
Resumo

Neste trabalho são apresentados o dimensionamento e os resultados comparativos para um edifício de serviços (escritórios), na vertente económica de aquisição, instalação, exploração e manutenção, de um sistema de climatização a água, com um sistema de climatização a volume de refrigerante variável como alternativa.

Utilizando um *software* de simulação dinâmica para determinar as cargas térmicas a que o edifício em estudo estará sujeito, de forma a dimensionar um sistema de climatização que respeite os regulamentos em vigor pelo actual sistema de certificação energética, foram dimensionados os dois sistemas de climatização dentro dos acima indicados, tendo sido efectuados vários estudos comparativos, por forma a poderem ser futuramente utilizados como base de definição do sistema a adotar por parte dos projetistas do ramo.

Palavras chave: Sistema de climatização; Água; Edifício de serviços.



Abstract

In this study is presented the and the comparative results for a services building (offices), in the economic areas of quoting, installation, exploration and maintenance, the dimensioning of a water based HVAC system with a variable refrigerant flow (VRF) system as alternative.

Using a simulation *software* in order to determine the thermal needs of the building in study and define the HVAC system according to the actual regulations, the two systems were dimensioned, and several comparative studies hopefully to be used in the future in order to help the project designers in the definition of what system is more suitable for this type of building.

Key words: HVAC system; Water; VRF; Services building.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Professor Francisco Manuel Fernandes Severo, pelo apoio e tempo dispendidos, sem os quais não seria possível elaborar e desenvolver o presente trabalho.

Às empresas *France Air*, *Carrier*, *Samsung*, *SystemAir*, Pinto & Cruz, Conveclima e Hiperclima, que através das suas contribuições permitiram uma maior profundidade na análise aos temas abordados. Mais especificamente ao Sr. Eng. José Moura (*Carrier*), Sr. Eng. Ricardo Martins (*Samsung*), Sr. Eng. Ângelo Deus (Pinto & Cruz), Sr. Eng. Rui Marques (Conveclima), Sr. Eng. Miguel Felícia (Hiperclima), pela sua dedicação e auxílio.

Ao meu colega e amigo Nuno Baltazar, pelas muitas horas dispendidas a discutir assuntos sobre os temas abordados neste trabalho, como também outros que nada tiveram a ver com o mesmo, para aliviar dos momentos mais complicados.

À minha família e amigos, a quem agradeço profundamente os diversos apoios recebidos.

Índice

1. Introdução	17
1.1 Sistemas de climatização	17
1.2. Vantagens e desvantagens entre sistemas a água e a VRF	18
1.3. Eficiência dos sistemas de climatização	20
1.4. A recuperação de calor	21
1.5 Contribuição do projeto	25
1.6 Organização do projeto	25
2. Condições de Projeto	27
2.1. Caracterização do Edifício	27
2.2. Características psicrométricas exteriores	31
2.2.1. Correção dos perfis de temperatura exterior e de radiação solar	33
2.2.2. Simulação	36
2.3. Características psicrométricas interiores	36
2.4. Renovações de ar e extracção	36
2.5. Ganhos internos	37
2.6. Perfis de utilização	42
3. Descrição sumária da instalação	45
3.1. Considerações sobre as opções tomadas	47
3.1.1. Necessidades simultâneas de frio e calor	47
3.1.2. Opção de funcionamento do sistema	48
3.2. Sistemas de climatização dimensionados	51
3.2.1. Sistema a água	51
3.2.2. Sistema a VRF	53
3.3. Gestão centralizada	54
3.4. Sistema de condutas e de elementos de difusão/captação de ar	56
4. Análise económica	57
4.1. Sistema a água	57
4.1.1. Simulação	57
4.1.2. Consumos	58
4.2. Sistema a VRF	61

4.2.1. Simulação	61
4.2.1.1. EER e COP dos sistemas	62
4.2.1.2. EER e COP dos sistemas - meses de Verão	63
4.2.1.3. EER e COP dos sistemas - meses de Inverno	64
4.2.2. Consumos	65
4.3. Comparação entre consumos energéticos e custos de exploração	66
4.4. Custos de aquisição dos equipamentos	67
4.5. Custos de instalação	68
4.6. Custos de manutenção	68
5. Comentários e conclusões	70
5.1. Aplicação legal	75
5.1.1. Concentração de gases	75
5.2. Considerações finais	75
5.3. Melhorias e perspetivas futuras	77
6. Referências Bibliográficas	79
7. Anexos	81
A1. Caracterização das envolventes do edifício	
A2. Graus dia	
A3. Normais Climatológicas - Castelo Branco	
A4. Radiação Solar	
A5. Normais climatológicas Porto e Évora	
A6. Caudais de ar novo e de extração	
A7. Ashrae	
A8. Necessidades espaços, piso -1	
A9. <i>Chiller</i> 30RQ182	
A10. <i>Chiller</i> 30RB522	
A11. Fancoils	
A12. <i>UTAN France Air</i>	
A13. DVM - unidades exteriores	
A14. DVM - unidades interiores	
A15. <i>UTAN DX</i>	
A16. Peças desenhadas	
A17. Peças desenhadas - afinação quantidade de gás	

Índice de figuras

Fig. 1 – Exemplo de Recuperação de Calor, sistema a água, modo de frio	22
Fig. 2 – Recuperação de Calor, sistema a VRF (sistema maioritariamente no modo de Frio)	23
Fig. 3 – Recuperação de Calor, sistema a VRF (sistema maioritariamente no modo de Calor)	23
Fig. 4 – Recuperação de calor para ar/ar	24
Fig. 5 – Recuperação de calor para ar/ar	24
Fig. 6 – Paredes criadas no <i>software</i> Hap ; U [W/(m ² .°C)]; Peso (Kg/ m ²)	27
Fig. 7 – Características da parede exterior de 300mm	29
Fig. 8 – Características da parede interior de betão de 200mm	29
Fig. 9 - Características da cobertura do edifício	30
Fig. 10 – Características da superfície envidraçada	31
Fig. 11 - Propriedades da envolvente exterior ; <i>Pychrometric Diagram Viewer</i> ; Daikin	32
Fig. 12 - Propriedades da envolvente exterior ; Castelo Branco ; HAP	33
Fig. 13 - Determinação das temperaturas de bolbo húmido máximas e mínimas (Exemplo Janeiro)	34
Fig. 14 - Perfis de temperatura corrigidos	35
Fig. 15 - Densidade de iluminação (<i>ASHRAE Handbook of Fundamentals</i> , 2001)	38
Fig. 16 - Equipamentos elétricos (<i>ASHRAE Handbook of Fundamentals</i> , 2001)	38
Fig. 17 - Definição dos espaços interiores ; menu geral	39
Fig. 18 - Definição dos espaços interiores ; ganhos internos	40
Fig. 19 - Definição dos espaços interiores ; paredes, janelas e portas	40
Fig. 20 - Definição da cobertura	41
Fig. 21 - Parâmetros definidos em perfis de utilização/ocupação	42
Fig. 22 – Perfil horário, equipamentos elétricos escritórios	43
Fig. 23 – Perfil horário, iluminação	43
Fig. 24 – Perfil horário, ocupação escritórios	44
Fig. 25 – Projetos considerados para simulação dos sistemas	45
Fig. 26 – Menu " <i>Systems</i> " - Sistemas utilizados	47
Fig. 27 – Menu " <i>Plants</i> " ; " <i>Plants</i> " utilizadas	57
Fig. 28 – Menu <i>Chillers</i> ; <i>Chillers</i> utilizados	57
Fig. 29 – Evolução do EER em função da temperatura exterior, regime de funcionamento	70

