0,37	-22	0,31	-35
parede dupla e vidro duplo	0,37	-24	0,31	-38
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	0,23	-21	0,12	-21
parede dupla (REH) e vidro duplo	0,17	-18	0,11	-22

Outro aspeto importante a salientar é que para as zonas térmicas de R a U apresentam praticamente a mesma P_{aque} visto que são zonas térmicas que têm três das fachadas em contacto com o exterior e uma quarta fachada em contacto com um edifício adjacente.

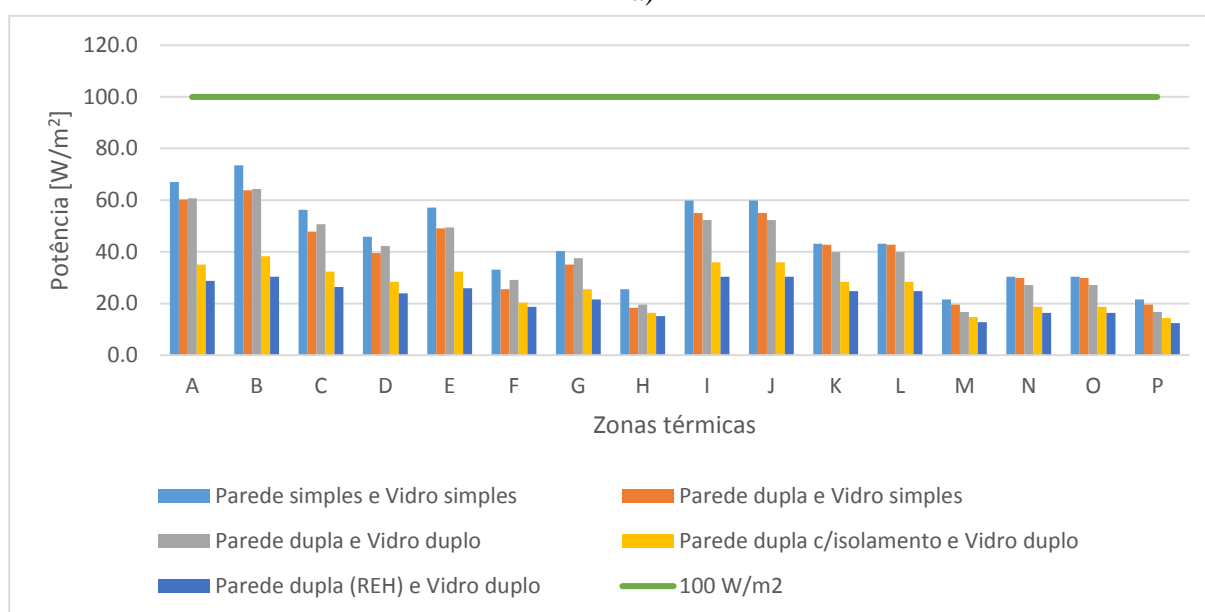
No entanto, é importante referir que é prática corrente por parte dos projetistas considerar-se uma potência de 100 W/m^2 , para o setor residencial, independentemente da localização geográfica, da orientação da zona térmica ou da qualidade térmica das soluções construtivas.

Neste contexto, e a título exemplificativo, apresenta-se na Figura 3.11 as potências por m^2 para aquecimento e arrefecimento para as diferentes zonas térmicas dos edifícios de tipologia A, assumindo que se encontra localizado no Porto. Nesta figura é possível verificar claramente que

a prática comum dos projetistas conduz a um sobredimensionamento dos sistemas, para qualquer uma das zonas térmicas e para todos os pacotes de soluções construtivas em estudo.



a)



b)

Figura 3.11 – Potências de climatização em W/m^2 para o edifício de tipologia A, localizado no Porto: a) Potência de aquecimento; b) Potência de arrefecimento.

3.2 Análise comparativa dos resultados para diferentes zonas climáticas

De seguida, apresenta-se a combinação entre a zona climática de inverno (I1, I2, I3) e de verão (V1, V2, V3). Pretende-se assim avaliar a influência do clima nas potências de climatização.

Para essa análise, devido aos inúmeros resultados obtidos, analisar-se-ão para cada zona climática a situação mais desfavorável. Sendo esta a que implica maiores consumos energéticos de climatização dos espaços. Neste caso, correspondem aos edifícios que apresentam as fachadas exteriores, sem edifícios adjacentes. No entanto, para o estudo das frações (térrea, intermédia e de cobertura) teve-se em consideração as piores condições de climatização, que para o caso da fração térrea corresponde à situação em que o piso superior não é climatizado, na fração intermédia corresponde à situação que o piso inferior e superior não são climatizados, e por fim, a fração de cobertura corresponde à situação em que o piso inferior não é climatizado.

Neste contexto, as figuras presentes do Anexo I e Anexo J são com base nos resultados referentes ao edifício 1 de tipologia A.

3.2.1 Zona climática de inverno

Para as zonas climáticas de inverno, a tabela presente no Anexo F, no Anexo G e no Anexo H resumem as potências de climatização verificadas para cada edifício de tipologia A e de tipologia B, para os diferentes pacotes de solução construtiva. No entanto, as figuras analisadas para cada zona climática de inverno (Figura I.1, Figura I.2 e Figura I.3) encontram-se presentes no Anexo I.

3.2.1.1 Zona climática I1

Para a zona climática I1, analisar-se-ão as seguintes cidades: Porto (I1V2) e Santarém (I1V3). Para tal, no Anexo F é possível analisar-se os resultados obtidos, em termos de edifícios e pisos, para as respetivas zonas climáticas e para os pacotes de solução construtiva, para as respetivas necessidades energéticas, de aquecimento e de arrefecimento.

Da análise da Figura I.1, relativa à P_{aque} é visível que, para cada tipo de envolvente, a cidade do Porto, apresentada como V2, é a que implica maiores gastos energéticos para os diferentes pisos constituintes. Também é notório que o piso de cobertura é o que necessita de mais potência de aquecimento para a climatização do espaço, contrariamente ao piso térreo que necessita de menos potência de climatização. E, que das diferentes envolventes em estudo, o pacote designado por “parede dupla (REH) e vidro duplo” é o que apresentam menores gastos energéticos para aquecimento.

Em relação à P_{arref} , a cidade de Santarém (V3) é a que implica maiores consumos energéticos para a climatização do espaço em comparação com a cidade do Porto. Também, como acontece

na P_{aque} , o pacote de solução construtiva “parede dupla (REH) e vidro duplo” é o que apresenta menores gastos energéticos para o arrefecimento do espaço.

Em suma, destas regiões em estudo pertencerem à mesma zona climática de inverno, existe uma diferença significativa nas respetivas necessidades energéticas. Esta diferença deve-se às zonas climáticas de verão em que estão inseridas. Geograficamente, o Porto fica situado mais a norte de Portugal onde o clima de inverno é mais rigoroso, daí as necessidades de aquecimento serem mais elevadas. Por outro lado, Santarém com um clima de verão mais severo possui valores mais elevados na P_{arref} .

No sentido de demonstrar estes resultados, a Tabela 3.12 apresenta para as regiões da zona climática II as P_{aque} e as P_{arref} conforme o tipo de solução construtiva, para as zonas térmicas Q e X, correspondente ao edifício 1 e 3 de tipologia A. A partir da tabela, é possível fazer uma análise comparativa dos resultados obtidos, a fim de analisar as diferenças verificadas com a alteração da zona climática de verão, das condições de climatização, da zona térmica para os diversos pisos.

Tabela 3.12 – Tabela comparativa das potências de aquecimento e arrefecimento da zona climática II para as zonas térmicas Q e X para o pacote de soluções construtivas com a referência “parede dupla (REH) e vidro duplo”.

Zona climática		IIV2 (Porto)							
Piso	Zona térmica	pisso superior e piso inferior não climatizados		pisso superior e piso inferior climatizados		pisso superior climatizado e piso inferior não climatizado.		pisso inferior climatizado e piso superior não climatizado	
		P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]
Térreo	Q	1,26	0,74	-	-	0,84	0,55	-	-
Intermédio	Q	1,46	0,83	0,85	0,57	1,10	0,66	1,18	0,72
Cobertura	Q	1,38	0,85	-	-	-	-	1,02	0,70
Térreo	X	1,25	0,34	-	-	0,84	0,24	-	-
Intermédio	X	1,50	0,44	0,91	0,31	1,13	0,34	1,23	0,41
Cobertura	X	1,44	0,52	-	-	-	-	1,10	0,46

Zona climática		IIV3 (Santarém)							
Piso	Zona térmica	pisso superior e piso inferior não climatizados		pisso superior e piso inferior climatizados		pisso superior climatizado e piso inferior não climatizado.		pisso inferior climatizado e piso superior não climatizado	
		P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]
Térreo	Q	1,06	0,83	-	-	0,71	0,70	-	-
Intermédio	Q	1,22	1,01	0,71	0,72	0,92	0,83	0,98	0,89
Cobertura	Q	1,17	1,02	-	-	-	-	0,85	0,83
Térreo	X	1,05	0,57	-	-	0,70	0,43	-	-

Piso	Zona térmica	piso superior e piso inferior não climatizados		piso superior e piso inferior climatizados		piso superior climatizado e piso inferior não climatizado.		piso inferior climatizado e piso superior não climatizado	
		P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]
Intermédio	X	1,26	0,70	0,75	0,52	0,95	0,56	1,04	0,64
Cobertura	X	1,22	0,75	-	-	-	-	0,92	0,65

3.2.1.2 Zona climática I2

Para a zona climática I2, analisar-se-ão os resultados das cidades: Coimbra (I2V2) e Covilhã (I2V3). O Anexo G apresenta os resultados obtidos em função dos edifícios e das respetivas frações que os constituem para cada zona climática em análise.

Analisando a Figura I.2 para a P_{aque} é verificável que a cidade da Covilhã (V3), apresenta mais necessidades de aquecimento do que a cidade de Coimbra (V2). Nesta zona climática obtém-se as mesmas conclusões verificadas para a zona climática I1 relativamente ao tipo de solução construtiva e ao piso que mais necessitam de energia para a climatização dos espaços. Já na P_{arref} , verifica-se o oposto, ou seja, a cidade de Coimbra, é a que apresenta mais necessidade de arrefecimento para todos os tipos de pacotes de soluções construtivas. Novamente, é visível que o piso de cobertura é o que implica maiores necessidades de arrefecimento. O oposto é verificado para o piso térreo.

Em conclusão, é possível afirmar que as zonas climáticas de verão têm influência nas necessidades energéticas. Neste caso em concreto, Coimbra insere-se numa zona em que o clima é mais quente, o que leva a ter consumos mais elevados para a P_{arref} , já em Covilhã o clima é mais frio o que implica ter consumos mais elevados para a P_{aque} .

A Tabela 3.13 pretende dar ênfase às conclusões acima verificadas, deste modo, esta apresenta para as cidades da zona climática I2 as P_{aque} e as P_{arref} das zonas térmicas Q e X, do edifício 1 e 3 de tipologia A.

