

Análise de Soluções Construtivas e Tecnológicas para Edifícios Passivos em Portugal

Nuno da Costa Brandão

Relatório da Dissertação do MIEM

Orientadores na FEUP: Prof. Vítor Leal



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Julho 2008

Resumo

O presente relatório apresenta o resultado do trabalho realizado no âmbito da disciplina Projecto do 5º ano do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica – ramo de Energia Térmica.

Face, à evolução de tendências de sustentabilidade na construção e ao clima favorável em Portugal, propôs-se estudar as soluções passivas usadas em países da Europa Central, testar a sua aplicabilidade em Portugal, e a adequação dos recursos tecnológicos passivos disponíveis.

No contexto climático do Norte e Centro da Europa, os conceitos-chave para redução dramática das necessidades de energia útil estão devidamente especificados e classificados numa norma conhecida como “Passivhaus”, de origem alemã. O propósito deste trabalho visou quantificar as necessidades de energia útil, final e primária através de um conjunto de soluções construtivas e tecnológicas para edifícios tipo, procurando identificar quais as soluções construtivas que permitem alcançar (ou eventualmente ultrapassar) os objectivos “Passivhaus” no contexto climático das cidades do Porto e Lisboa.

A análise teve como base de trabalho, dois casos de estudo que se distinguem pela tipologia do edifício considerado para cada caso. Para vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas, determinaram-se as necessidades de energia útil, e consumos finais de energia, executando para isso um conjunto de simulações dinâmicas detalhadas dispondo como ferramenta de trabalho, o software desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), o EnergyPlus.

Numa primeira fase procurou-se determinar qual a solução que mais se adequa ao contexto climático português, usando para isso os indicadores de energia obtidos através da ferramenta de simulação dinâmica e procurando respeitar os limites de 15 kWh/m².ano para a energia útil de aquecimento e de arrefecimento. De seguida executaram-se um conjunto de estudos paramétricos de forma a medir a influência dos elementos chave de intervenção nas soluções de construção do edifício objecto de estudo.

O impacto do consumo resultante da ventilação mecânica nos consumos de energia final foi também, avaliado recorrendo para isso a um dimensionamento de uma rede de condutas de circulação de ar de ventilação, para cada edifício, com vista à quantificação da potência de ventilação necessária ao cálculo do consumo dos ventiladores.

Conclui-se que a aplicação da norma “Passivhaus” em Portugal é viável nos dois casos de estudo, conseguindo-se com que sejam cumpridos os limites estabelecidos pela norma, sendo no entanto necessário adaptar as soluções construtivas e tecnológicas típicas da aplicação no centro da Europa à realidade climática Portuguesa. Nomeadamente conclui-se não ser necessário adoptar em Portugal, soluções construtivas tão dramáticas ao nível do isolamento. Por outro lado as preocupações com o controlo solar e o arrefecimento por ventilação devem ser acrescidos face às soluções construtivas e tecnológicas típicas do Norte e centro da Europa.

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento ao Prof. Vítor Leal, pela oportunidade, pelo apoio, pela disponibilidade e pela orientação imprescindível no decorrer deste trabalho.

Gostaria também de agradecer ao Eng. José Campos Marinho e à sua equipa de colaboradores, por todo o apoio, interesse e colaboração demonstrados.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTO ENERGÉTICO NACIONAL	1
1.2. EDIFÍCIOS PASSIVOS – PERSPECTIVA HISTÓRICA	2
1.3. OBJECTIVOS	3
2. O CONCEITO DE EDIFÍCIO PASSIVO NA EUROPA CENTRAL	5
2.1. A NORMA ALEMÃ “PASSIVHAUS”	5
2.2. CONCEPÇÃO E CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS PASSIVOS	7
2.2.1. <i>Desenho solar passivo</i>	7
2.2.2. <i>Isolamento</i>	7
2.2.3. <i>Envidraçados</i>	8
2.2.4. <i>Estanquicidade do edifício</i>	9
2.2.5. <i>Aquecimento e ventilação mecânica com recuperação de calor</i>	10
2.3. QUALIDADE DE VIDA EM EDIFÍCIOS PASSIVOS	13
2.4. SOLUÇÃO CONSTRUTIVA E TECNOLÓGICA TÍPICA DA EUROPA CENTRAL	14
3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS E TECNOLÓGICAS CONSIDERADAS NO CASO DE ESTUDO Nº1 – A MORADIA GEMINADA	15
3.1 O CASO BASE	15
3.1.1. <i>Clima</i>	15
3.1.2. <i>Modelação geométrica do edifício</i>	15
3.1.3. <i>Condições fronteira</i>	16
3.1.4. <i>Solução para climas de Portugal</i>	17
3.1.5. <i>Metodologia</i>	18
3.1.6. <i>Solução construtiva do caso base para Portugal</i>	19
3.1.7. <i>Envidraçados e controlo de dispositivos de oclusão nocturna</i>	20
3.1.8. <i>Ganhos internos</i>	20
3.1.9. <i>Ventilação natural e infiltrações</i>	21
3.1.10. <i>Pontes térmicas</i>	22
3.1.11. <i>Determinação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento</i>	23
3.2. A SOLUÇÃO TÍPICA DA EUROPA CENTRAL	24
3.2.1. <i>Recuperação de calor</i>	24
3.2.2. <i>Seleção de equipamento e determinação dos consumos dos ventiladores</i>	24
3.3. A SOLUÇÃO PARA O PORTO	27
3.4. ESTUDOS PARAMÉTRICOS	28
4. RESULTADOS OBTIDOS PARA O CASO DE ESTUDO Nº1	31
4.1. NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL	31
4.2. CONSUMOS DE ENERGIA FINAL	32
4.3. RESULTADOS DOS ESTUDOS PARAMÉTRICOS	34
4.3.1. <i>Influência da ventilação</i>	34
4.3.2. <i>Influência do isolamento</i>	35
4.3.3. <i>Influência do tipo de vidro</i>	36
4.3.4. <i>Influência da inércia térmica</i>	37
4.3.5. <i>Influência das pontes térmicas</i>	38
5. CONFORTO TÉRMICO EM REGIME NÃO CLIMATIZADO	41
5.1. ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO	41
6. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS E TECNOLÓGICAS CONSIDERADAS NO CASO DE ESTUDO Nº2 – O EDIFÍCIO DE APARTAMENTOS	43
6.1. O CASO BASE	43
6.1.1. <i>Clima</i>	43
6.1.2. <i>Modelação geométrica do edifício</i>	43
6.1.3. <i>Condições fronteiras</i>	45

6.1.4. Solução construtiva do caso base para Portugal	45
6.1.5. Envidraçados e controlo de dispositivos de oclusão nocturna	46
6.1.6. Obstruções exteriores	47
6.1.7. Ganhos internos	47
6.1.8. Ventilação natural e infiltrações	48
6.1.9. Pontes térmicas	48
6.1.10. Determinação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento	50
6.2. A SOLUÇÃO TÍPICA DA EUROPA CENTRAL	50
6.2.1. Recuperação de calor	50
6.2.2. Selecção de equipamento e determinação dos consumos dos ventiladores	50
6.3. A SOLUÇÃO PARA LISBOA	53
6.4. ESTUDOS PARAMÉTRICOS	55
7. RESULTADOS OBTIDOS PARA O CASO DE ESTUDO Nº2	57
7.1. NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL	57
7.2. CONSUMOS DE ENERGIA FINAL	62
7.3. RESULTADOS DOS ESTUDOS PARAMÉTRICOS	67
7.3.1. Influência da ventilação	67
7.3.2. Influência do isolamento	72
7.3.3. Influência do tipo de vidro	77
7.3.4. Influência da inércia térmica	82
7.3.5. Influência das pontes térmicas	87
8. CONFORTO TÉRMICO EM REGIME NÃO CLIMATIZADO	93
8.1. ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO	93
9. CONCLUSÕES	99
REFERÊNCIAS	101
ANEXO A - PERFIS DE ILUMINAÇÃO, OCUPAÇÃO E EQUIPAMENTOS	103
ANEXO B - SELECÇÃO DAS UNIDADES DE RECUPERAÇÃO DE CALOR	107
ANEXO C - PROPRIEDADES ÓPTICAS E TÉRMICAS DOS ENVIDRAÇADOS USADOS NO ESTUDO	115

Índice de ilustrações

Fig. 1 – Compromissos de Quioto para os países da união europeia em 2010 face a 1990 (EDP, 2006)	1
Fig. 2 – Consumos de energia por sector em Portugal (DGGE, 2005)	2
Fig. 3 – Exemplo de edifícios passivos construídos um pouco por todo o mundo	3
Fig. 4 – Corte transversal de um edifício passivo com isolamento térmico aplicado continuamente por todo o edifício (Passivhaus Institut, 2007)	8
Fig. 5- Temperaturas superficiais interiores de vidros triplos low-e obtidas de análises com infravermelhos num edifício normal e num edifício passivo respectivamente (Passivhaus Institut, 2007)	9
Fig. 6 – Esquema representativo do nível de estanquicidade requerido por um edifício passivo (Passivhaus Institut, 2007)	9
Fig. 7 - Funcionamento de um permutador de calor de fluxos cruzados (Passivhaus Institut, 2007)	10
Fig. 8 – Exemplos de unidades compactas recuperadores de calor disponíveis no mercado	10
Fig. 9 – Pormenor construtivo de uma unidade de recuperação de calor	11
Fig. 10 – Estratégia de ventilação cruzada de um edifício passivo (Passivhaus Institut, 2007)	11
Fig. 11 – Sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor com recurso a uma micro-bomba de calor usada em conjunto com depósito AQS (Passivhaus Institut, 2007)	12
Fig. 12 – Representação esquemática do sistema de ventilação com recuperação de calor de um edifício passivo (Passivhaus Institut, 2007)	12
Fig. 13 – Número de graus dia para o Inverno e Verão respectivamente (A norma Passivhaus em climas quentes da Europa, 2007)	17
Fig. 14 – Radiação solar incidente numa superfície horizontal no Inverno e Verão respectivamente (A norma Passivhaus em climas quentes da Europa, 2007)	17
Fig. 15 – Metodologia usada no estudo	18
Fig. 16 - Taxas de renovação horária devidas à ventilação mecânica em função do desequilíbrio entre os caudais insuflado e extraído e da classe de exposição do edifício (Manual de apoio à aplicação do RCCTE, 2005)	21
Fig. 17 – Curvas características da unidade de recuperação de calor seleccionada (Genvex, 2006)	25
Fig. 18 – Rede de condutas para o caso de estudo nº1	26
Fig. 19 - Necessidades de energia útil para o caso base do caso de estudo nº1	26
Fig. 20– Estudos paramétricos	28
Fig. 21 – Necessidades de energia útil para o caso de estudo nº1	31
Tab.13 – Valores das necessidades de energia útil para o caso de estudo nº1	32
Fig. 22 – Consumos finais de energia eléctrica para o caso de estudo nº1	32
Fig. 23 – Consumos finais em kgep de energia primária para o caso de estudo nº1	33
Fig. 24 – Estudo da influência da ventilação para o caso de estudo nº1	34
Fig. 25 – Estudo da influência o isolamento para o caso de estudo nº1	35
Fig. 26 – Estudo da influência do tipo de vidro para o caso de estudo nº1	36
Fig. 27 – Estudo da influência da inércia térmica para o caso de estudo nº1	37
Fig. 28 - Estudo da influência das pontes térmicas para o caso de estudo nº1	38
Fig. 29 – Histograma anual de temperaturas em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para o caso de estudo nº1	41
Fig. 30 – Histograma anual de temperaturas em % de ocorrências em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para o caso de estudo nº1	42
Fig. 31 – Planta de implantação do bloco F3 e do Lote F e corte transversal do edifício	43
Fig. 32 – Zonamento do piso representativo do edifício	44
Fig. 33 – Modelo 3D do edifício de apartamentos	45
Fig. 34 – Modelo 3D onde se incluem os blocos que constituem obstruções exteriores ao edifício.	47
Fig. 35 – Rede de condutas idealizada para o piso 3 do edifício de apartamentos	52
Fig. 36 - Necessidades de energia do caso base	52
Fig. 37 – Curva de carga parcial usada para calcular as potências efectivas de consumo (EnergyPlus Input/Output reference, 2008)	54
Fig. 38 – Curvas características das caixas de ventilação seleccionadas para o caso de estudo nº2 (S&P, 2006)	54
Fig. 39 – Necessidades de energia útil para a fracção T1A	57
Fig. 40 – Necessidades de energia útil para a fracção T1B	58
Fig. 41 – Necessidades de energia útil para a fracção T2C	59
Fig. 42 – Necessidades de energia útil para a fracção T2D	60
Fig. 43 – Consumos de energia final para a fracção T1A	62

Fig. 44 – Consumos finais em kgep de energia primária para a fracção T1A	62
Fig. 45 - Consumos de energia final para a fracção T1B	63
Fig. 46 – Consumos finais em kgep de energia primária para a fracção T1B	63
Fig. 47 – Consumos de energia final para a fracção T2C	64
Fig. 48 – Consumos finais em kgep de energia primária para a fracção T2C	64
Fig. 49 – Consumos de energia final para a fracção T2D	65
Fig. 50 – Consumos finais em kgep de energia primária para a fracção T2D	65
Fig. 51 – Influência da ventilação na fracção autónoma T1A	67
Fig. 52 – Influência da ventilação na fracção autónoma T1B	68
Fig. 53 – Influência da ventilação na fracção autónoma T2C	69
Fig. 54 – Influência da ventilação na fracção autónoma T2D	70
Fig. 55 – Influência do isolamento na fracção autónoma T1A	72
Fig. 56 – Influência do isolamento na fracção autónoma T1B	73
Fig. 57 – Influência do isolamento na fracção autónoma T2C	74
Fig. 58 – Influência do isolamento na fracção autónoma T2D	75
Fig. 59 – Influência do tipo de vidro na fracção autónoma T1A	77
Fig. 60 – Influência do tipo de vidro na fracção autónoma T1B	78
Fig. 61 - Influência do tipo de vidro na fracção autónoma T2C	79
Fig. 62 – Influência do tipo de vidro na fracção autónoma T2D	80
Fig. 63 – Influência da inércia térmica na fracção autónoma T1A	82
Fig. 64 – Influência da inércia térmica na fracção autónoma T1B	83
Fig. 65 – Influência da inércia térmica na fracção autónoma T2C	84
Fig. 66 – Influência da inércia térmica na fracção autónoma T2D	85
Fig. 67 – Influência das pontes térmicas na fracção autónoma T1A	87
Fig. 68 – Influência das pontes térmicas na fracção autónoma T1B	88
Fig. 69 – Influência das pontes térmicas na fracção autónoma T2C	89
Fig. 70 – Influência das pontes térmicas na fracção autónoma T2D	90
Fig. 71 – Histograma anual de temperaturas em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T1A	93
Fig. 72 - Histograma anual de temperaturas em % de ocorrências em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T1A	94
Fig. 73 – Histograma anual de temperaturas em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T1B	95
Fig. 74 - Histograma anual de temperaturas em % de ocorrências em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T1B	95
Fig. 75 – Histograma anual de temperaturas em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T2C	96
Fig. 76 - Histograma anual de temperaturas em % de ocorrências em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T2C	96
Fig. 77 – Histograma anual de temperaturas em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T2D	97
Fig. 78 - Histograma anual de temperaturas em % de ocorrências em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T2D	97
Fig. 79 – Representação esquemática da rede de condutas e dimensões dos diferentes trechos	108
Fig. 80 – Troço mais desfavorável para a rede de condutas	109
Fig. 81 – Ábaco da ASHRAE para obtenção do valor da perda de carga linear para cada troço de conduta (ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997)	110
Fig. 82 – Tabelas disponíveis em manuais especializados para a obtenção dos coeficientes de perda de carga locais (ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997)	111
Fig. 83 – Grelhas de insuflação e extracção (respectivamente) seleccionadas para a rede de condutas	111
Fig. 84 – Curva característica do equipamento seleccionado	112

1.Introdução

1.1. Contexto energético nacional

A escassez de recursos energéticos próprios aliada a uma elevada dependência energética do exterior), cerca de 87,2 % em 2005 (Ministério da Economia e Inovação, 2005), (importação de fontes primárias de origem fóssil), coloca Portugal num cenário de grande vulnerabilidade face às flutuações dos preços internacionais das fontes primárias, nomeadamente o petróleo.

Efectivamente, Portugal regista não só um crescimento muito acentuado dos seus consumos energéticos não renováveis, o que cria problemas graves de emissões de CO₂ à luz do Protocolo de Quioto, mas também um aumento da intensidade energética da sua economia. Estas duas situações tornam o país particularmente vulnerável a novas formas de encarar a energia, nomeadamente a questão do comércio de emissões e a liberalização dos sectores eléctrico e de gás natural.

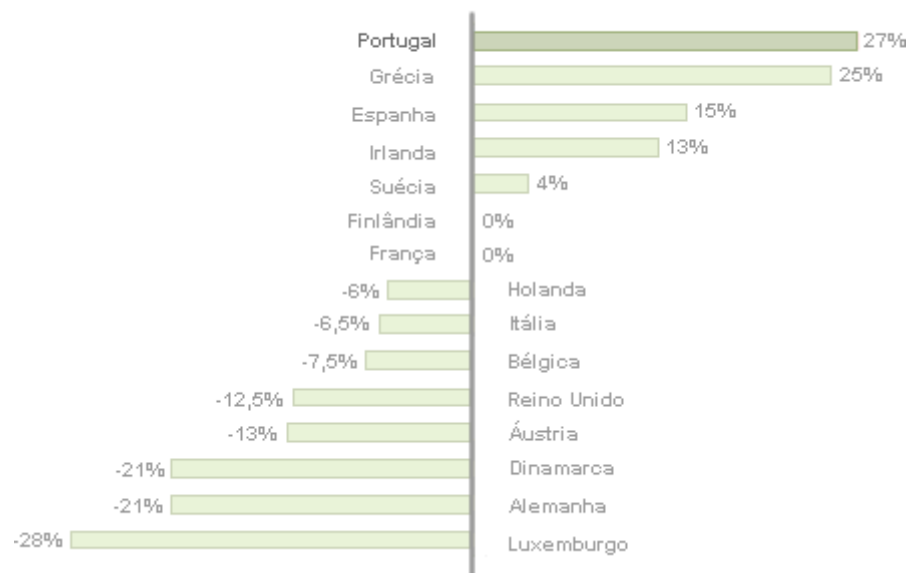


Fig. 1 – Compromissos de Quioto para os países da união europeia em 2010 face a 1990 (EDP, 2006)

Em Portugal, os edifícios são responsáveis por uma parcela significativa do consumo de energia apontando para valores de cerca de 30% para energia final e quase 40% de energia primária, apresentando uma tendência de crescimento rápido desse factor, quer pelo aumento das exigências de conforto por parte dos seus ocupantes, quer mesmo pelo aumento da actividade do sector terciário. Assim, a utilização racional de energia e a valorização das economias de energia tomam uma importância relevante, conduzindo a benefícios que se podem repercutir, de uma forma global a nível nacional, e de uma forma directa e imediata ao nível do consumidor.

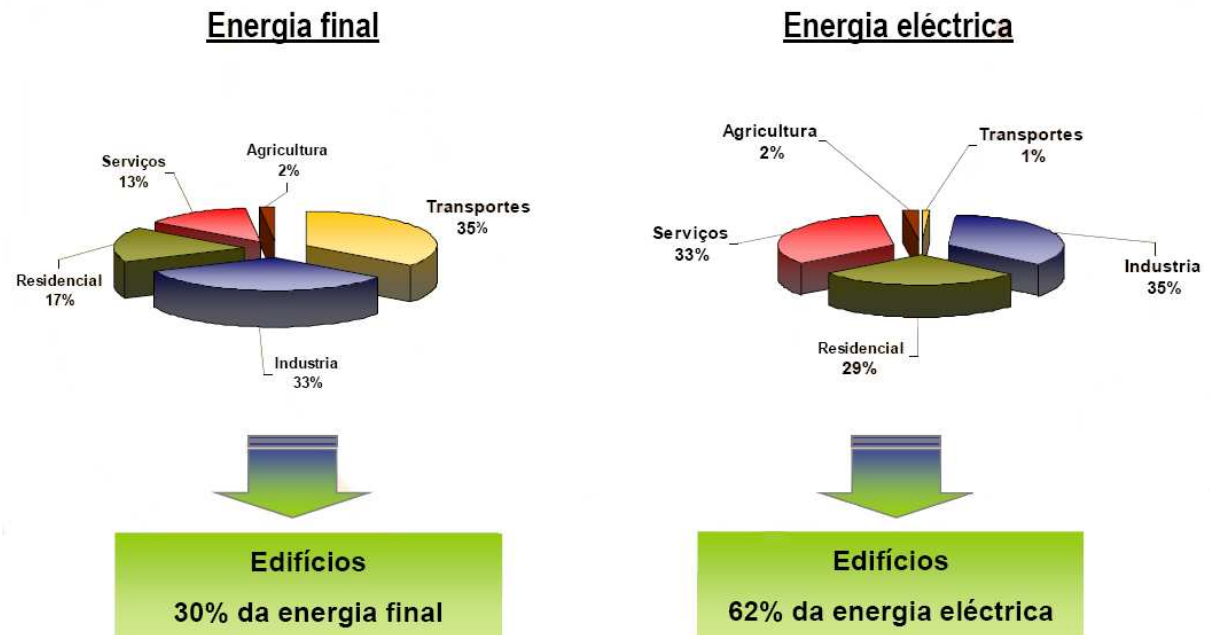


Fig. 2 – Consumos de energia por sector em Portugal (DGGE, 2005)

A regulamentação térmica e energética de edifícios, nomeadamente o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) (Decretos-Lei 79 e 80, 2006), desempenha um papel essencial nesta área, pois estabelece as características mínimas de desempenho dos edifícios, em termos da sua envolvente e dos seus sistemas consumidores de energia, nomeadamente, os de climatização.

Face ao cenário actual, profissionais da área entenderam o interesse em reduzir a dependência de combustíveis fósseis e desenvolveram um renovado interesse no rico e variado vocabulário de engenharia e arquitectura que consegue moderar as condições interiores de um edifício com as estações do ano por meio do desenho de projecto. Isto levou à redescoberta dos princípios do controlo ambiental através da manipulação da forma do edifício, a disposição das aberturas, o desempenho térmico dos materiais e selecção de equipamentos de climatização de elevado desempenho energético que no seu limite constituem o denominado “projecto passivo”.

1.2. Edifícios Passivos – Perspectiva histórica

O conceito de edifício passivo nasce em meados de 1988, pela mão de dois investigadores europeus, o Prof. Bo Adamson, da “Lund University”, na Suécia e o Dr. Wolfgang Feist do “Institut für Wohnen und Umwelt” (Instituto para a Habitação e Ambiente) da Alemanha, resultado de um vasto número de projectos de investigação financiados pelo estado de Hesse na Alemanha [1]. Em meados de 1991, os dois investigadores aplicaram o conceito de edifício passivo a uma casa em Darmstadt, na Alemanha, com o objectivo de proporcionar um caso de estudo de uma casa de baixo consumo energético a um custo aceitável para o clima alemão. O sucesso deste projecto, tanto em termos de consumo energético como das condições de conforto, motivou uma segunda aplicação numa segunda construção em 1995, na cidade de Groß-Umstadt. Verificou-se que edifícios novos construídos segundo os requisitos de um edifício passivo, apresentavam cerca de menos 90% em necessidades de energia para aquecimento, do que o requerido habitualmente pelos edifícios da altura.

Em Setembro de 2006, foi fundado em Darmstad, o “Passivhaus Institut” com o objectivo de promover e gerir a norma alemã “Passivhaus”, entretanto criada. Desde essa altura, mais de 6000 edifícios passivos foram construídos na Europa [2], maioritariamente na Alemanha e Áustria, mas também um pouco por todo o mundo. Na América do Norte, o primeiro edifício passivo foi construído em Urbana, no estado de Illinois no ano de 2003, sendo que o primeiro a receber certificação oficial, foi construído na cidade de Waldsee, no estado de Minnesota em 2006 [3].



Fig. 3 – Exemplo de edifícios passivos construídos um pouco por todo o mundo

1.3. Objectivos

Pretende-se com este trabalho, verificar numa primeira fase, se é possível o cumprimento da norma “Passivhaus” em Portugal, nomeadamente considerando não só o aquecimento mas também o arrefecimento. Serão verificadas quais as características construtivas e tecnológicas que são necessárias para o cumprimento da norma, tais como:

- Espessura de isolamento
- Necessidade de ventilação mecânica
- Necessidade de recuperação e calor
- Necessidade de vidro triplo

Finalmente, tentar-se-á avaliar a possibilidade de atingir objectivos superiores aos da norma.

2. O conceito de Edifício Passivo na Europa Central

Segundo a definição da norma alemã, um edifício passivo é um edifício habitacional que não possui necessidades de arrefecimento mecânico, com necessidades de aquecimento muito baixas e que consome até cerca de 90 % menos que um edifício comum, apontando para um valor de necessidades de energia para aquecimento inferiores a 15 kWh/m². Na sua construção, é tido em conta a utilização de elementos construtivos que possibilitam a obtenção do baixo consumo energético que lhe é característico. Usa as fontes de calor gratuitas disponíveis (calor libertado pelos habitantes e radiação solar incidente através do envidraçados) e possui um sistema de aquecimento projectado recorrendo às actuais tecnologias de ponta, como bombas de calor ou geotermia. O sistema inclui normalmente uma unidade de recuperação de calor que reduz as perdas na ventilação.

São elementos chave de actuação, o isolamento térmico da sua envolvente, com espessuras entre os 20 e os 40 cm, a estanquicidade às infiltrações de ar exterior (hermética do edifício) e como já foi referido, o recurso a recuperação de calor no sistema de ventilação.

A estratégia do conceito de edifício passivo considera que é sempre necessário ar novo nas divisões do edifício de forma a garantir os requisitos de qualidade do ar interior. É possível usar essa quantidade de ar para colmatar a carga térmica de aquecimento sem aumentar o caudal mássico total, sem ruído e sem recorrer à recirculação de ar, solução que geralmente representa um grande investimento adicional no sistema de aquecimento do edifício.

Obter um volume de ar novo suficiente, é imprescindível para assegurar condições saudáveis de habitabilidade do edifício. Os novos edifícios são hermeticamente concebidos, e portanto a taxa de infiltrações é muito baixa não sendo suficientemente contributiva para a renovação de ar interior. Igualmente o exercício de abrir as janelas é de longe insuficiente.

A ventilação mecânica surge então como uma solução chave tanto na construção dos novos edifícios como na reabilitação dos já existentes. Pode funcionar independentemente do clima desde que se assegure que os edifícios sejam hermeticamente concebidos e assegura consumos energéticos de aquecimento e arrefecimento significativamente baixos. É verdade que os sistemas de ventilação mecânica têm um impacto elevado no investimento inicial, mas se forem concebidos eficientemente, os custos energéticos serão significativamente reduzidos, acabando por compensar o custo inicial.

2.1. A norma alemã “Passivhaus”

Em meados de 1995, Wolfgang Feist, baseando-se na experiência obtida nos casos de estudo realizados nos edifícios passivos de Darmstadt e Groß-Umstadt, reúne e classifica os conceitos passivos adoptados nos casos e classifica-os na norma “Passivhaus”. São cinco os pontos que constituem os requisitos para cumprir a norma alemã:

- ✓ No aquecimento, as necessidades úteis não podem exceder o limite de 15 kWh por m² por ano de área útil.
- ✓ Para a energia primária, o consumo de todos os serviços energéticos, incluindo o aquecimento ambiente de águas quentes sanitárias e os equipamentos eléctricos, não deverá exceder o limite de 120 kWh por m² por ano de área útil.
- ✓ Para garantir a estanquicidade do edifício, a sua envolvente deve possuir um teste de pressurização de acordo com a norma EN 13829 não superior a 0.6 Rph (a 50Pa de pressurização).

- ✓ De forma garantir o conforto térmico no Inverno, a temperatura interior deve poder ser mantida acima de 20°C sem ultrapassar os consumos de energia acima referenciados.
- ✓ Todos os cálculos dos consumos energéticos são calculados com o software “Passive House Planning Package” (PHPP) e são relativos à área útil, ou seja, a soma de todas as áreas úteis de todos os compartimentos habitáveis.

Na Europa Central, o desenho passivo está intrinsecamente associado à norma alemã. No entanto, nos países do Sul da Europa, factores como o clima, condiciona a aplicação da norma segundo os padrões do seu país de origem. Nestas regiões a maioria dos profissionais da área, discordam com a associação do termo “passivo” a uma norma específica de edifícios, sendo considerado que um edifício passivo é uma construção que foi realizada segundo os princípios do desenho solar passivo e que pode contemplar um sistema activo de ventilação.

No seguimento das discordâncias relativas à definição de construção passiva e às variações climáticas, o consórcio “Passive-On”^(*) elaborou uma proposta de revisão para a aplicação da norma, aos climas quentes Europeus. São seis os pontos que definem a norma “Passivhaus” para climas quentes (Gonçalves, Brotas, 2007):

- ✓ No aquecimento, as necessidades úteis não podem exceder o limite de 15 kWh por m² por ano de área útil.
- ✓ No arrefecimento, as necessidades de calor sensível úteis, não podem exceder o limite de 15 kWh por m² por ano de área útil.
- ✓ Para a energia primária, o consumo de todos os serviços energéticos, incluindo o aquecimento ambiente de águas quentes sanitárias e os equipamentos eléctricos, não deverá exceder o limite de 120 kWh por m² por ano de área útil.
- ✓ Para garantir a estanquicidade do edifício, se a qualidade do ar interior e o elevado nível de conforto térmico forem assegurados por meio de um sistema mecânico de ventilação, a envolvente do edifício deve cumprir o teste de pressurização (50 Pa), de acordo com a norma EN 13829, em não mais de 0.6 Rph. Em localizações com condições de projecto com temperaturas acima de 0 °C, o teste de pressurização com um limite de 1.0 Rph (a 50 Pa) é normalmente suficiente para atingir o critério de aquecimento.
- ✓ De forma garantir o conforto térmico durante o Inverno, a temperatura interior deve ser mantida acima de 20°C usando os consumos de energia acima referenciados.
- ✓ De forma a garantir o conforto térmico durante o Verão, a temperatura interior dos espaços deve permanecer entre a banda de conforto definida na norma EN 15251. Se existir um sistema principal de arrefecimento activo, a temperatura operativa do espaço deve poder ser mantida abaixo de 26 °C.

(*) Passive-On, é um projecto de investigação e disseminação, financiado pelo programa “Save Intelligent Energy for Europe”. O projecto tem como objectivo, promover a construção de edifícios passivos em clima temperados.

2.2. Concepção e construção de edifícios passivos

Os edifícios passivos não necessitam de uma estratégia que seja completamente diferente da abordagem que se faz na construção dos edifícios actuais, apenas mais cuidadosa. De facto a mesma abordagem pode ser usada mas aplicando pequenas melhorias nos detalhes da construção, como usar mais isolamento, usar janelas de maior eficiência e assegurar a estanquicidade do edifício. A orientação deve ser preferencialmente Sul, para as fachadas com maior área de envidraçados e o sistema de aquecimento deve contemplar a possibilidade de incorporar recuperação de calor a partir o sistema de ventilação.

2.2.1. Desenho solar passivo

Na sua formulação da Europa Central, os edifícios devem ser compactos na sua forma para reduzir a área de superfície. As janelas deverão ser orientadas a Sul no hemisfério norte e a Norte no hemisfério sul, conseguindo-se assim, maximizar os ganhos provenientes da radiação solar. Apesar de tudo, em alguns climas, os ganhos solares podem ser muito pequenos quando comparados com a totalidade de energia requerida pelo edifício, acabando por ser uma variável secundária na redução das suas necessidades energéticas. Uma inércia térmica elevada é desejável, conseguindo-se que no seu interior se mantenham temperaturas estáveis nas estações mais frias, evitando-se sobreaquecimentos nos períodos em que os dispositivos de sombreamento não são tão eficazes.

2.2.2. Isolamento

A melhoria do isolamento térmico irá reflectir-se directamente no grau de conforto do edifício e também nas suas necessidades de energia. De facto um aumento no nível de isolamento aumenta a resistência ao fluxo de calor entre o interior e o exterior do edifício. Na prática, o uso de isolamento térmico conduz a menores diferenças de temperatura entre o espaço interior e a superfície interior da envolvente. Em termos de conforto, dado que a convecção natural é promovida devido à existência de superfícies com temperaturas mais baixas, se a diferença de temperatura entre a superfície interior da envolvente e o espaço interior for mais pequena, a velocidade com que ocorre convecção natural diminui porque o ar se move mais lentamente. Conseguindo-se um elevado nível de isolamento, reduzem-se as necessidades de aquecimento e consequentemente torna-se possível aquecer adequadamente a habitação apenas pré-aquecendo o ar novo introduzido nos espaços. A espessura de isolamento de um edifício passivo (da ordem dos 24 cm podendo ir até 50 cm nos países nórdicos) é maior quando comparada com a espessura de isolamento de um edifício comum. Existe uma vasta gama de materiais com que se pode obter valores de coeficientes de transmissão térmica desejáveis, sendo que os valores típicos vão desde 0.10 até 0.15 W/m².K. Na aplicação do isolamento, procura-se eliminar cuidadosamente todas as pontes térmicas que eventualmente possam existir, fazendo uma aplicação contínua por todo o edifício.

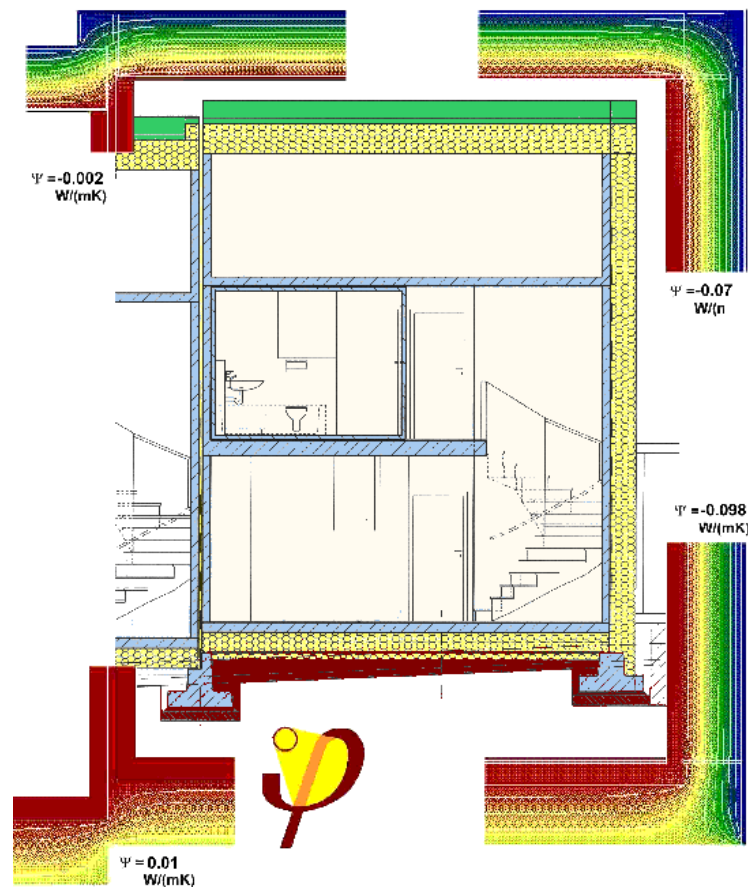


Fig. 4 – Corte transversal de um edifício passivo com isolamento térmico aplicado continuamente por todo o edifício (Passivhaus Institut, 2007)

2.2.3. Envidraçados

Num edifício passivo da Europa Central, os envidraçados possuem coeficientes de transmissão térmica baixos (tipicamente entre 0.85 e 0.70 W/m².C). As janelas são constituídas de vidros triplos, bem isoladas, com caixilharia de corte térmico e vidros revestidos com capas de baixa emissividade térmica, sendo conhecidos como vidros low-e. As capas de baixa emissividade de um vidro low-e, possuem propriedades de característica selectiva, são transparentes sobre o comprimento de onda visível (300 a 700 mm) e reflectivas na onda longa infravermelha da radiação solar. O sistema de envidraçados resultantes do uso de revestimentos low-e, revela-se mais eficiente dado que, a radiação proveniente dos ganhos internos é reflectida para o interior, mantendo o calor no interior do edifício no Inverno, e reflectindo a radiação infravermelha do Sol para o exterior possibilitando temperaturas mais baixas no interior do edifício durante o Verão. Ao contrário do envidraçado típico, o envidraçado de um edifício passivo, não é só um elemento por onde ocorrem perdas, pode de facto constituir um elemento fonte de ganhos adicionais., o que implica que não esteja excessivamente sombreado e esteja predominantemente orientado a Sul.

O factor solar (g), é um valor indicativo da quantidade de radiação solar incidente que efectivamente atravessa o envidraçado. Para que este funcione como fonte de ganhos, a

quantidade de radiação solar “recolhida” pelo envidraçado terá que ser maior do que as suas perdas. Assim para garantir o que foi dito anteriormente estabeleceu-se que um envidraçado de um edifício passivo deverá respeitar a seguinte relação:

$$U_g - 1.6(W / m^2 C) \cdot g \leq 0 \quad (\text{eq.1})$$

U_g – Coeficiente de transmissão térmica do envidraçado ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

g – Factor solar do envidraçado

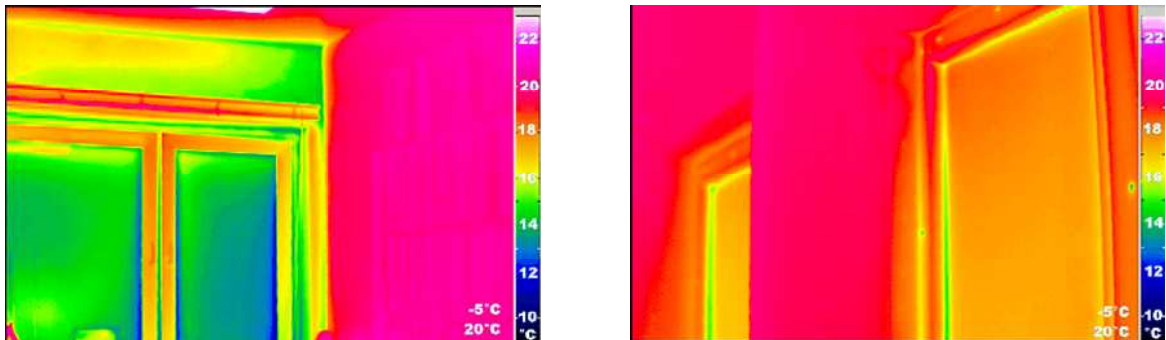


Fig. 5- Temperaturas superficiais interiores de vidros triplos low-e obtidas de análises com infravermelhos num edifício normal e num edifício passivo respectivamente (Passivhaus Institut, 2007)

2.2.4. Estanquicidade do edifício

Uma habitação com boa estanquicidade não é necessariamente uma habitação bem isolada e apesar de não ter um impacto muito significativo nos consumos energéticos do edifício, uma boa estanquicidade permite evitar danos provocados pela penetração de ar húmido no interior da sua construção. De facto se a envolvente do edifício não for suficientemente estanque, ar húmido pode penetrar no seu interior, mover-se por convecção transportando humidade, podendo condensar e danificar a sua estrutura, acarretando custos elevados de reparação que poderiam ser evitados.

Para edifícios passivos, o caudal de infiltrações medido no ensaio de pressurização de 50 Pa, não deve ser mais do que 0.6 Rph. Consegue-se assim minimizar a quantidade de ar que passa através da estrutura do edifício sendo possível maximizar a eficiência da recuperação de calor do sistema de ventilação mecânica. Estando garantida a estanquicidade, a taxa de ventilação pode ser otimizada e cuidadosamente controlada até cerca de 0.4 Rph. As condutas de ventilação são bem isoladas e seladas para garantir que não haja fugas.

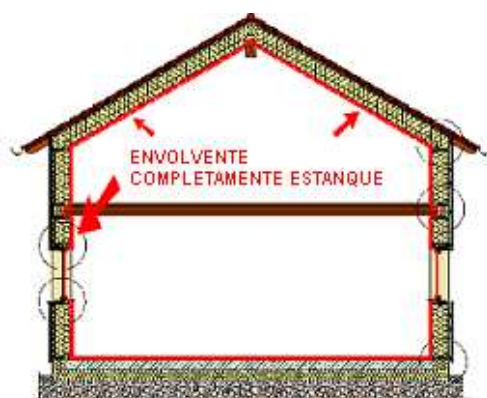


Fig. 6 – Esquema representativo do nível de estanquicidade requerido por um edifício passivo (Passivhaus Institut, 2007)

2.2.5. Aquecimento e ventilação mecânica com recuperação de calor

Se todos os requisitos mencionados anteriormente forem conseguidos, praticamente não será necessário o uso de sistemas de aquecimento central. No entanto o cepticismo por parte do cliente obriga à instalação deste tipo de sistemas. Como regra base, é fundamental que todo o calor requerido seja transportado pela quantidade de ar unicamente necessária à ventilação do edifício.

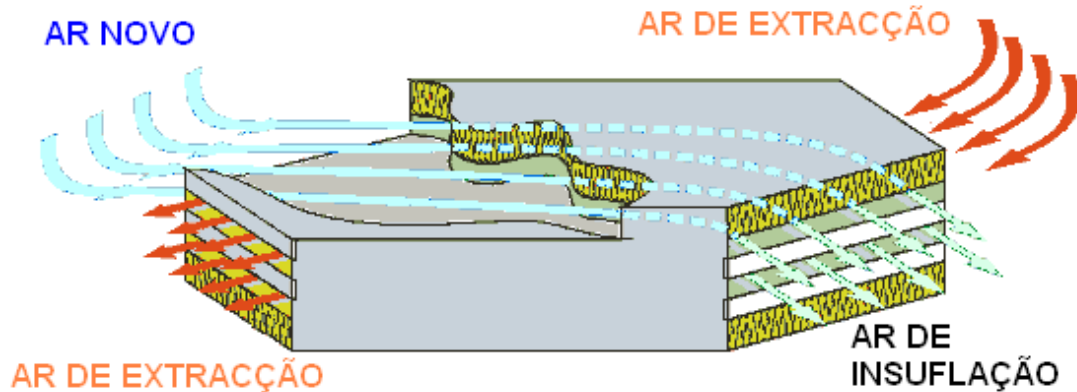


Fig. 7 - Funcionamento de um permutador de calor de fluxos cruzados (Passivhaus Institut, 2007)

No sistema de ventilação mecânica pode ser instalada uma unidade de recuperação de calor com permutadores de fluxos cruzados, que permite recuperar calor do ar de extracção e garante a recuperação sem haver mistura de fluxos. As eficiências deste tipo de permutadores situam-se entre os 75 % e os 95 %, dependendo essencialmente do tamanho do permutador. Habitualmente as unidades estão disponíveis no mercado como unidades compactas que incluem o permutador, filtros e ventiladores de insuflação e extracção. Estes ventiladores estão acoplados a motores de alto rendimento designados por “EC –Motors” (do inglês “electronically commutated motors”). A instituição alemã “Passivhaus Institut” disponibiliza uma lista de equipamentos disponíveis no mercado que são certificados pela norma “Passivhaus”.