100%

Fig. 30 – Evolução do COP em função da temperatura exterior, regime de funcionamento 71

100%

Fig. 31 – Consumos elétricos mensais ; Sistema a água e VRF 72

Fig. 32 – Consumos elétricos mensais ; Sistema de bombagem 72

Fig. 33 – Recuperação de calor ; Sistema a água 73

Índice de tabelas

Tab. 1 - Correção dos perfis de temperatura ; Temperatura mínima	33
Tab. 2 – Renovações de ar em função da tipologia de utilização	37
Tab. 3 - Necessidades por hora do edifício para o dia 2 de Janeiro	48
Tab. 4 - Consumos elétricos esperados em kWh	50
Tab. 5 - Necessidades do edifício (Dimensionamento)	50
Tab. 6 - Potências Instaladas para seleção de <i>Chillers</i>	52
Tab. 7 - Capacidades dos <i>Chillers</i> selecionados em kW	52
Tab. 8 - Potências Instaladas para seleção de Sistemas VRF, kW	54
Tab. 9 - Necessidades e consumos energéticos, sistema a água para o dia 16 de Janeiro	58
Tab. 10 - Necessidades e consumos energéticos, sistema a água, dia 2 de Outubro	60
Tab. 11 - Consumo anual edifício - sistema a água, kWh	61
Tab. 12 - Evolução das temperaturas exteriores ao longo do ano ; HAP	62
Tab. 13 - EER e COP dos sistemas VRF dimensionados em função das temperaturas médias máximas e mínimas exteriores e simultaneidade de 90% e 70%, respetivamente	63
Tab. 14 - Eficiência média ponderada dos sistemas VRF quando existe alternância entre os modos de frio e calor durante um dia	64
Tab. 15 - Consumo energético do edifício ; Janeiro ; sistema a VRF	65
Tab. 16 - Consumo elétrico anual edifício - sistema a VRF	66
Tab. 17 - Consumo elétrico anual edifício - sistema a água e VRF ; Simulação	66
Tab. 18 – Gastos anuais por sistema ; Diferença (poupança VRF)	67
Tab. 19 - Custos associados aos equipamentos ; Sistema a água	67
Tab. 20 - Custos associados aos equipamentos ; Sistema a VRF	68

1. Introdução

Faz parte deste anteprojeto o dimensionamento e seleção de equipamentos inerentes a um sistema de A.V.A.C. (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado), por forma a garantir condições interiores de temperatura seca e de humidade relativa apropriadas ao tipo de atividade prevista para um edifício de escritórios, situado em Castelo Branco.

Um sistema de A.V.A.C. tem como finalidade assegurar o conforto térmico num determinado local. Para conceber corretamente um sistema de climatização, é necessário integrar todo um conjunto de conhecimentos que englobam diversas áreas, como o tratamento físico-matemático dos fenómenos de transmissão de calor e massa, fenómenos termohigrométricos e biológicos que regulam o conforto, princípios de funcionamento dos diversos equipamentos disponíveis no mercado e a regulamentação existente.

1.1. Sistemas de climatização

Para conceber corretamente um projeto de instalação, é necessário utilizar programas de simulação e desenho dos diferentes equipamentos que dela farão parte, bem como dos acessórios indispensáveis ao seu correto funcionamento, considerando aspetos como troca de calor e massa, transporte do fluído térmico e o controlo das condições interiores e respetiva monitorização.

Consoante as necessidades dos locais a climatizar, as regulamentações e as verbas disponíveis, podem ser definidos diferentes tipos de sistemas, cada um deles com várias opções tendo em conta o fim a que se destinam, como por exemplo: apenas aquecimento, aquecimento ou arrefecimento (sistemas reversíveis), ou ambos os modos em simultâneo (sistemas reversíveis com recuperação de calor).

Atualmente são dois os principais tipos de sistemas mais utilizados para climatização: Sistemas a água e sistemas a volume de refrigerante variável (doravante denominado pela abreviatura VRF). Os primeiros são compostos por uma ou mais unidades exteriores, que, através de um ciclo frigorífico, fornecem ou retiram calor a água que circula pela rede de tubagens, servindo unidades interiores instaladas no edifício a climatizar.

Os sistemas VRF por seu lado, utilizam o próprio fluido refrigerante do ciclo frigorífico no tratamento térmico dos espaços, circulando-o através das unidades interiores e respetiva rede de tubagens (por isso também designado por expansão direta). A designação VRF, caracteriza-se pelo fornecimento da energia térmica de forma proporcional e progressiva às necessidades da zona a tratar. Simultaneamente, adequa o ciclo de trabalho do compressor e do ventilador da unidade exterior, em função da potência necessária, bem como o fluxo do fluido refrigerante que se ajusta às necessidades de cada espaço interior, obtendo-se uma regulação progressiva em todas as unidades interiores, variando a capacidade da condensação/evaporação de cada unidade interior, permitindo assim conseguir temperaturas individualizadas.

1.2. Vantagens e desvantagens entre sistemas a água e a VRF

Dadas as características dos tipos de sistema em estudo, são vários os fatores que podem pesar na definição de que sistema a adotar num projeto. São vários os parâmetros que os diferenciam:

- Custos de aquisição de equipamentos: tendencialmente os custos de aquisição, são geralmente superiores para os sistemas a água, quando comparado com o equivalente sistema a VRF;
- Custos de instalação: à semelhança do caso anterior, tendencialmente os custos de instalação são igualmente superiores para os sistemas a água, quando comparado com o equivalente sistema a VRF. O facto de usarem água como fluido térmico, implica cuidados na instalação mais rigorosos, assim como geralmente mais acessórios de montagem (válvulas de corte de caudal);
- Simplicidade do sistema e inércia térmica: os sistemas VRF são geralmente mais vantajosos, em virtude de não necessitarem de bombas de circulação para efetuar a distribuição do fluido frigoriférico entre as unidades exteriores e as interiores. Adicionalmente, invertem o ciclo (frio-calor) sem praticamente qualquer restrição e com elevada simplicidade, pois o fluido frigoriférico, tratando-se de gás, rapidamente altera e atinge as temperaturas pretendidas. No caso de sistemas a água a dois tubos (sistema que permite tratar apenas um modo de funcionamento de cada vez, frio ou calor), inverter o

ciclo implica tratar termicamente todo o volume de água do sistema, tendo de vencer a sua elevada inércia térmica, acabando por não ser economicamente viável alterar constantemente o modo de funcionamento;