Tabela 3.13 – Tabela comparativa das potências de aquecimento e arrefecimento da zona climática I2 para as zonas térmicas Q e X para o pacote de soluções construtivas com a referência “parede dupla (REH) e vidro duplo”.

Zona climática		I2V2 (Coimbra)							
Piso	Zona térmica	pisos superior e inferior não climatizados		pisos superior e inferior climatizados		pisos superior climatizado e inferior não climatizado		pisos inferior climatizado e superior não climatizado	
		P _{aque} [kW]	P _{arref} [kW]	P _{aque} [kW]	P _{arref} [kW]	P _{aque} [kW]	P _{arref} [kW]	P _{aque} [kW]	P _{arref} [kW]
Térreo	Q	1,09	0,89	-	-	0,72	0,67	-	-
Intermédio	Q	1,26	0,99	0,72	0,69	0,95	0,80	1,01	0,87
Cobertura	Q	1,19	1,02	-	-	-	-	0,88	0,83
Térreo	X	1,08	0,48	-	-	0,72	0,34	-	-
Intermédio	X	1,30	0,60	0,77	0,43	0,97	0,57	1,06	0,56
Cobertura	X	1,26	0,69	-	-	-	-	0,95	0,60

Zona climática		I2V3 (Covilhã)							
Piso	Zona térmica	pisos superior e inferior não climatizados		pisos superior e inferior climatizados		pisos superior climatizado e inferior não climatizado		pisos inferior climatizado e superior não climatizado	
		P _{aque} [kW]	P _{arref} [kW]	P _{aque} [kW]	P _{arref} [kW]	P _{aque} [kW]	P _{arref} [kW]	P _{aque} [kW]	P _{arref} [kW]
Térreo	Q	1,26	0,88	-	-	0,84	0,66	-	-
Intermédio	Q	1,47	0,97	0,84	0,68	1,09	0,79	1,18	0,85
Cobertura	Q	1,39	1,00	-	-	-	-	1,02	0,82
Térreo	X	1,25	0,46	-	-	0,83	0,34	-	-
Intermédio	X	1,50	0,59	0,89	0,43	1,13	0,46	1,23	0,54
Cobertura	X	1,46	0,67	-	-	-	-	1,10	0,59

3.2.1.3 Zona climática I3

Para a zona climática I3, analisar-se-ão as seguintes regiões: Vila Pouca de Aguiar (I3V1), Guarda (I3V2) e Penedono (I3V3). No Anexo H apresentam-se os resultados obtidos em função dos edifícios e das respetivas frações que os constituem para cada zona climática.

Da análise da Figura I.3, na P_{aque} a região de Vila Pouca de Aguiar, referente à zona climática V1, corresponde à zona climática que mais necessidades de aquecimento necessita, já na zona climática de Penedono (V3) verifica-se o oposto, esta necessita de menores necessidades energéticas para a climatização do espaço. Por fim, da observação da P_{arref} conclui-se mais uma vez que Vila Pouca de Aguiar é a que apresenta ter mais necessidades de arrefecimento. No entanto, a região da Guarda (V2) é que apresenta ser a situação mais favorável, implicando menos consumos para o arrefecimento do mesmo espaço.

No global, como nas zonas climáticas anteriores (I1 e I2), é notório a influência das zonas climáticas de verão nas potências de climatização. Nesta zona climática, I3, das três regiões em estudo, Vila Pouca de Aguiar é a que apresenta um clima mais severo o que proporciona valores mais elevados para a P_{aque} , de seguida, vem a região da Guarda e, por fim, Penedono, sendo este último o que apresenta um clima de inverno mais ameno. Em relação à P_{arref} continua a região de Vila Pouca de Aguiar a apresentar temperaturas de verão mais elevadas, seguida de Penedono e depois Guarda com temperaturas de verão não tao elevadas, daí os baixos consumos da P_{arref} requeridas para a climatização dos espaços.

A Tabela 3.14, vem reforçar as conclusões retiradas, é possível efetuar uma análise comparativa dos resultados, entre as regiões da zona climática I3, relativamente às P_{aque} e de P_{arref} das zonas térmicas Q e X, referentes ao edifício 1 e 3 de tipologia A.

Tabela 3.14 – Tabela comparativa das potências de aquecimento e arrefecimento da zona climática I3 para as zonas térmicas Q e X para o pacote de soluções construtivas com a referência “parede dupla (REH) e vidro duplo”.

Zona climática		I3V1 (Vila Pouca de Aguiar)							
Piso	Zona térmica	pisso superior e piso inferior não climatizados		pisso superior e piso inferior climatizados		pisso superior climatizado e piso inferior não climatizado.		pisso inferior climatizado e piso superior não climatizado	
		P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]
Térreo	Q	1,47	0,91	-	-	0,98	0,68	-	-
Intermédio	Q	1,71	1,01	0,98	0,70	1,27	0,82	1,38	0,89
Cobertura	Q	1,61	1,04	-	-	-	-	1,19	0,85
Térreo	X	1,46	0,51	-	-	0,97	0,37	-	-
Intermédio	X	1,76	0,63	1,05	0,46	1,32	0,50	1,44	0,59
Cobertura	X	1,69	0,72	-	-	-	-	1,29	0,63

Zona climática		I3V2 (Guarda)							
Piso	Zona térmica	pisso superior e piso inferior não climatizados		pisso superior e piso inferior climatizados		pisso superior climatizado e piso inferior não climatizado.		pisso inferior climatizado e piso superior não climatizado	
		P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]
Térreo	Q	1,33	0,85	-	-	0,88	0,65	-	-
Intermédio	Q	1,54	0,94	0,88	0,66	1,14	0,76	1,23	0,83
Cobertura	Q	1,45	0,96	-	-	-	-	1,06	0,80
Térreo	X	1,30	0,43	-	-	0,87	0,31	-	-
Intermédio	X	1,58	0,55	0,93	0,40	1,18	0,61	1,30	0,51
Cobertura	X	1,52	0,63	-	-	-	-	1,14	0,56

Zona climática		I3V3 (Penedono)							
Piso	Zona térmica	pisos superior e inferior não climatizados		pisos superior e inferior climatizados		pisos superior climatizado e inferior não climatizado		pisos inferior climatizado e superior não climatizado	
		P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]
Térreo	Q	1,30	0,90	-	-	0,87	0,67	-	-
Intermédio	Q	1,51	1,00	0,87	0,70	1,13	0,81	1,21	0,88
Cobertura	Q	1,43	1,02	-	-	-	-	1,05	0,83
Térreo	X	1,29	0,51	-	-	0,85	0,37	-	-
Intermédio	X	1,55	0,63	0,92	0,46	1,16	0,50	1,27	0,59
Cobertura	X	1,50	0,72	-	-	-	-	1,13	0,62

3.2.2 Zona climática de verão

Para as zonas climáticas de verão, todas as figuras analisadas (Figura J.1, Figura J.2 e Figura J.3) para cada zona climática de verão (V1, V2 e V3) encontram-se presentes no Anexo J. De salientar que estes resultados são referentes ao edifício que mais necessidades energéticas necessita, neste caso em particular, para o edifício 1 de tipologia A.

Em geral, para todas as zonas climáticas de verão estudadas é visível, para a P_{aque} e para a P_{arref} que o pacote de solução que requer menos necessidades energéticas corresponde ao pacote da solução construtiva “parede dupla (REH) e vidro duplo” e a que requer mais necessidades energéticas corresponde ao pacote da solução construtiva designada por “parede simples e vidro simples”.

3.2.2.1 Zona climática V2

Para a zona climática V2, analisaram-se as regiões: Porto (I1V2), Coimbra (I2V2) e Guarda (I3V2), sendo que os resultados obtidos encontram-se visíveis na Figura J.1 e na Figura J.2.

Da análise da Figura J.1, para a P_{aque} , constata-se que a zona climática I2, correspondente à região de Coimbra é a que menos consumos energéticos requer para a climatização do espaço, contrariamente à região Guarda (I3) que necessita de consumos mais elevados para a climatização do mesmo espaço. Em relação à P_{arref} , Figura J.2, a região que necessita de maiores P_{arref} corresponde à zona climática I2 (Coimbra), já o oposto é verificado para a região da Guarda.

Em ênfase à análise acima verificada, a Tabela 3.15 apresenta as variações percentuais sentidas com a alteração da zona climática de verão em relação à ótima zona climática, isto é, em relação à zona climática que requer menos consumos energéticos. Da observação da tabela, verifica-se, para a P_{aque} , uma oscilação da potência entre os 10% e os 18%. Enquanto que na P_{arref} as

variações sentidas são mais elevadas, rondam entre os 6% e os 38%. Esta situação evidenciada deve-se ao facto que estamos perante o estudo das zonas climáticas de verão.

Tabela 3.15 – Variações verificadas entre as zonas climáticas de verão V2 para o edifício 1 de tipologia A.

Potência de aquecimento										
Referência do pacote de soluções construtivas	parede simples e vidro simples		parede dupla e vidro simples		parede dupla e vidro duplo		parede dupla c/isolamento e vidro duplo		parede dupla (REH) e vidro duplo	
Zona climática	I1	I3	I2	I3	I1	I3	I1	I3	I1	I3
Piso térreo	+10%	+17%	+22%	+34%	+10%	+13%	+10%	+13%	+14%	+17%
Piso intermédio	+11%	+18%	+19%	+31%	+10%	+15%	+10%	+14%	+14%	+18%
Piso de cobertura	+11%	+18%	+11%	+27%	+10%	+16%	+11%	+15%	+13%	+17%
Potência de arrefecimento										
Zona climática	I2	I3	I2	I3	I2	I3	I2	I3	I2	I3
Piso térreo	+21%	+14%	+38%	+33%	+22%	+19%	+22%	+6%	+18%	+13%
Piso intermédio	+15%	+10%	+28%	+24%	+13%	+12%	+15%	+5%	+18%	+13%
Piso de cobertura	+12%	+7%	+25%	+21%	+12%	+10%	+14%	+3%	+18%	+13%

3.2.2.2 Zona climática V3

Em relação à zona climática V3, serão analisadas as seguintes regiões: Santarém (I1V3), Covilhã (I2V3) e Penedono (I3V3), os resultados obtidos para as combinações das zonas climáticas encontram-se visíveis na Figura J.2. Da análise da figura é possível constatar que as zonas climáticas I2 e I3 correspondem às regiões que menos consumos requerem para as P_{aque} e para as P_{arref} respetivamente.

A Tabela 3.16 apresenta as variações sentidas em relação à ótima situação de cada potência energética. Neste caso, em relação à P_{aque} a zona climática I1 é a zona climática que menos potência necessita para a climatização. No entanto, na P_{arref} a situação ótima recai para a zona climática I2. Da tabela é constatável que a maior variação verificada é relativa à P_{arref} e ronda entre os 0% e os 48%. Contudo, para a potência em causa, é possível analisar um ligeira diminuição em determinadas frações correspondentes aos pacotes de solução construtiva designadas por “parede dupla e vidro simples”, “parede dupla e vidro duplo” e “parede dupla (REH) e vidro duplo”.