Fig. 8 – Exemplos de unidades compactas recuperadoras de calor disponíveis no mercado

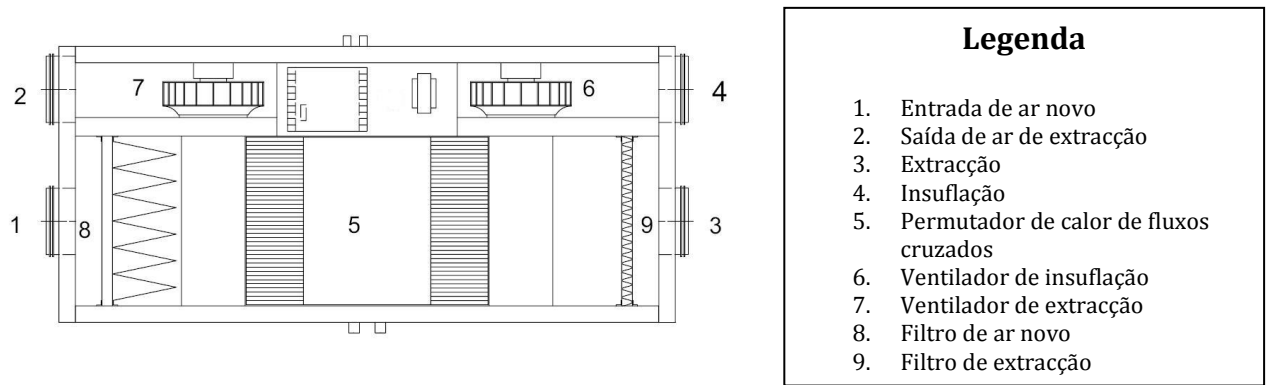


Fig. 9 – Pormenor construtivo de uma unidade de recuperação de calor

Na realidade a quantidade de energia recuperada na permuta de calor é relativamente reduzida. No entanto, a própria concepção de edifício passivo permite que o edifício possua necessidades de energia muito baixas e que podem ser colmatadas recorrendo apenas á quantidade de calor residual transportada pelo ar de extracção.

Para garantir uma elevada qualidade do ar interior recorre-se a uma estratégia de ventilação cruzada, que consiste em insuflar ar novo nas principais áreas de ocupação sendo depois extraído pelas zonas onde a qualidade do ar interior é mais baixa, como por exemplo, nas cozinhas e casas de banho. Como já foi referido, a humidade constitui um factor que requer especial atenção, pois pode provocar danos na envolvente do edifício. A humidade relativa do ar depende fundamentalmente da intensidade das fontes internas de humidade como existência de plantas no interior do edifício ou preparação de cozinhados e depende também da quantidade de ar novo insuflado. A quantidade de vapor de água gerada pelas fontes de humidade no interior do edifício é diluída pela quantidade de ar novo disponível para a ventilação do mesmo. Para resolver situações em que a humidade relativa é muito baixa, pode-se diminuir a quantidade de ar novo insuflada, e como consequência, a quantidade de humidade relativa diluída é menor. A envolvente optimizada de um edifício passivo, permite obter temperaturas superficiais interiores mais altas no Inverno, diminuindo o risco de condensação e permitindo reduzir o caudal de ar novo para valores entre 0.3 Rph e 0.4 Rph, durante essa estação.

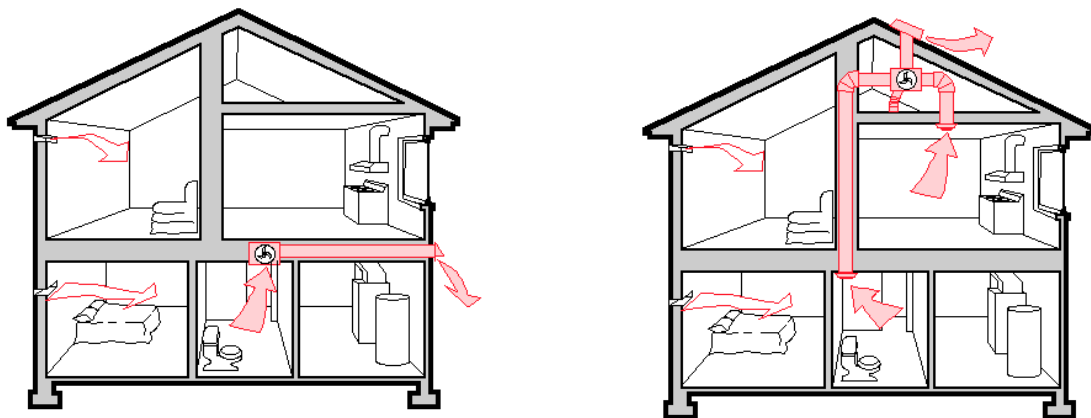


Fig. 10 – Estratégia de ventilação cruzada de um edifício passivo (Passivhaus Institut, 2007)

Nos climas da Europa central é prática comum recorrer a soluções de aquecimento como geotermia, ou micro-bombas de calor entre outras. A título de exemplo, uma micro-bomba pode ser usada para extrair o calor proveniente do ar de extracção e cedê-lo a um depósito de água quente sanitária que armazena e disponibiliza água para uso sanitário.

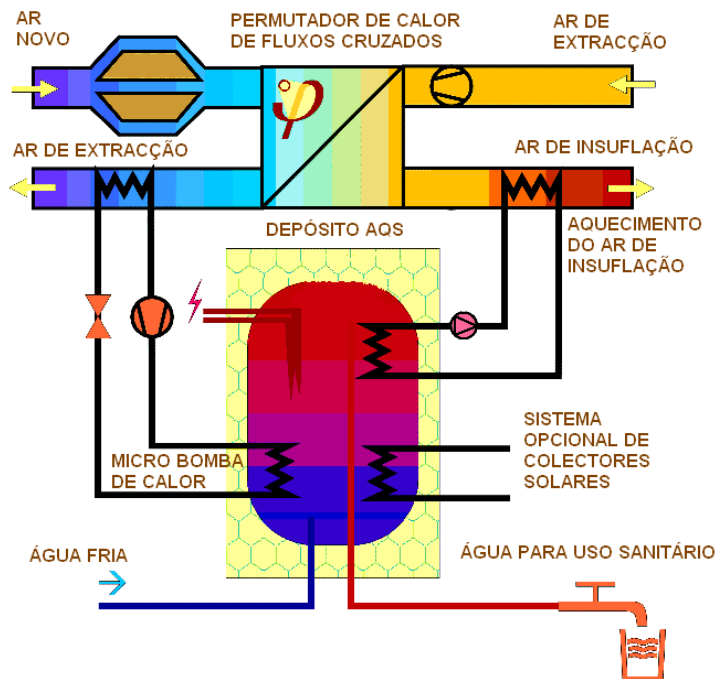


Fig. 11 – Sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor com recurso a uma micro-bomba de calor usada em conjunto com depósito AQS (Passivhaus Institut, 2007)

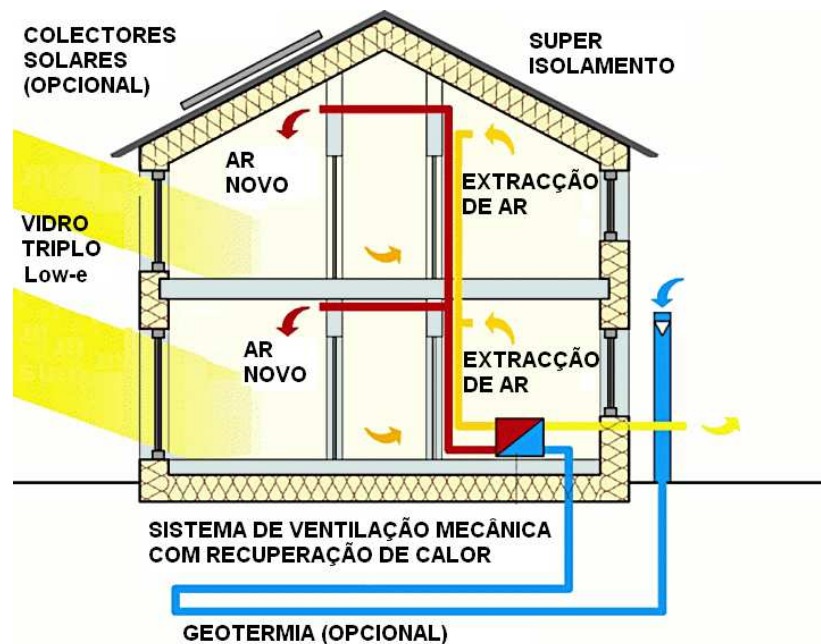


Fig. 12 – Representação esquemática do sistema de ventilação com recuperação de calor de um edifício passivo (Passivhaus Institut, 2007)

2.3. Qualidade de vida em edifícios passivos

Testes realizados em edifícios passivos existentes, comprovam a elevada qualidade do ar interior e conforto térmico característicos destas habitações. O ar é sempre fresco e limpo, conseguindo-se assegurar as 0.6 Rph recomendadas. Uma selecção adequada de acabamentos interiores e mobília minimiza a poluição do ar proveniente de partículas nocivas como o formaldeído.

A distribuição de temperatura no interior do edifício é homogénea, sendo possível garantir pequenas diferenças de temperatura nos diferentes compartimentos do edifício. Tipicamente a temperatura interior varia muito lentamente em menos de 0.5 °C por dia (Inverno), estabilizando nos 15°C, para climas da Europa central. Estudos comprovam que não é saudável ter temperaturas elevadas nos quartos da casa e restantes áreas de descanso. O hábito de abrir as janelas para providenciar ventilação natural não será necessário ou até mesmo indesejável. Se estiverem abertas por um longo período de tempo, a temperatura interior diminui significativamente e como consequência o consumo de energia de aquecimento aumentará. No entanto se for por curtos períodos de tempo, não haverá impacto notório na temperatura interior do espaço, pois após o seu fecho, o ar interior recuperará a temperatura normal.

2.4. Solução construtiva e tecnológica típica da Europa Central

Como descrito nos pontos anteriores, a aplicação da norma “Passivhaus”, consiste numa intervenção no edifício, que se centra maioritariamente nas soluções construtivas adoptadas para a envolvente exterior, recorrendo a ventilação mecânica com recuperação de calor de elevada eficiência.

A tabela 1 seguinte apresenta um resumo das propriedades dos principais elementos, objecto de intervenção num edifício passivo.

Tab. 1 – Propriedades e características dos principais elementos objecto de intervenção num edifício passivo

ELEMENTO	VALOR
Coeficiente de transmissão térmica da envolvente exterior	0.1 a 0.15 W/m ² .°C
Espessura do isolamento:	
Lã mineral	300 mm
Poliestireno	300 mm
Celulose	300 mm
Espuma de poliuretano	200 mm
Correcção de pontes térmicas	$\psi < 0.01$ W/m.°C
Vidro triplo “low-e” com gases nobres e corte térmico:	
Coeficiente de transmissão térmica do envidraçado	$U < 0.8$ W/m ² .°C
Temperatura da superfície interior do envidraçado	$T_{sup} > 17^{\circ}\text{C}$
Factor solar g	$U-1.6.g < 0$ (g=0.5)
Taxa máxima de infiltrações	$n_{50} < 0.6$ Rph
Sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor:	
Eficiência da recuperação de calor	75 a 95 %
Rendimento dos ventiladores (Motores EC)	80%
Taxa de renovação do sistema de ventilação mecânica	0.3 a 0.6 Rph

3. Soluções construtivas e tecnológicas consideradas no caso de estudo nº1 – A Moradia Geminada

3.1. O caso base

O caso base constitui o modelo de simulação escolhido como ponto de partida para análise. O primeiro caso de estudo consiste numa moradia geminada de tipologia T3 que se admitiu localizada na cidade do Porto. A moradia possui dois pisos, constituindo um total de 11 espaços e uma área de 194 m². No primeiro piso encontram-se a suite, dois quartos, um hall e três instalações sanitárias. O segundo piso é constituído pela cozinha, pelo hall de entrada, escadas e uma sala de estar.

3.1.1. Clima

A avaliação do desempenho energético do edifício teve como base climática, o ficheiro de clima da cidade do Porto, disponível através do software Solterm. Construiu-se um ficheiro climático legível pelo EnergyPlus recorrendo às ferramentas de tratamento de dados climáticos que acompanham o software.

3.1.2. Modelação geométrica do edifício

Para o zonamento da moradia, consideraram-se os 11 espaços com cada espaço constituindo uma zona. Cada zona possui um pé-direito útil de 2.4 m em ambos os pisos.

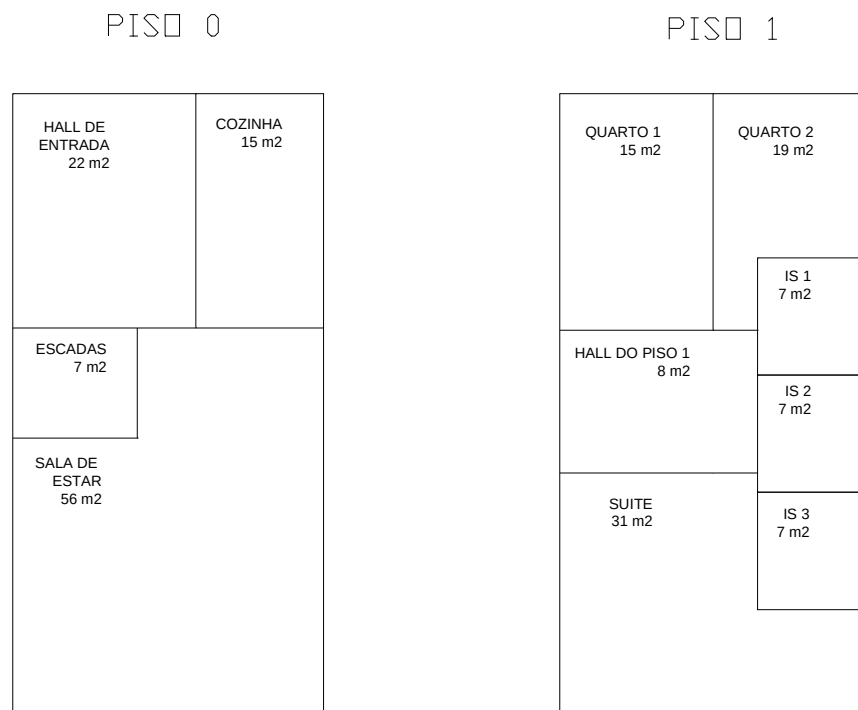


Fig. 14 – Zonamento da moradia - rés-do-chão e primeiro andar

A tabela seguinte resume o total de áreas constituintes da moradia e a área de cada zona.

Tab. 2 – Tabela resumo com as áreas da moradia

Zonas	Áreas (m ²)
Sala de estar	56
Quarto 1	15
Quarto 2	19
Suite	31
Hall de entrada	22
Hall do piso 1	8
Instalações sanitárias 1	7
Instalações sanitárias 2	7
Instalações sanitárias 3	7
Cozinha	15
Escadas	7
Total	194

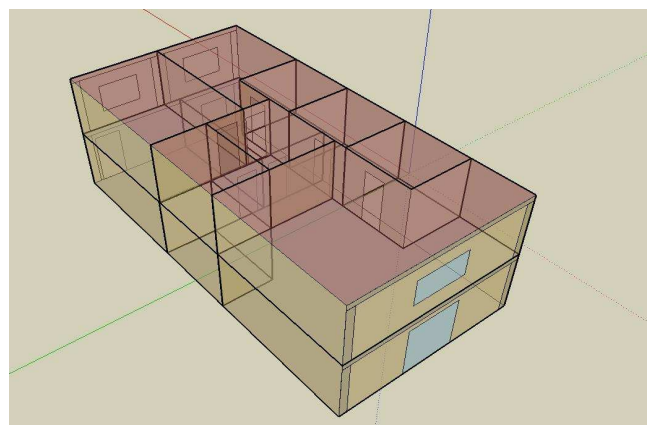
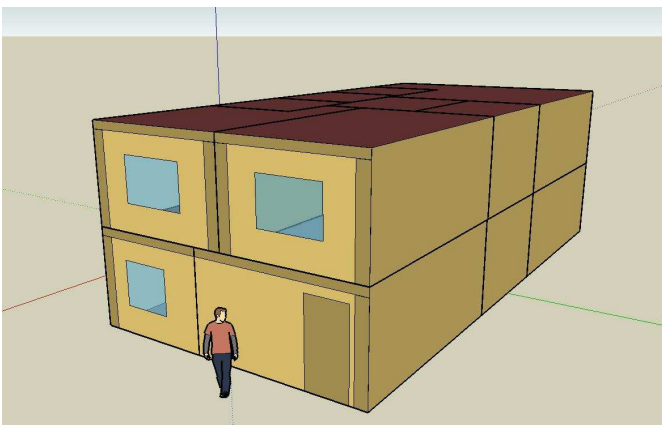


Fig. 15 – Modelo 3D da moradia geminada

3.1.3. Condições fronteira

Superfícies em contacto com o exterior

As condições de fronteira das superfícies em contacto com o exterior são definidas a partir do ficheiro climático obtido da base de dados do Solterm para a localidade respectiva.

Superfícies em contacto com outros edifícios

As condições de fronteira das superfícies em contacto com outros edifícios são definidas como adiabáticas assumindo que as condições interiores da moradia geminada e dos edifícios são semelhantes.

Superfícies em contacto com o solo

As condições de fronteira das superfícies em contacto com o solo são definidas através do perfil mensal de temperaturas do solo a 4 m de profundidade obtido a partir da base de dados do EnergyPlus.

3.1.4. Solução para climas de Portugal

Soluções construtivas com recurso a vidros triplos de baixa emissividade, isolamento de espessura elevada e recurso a recuperação de calor são soluções caracteristicamente adoptadas para as construções em climas da Europa Central cujas temperaturas exteriores apresentam valores extremos mais baixos do que em Portugal.

Segundo o novo RCCTE, o número de graus dias, caracteriza a severidade de um clima durante as estações de aquecimento e arrefecimento e é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura base e a temperatura do ar exterior durante a estação em questão. Dado que tanto a radiação solar como a temperatura exterior são dois factores que influenciam as necessidades energéticas do edifício, deve ter-se em conta estes dois factores quando se comparam dois climas diferentes. Em geral, quanto maior o numero de graus dias de arrefecimento e aquecimento, mais elevadas serão as necessidades de aquecimento e de arrefecimento.

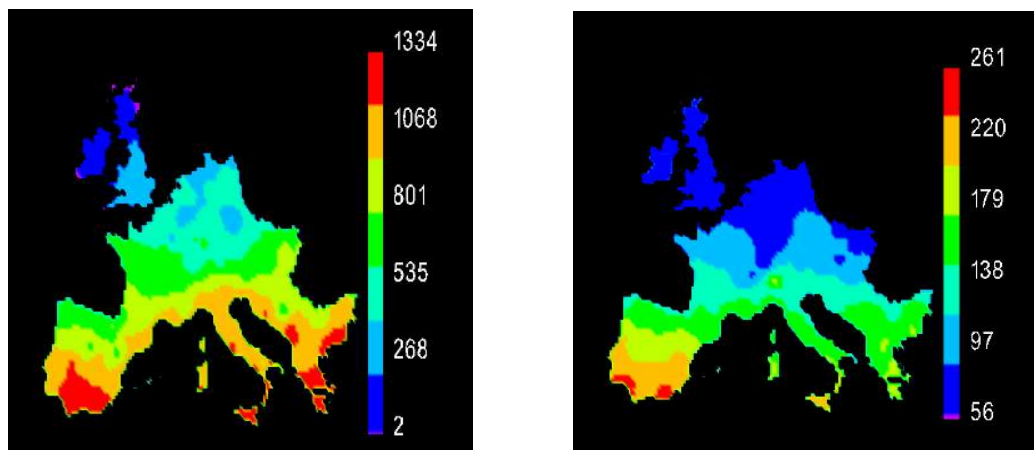


Fig. 13 – Número de graus dia para o Inverno e Verão respectivamente (A norma Passivhaus em climas quentes da Europa, 2007)

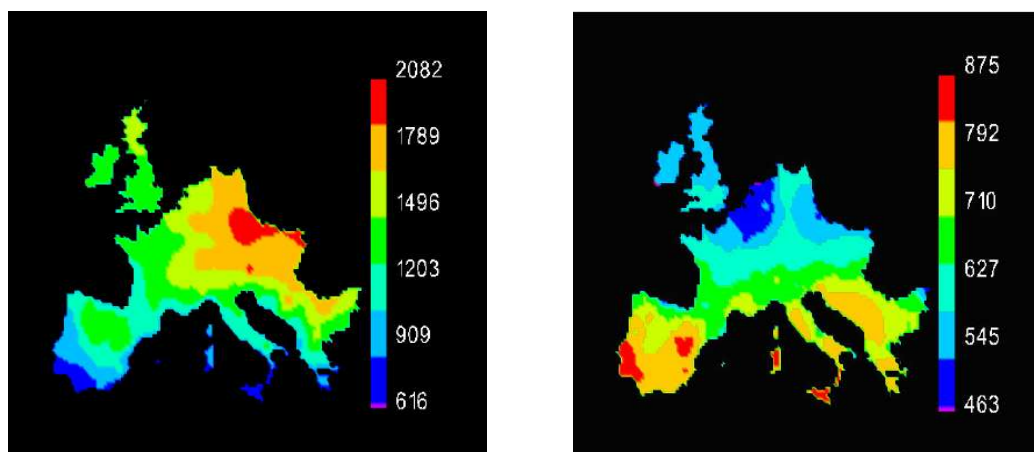


Fig. 14 – Radiação solar incidente numa superfície horizontal no Inverno e Verão respectivamente (A norma Passivhaus em climas quentes da Europa, 2007)

Para Portugal, as diferenças climáticas quanto à disponibilidade de radiação solar levantam questões quanto a aplicação da norma “Passivhaus” segundo os padrões da Europa Central. Tipicamente em Portugal usam-se vidros duplos sem capas de baixa emissividade e as espessuras de isolamento possuem valores entre 30 a 100 mm. O recurso à recuperação de calor poderá não representar uma solução compensatória, já que o consumo de energia de ventilação poderá representar uma parcela elevada no consumo energético total do edifício.

3.1.5. Metodologia

De forma a avaliar o desempenho energético de um edifício passivo concebido segundo a norma “Passivhaus”, procurou-se aplicar as soluções descritas na norma, a edifícios típicos de Portugal.

Para cada edifício tipo, considerou-se um caso base que serviu como ponto de partida para a análise. De seguida aplicou-se a solução para climas da Europa Central ao clima de Portugal e estudou-se a viabilidade desta solução analisando possíveis alternativas, executando alterações nas soluções construtivas e na solução para ventilação. Determinaram-se os indicadores de avaliação energética, estudou-se a influência dos elementos de intervenção mais relevantes para o desempenho do edifício e finalmente procedeu-se a uma avaliação do conforto térmico interior para todos os casos considerados.

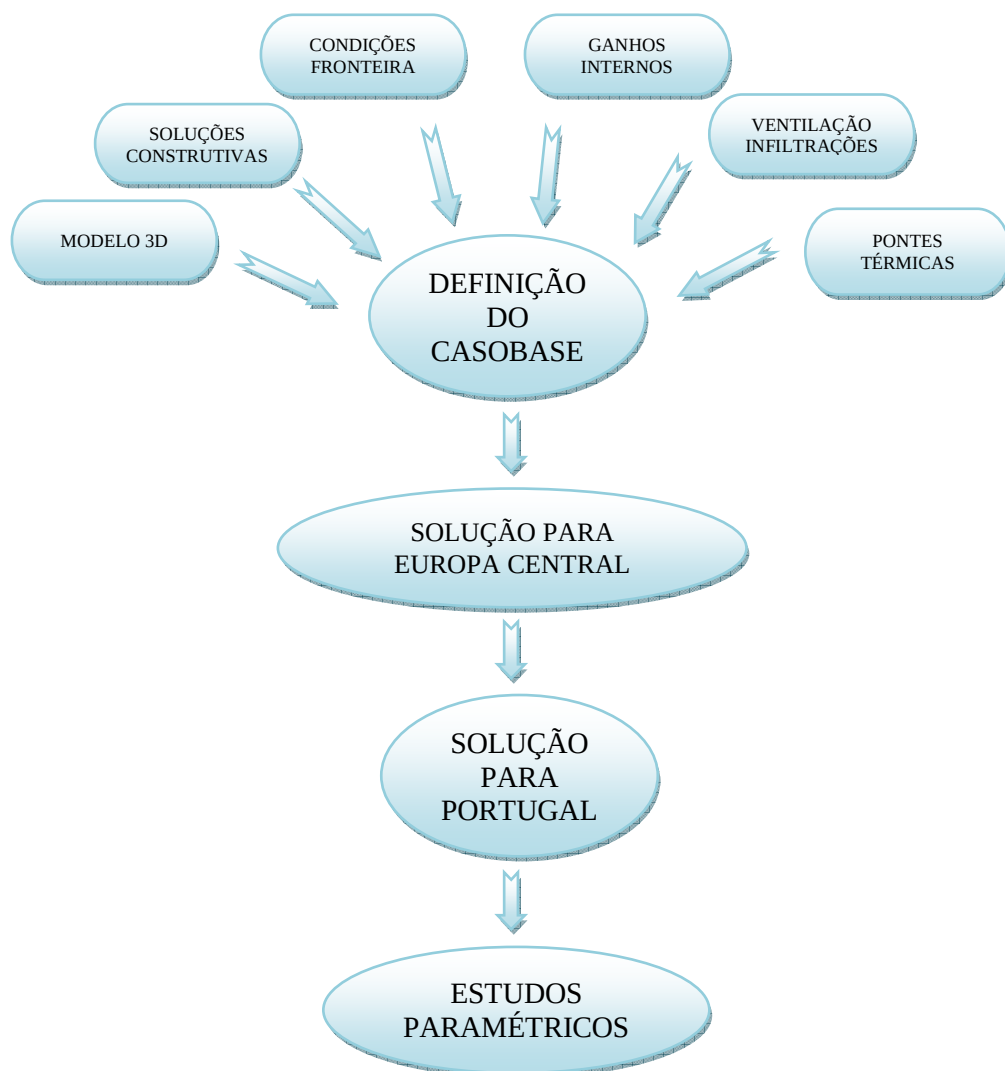


Fig. 15 – Metodologia usada no estudo

A modelação da geometria do edifício em análise, foi realizada recorrendo a uma interface gráfica, o GoogleSketchUp, que permite exportar o modelo 3D para o software de simulação dinâmica usado, o EnergyPlus. Esta ferramenta de simulação dinâmica detalhada de edifícios, oficialmente lançada em 12 de Abril de 2001, foi criada pelo “Department of Energy” (DOE) dos Estados Unidos da América a partir dos seus antecessores, BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e DOE-2, que datam dos anos 70 e 80. Com o EnergyPlus é possível simular com precisões sub-horárias, calcular as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento necessárias para manter um pretendido controlo de temperatura, modelar uma elevada gama de sistemas AVAC, determinar os consumos energéticos finais de um edifício, possuindo ainda potencialidades como modelar sistemas de iluminação natural, ventilação natural, entre outras (EnergyPlus Input/Output Reference, 2008).

3.1.6. Solução construtiva do caso base para Portugal

Para o caso base, a solução construtiva possui panos de alvenaria de tijolo furado normal para a envolvente exterior, soalho de madeira para o pavimento e uso de vidro duplo normal nos envidraçados. O quadro seguinte apresenta uma breve descrição da constituição do edifício assim como o valor do coeficiente de transmissão térmica correspondente.

Tab. 3 – Descrição da solução construtiva adoptada para o caso base

Elemento	Layers	Espessura (mm)	U (W/m ² .C)
Cobertura	Camada exterior de seixo	5	0.43
	Tela de impermeabilização	5	
	Isolamento térmico EPS	60	
	Laje maciça de betão	200	
	Camada de forma betão leve	100	
Envolvente exterior	Reboco exterior	30	0.46
	Isolamento térmico EPS	60	
	Tijolo furado normal	190	
	Reboco interior	10	
Paredes interiores	Reboco	10	2.19
	Tijolo furado normal	110	
	Reboco	10	
Parede interior em contacto com outro edifício	Reboco	10	1.42
	Tijolo furado normal	220	
	Reboco	10	
Laje interior	Soalho de madeira	20	1.67
	Camada de betão	220	
	Camada de betão	20	
	Reboco	20	

Pavimento Térreo	3x Camada de terra	500	0.40
	Camada exterior de gravilha	300	
	Camada de betão	300	
	Tela de impermeabilização	10	
	Camada de betão	20	
	Soalho de madeira	20	

3.1.7. Envidraçados e controlo de dispositivos de oclusão nocturna

Para o caso base, considerou-se o uso de vidros duplos normais, cujas propriedades ópticas e térmicas, foram obtidas através do software Windows 5 (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2005).

Os envidraçados possuem dispositivos de sombreamento que consistem em estores localizados pelo exterior, com lamelas fixas fazendo um ângulo de 45 graus com o plano horizontal.

No que concerne à simulação, o controlo dos dispositivos de sombreamento foi modelado definindo um setpoint de temperatura interior de 23 °C, acima do qual os dispositivos serão activados.

Tab. 4 – Constituição do vidro duplo normal

Vidro duplo normal	Lâmina de vidro - 4 mm	U = 3.21 W/m ² .C g = 0.75
	Ar -16 mm	
	Lâmina de vidro - 4mm	

3.1.8. Ganhos internos

O acréscimo de energia calorífica ao ambiente resultante da actividade metabólica dos ocupantes e proveniente dos equipamentos eléctricos diversos assim como da iluminação artificial, foi contabilizado definindo um valor médio representativo da energia libertada por unidade de tempo, a potência. A cada potência foi associado um “horário” que representa de uma forma geral, um vector hora a hora fraccionário e permite obter um perfil de variação de cada tipo de ganho interno para todo o ano.

Tab. 5 – Valores médios para os ganhos internos relativos à moradia geminada

Ganhos internos médios	
Iluminação	42 W
Equipamentos	256 W
Ocupação	356 W
Densidade	3.4 W/m ²

Os perfis relativos aos ganhos internos encontram-se descritos no anexo A.

3.1.9. Ventilação natural e infiltrações

Para o caso base, considerou-se que o projecto de ventilação não previu a existência de dispositivos de admissão de ar auto-reguláveis em paredes de fachada nem a aplicação de vedantes nas portas exteriores ou para eventuais zonas não úteis. A entrada e saída de ar nas instalações sanitárias é feita de forma natural, através de aberturas servidas por condutas de comunicação com o exterior.

A taxa de renovação horária nominal foi definida tendo como referência as Tab. IV.1 e IV.2 do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Assim admitiu-se que a classe de permeabilidade ao ar das caixilharias seria “sem classificação” e que o edifício estaria situado na periferia de uma zona urbana. A altura do edifício acima do solo é inferior a 10 m e portanto a classe de exposição ao vento das fachadas do edifício é Exp. 2. Conclui-se por consulta do Tab. IV.1, que o valor convencional para a taxa de renovação horária nominal da moradia é de 1.05 Rph. Na simulação dinâmica, aproximou-se o valor obtido a 1.0 Rph sendo este o valor que foi efectivamente definido para a taxa de renovação horária nominal para a ventilação natural.

Para os casos onde existe ventilação mecânica e se considera a influência das infiltrações (entrada de ar exterior que penetra no edifício de forma natural através de frinchas ou outras aberturas por força das diferenças de pressão que se estabelecem entre o exterior e o interior do edifício) definiu-se uma taxa de renovação horária na simulação dinâmica calculada com base na metodologia do RCCTE:

Nos casos em que se assume um sistema de ventilação mecânica com caudais equilibrados, $\dot{V}_{ev} - \dot{V}_{ins} = 0$, portanto inferior a 0.25 Rph para edifícios com classe de exposição 2. O caudal adicional correspondente a componente infiltração no caso de sistemas de ventilação mecânica equilibrados é definido segundo o RCCTE correspondente a 0.7 Rph no caso de edifícios com exposição 2.

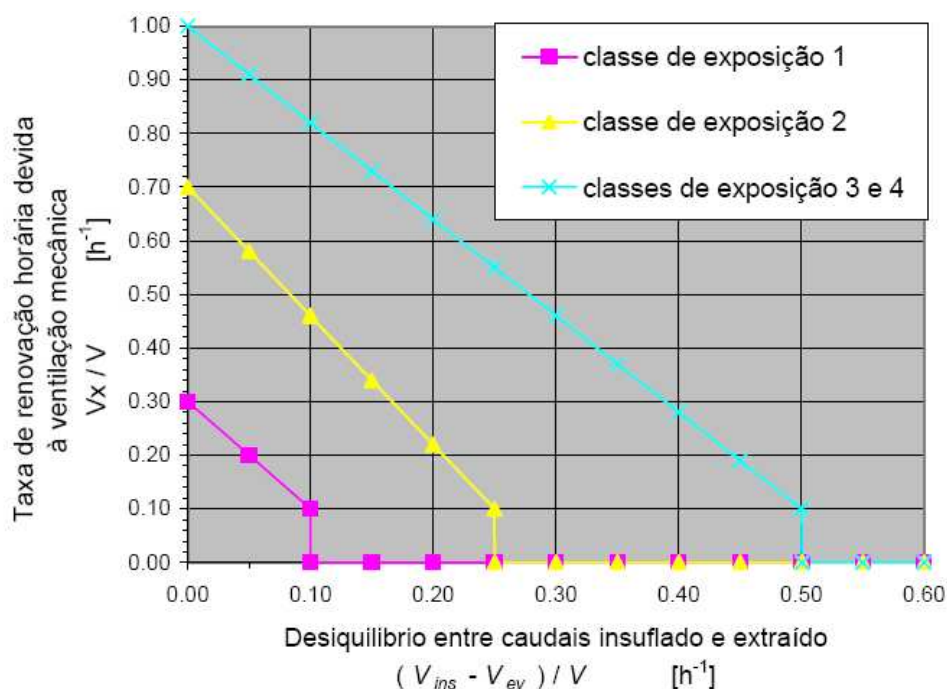


Fig. 16 - Taxas de renovação horária devidas à ventilação mecânica em função do desequilíbrio entre os caudais insuflado e extraído e da classe de exposição do edifício (Manual de apoio à aplicação do RCCTE, 2005)

3.1.10. Pontes térmicas

De forma a contabilizar a existência de eventuais pontes térmicas no edifício, estimaram-se valores para pontes térmicas lineares e pontes térmicas planas, com base nos valores de coeficiente de transmissão térmica linear apresentados no RCCTE para as situações mais correntes.

Pontes térmicas planas

Considerou-se a existência de pilares de betão nas paredes da envolvente exterior e talões de viga na laje dos pavimentos intermédios e na laje de cobertura. A tabela seguinte apresenta um resumo descritivo da sua constituição e respectivo valor do coeficiente de transmissão térmica.

Tab.6 - Descrição da constituição dos elementos representativos das pontes térmicas planas

Elemento	Layers	Espessura (mm)	U (W/m ² .C)
Pilar de betão Talão de viga	Reboco exterior	10	0.43
	Isolamento EPS	60	
	Betão armado	200	
	Reboco interior	10	

Pontes térmicas lineares

Para contabilizar a existência de pontes térmicas lineares na simulação, optou-se por escolher uma parede representativa da moradia, à qual se associaram todas as pontes térmicas lineares. Escolheu-se a parede exterior pertencente à zona Suite, orientada a Oeste. Essa representação traduz-se num valor equivalente para o coeficiente de transmissão térmica U da solução construtiva da fachada representativa que foi calculado seguindo o procedimento abaixo descrito.

Tab.7 Descrição da constituição dos elementos representativos das pontes térmicas lineares

Descrição	ψ (W/m.°C)
Ligação de fachada com pavimentos térreos	0.30
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	0.10
Ligação de fachada com cobertura inclinada ou terraço	0.55

Área total da parede = 12.02 m²

$\sum Bi \times \psi_i = 14.49 \text{ W/m}^2$ onde,

B_i [m] – Comprimento da ponte térmica

Ψ_i [W/m. °C] – Coeficiente de transmissão térmica linear

Considerando a equação,

$$A_{\text{parede}} \times U_{\text{equiv}} = A_{\text{parede}} \times U_{\text{real}} + \sum Bi \times \psi_i \quad (\text{eq. 2})$$

Considerando o valor do coeficiente de transmissão térmica real da solução construtiva da parede representativa e resolvendo a equação 2 em ordem a U_{equiv} , obtém-se o valor de $1.63 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$.

3.1.11. Determinação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento

A determinação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento foi realizada executando um conjunto de simulações dinâmicas em regime condicionado para todas as zonas, nas quais se definiram um setpoint de aquecimento de 20°C e um setpoint de arrefecimento de 25°C .

Os resultados deste caso de estudo apresentam-se mais à frente no capítulo 5, em conjunto com as variantes que se apresentam de seguida.

3.2. A Solução típica da Europa Central

Partindo do caso base, procurou-se fazer as alterações necessárias aos elementos construtivos do edifício, de forma a avaliar o seu desempenho energético no clima do Porto, usando as soluções construtivas tipicamente adoptadas na Europa Central. A solução para climas da Europa Central contempla o uso de ventilação mecânica com recuperação de calor, isolamento pelo exterior com espessura elevada, recurso a vidros triplos de baixa emissividade (low-e) com caixilharia de corte térmico e gases nobres como o Árgon ou o Kritpon, contribuindo para a redução do coeficiente de transmissão térmica do envidraçado.

A solução típica para a Europa Central adoptada para o caso de estudo nº1 resume-se na tabela 8:

Tab. 8 – Soluções adoptadas para edifícios passivos na Europa Central

Elemento	Descrição
Isolamento térmico lã mineral	Isolamento térmico pelo exterior com espessura de 300 mm
Envidraçado vidro triplo Low-e	Lâmina de vidro - 3 mm Árgon - 13 mm $U = 0.8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ $g = 0.5$
Ventilação	Ventilação mecânica 0.6 Rph Recuperação de calor 80%

3.2.1. Recuperação de calor

A solução adoptada para os climas da Europa Central contempla a utilização de uma unidade de recuperação de calor, essencialmente constituída pelos filtros, permutador de calor de fluxos cruzados e pelos ventiladores de insuflação e extracção. Para a ventilação mecânica, adoptou-se uma solução de ventilação com caudais de insuflação e extracção equilibrados, assumindo que a estanquidade do edifício é totalmente assegurada e desprezando-se assim existência de infiltrações.

3.2.2. Selecção de equipamento e determinação dos consumos dos ventiladores

Para dimensionar os ventiladores da unidade de recuperação de calor, idealizou-se um sistema de condutas rectangulares, por onde circula o ar que irá ser insuflado e posteriormente extraído dos espaços. Optou-se por uma estratégia de instalação em que a insuflação é feita nos espaços com maior taxa de ocupação e a extracção realizada pelos sanitários. Foi realizado o cálculo da perda de carga no ramal crítico (ramal com maior perda de carga), para o que se adoptou uma velocidade do ar para as condutas junto à unidade de recuperação de calor e outra para as condutas mais próximas dos espaços onde será insuflado ar novo, variando a velocidade progressivamente ao longo da conduta. O processo de cálculo relativo à determinação da perda de carga na rede de condutas encontra-se descrito no anexo B.

Seleccionou-se uma unidade de recuperação de calor de gama média, cuja instalação poderá ser realizada no eventual tecto falso do edifício.

Dado que a perda de carga tanto nas condutas de insuflação como nas condutas de extracção é inferior à perda de carga disponível dos ventiladores seleccionados para ambos os casos, considerou-se a hipótese de introduzir registos nas condutas de forma a ajustar a perda de carga disponível à perda de carga efectiva da rede de condutas.