- Possibilidade de alteração/intervenção do sistema: neste ponto os sistemas a VRF são menos vantajosos, caso seja necessário efetuar alguma alteração no sistema, como por exemplo acrescentar ou retirar uma unidade interior, estes sistemas têm sempre a limitação de só funcionarem com coeficientes de simultaneidade rigorosos (a soma da potência das unidades interiores tem de estar compreendida entre 50% e 150% da capacidade nominal da respetiva unidade exterior - conforme indicação do fabricante). Adicionalmente, no caso de ser necessário realizar uma intervenção de manutenção numa unidade, que implique aceder fisicamente ao circuito frigorífico (trocar um condensador ou uma válvula de expansão, por exemplo), essa operação implica retirar todo o fluido frigorífero do sistema, sendo posteriormente necessário realizar diversos procedimentos antes de reintroduzir no sistema (colocar as tubagens sob pressão, normalmente por meio de Azoto, para verificar a existência de fugas, posteriormente colocar as tubagens em vácuo durante um certo período de tempo, para eliminar a presença de qualquer substância no estado gasoso). No caso de sistemas a água, a instalação de uma válvula de corte a montante e a juzante de todos os equipamentos, facilita a substituição ou a intervenção (embora aumente os valores de instalação iniciais). Outra desvantagem dos sistemas a VRF consiste na dificuldade de detetar uma fuga nas instalações, principalmente nas de distribuição complexas. Num sistema a água deteta-se sempre a presença da mesma, tarefa que por vezes se torna muito difícil de detetar nos sistemas de expansão direta;

- Concentração de gás: a Norma Portuguesa, NP- EN378-1 de 2001, estipula que para locais residenciais/trabalho, existe um valor limite de concentração de fluido frigorífero no estado gasoso, limitando a dimensão e capacidade dos sistemas. Quanto maior for a sua potência e dimensão de tubagens, maior a quantidade de fluido frigorífero presente, para o caso de ocorrer uma fuga no sistema. Esta limitação obviamente que só se coloca nos sistemas de expansão direta, pois o gás frigorífero circula nas unidades instaladas no interior dos espaços a climatizar. Nos sistemas a água, o gás frigorífero apenas circula na unidade exterior, na qual efetua a permuta de calor para a água que irá circular pelas unidades interiores. Nos sistemas a VRF atuais, o fluido

frigorigéneo mais comum é o R-410A, cujo valor de concentração limite é de 0,44 Kg/m³ (decreto-lei, em anexo - suporte informático);

- Limites de distância entre unidade exterior e interior: os sistemas de expansão direta, devido ao seu modo de funcionamento, têm limitações nas distâncias máximas admissíveis entre a unidade exterior e as interiores, bem como entre os respetivos acessórios. Distâncias superiores às admitidas, têm influência direta nas pressões a que o sistema irá operar, afetando diretamente o ciclo frigorífico e sua eficiência. O seu dimensionamento deve sempre ter em atenção este aspeto, necessitando de um rigor superior quando utilizados em projeto. Neste aspeto, os sistemas a água não têm quaisquer restrições, bastando apenas dimensionar as bombas de circulação e respetivas tubagens, considerando apenas a perda de carga da rede.
- Conforto térmico: os sistemas de expansão direta, principalmente quando se encontram a funcionar em regime de arrefecimento, devido aos seus *setpoints* de funcionamento, originam temperaturas de insuflação tendencialmente muito baixas, entre os 10°C e os 14°C de bolbo seco. Estas condições de insuflação, face ao diferencial térmico relativamente à temperatura ambiente, podem originar desconforto ao nível dos ocupantes dos espaços. Estes valores de temperatura podem no entanto ser aumentados, alterando a programação de funcionamento das unidades exteriores dos sistemas, implicando no entanto uma redução na capacidade térmica das mesmas. Os sistemas a água permitem um maior controlo do conforto térmico, uma vez que permitem controlar livremente a temperatura de insuflação, dado que o fluído térmico (água) é independente do ciclo frigorífico do sistema.

1.3. Eficiência dos sistemas de climatização

De forma a avaliar a eficiência dos equipamentos de climatização permitindo determinar os consumos esperados, há que essencialmente identificar duas grandezas:

- EER (*Energy Efficiency Ratio*) trata-se de uma grandeza adimensional que mede a eficiência de um equipamento de ar condicionado, isto é, a relação entre o valor de

potência térmica disponibilizada em kW, para o modo de frio, por cada kW de energia elétrica consumida:

$$EER = \frac{\text{Potência Térmica em Arrefecimento } [W^-]}{\text{Potência de Energia Elétrica Consumida } [W^-]}$$

- COP (*Coefficient of Performance*) trata-se de uma grandeza adimensional que mede a eficiência de um equipamento de ar condicionado, isto é, a relação entre o valor de potência térmica disponibilizada em kW, para o modo de aquecimento, por cada kW de energia elétrica consumida:

$$COP = \frac{\text{Potência Térmica em Aquecimento } [W^-]}{\text{Potência de Energia Elétrica Consumida } [W^-]}$$

1.4. A recuperação de calor

A recuperação de calor toma, nos dias de hoje, uma importância cada vez mais significativa, numa altura em que se pretende reduzir os gastos energéticos na climatização em edifícios. Pode ser realizada por várias formas, sendo o objetivo básico comum a todas, o da poupança de energia. A recuperação de calor aplicada a sistemas de climatização, é um método que procura reduzir os consumos energéticos, utilizando o calor recuperado para utilização posterior, que de outra forma não seria aproveitado.

A principal vantagem da recuperação de calor aplicada a sistemas de climatização, diz respeito aos casos em que os espaços a tratar necessitam de aquecimento e arrefecimento em simultâneo. Este tipo de necessidade pode ocorrer nos períodos de meia-estação, em geral, devido aos ganhos térmicos da radiação solar direta serem mais elevados a horas distintas, consoante a orientação do edifício. Neste caso, o fluido térmico, que depende do sistema de climatização ao qual pertence (geralmente água ou gás), fornece ou recebe calor para tratamento de outro espaço. A forma de recuperação nestes casos, varia caso se trate de um sistema a água ou a VRF. Nos sistemas a água é utilizado geralmente um permutador de calor para recuperar a dissipação térmica gerada pelo processo de arrefecimento da água ou mesmo à energia térmica retirada do edifício pelas unidades interiores, sendo este calor armazenado num depósito de acumulação de água,

cuja energia será utilizada para fornecer calor aos espaços interiores que apresentam necessidades de aquecimento.