Tabela 3.16 – Variações verificadas entre as zonas climáticas de verão V3 para o edifício 1 de tipologia A.

Potência de aquecimento										
Referência do pacote de soluções construtivas	parede simples e vidro simples		parede dupla e vidro simples		parede dupla e vidro duplo		parede dupla c/isolamento e vidro duplo		parede dupla (REH) e vidro duplo	
	I2	I3	I2	I3	I2	I3	I2	I3	I2	I3
Piso térreo	+13%	+13%	+13%	+4%	+13%	+14%	+15%	+14%	+16%	+18%
Piso intermédio	+14%	+14%	+40%	+20%	+15%	+16%	+16%	+16%	+17%	+19%
Piso de cobertura	+14%	+15%	+34%	+18%	+16%	+18%	+16%	+17%	+16%	+18%

Potência de arrefecimento												
Zona climática	I1		I3		I1		I3		I1		I3	
	I1	I3	I1	I3	I1	I3	I1	I3	I1	I3	I1	I3
Piso térreo	+2%	+10%	+48%	+43%	+9%	+9%	+6%	+9%	-8%	+3%		
Piso intermédio	+2%	+7%	-4%	+12%	+3%	+5%	+5%	+7%	+4%	+4%		
Piso de cobertura	+2%	+5%	-2%	+14%	-2%	+4%	0%	+6%	+2%	+3%		

3.2.3 Estudo das variações máximas e mínimas nas potências

No sentido de aprofundar mais a relação existente entre cada zona climática de inverno e de verão estudaram-se dois cenários distintos. O primeiro cenário diz respeito à potência máxima de aquecimento e o segundo cenário à potência mínima de aquecimento verificada.

Na primeira situação, o que se pretende é o estudo das potências máximas verificadas, tendo em atenção todos os parâmetros até então analisados, para cada zona climática. Assim, como já concluído ao longo da análise dos resultados obtidos, o piso de cobertura é o piso que requer mais necessidades energéticas, contribuindo assim para as maiores potências de climatização verificadas.

Com isto, para a análise das potências máximas analisaram-se os edifícios de tipologia A, mais concretamente o edifício 2, para o piso de cobertura e com a condição de climatização de o piso inferior não ser climatizado. E dentro destes estudou-se a zona térmica J para o pacote da solução construtiva “parede simples e vidro duplo”, uma vez que esta é a que apresenta a potência mais elevada para estas determinadas condições.

Depois de definidos todos estes parâmetros, a Tabela 3.17 apresenta para todas as zonas climáticas estudadas, e para as condições acima mencionadas as potências máximas de aquecimento registadas e as correspondentes P_{arref} .

Tabela 3.17 – Potências máximas e mínimas de cada zona climática para a zona térmica J do edifício 2, para o piso de cobertura.

Zona climática		Potência máxima		Potência mínima	
		P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]	P_{aque} [kW]	P_{arref} [kW]
I1V2	Porto	3,48	2,23	0,64	0,24
I1V3	Santarém	3,03	2,39	0,53	0,30
I2V2	Coimbra	3,05	2,68	0,54	0,33
I2V3	Covilhã	3,58	2,54	0,63	0,31
I3V1	Vila Pouca de Aguiar	4,06	2,77	0,74	0,36
I3V2	Guarda	3,68	2,55	0,66	0,29
I3V3	Penedono	3,65	2,63	0,64	0,33

Na tabela os valores apresentados a cor vermelha correspondem aos valores mínimos verificados e os que estão a azul aos valores máximos obtidos. Assim, pode-se constatar que a potência máxima de aquecimento corresponde à zona de Vila Pouca de Aguiar e, para as mesmas condições estabelecidas, a zona de Santarém requer menos potência. Nesta situação em concreto é possível diminuir em 25% a potência só com a alteração da zona climática. Já na P_{arref} é possível verificar-se uma variação de 19% na potência.

No segundo cenário, o processo é similar ao anterior, mas com a particularidade de se analisar as potências mínimas para cada zona climática. Neste caso, analisar-se-á as potências mínimas para os edifícios de tipologia A (edifício 1), para o piso de térreo e com a condição de climatização de o piso superior ser climatizado, para a zona térmica H e para o pacote de solução construtiva “parede dupla (REH) e vidro duplo”, uma vez que esta é a que apresenta as potências mais reduzidas nestas determinadas condições. O resultado para este cenário é visível na tabela acima apresentada e desta conclui-se, mais uma vez, que a zona de Vila Pouca de Aguiar e de Santarém apresentam, respetivamente, a potência máxima e mínima verificadas. Entre estas duas zonas climáticas é possível reduzir 28% da P_{aque} e 33% na P_{arref} .

A seguinte figura, Figura 3.12, apresenta esquematicamente os resultados apresentados na tabela para os cenários estudados. Nesta é perfeitamente visível os valores máximos e mínimos para todas as zonas climáticas.

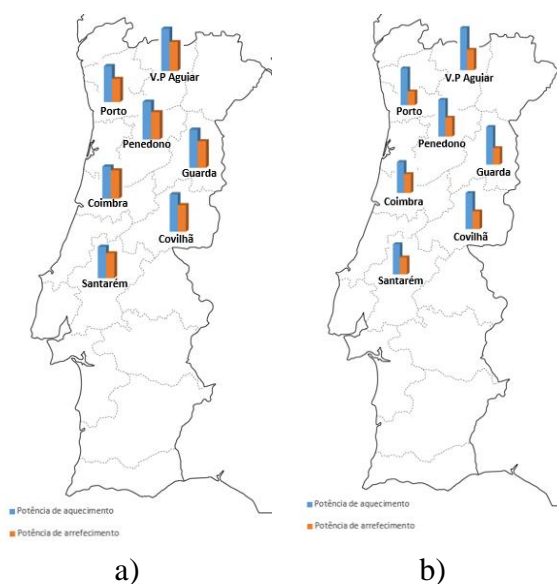


Figura 3.12 – Variação das potências de climatização em função da localização: a) potência máxima; b) potência mínima (figuras com escalas diferentes).

No global, é possível afirmar que a zona climática I1V3 é, de todas as zonas estudadas, a zona que permite ter mais diminuições nas necessidades energéticas, o que se torna um fator bastante positivo quando se pensa em reduzir a fatura energética do edifício residencial. No sentido oposto, a zona climática I3V1 é de todas as zonas a que mais necessidades energéticas requer para a climatização dos espaços, o que implicará um aumento das potências a dimensionar nos sistemas de climatização e, conseqüentemente, refletir-se-á nos custos associados à fatura energética do consumidor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a exposição da metodologia seguida dos resultados obtidos, assim com e sua análise detalhada, apresentam-se, neste capítulo, as considerações finais a retirar da realização deste trabalho. Realça-se que, fazendo parte do capítulo anterior diversas observações parciais, as conclusões finais aqui apresentadas serão elaboradas de forma mais breve e concisa, pretendendo transmitir uma perspectiva global da análise efetuada.

4.1 Conclusões

Em conclusão ao estudo realizado, salientam-se de seguida os aspetos mais revelantes sobre o tema abordado e apresentam-se as respetivas conclusões.

Pode-se referir que a constante evolução das soluções construtivas das paredes ao longo dos tempos contribuíram de forma significativa para a redução das necessidades energéticas e, consequentemente, nas faturas energéticas dos consumidores. Com esta mudança nas envolventes, a construção recente apresenta cerca de 50% menos de potência de aquecimento e arrefecimento a serem dimensionadas nos sistemas de climatização num edifício residencial. Neste sentido, no presente estudo, e para todas as zonas climáticas em análise, o pacote de solução construtiva designado por “parede dupla (REH) e vidro duplo” é o que apresenta ter as menores potências de climatização, considerando-se assim, o melhor pacote de solução construtiva. No entanto, o pacote que apresenta a situação pior, ou seja, a que implica os maiores consumos de potência é o pacote designado por “parede dupla (REH) e vidro duplo”.

De igual modo, um fator determinante a ter em atenção é a influência das zonas climáticas de inverno e de verão em que se insere o edifício, isto é, da localização geográfica dos edifícios residenciais, no qual as zonas climáticas têm grande impacto nos consumos energéticos das zonas a climatizar. As zonas climáticas como I1 correspondem a locais com menores necessidades de aquecimento no inverno, enquanto que as zonas I3 terão necessidades mais elevadas. Do mesmo modo, as zonas V3 terão mais necessidades de arrefecimento do que as regiões V1.

Outro aspeto importante a salientar é a influência da envolvente dos edifícios, neste caso particular, a presença de edifícios adjacentes. A presença destes edifícios adjacentes implica ter menores consumos nas necessidades energéticas. Assim, constata-se que os edifícios que na sua envolvente não têm edifícios adjacentes consomem mais potências de climatização, comparativamente com os restantes edifícios, edifícios que nas suas envolventes têm edifícios

adjacentes. Como sabemos, os edifícios que não têm edifícios adjacentes, têm todas as superfícies expostas à luz do sol, daí os seus consumos serem elevados. No entanto, em relação à potência de aquecimento, a orientação dos edifícios adjacentes não tem muita relevância para o estudo, uma vez que as potências não diferem muito uns dos outros. Mas para a potência de arrefecimento já é um fator importante, os edifícios adjacentes orientados a Norte e Sul requerem potências elevadas em comparação com os edifícios adjacentes orientados a Oeste e Este. Isto deve-se porque as orientações a Sul são as que mais otimizam os ganhos solares ao longo de todo o ano.

Também é importante salientar o estudo da influência da localização da fração (térreo, intermédio e cobertura) e das suas condições de fronteira de climatização que afetam os consumos das potências. Neste sentido, nos casos em que as frações têm pisos adjacentes associados, verifica-se que contribuem fortemente para a redução das potências de climatização. Sendo que a situação mais favorável à redução das necessidades energéticas é quando ambos os pisos adjacentes são climatização e, no pior dos cenários, quando estes pisos adjacentes não são climatização. Relativamente à localização das frações, é notável que o piso de cobertura é o que implica maiores consumos energéticos, o que é de se esperar porque estes pisos estão mais expostos ao clima (de inverno e de verão), já o piso térreo é situação oposta, no qual necessita de menos necessidades energéticas para aclimatização do mesmo espaço.

Por fim, é importante salientar a influência das zonas térmicas presentes em cada edifício, que também contribuem para a redução dos consumos energéticos. Assim, conclui-se que nos edifícios com edifícios adjacentes é notório, na potência de arrefecimento, que as zonas térmicas em contacto com a mesma parede exterior apresentam as mesmas necessidades de arrefecimento. Já nos edifícios com todas as envolventes exteriores conclui-se, para a potência de aquecimento, que as zonas térmicas das extremidades tomam os mesmos valores de potência, de igual modo, o mesmo é visível para as zonas térmicas inseridas entre as duas zonas térmicas das extremidades.

Em suma, é possível concluir que as potências de aquecimento e de arrefecimento numa determinada zona térmica é fortemente dependente da localização da zona climática em que se encontra o edifício, do tipo de solução construtiva e da sua envolvente térmica, como também da própria localização da fração no edifício, piso em que se insere a fração, e das condições de climatização dos pisos adjacentes.