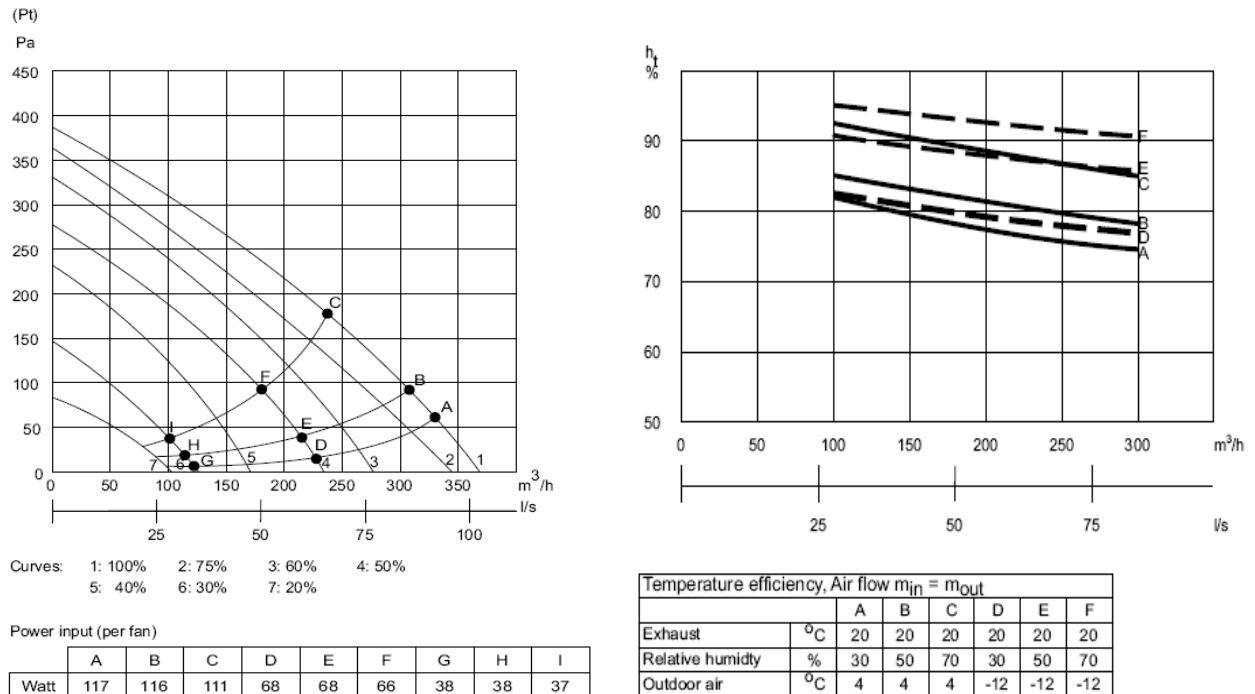


Fig. 17 – Curvas características da unidade de recuperação de calor seleccionada (Genvex, 2006)

Tab. 9 – Dados para a selecção da potência de ventilação na insuflação

Caudal de projecto 0.6 RPH	289 m ³ /h
Perda de carga total	42 Pa
Potência seleccionada	116 W
Eficiência de recuperação de calor	80 %

Tab. 10 – Dados para a selecção da potência de ventilação na extracção

Caudal de projecto 0.6 RPH	289 m ³ /h
Perda de carga total	29.8 Pa
Potência seleccionada	116 W
Eficiência de recuperação de calor	80 %

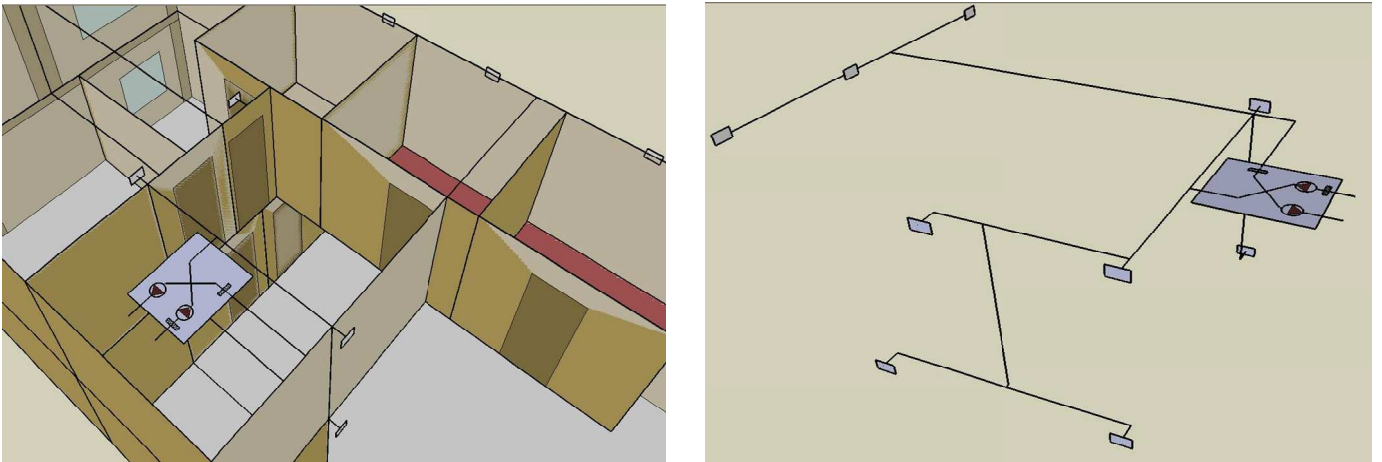


Fig. 18 – Rede de condutas para o caso de estudo nº1

Obtida a potência do ventilador através da curva característica disponibilizada pelo fabricante, foi possível determinar o consumo de electricidade associado.

Para o cálculo do consumo dos ventiladores consideraram-se os seguintes pressupostos:

- A estanquicidade do edifício é assegurada sendo que a ventilação mecânica funciona 24 horas por dia e 365 dias por ano com uma taxa de renovação horária nominal de 0.6 Rph.
- A recuperação de calor apenas é realizada nos períodos entre Janeiro e Maio e entre Outubro e Dezembro, períodos definidos como período anual de aquecimento, uma vez que se sabe que este processo pode ser contraproducente em períodos em que predomina o arrefecimento.

A determinação do período de aquecimento teve como base a análise do comportamento térmico anual do edifício. Observando as necessidades energéticas para o caso base, verifica-se que os períodos em se apresentam necessidades de aquecimento se situam entre os meses de Janeiro e Maio e entre Outubro e Dezembro.

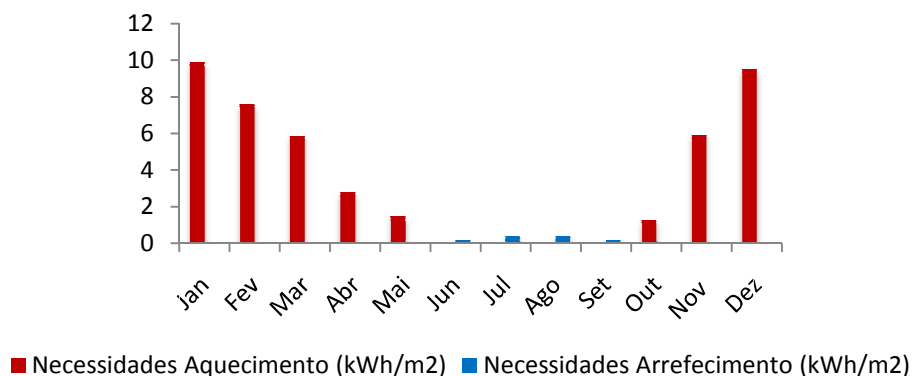


Fig. 19 - Necessidades de energia útil para o caso base do caso de estudo nº1

O cálculo do consumo dos ventiladores foi efectuado recorrendo à seguinte equação:

$$E_v = \frac{P_v \times 24 \times N}{1000} + \frac{P_v' \times 24 \times (365 - N)}{1000} \quad (\text{eq. 3})$$

E_v [kWh.ano] – Consumo total de ventilação

P_v [W] – Potência eléctrica do ventilador em funcionamento com recuperação de calor

P_v' [W] – Potência eléctrica do ventilador em funcionamento sem recuperação de calor

N – Numero de dias de funcionamento da ventilação

3.3. A solução para o Porto

Reconhecendo que a solução típica da Europa Central seja talvez excessiva para o clima do Porto, considerou-se uma possível alternativa para a aplicação da norma “Passivhaus” em Portugal. A solução construtiva para a envolvente exterior dos casos anteriores manteve-se, sendo ponderadas alterações sobre o isolamento exterior, os envidraçados e a ventilação. Optou-se por reduzir a espessura de isolamento, usar vidro duplo low-e com espaçamento de gás nobre entre vidros e recurso apenas a ventilação mecânica com uma taxa de renovação horária de 0.6 Rph sem recuperação de calor. Esta solução não implica considerações especiais sobre a estanquicidade da envolvente, já que o ar deve sair pelas frinchas.

A potência de ventilação para esta solução, corresponde à do ventilador de insuflação da unidade de recuperação considerada para a solução com recuperação de calor, considerando que o ventilador de extracção se encontra desligado.

- O cálculo do consumo dos ventiladores para esta solução foi efectuado recorrendo à equação 3 e considerando o pressuposto de que a ventilação mecânica funciona 24 horas por dia e 365 dias por ano com uma taxa de renovação horária nominal de 0.6 Rph.

O resumo descritivo da solução adoptada encontra-se apresentado na tabela 9.

Tab. 11 – Solução adoptada para edifícios passivos em Portugal

Elemento	Descrição
Isolamento térmico lâ mineral	Isolamento térmico pelo exterior com espessura de 150 mm
Envidraçado vidro duplo Low-e	Lâmina de vidro - 4 mm Árgon - 13 mm $U=1.6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ $g=0.5$
Ventilação	V.Mecânica (só insuflação) 0.6 Rph

Para avaliar o peso relativo no desempenho energético dos elementos adoptados nas soluções para edifícios passivos no clima português, realizou-se um conjunto de estudos paramétricos, tendo como base de estudo a solução proposta para Portugal.

3.4. Estudos paramétricos

Procurou-se fazer uma análise comparativa ao nível das necessidades de energia útil e do consumo de ventilação para cada caso. Considerou-se a solução para o clima do Porto como base de comparação realizando-se as alterações necessárias para o estudo da influência de cada elemento.

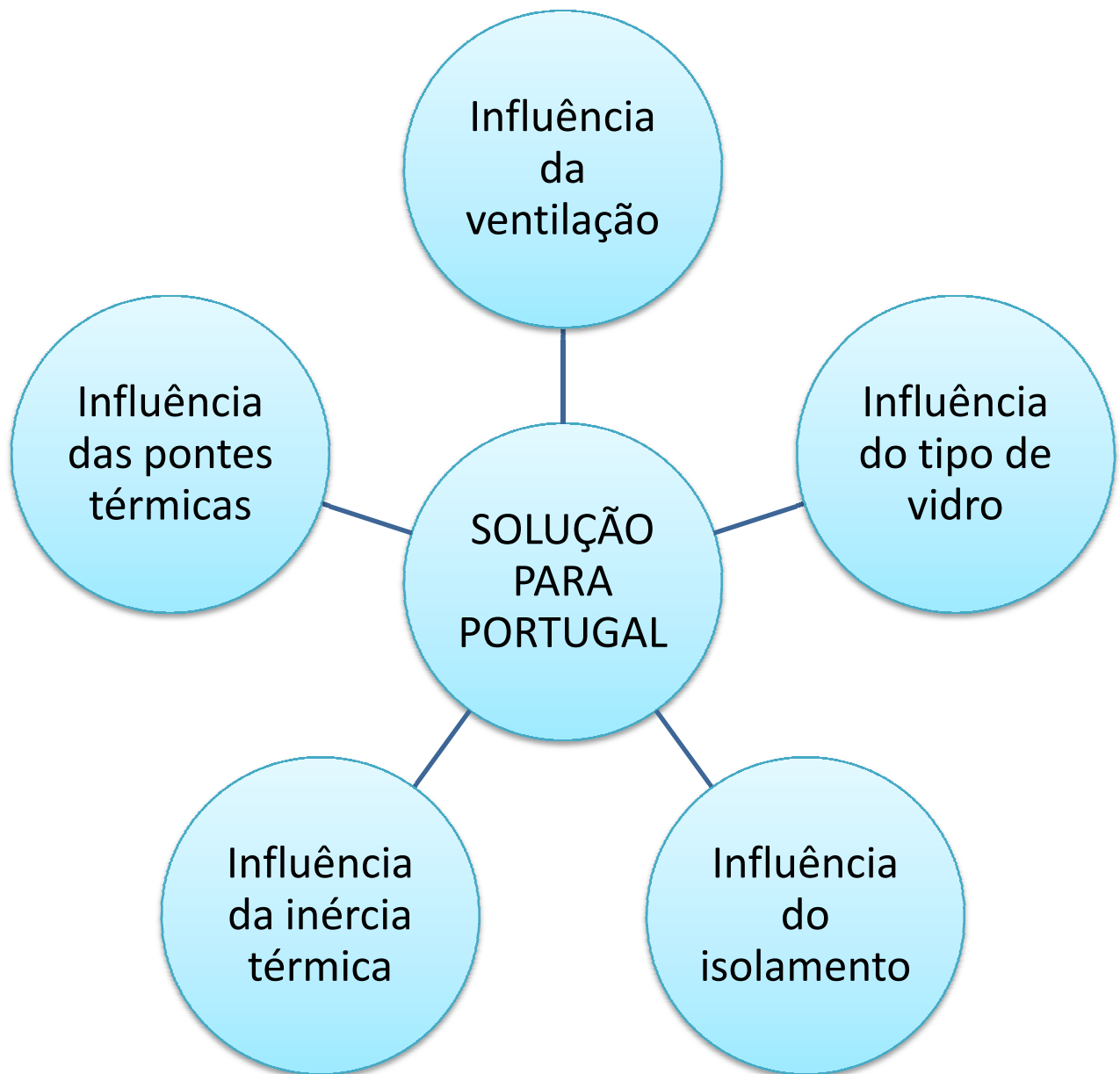


Fig. 20– Estudos paramétricos

As alterações consideradas em cada estudo paramétrico foram as seguintes:

Influência da ventilação

Realizaram-se alterações ao nível da solução de ventilação considerando soluções recorrendo a ventilação natural e ventilação mecânica (quer só extracção quer com recuperação de calor) com taxas de renovação horária nominal de 1 Rph e 0.6 Rph respectivamente. Considerou-se ainda o estudo da influência das infiltrações na solução com ventilação mecânica e recuperação de calor. A taxa de infiltrações foi determinada pela metodologia do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Influência do tipo de vidro

Realizaram-se alterações ao nível do tipo de vidro usado considerando duas soluções alternativas (vidro duplo normal e vidro triplo low-e) à solução considerada como base de comparação.

Influência do isolamento

Realizaram-se alterações ao nível do isolamento térmico considerando-se três soluções possuindo espessuras de isolamento de 300, 80 e 40 mm.

Influência da inércia térmica

Realizaram-se alterações ao nível da localização do isolamento térmico considerando uma solução com isolamento pelo interior.

Influência das pontes térmicas

Realizaram-se alterações ao nível das pontes térmicas considerando-se uma solução em que se contabiliza as pontes térmicas determinadas pela metodologia do RCCTE.

4. Resultados obtidos para o caso de estudo nº1

Numa primeira análise foram determinadas as necessidades energéticas do edifício e os consumos dos ventiladores. De seguida, foram calculados os consumos de energia eléctrica e de energia primária, tendo como base de cálculo um sistema de referência tipo bomba de calor, com COP de 3 para o período de arrefecimento e 4 para o período de aquecimento.

Tab. 12 – Factor de conversão em energia primária considerado

Electricidade 0.290 kge_{ep}/kWh

4.1. Necessidades anuais de energia útil

O gráfico da figura 17 mostra que existe um domínio nítido das necessidades de aquecimento em todos os casos.

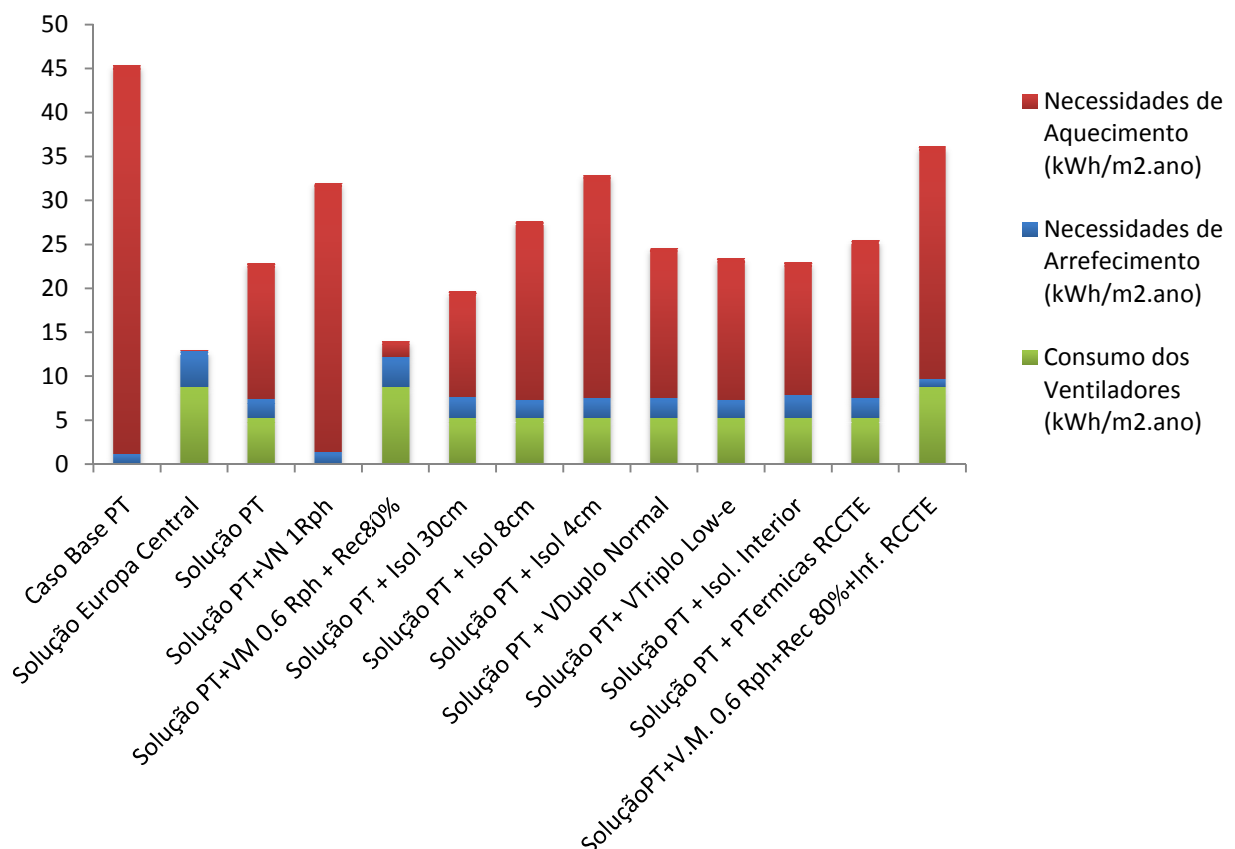


Fig. 21 – Necessidades de energia útil para o caso de estudo nº1

Analisando os resultados verifica-se que a maior parte das necessidades de energia útil correspondem a energia para aquecimento. Nas soluções com isolamento térmico de

espessura elevada, consegue-se reduzir significativamente as necessidades de aquecimento sendo amplamente reduzidas nas soluções que recorrem à recuperação de calor. Os resultados parecem indicar que o limite de 15 kWh/m².ano para aquecimento apenas consegue ser respeitado com:

- Pelo menos 15 cm de isolamento
- Vidro duplo de baixa emissividade
- Ventilação mecânica com recuperação de calor e envolvente muito estanque

Tab.13 – Valores das necessidades de energia útil para o caso de estudo nº1

	Caso Base PT	Solução Europa Central	Solução PT 15cm VDuplo low-e VM 0.6 Rph
Aquecimento	44.25	0.04	15.40
Arrefecimento	1.16	4.14	2.16
Ventiladores	0.00	8.74	5.25
(kWh/m².ano)			

4.2. Consumos de energia final

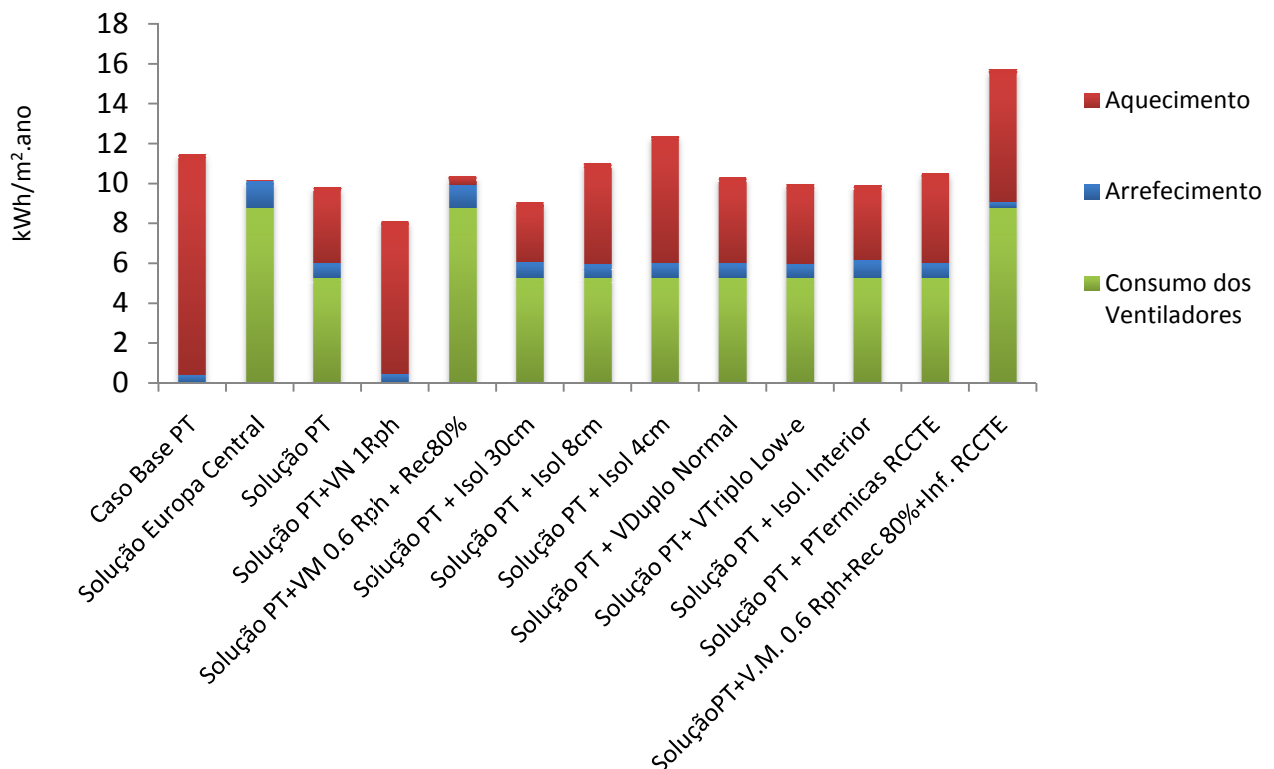


Fig. 22 – Consumos finais de energia eléctrica para o caso de estudo nº1

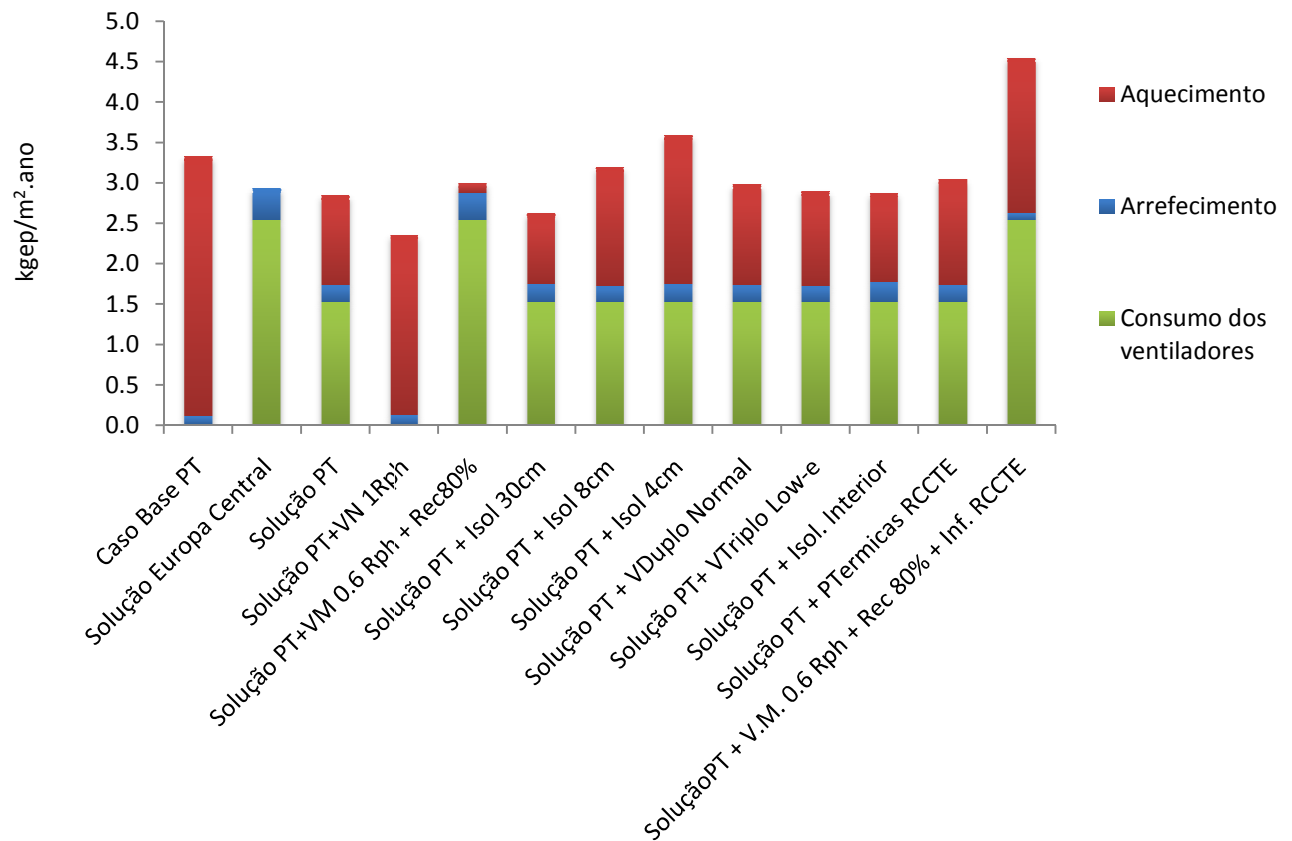


Fig. 23 – Consumos finais em kgep de energia primária para o caso de estudo nº1

Relativamente aos consumos finais de energia, a análise dos resultados demonstra que peso dos consumos dos ventiladores em energia primária é maior quando comparado com os consumos em energia final. De notar que a componente relativa aos ventiladores representa ainda uma parcela elevada nos consumos sendo particularmente notória precisamente em termos de consumos de energia primária.

4.3. Resultados dos estudos paramétricos

4.3.1. Influência da ventilação

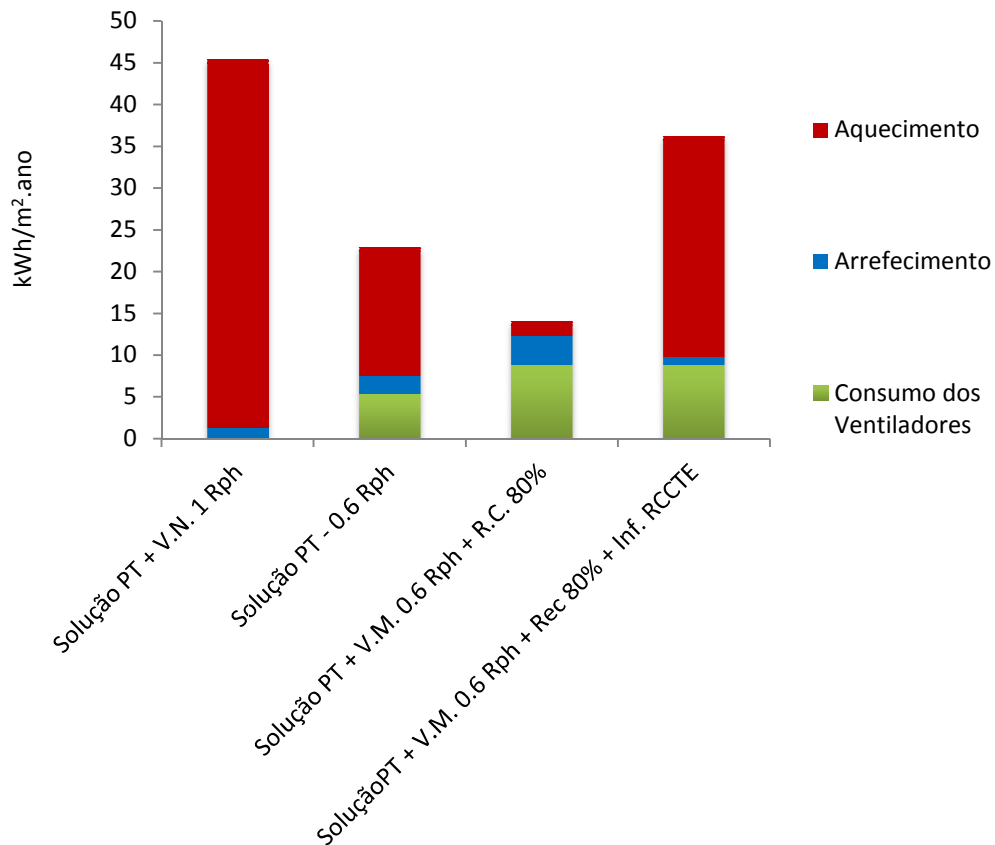


Fig. 24 – Estudo da influência da ventilação para o caso de estudo nº1

No caso da ventilação, os resultados obtidos demonstram que recorrendo à ventilação mecânica com recuperação de calor, é possível satisfazer quase na totalidade as necessidades energéticas de aquecimento, apresentado um valor bem abaixo do limite imposto pela norma (15 kWh/m^2). No entanto, e porque o consumo energético dos ventiladores na recuperação de calor tem um impacto significativo no consumo total do edifício, a solução para Portugal usando apenas ventilação mecânica sem recuperação de calor revela-se compensatória verificando-se uma diminuição no consumo de ventilação e apresentando valores para as necessidades de energia de aquecimento ficando muito perto do limite da norma.

Quanto ao nível de estanquicidade do edifício, verifica-se naturalmente que a entrada involuntária de ar exterior (cenário com infiltrações) agrava as necessidades de energia para aquecimento. Este aumento pode ser explicado pelas baixas temperaturas exteriores em relação às condições interiores do edifício que promovem trocas de calor com o ar interior baixando a temperatura que consequentemente resultará num aumento da carga de aquecimento como se pode comprovar pelos resultados obtidos.

Tab. 14 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência da ventilação

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT + V.N. 1 Rph	44.25	1.16	0.00
Solução PT - 0.6 Rph	15.40	2.16	5.25
Solução PT + V.M. 0.6 Rph + R.C. 80%	1.77	3.46	8.74
Solução PT + V.M. 0.6 Rph + Rec 80% + Infil RCCTE	26.50	0.92	8.74

4.3.2. Influência do isolamento

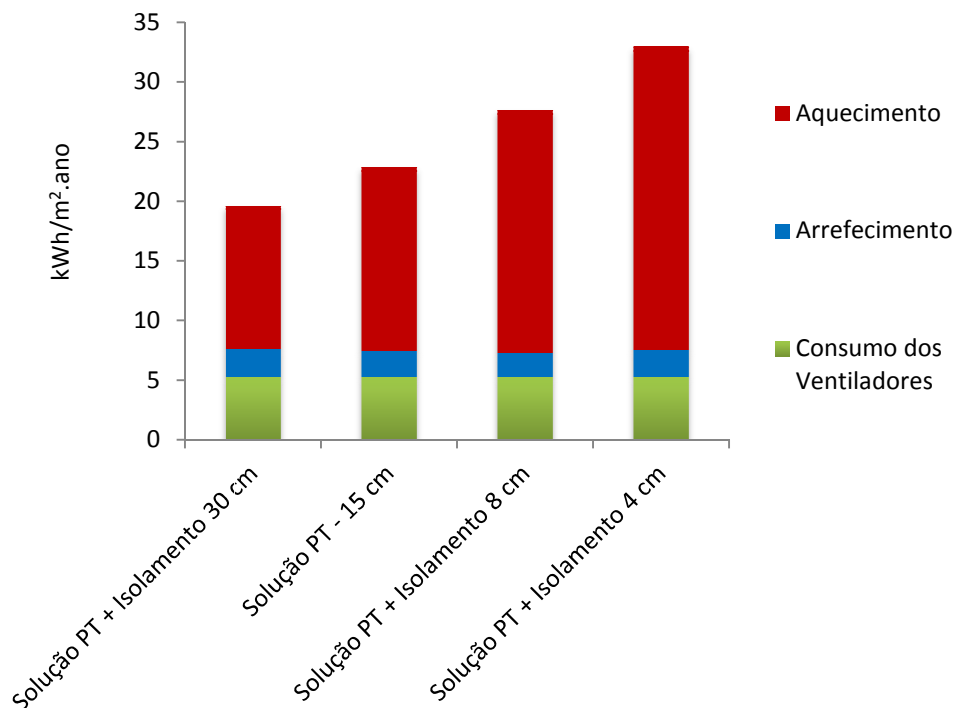


Fig. 25 – Estudo da influência o isolamento para o caso de estudo nº1

No que diz respeito ao nível de isolamento, claramente existe uma relação de proporcionalidade quase inversa entre este e as necessidades de aquecimento, em que os resultados mostram que um nível de isolamento elevado contribui para a diminuição das necessidades de aquecimento. Um aumento na espessura de isolamento tem um impacto directo no valor do coeficiente de transmissão térmica global, aumentando o seu valor, havendo

contudo que ter em atenção o possível sobreaquecimento que este aumento pode provocar na estação de arrefecimento.

Tab. 15 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência do isolamento

	Aquecimento (kWh/m².ano)	Arrefecimento (kWh/m².ano)	Ventiladores (kWh/m².ano)
Solução PT + Isolamento 30 cm	12.00	2.36	5.25
Solução PT - 15 cm	15.40	2.16	5.25
Solução PT + Isolamento 8 cm	20.38	1.99	5.25
Solução PT + Isolamento 4 cm	25.42	2.25	5.25

4.3.3. Influência do tipo de vidro

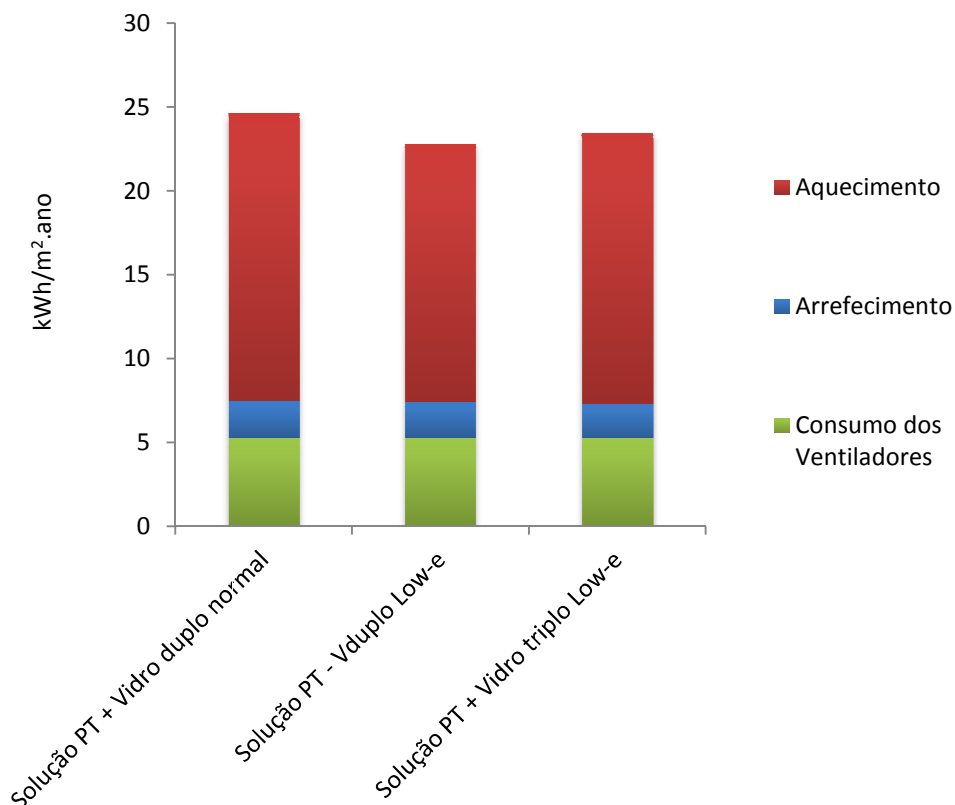


Fig. 26 – Estudo da influência do tipo de vidro para o caso de estudo nº1

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o recurso a vidro triplo de baixa emissividade apresenta-se como uma solução não compensatória, mostrando as necessidades de aquecimento ligeiramente superiores em comparação com a solução que adopta vidro duplo low-e. Tendo em conta as propriedades térmicas dos dois vidros de baixa emissividade quando se analisam os resultados finais, verifica-se que para uma diminuição do coeficiente

de transmissão térmica U , não existe uma compensação por parte da diminuição do factor solar. Assim apesar da solução com vidro triplo low-e oferecer maior resistência ao fluxo de calor, em contrapartida os ganhos solares que poderiam atenuar a carga de aquecimento também são menores, o que se reflecte no valor das necessidades de aquecimento que apesar de não apresentar uma variação muito significativa, é representativo desta particularidade.

Tab. 16 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência do isolamento

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT + VDuplo normal	17.15	2.21	5.25
Solução PT - VDuplo Low-e	15.40	2.16	5.25
Solução PT + VTriplo Low-e	16.10	2.06	5.25

4.3.4. Influência da inércia térmica

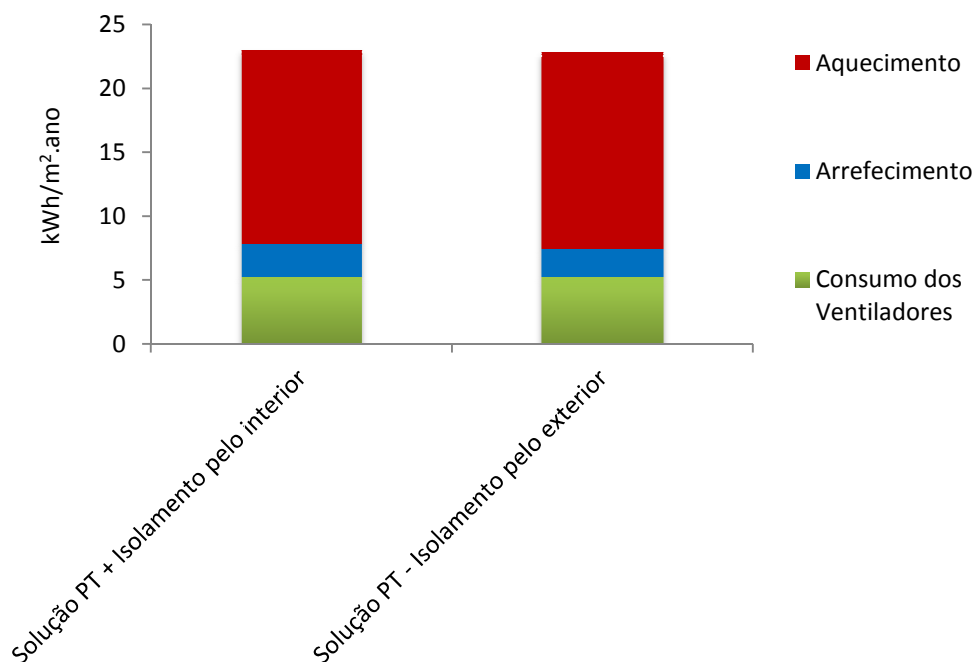


Fig. 27 – Estudo da influência da inércia térmica para o caso de estudo nº1

Analisando os resultados obtidos pode-se concluir-se que neste edifício a localização de isolamento térmico pelo interior ou pelo exterior, praticamente não tem influência nas necessidades de aquecimento, apresentando contudo uma diferença significativa no que diz respeito as necessidades de arrefecimento. De facto a solução construtiva adoptada na solução

para Portugal com isolamento pelo exterior, contribui para que a inércia térmica funcione a favor do clima interior já que as temperaturas mais baixas no interior do edifício atingidas durante a noite aumentam mais lentamente à medida que a temperatura exterior aumenta. Este comportamento resulta do facto da envolvente não estar em contacto directo com o exterior, estabilizando as temperaturas no seu valor médio e mantendo o edifício com temperaturas mais baixas durante mais tempo. Este fenómeno contribui para que a carga de arrefecimento seja menor quando comparada com a carga da solução com isolamento pelo interior.

Tab. 17 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da inércia térmica

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT + Isolamento pelo interior	15.11	2.61	5.25
Solução PT - Isolamento pelo exterior	15.40	2.16	5.25

4.3.5. Influência das pontes térmicas

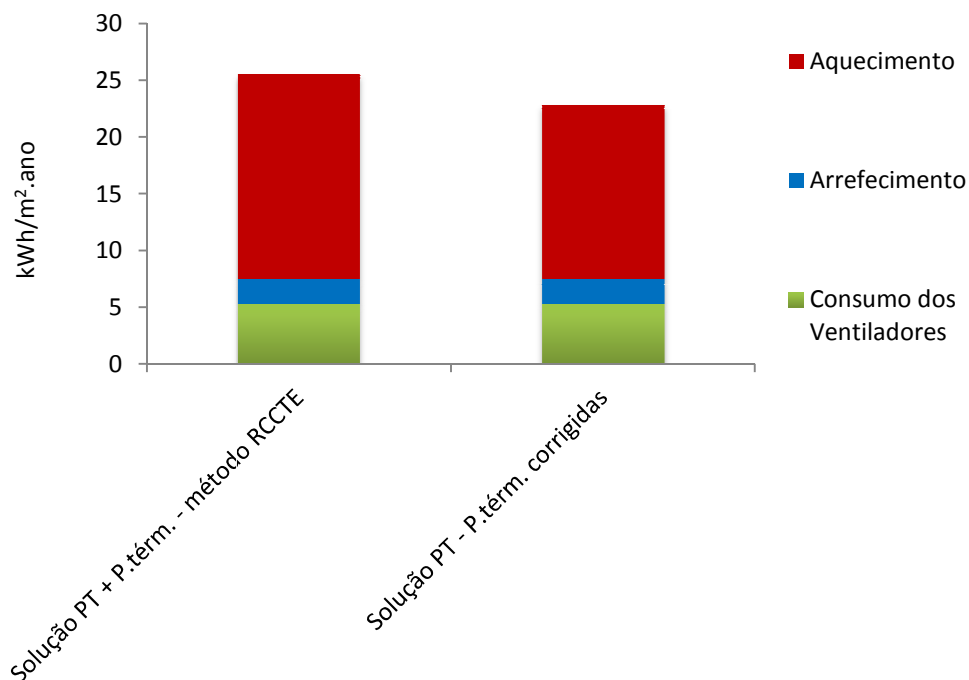


Fig. 28 - Estudo da influência das pontes térmicas para o caso de estudo nº1

No caso das pontes térmicas os resultados comprovam que a sua correcção, apesar de representar um factor preponderante no que diz respeito à prevenção do surgimento de possíveis patologias (condensações, etc.), tem neste caso um impacto relativamente pequeno, nas necessidades energéticas do edifício

Tab. 18 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência das pontes térmicas

	Aquecimento (kWh/m².ano)	Arrefecimento (kWh/m².ano)	Ventiladores (kWh/m².ano)
Solução PT + PTérm. - método RCCTE	18.03	2.24	5.25
Solução PT - PTérm. corrigidas	15.40	2.16	5.25

5. Conforto térmico em regime não climatizado

5.1. Análise do conforto térmico

Para além do baixo valor das necessidades de energia útil que é característico de um edifício passivo, as suas soluções construtivas permitem também obter um elevado conforto térmico interior.