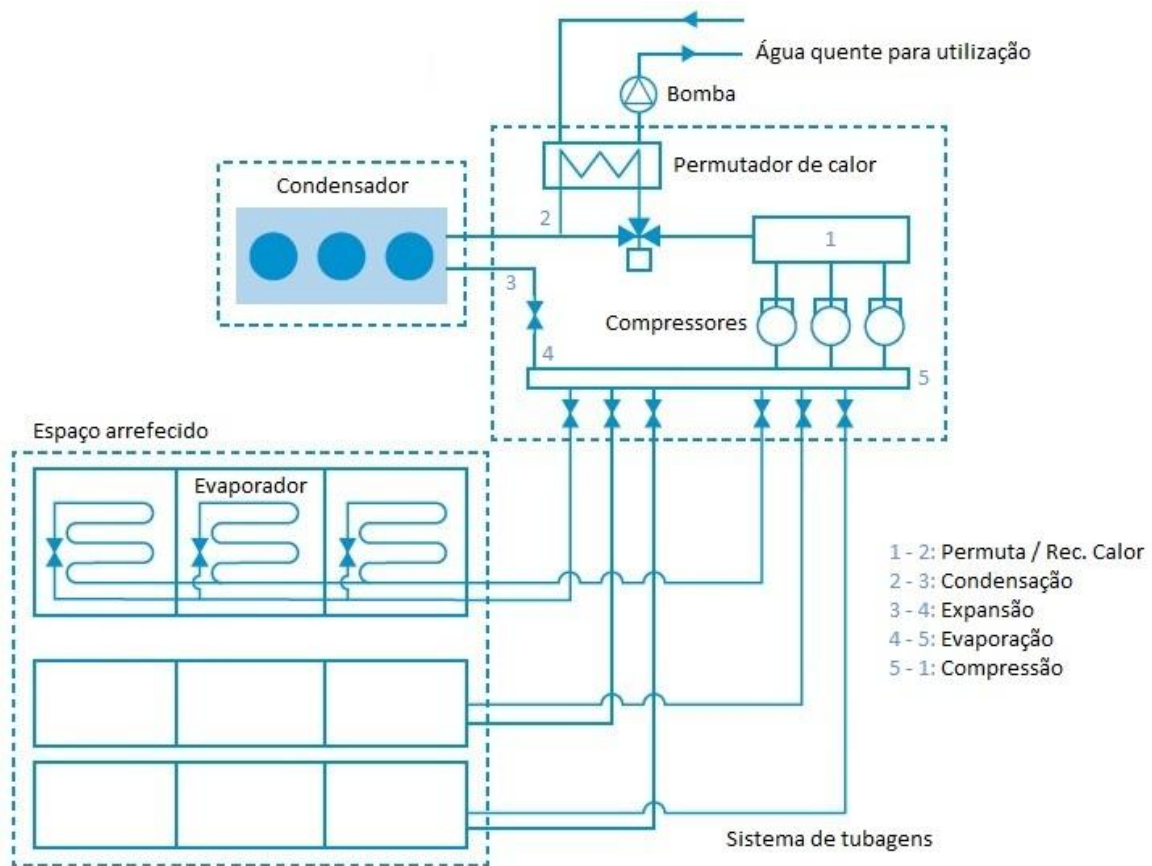


Fig. 1 – Exemplo de Recuperação de Calor, sistema a água, modo de frio

No caso dos sistemas a VRF com recuperação de calor, dependendo de cada fabricante, a recuperação pode ser realizada com recurso à utilização de caixas recuperadoras ligadas às unidades interiores. Nestas, o fluido frigorigéneo resultante do tratamento térmico de um espaço interior, pode ser reaproveitado para tratar termicamente outro espaço interior, com recurso a caixas de recuperação. Estas circulam o fluido térmico a média pressão, proveniente do tratamento térmico de um espaço interior com necessidade de aquecimento, e utilizam-no para tratamento térmico de um outro espaço interior com necessidade de arrefecimento. As unidades exteriores operam num dos modos de funcionamento (Frio ou Calor, em função da quantidade de unidades interiores que trabalham em cada um dos modos).

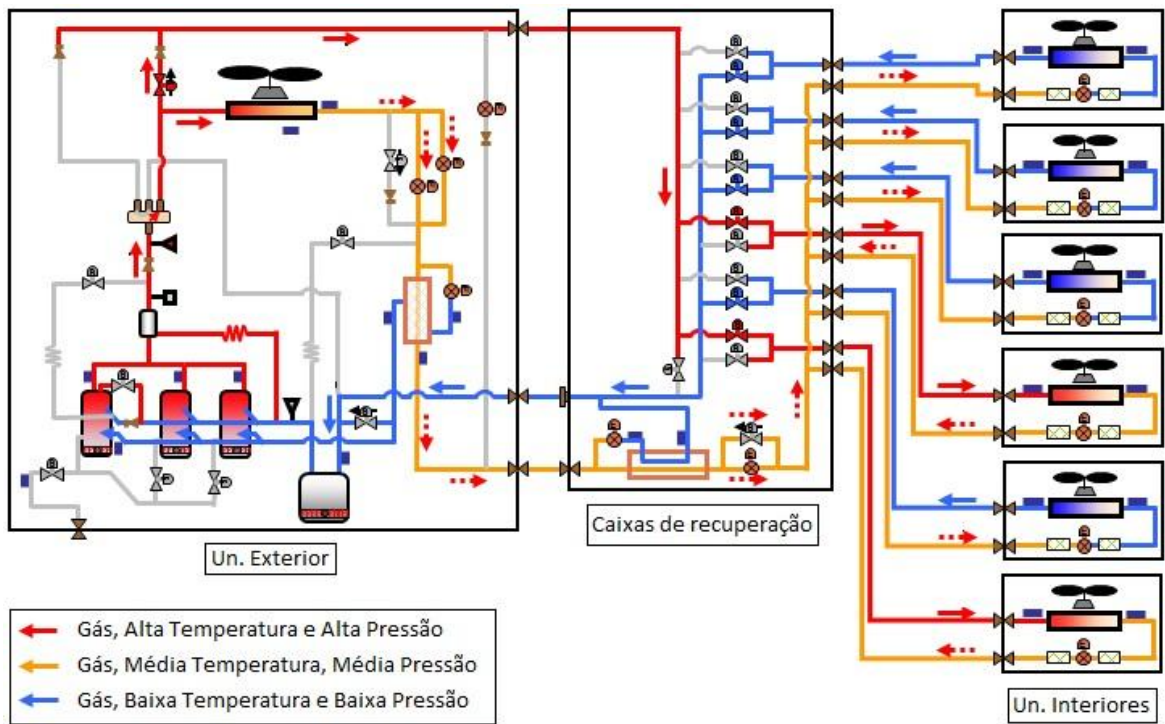


Fig. 2 – Recuperação de Calor, sistema a VRF (sistema maioritariamente no modo de Frio)