4.2 Sugestões para desenvolvimentos futuros

Como propostas futuras, é sugerido a aplicação desta metodologia a uma habitação real, a fim de verificar a veracidade dos resultados, no fundo será uma comparação entre os resultados

esperados e os resultados reais. Também é sugerido a criação de uma base de dados mais alargada, que complemente mais regiões em estudo, a fim de ser possível criar uma base de cálculo que permita dimensionar com maior precisão os sistemas de climatização a instalar em edifícios residenciais.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu Bakar, N. N., Hassan, M. Y., Abdullah, H., Rahman, H. A., Abdullah, M. P., Hussin, F., & Bandi, M. (2015). Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *44*, 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.018>.
- ADENE@ (2015a) – Agência para a Energia. Disponível em <http://www.adene.pt/sce/enquadramento-0>. Acedido em Fevereiro de 2015.
- ADENE@ (2015b) – Agência para a Energia. Guia da Eficiência Energética. Disponível em http://www.adene.pt/sites/default/files/guiaee_v1310.pdf. Acedido em Fevereiro de 2015.
- Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*, *40*(3), 353–366. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.05.013>.
- APA@ (2015) – Agência Portuguesa do Ambiente. Relatório do Estado do Ambiente (REA). Disponível em http://www.apambiente.pt/zdata/DESTAQUES/2014/REA_2013_Final_30dezembro.pdf. Acedido em Fevereiro de 2015.
- Aste, N., Adhikari, R. S., & Manfren, M. (2013). Cost optimal analysis of heat pump technology adoption in residential reference buildings. *Renewable Energy*, *60*, 615–624. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2013.06.013>.
- Casals, X. G. (2006). Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences. *Energy and Buildings*, *38*(5), 381–392. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.05.004>.
- Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013 – Diário da República, 2.ª série — N.º 234 — 3 de dezembro de 2013. 26–31. Disponível em <https://dre.pt/application/dir/pdf2sdip/2013/12/234000003/0002600031.pdf>. Acedido em Março de 2015.

Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 – Diário da República, 2.ª série — N.º 234 — 3 de dezembro de 2013. 58–87. Disponível em <https://dre.pt/application/dir/pdf2sdip/2013/12/234000003/0005800087.pdf>. Acedido em Março de 2015.

Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013 – Diário da República, 2.ª série — N.º 234 — 3 de dezembro de 2013. 36-40. Disponível em <https://dre.pt/application/dir/pdf2sdip/2013/12/234000003/0003600040.pdf>. Acedido em Abril de 2015.

EIA@ (2015) – U.S Energy Information Administration. Disponível em <http://www.eia.gov>. Acedido em Abril de 2015

Ferreira, J. V., & Domingos, I. (2011). Assessment of Portuguese thermal building legislation in an energetic and environmental perspective. *Energy and Buildings*, 43(12), 3729–3735. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.007>.

Ferreira, J., & Pinheiro, M. (2011). In search of better energy performance in the Portuguese buildings-The case of the Portuguese regulation. *Energy Policy*, 39(12), 7666–7683. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.062>.

Flores-Colen et al., (2015). “Paredes”. Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georecursos do Instituto Superior Técnico. Lisboa. Disponível em <http://www.civil.ist.utl.pt/~joaof/tc-cor/17%20Paredes%20-%20COR.pdf>

Guerra Santin, O., Itard, L., & Visscher, H. (2009). The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and Buildings*, 41(11), 1223–1232. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.07.002>.

Isolani, P. (2008). Eficiência energética nos edifícios residenciais. Lisboa: Viabrand. Disponível em http://www2.adene.pt/pt-pt/Actividades/Documents/EE_EdRes_enerbuilding.pdf

Junghans, L. (2015). Evaluation of the economic and environmental feasibility of heat pump systems in residential buildings. with varying qualities of the building envelope. *Renewable Energy*, 76, 699–705. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.037>.

- Kumar, A., & Suman, B. M. (2013). Experimental evaluation of insulation materials for walls and roofs and their impact on indoor thermal comfort under composite climate. *Building and Environment*, 59, 635–643. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.09.023>.
- Legislação Portuguesa, 2013. Decreto-Lei n.º 118/2013 - Diário da República, 1.ª série — N.º 159 — 20 de agosto de 2013, (n.d.) 4988–5005. Disponível em <http://www.academiaadene.pt/download/pt/decreto-lei-n-1182013-de-20-de-agosto.pdf>. Acedido a Março de 2015.
- Madonna, F., & Bazzocchi, F. (2013). Annual performances of reversible air-to-water heat pumps in small residential buildings. *Energy and Buildings*, 65, 299–309. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.06.016>.
- Molinari, M., Lazzarotto, A., & Björk, F. (2013). The application of the parametric analysis for improved energy design of a ground source heat pump for residential buildings. *Energy and Buildings*, 63, 119–128. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.050>.
- Natural Works@ (2015). DesignBuilder Software. Disponível em <http://www.natural-works.com>. Acedido em Abril de 2015.
- Pinho, Fernando F. S. (2008). “Paredes de edifícios Antigos em Portugal”. 2ª Edição. Coleção Edifícios n.º8. LNEC, Lisboa. 2008.
- Rodrigues, R., Santos, C. (2011). “Coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios: Soluções construtivas de edifícios antigos; Soluções construtivas das Regiões Autónomas – ITE 54”, 1º Edição. Coleção nº 54, LNEC 2009, Lisboa.
- Rosenberg, E. (2014). Calculation method for electricity end-use for residential lighting. *Energy*, 66, 295–304. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2013.12.049>.
- Santos, Carlos P., Matias, Luís. (2006). “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios - ITE 50”, LNEC, 2006. Disponível em http://home.fa.utl.pt/~lcaldas/LNEC_ITE_50.pdf.
- Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2014). General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings. *Energy and Buildings*, 70, 441–454. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.068>.
-

Software DesignBuilder. Disponível em <http://www.designbuilder.co.uk/>. Acedido em Março de 2015.

Tronchin, L., & Fabbri, K. (2008). Energy performance building evaluation in Mediterranean countries: Comparison between software simulations and operating rating simulation. *Energy and Buildings*, 40(7), 1176–1187. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.10.012>.

União Europeia@ (2015). Plano de Ação para a Eficiência Energética (2007 – 2012). Disponível em http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/127064_pt.htm. Acedido em Fevereiro de 2015.

Zarrella, A., Emmi, G., & Carli, M. De. (2015). Analysis of operating modes of a ground source heat pump with short helical heat exchangers. *Energy Conversion and Management*, 97, 351–361. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415002770#>.

ANEXOS

Anexo A – Pacote da solução construtiva: Parede simples e vidro simples

- Parede exterior

PE - Parede simples constituída por tijolo furado de 0,20 m (condutibilidade térmica de 0,385 W/(m.°C)), rebocada em ambas as faces com argamassa de 0,02 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,30 W/(m.°C)), O coeficiente de transmissão térmica da solução é de $U = 1,39 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Parede de compartimentação

PDC - A parede de compartimentação entre os espaços é definida por um pano em alvenaria de tijolo furado com 0,11 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,407 W/(m.°C)) revestido em ambas as faces com reboco tradicional, com 0,02 m de espessura e condutibilidade térmica de 1,30 W/(m.°C), O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 1,78 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Cobertura exterior

CBE - Cobertura exterior constituída (do interior para o exterior) por: reboco tradicional com 0,02 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C), laje aligeirada de blocos cerâmicos com 0,2 m de espessura (resistência térmica de 0,244 (m².°C)/W), camada de impermeabilização em asfalto com 0,003 m (condutibilidade térmica de 0,70 W/(m.°C)), seguida de uma camada de seixo com 0,026m de espessura (condutibilidade térmica de 2,0 W/(m.°C)), O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 1,88 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Pavimento interior em contacto com o solo

PVI1 - Pavimento interior em contacto com o solo, constituído (do interior para o exterior) por pavimento em madeira 0,03 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,140 W/(m.°C)), laje aligeirada de blocos cerâmicos com 0,15 m de espessura (resistência térmica de 0,244 (m².°C)/W), O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Pavimento interior

PVI1 - Pavimento interior em contacto com o solo, constituído (do interior para o exterior) por pavimento em madeira 0,03 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,140 W/(m.°C)), laje aligeirada de blocos cerâmicos com 0,15 m de espessura (resistência térmica de 0,244 (m².°C)/W), O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Envidraçado

EV - Janela de correr com vidro simples, caixilharia metálica sem corte térmico com dispositivos de oclusão noturna “cortina interior opaca”; O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U_{wdn} = 5,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Anexo B – Pacote da solução construtiva: Parede dupla rebocada com vidro simples e vidro duplo: construção posterior a 1960

- Parede exterior

PE - Para paredes duplas, com espessura total (incluindo os revestimentos) superior a 0,35 m o coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 0,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Parede de compartimentação

PDC - A parede de compartimentação entre os espaços é definida por um pano em alvenaria de tijolo furado com 0,11 m de espessura (condutibilidade térmica de $0,407 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$) revestido em ambas as faces com reboco tradicional, com 0,02 m de espessura e condutibilidade térmica de $1,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$, O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 1,78 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Cobertura exterior

CBE - Para uma cobertura pesada horizontal (betão) o valor por defeito do coeficiente de transmissão térmica é de $U = 2,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. O valor apresentado não considera a contribuição de um eventual isolamento térmico,

- Pavimento interior em contacto com o solo

PVI1 - Pavimento interior em contacto com o solo, constituído (do interior para o exterior) por: pavimento em madeira 0,03 m de espessura (condutibilidade térmica de $0,140 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$), laje de betão normal com 0,10 m de espessura (condutibilidade térmica de $1,650 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$). O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 2,01 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Pavimento interior

PVI - Pavimento interior constituído por uma camada de 0,013 m de espessura de ladrilho (condutibilidade térmica de $1,300 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$), uma camada de 0,04 m de espessura betonilha leve (condutibilidade térmica de $0,700 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$), laje aligeirada com 0,15 m de espessura (resistência térmica de $0,244 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$) e uma camada de 0,02 m de espessura de argamassa (condutibilidade térmica de $1,300 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$), O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 1,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Envidraçado

EV1 - Janela de correr com vidro duplo com lâmina de ar de 16 mm, caixilharia metálica sem corte térmico com dispositivos de oclusão noturna com elevada permeabilidade ao ar; O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U_{wdn} = 3,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

EV2 - Janela de correr com vidro simples, caixilharia metálica sem corte térmico com dispositivos de oclusão noturna “cortina interior opaca”; O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U_{wdn} = 5,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Anexo C – Pacote da solução construtiva: Parede dupla com isolamento e vidro duplo

▪ Parede Exterior

PE - Parede exterior constituída (do interior para o exterior) por duas camadas de argamassa com 2 x 0,025 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C)), tijolo cerâmico furado de 0,11 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,407 W/(m.°C)), 0,03 m de EPS (condutibilidade térmica de 0,042 W/(m.°C)), seguida de uma nova camada de tijolo cerâmico furado de 0,11 m. O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 0,68 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