De forma a avaliar o conforto térmico interior do edifício, foi realizada uma análise do conforto em regime não climatizado, obtendo para cada zona, a distribuição anual de temperaturas interiores. Para o estudo, considerou-se o intervalo de temperaturas 20 – 25 °C, como intervalo de conforto térmico.

Dado que a distribuição de temperaturas interiores varia de zona para zona, determinou-se um valor médio ponderado pelas áreas representativo da temperatura interior para o edifício. Obteve-se um perfil anual de temperaturas ponderadas, onde o processo de cálculo foi realizado para as 8760 horas do ano, recorrendo à equação 4.

$$T_{moradia} = \frac{\sum_i T_i \times A_i}{\sum_i A_i} \quad (\text{eq. 4})$$

$T_{moradia}$ [°C] – Temperatura ponderada da moradia

T_j [°C] – Temperatura interior da zona j

A_j [m²] – Área da zona j

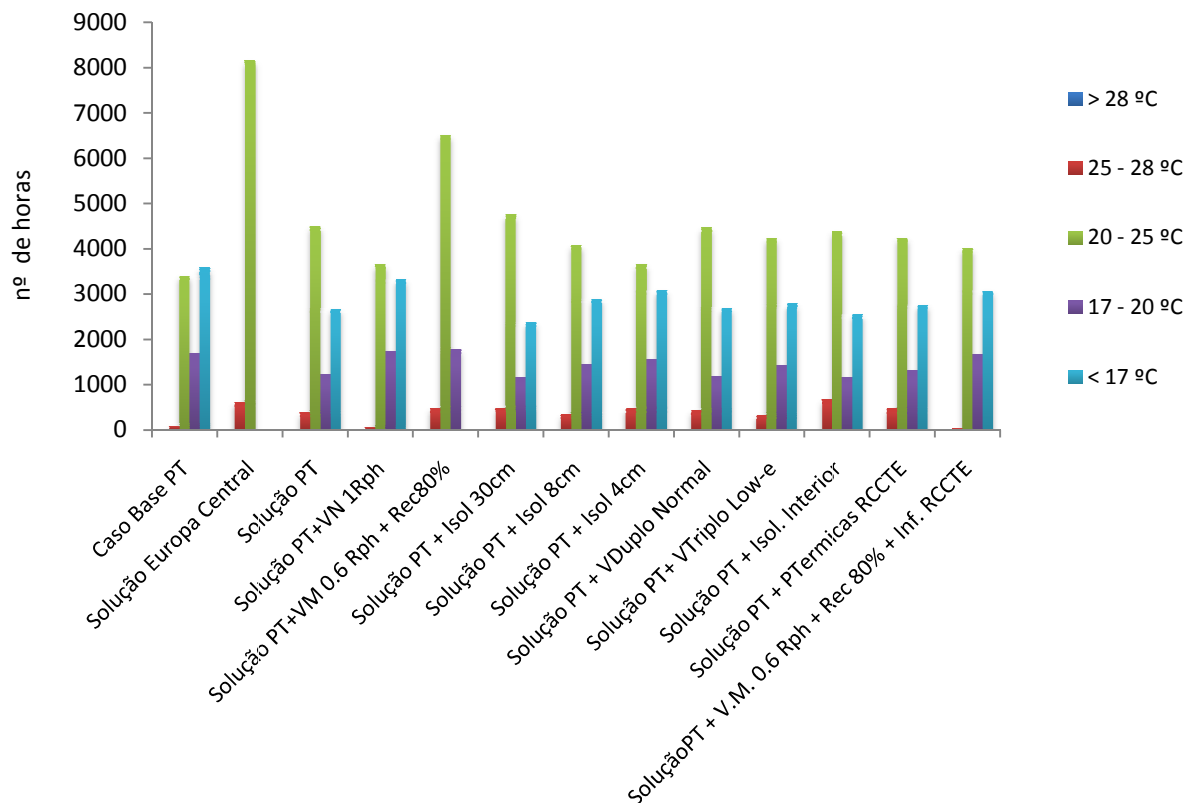


Fig. 29 – Histograma anual de temperaturas em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para o caso de estudo nº1

Como se pode depreender dos resultados obtidos, claramente a solução de edifício passivo para a Europa central quando submetida ao clima de Portugal, apresenta um número de horas dentro do intervalo de conforto, superior a todos os restantes casos. Verifica-se que quando se considera recuperação de calor para a solução em Portugal, o número de horas de conforto no interior da moradia aumenta, conseguindo-se contudo resultados próximos, apenas com ventilação mecânica e recorrendo a um nível de isolamento superior. De facto a espessura de isolamento tem um peso elevado na determinação do conforto térmico do edifício percebendo-se pelos resultados que em Portugal uma solução de isolamento térmico pelo exterior com maior espessura pode aumentar o grau de conforto térmico no edifício.

Sabe-se que a solução de isolamento térmico pelo interior, pode propiciar situações de sobreaquecimento. Comparando os resultados obtidos das soluções com isolamento pelo exterior com os resultados da solução de isolamento pelo interior, verifica-se que o número de horas dentro do intervalo 25 – 28 °C é maior no caso em que se utiliza isolamento térmico pelo interior, o que confirma a maior propensão à ocorrência de sobreaquecimento.

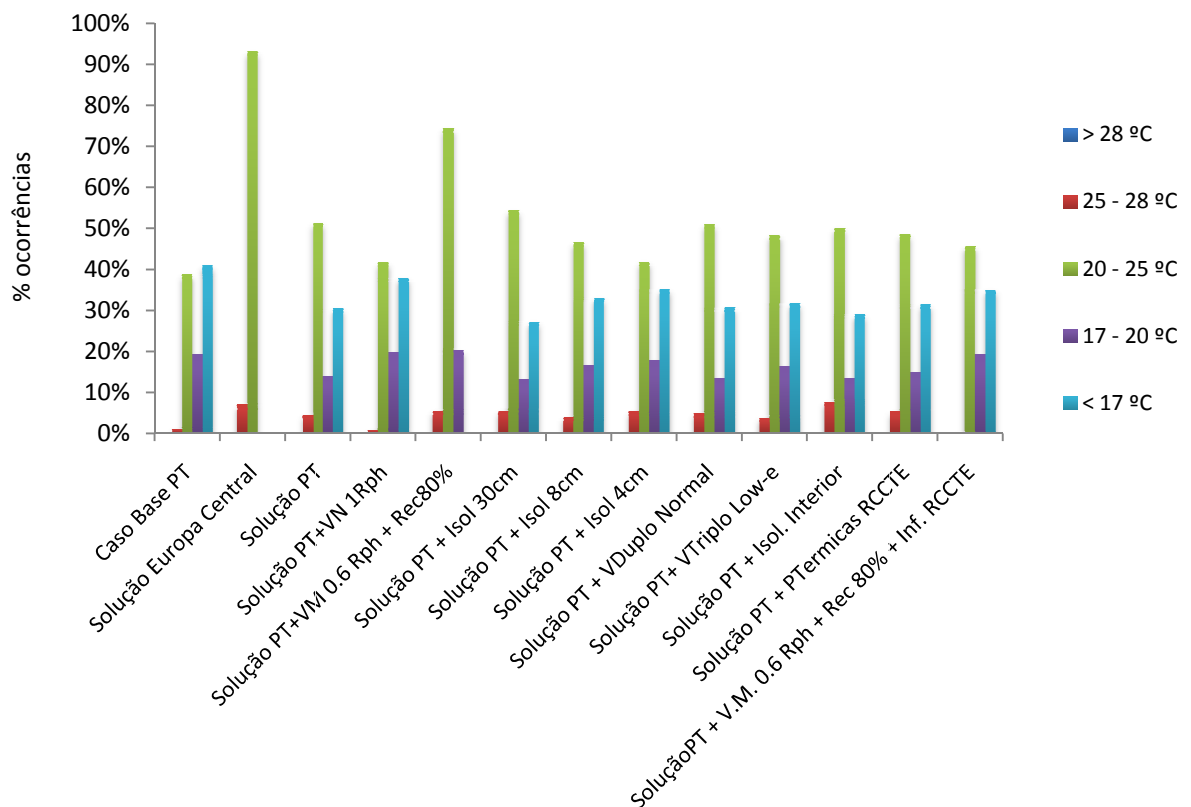


Fig. 30 – Histograma anual de temperaturas em % de ocorrências em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para o caso de estudo nº1

6. Soluções construtivas e tecnológicas consideradas no caso de estudo nº2 – O Edifício de Apartamentos

6.1. O caso base

O caso base para o edifício de apartamentos, consiste num dos exemplos do manual de apoio à aplicação do RCCTE (Manual de apoio à aplicação do RCCTE, 2005), do qual se optou por analisar um piso representativo do edifício, o piso 3.

O edifício designado por bloco F3 do lote F, está localizado em Lisboa e é constituído por 6 pisos, destinados exclusivamente a habitação. Cada piso é constituído por 4 fracções autónomas das quais duas são de tipologia T1 e as restantes de tipologia T2. As fachadas principais encontram-se orientadas a Nordeste (fracções T1A e T2D) e a Sudoeste (fracções T1B e T2C).

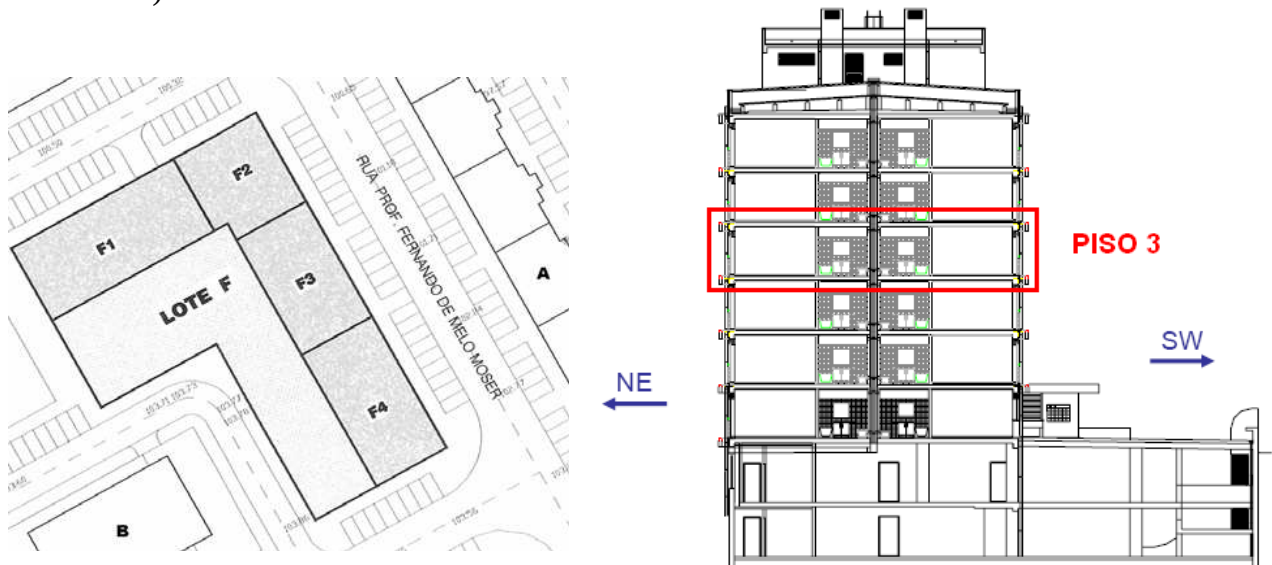


Fig. 31 – Planta de implantação do bloco F3 e do Lote F e corte transversal do edifício

Dado que o edifício F2 ainda não se encontra construído, a fachada orientada a Noroeste irá ser considerada como exterior. A fachada a Sudeste irá estar em contacto com outro edifício adjacente, o bloco F4. No entanto, não existe qualquer informação relativamente à distribuição dos espaços interiores no bloco, pelo que se considera a sua envolvente como envolvente interior.

6.1.1. Clima

A avaliação do desempenho energético do edifício teve como base climática, os dados do clima da cidade de Lisboa, disponíveis através do software Solterm. O mesmo procedimento descrito no caso de estudo nº1 foi usado para obter um ficheiro climático legível pelo software EnergyPlus.

6.1.2. Modelação geométrica do edifício

Para o zonamento do edifício, consideraram-se 5 espaços para as fracções autónomas de tipologia T1 e 6 espaços para as fracções de tipologia T2. A zona de circulação comum às fracções autónomas foi também considerada perfazendo um total de 23 zonas. O pé direito útil de cada espaço é de 2.52 m.

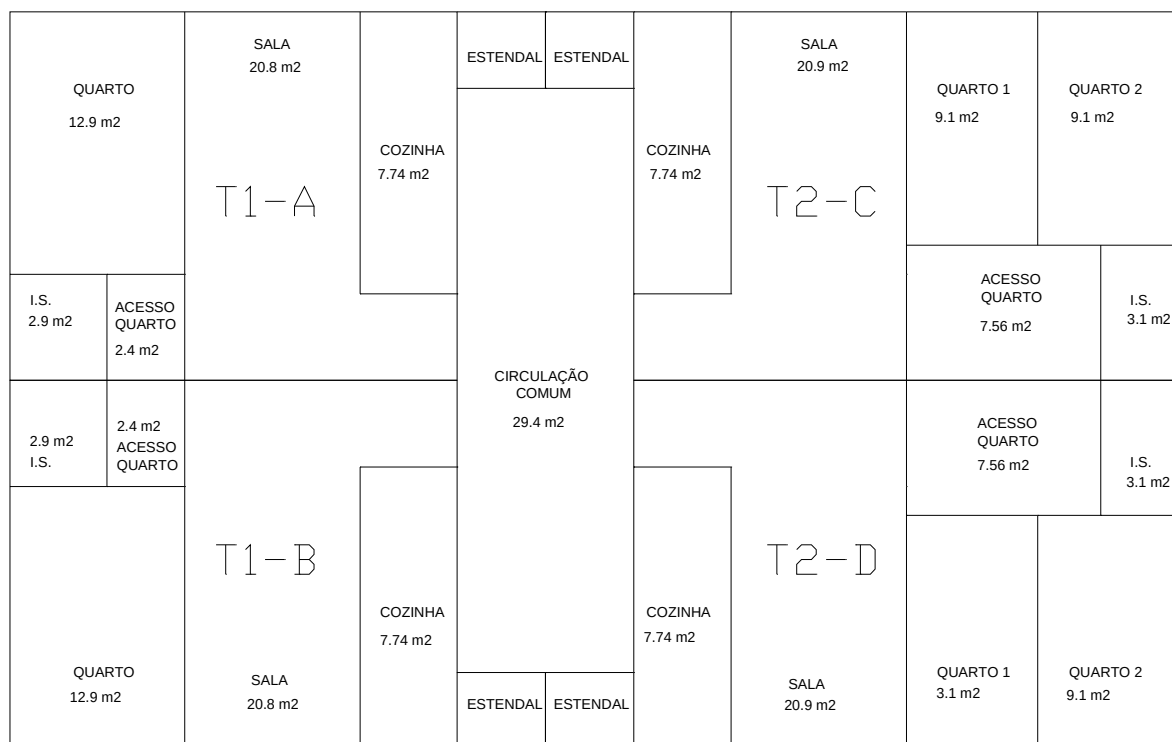


Fig. 32 – Zonamento do piso representativo do edifício

Tab. 19 – Tabela resumo com as áreas do piso representativo do edifício de apartamentos

Fracção	Zonas	Áreas (m ²)
T1A 47 m ²	Cozinha	7.7
	Sala	20.8
	Quarto	12.9
	Acesso quarto	2.4
	I.S.	2.9
T1B 47 m ²	Cozinha	7.7
	Sala	20.8
	Quarto	12.9
	Acesso quarto	2.4
	I.S.	2.9
T2C 57 m ²	Cozinha	7.7
	Sala	20.9
	Quarto 1	9.1
	Quarto 2	9.1
	Acesso quartos	7.6
	I.S.	3.1
T2D 57 m ²	Cozinha	7.7
	Sala	20.9
	Quarto 1	9.1
	Quarto 2	9.1
	Acesso quartos	7.6
	I.S.	3.1
	Circulação comum	29.4
Total		238

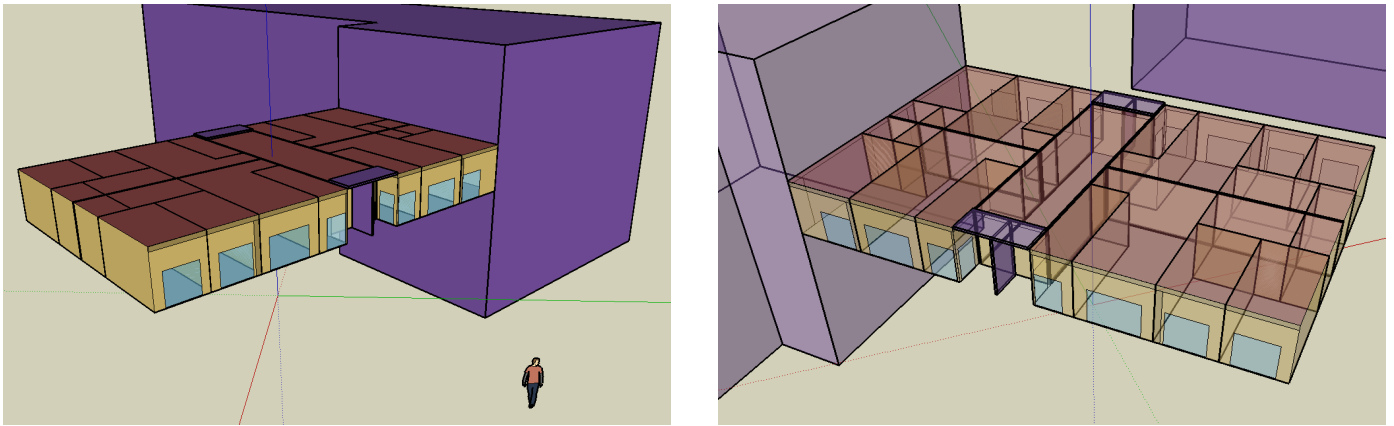


Fig. 33 – Modelo 3D do edifício de apartamentos

6.1.3. Condições fronteiras

Superfícies em contacto com o exterior

As condições das superfícies em contacto com o exterior são definidas a partir do ficheiro climático obtido da base de dados do Solterm para a localidade respectiva.

Superfícies em contacto com os pisos superiores e inferiores do edifício

As condições fronteira das superfícies interiores do piso 3 em contacto com os pisos 4 e 2, foram definidas associando um perfil de temperaturas ($20 - 25^{\circ}\text{C}$) a cada uma dessas superfícies de forma a simular realisticamente o efeito de armazenamento térmico dessas superfícies.

Superfícies em contacto com outros edifícios

As condições das superfícies em contacto com outros edifícios são definidas como adiabáticas assumindo que as condições interiores das fracções e dos edifícios adjacentes são semelhantes.

6.1.4. Solução construtiva do caso base para Portugal

Para o caso base, a solução construtiva possui panos de alvenaria de tijolo furado normal para a envolvente opaca exterior, parquet de madeira para o pavimento e uso de vidro duplo normal nos envidraçados. O quadro seguinte apresenta uma breve descrição da constituição do edifício assim como o valor do coeficiente de transmissão térmica correspondente.

Tab. 20 – Descrição da solução construtiva adoptada para o caso base do caso de estudo nº2

Elemento	Layers	Espessura (mm)	U (W/m ² .°C)
Envolvente exterior	Reboco exterior	15	0.57
	Tijolo furado normal	150	
	Caixa de ar		
	Isolamento térmico EPS	30	
	Tijolo furado normal	110	
	Reboco interior	15	
Parede interior 1	Reboco	15	1.50
	Betão	200	
	Tijolo furado normal	110	
	Reboco	15	
Parede interior 2	Reboco	15	1.20
	Tijolo furado normal	220	
	Reboco	15	
Laje interior	Laje de betão	260	0.70
	Isolamento térmico ICB	40	
	Betonilha	40	
	Parquet de madeira	10	

6.1.5. Envidraçados e controlo de dispositivos de oclusão nocturna

Para o caso base, considerou-se o uso de vidros duplos normais, cujas propriedades ópticas e térmicas, foram obtidas através do software Windows 5 (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2005).

Os envidraçados possuem dispositivos de sombreamento que consistem de estores localizados pelo exterior, com lamelas fixas fazendo um ângulo de 45 graus com o plano horizontal.

O controlo dos dispositivos de sombreamento é o mesmo que foi definido para o caso de estudo nº1, com base num setpoint interior de temperatura de 23°C.

Tab. 21 – Constituição do vidro duplo simples

Vidro duplo normal	Lâmina de vidro - 6 mm	U = 3.19 W/m ² .C g = 0.72
	Ar -4 mm	
	Lâmina de vidro - 6mm	

6.1.6. Obstruções exteriores

Os edifícios situados nas proximidades do bloco F3, constituem elementos que provocam sombreamento nas fachadas do edifício. A ocorrência de sombreamento, reduz a quantidade de radiação solar incidente nas fachadas do edifício, reflectindo-se na determinação das necessidades energéticas das suas fracções autónomas. É portanto necessário modelar os elementos que no caso são constituídos pelos blocos F1, F2, bloco B e bloco A.

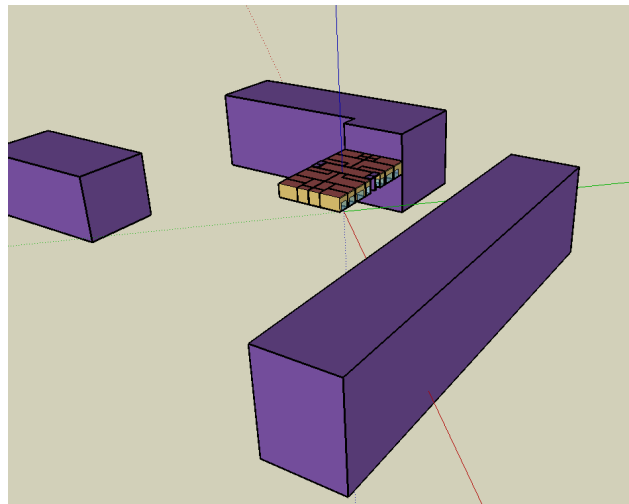


Fig. 34 – Modelo 3D onde se incluem os blocos que constituem obstruções exteriores ao edifício.

6.1.7. Ganhos internos

Seguindo a mesma metodologia usada para o caso de estudo nº 1, à energia calorífica libertada por unidade de tempo relativa à iluminação, ocupação e equipamentos, foi associado um “horário” que representa de uma forma geral, um vector hora a hora fraccionário e permite obter um perfil de variação de cada tipo de ganho interno para todo o ano. Os valores médios para os ganhos internos relativamente ao caso de estudo nº2 encontram-se descritos na tabela 22.

Tab. 22 – Valores médios para os ganhos internos relativos ao piso representativo do caso de estudo nº2

FRACÇÕES T1A e T1B		FRACÇÕES T2C e T2D	
Ganhos internos médios		Ganhos internos médios	
Iluminação	32 W	Iluminação	35 W
Equipamentos	224 W	Equipamentos	232 W
Ocupação	224 W	Ocupação	273 W
Área	46.7 m ²	Área	57.4 m ²
Densidade	10.3 W/m ²	Densidade	9.4 W/m ²

Os perfis relativos aos ganhos internos encontram-se descritos em detalhe no anexo A.

6.1.8. Ventilação natural e infiltrações

Para o caso base, considerou-se que o projecto de ventilação não previu a existência de dispositivos de admissão de ar auto-reguláveis em paredes de fachada nem a aplicação de vedantes nas portas exteriores ou para eventuais zonas não úteis. A entrada e saída de ar nas instalações sanitárias é feita de forma natural, através de aberturas servidas por condutas de comunicação com o exterior. No que diz respeito ao caso base, o único dispositivo de extracção mecânica de que os apartamentos dispõem é o exaustor da cozinha sendo que se pode concluir que todas as fracções autónomas só têm ventilação natural e que não satisfazem a norma NP – 1037-1. O piso 3 do edifício do caso de estudo nº2 está situado a uma altura de 10 m sendo a sua classe de exposição 1. O valor da taxa de renovação horária nominal para todas as fracções autónomas do piso 3, é de 0.94Rph. Na simulação do caso base do caso de estudo em questão, aproximou-se para um valor de 1 Rph, mantendo as mesmas condições que foram usadas para o caso base do caso de estudo nº1.

Para os casos onde existe ventilação mecânica e se considera a influência das infiltrações definiu-se uma taxa de renovação horária na simulação dinâmica calculada com base na metodologia do RCCTE:

Nos casos em que se assume um sistema de ventilação mecânica com caudais equilibrados, $\dot{V}_{ev} - \dot{V}_{ins} = 0$, portanto inferior a 0.1 Rph para edifícios com classe de exposição 1, o caudal adicional correspondente à componente infiltração no caso de sistemas de ventilação mecânica equilibrados é definido segundo o RCCTE correspondente a 0.3 Rph no caso de edifícios com classe de exposição 1.

6.1.9. Pontes térmicas

Seguindo o mesmo procedimento usado no caso de estudo nº1, a contabilização da existência de eventuais pontes térmicas no edifício, foi realizado estimando-se os valores para pontes térmicas lineares e pontes térmicas planas, com base nos valores de coeficiente de transmissão térmica linear apresentados no RCCTE para as situações mais correntes.

Pontes térmicas planas

Considerou-se a existência de pilares de betão nas paredes da envolvente exterior e talões de viga na laje dos pavimentos intermédios e na laje de cobertura. A tabela seguinte apresenta um resumo descritivo da sua constituição e respectivo valor do coeficiente de transmissão térmica.

Tab.23 - Descrição da constituição dos elementos representativos das pontes térmicas planas

Elemento	Layers	Espessura (mm)	U (W/m ² .°C)
Pilar de betão Talão de viga	Reboco exterior	15	1.1
	Viga de betão	250	
	Isolamento EPS	20	
	Tijolo de revestimento	40	
	Reboco interior	15	

Pontes térmicas lineares

Para contabilizar a existência de pontes térmicas lineares, escolheram-se as fachadas Noroeste para as fracções T1-A e T1-B e as fachadas Nordeste e Sudoeste para as fracções T2C e T2-D respectivamente. Às fachadas representativas do piso, associaram-se todas as pontes térmicas lineares. Essa representação traduz-se num valor equivalente para o coeficiente de transmissão térmica U da solução construtiva das fachadas representativas e foram calculados seguindo o procedimento abaixo descrito.

Tab. 24 - Descrição da constituição dos elementos representativos das pontes térmicas lineares para o caso de estudo nº2

Descrição	ψ (W/m.°C)
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	0.27
Ligação de fachada com varanda	0.42
Ligação entre duas paredes verticais	0.20
Ligação de fachada com padieira ou peitoril	0.20

Fracção autónoma T1-A

Área total da parede = 11.4 m²

$\sum Bi \times \psi_i = 8.48 \text{ W/m}^2$ onde,

Considerando o valor do coeficiente de transmissão térmica real da solução construtiva da fachada representativa e resolvendo a equação nº2 em ordem a U_{equiv} , obtém-se o valor de 1.32 W/m².°C.

Fracção autónoma T1-B

Área total da parede = 11.4 m²

$\sum Bi \times \psi_i = 10.60 \text{ W/m}^2$

Considerando o valor do coeficiente de transmissão térmica real da solução construtiva da fachada representativa e resolvendo a equação nº2 em ordem a U_{equiv} , obtém-se o valor de 1.51 W/m².°C.

Fracção autónoma T2-C

Área total da parede = 12 m²

$\sum Bi \times \psi_i = 8.82 \text{ W/m}^2$

Considerando o valor do coeficiente de transmissão térmica real da solução construtiva da fachada representativa e resolvendo a equação nº2 em ordem a U_{equiv} , obtém-se o valor de 1.32 W/m².°C.

Fracção autónoma T2-D

Área total da parede = 12 m²

$$\sum Bi \times \psi_i = 9.63 \text{ W/m}^2$$

Considerando o valor do coeficiente de transmissão térmica real da solução construtiva da fachada representativa e resolvendo a equação nº2 em ordem a U_{equiv} , obtém-se o valor de 1.38 W/m².°C.

6.1.10. Determinação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento

A determinação das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento foi realizada executando um conjunto de simulações dinâmicas em regime condicionado para todas as zonas, nas quais se definiram um setpoint de aquecimento de 20 °C e um setpoint de arrefecimento de 25 °C.

Dado que o ganho interno proveniente de equipamento instalado na zona cozinha das quatro fracções autónomas é elevado, considerou-se que estes seriam dissipados pelo exaustor instalado nessa zona. Foi definido que o regime condicionado na cozinha seria apenas realizado em modo de aquecimento durante todo o ano.

Os resultados deste caso de estudo apresentam-se mais à frente no capítulo 7, em conjunto com as variantes que se apresentam de seguida.

6.2. A Solução típica da Europa Central

Seguindo a mesma metodologia usada para o caso de estudo nº1, considerou-se como ponto de partida o caso base procurando-se realizar as alterações necessárias aos elementos do edifício, de forma a avaliar o seu desempenho energético no clima de Lisboa, usando as soluções construtivas tipicamente adoptadas na Europa Central. As soluções adoptadas foram as mesmas que no caso de estudo nº1. A tabela nº8 referida no caso de estudo nº1 resume a solução típica adoptada para edifícios passivos na Europa Central.

6.2.1. Recuperação de calor

A solução adoptada para os climas da Europa Central contempla a utilização de uma unidade de recuperação de calor, essencialmente constituída pelos filtros, permutador de calor de fluxos cruzados e pelos ventiladores de insuflação e extracção. Adoptou-se, uma solução de ventilação com caudais de insuflação e extracção equilibrados, assumindo que a estanquidade do edifício é totalmente assegurada e desprezando-se assim existência de infiltrações.

6.2.2. Selecção de equipamento e determinação dos consumos dos ventiladores

Para a selecção de equipamento, foi usado o mesmo método do caso de estudo nº1 onde foi considerado uma rede de condutas rectangulares com variação progressiva de velocidade ao longo das condutas. O processo de cálculo relativo à determinação da perda na rede de condutas encontra-se descrito no anexo B.

Para o caso de estudo em questão recorreu-se à mesma unidade de recuperação de calor que foi seleccionada para o caso do caso de estudo nº1 cujas curvas se encontram descritas na figura 17. A instalação destas unidades poderá ser realizada na zona de circulação comum, sobre o eventual tecto falso.

Dado que a perda de carga tanto nas condutas de insuflação como nas condutas de extracção é superior à perda de carga disponível dos ventiladores das unidades seleccionadas para as fracções autónomas, considerou-se a hipótese de introduzir registos nas condutas de forma a ajustar a perda de carga disponível à perda de carga efectiva da rede de condutas.

Tab. 25 – Dados para a selecção da potência de ventilação na insuflação das fracções T1A e T1B

Caudal de projecto 0.6 RPH	144 m ³ /h
Perda de carga total	21 Pa
Potência seleccionada	45 W
Eficiência de recuperação de calor	80 %

Tab. 26 – Dados para a selecção da potência de ventilação na extracção das fracções T1A e T1B

Caudal de projecto 0.6 RPH	144 m ³ /h
Perda de carga total	37 Pa
Potência seleccionada	45 W
Eficiência de recuperação de calor	80 %

Tab. 27 – Dados para a selecção da potência de ventilação na insuflação das fracções T2C e T2D

Caudal de projecto 0.6 RPH	174 m ³ /h
Perda de carga total	32 Pa
Potência seleccionada	66 W
Eficiência de recuperação de calor	80 %

Tab. 28 – Dados para a selecção da potência de ventilação na extracção das fracções T2C e T2D

Caudal de projecto 0.6 RPH	174 m ³ /h
Perda de carga total	24 Pa
Potência seleccionada	66 W
Eficiência de recuperação de calor	80 %

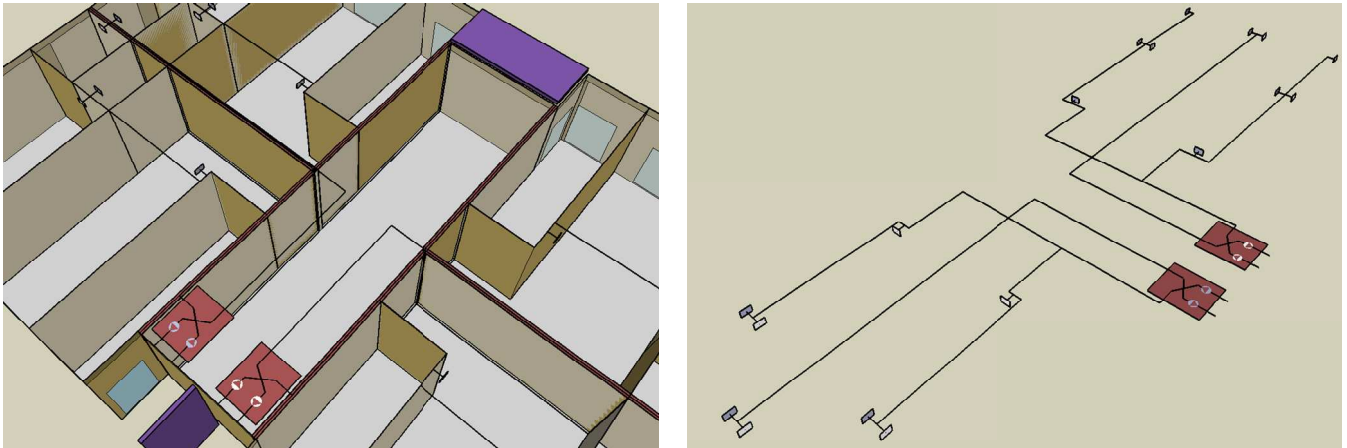


Fig. 35 – Rede de condutas idealizada para o piso 3 do edifício de apartamentos

Obtida a potência do ventilador através da curva característica disponibilizada pelo fabricante, foi possível determinar o consumo de electricidade associado.

Para o cálculo do consumo dos ventiladores consideraram-se os seguintes pressupostos:

- A estanquicidade do edifício é assegurada sendo que a ventilação mecânica funciona 24 horas por dia e 365 dias por ano com uma taxa de renovação horária nominal de 0.6 Rph.
- A recuperação de calor apenas é realizada nos períodos entre Janeiro e Março e entre Novembro e Dezembro, períodos definidos como período anual de aquecimento.

A determinação do período de aquecimento teve como base a análise do comportamento térmico anual do edifício. Observando as necessidades energéticas para o caso base, verifica-se que os períodos em que se apresentam necessidades de aquecimento se situam entre os meses de Janeiro e Março e entre Novembro e Dezembro.

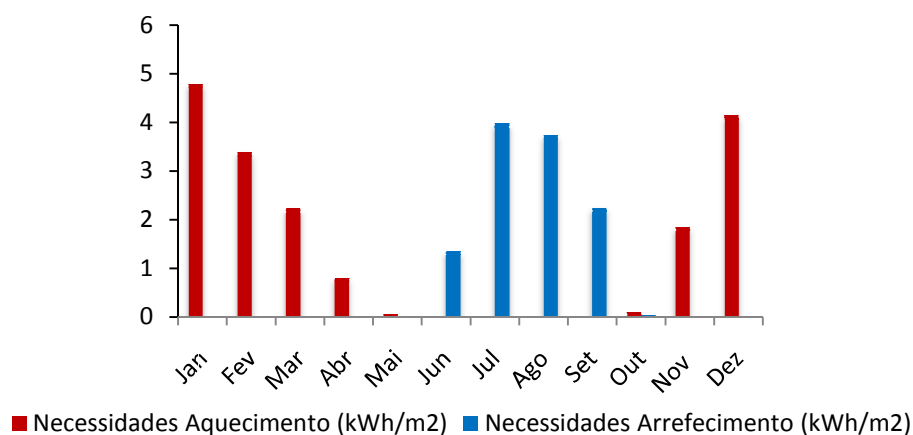


Fig. 36 - Necessidades de energia do caso base

O cálculo do consumo dos ventiladores para cada caso foi efectuado recorrendo à seguinte equação 3.

6.3. A solução para Lisboa

Considerou-se uma possível alternativa para a aplicação da norma Passivhaus em Portugal. A solução construtiva para a envolvente exterior dos casos anteriores manteve-se, sendo as alterações ponderadas sobre o isolamento exterior, os envidraçados e a ventilação. Optou-se por reduzir a espessura de isolamento, usar vidro duplo low-e com espaçamento de gás nobre entre vidros e recurso apenas a ventilação mecânica sem recuperação de calor.

O resumo descritivo da solução adoptada encontra-se apresentado na tabela 29.

Tab. 29– Solução adoptada para edifícios passivos em Portugal

Elemento	Descrição
Isolamento térmico lâ mineral	Isolamento térmico pelo exterior com espessura de 150 mm
Envidraçado vidro duplo Low-e	Lâmina de vidro - 4 mm Árgon - 13 mm $U=1.6 \text{ W/m}^2\text{°C}$ $g=0.5$
Ventilação	V.Mecânica 0.6 Rph Arrefecimento nocturno 2.5 Rph (só insuflação)

O valor elevado dos ganhos internos para a zona cozinha das quatro fracções autónomas, levantou questões relativamente à necessidade adicional de um mecanismo extra que possibilitasse a redução do valor da carga de arrefecimento durante os meses de Verão. Assim considerou-se a hipótese de realizar arrefecimento nocturno nos meses da estação de arrefecimento. Consideraram-se as possibilidades de realizar arrefecimento nocturno durante 5 horas e durante 9 horas de forma a avaliar a disponibilidade do clima na adopção desta solução. As temperaturas exteriores durante a noite são suficientemente baixas para aliviar a carga de arrefecimento acumulada pelo edifício durante o dia. Uma inércia térmica forte do edifício diminui a condução de calor através da envolvente e contribui para que a temperatura interior varie lentamente possibilitando que o edifício se mantenha com temperaturas confortáveis durante mais tempo no período diurno dos meses mais quentes.

Para as soluções em que foi considerada apenas ventilação mecânica sem arrefecimento nocturno, seleccionaram-se caixas de ventilação de gama média equipados com motores de elevado rendimento possibilitando obter baixas potências de ventilação. As curvas características dos ventiladores estão descritas na figura 38.

Para as soluções com recurso a ventilação mecânica com arrefecimento nocturno, considerou-se que o arrefecimento nocturno seria realizado por unidades de ventilação auxiliares igualmente do tipo caixas de ventilação de gama média cuja potência de ventilação foi obtida a partir das curvas características disponíveis pelo fabricante.

Dado que os dados do fabricante relativamente ao equipamento seleccionado apenas forneciam valores nominais para as potências de ventilação, recorreu-se a curvas de

funcionamento de ventiladores a carga parcial, para obter a potência efectiva de consumo, correspondente aos caudais de ventilação de cada fracção.

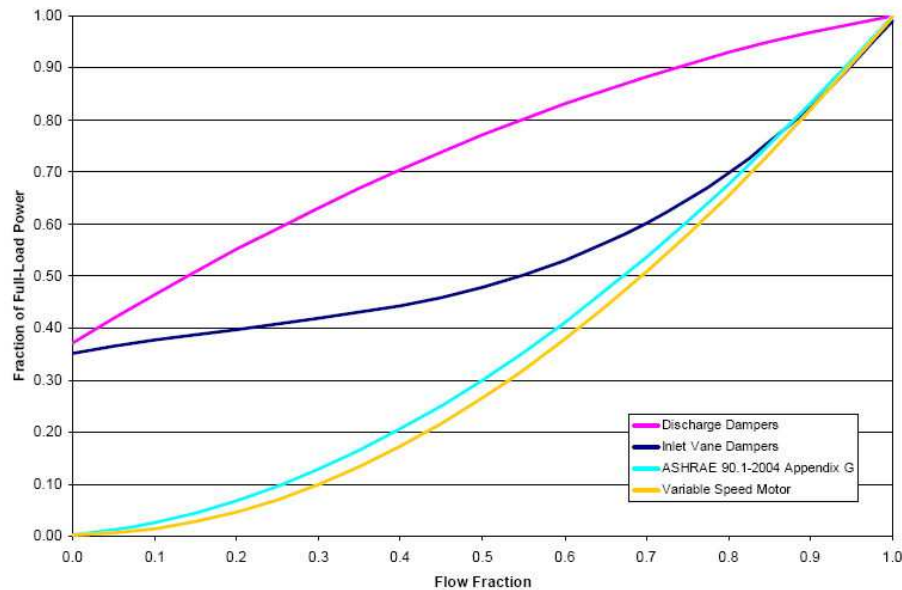


Fig. 37 – Curva de carga parcial usada para calcular as potências efectivas de consumo (EnergyPlus Input/Output reference, 2008)

O cálculo do consumo dos ventiladores para ambas as soluções, foi efectuado recorrendo à equação 3 e considerando os seguintes pressupostos:

- A ventilação mecânica funciona 24 horas por dia e 365 dias por ano com uma taxa de renovação horária nominal de 0.6 Rph.
- O arrefecimento nocturno funcionará entre os meses de Junho e Setembro sendo considerados dois regimes de funcionamento e sendo realizada com uma taxa de renovação horária nominal de 2.5 Rph:
 1. Arrefecimento nocturno durante 7 horas – período 0h – 6h.
 2. Arrefecimento nocturno durante 9 horas – período 22h – 6h.