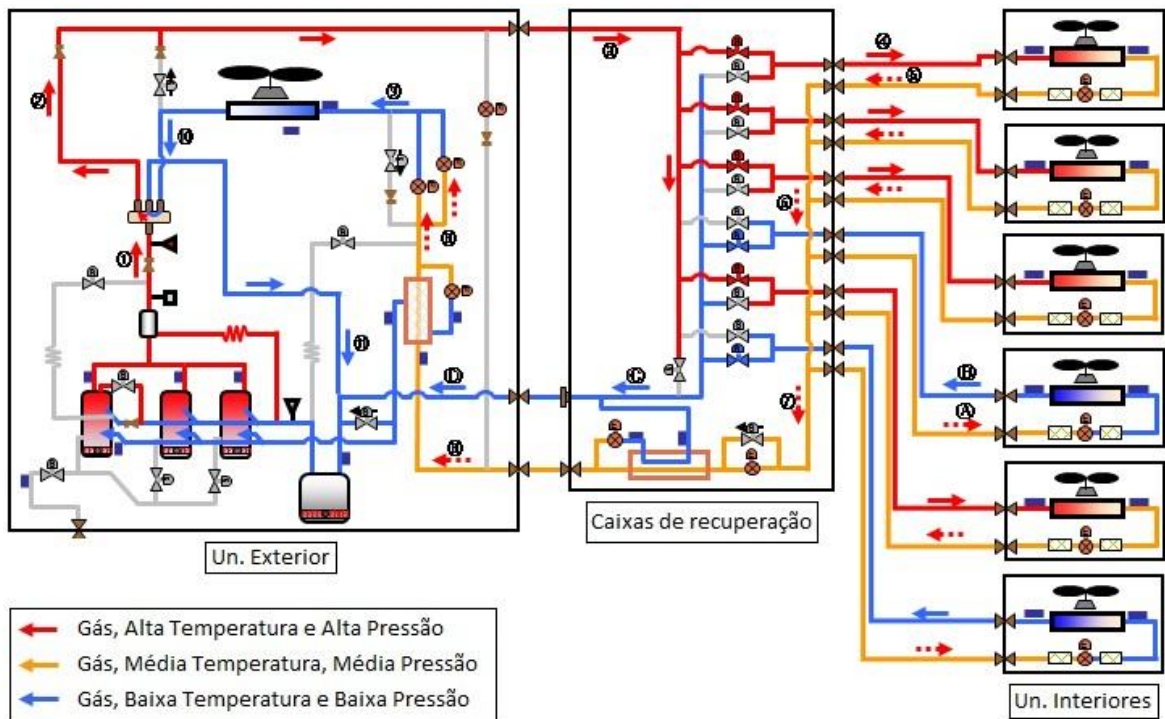


Fig. 3 – Recuperação de Calor, sistema a VRF (sistema maioritariamente no modo de Calor)

Outra forma típica de recuperação de calor aplicada a sistemas de climatização, diz respeito ao cruzamento de fluxos de ar de extração e de insuflação, que podem ou não ser fisicamente misturados em percentagens de garantam a qualidade do ar interior, por forma a possibilitar uma troca de energia térmica entre o ar novo proveniente do exterior, com o ar extraído do interior dos espaços a tratar, no caso de o primeiro ter uma temperatura inferior ao segundo (o contrário também de aplica, embora com menores rendimentos térmicos). Desta forma, o sistema de climatização responsável pelo tratamento térmico a aplicar ao ar novo, necessitará de uma potência inferior, conforme de ilustra nas figuras seguintes para o caso de recuperação de calor ar/ar, onde se aproveita o calor extraído do interior do espaço a tratar, para o aumento da temperatura do ar novo proveniente do exterior:

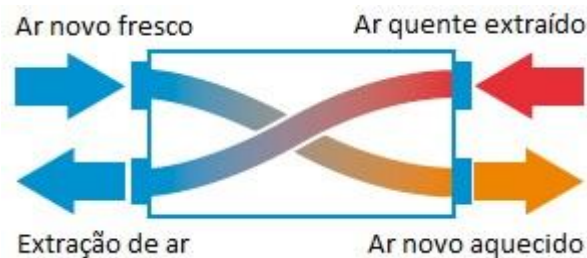


Fig. 4 – Recuperação de calor para ar/ar

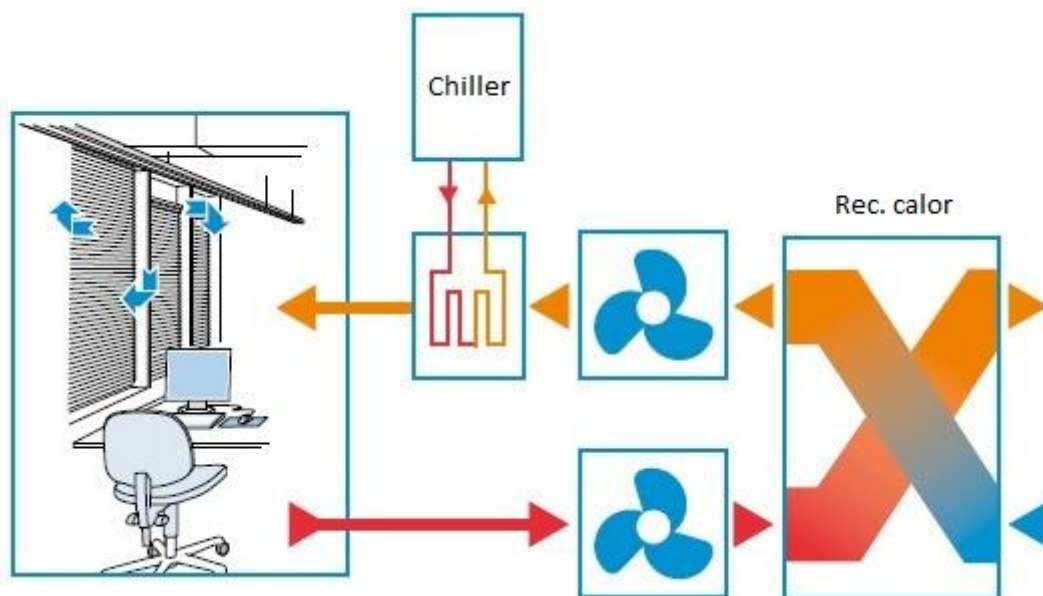


Fig. 5 – Recuperação de calor para ar/ar

1.5. Contribuição do projeto

Pretende-se, após uma breve introdução aos tipos de sistemas e respetivas características utilizadas ao longo deste trabalho, dimensionar as necessidades térmicas de um edifício de serviços, e definir dois sistemas de climatização dentro dos atualmente mais utilizados, sistemas a água e VRF, e, posteriormente, executar uma análise económica comparativa entre ambos. Atualmente fica a cargo do projetista a definição do tipo de sistema a adotar para um sistema de climatização, geralmente sem haver um estudo comparativo acerca de qual dos sistemas seria mais apropriado para cada caso. A própria regulamentação em vigor, que define por exemplo limites de concentração máxima de gases por unidade de volume, apresenta-se como um fator determinante na escolha do tipo de sistema a adotar pelo projetista.