▪ Parede de compartimentação

PDC - A parede de compartimentação entre os espaços é definida por 2 panos de placas de gesso cartonado com 0,013 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,250 W/(m.°C)), intercalados por uma caixa-de-ar de 0,025 m de espessura (resistência térmica de 0,18 (m².°C)/W). O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 1,84 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

▪ Cobertura exterior

CBE - Cobertura exterior constituída (do interior para o exterior) por: reboco tradicional com 0,02 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,30 W/(m.°C)), laje em betão normal de inertes correntes com 0,20 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,65 W/(m.°C)), camada de impermeabilização em membranas flexível impregnada com betume com 0,003 m (condutibilidade térmica de 0,230 W/(m.°C)), seguida de uma camada de gravilha de coberturas com 0,026 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,44 W/(m.°C)), O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 1,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

▪ Pavimento interior em contacto com o solo

PVI1 - Pavimento interior em contacto com o solo, constituído (do interior para o exterior) por: pavimento em madeira 0,03 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,140 W/(m.°C)), camada de isolamento em EPS com 0,20 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C)), seguida de laje em betão normal de inertes correntes com 0,10 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,65 W/(m.°C)). O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 0,98 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

▪ Pavimento interior

PVI - Pavimento interior constituído por uma camada de 0,013 m de espessura de ladrilho (condutibilidade térmica de 1,300 W/(m.°C)), uma camada de 0,04 m de espessura de betão leve (condutibilidade térmica de 0,700 W/(m.°C)), laje aligeirada com 0,15 m de espessura (resistência térmica de 0,170 (m².°C)/W), uma caixa-de-ar com 0,01 m (resistência térmica de 0,220 (m².°C)/W) e placas de gesso cartonado com 0,013 m de espessura (condutibilidade

térmica de 0,250 W/(m.°C)). O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 1,29$ W/(m².°C).

- Envidraçado

EV - Janela giratória com vidro duplo com lâmina de ar de 16 mm, caixilharia metálica sem corte térmico com dispositivos de oclusão noturna com elevada permeabilidade ao ar. O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U_{wdn} = 3,10$ W/(m².°C).

Anexo D – Pacote da solução construtiva: Parede dupla (REH) e vidro duplo

- Parede Exterior

PE - Parede exterior constituída (do interior para o exterior) por duas camadas de argamassa com 2 x 0,02 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,30 W/(m.°C)), bloco térmico de argila expandida com 0,25 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,25 W/(m.°C)), placas de ICB MDFachada com 0,08 m (condutibilidade térmica de 0,045 W/(m.°C)). O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de **$U = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$** .

- Parede de compartimentação

PDC - A parede de compartimentação entre os espaços é definida por um pano em alvenaria de tijolo furado com 0,11 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,407 W/(m.°C)) revestido em ambas as faces com reboco tradicional, com 0,02m de espessura e condutibilidade térmica de 1,30 W/(m.°C). O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de **$U = 1,78 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$** .

- Cobertura exterior

CBE - Cobertura exterior constituída (do interior para o exterior) por: reboco tradicional com 0,02 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,30 W/(m.°C)), laje de betão com 0,2 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,65 W/(m.°C)), camada de regularização em betão leve com 0,10 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,30 W/(m.°C)), membrana de impermeabilização com 0,003 m (condutibilidade térmica de 0,23 W/(m.°C)), camada de isolamento térmico em poliestireno extrudido com 0,09 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C)), seguida de uma camada de gravilha com 0,05 m de espessura. O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de **$U = 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$** .

- Pavimento interior para desvão sanitário

PVI1 - Pavimento interior em contacto com o desvão sanitário, constituído (do interior para o exterior) por: madeiras densas com 0,03 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,230 W/(m.°C)), camada de isolamento térmico em poliestireno extrudido com 0,10 m de espessura (condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C)), camada de regularização em betão leve com 0,10 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,30 W/(m.°C)), laje em betão normal com 0,02 cm de espessura (condutibilidade térmica de 2,0 W/(m.°C)), O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de **$U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$** .

- Pavimento interior

PVI - Pavimento interior constituído por uma camada de 0,03 m de espessura de madeiras densas (condutibilidade térmica de 0,230 W/(m.°C)), uma camada de 0,10 m de espessura de betão leve (condutibilidade térmica de 0,360 W/(m.°C)), laje de betão normal de inertes correntes com 0,20 m de espessura (condutibilidade térmica de 1,650 W/(m.°C)) e uma camada

de 0,02 m de espessura de argamassa (condutibilidade térmica de 1,300 W/(m.°C)). O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U = 1,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

- Envidraçado

EV - Janela de correr com vidro duplo, lamina interior de 6 mm, caixa-de-ar de 13 mm e lamina exterior bronze de 6 mm com caixilharia metálica com corte térmico e sem dispositivos de oclusão noturna, O coeficiente de transmissão térmica a considerar é de $U_{\text{vidro}} = 2,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Anexo E – Resultados para a zona climática I1V2 (Porto)

▪ Piso térreo

Tabela E. 1 – Resultados esperados de acordo com as condições de climatização impostas para o piso térreo.

Condições de climatização	Piso superior não climatizado											
	Potência de Aquecimento Edifícios						Potência de Arrefecimento Edifícios					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Referência do Pacote de soluções construtivas	19,58	9,66	9,66	12,44	7,61	7,61	6,65	3,19	0,99	5,98	2,78	1,23
parede simples e vidro simples	12,76	9,45	9,40	11,81	7,67	7,67	4,94	2,63	0,58	5,53	2,13	0,89
parede dupla e vidro simples	16,01	8,09	8,09	10,03	6,93	6,93	5,02	2,32	0,34	5,00	1,91	0,68
parede dupla e vidro duplo	12,60	6,67	6,67	7,93	4,10	4,10	4,23	2,19	0,60	4,49	2,26	0,70
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	9,24	4,99	4,99	6,09	2,99	2,89	5,14	2,77	1,35	4,81	2,42	1,14
parede dupla (REH) e vidro duplo												
Condições de climatização	Piso superior climatizado											
Solução construtiva:	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
parede simples e vidro simples	16,22	7,98	7,93	10,61	6,77	6,77	5,35	2,51	0,63	4,99	2,40	1,04
parede dupla e vidro simples	9,35	7,56	7,51	9,66	6,67	6,67	3,42	2,13	0,39	4,52	1,79	0,69
parede dupla e vidro duplo	12,29	6,20	6,20	7,88	5,93	5,93	3,78	1,74	0,07	3,90	1,52	0,46
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	10,58	5,28	5,51	6,67	3,47	3,47	3,28	1,71	0,27	3,57	1,71	0,53
parede dupla (REH) e vidro duplo	5,93	3,36	3,36	4,20	2,05	2,00	3,68	2,05	0,97	3,66	1,86	0,87

▪ **Piso intermédio**

Tabela E. 2 – Resultados esperados de acordo com as condições de climatização impostas para o piso intermédio.

Condições de climatização		Piso inferior não climatizado e Piso superior não climatizado											
Referência do Pacote de soluções construtivas:	Potência de Aquecimento						Potência de Arrefecimento						
	Edifícios						Edifícios						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
parede simples e vidro simples	21,56	10,87	10,61	13,60	7,19	7,19	12,06	6,23	3,14	9,58	4,83	2,61	
parede dupla e vidro simples	14,60	10,71	10,45	13,02	6,77	6,77	10,28	5,92	2,99	9,56	5,17	2,73	
parede dupla e vidro duplo	17,90	9,29	9,24	11,13	5,99	5,99	10,70	5,58	2,66	8,95	4,87	2,49	
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	13,60	7,40	7,40	8,56	4,41	4,41	6,92	3,89	2,02	5,94	2,87	1,35	
parede dupla (REH) e vidro duplo	10,82	5,93	5,99	6,98	3,41	3,36	5,77	3,33	1,75	5,35	2,64	1,30	
Condições de climatização		Piso inferior climatizado e Piso superior não climatizado											
Referência do Pacote de soluções construtivas:	Potência de Aquecimento						Potência de Arrefecimento						
	Edifícios						Edifícios						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
parede simples e vidro simples	19,37	9,82	9,50	12,34	6,56	6,56	11,74	6,09	3,10	9,30	4,67	2,56	
parede dupla e vidro simples	12,76	9,66	9,35	11,75	6,09	6,09	10,16	5,87	2,99	9,41	5,06	2,73	
parede dupla e vidro duplo	15,80	8,30	8,24	9,87	5,30	5,30	10,58	5,53	2,66	8,78	4,79	2,48	
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	12,05	6,67	6,67	7,67	3,79	3,94	6,74	3,84	2,00	5,75	2,80	1,35	
parede dupla (REH) e vidro duplo	8,56	4,88	4,94	5,62	2,73	2,73	5,00	3,02	1,65	4,66	2,33	1,16	
Condições de climatização		Piso inferior climatizado e Piso superior climatizado											
Referência do Pacote de soluções construtivas:	Potência de Aquecimento						Potência de Arrefecimento						
	Edifícios						Edifícios						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
parede simples e vidro simples	16,33	8,24	7,93	10,59	5,72	5,72	10,24	5,31	2,49	8,33	4,24	2,25	
parede dupla e vidro simples	9,50	7,88	7,56	9,77	5,09	5,09	8,15	5,00	2,37	8,26	4,54	2,34	
parede dupla e vidro duplo	12,39	6,51	6,51	7,88	4,31	4,31	7,56	4,61	2,00	7,58	4,23	2,06	
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	9,87	5,57	5,57	5,97	3,45	3,36	5,76	3,33	1,67	5,10	2,49	1,16	
parede dupla (REH) e vidro duplo	5,99	3,57	3,62	4,10	2,00	2,00	3,83	2,42	1,26	3,74	1,91	0,92	
Condições de climatização		Piso inferior não climatizado e Piso superior climatizado											
Referência do Pacote de soluções construtivas:	Potência de Aquecimento						Potência de Arrefecimento						
	Edifícios						Edifícios						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
parede simples e vidro simples	18,36	9,24	8,93	11,79	6,00	6,30	10,52	5,45	2,51	8,59	4,38	2,29	
parede dupla e vidro simples	11,17	8,87	8,56	10,97	5,72	5,72	8,25	5,07	2,37	8,42	4,62	2,37	
parede dupla e vidro duplo	14,28	7,46	7,40	9,03	4,94	4,94	8,90	4,66	2,00	7,72	4,32	2,08	
parede dupla c/isolamento e vidro duplo	11,34	6,25	6,25	7,35	3,78	3,78	5,90	3,38	1,80	5,29	2,56	1,16	
parede dupla (REH) e vidro duplo	7,93	4,52	4,52	5,36	2,57	2,57	4,49	2,68	1,35	4,40	2,20	1,04	

▪ **Piso de cobertura**

Tabela E. 3 – Resultados esperados de acordo com as condições de climatização impostas para o piso de cobertura.