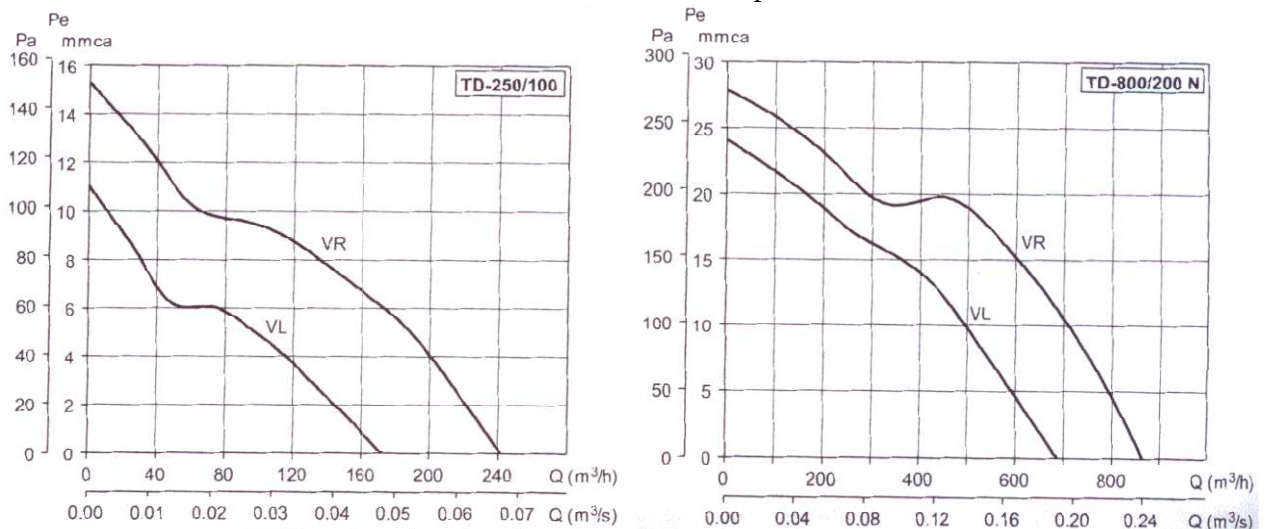


Fig. 38 – Curvas características das caixas de ventilação seleccionadas para o caso de estudo nº2 (S&P, 2006)

Tab. 30 – Dados para a selecção da potência de ventilação na insuflação das fracções T1A e T1B

Caudal de projecto 0.6 RPH	144 m ³ /h
Perda de carga total	21 Pa
Potência seleccionada	13 W
Eficiência de recuperação de calor	80 %

Tab. 31 – Dados para a selecção da potência de ventilação na insuflação das fracções T2C e T2D

Caudal de projecto 0.6 RPH	174 m ³ /h
Perda de carga total	32 Pa
Potência seleccionada	15 W
Eficiência de recuperação de calor	80 %

Tab. 32 – Dados para a selecção da potência de ventilação para arrefecimento nocturno na insuflação das fracções T1A e T1B

Caudal de projecto 2.5 RPH	600 m ³ /h
Perda de carga total	47 Pa
Potência seleccionada	50 W
Eficiência de recuperação de calor	80 %

Tab. 33 – Dados para a selecção da potência de ventilação para arrefecimento nocturno na extracção das fracções T2C e T2D

Caudal de projecto 2.5 RPH	730 m ³ /h
Perda de carga total	29 Pa
Potência seleccionada	52 W
Eficiência de recuperação de calor	80 %

6.4. Estudos paramétricos

Seguindo a mesma metodologia usada para o caso de estudo nº1, realizou-se um conjunto de estudos paramétricos tendo como base de estudo, a solução proposta para Portugal. Procurou-se fazer uma análise comparativa determinando as necessidades de energia útil e o consumo de ventilação para cada caso.

7. Resultados obtidos para o caso de estudo nº2

Numa primeira análise foram determinadas as necessidades energéticas do edifício assim como os consumos dos ventiladores. De seguida foram calculados os consumos de energia eléctrica e de energia primária, tendo como base de cálculo o mesmo sistema de climatização de referência que foi considerado no caso de estudo nº1.

7.1.Necessidades anuais de energia útil

Fracção T1A

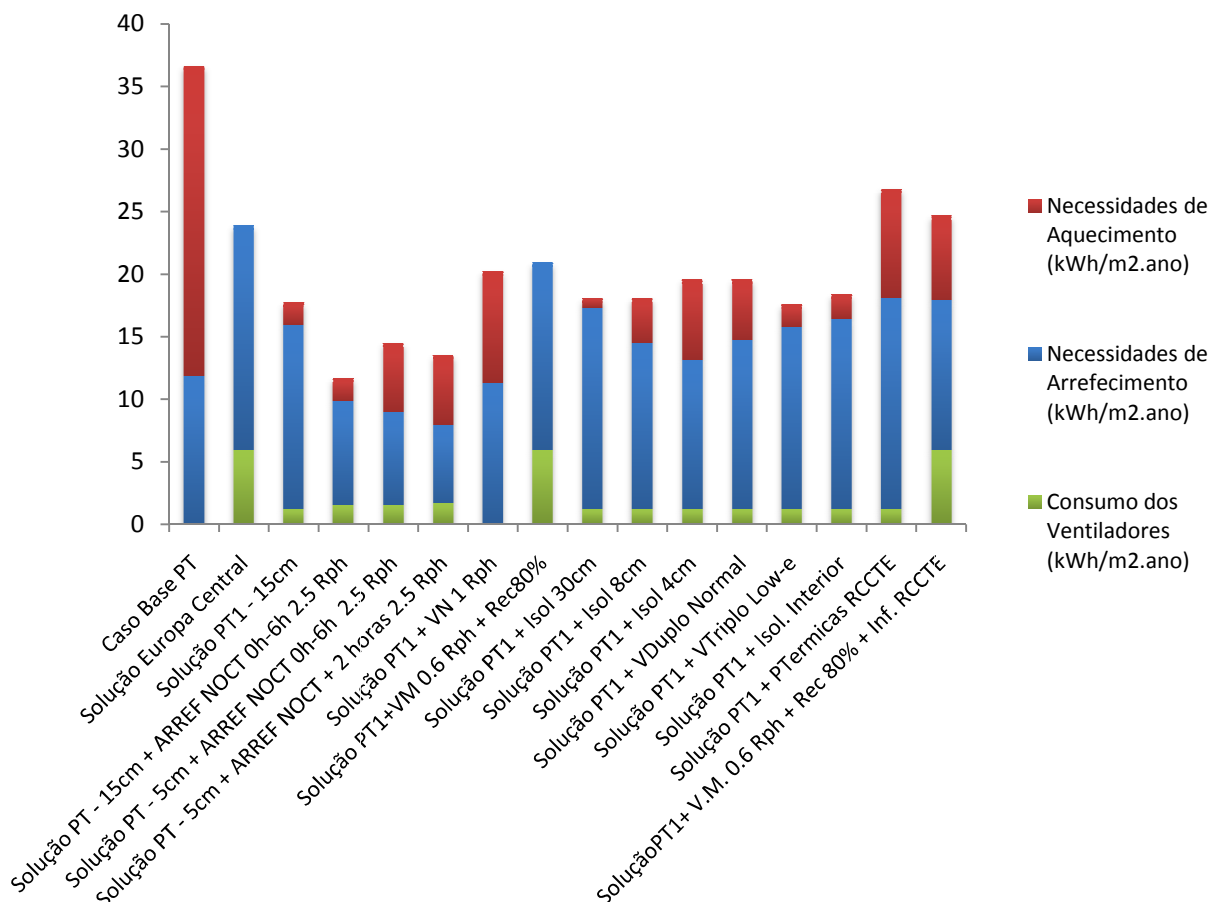


Fig. 39 – Necessidades de energia útil para a fracção T1A

Tab.34 – Valores das necessidades de energia útil para a fracção T1A

		Caso Base PT	Solução Europa Central	Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph
Aquecimento	T1A	24.82	0.00	1.85
Arrefecimento		11.81	17.92	14.66
Ventiladores (kWh/m².ano)		0.00	5.96	1.22

Fracção T1B

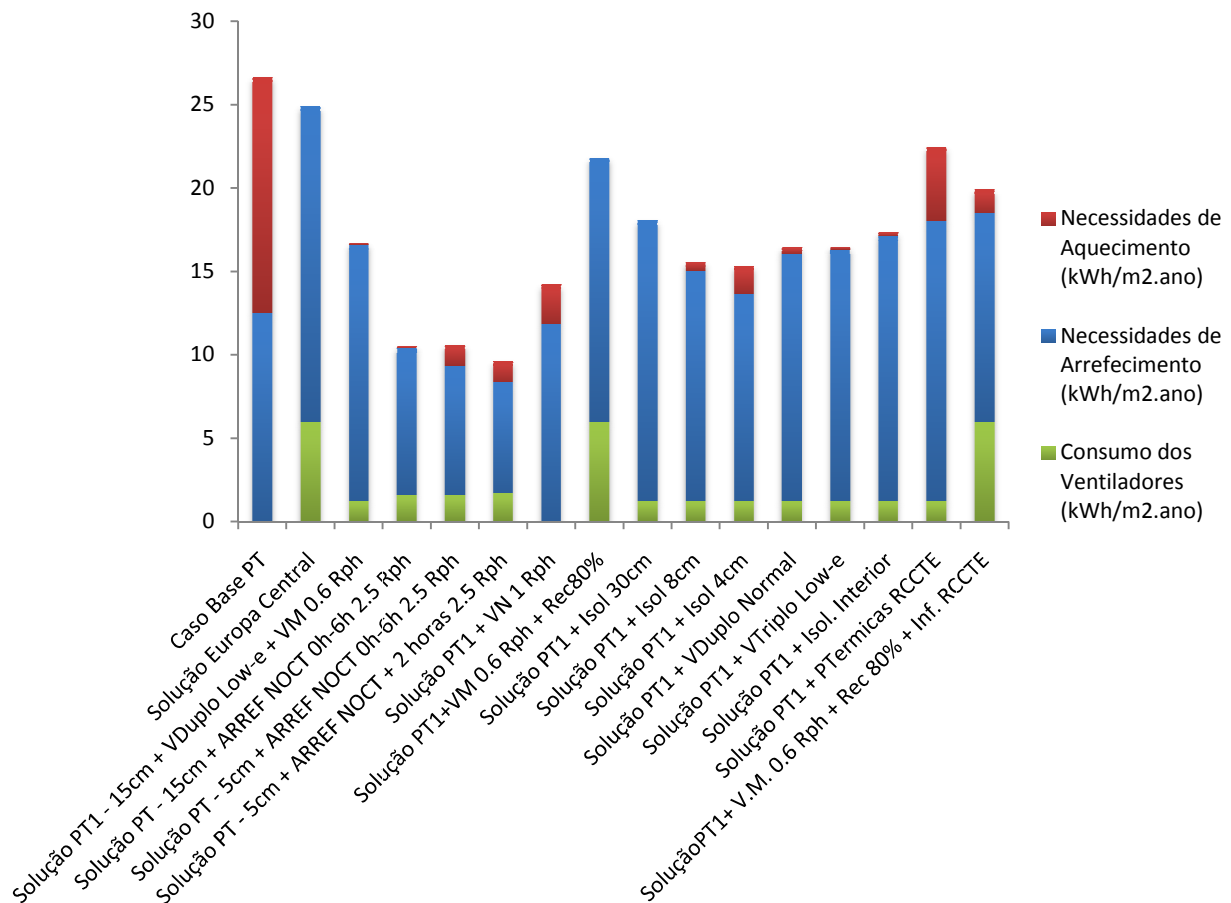


Fig. 40 – Necessidades de energia útil para a fracção T1B

Tab.35 – Valores das necessidades de energia útil para a fracção T1B

		Caso Base PT	Solução Europa Central	Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph
Aquecimento	T1B	14.12	0.00	0.13
Arrefecimento		12.49	18.94	15.32
Ventiladores (kWh/m ² .ano)		0.00	5.96	1.22

Fracção T2C

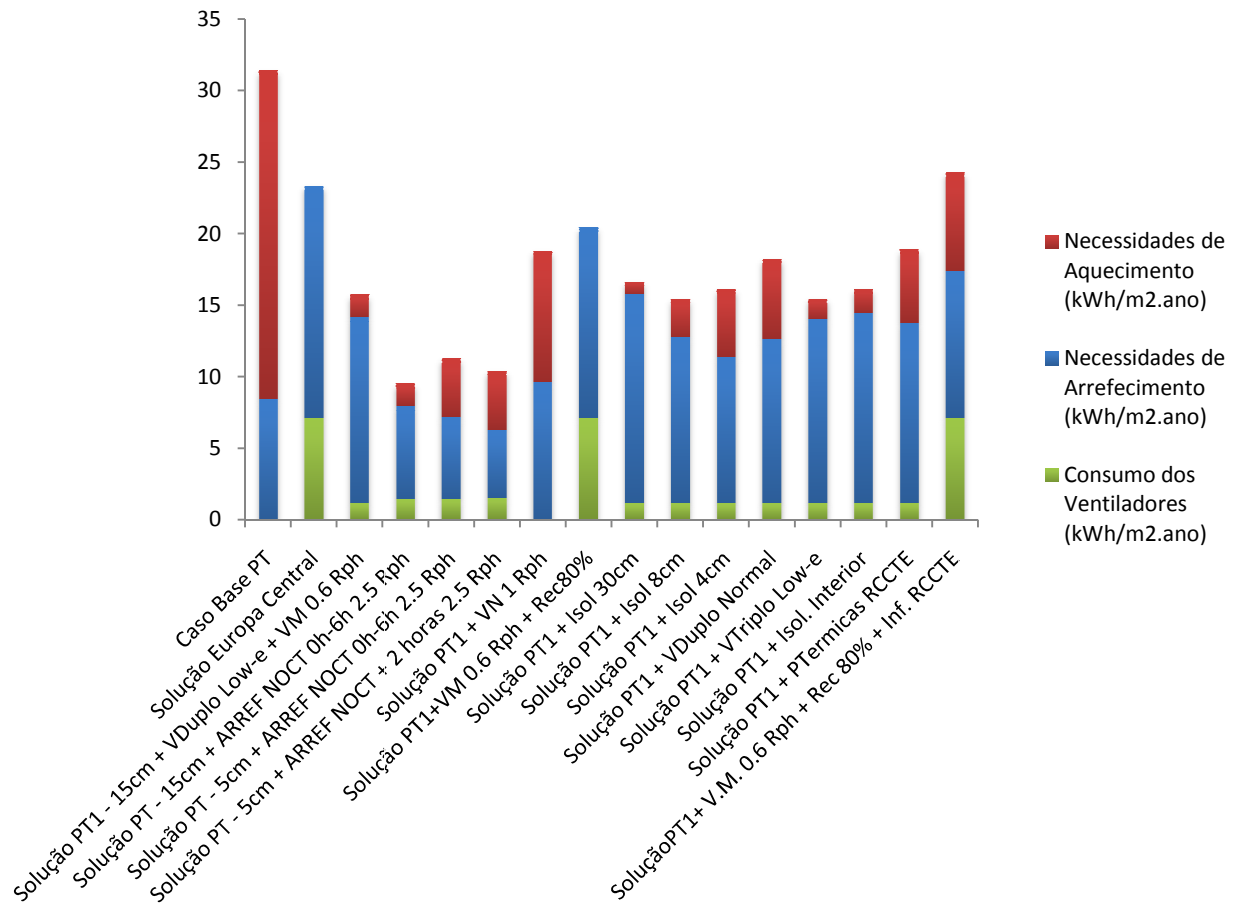


Fig. 41 – Necessidades de energia útil para a fracção T2C

Tab.36 – Valores das necessidades de energia útil para a fracção T2C

		Caso Base PT	Solução Europa Central	Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph
Aquecimento	T2C	23.05	0.00	1.55
Arrefecimento		8.39	16.23	13.03
Ventiladores (kWh/m ² .ano)		0.00	7.11	1.14

Fracção T2D

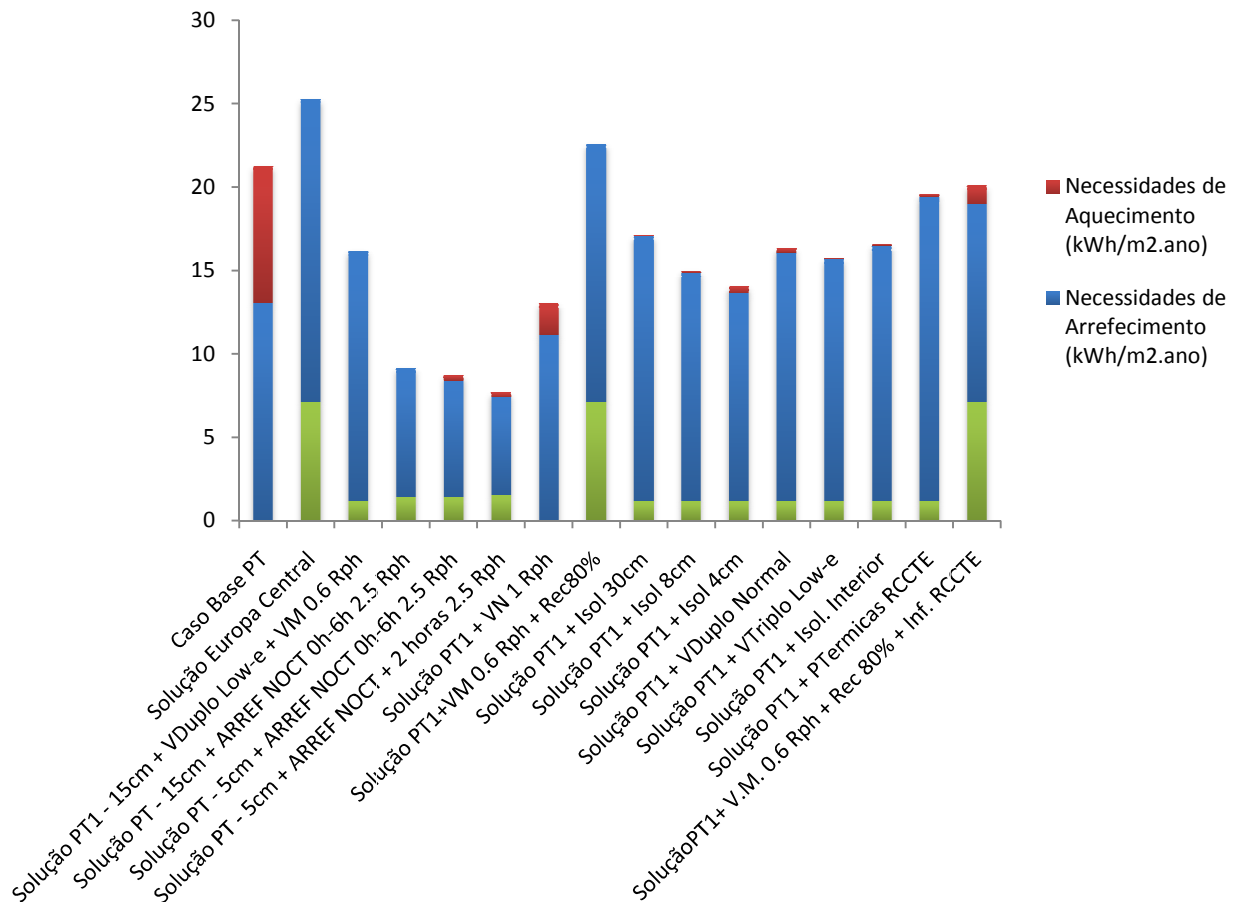


Fig. 42 – Necessidades de energia útil para a fracção T2D

Tab.37 – Valores das necessidades de energia útil para a fracção T2D

		Caso Base PT	Solução Europa Central	Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph
Aquecimento	T2D	8.21	0.00	0.04
Arrefecimento		13.04	18.18	14.98
Ventiladores (kWh/m ² .ano)		0.00	7.11	1.14

Pela análise dos resultados, verifica-se que a orientação desfavorável das fracções T1A e T2C no que diz respeito à incidência de radiação solar, faz com as necessidades de aquecimento nestas duas fracções sejam maiores do que nas fracções T1B e T2D. O comportamento inverte-se quanto às necessidades de arrefecimento, sendo que as fracções T1B e T2D orientadas a Sudoeste recebem maior radiação solar em todo o ano fazendo com que a carga de arrefecimento seja maior para estas duas fracções.

De facto, a orientação de fachadas a Nordeste, contribui negativamente para o desempenho térmico do edifício, tanto no Inverno como no Verão mas mais acentuadamente na estação de aquecimento. No Inverno, as fachadas com orientação próxima do Nascente, recebem pouca radiação, uma vez que o Sol nasce muito próximo da orientação Sudeste incidindo na fachada durante poucas horas do período da manhã e com um pequeno ângulo de incidência.

7.2. Consumos de energia final

Fracção T1A

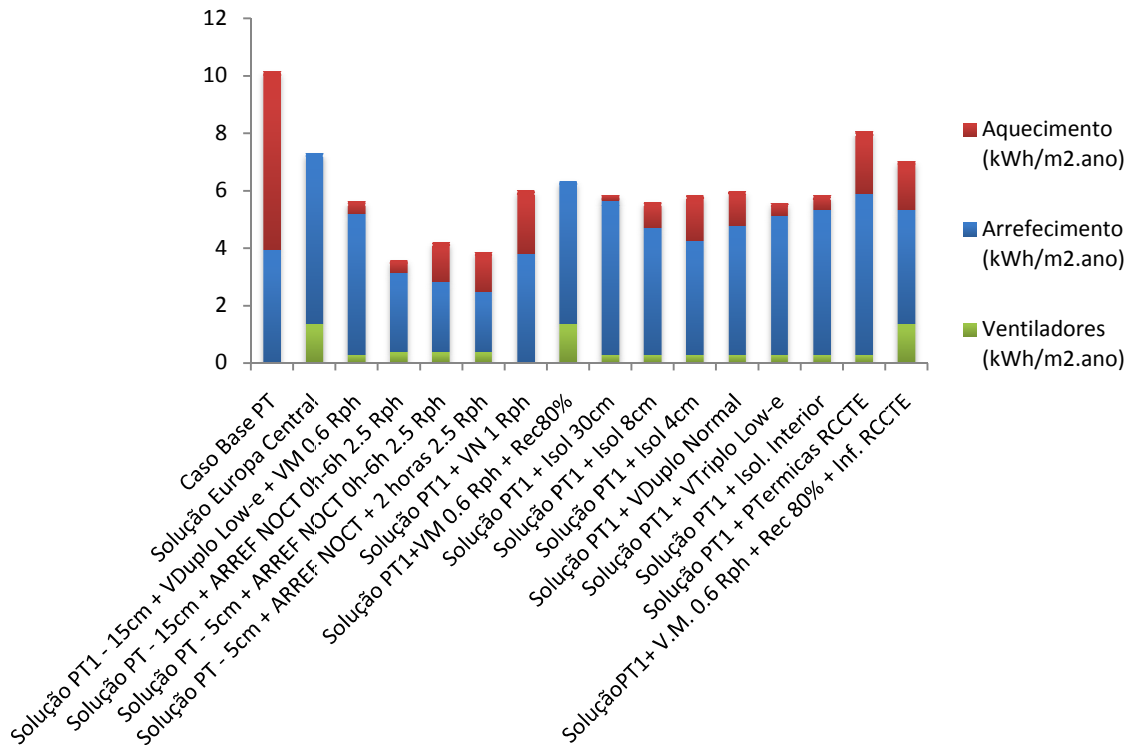


Fig. 43 – Consumos de energia final para a fracção T1A

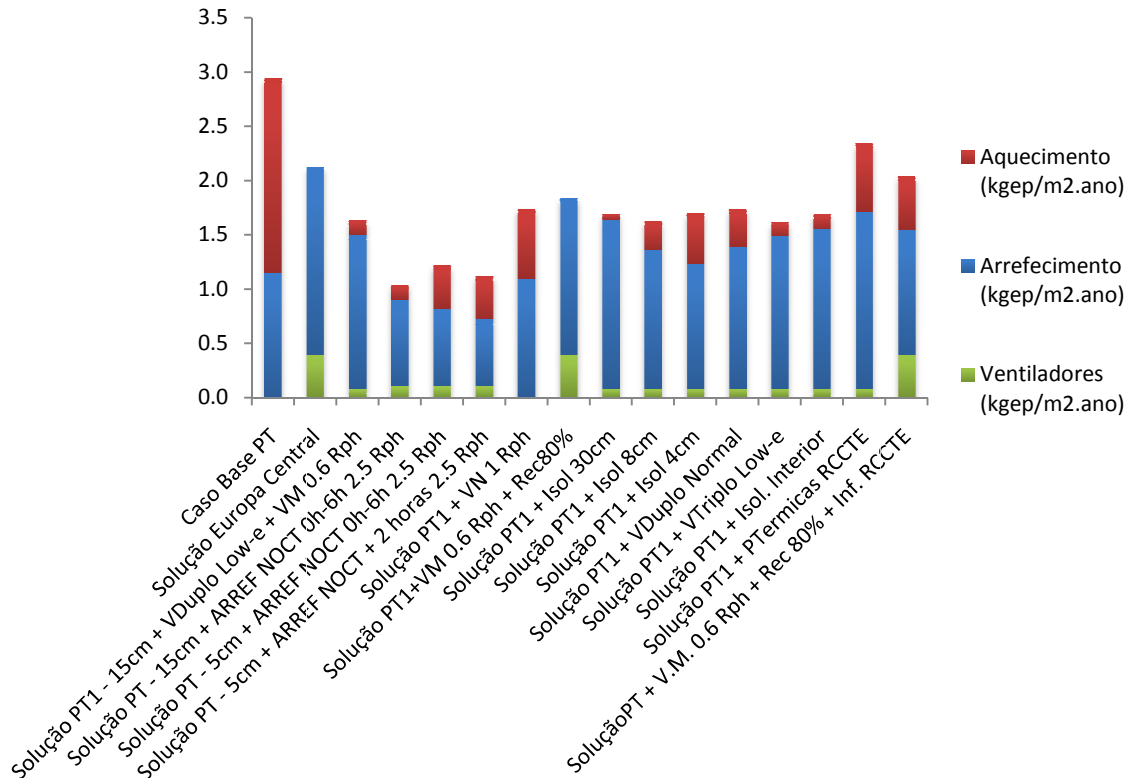


Fig. 44 – Consumos finais em kgep de energia primária para a fracção T1A

Fracção T1B

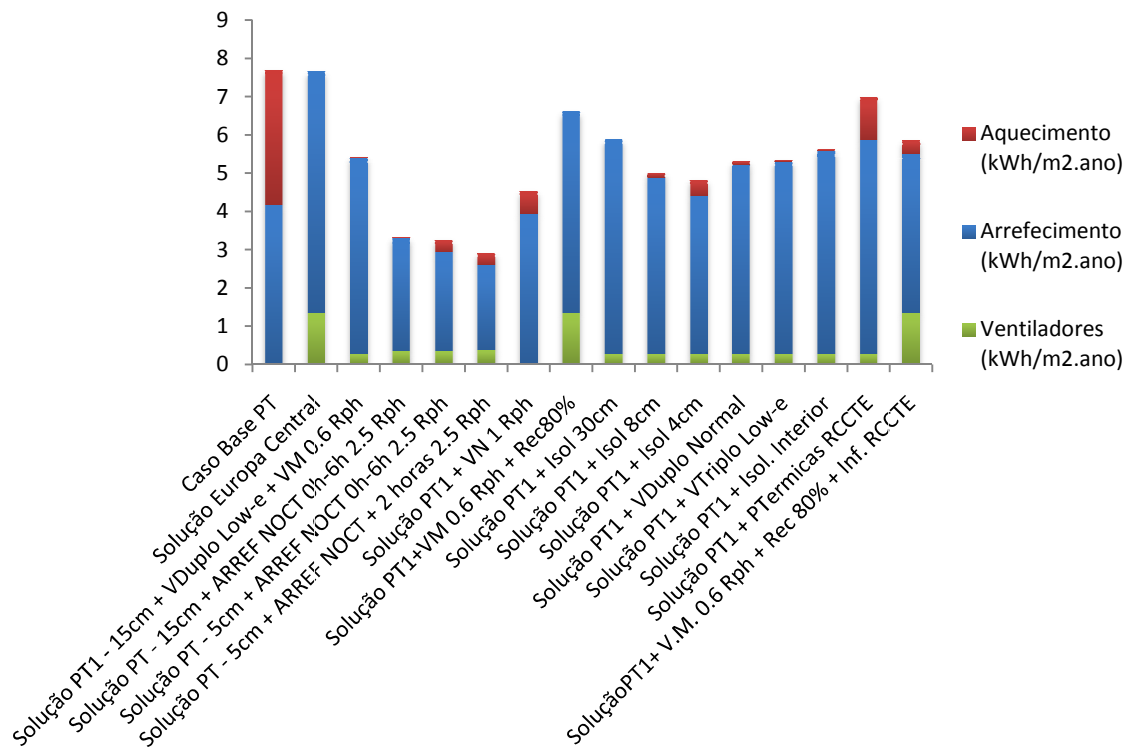


Fig. 45 - Consumos de energia final para a fracção T1B

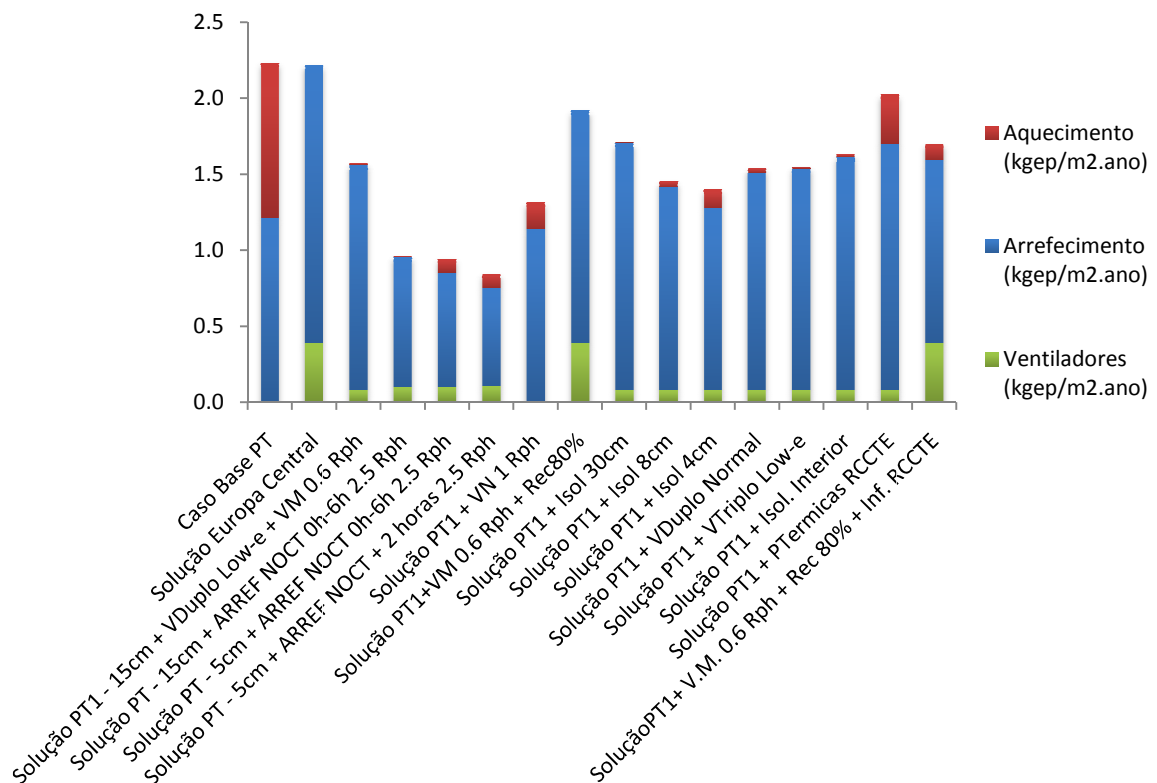


Fig. 46 – Consumos finais em kgep de energia primária para a fracção T1B

Fracção T2C

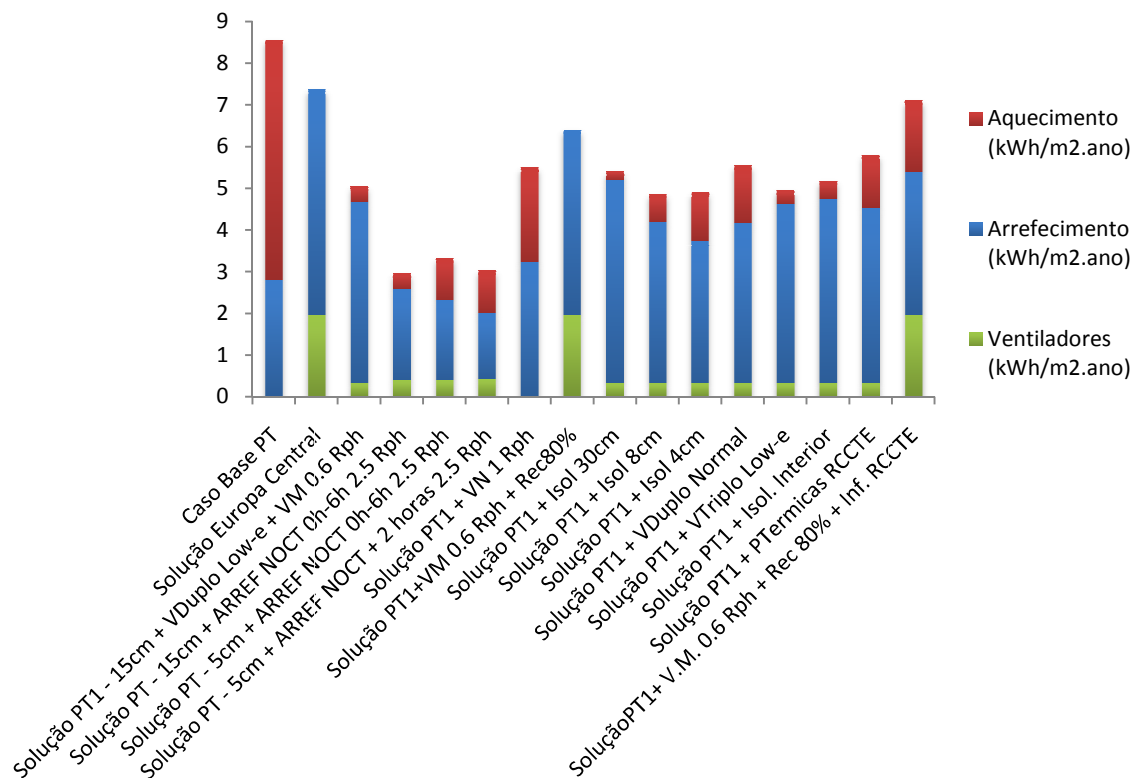


Fig. 47 – Consumos de energia final para a fracção T2C

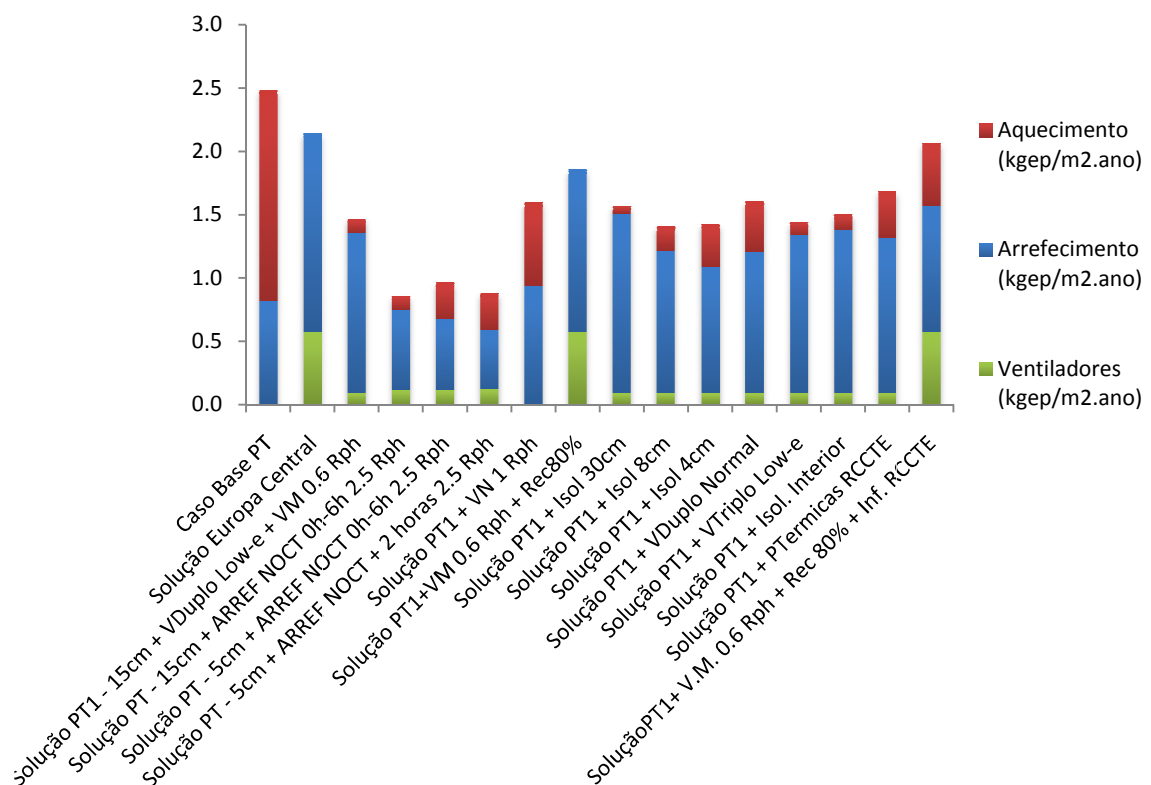


Fig. 48 – Consumos finais em kgep de energia primária para a fracção T2C

Fracção T2D

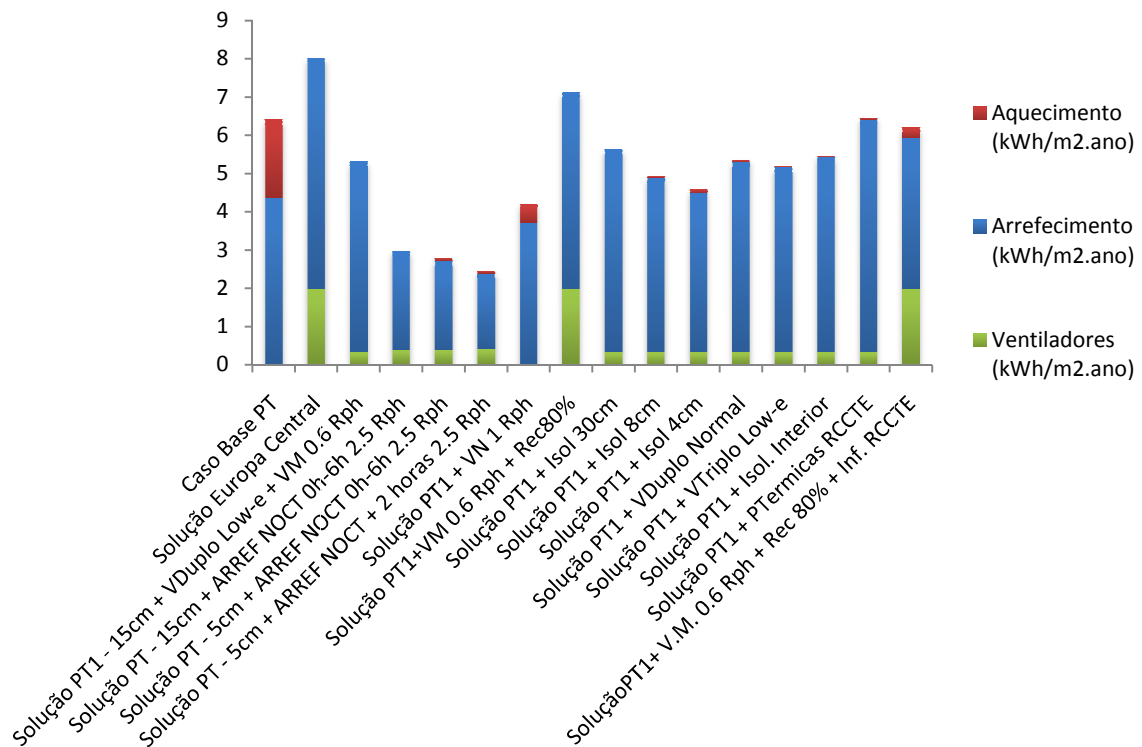


Fig. 49 – Consumos de energia final para a fracção T2D

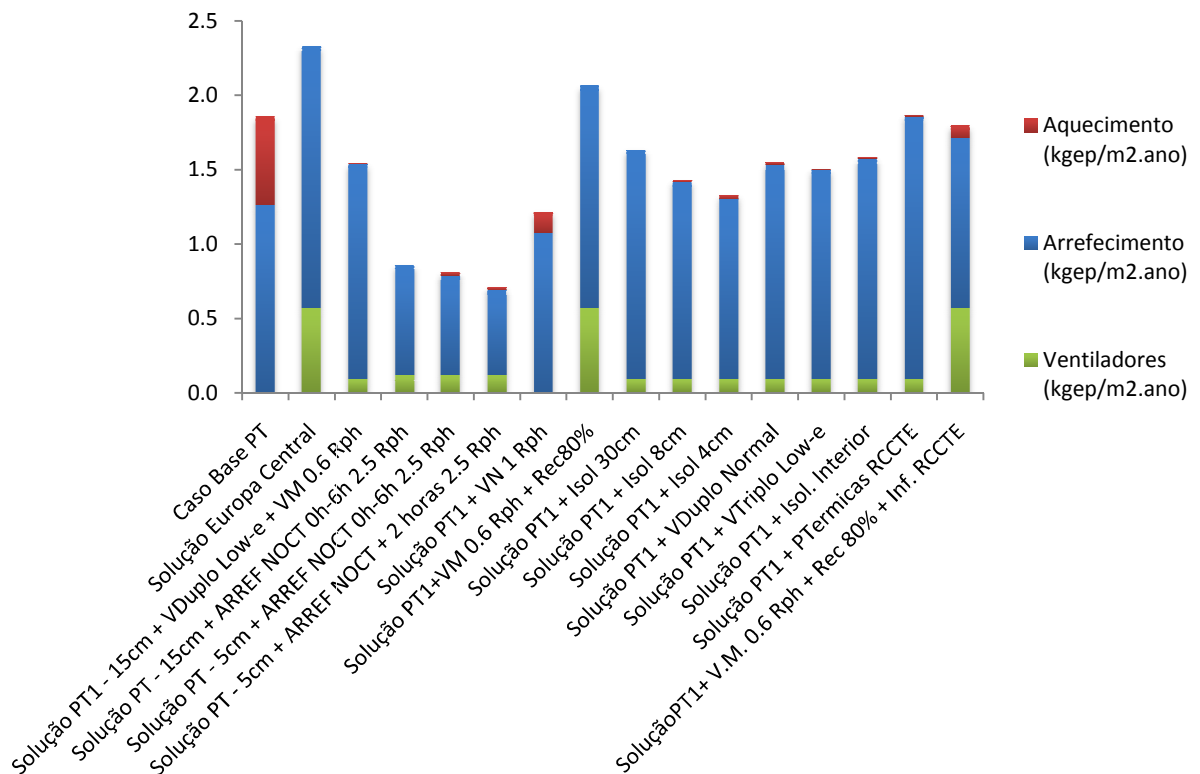


Fig. 50 – Consumos finais em kgep de energia primária para a fracção T2D

Pela análise dos resultados em termos de consumos finais por fracção autónoma, observa-se que para o caso de estudo em questão, o peso do consumo de electricidade por parte dos ventiladores não é tão acentuado como se tinha observado no caso de estudo nº1. De facto, a solução adoptada para a recuperação de calor ou ventilação mecânica consoante o caso (uma unidade de recuperação de calor por cada duas fracções no caso de recuperação de calor ou caixas de ventilação por cada duas fracções no caso da ventilação mecânica), conduz a caudais de ventilação mais baixos no caso da ventilação mecânica à taxa de renovação nominal de 0.6 Rph. Ainda o período de aquecimento definido para este caso de estudo, é mais curto sendo o consumo dos ventiladores consequentemente mais baixo.

7.3 Resultados dos estudos paramétricos

7.3.1. Influência da ventilação

Fracção T1A

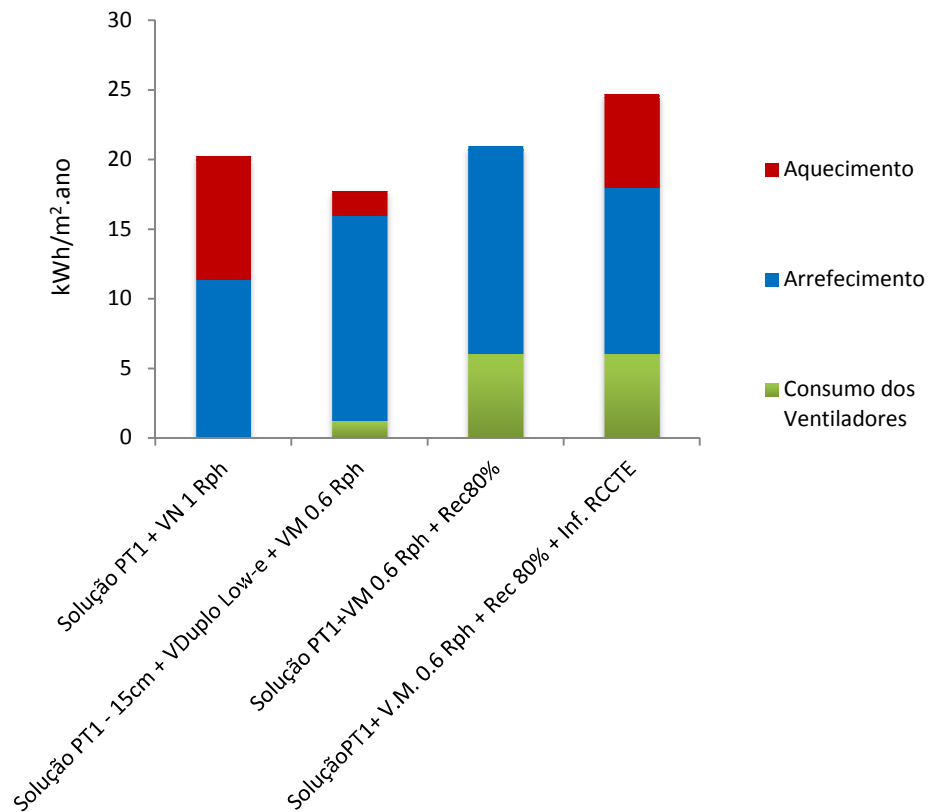


Fig. 51 – Influência da ventilação na fracção autónoma T1A

Tab. 38 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência da ventilação para a fracção T1A

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + VN 1 Rph	8.90	11.30	0.00
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	1.85	14.66	1.22
Solução PT1+VM 0.6 Rph + Rec80%	0.00	14.97	5.96
SoluçãoPT1+ V.M. 0.6 Rph + Rec 80% + Inf. RCCTE	6.79	11.95	5.96

Fracção T1B

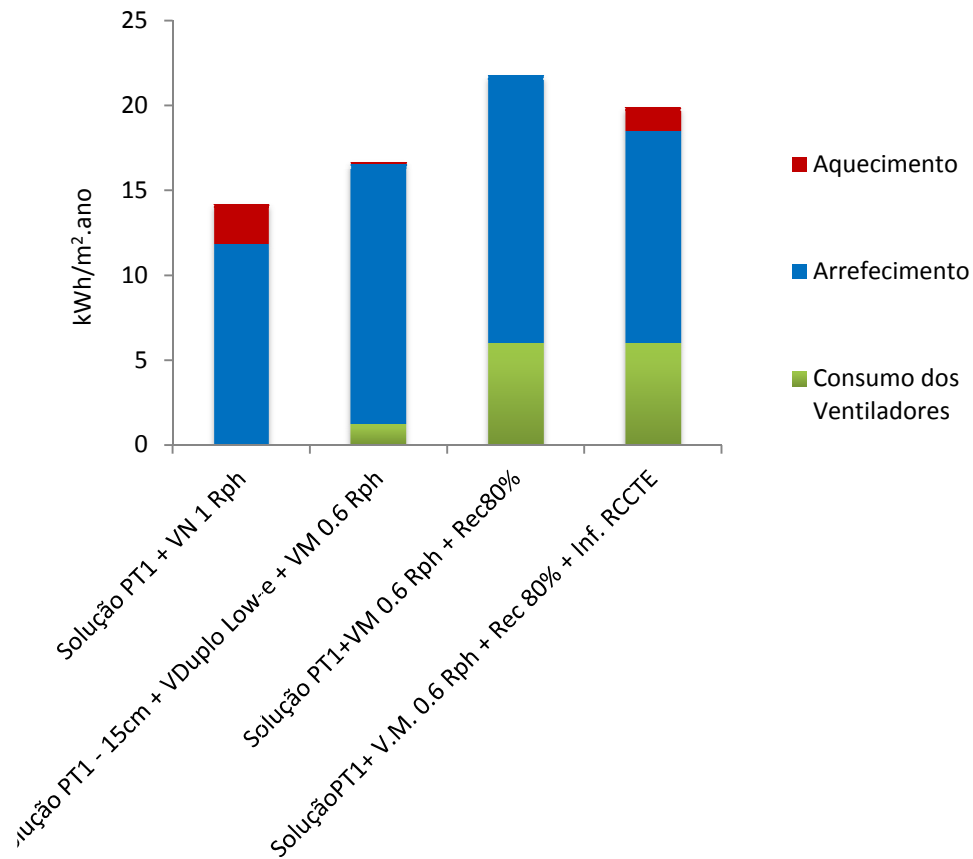


Fig. 52 – Influência da ventilação na fracção autónoma T1B

Tab. 39 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência da ventilação para a fracção T1B

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + VN 1 Rph	2.41	11.79	0.00
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	0.13	15.32	1.22
Solução PT1+VM 0.6 Rph + Rec80%	0.00	15.82	5.96
SoluçãoPT1+ V.M. 0.6 Rph + Rec 80% + Inf. RCCTE	1.45	12.48	5.96

Fracção T2C

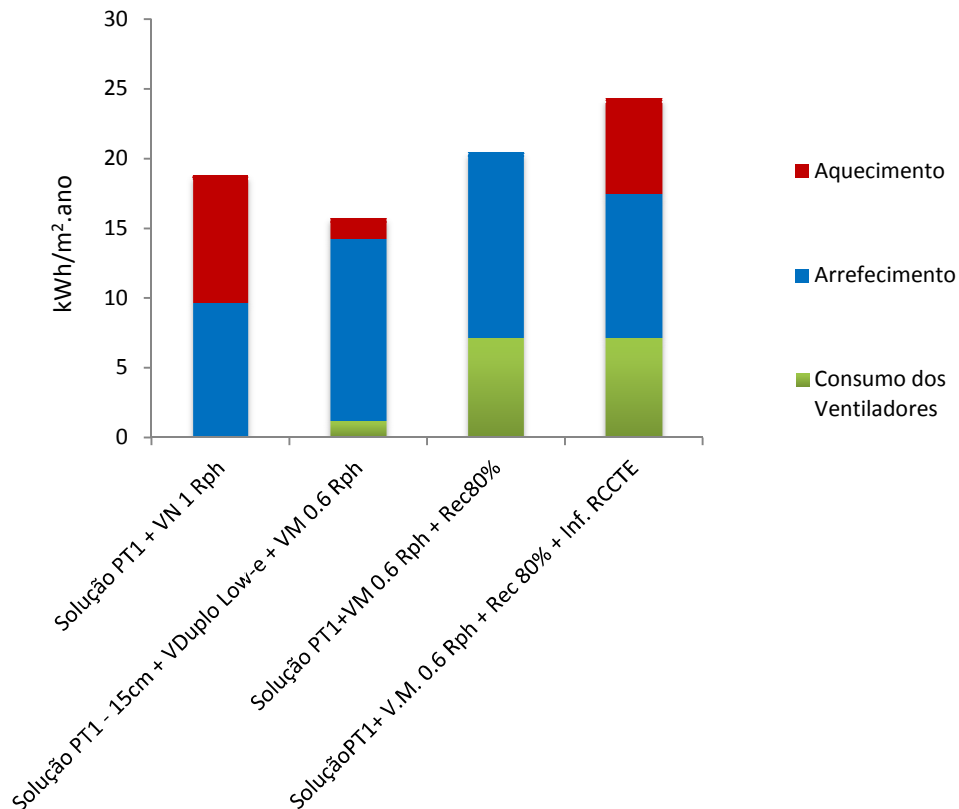


Fig. 53 – Influência da ventilação na fracção autónoma T2C

Tab. 40 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência da ventilação para a fracção T2C

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + VN 1 Rph	9.14	9.64	0.00
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	1.55	13.03	1.14
Solução PT1+VM 0.6 Rph + Rec80%	0.00	13.32	7.11
SoluçãoPT1+ V.M. 0.6 Rph + Rec 80% + Inf. RCCTE	6.89	10.28	7.11

Fracção T2D

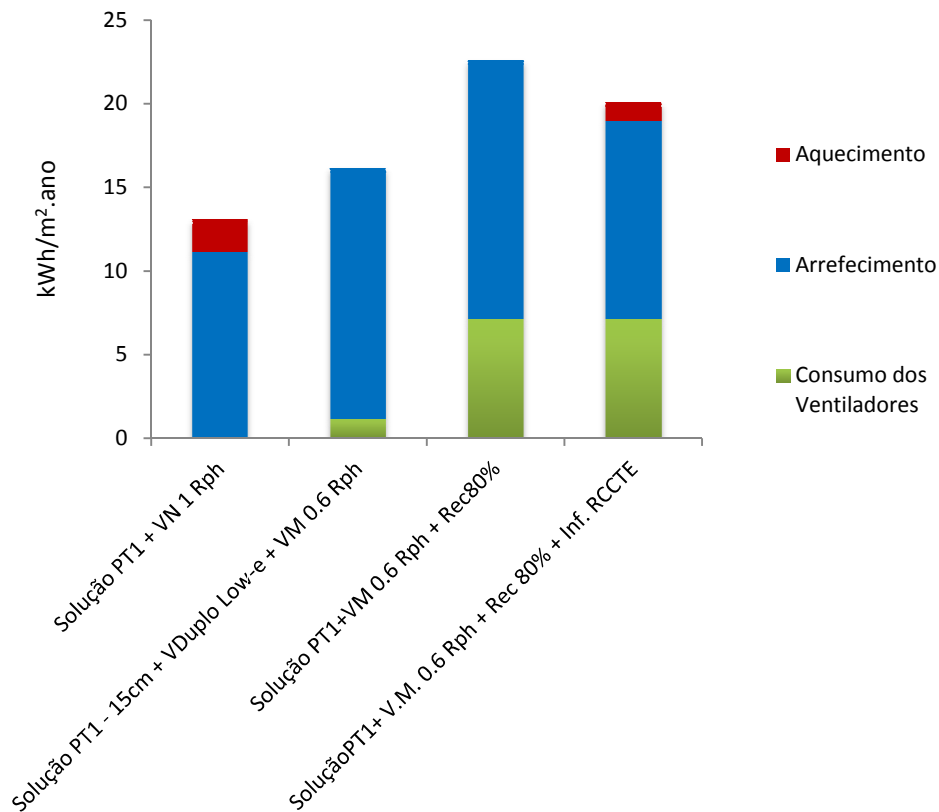


Fig. 54 – Influência da ventilação na fracção autónoma T2D

Tab. 41 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência da ventilação para a fracção T2D

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + VN 1 Rph	1.95	11.10	0.00
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	0.04	14.98	1.14
Solução PT1+VM 0.6 Rph + Rec80%	0.00	15.46	7.11
Solução PT1+ V.M. 0.6 Rph + Rec 80% + Inf. RCCTE	1.13	11.85	7.11

Em todos os casos considerados para as quatro fracções autónomas verifica-se o cumprimento dos limites estabelecidos pela norma “Passivhaus”. Como seria de esperar, a ventilação mecânica com recuperação de calor a 80% de eficiência, satisfaz na totalidade as necessidades de energia para aquecimento. No entanto, para o caso de estudo nº2, uma solução de ventilação mecânica sem recuperação de calor revela-se compensatória no que diz respeito ao consumo dos ventiladores.

Verifica-se que a estanquicidade possui um papel determinante na determinação do aquecimento de todas as fracções, verificando-se que mesmo recorrendo à recuperação de calor, as infiltrações a que o edifício se encontra sujeito contribuem para reduzir a temperatura interior dos espaços que apesar de contribuir positivamente para a atenuação da carga de arrefecimento durante a respectiva estação, tem um impacto muito mais acentuado quando se trata da carga de aquecimento durante o Inverno.

7.3.2. Influência do isolamento

Fracção T1A

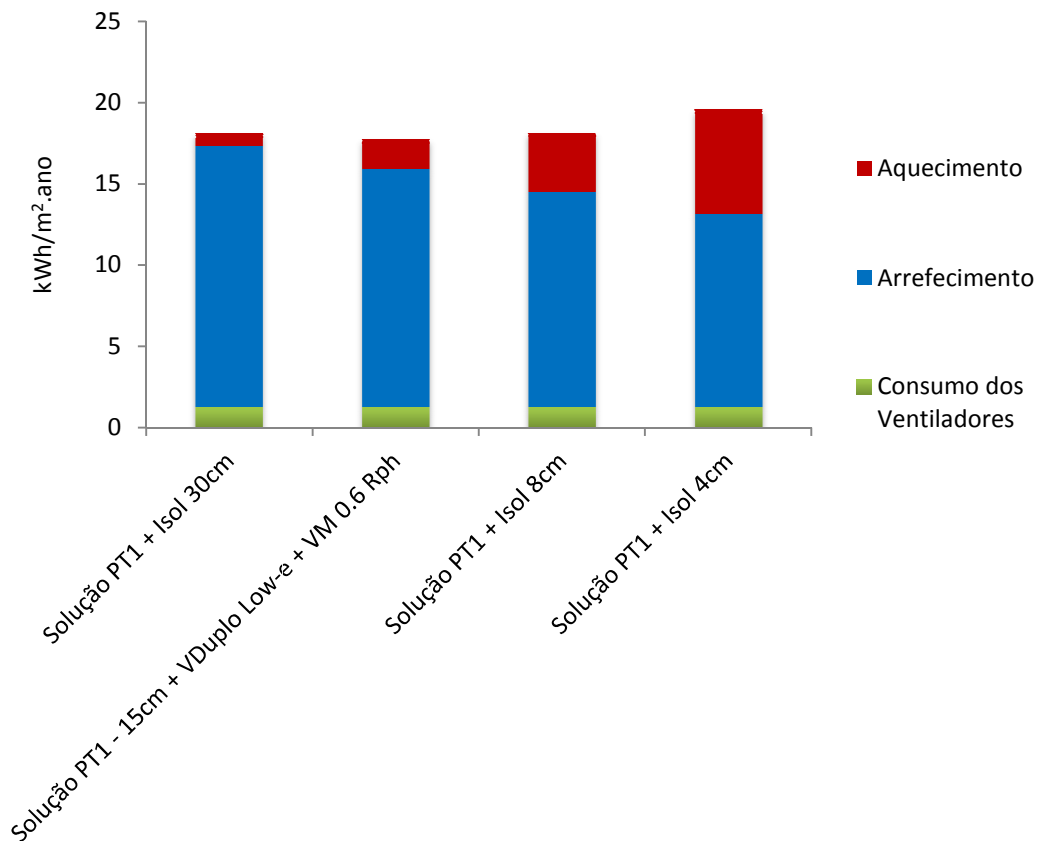


Fig. 55 – Influência do isolamento na fracção autónoma T1A

Tab. 42 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência do isolamento para a fracção T1A

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + Isol 30cm	0.78	16.07	1.22
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	1.85	14.66	1.22
Solução PT1 + Isol 8cm	3.66	13.24	1.22
Solução PT1 + Isol 4cm	6.43	11.92	1.22

Fracção T1B

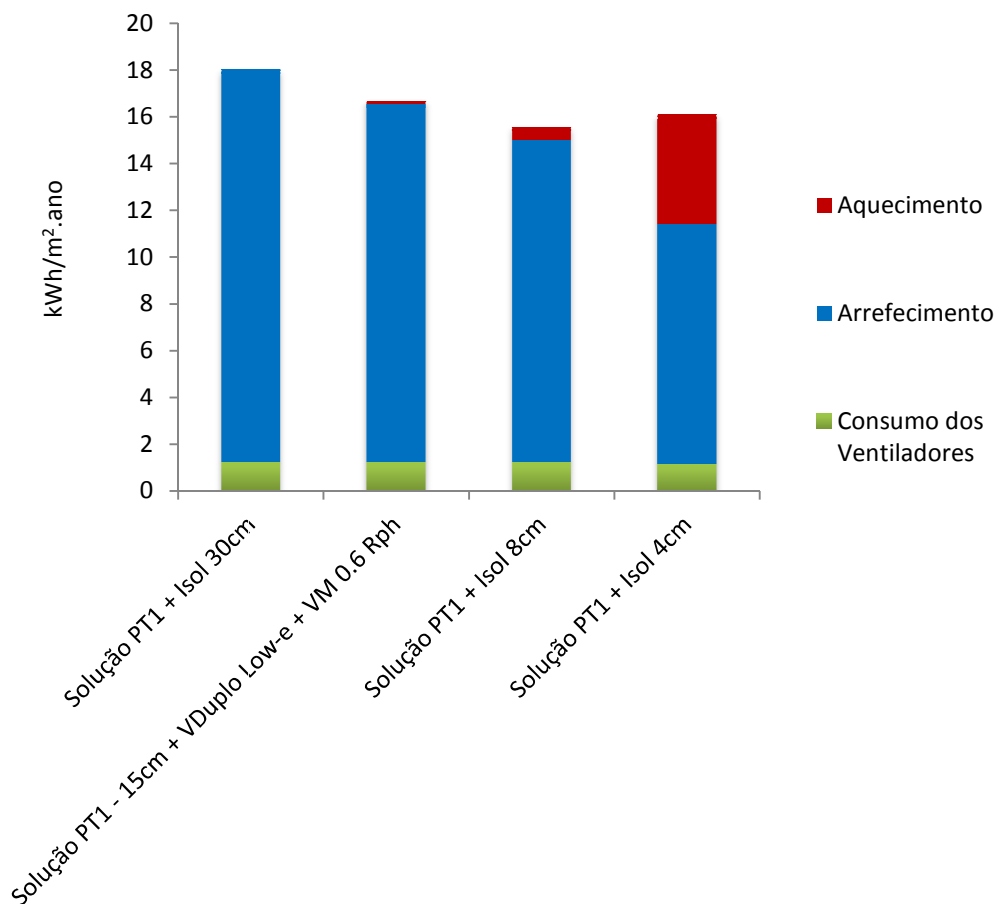


Fig. 56 – Influência do isolamento na fracção autónoma T1B

Tab. 43 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência do isolamento para a fracção T1B

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + Isol 30cm	0.02	16.82	1.22
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	0.13	15.32	1.22
Solução PT1 + Isol 8cm	0.54	13.80	1.22
Solução PT1 + Isol 4cm	4.69	10.25	1.14

Fracção T2C

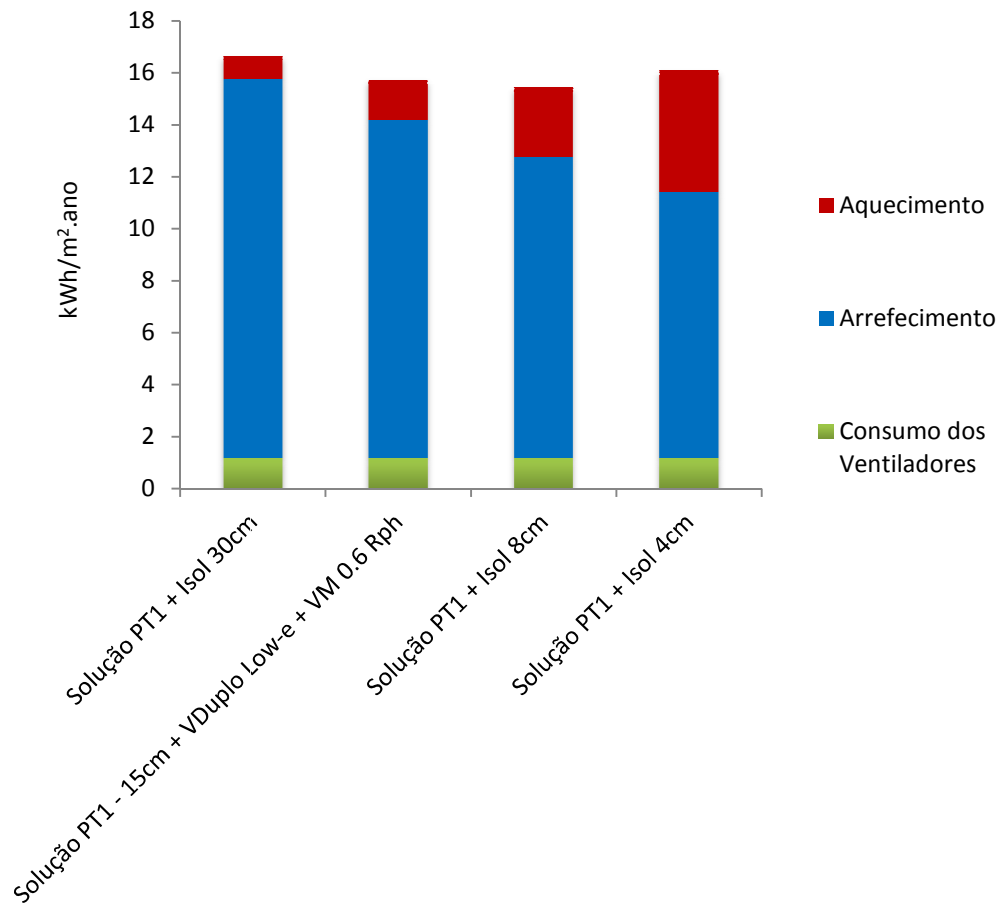


Fig. 57 – Influência do isolamento na fracção autónoma T2C

Tab. 44 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência do isolamento para a fracção T2C

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + Isol 30cm	0.89	14.60	1.14
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	1.55	13.03	1.14
Solução PT1 + Isol 8cm	2.70	11.60	1.14
Solução PT1 + Isol 4cm	4.69	10.25	1.14

Fracção T2D

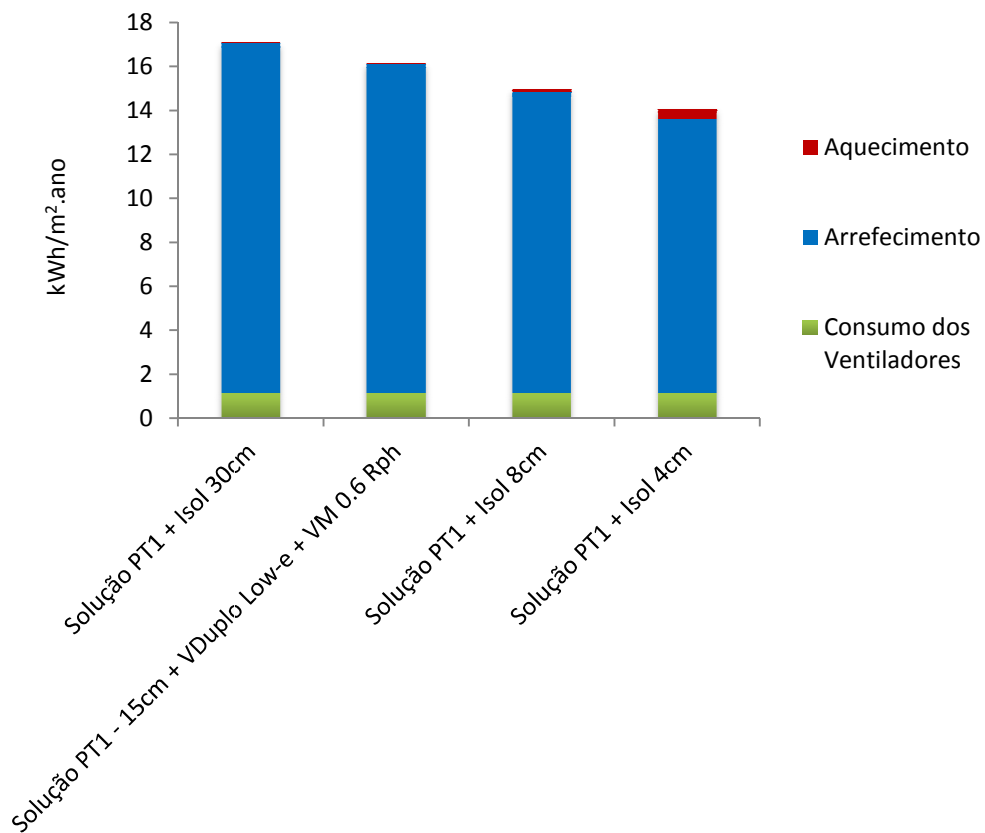


Fig. 58 – Influência do isolamento na fracção autónoma T2D

Tab. 45 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência do isolamento para a fracção T2D

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + Isol 30cm	0.02	15.93	1.14
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	0.04	14.98	1.14
Solução PT1 + Isol 8cm	0.14	13.69	1.14
Solução PT1 + Isol 4cm	0.45	12.47	1.14

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que o nível de isolamento condiciona tanto o valor das necessidades de aquecimento como de arrefecimento, mostrando uma clara relação de proporcionalidade entre ambos. Observa-se que com níveis de isolamento elevado pode conseguir-se uma redução significativa nas cargas de aquecimento, mas podendo elevar as cargas de arrefecimento do edifício, propiciando situações de sobreaquecimento para casos em que o clima não justifique soluções com espessuras elevadas de isolamento.

7.3.3. Influência do tipo de vidro

Fracção T1A

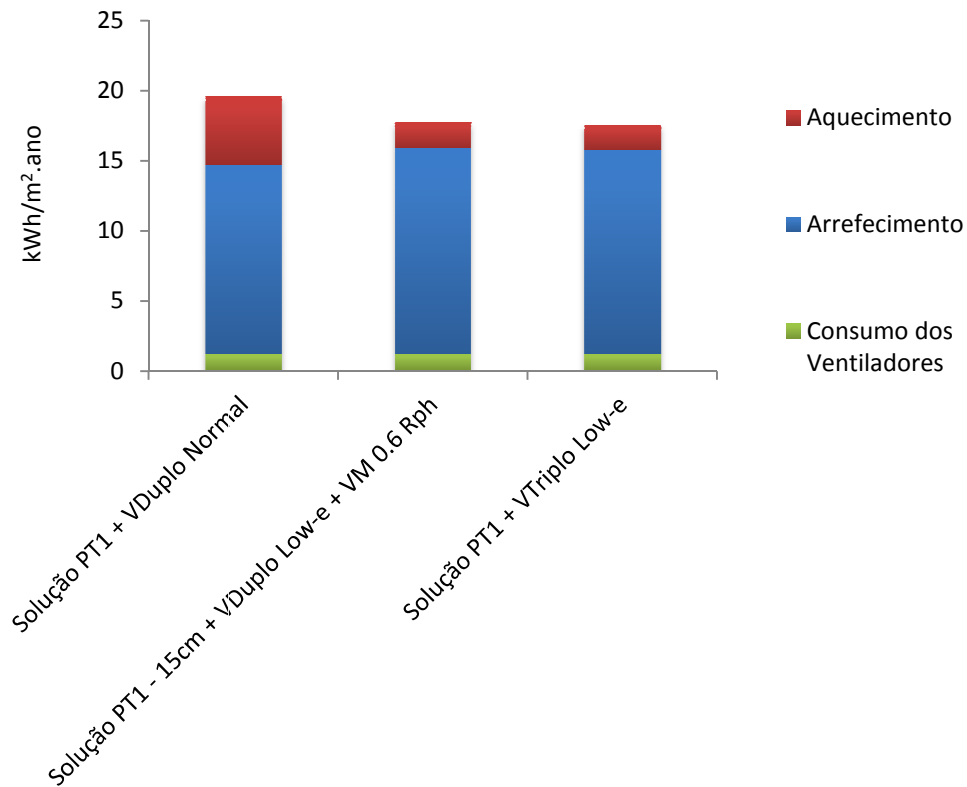


Fig. 59 – Influência do tipo de vidro na fracção autónoma T1A

Tab. 46 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência do tipo de vidro para a fracção T1A

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + VDuplo Normal	4.88	13.48	1.22
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	1.85	14.66	1.22
Solução PT1 + VTripla Low-e	1.81	14.54	1.22

Fracção T1B

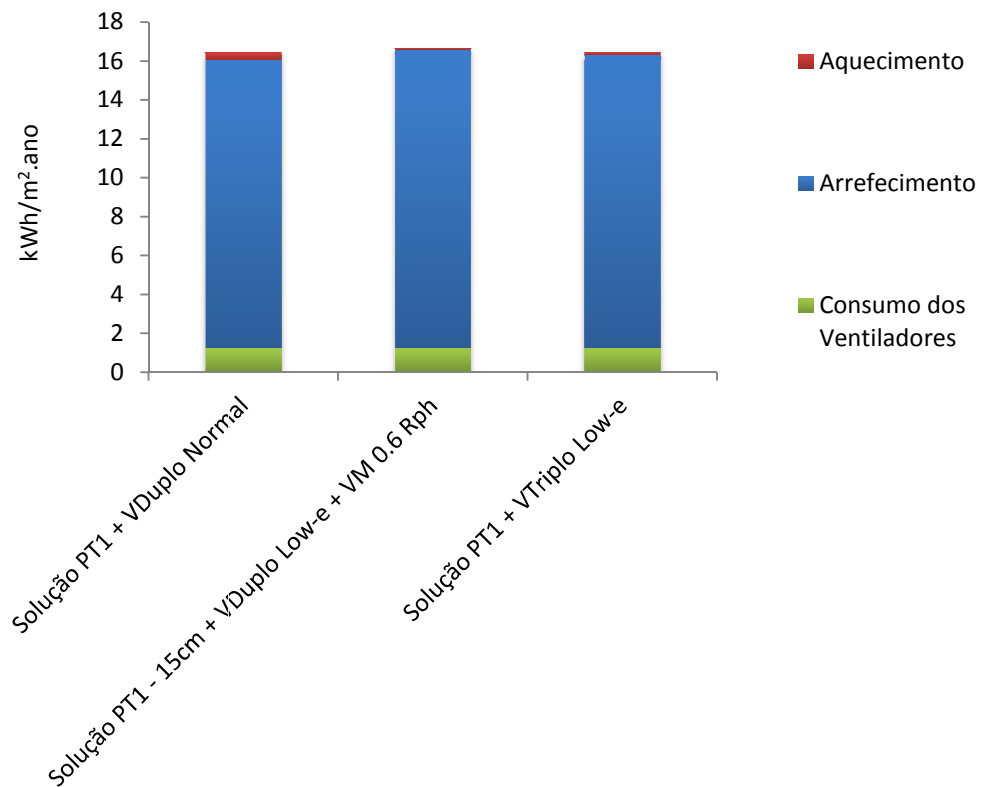


Fig. 60 – Influência do tipo de vidro na fracção autónoma T1B

Tab. 47 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência do tipo de vidro para a fracção T1B

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + VDuplo Normal	0.42	14.79	1.22
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	0.13	15.32	1.22
Solução PT1 + VTripla Low-e	0.18	15.06	1.22

Fracção T2C

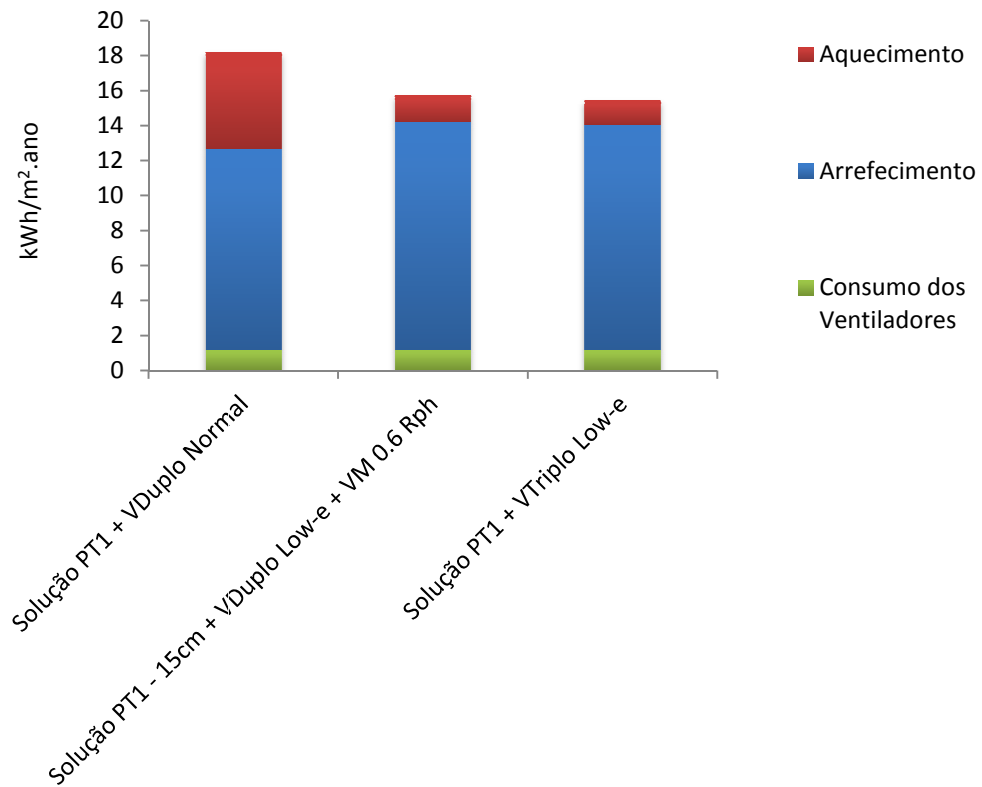


Fig. 61 - Influência do tipo de vidro na fracção autónoma T2C

Tab. 48 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência do tipo de vidro para a fracção T2C

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + VDuplo Normal	5.56	11.50	1.14
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	1.55	13.03	1.14
Solução PT1 + VTripla Low-e	1.43	12.87	1.14

Fracção T2D

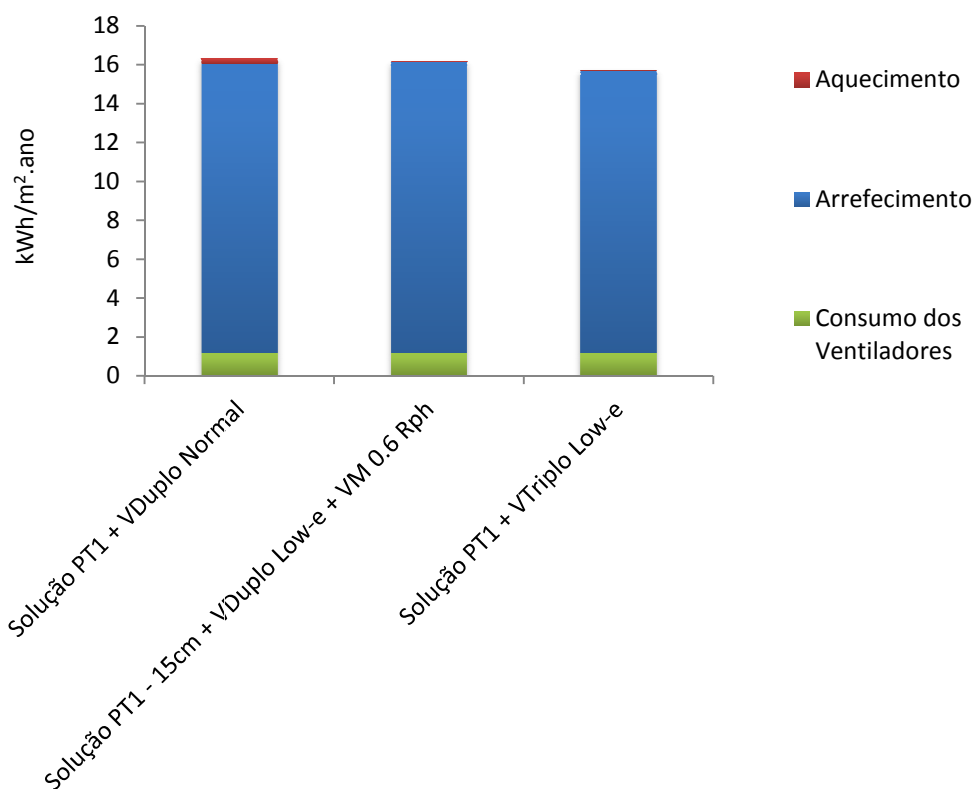


Fig. 62 – Influência do tipo de vidro na fracção autónoma T2D

Tab. 49 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência do tipo de vidro para a fracção T2D

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + VDuplo Normal	0.28	14.89	1.14
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	0.04	14.98	1.14
Solução PT1 + VTripla Low-e	0.06	14.53	1.14

Analisando os resultados, verifica-se que o uso de vidros triplos de baixa emissividade contribui para reduzir a carga de aquecimento, para as fracções T1A e T2C. De facto a contribuição da radiação solar nestas fracções é mais reduzida relativamente às fracções T1B e T2D, devido à sua orientação a nordeste sendo que na estação de aquecimento recebem radiação apenas durante algumas horas do período da manhã.