Condições de climatização	Piso Inferior climatizado											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Solução construtiva:												
Parede simples e Vidro simples	22,61	11,60	11,60	13,34	7,30	7,30	17,76	9,30	6,98	11,79	6,18	4,42
Parede dupla e Vidro simples	18,01	12,39	12,39	14,39	7,30	7,30	12,47	7,46	5,14	10,29	5,46	3,62
Parede dupla e Vidro duplo	21,05	11,13	11,13	12,71	6,56	6,56	13,15	7,12	4,83	9,67	5,17	3,38
Parede dupla c/isolamento e Vidro duplo	14,57	7,59	7,93	8,77	4,52	4,52	8,22	4,78	3,28	6,09	2,64	1,91
Parede dupla (REH) e Vidro duplo	7,35	4,41	4,41	4,83	2,36	2,36	4,76	3,02	1,86	4,21	2,16	1,16
Condições de climatização	Piso Inferior NÃO climatizado											
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Solução construtiva:												
Parede simples e Vidro simples	25,46	13,07	13,02	14,96	8,09	8,09	18,85	9,83	7,20	12,61	6,56	4,60
Parede dupla e Vidro simples	20,74	13,91	13,91	16,22	8,22	8,19	13,39	7,78	5,29	9,76	5,77	3,77
Parede dupla e Vidro duplo	24,10	12,60	12,60	14,44	7,46	7,46	13,97	7,49	4,97	10,40	5,52	3,54
Parede dupla c/isolamento e Vidro duplo	16,33	8,93	8,93	9,92	5,09	5,09	8,92	5,10	3,41	6,64	3,24	2,02
Parede dupla (REH) e Vidro duplo	10,24	5,78	5,78	6,51	3,20	3,15	5,92	3,55	2,09	5,23	2,62	1,38

Anexo F – Zona climática I1

Tabela F. 1 – Resultados obtidos das potências de aquecimento e arrefecimento para todos os edifícios da zona climática de inverno II.

Referência do pacote de soluções construtivas	Potência de aquecimento [kW]						Potência de arrefecimento [kW]														
	Parede simples e Vidro simples		Parede dupla e Vidro duplo		Parede dupla (REFH) e Vidro duplo		Parede simples e Vidro simples		Parede dupla e Vidro duplo		Parede dupla e/isolamento e Vidro duplo		Parede dupla (REFH) e Vidro duplo								
	V2	V3	V2	V3	V2	V3	V2	V3	V2	V3	V2	V3	V2	V3							
Edifício 1	Piso térreo	19,58	17,64	12,76	16,59	16,01	14,18	12,60	11,08	9,24	7,77	6,65	8,40	4,94	8,07	5,02	6,94	4,23	5,81	5,14	5,68
	Piso intermédio	21,56	19,27	14,60	12,86	17,90	15,70	13,60	11,87	10,82	9,03	12,06	14,15	10,28	11,50	10,70	12,65	6,92	8,46	5,77	7,15
	Piso de cobertura	25,46	22,73	20,74	18,11	24,10	20,95	16,33	14,18	10,24	8,66	18,85	21,43	13,39	14,28	13,97	15,48	8,92	10,22	5,92	7,18
Edifício 2	Piso térreo	9,66	8,72	9,45	8,35	8,09	7,19	6,67	5,88	4,99	4,20	3,19	4,08	2,63	3,43	2,32	2,90	2,19	2,99	2,77	3,22
	Piso intermédio	10,87	9,71	10,71	9,35	9,29	8,14	7,40	6,46	5,93	4,99	6,23	7,33	5,92	6,62	5,58	6,06	3,89	4,83	3,33	3,82
	Piso de cobertura	13,07	11,66	13,91	12,13	12,60	10,97	8,93	7,82	5,78	4,88	9,83	11,21	7,78	8,37	7,49	7,82	5,10	6,25	3,55	3,98
Edifício 3	Piso térreo	9,66	8,72	9,40	8,30	8,09	7,19	6,67	5,88	4,99	4,20	0,99	1,79	0,58	2,06	0,34	1,42	0,60	1,40	1,35	2,29
	Piso intermédio	10,61	9,50	10,45	9,14	9,24	8,14	7,40	6,46	5,99	5,04	3,14	4,13	2,99	4,60	2,66	4,08	2,02	2,89	1,75	2,80
	Piso de cobertura	13,02	11,66	13,91	12,08	12,60	10,97	8,93	7,82	5,78	4,88	7,20	8,50	5,29	6,52	4,97	5,97	3,41	4,53	2,09	3,02
Edifício 4	Piso térreo	12,44	11,18	11,81	11,20	10,03	8,82	7,93	6,93	6,09	5,15	5,98	7,22	5,53	7,10	5,00	6,32	4,49	5,65	4,81	5,68
	Piso intermédio	13,60	12,13	13,02	11,34	11,13	9,71	8,56	7,40	6,98	5,93	9,58	10,83	9,56	11,18	8,95	10,26	5,94	7,00	5,35	6,30
	Piso de cobertura	14,96	13,37	16,22	14,07	14,44	12,55	9,92	8,61	6,51	5,51	12,61	14,10	9,76	12,30	10,40	11,46	6,64	7,52	5,23	6,05
Edifício 5	Piso térreo	7,61	6,83	7,67	6,72	6,93	5,53	4,10	3,57	2,99	2,52	2,78	3,39	2,13	2,68	1,91	2,37	2,26	2,73	2,42	2,61
	Piso intermédio	7,19	6,41	6,77	5,88	5,99	5,20	4,41	3,83	3,41	2,89	4,83	5,52	5,17	5,64	4,87	5,26	2,87	3,45	2,64	2,89
	Piso de cobertura	8,09	7,25	8,22	7,14	7,46	6,51	5,09	3,89	3,20	2,73	6,56	7,35	5,77	6,16	5,52	5,81	3,24	3,89	2,62	2,83
Edifício 6	Piso térreo	7,61	6,83	7,67	6,69	6,93	6,04	4,10	3,57	2,89	2,47	1,23	1,79	0,89	1,86	0,68	1,52	0,70	1,15	1,14	1,76
	Piso intermédio	7,19	6,41	6,77	5,88	5,99	5,20	4,41	3,83	3,36	2,84	2,61	3,24	2,73	4,03	2,49	3,63	1,35	1,86	1,30	1,96
	Piso de cobertura	8,09	7,25	8,19	7,14	7,46	6,51	5,09	3,89	3,15	2,68	4,60	5,37	3,77	4,73	3,54	4,36	2,02	2,63	1,38	1,96

Anexo G – Zona climática I2

Tabela G. 2 – Resultados obtidos das potências de aquecimento e arrefecimento para todos os edifícios da zona climática I2.

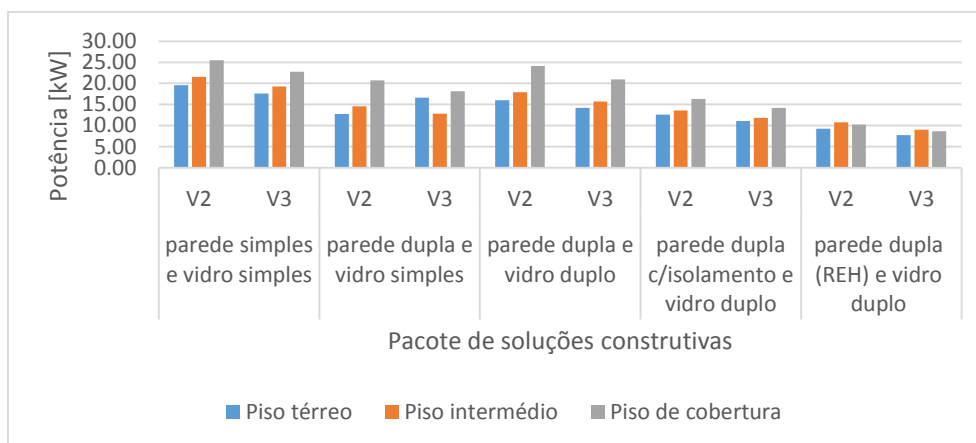
Referência do pacote de soluções construtivas	Potência de aquecimento [kW]						Potência de arrefecimento [kW]																
	Parede simples e Vidro simples		Parede dupla e Vidro duplo		Parede dupla c/isolamento e Vidro duplo		Parede simples e Vidro simples		Parede dupla e Vidro duplo		Parede dupla c/isolamento e Vidro duplo		Parede dupla (REH) e Vidro duplo										
	V2	V3	V2	V3	V2	V3	V2	V3	V2	V3	V2	V3	V2	V3									
Edifício 1	Piso / Zona climática																						
	Piso térreo		17,64	20,27	16,43	19,16	14,49	16,38	11,34	12,97	7,98	9,24	8,40	8,21	7,92	7,41	6,44	6,33	5,45	5,43	6,25	6,15	
	Piso intermédio		19,27	22,40	18,11	21,32	16,07	18,43	12,18	14,12	9,29	10,82	14,15	13,87	14,19	13,52	12,35	12,24	8,16	8,07	7,03	6,86	
Edifício 2	Piso de cobertura																						
	Piso térreo		22,73	26,51	23,42	27,62	21,58	24,89	14,60	16,96	8,87	10,29	21,43	20,96	17,87	16,95	15,96	15,72	10,37	10,23	7,18	7,04	
	Piso intermédio		8,72	10,03	8,24	9,61	7,35	8,24	5,99	6,88	4,31	4,99	4,08	3,94	3,74	3,47	3,07	2,99	2,79	2,78	3,41	3,31	
Edifício 3	Piso de cobertura																						
	Piso térreo		9,71	11,29	9,29	10,97	8,35	9,56	6,67	7,72	5,15	5,99	7,33	7,12	7,37	6,93	6,46	6,36	4,59	4,53	4,08	3,96	
	Piso intermédio		11,66	13,55	12,18	14,33	11,29	13,02	8,03	9,29	5,04	5,83	11,21	10,92	9,49	8,96	8,55	8,38	5,89	5,81	4,30	4,18	
Edifício 4	Piso de cobertura																						
	Piso térreo		8,72	9,98	8,24	9,61	7,35	8,24	5,99	6,88	4,31	4,99	1,79	1,71	1,40	1,23	0,70	0,72	1,18	1,18	1,18	1,91	1,86
	Piso intermédio		9,50	11,03	9,08	10,71	8,35	9,50	6,67	7,72	5,20	5,99	4,37	4,02	4,20	4,00	3,47	3,48	2,69	2,66	2,39	2,34	
Edifício 5	Piso de cobertura																						
	Piso térreo		11,66	13,55	12,18	14,33	11,29	13,02	8,03	9,29	5,04	5,83	8,50	8,33	6,88	6,45	5,99	5,90	4,18	4,11	2,74	2,68	
	Piso intermédio		11,18	12,90	10,34	12,08	9,08	10,26	7,14	8,19	5,30	6,14	7,22	7,10	6,88	6,57	5,89	5,83	5,29	5,26	5,49	5,42	
Edifício 6	Piso de cobertura																						
	Piso térreo		12,13	14,15	11,34	13,39	9,98	11,45	7,67	8,87	6,14	7,09	10,83	10,31	11,13	10,72	8,71	9,83	6,71	6,65	6,12	6,04	
	Piso intermédio		13,37	15,59	14,18	16,73	12,92	14,91	8,87	10,34	5,67	6,56	14,10	13,81	12,80	12,26	11,58	11,41	7,47	7,38	5,97	5,88	
Edifício 7	Piso de cobertura																						
	Piso térreo		6,83	7,93	6,72	7,93	6,25	7,14	3,68	4,20	2,57	2,99	3,39	3,27	2,86	2,68	2,42	2,35	2,63	2,57	2,20	2,20	
	Piso intermédio		6,41	7,46	5,88	6,93	5,36	6,14	3,94	4,57	2,99	3,44	5,52	5,39	6,04	5,75	5,46	5,34	3,31	3,24	3,03	2,97	
Edifício 8	Piso de cobertura																						
	Piso térreo		7,25	8,45	7,19	8,51	6,67	7,72	4,57	5,30	2,78	3,20	7,35	7,18	6,73	6,42	6,13	6,01	3,71	3,62	3,01	2,93	
	Piso intermédio		6,83	7,93	6,72	7,93	6,25	7,14	3,68	4,20	2,52	2,94	1,79	1,74	1,49	1,38	1,09	1,09	1,04	1,01	1,45	1,45	
Edifício 9	Piso de cobertura																						
	Piso térreo		6,41	7,46	5,88	6,93	5,36	6,14	3,94	4,57	2,94	3,41	3,24	3,19	3,50	3,38	2,99	2,99	1,75	1,71	1,64	1,62	
	Piso intermédio		7,25	8,45	7,19	8,48	6,67	7,72	4,57	5,30	2,78	3,20	5,37	5,24	4,67	4,43	4,12	4,08	2,48	2,39	1,70	1,69	

Anexo H – Zona climática I3

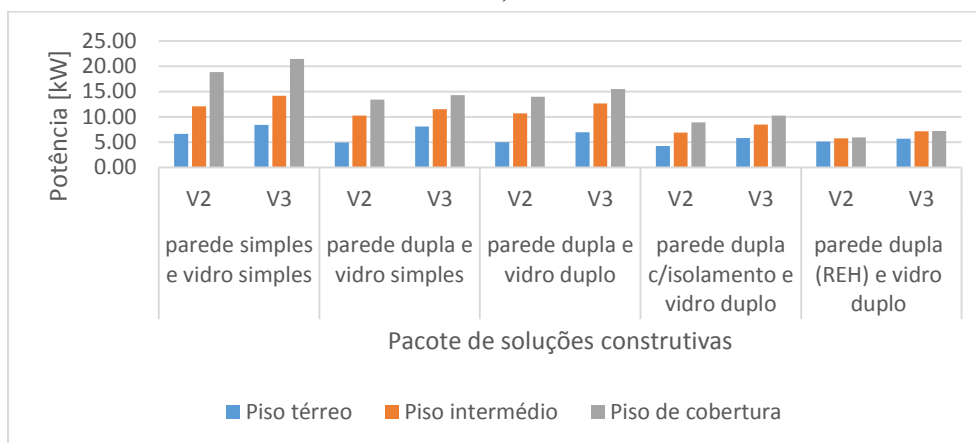
Tabela H. 3 – Resultados obtidos das potências de aquecimento e arrefecimento para todos os edifícios da zona climática I3.

Referência do pacote de soluções construtivas	Potência de aquecimento [kW]															
	Parede simples e Vidro simples			Parede dupla e Vidro duplo			Parede dupla c/ isolamento e Vidro duplo			Parede dupla (REH) e Vidro duplo						
Piso / Zona climática	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3	
1 Edifício	Piso térreo	22,37	21,14	20,21	21,21	19,32	17,22	18,17	16,64	16,54	14,28	13,02	12,86	10,76	9,66	9,50
	Piso intermédio	24,89	23,42	22,39	23,94	21,21	16,01	20,69	18,85	18,64	15,65	14,23	14,07	12,60	11,34	11,13
	Piso de cobertura	29,61	27,72	26,62	31,24	28,25	22,16	28,19	25,67	25,41	18,95	17,17	17,01	11,97	10,74	10,61
2 Edifício	Piso térreo	10,97	10,45	9,92	10,61	9,71	9,66	9,08	8,35	8,30	7,51	6,88	6,83	5,78	5,20	5,15
	Piso intermédio	12,55	11,81	11,24	12,29	11,18	11,08	10,71	9,77	9,66	8,56	7,72	7,67	6,98	6,25	6,14
	Piso de cobertura	15,17	14,18	13,65	16,22	14,70	14,60	14,70	13,44	13,28	10,45	9,40	9,35	6,77	6,09	5,99
3 Edifício	Piso térreo	10,97	10,40	9,92	10,61	9,71	9,61	9,08	8,35	8,30	7,51	6,88	6,83	5,83	5,20	5,15
	Piso intermédio	12,18	11,50	10,97	12,02	10,87	10,82	10,66	9,71	9,61	8,56	7,72	7,67	7,04	6,30	6,20
	Piso de cobertura	15,17	14,18	13,62	16,22	14,70	14,54	14,70	13,39	13,28	10,45	9,40	9,35	6,77	6,09	5,99
4 Edifício	Piso térreo	14,33	13,47	12,92	13,39	12,31	12,18	11,39	10,45	10,40	9,03	8,24	8,10	7,09	6,41	6,30
	Piso intermédio	15,78	14,75	14,18	15,02	13,65	13,55	12,92	11,76	11,66	9,82	8,98	8,87	8,19	7,35	7,30
	Piso de cobertura	17,48	16,28	15,71	18,90	17,22	17,01	16,96	15,38	15,28	11,72	10,50	10,40	7,61	6,88	6,77
5 Edifício	Piso térreo	8,87	8,30	7,98	8,87	8,14	8,03	8,09	6,85	7,30	4,67	4,25	4,20	3,47	3,10	3,10
	Piso intermédio	8,35	7,82	7,51	7,82	7,14	7,04	6,93	6,35	6,25	5,09	4,62	4,57	3,99	3,57	3,52
	Piso de cobertura	9,50	8,82	8,51	9,61	8,72	8,61	8,77	7,98	7,88	5,93	5,36	5,30	3,73	3,36	3,31
6 Edifício	Piso térreo	8,87	8,30	7,98	8,87	8,14	8,03	8,09	7,38	7,30	4,67	4,25	4,20	3,41	3,05	2,99
	Piso intermédio	8,35	7,82	7,51	7,82	7,14	7,04	6,93	6,35	6,25	5,09	4,62	4,57	3,99	3,57	3,52
	Piso de cobertura	9,50	8,82	8,51	9,61	8,72	8,61	8,77	7,98	7,88	5,93	5,36	5,30	3,73	3,36	3,31
Potência de arrefecimento [kW]																
Piso / Zona climática	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3	
1 Edifício	Piso térreo	9,48	7,72	9,10	8,57	7,34	4,21	7,25	6,23	6,94	6,35	4,52	5,95	6,40	5,94	6,34
	Piso intermédio	15,44	13,35	14,89	14,90	13,55	11,95	13,33	12,15	12,85	9,08	7,26	8,69	7,16	6,62	7,13
	Piso de cobertura	23,22	20,21	22,17	18,61	16,95	14,63	17,09	15,58	16,30	11,42	9,24	10,84	7,33	6,79	7,22
2 Edifício	Piso térreo	4,66	3,69	4,33	3,96	3,45	3,78	3,41	2,97	3,19	3,19	2,34	3,02	3,43	3,20	3,38
	Piso intermédio	8,02	6,85	7,58	7,61	6,98	7,27	6,93	6,35	6,57	5,10	3,94	4,83	4,11	3,82	4,03
	Piso de cobertura	12,15	10,51	11,47	9,78	8,98	9,25	9,08	8,33	8,57	6,50	5,25	6,16	4,32	4,14	4,23
3 Edifício	Piso térreo	2,32	1,35	2,17	1,93	0,94	1,76	1,16	0,63	1,01	1,55	0,58	1,50	2,03	1,74	2,03
	Piso intermédio	4,76	3,77	4,59	4,65	3,90	4,49	3,98	3,38	3,86	3,14	2,20	3,04	2,54	2,20	2,54
	Piso de cobertura	9,42	7,95	8,94	7,27	6,40	6,86	6,61	5,84	6,23	4,73	3,57	4,49	2,86	2,54	2,86
4 Edifício	Piso térreo	8,07	6,68	7,68	7,27	6,58	7,10	6,40	5,78	6,21	5,80	4,73	5,65	5,60	5,29	5,53
	Piso intermédio	11,64	10,36	11,33	11,48	10,71	11,23	10,53	9,77	10,23	7,23	6,18	7,05	6,24	5,87	6,17
	Piso de cobertura	15,17	13,37	14,54	13,00	12,22	12,75	12,28	11,30	11,79	8,13	6,81	7,78	6,10	5,71	6,00
5 Edifício	Piso térreo	3,76	3,12	3,53	2,91	2,62	2,86	2,63	2,28	2,50	2,83	2,33	2,73	2,78	2,62	2,73
	Piso intermédio	5,97	5,19	5,68	6,09	5,75	5,98	5,74	5,26	5,52	3,53	2,96	3,39	3,07	2,89	3,01
	Piso de cobertura	7,95	6,91	7,52	6,73	6,39	6,63	6,45	5,93	6,16	3,98	3,30	3,97	3,02	2,85	2,97
6 Edifício	Piso térreo	2,13	1,55	2,05	1,71	1,26	1,67	1,33	0,94	1,30	1,26	0,77	1,23	1,52	1,38	1,56
	Piso intermédio	5,97	2,98	3,54	6,09	3,31	3,78	5,74	2,92	3,31	3,53	1,47	1,96	3,07	1,55	1,74
	Piso de cobertura	5,93	5,00	5,63	4,85	4,36	4,73	4,53	3,97	4,32	2,61	2,10	2,58	1,79	1,61	1,81

Anexo I – Zona climática de inverno (I1, I2, I3)

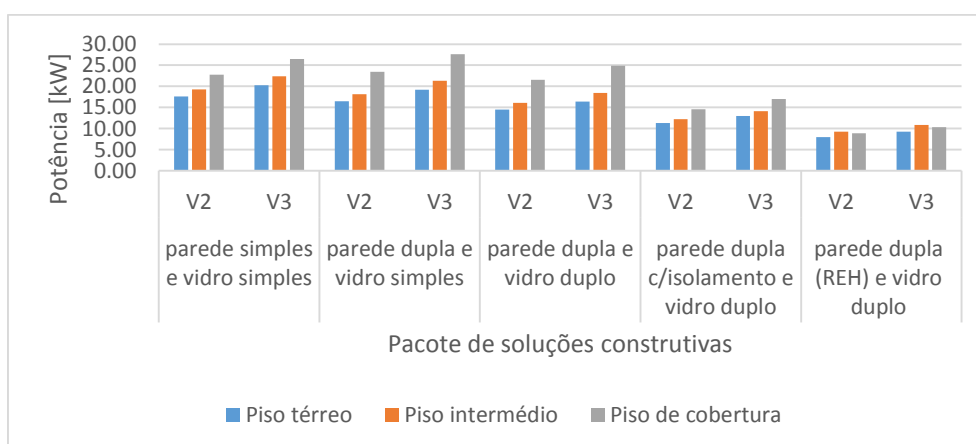


a)