7.3.4. Influência da inércia térmica

Fracção T1A

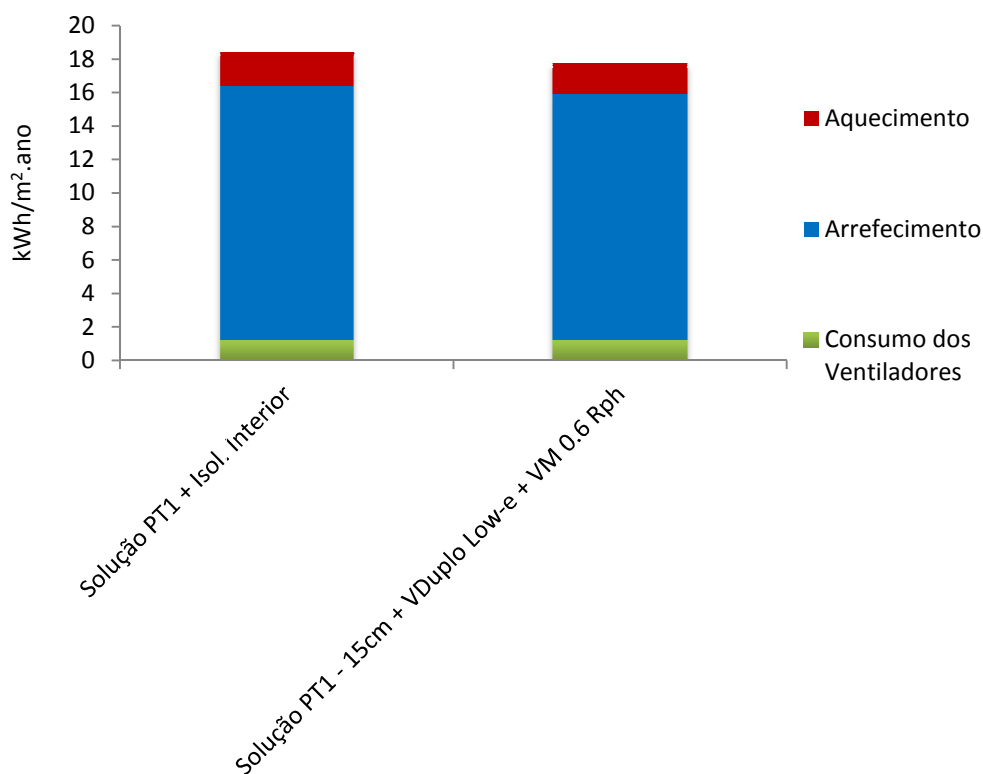


Fig. 63 – Influência da inércia térmica na fracção autónoma T1A

Tab. 50 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência da inércia térmica para a fracção T1A

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + Isol. Interior	2.02	15.17	1.22
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	1.85	14.66	1.22

Fracção T1B

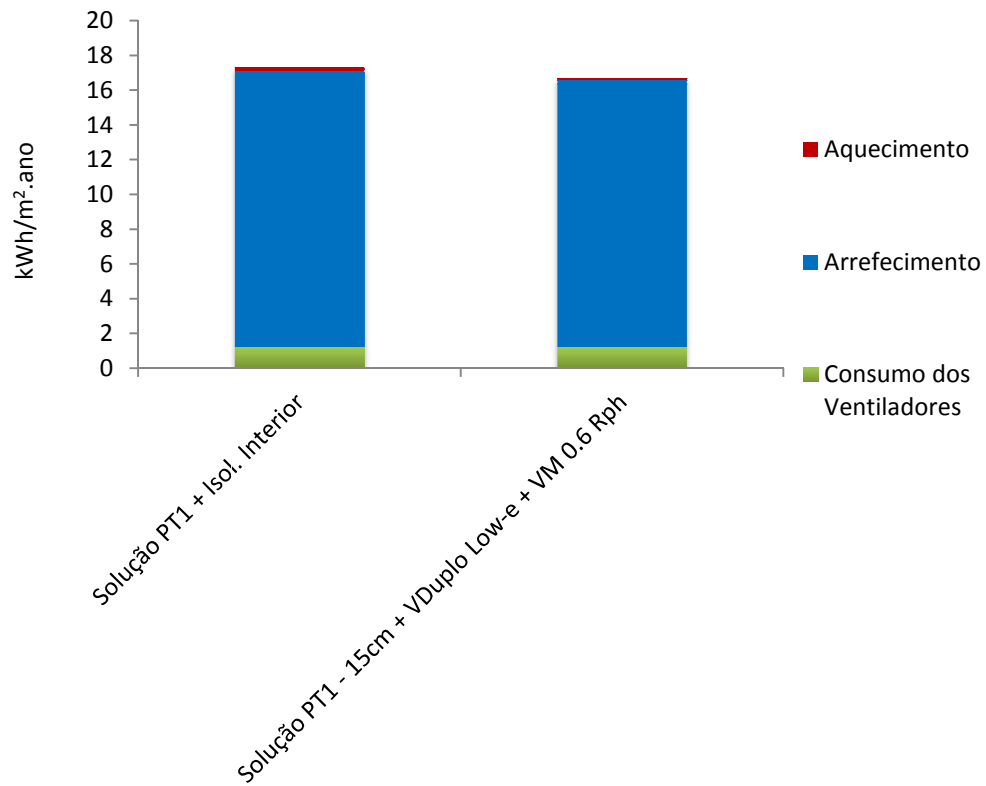


Fig. 64 – Influência da inércia térmica na fracção autónoma T1B

Tab. 51 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência da inércia térmica para a fracção T1B

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + Isol. Interior	0.26	15.85	1.22
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	0.13	15.32	1.22

Fracção T2C

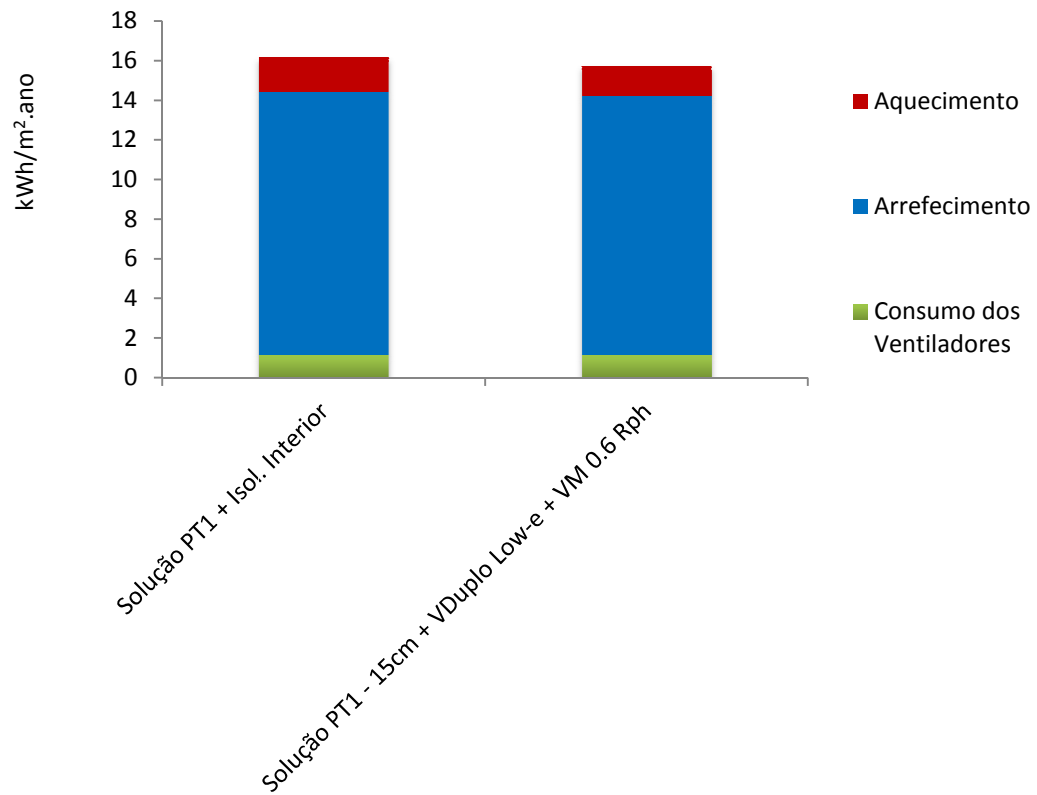


Fig. 65 – Influência da inércia térmica na fracção autónoma T2C

Tab. 52 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência da inércia térmica para a fracção T2C

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + Isol. Interior	1.73	13.27	1.14
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	1.55	13.03	1.14

Fracção T2D

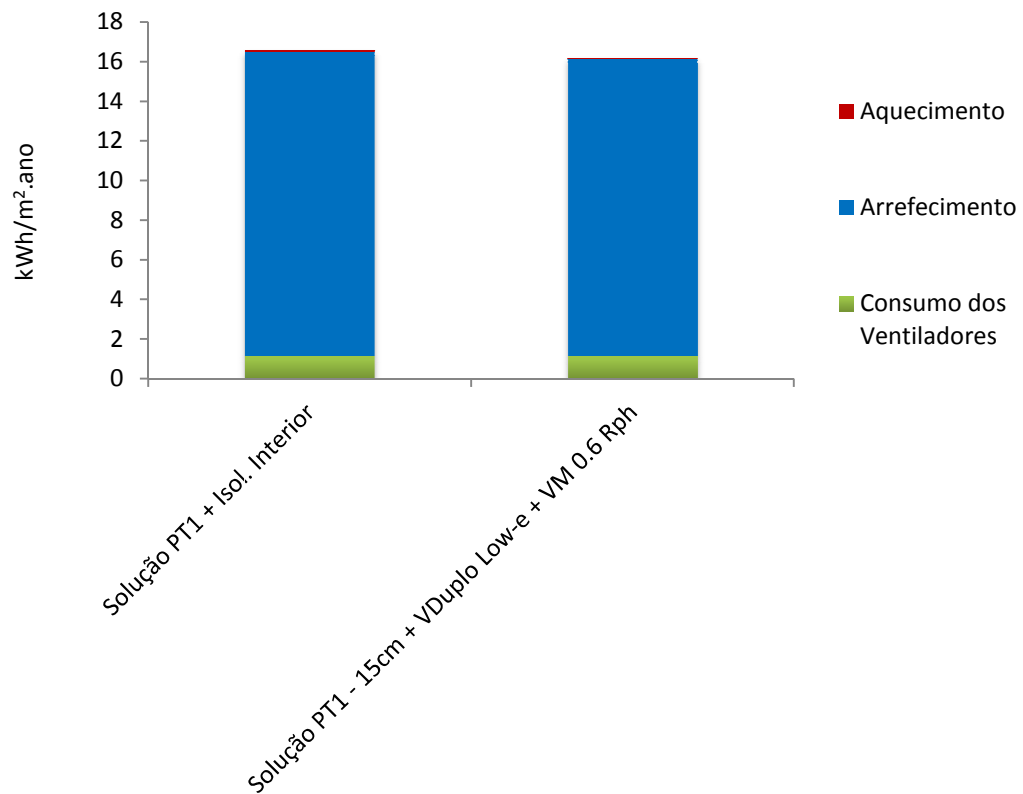


Fig. 66 – Influência da inércia térmica na fracção autónoma T2D

Tab. 53 – Valores das necessidades de energia útil no estudo da influência da inércia térmica para a fracção T2D

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + Isol. Interior	0.09	15.32	1.14
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	0.04	14.98	1.14

Sabe-se que o isolamento térmico pelo exterior é normalmente favorável ao desempenho térmico dos edifícios, contribuindo para que a inércia térmica funcione a favor do clima interior, no entanto, para o caso de estudo em questão o seu impacto parece não ser significativo.

7.3.5. Influência das pontes térmicas

Fracção T1A

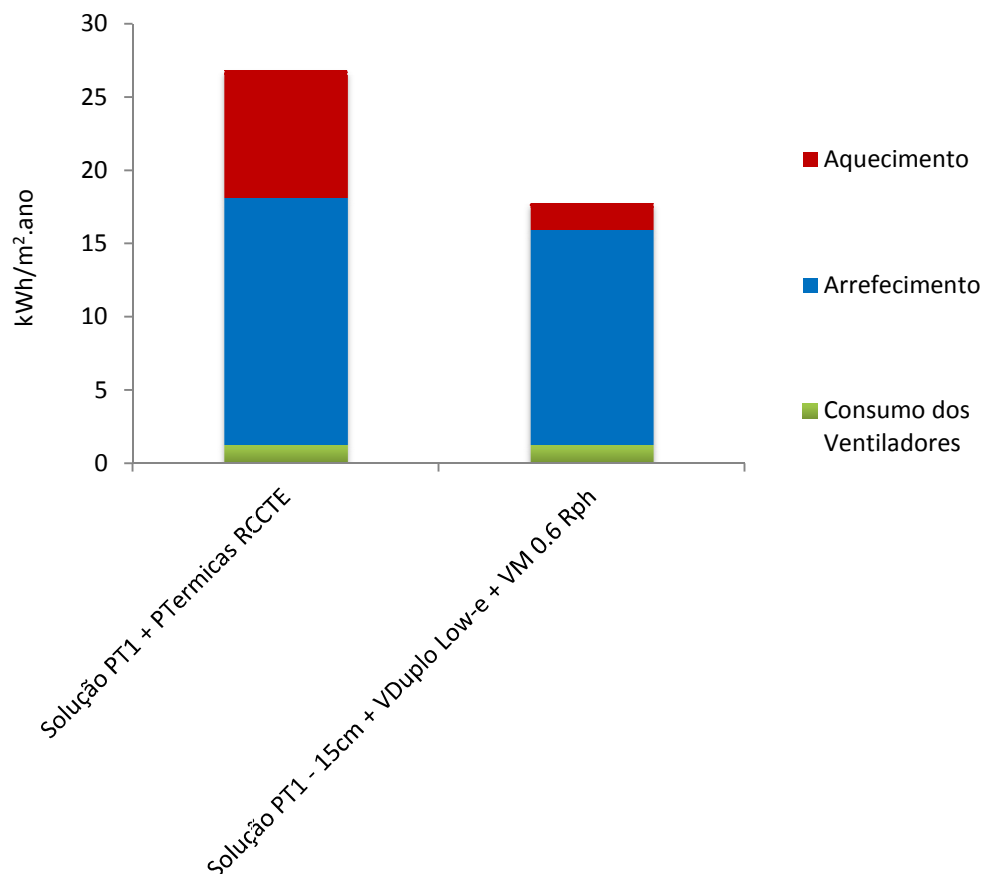


Fig. 67 – Influência das pontes térmicas na fracção autónoma T1A

Tab. 54 – Valores das necessidades de energia útil no estudo das pontes térmicas para a fracção T1A

	Aquecimento (kWh/m².ano)	Arrefecimento (kWh/m².ano)	Ventiladores (kWh/m².ano)
Solução PT1 + PTérmicas RCCTE	8.75	16.83	1.22
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	1.85	14.66	1.22

Fracção T1B

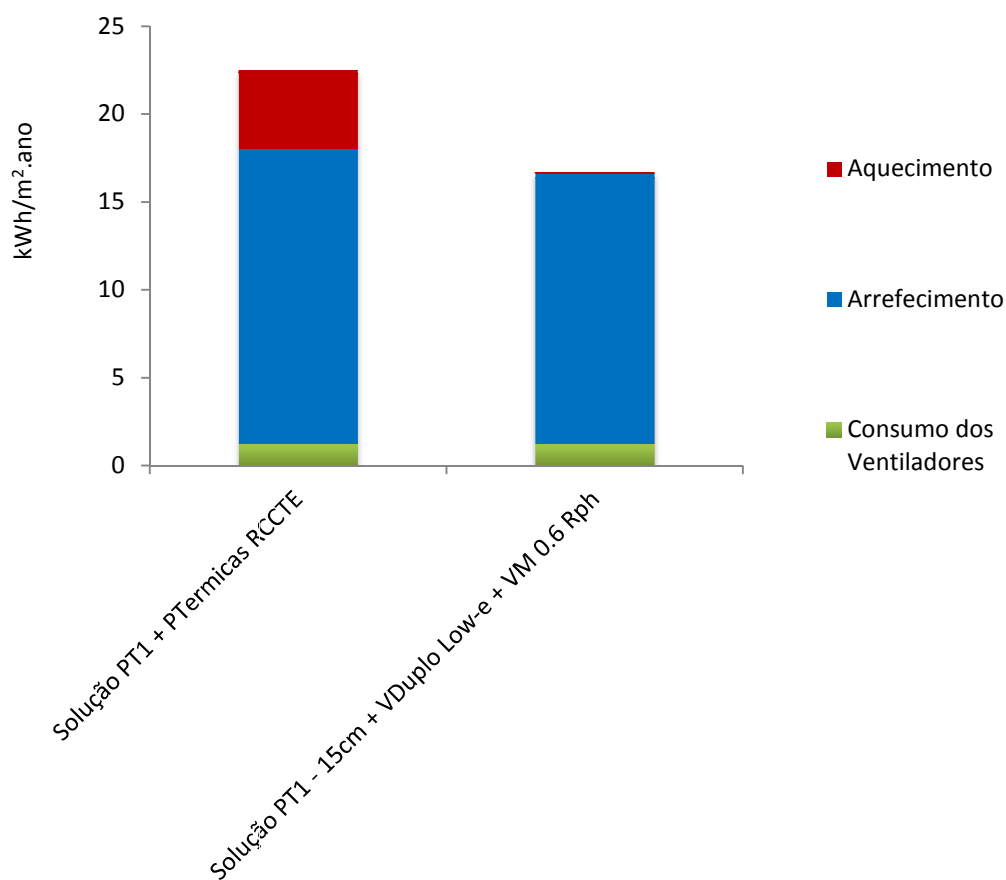


Fig. 68 – Influência das pontes térmicas na fracção autónoma T1B

Tab. 55 – Valores das necessidades de energia útil no estudo das pontes térmicas para a fracção T1B

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + PTermicas RCCTE	4.49	16.75	1.22
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	0.13	15.32	1.22

Fracção T2C

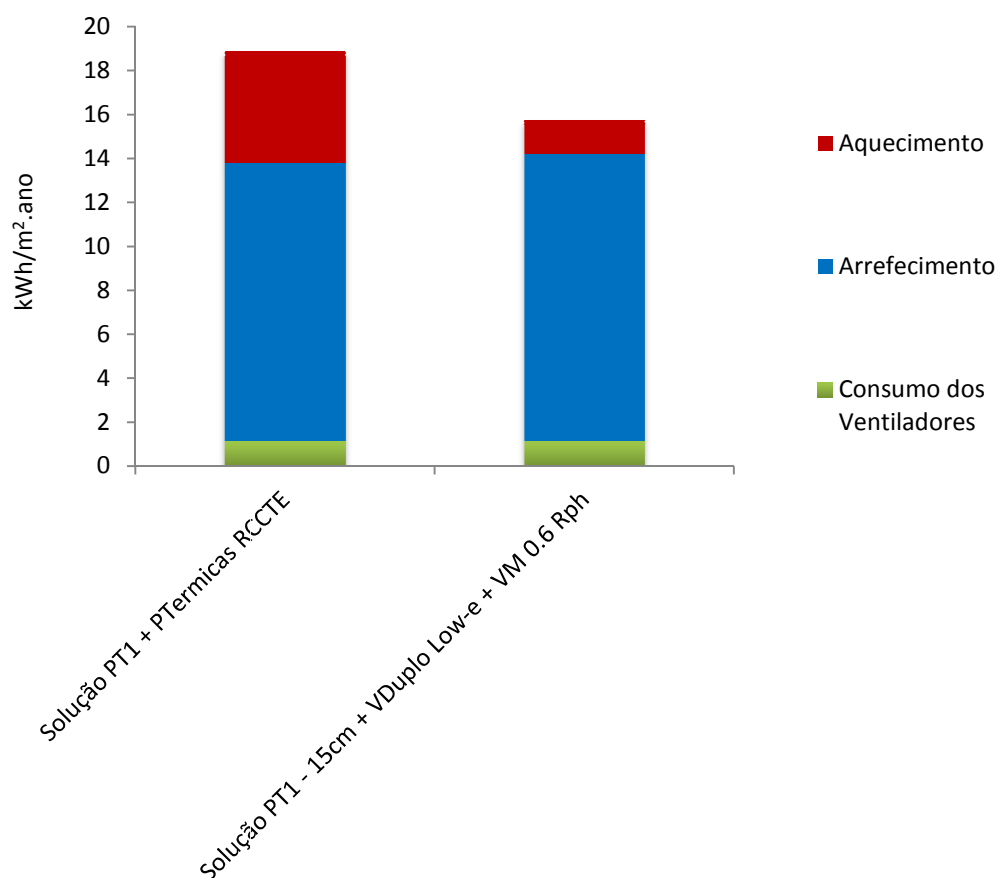


Fig. 69 – Influência das pontes térmicas na fracção autónoma T2C

Tab. 56 – Valores das necessidades de energia útil no estudo das pontes térmicas para a fracção T2C

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + PTermicas RCCTE	5.12	12.63	1.14
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	1.55	13.03	1.14

Fracção T2D

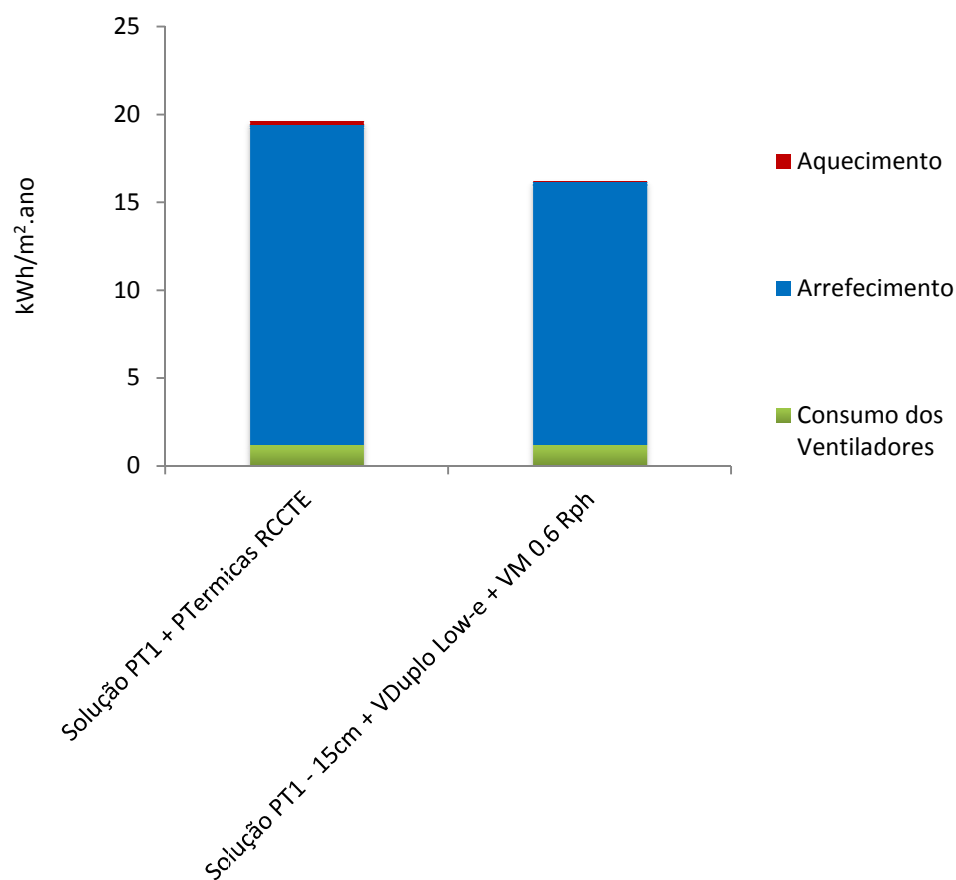


Fig. 70 – Influência das pontes térmicas na fracção autónoma T2D

Tab. 57 – Valores das necessidades de energia útil no estudo das pontes térmicas para a fracção T2D

	Aquecimento (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento (kWh/m ² .ano)	Ventiladores (kWh/m ² .ano)
Solução PT1 + PTermicas RCCTE	0.22	18.22	1.14
Solução PT1 - 15cm + VDuplo Low-e + VM 0.6 Rph	0.04	14.98	1.14

Pela análise dos resultados, a correcção das pontes térmicas pode constituir um factor determinante no que diz respeito ao cumprimento dos limites estabelecidos pela norma “Passivhaus”. Para todas as fracções autónomas é visível o impacto negativo nas necessidades de aquecimento, resultante da existência de pontes térmicas, contribuindo para as perdas térmicas durante a estação de aquecimento. Durante a estação de arrefecimento, o edifício também é prejudicado pela existência de pontes térmicas que contribuem para o aumento de ganhos por condução através da envolvente exterior.

8. Conforto térmico em regime não climatizado

8.1 Análise do conforto térmico

Para realizar a análise do conforto térmico no caso de estudo obteve-se um perfil anual temperaturas ponderadas para cada fracção autónoma recorrendo a equação 4, seguindo a mesma metodologia que foi usada para o caso de estudo nº 2.

Fracção T1A

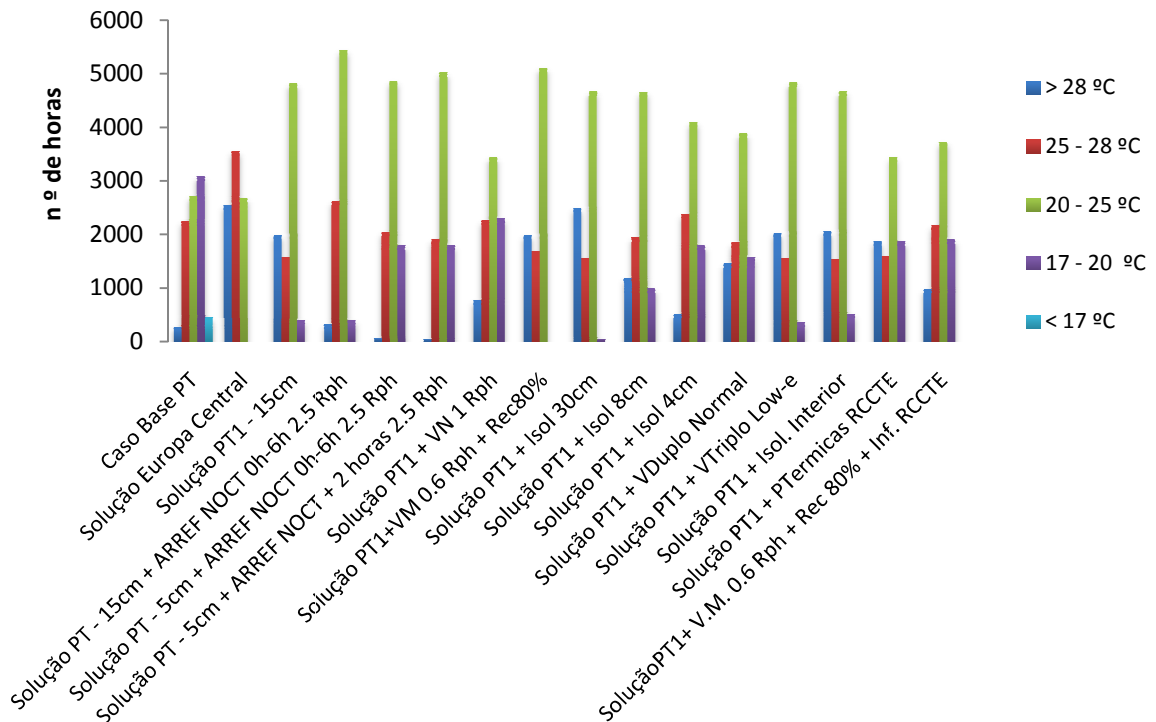


Fig. 71 – Histograma anual de temperaturas em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T1A

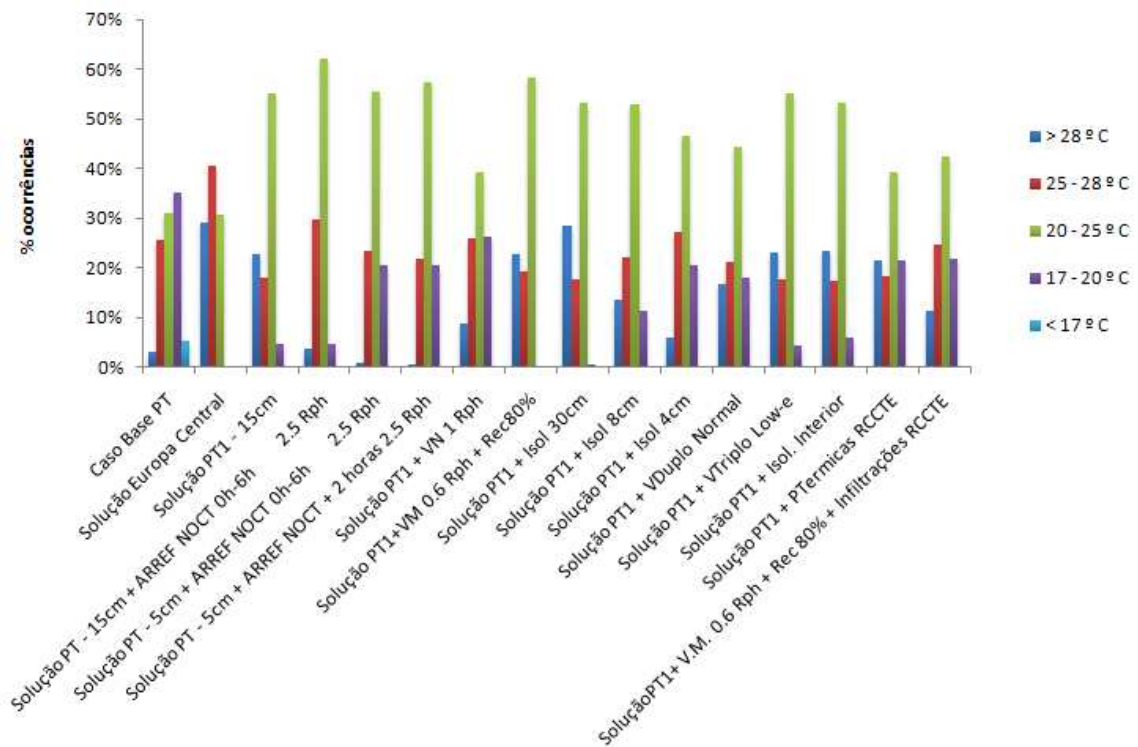


Fig. 72 - Histograma anual de temperaturas em % de ocorrências em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T1A

Fracção T1B

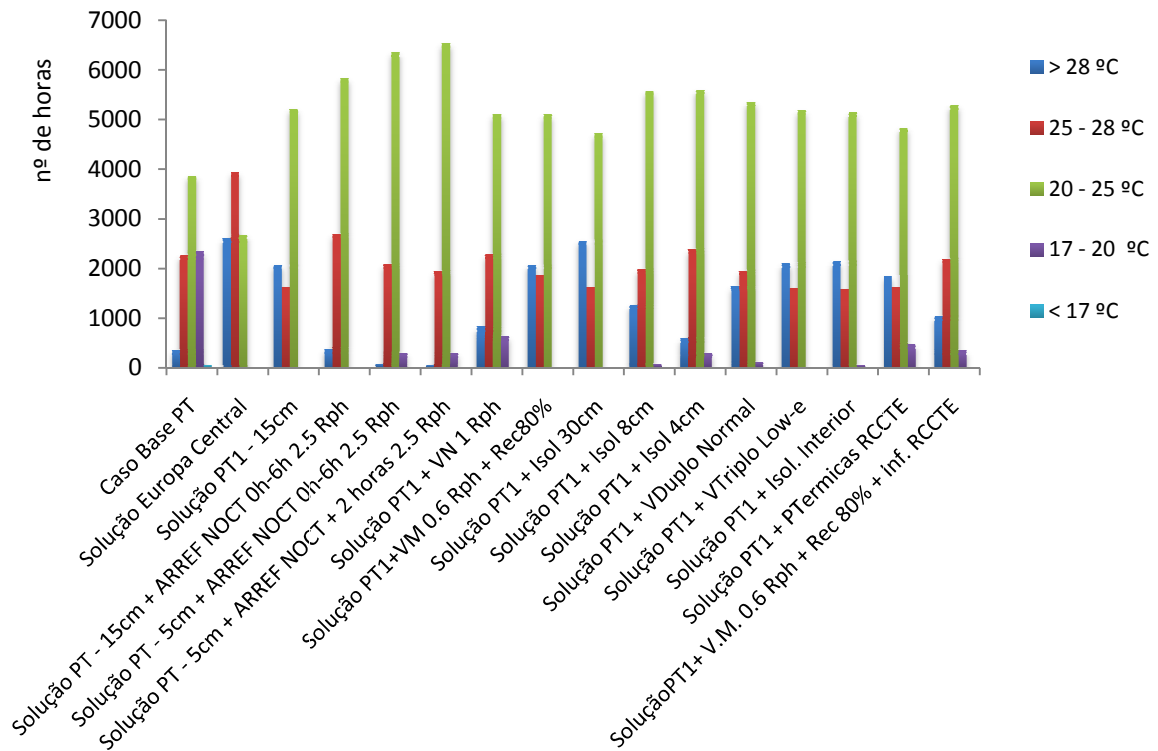


Fig. 73 – Histograma anual de temperaturas em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T1B

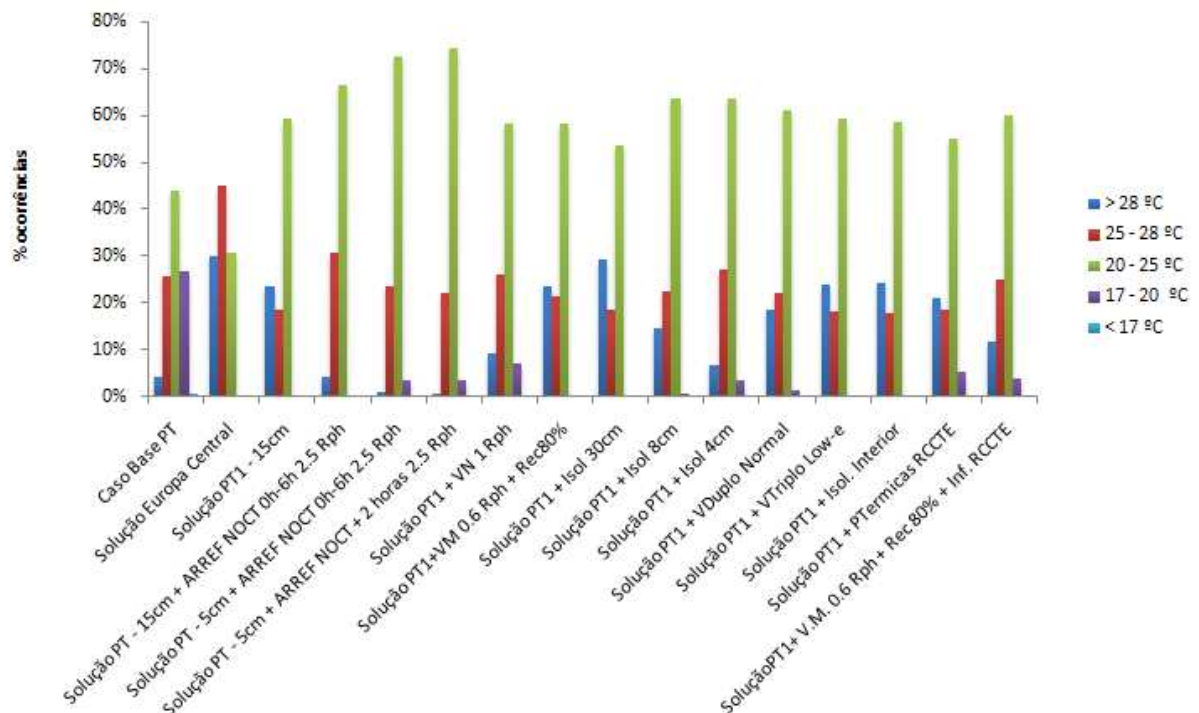


Fig. 74 - Histograma anual de temperaturas em % de ocorrências em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T1B

Fracção T2C

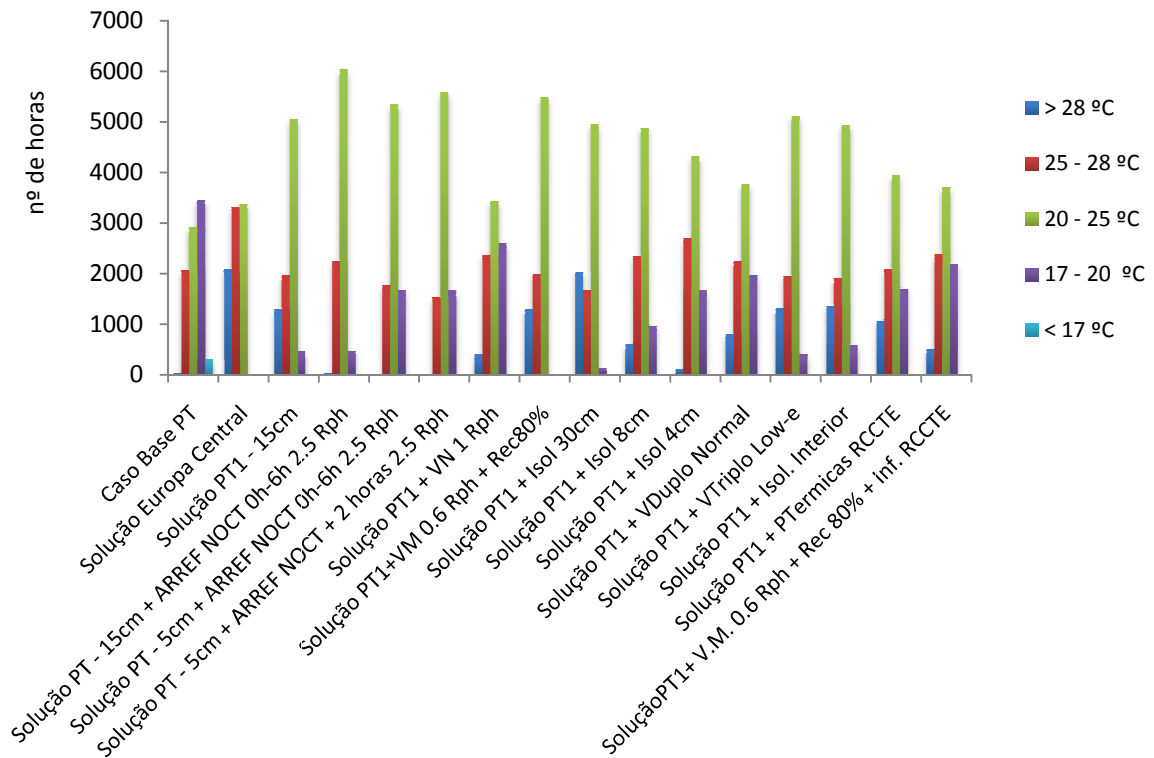


Fig. 75 – Histograma anual de temperaturas em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T2C

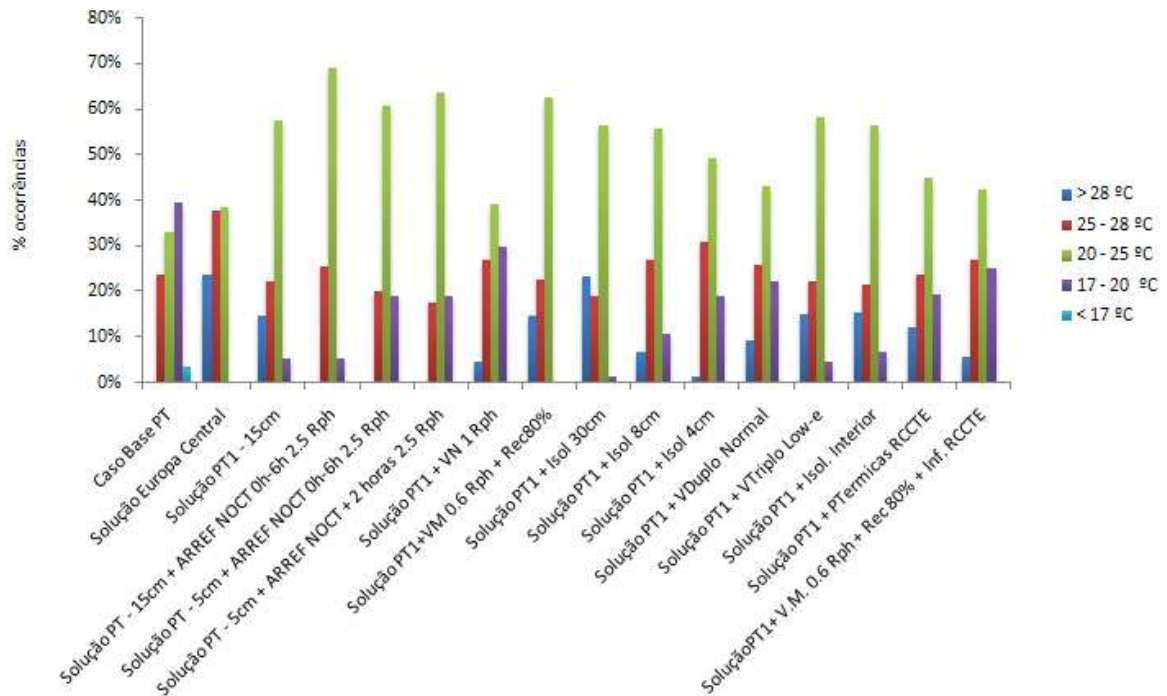


Fig. 76 - Histograma anual de temperaturas em % de ocorrências em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T2C

Fracção T2D

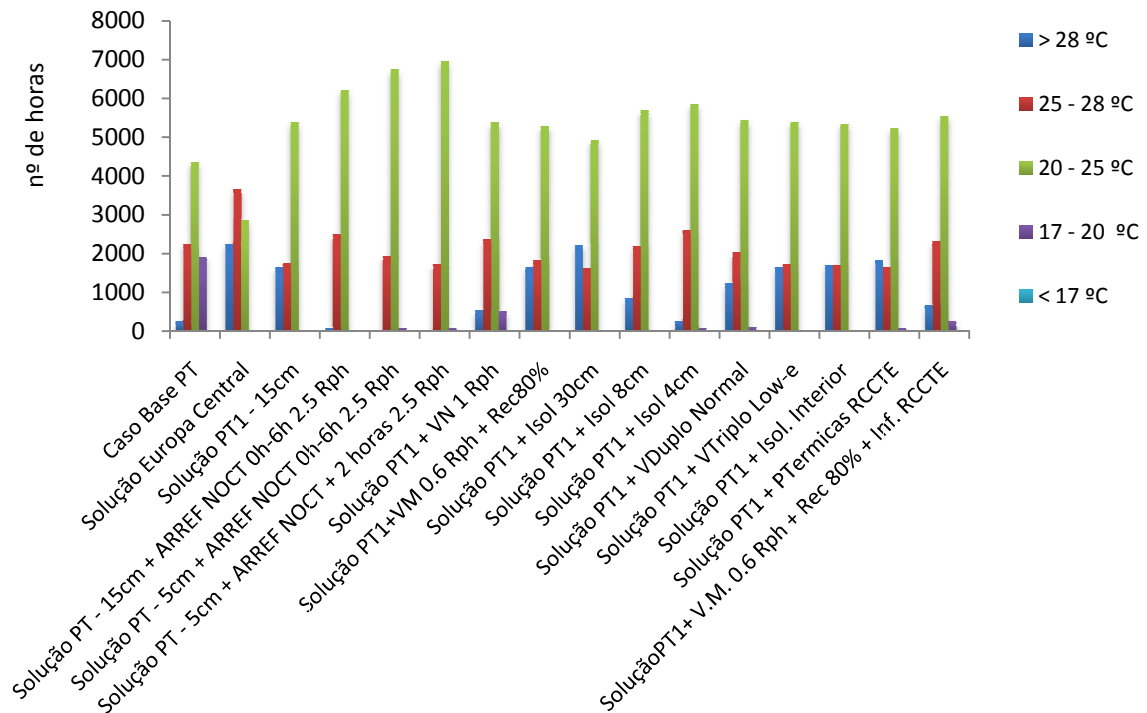


Fig. 77 – Histograma anual de temperaturas em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T2D

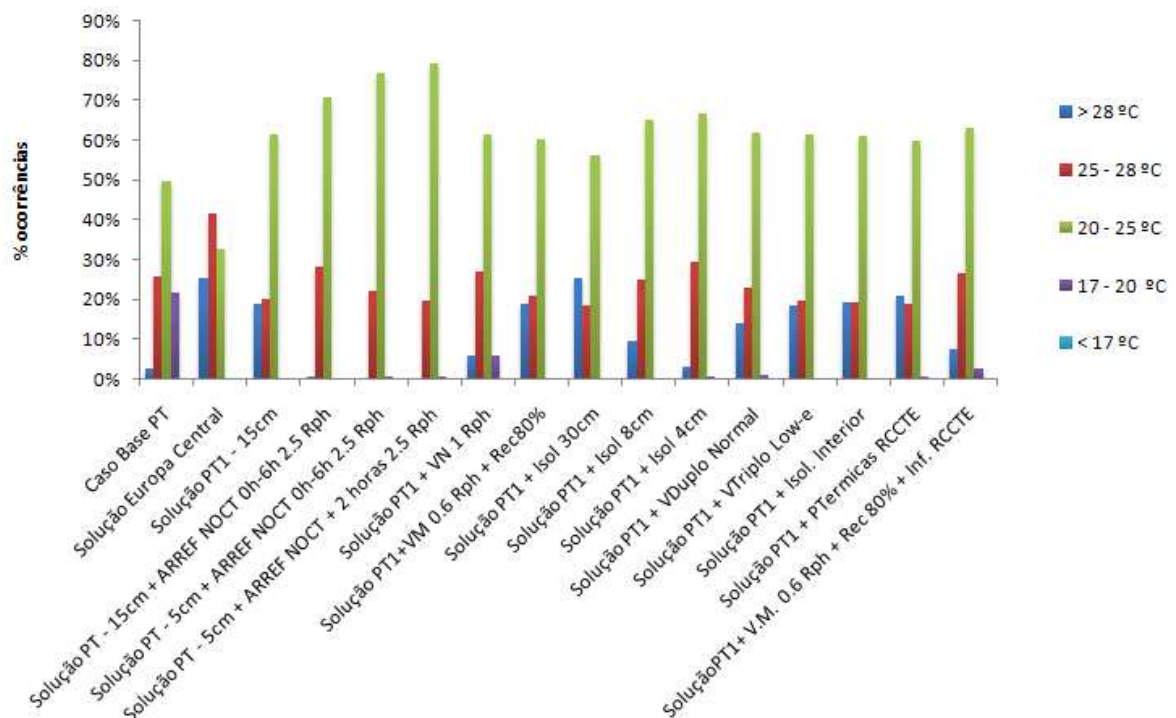


Fig. 78 - Histograma anual de temperaturas em % de ocorrências em regime não climatizado dos vários cenários de soluções construtivas e tecnológicas para a fracção T2D

Analisando os resultados, verifica-se um comportamento térmico semelhante para as duas fracções T1A e T2C e para as fracções T1B e T2D. Este comportamento pode ser explicado pela orientação das fachadas que é comum aos grupos de fracções.