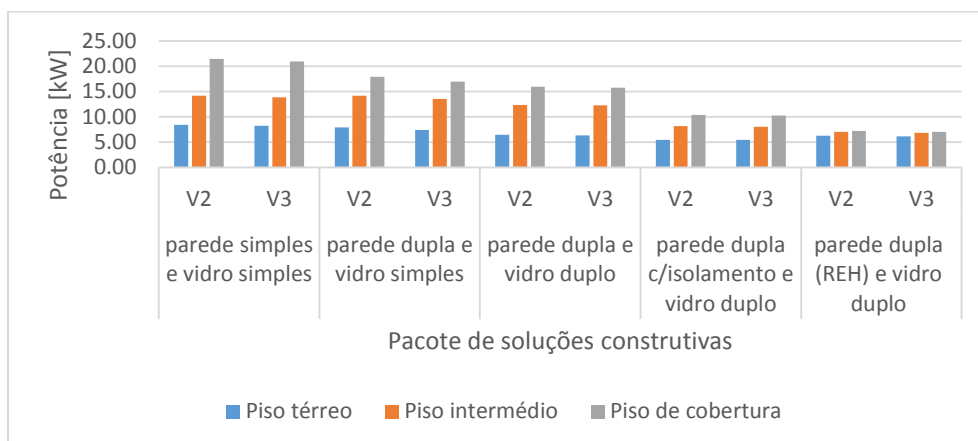


b)

Figura I.1 – Resultados das potências de climatização da zona climática I1, para o edifício 1 de tipologia A: a) potência de aquecimento e b) potência de arrefecimento.

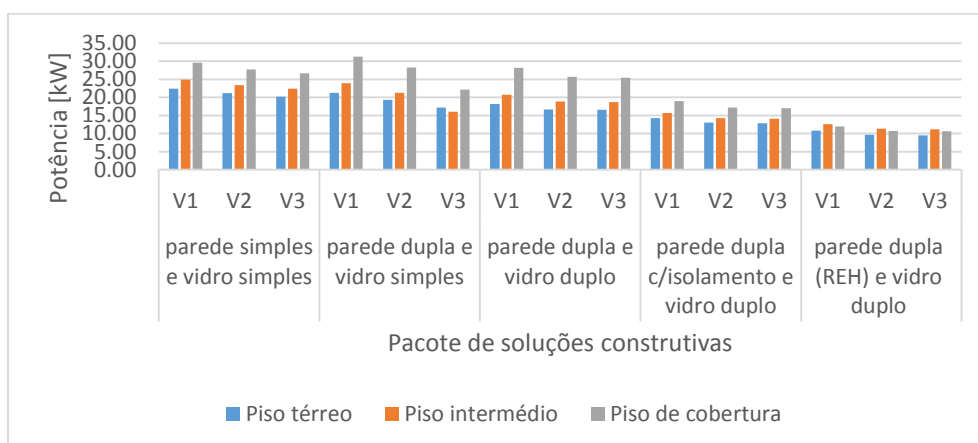


a)

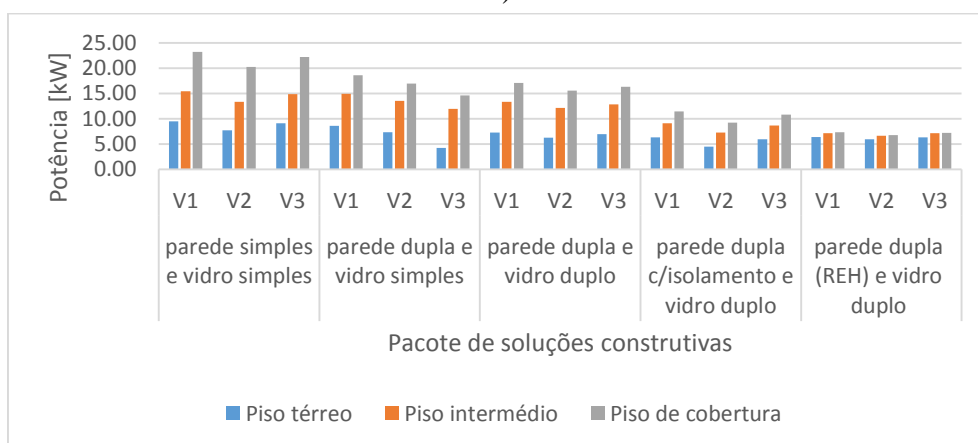


b)

Figura I.2 – Resultados das potências de climatização da zona climática I2, para o edifício 1 de tipologia A: a) potência de aquecimento e b) potência de arrefecimento.



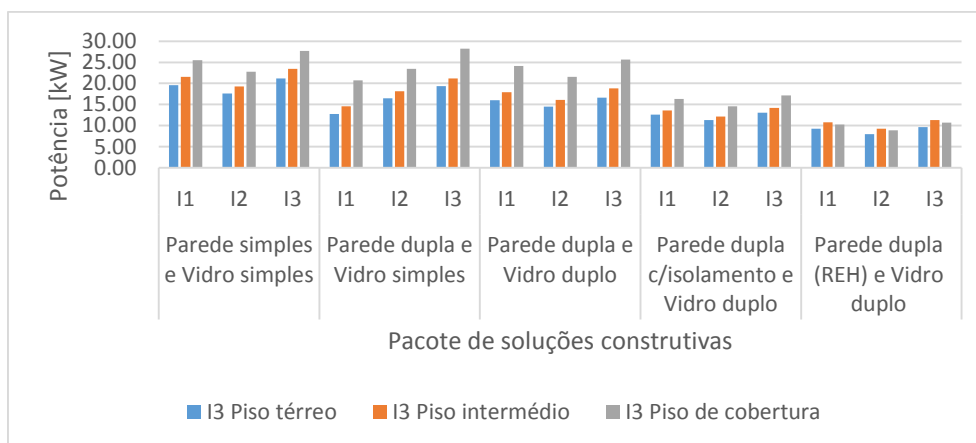
a)



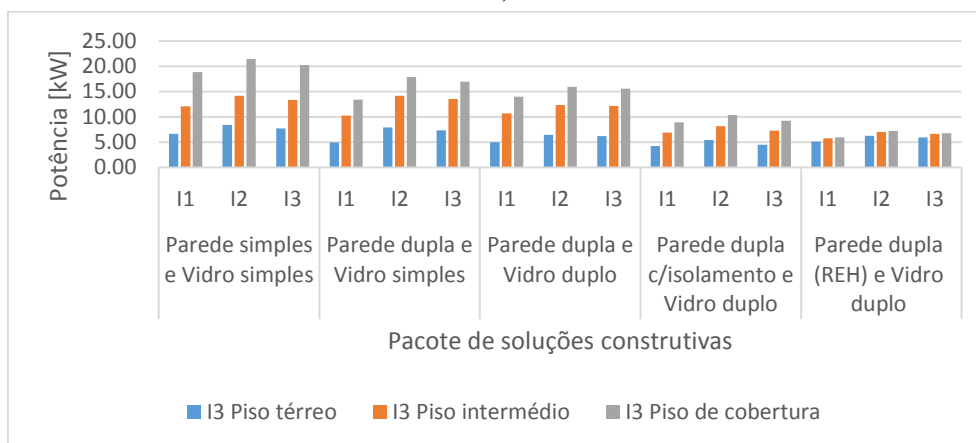
b)

Figura I.3 – Resultados das potências de climatização da zona climática I3, para o edifício 1 de tipologia A: a) potência de aquecimento e b) potência de arrefecimento.

Anexo J – Zona climática de verão (V2, V3)

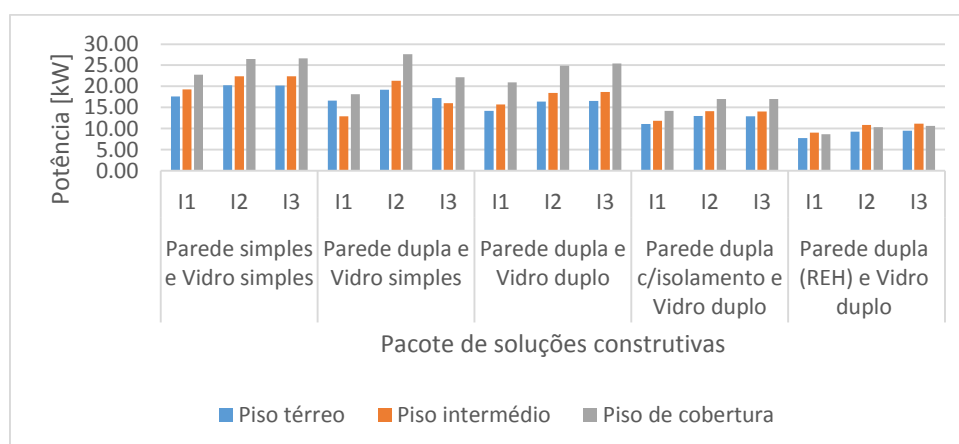


a)

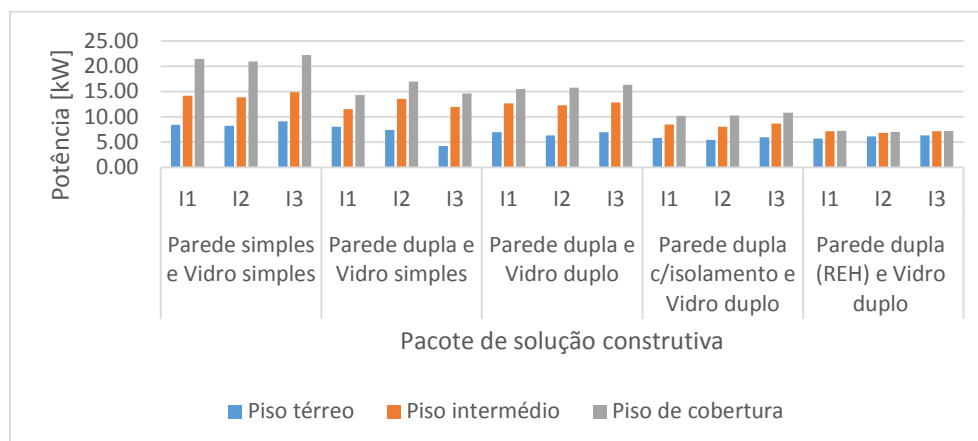


b)

Figura J.1 – Resultados das potências de climatização da zona climática V2, para o edifício 1 de tipologia A: a) potência de aquecimento e b) potência de arrefecimento.



a)



b)

Figura J.2 – Resultados das potências de climatização da zona climática V3, para o edifício 1 de tipologia A: a) potência de aquecimento e b) potência de arrefecimento.