A solução para climas da Europa Central com espessuras de isolamento elevadas, propicia situações de sobreaquecimento quando sujeita ao clima de Lisboa, percebendo-se que o numero de horas a que a temperatura interior se encontra acima do 25°C é superior do que em qualquer outra solução para todas as fracções autónomas. A solução proposta para Portugal com isolamento térmico de 15 cm e recurso a ventilação mecânica sem recuperação de calor, revela-se amplamente satisfatória apresentando um maior número de horas no qual todas as fracções se apresentam dentro do intervalo de conforto.

9. Conclusões

Os resultados deste estudo mostram que é possível cumprir em Portugal os limites de necessidades de energia útil estabelecidos pela norma “Passivhaus” pelo menos nos climas do Porto e Lisboa (depreendendo-se que a conclusão seja extensível a grande parte senão mesmo a todo o País). A identificação da solução construtiva e tecnológica mais adequada deve passar pela consideração das condições climáticas do local onde se encontra localizado o edifício e das restrições de geometria e exposição solar que possam existir.

Analisaram-se dois casos de estudo, uma moradia geminada e um piso de apartamentos, para os quais se mantiveram as condicionantes de enquadramento urbano e portanto não se considerou qualquer optimização a nível de orientação e da colocação dos envidraçados.

Para os dois casos de estudo, o isolamento térmico constitui um elemento decisivo na redução drástica das necessidades de energia útil do edifício. Para os climas do Porto e Lisboa parece ser possível diminuir o valor do isolamento térmico nas soluções adoptadas para os climas da Europa Central (cerca de 30 cm) para um valor próximo de 15 cm. Esta espessura de, isolamento poderá propiciar situações de elevadas cargas térmicas durante o período de Verão se não for acompanhada de medidas de arrefecimento por ventilação (por exemplo ventilação nocturna).

Para os climas do Porto e Lisboa, qualquer solução que contemple o uso de vidros com capas de baixa emissividade (low-e), justifica sempre que se faça uma análise do desempenho térmico global do edifício, dado que o investimento inicial neste tipo de tecnologia pode representar uma parcela elevada no orçamento. Verifica-se que uma solução recorrendo a vidros duplos low-e é suficiente para que se obtenham valores abaixo dos estabelecidos como limite para a norma “Passivhaus”, não se justificando uma solução que recorra a vidros triplos low-e.

Do estudo paramétrico da influência dos envidraçados realizado para o caso de estudo nº1, conclui-se que a aplicação de um vidro com capas de baixa emissividade pode em determinadas orientações solares contribuir negativamente para o desempenho térmico global do edifício. De facto a diminuição do coeficiente de transmissão térmica do envidraçado pode não compensar a diminuição do seu factor solar, pois apesar de o baixo valor do coeficiente de transmissão térmica aumentar a resistência à condução de calor diminuindo o valor das perdas térmicas, o valor mais baixo para o factor solar reduz o aproveitamento dos ganhos solares na estação de aquecimento aumentando significativamente as necessidades de energia útil para este período.

Sendo a envolvente altamente isolada e estanque, o recurso à recuperação de calor com elevado valor de eficiência de recuperação no período de aquecimento, permite colmatar quase na sua totalidade as cargas de aquecimento do edifício para os dois casos de estudo. No entanto conclui-se que tanto para o clima do Porto como para o de Lisboa o recurso a recuperação de calor não é fundamental para que se cumpram os limites estabelecidos pela norma alemã. Para além de consumir menos energia na ventilação, se o edifício for construído segundo os padrões da norma “Passivhaus” com um nível de isolamento adequado, é possível chegar muito perto dos 15 kWh/m².ano, limite para as necessidades de aquecimento estabelecido pela norma, recorrendo apenas à ventilação mecânica com uma taxa de renovação nominal de 0.6 Rph. É aliás interessante notar que os menores consumos de

energia primária correspondem a soluções em que se usa ventilação natural ou ventilação mecânica sem recuperação de calor.

Os resultados mostram também que as pontes térmicas têm um peso bastante significativo na determinação das necessidades energéticas dos edifícios, salientando a importância da sua correção. Verificou-se para o caso de estudo nº2, que a correção das pontes térmicas baixou significativamente as necessidades energéticas de aquecimento, principalmente nas fachadas das fracções do piso em análise que se encontram orientadas desfavoravelmente a Nordeste. A existência de pontes térmicas agrava o desempenho térmico do edifício potenciando fluxos de calor prejudiciais quer no Inverno (perdas) quer no Verão (ganhos), sendo o seu efeito mais notório nas fachadas cuja contribuição da radiação solar é mínima ou praticamente inexistente.

O nível de estanquidade de um edifício tem um peso significativo nas suas necessidades energéticas que não deve ser menosprezado na execução do projecto. Para os dois casos de estudo, nos cenários em que existia ventilação mecânica com recuperação de calor, a entrada involuntária e não controlada de ar exterior para o interior do edifício, prejudica o seu desempenho térmico possibilitando que haja trocas indesejadas de calor entre o ar exterior e o interior. No Inverno as trocas de calor com o ar exterior, que está normalmente a uma temperatura mais baixa que o do interior, arrefecem o edifício aumentando a sua carga de arrefecimento e consequentemente as suas necessidades de energia.

Apesar de não representar um elemento decisivo para o estudo realizado, no que diz respeito ao cumprimento dos limites estabelecidos pela norma “Passivhaus”, deve evidenciar-se que em edifícios com ganhos internos elevados é possível potenciar o arrefecimento do edifício aproveitando as condições exteriores para baixar as necessidades energéticas de aquecimento no período de arrefecimento.

Referências

- Aguilar, Ricardo; Carvalho, Maria “*Manuel de Instalação e Utilização do Solterm*”, INETI, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 2007.
- “*ASHRAE Handbook Fundamentals SI Edition*”, ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 1997
- Boonstra, Chiel; Joosten Loes; Strom, Isolda; “*PEP, Promotion of European Passive Houses*”, 2006.
- De Meulenaer, Veerle; Van der Veken, Jeroen; Verbeeck, Griet; Hens, Hugo; “*Comparison of Measurements and Simulations of a Passive House*”, Laboratory of Building Physics, Department of Civil Engineering, KU Leuven, Belgium, 2005.
- Maldonado, Eduardo; “*Sebenta de Térmica de Edifícios*”, FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1997.
- “*EnergyPlus, Auxiliary EnergyPlus Programs: To Increase Your Efficiency at Using EnergyPlus*”, University of de Illinois, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008.
- “*EnergyPlus, Input Output Reference: the Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*”, University of de Illinois, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008.
- “*Energy Design Plugin, Beta 0.9 – User Guide*”, National Renewable Energy Laboratory for the United States Department of Energy, Midwest Research Institute , 2008
- Feist, Wolfgang; “*First Steps: What can be a Passive House in your region with your climate?*”, Passive House Institute, Darmstad, 2007
- Gonçalves, Hélder; Brotas, Luísa; “*A norma Passivhaus em climas quentes da Europa: Directrizes de projectos para casa confortáveis de baixo consumo energético*”, INETI, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 2007
- Gonçalves, Hélder; Graça, João, “*Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*”, INETI, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 2004.
- Gonçalves, Hélder; Maldonado, Eduardo; “*Manual de apoio à aplicação do RCCTE*”, INETI, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 2005.”
- Patrocínio, Teresa; “*Ficha Técnica nº6, Arquitectura Bioclimática*”, Construlink.com, 2006.
- Pina dos Santos, Carlos; Matias, Luís; “*Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*”, LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- “*RCCTE, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*”, Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril, 2006.
- “*Windows 5.0 User Manual*”, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, 2001.

Internet

- [1] “*Evaluation of the first Passive House*”: http://www.passivhaustagung.de/Kran/First_Passive_House_Kranichstein_en.html, Fevereiro, 2008.
- [2] “*Passive House Conference*”: http://www.passivhaustagung.de/elfte/english/01_start_home.html, Fevereiro, 2008.
- [3] “*First US Passive House*”: <http://www.e-colab.org/ecolab/SmithHouse.html>, Fevereiro, 2008.
- “*Deutschland ONLINE*”: http://www.magazine-deutschland.de/issue/Passiv_3-07_ENG_E1.php, Fevereiro, 2008.
- “*Information on Passive Houses*”: http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/passivehouse.html, Fevereiro, 2008.
- “*Passivehaus Institut*”: <http://www.passiv.de/>, Fevereiro, 2008.
- “*Passive House Retrofit*”: <http://www.energieinstitut.at/Retrofit>, Fevereiro, 2008.
- “*Passive-On Project*”: <http://www.passive-on.org>, Fevereiro, 2008.
- “*Wikipédia*”: http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_house, Fevereiro, 2008.

ANEXO A - PERFIS DE ILUMINAÇÃO, OCUPAÇÃO E EQUIPAMENTOS

Iluminação

% Iluminação																		
	Cozinha 75 W			WC 30 W			Sala 75 W			Suíte 60 W			Quarto 60 W			Hall e Escadaria 30 W		
Horas	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo
0h as 1h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10
1h as 2h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2h as 3h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3h as 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4h as 5h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5h as 6h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6h as 7h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7h as 8h	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8h as 9h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9h as 10h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10h as 11h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11h as 12h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12h as 13h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13h as 14h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14h as 15h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15h as 16h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16h as 17h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17h as 18h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18h as 19h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19h as 20h	100	100	100	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20h as 21h	100	100	100	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21h as 22h	100	100	100	0	0	0	100	100	100	0	0	0	0	0	0	20	20	20
22h as 23h	100	100	100	100	100	100	0	0	0	100	100	100	100	100	100	20	20	20
23h as 24h	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	20
Total [Wh]	2250	375	450	150	30	30	1125	225	225	300	60	60	300	60	60	105	21	21

Equipamentos

Potência de Equipamentos [W]																		
	Cozinha			WC			Sala			Suíte			Quarto			Hall e Escadas		
Horas	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo
0h - 1h	322	42	42	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	8	0	0	0	0
1h - 2h	42	42	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2h - 3h	42	42	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3h - 4h	42	42	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4h - 5h	42	42	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5h - 6h	42	42	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6h - 7h	42	42	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7h - 8h	412	42	42	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8h - 9h	42	42	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9h - 10h	42	232	311	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10h - 11h	42	232	311	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11h - 12h	42	232	311	0	0	0	208	150	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12h - 13h	692	232	311	0	0	90	208	150	90	125	0	30	125	0	30	0	0	0
13h - 14h	42	232	42	0	0	0	0	458	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14h - 15h	42	232	42	0	0	0	0	458	0	0	30	0	0	30	0	0	375	0
15h - 16h	42	461	42	0	375	0	0	55	0	0	30	0	0	30	0	0	0	0
16h - 17h	42	461	42	0	0	0	0	55	0	0	250	0	0	250	0	0	0	0
17h - 18h	42	42	42	0	0	0	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18h - 19h	42	42	42	0	0	0	0	55	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19h - 20h	384	218	444	0	90	0	196	192	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20h - 21h	384	218	444	0	0	0	196	192	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21h - 22h	384	218	444	0	0	0	196	192	119	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22h - 23h	42	218	444	0	0	0	196	192	119	21	13	37	21	13	37	0	0	0
23h - 24h	42	218	444	0	0	0	196	192	119	21	13	37	21	13	37	0	0	0
Total [Wh]	16665	3868	4096	450	465	90	6963	2546	893	830	343	103	830	343	103	0	375	0

Ocupação

% Ocupação [380 W - Sensível / 180 W - Latente]																		
	Cozinha			WC			Sala			Suíte			Quarto			Hall e Escadas		
Horas	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo	Semana	Sábado	Domingo
0h - 1h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	25	25	25	5	5	5
1h - 2h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	25	25	25	0	0	0
2h - 3h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	25	25	25	0	0	0
3h - 4h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	25	25	25	0	0	0
4h - 5h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	25	25	25	0	0	0
5h - 6h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	25	25	25	0	0	0
6h - 7h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	25	25	25	0	0	0
7h - 8h	50	0	0	25	25	0	0	0	0	0	50	50	0	25	25	1	1	1
8h - 9h	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	25	0	0	25	1	1	1
9h - 10h	0	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
10h - 11h	0	50	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
11h - 12h	0	25	25	0	0	0	25	25	50	0	0	0	0	0	0	1	1	1
12h - 13h	25	25	25	0	0	0	25	25	50	0	0	0	0	0	0	1	1	1
13h - 14h	0	25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
14h - 15h	0	25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
15h - 16h	0	25	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
16h - 17h	0	50	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
17h - 18h	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
18h - 19h	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
19h - 20h	50	50	50	0	0	0	25	25	50	0	0	0	0	0	0	1	1	1
20h - 21h	50	50	50	0	0	0	25	25	50	0	0	0	0	0	0	1	1	1
21h - 22h	50	50	50	0	0	0	25	50	50	0	0	0	0	0	0	1	1	1
22h - 23h	0	50	50	25	25	25	25	25	50	0	0	0	0	0	0	1	1	1
23h - 24h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	50	25	0	25	1	1	1
Total [Wh]	6300	2660	1960	1400	420	280	4200	1820	1680	11200	2240	2660	5600	1120	1400	616	123	123

ANEXO B - SELECÇÃO DAS UNIDADES DE RECUPERAÇÃO DE CALOR

Dimensionamento da rede de condutas do edifício do caso de estudo nº1

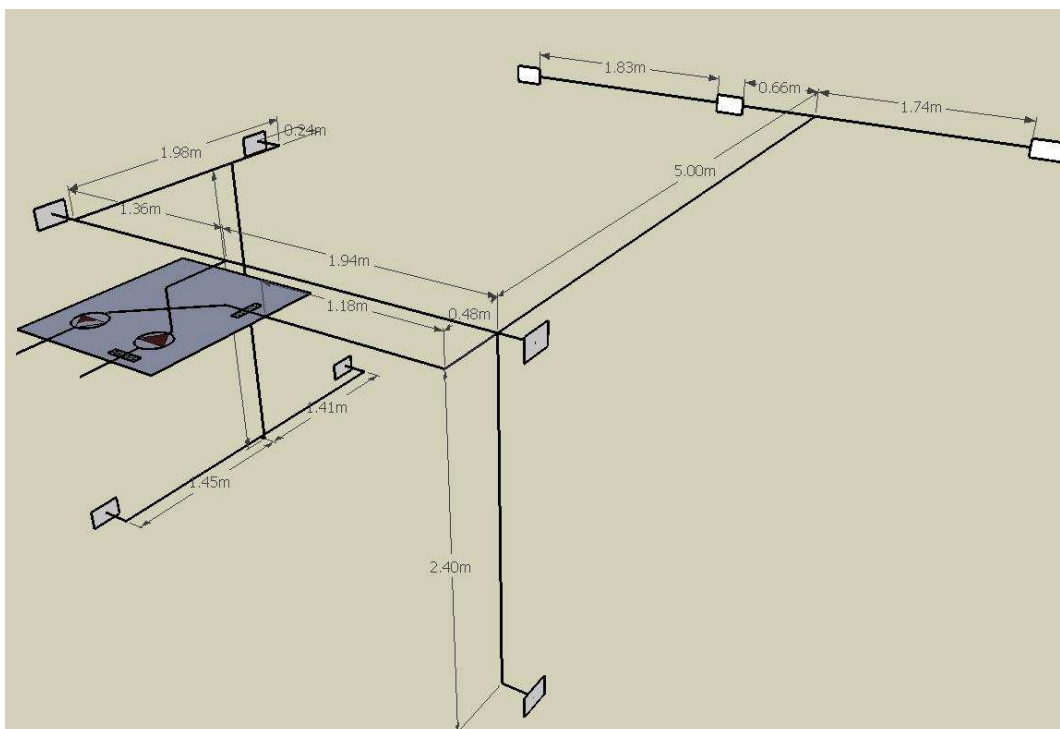


Fig. 79 – Representação esquemática da rede de condutas e dimensões dos diferentes trechos

Rede de condutas de insuflação

Determinação dos caudais volúnicos necessários para obter a taxa de renovação horária pretendida

Tab. 58 - Caudais volúnicos

LANÇOS		L	CAUDAL
		(m)	(m³/h)
TROÇOS PRINCIPAIS	b0-b	0.18	289
	b-b1	1.36	141
	b-b2	1.94	148
	b2-b3	2.4	93
	b1-c	1.98	104
	c-c1	0.52	31
	c-d	2.4	73
	d-d1	1.5	42
	d-d2	1.41	31
RAMAIS	b1-b1.1	0.24	37
	b2-b2.1	0.24	55
	b3-b3.1	0.24	93
	c1-c1.1	0.24	31
	d1-d1.1	0.24	42
	d2-d2.1	0.24	31

Cálculo da perda de carga

Perdas de carga em linha

Para calcular o valor total das perdas de carga em linha para cada rede de condutas, é necessário identificar o troço da conduta mais desfavorável, que corresponde ao troço a que está associado o maior valor de perda de carga para a rede sendo normalmente o mais longo.

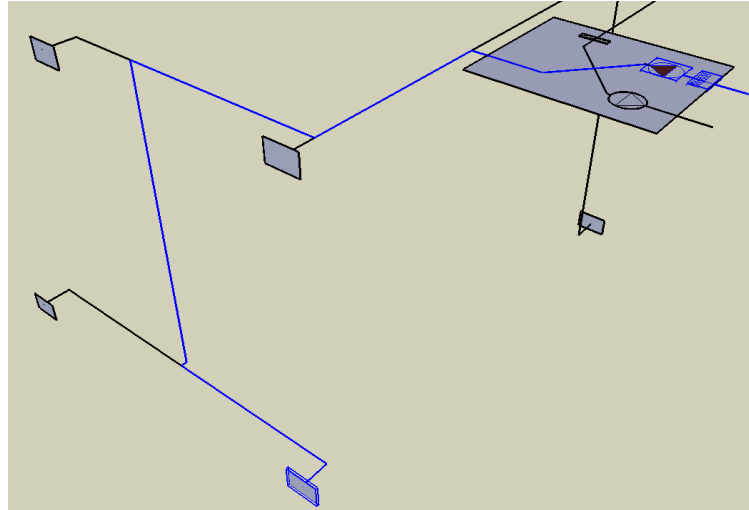


Fig. 80 – Troço mais desfavorável para a rede de condutas

Conhecidas as dimensões das condutas determina-se o diâmetro equivalente para condutas rectangulares a partir da equação 5 (ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997):

$$De = 1,30 \frac{(a.b)^{0.625}}{(a + b)^{0.250}} \quad (\text{eq.5})$$

Onde, a e b, são as dimensões da conduta rectangular

A partir do ábaco da ASHRAE para leitura de perdas de carga em linha, obtém-se o valor por metro de comprimento de conduta – $\Delta P/L$ (Pa/m de conduta). Multiplicando este valor pelo comprimento de cada troço, obtém-se a respectiva perda de carga em linha, ΔP_{linha} (Pa).

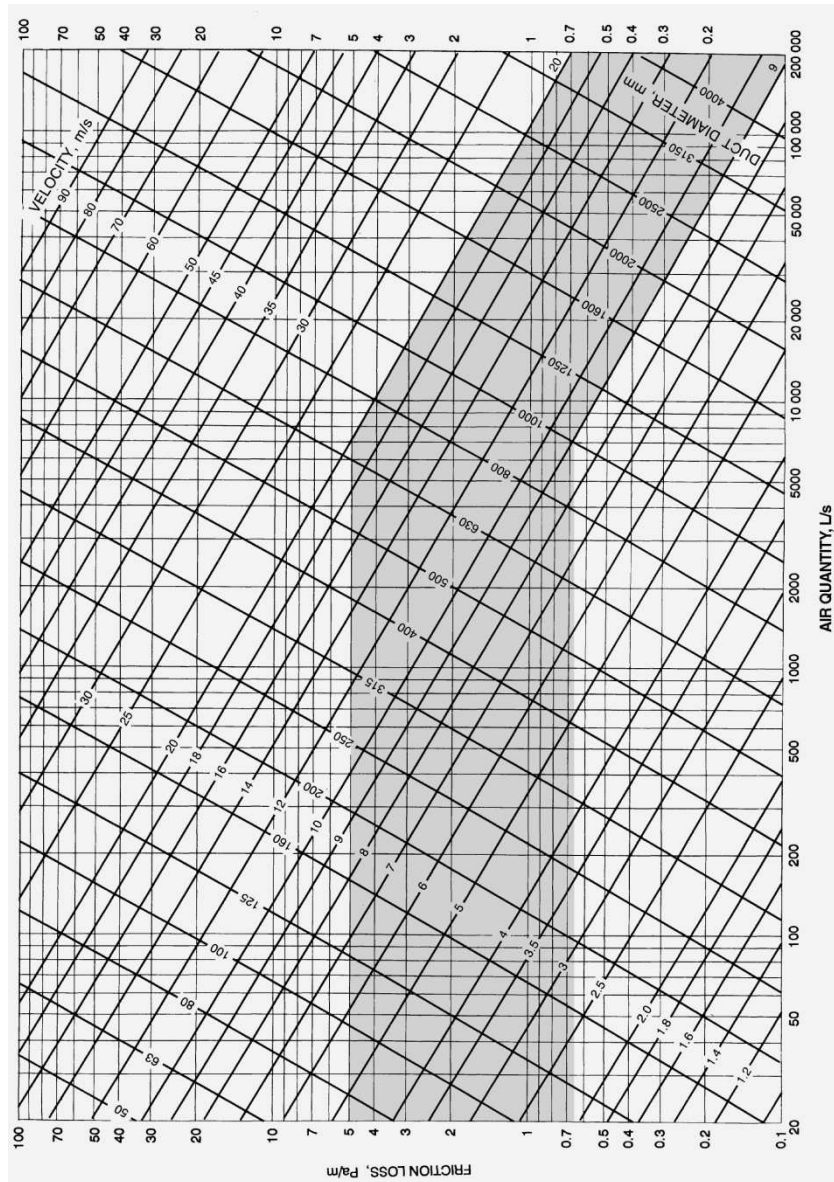


Fig. 81 – Ábaco da ASHRAE para obtenção do valor da perda de carga linear para cada troço de conduta (ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997)

Tab. 59 – Diâmetro equivalente e perdas de carga em linha para o troço crítico

TROÇO CRÍTICO	TROÇO	L	SECÇÃO	De	ΔP
		(m)	(m ²)	(mm)	(Pa)
PERDAS EM LINHA	b0-b	0.18	0.0225	164	0.23
	b-b1	1.36	0.0100	109	3.81
	b1-c	1.98	0.0100	109	3.37
	c-d	2.4	0.0100	109	1.97
	d-d1	1.5	0.0100	109	1.23
	d1-d1.1	0.24	0.0100	109	0.20

Perdas de carga localizadas

O processo de cálculo da perda de carga local para cada elemento constituinte da rede de condutas passa pela identificação da geometria de cada elemento e determinação do coeficiente de perda de carga localizada C_0 .

Os coeficientes de perda de carga localizada são obtidos por consulta das tabelas de coeficientes de perda de carga disponíveis em manuais especializados (ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997).

SR5-3 Wye of the Type $A_s + A_b > A_c$, $A_s = A_c$, 45 Degree, Diverging

A_b/A_c	C_b Values								
	Q_b/Q_c								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.1	0.60	0.52	0.57	0.58	0.64	0.67	0.70	0.71	0.73
0.2	2.24	0.56	0.44	0.45	0.51	0.54	0.58	0.60	0.62
0.3	5.94	1.08	0.52	0.41	0.44	0.46	0.49	0.52	0.54
0.4	10.56	1.88	0.71	0.43	0.35	0.31	0.31	0.32	0.34
0.5	17.75	3.25	1.14	0.59	0.40	0.31	0.30	0.30	0.31
0.6	26.64	5.04	1.76	0.83	0.50	0.36	0.32	0.30	0.30
0.7	37.73	7.23	2.56	1.16	0.67	0.44	0.35	0.31	0.30
0.8	49.92	9.92	3.48	1.60	0.87	0.55	0.42	0.35	0.32

Q_s/Q_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
C_s	32.00	6.50	2.22	0.87	0.40	0.17	0.03	0.00

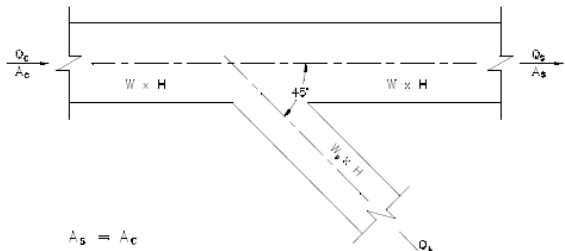


Fig. 82 – Tabelas disponíveis em manuais especializados para a obtenção dos coeficientes de perda de carga locais (ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997)

A perda de carga localizada é então determinada a partir da equação 6 (ASHRAE Fundamentals Handbook, 1997):

$$\Delta p_j = C_0 \cdot \rho \frac{C^2}{2} \quad (\text{eq. 6})$$

Sendo,

C_0 – Coeficiente de perda de carga localizada para o elemento j da rede e condutas

C [m/s] – Velocidade no elemento j

ρ [kg/m³] – Massa volúmica do ar

As grelhas de insuflação (e extracção) foram seleccionadas dos catálogos disponíveis dos fabricantes, onde se encontram descritos os valores de perda de carga associados.



Fig. 83 – Grelhas de insuflação e extracção (respectivamente) seleccionadas para a rede de condutas

Tab. 60 – Perdas de carga locais para os vários elementos da rede de condutas

LOCAL+COMPONENTE		Coeficiente C0	ΔP
		(-)	(Pa)
a	A - "Unidade Vent+Permut+Filtros"	-	-
b	B - "Tê"	1	7.8
b1	C - "Tê"	1	9.1
c	D - "Tê"	1	5.0
d	E - "Curva"	0.33	0.3
d	F - "Tê"	1	0.9
d1	G - "Curva"	0.33	0.3
d1.1	Dif - "Grelha Difusão 200x100"	-	8

Obtenção da potência dos ventiladores

Conhecendo a perda de carga total na rede de condutas, a potência de ventilação é obtida a partir das curvas características fornecidas pelo fabricante do equipamento seleccionado.

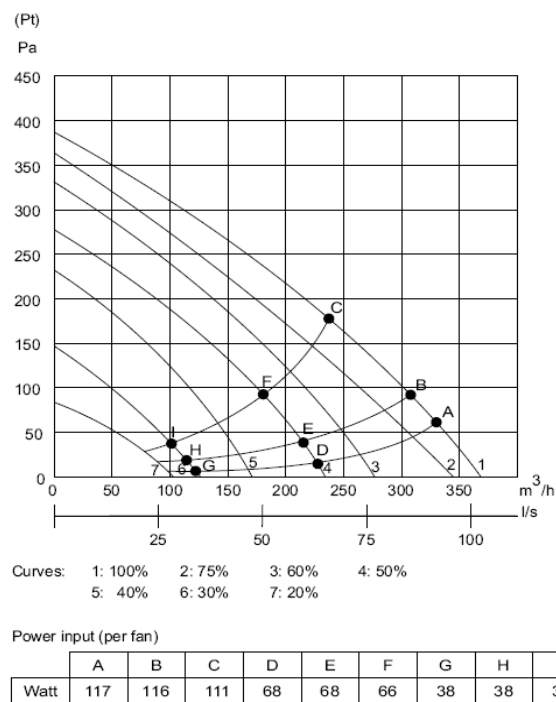


Fig. 84 – Curva característica do equipamento seleccionado

Através da curva característica conclui-se para o caudal necessário que a perda de carga disponível para o ventilador de insuflação é maior do que a requerida. É portanto necessário instalar na rede de condutas registos que possibilitem um ajuste da perda de carga na conduta.

Tab. 61 – Obtenção da potência de ventilação do ventilador de insuflação

Caudal de projecto 0.6 Rph	289 m ³ /h
	0.080 m ³ /s
Perda de carga total	42 Pa
Potência seleccionada do ventilador de insuflação	116 W

Rede de condutas de extracção

Para a obtenção da potência de ventilação do ventilador de extracção para as soluções que recorrem á recuperação de calor, o procedimento é o mesmo que o que foi usado para o ventilador de insuflação.

Tab. 62 – Obtenção da potência de ventilação do ventilador de extracção

Caudal de projecto 0.6 Rph	289 m ³ /h
	0.080 m ³ /s
Perda de carga total	29.8 Pa
Potência seleccionada do ventilador de extracção	116 W

ANEXO C - PROPRIEDADES ÓPTICAS E TÉRMICAS DOS ENVIDRAÇADOS USADOS NO ESTUDO

VIDRO DUPLO NORMAL

CASO DE ESTUDO Nº1

GLAZING SYSTEM DATA: Height Width nPanels Uval-center SC-center SHGC-center Tvis-center

System1 : 1386 1086 2 3.088 0.865 0.750 0.808

FRAME/MULLION DATA: Width OutsideProj InsideProj Cond EdgeCondRatio SolAbs VisAbs Emiss Orient'n (mull)

L Sill	: 57.2	25.4	25.4	500.000	1.441	0.900	0.900	0.90
R Sill	: 57.2	25.4	25.4	500.000	1.441	0.900	0.900	0.90
L Head	: 57.2	25.4	25.4	500.000	1.441	0.900	0.900	0.90
R Head	: 57.2	25.4	25.4	500.000	1.441	0.900	0.900	0.90
Top L Jamb	: 57.2	25.4	25.4	500.000	1.441	0.900	0.900	0.90
Bot L Jamb	: 57.2	25.4	25.4	500.000	1.441	0.900	0.900	0.90
Top R Jamb	: 57.2	25.4	25.4	500.000	1.441	0.900	0.900	0.90
Bot R Jamb	: 57.2	25.4	25.4	500.000	1.441	0.900	0.900	0.90
Mullion	: None							

Average frame: 57.2 25.4 25.4 500.000 1.441 0.900 0.900 0.90

DIVIDER DATA : Width OutsideProj InsideProj Cond EdgeCondRatio SolAbs VisAbs Emiss Type

System1 : 0.0 0.0 0.0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 None

#Hor #Vert

0 0

GLASS DATA

System1	Layer#	Thickness	Cond	Tsol	Rfsol	Rbsol	Tvis	Rfvis	Rbvis	Tir	EmissF	EmissB	SpectralDataFile
1	4.000	1.000	0.825	0.074	0.074	0.896	0.081	0.081	0.000	0.837	0.837	PLANILUX 4mm.SGG	
2	4.000	1.000	0.825	0.074	0.074	0.896	0.081	0.081	0.000	0.837	0.837	PLANILUX 4mm.SGG	

GAP DATA : Gap# Thick nGasses

System1 : 1 6.00 1

GAS DATA

System1	GasName	Fraction	MWeight	ACond	BCond	CCond	AVisc	BVisc	CVisc	ASpHeat	BSpHeat
---------	---------	----------	---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	---------	---------

CSpHeat

System1	Gap1	: Air	1.0000	28.97	0.002873	7.76e-005	0	3.723e-006	4.94e-008	0	1002.74	0.012324	0
---------	------	-------	--------	-------	----------	-----------	---	------------	-----------	---	---------	----------	---

GLAZING SYSTEM OPTICAL DATA

Angle	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Hemis
-------	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-------

System1	Tsol	0.689	0.688	0.685	0.678	0.663	0.631	0.563	0.426	0.201	0.000	0.588
Abs1	0.107	0.107	0.109	0.112	0.117	0.123	0.131	0.140	0.141	0.000	0.121	
Abs2	0.079	0.079	0.080	0.082	0.084	0.085	0.084	0.075	0.054	0.000	0.080	
Rfsol	0.126	0.125	0.126	0.128	0.136	0.161	0.222	0.359	0.604	1.000	0.202	
Rbsol	0.126	0.125	0.126	0.128	0.136	0.161	0.222	0.359	0.604	1.000	0.202	
Tvis	0.808	0.807	0.806	0.801	0.789	0.758	0.685	0.530	0.267	0.000	0.705	
Rfvis	0.146	0.146	0.147	0.150	0.160	0.189	0.259	0.413	0.676	1.000	0.234	
Rbvis	0.146	0.146	0.147	0.150	0.160	0.189	0.259	0.413	0.676	1.000	0.234	

CASO DE ESTUDO Nº2

```

GLAZING SYSTEM DATA: Height Width nPanels Uval-center SC-center SHGC-center Tvis-center
System1      :   1386   1086       2       3.070       0.833       0.723       0.798
FRAME/MULLION DATA: Width OutsideProj InsideProj Cond EdgeCondRatio SolAbs VisAbs Emiss Orient'n (mull)
  L Sill      :   57.2    25.4      25.4   500.000    1.442    0.900    0.900    0.90
  R Sill      :   57.2    25.4      25.4   500.000    1.442    0.900    0.900    0.90
  L Head      :   57.2    25.4      25.4   500.000    1.442    0.900    0.900    0.90
  R Head      :   57.2    25.4      25.4   500.000    1.442    0.900    0.900    0.90
  Top L Jamb   :   57.2    25.4      25.4   500.000    1.442    0.900    0.900    0.90
  Bot L Jamb   :   57.2    25.4      25.4   500.000    1.442    0.900    0.900    0.90
  Top R Jamb   :   57.2    25.4      25.4   500.000    1.442    0.900    0.900    0.90
  Bot R Jamb   :   57.2    25.4      25.4   500.000    1.442    0.900    0.900    0.90
  Mullion     :   None
  Average frame:  57.2    25.4      25.4   500.000    1.442    0.900    0.900    0.90
DIVIDER DATA   : Width OutsideProj InsideProj Cond EdgeCondRatio SolAbs VisAbs Emiss Type #Hor #Vert
System1        :   0.0     0.0       0.0    0.000    0.000    0.000    0.000    0.000    0.000    None    0     0
GLASS DATA     : Layer# Thickness Cond Tsol Rfsol Rbsol Tvis Rfvis Rbvis Tir EmissF EmissB SpectralDataFile
System1        :   1     6.000    1.000 0.784 0.071 0.071 0.885 0.080 0.080 0.000 0.837 0.837 PLANILUX 6mm.SGG
                :   2     4.000    1.000 0.825 0.074 0.074 0.896 0.081 0.081 0.000 0.837 0.837 PLANILUX 4mm.SGG
GAP DATA      : Gap# Thick nGasses
System1        :   1     6.00    1
GAS DATA      : GasName Fraction MWeight ACond BCond CCond AVisc BVisc CVisc ASpHeat BSpHeat
CSpHeat
System1 Gap1   : Air      1.0000 28.97 0.002873 7.76e-005 0 3.723e-006 4.94e-008 0 1002.74 0.012324 0
GLAZING SYSTEM OPTICAL DATA
Angle  0    10    20    30    40    50    60    70    80    90 Hemis
System1
Tsol  0.657 0.655 0.652 0.644 0.629 0.597 0.531 0.400 0.186 0.000 0.556
Abs1  0.152 0.153 0.156 0.160 0.166 0.174 0.184 0.194 0.189 0.000 0.170
Abs2  0.073 0.073 0.074 0.076 0.077 0.078 0.076 0.068 0.047 0.000 0.073
Rfsol 0.118 0.118 0.118 0.120 0.128 0.151 0.209 0.338 0.577 1.000 0.191
Rbsol 0.124 0.124 0.124 0.126 0.134 0.159 0.220 0.355 0.601 1.000 0.200
Tvis  0.798 0.798 0.796 0.791 0.779 0.748 0.675 0.521 0.261 0.000 0.695
Rfvis 0.144 0.144 0.144 0.147 0.157 0.185 0.255 0.405 0.664 1.000 0.230
Rbvis 0.146 0.146 0.146 0.149 0.159 0.188 0.258 0.411 0.674 1.000 0.233

```

VIDRO DUPLO low-e

GLAZING SYSTEM DATA: Height Width nPanels Uval-center SC-center SHGC-center Tvis-center

System1 : 1386 1086 2 1.540 0.672 0.584 0.712

FRAME/MULLION DATA: Width OutsideProj InsideProj Cond EdgeCondRatio SolAbs VisAbs Emiss Orient'n (mull)

L Sill : 57.2 25.4 25.4 56.424 2.238 0.900 0.900 0.90

R Sill : 57.2 25.4 25.4 56.424 2.238 0.900 0.900 0.90

L Head : 57.2 25.4 25.4 56.424 2.238 0.900 0.900 0.90

R Head : 57.2 25.4 25.4 56.424 2.238 0.900 0.900 0.90

Top L Jamb : 57.2 25.4 25.4 56.424 2.238 0.900 0.900 0.90

Bot L Jamb : 57.2 25.4 25.4 56.424 2.238 0.900 0.900 0.90

Top R Jamb : 57.2 25.4 25.4 56.424 2.238 0.900 0.900 0.90

Bot R Jamb : 57.2 25.4 25.4 56.424 2.238 0.900 0.900 0.90

Mullion : None

Average frame: 57.2 25.4 25.4 56.424 2.238 0.900 0.900 0.90

DIVIDER DATA : Width OutsideProj InsideProj Cond EdgeCondRatio SolAbs VisAbs Emiss Type

System1 : 0.0 0.0 0.0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 None

#Hor #Vert

0 0

GLASS DATA : Layer# Thickness Cond Tsol Rfsol Rbsol Tvis Rfvis Rbvis Tir EmissF EmissB SpectralDataFile

System1 : 1 3.835 1.000 0.662 0.191 0.149 0.842 0.070 0.067 0.000 0.122 0.840 RLE75684.grd

2 3.835 1.000 0.662 0.191 0.149 0.842 0.070 0.067 0.000 0.122 0.840 RLE75684.grd

GAP DATA : Gap# Thick nGasses

System1 : 1 13.00 1

GAS DATA : GasName Fraction MWeight ACond BCond CCond AVisc BVisc CVisc ASpHeat BSpHeat

CSpHeat

System1 Gap1 : Argon 1.0000 39.95 0.002285 5.149e-005 0 3.379e-006 6.451e-008 0 521.929 0 0

GLAZING SYSTEM OPTICAL DATA

Angle 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Hemis

System1

Tsol 0.489 0.489 0.484 0.478 0.472 0.454 0.404 0.300 0.150 0.000 0.419

Abs1 0.169 0.170 0.173 0.174 0.174 0.175 0.178 0.177 0.142 0.000 0.171

Abs2 0.097 0.098 0.099 0.100 0.099 0.097 0.092 0.080 0.049 0.000 0.091

Rfsol 0.245 0.243 0.245 0.248 0.255 0.274 0.326 0.443 0.658 1.000 0.309

Rbsol 0.193 0.192 0.194 0.197 0.205 0.225 0.280 0.405 0.635 1.000 0.263

Tvis 0.712 0.712 0.704 0.696 0.687 0.661 0.586 0.434 0.215 0.000 0.609

Rfvis 0.119 0.118 0.120 0.124 0.133 0.158 0.225 0.370 0.625 1.000 0.202

Rbvis 0.115 0.114 0.116 0.120 0.129 0.155 0.221 0.368 0.623 1.000 0.199

VIDRO TRIPLO low-e

GLAZING SYSTEM DATA: Height Width nPanels Uval-center SC-center SHGC-center Tvis-center

System1 : 1386 1086 3 0.812 0.586 0.510 0.612

FRAME/MULLION DATA: Width OutsideProj InsideProj Cond EdgeCondRatio SolAbs VisAbs Emiss Orient'n (mull)

L Sill : 57.2 25.4 25.4 56.424 4.191 0.900 0.900 0.90
R Sill : 57.2 25.4 25.4 56.424 4.191 0.900 0.900 0.90
L Head : 57.2 25.4 25.4 56.424 4.191 0.900 0.900 0.90
R Head : 57.2 25.4 25.4 56.424 4.191 0.900 0.900 0.90
Top L Jamb : 57.2 25.4 25.4 56.424 4.191 0.900 0.900 0.90
Bot L Jamb : 57.2 25.4 25.4 56.424 4.191 0.900 0.900 0.90
Top R Jamb : 57.2 25.4 25.4 56.424 4.191 0.900 0.900 0.90
Bot R Jamb : 57.2 25.4 25.4 56.424 4.191 0.900 0.900 0.90
Mullion : None
Average frame: 57.2 25.4 25.4 56.424 4.191 0.900 0.900 0.90

DIVIDER DATA : Width OutsideProj InsideProj Cond EdgeCondRatio SolAbs VisAbs Emiss Type

System1 : 0.0 0.0 0.0 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 None

#Hor #Vert

0 0

GLASS DATA

Layer#	Thickness	Cond	Tsol	Rfsol	Rbsol	Tvis	Rfvis	Rbvis	Tir	EmissF	EmissB	SpectralDataFile
1	2.972	1.000	0.675	0.192	0.155	0.845	0.070	0.068	0.000	0.122	0.840	RLE75683.grd
2	2.972	1.000	0.675	0.192	0.155	0.845	0.070	0.068	0.000	0.122	0.840	RLE75683.grd
3	2.972	1.000	0.675	0.192	0.155	0.845	0.070	0.068	0.000	0.122	0.840	RLE75683.grd

GAP DATA

System1 : Gap# Thick nGasses
1 13.00 1
2 13.00 1

GAS DATA

CSpHeat

GasName	Fraction	MWeight	ACond	BCond	CCond	AVisc	BVisc	CVisc	ASpHeat	BSpHeat
Argon	1.0000	39.95	0.002285	5.149e-005	0	3.379e-006	6.451e-008	0	521.929	0
Argon	1.0000	39.95	0.002285	5.149e-005	0	3.379e-006	6.451e-008	0	521.929	0

GLAZING SYSTEM OPTICAL DATA

Angle 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 Hemis

System1

Tsol	0.393	0.393	0.387	0.380	0.373	0.353	0.300	0.200	0.083	0.000	0.322
Abs1	0.162	0.162	0.165	0.167	0.167	0.168	0.173	0.175	0.142	0.000	0.165
Abs2	0.103	0.104	0.106	0.106	0.106	0.105	0.104	0.096	0.066	0.000	0.101
Abs3	0.066	0.066	0.067	0.067	0.066	0.064	0.059	0.047	0.024	0.000	0.060
Rfsol	0.276	0.275	0.276	0.279	0.287	0.309	0.365	0.482	0.684	1.000	0.342
Rbsol	0.227	0.226	0.227	0.230	0.239	0.262	0.322	0.447	0.663	1.000	0.298
Tvis	0.612	0.612	0.602	0.592	0.581	0.550	0.465	0.309	0.128	0.000	0.500
Rfvis	0.156	0.155	0.156	0.161	0.172	0.202	0.277	0.426	0.661	1.000	0.245
Rbvis	0.151	0.149	0.151	0.156	0.167	0.197	0.273	0.423	0.660	1.000	0.240