Pretende-se por isso com este trabalho, para o caso de um edifício de serviços, fornecer uma base de auxílio na definição do sistema, explorando a vertente económica de aquisição, instalação, exploração e manutenção, as opções utilizadas e regulamentadas.

Todas as opções tomadas ao longo deste projeto serão convenientemente descritas e justificadas, tendo como base a legislação e regulamentação em vigor aplicável (RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos em Climatização de Edifícios, aplicável a instalações com potências térmicas instaladas superiores a 25KW e / ou a edifícios com áreas superiores a 1000m², anexo 0 - suporte informático), e a dados ou publicações de entidades responsáveis e credenciadas, como o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), normais climatológicas, manual da *ASHRAE*.

1.6. Organização do projeto

O primeiro capítulo deste trabalho fornece uma introdução genérica ao conceito de projeto de A.V.A.C., bem como aos sistemas a água e VRF e suas características, em estudo neste trabalho. No segundo capítulo estão indicadas as condições sob as quais foram determinadas, com recurso a um *software* de simulação, as necessidades térmicas do edifício, sendo indicadas as características do edifício para o qual foram dimensionados os dois sistemas de climatização em estudo, as condições das zonas a servir e respetivas temperaturas de projeto, requisitos e necessidades dos espaços interiores. São igualmente indicados neste capítulo alguns dos pressupostos utilizados para dimensionamento de equipamentos a instalar. No terceiro capítulo são descritas sumariamente as instalações

dos sistemas a água e VRF, no qual são indicadas, para cada caso, os equipamentos utilizados de forma a cobrir as necessidades do edifício, sendo, no quarto capítulo, apresentados os estudos e resultados comparativos entre os referidos sistemas, depois de simuladas as utilizações para ambos os casos. No quinto capítulo são apresentadas as conclusões, comentários finais e sugestões de melhoria/desenvolvimento deste trabalho, sendo no sexto e sétimo capítulos, apresentadas as referências bibliográficas e os anexos necessários ao complemento da informação necessária ao trabalho, como desenhos, tabelas e documentação técnica, respetivamente.

2. Condições de projeto

A definição de todo o projeto, no que toca às características da envolvente do edifício, localização, condições interiores e exteriores, etc, foi realizada com recurso ao *software* HAP 4.31 (*Hourly Analysis Program 4.31*) da *Carrier*. No mesmo são definidos diversos parâmetros que irão servir de base ao cálculo das necessidades térmicas do edifício a tratar.

2.1. Caracterização do edifício

Os sistemas de climatização a projetar destinam-se a um edifício de escritórios situado em Castelo Branco. O complexo é dividido em nove pisos, sendo um subterrâneo e os restantes limitados por envidraçados praticamente em toda a sua periferia.

O edifício é maioritariamente utilizado para trabalho de escritório, havendo espaços destinados ao complemento necessário a este tipo de serviços, como seja sanitários, refeitório, garagem, ginásio, etc.

A envolvente do edifício, pela qual se processam as trocas de energia sob a forma de calor entre o interior e o exterior, foi caracterizada pelas características dos materiais que a compõem, cujos valores de resistência térmica, em função da sua espessura, foram retirados das tabelas do LNEC. A definição das paredes que compõem o edifício, é demonstrada na seguinte figura (Anexo 1):










 Parede Exterior 2 300mm	0,505	457,2
 Parede Exterior 1 375mm	0,431	742,2
 Parede Interior 1 150mm	1,786	285,0
 Parede Interior 2 110mm	2,083	209,0
 Parede Interior 3 250mm	1,242	475,0
 Parede Interior 4 350mm	0,952	665,0
 Parede Interior 5 200mm	1,465	380,0
 Parede Interior Betão 1 200mm	2,795	455,0
 Parede Interior Betão 2 250mm	2,647	575,0

Fig.6 – Paredes criadas no *software* Hap ; U [W/(m².°C)]; Peso (Kg/ m²)

No anexo 1 e através dos suportes informáticos fornecidos (*Hourly Analysis Program 4.31, Carrier* - ficheiro de simulação ; Tabelas), é possível verificar toda a caracterização pormenorizada considerada para o edifício em estudo, especificando as espessuras e a designação de todos os seus elementos constituintes.

As densidades e condutividades térmicas (λ) dos materiais são obtidas das publicações sobre Informação Técnica de Edifícios - ITE 50 do LNEC (quadros 1 e 2). Com base na seguinte relação, determinam-se as resistências térmicas (R) de cada elemento constituinte da parede.:

$$R = \frac{\text{Espessura do Material}[m]}{\lambda[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}]}$$

O coeficiente de transmissão térmica global obtém-se através da seguinte expressão:

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

Onde:

- U – É o coeficiente de transmissão térmica global em $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$
- R_{se} – É a resistência térmica superficial exterior em $[(m^2 \cdot ^\circ C)/ W]$ (Quadro I.3, fonte Informação Técnica de Edifícios-ITE 50 do LNEC)
- R – É a resistência térmica de cada elemento constituinte da parede em $[(m^2 \cdot ^\circ C)/ W]$
- R_{si} – É a resistência térmica superficial interior em $[(m^2 \cdot ^\circ C)/ W]$ (Quadro I.3, fonte Informação Técnica de Edifícios - ITE 50 do LNEC)

Demonstram-se, nas figuras seguintes, exemplos para cada um dos tipos de parede consideradas no edifício (exterior, interior, cobertura) em termos de composição:

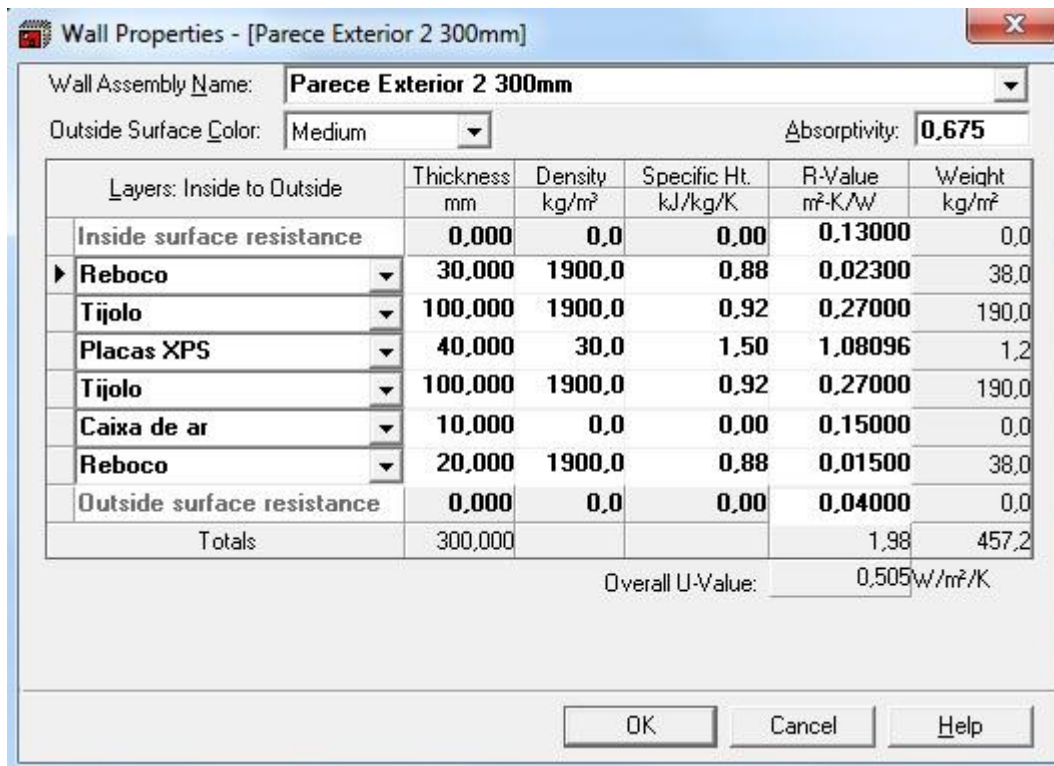


Fig. 7 – Características da parede exterior de 300mm

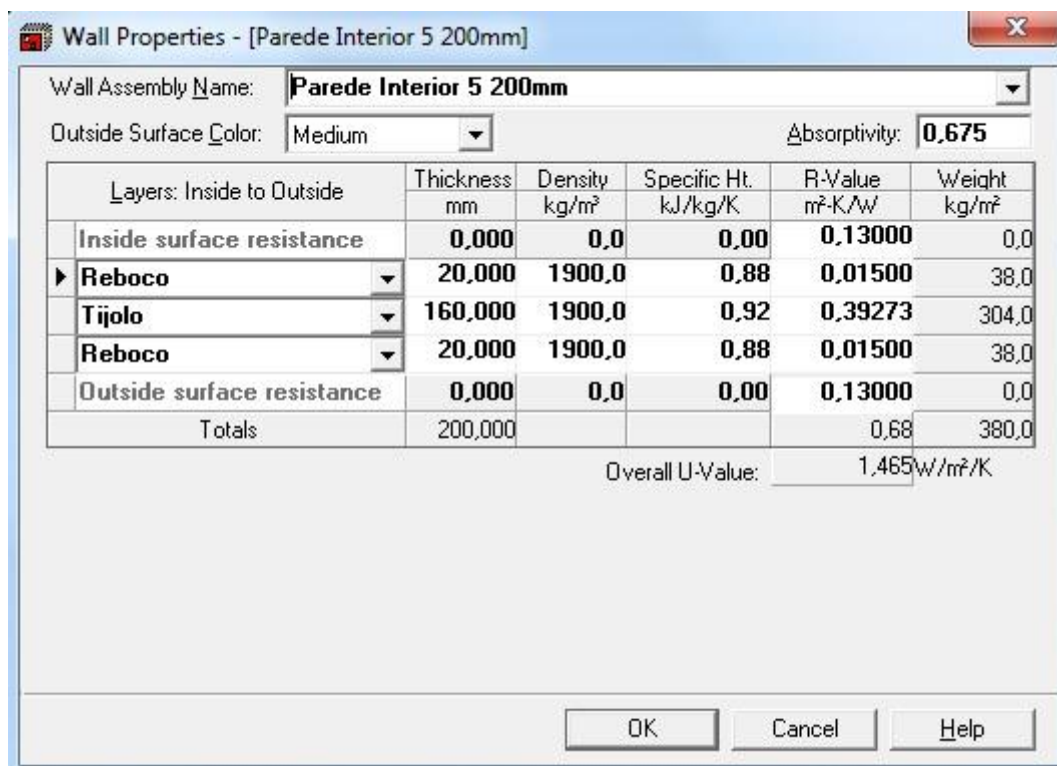


Fig. 8 – Características da parede interior de betão de 200mm

A cobertura do edifício foi considerada como sendo constituída por laje maciça de 200mm de espessura, com isolamento exterior de EPS de 30mm (pág. II.63, LNEC, Anexo 1).

NOTA: na ausência de uma opção direta no *software* que se aproxime à opção escolhida, foram definidos os valores de cada parâmetro, por forma a obter um valor final para o coeficiente de transmissão térmica global idêntico ao indicado no anexo referido:

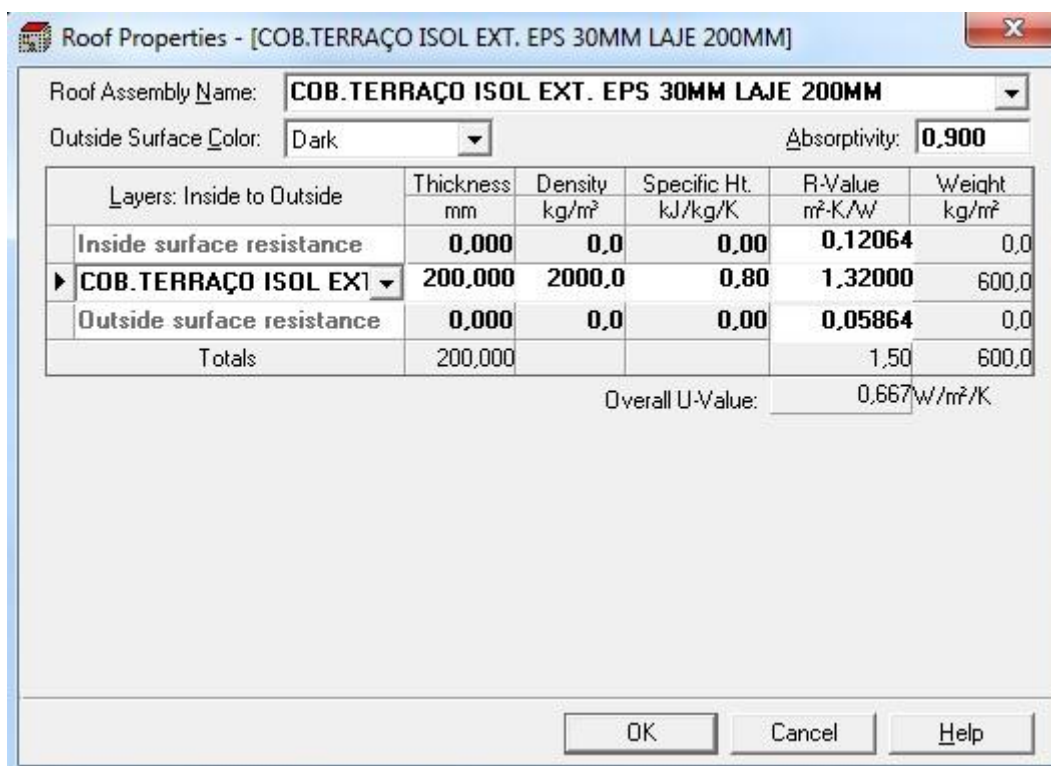


Fig. 9 - Características da cobertura do edifício

Conforme já referido, a envolvente o edifício é composta maioritariamente por superfícies envidraçadas compostas por uma caixa-de-ar de 6mm entre uma camada dupla de vidro de 3mm de espessura. Foram consideradas as seguintes características, independentemente das dimensões:

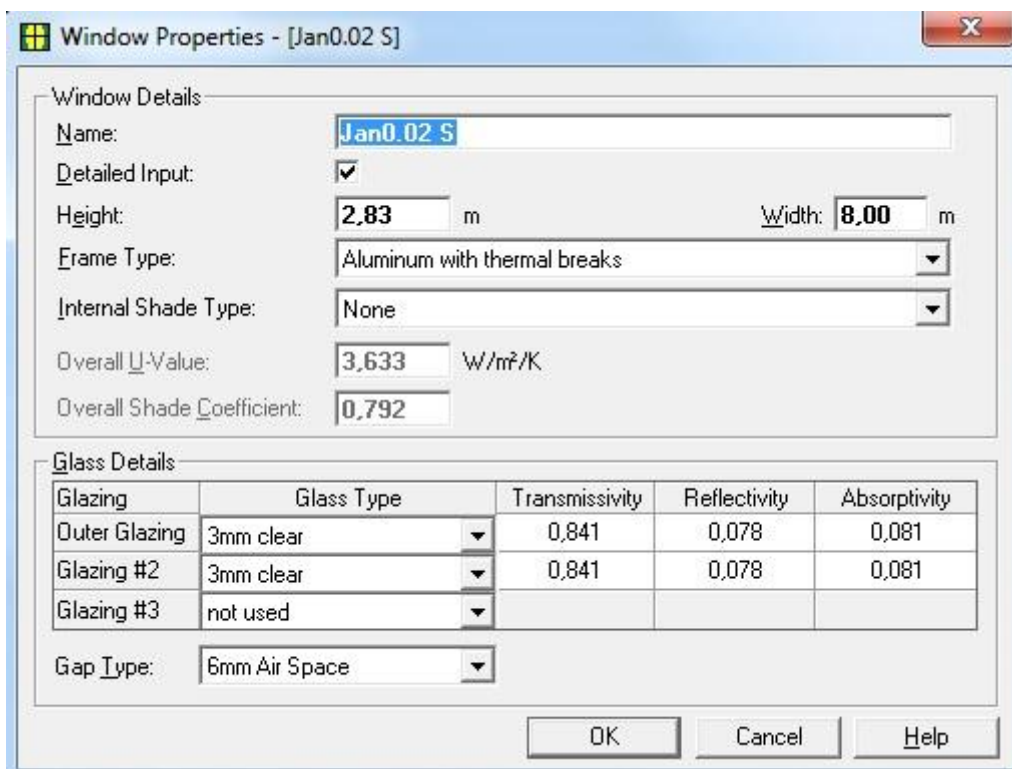


Fig. 10 – Características da superfície envidraçada

2.2. Características psicrométricas exteriores

O dimensionamento mais apropriado da potência necessária para cobrir todas as necessidades energéticas de um edifício ao longo do ano, é feito considerando o dia do ano cujas condições se mostram mais adversas. Para isso recorre-se a normais climatológicas que obedecem a um padrão do comportamento das temperaturas numa dada região durante um dado período de anos.

Dependendo da localização do edifício a tratar, são, neste campo, definidas as condições exteriores que vão influenciar todo o dimensionamento do sistema de climatização, considerando-se para tal as respetivas características climáticas e de radiação solar.

Situando-se o edifício em estudo em Castelo Branco, da tabela dos Quantis Empíricos para a temperatura máxima diária e para 99% das horas anuais (em 1% das horas do ano estas condições são superadas - Graus Dia, Quadro II.A, anexo 2), obtém-se um valor de 36,2°C para a temperatura do bolbo seco de Verão.. Do mesmo quadro para 99% e para a mesma estação meteorológica, retira-se o valor coincidente da temperatura do bolbo húmido e da amplitude térmica diária (21,5°C e 14,1°C respetivamente). Para a temperatura mínima diária retira-se, da tabela dos Quantis empíricos e agora para 2,5%

das horas anuais, uma temperatura do bolbo seco no Inverno de 0,1°C, cuja respetiva temperatura de bolbo húmido é obtida através do recurso à carta psicrométrica considerando uma humidade relativa de 79% (dado que nesta altura do ano a humidade é tipicamente elevada), obtendo-se um valor de -1,1°C:

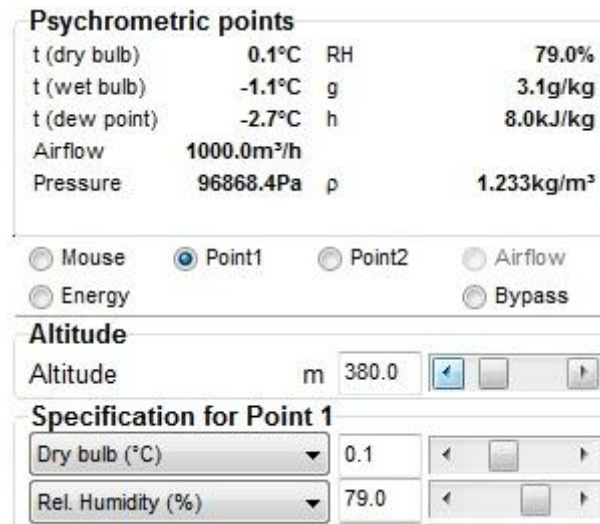


Fig. 11 - Propriedades da envolvente exterior ; *Psychrometric Diagram Viewer* ; Daikin

O fator de limpeza atmosférica (“*Atmospheric Clearness Number*”) é usado para corrigir os perfis de radiação solar em condições de céu limpo ou muito nublado, assumindo-se um valor unitário. A refletância média do solo (“*Average Ground Reflectance*”) define o modo como a radiação do sol é refletida pelos solos em redor do edifício. No caso deste edifício, o seu redor é composto por solos em relvado e espaços verdes, assumindo-se assim um valor de 0,25 (dados provenientes do *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, 2001, tabela 10, pág. 30.16). A condutividade do solo tem influência na transmissão de calor através das paredes e pavimentos de base do edifício, mantendo-se o valor assumido pelo *software*.

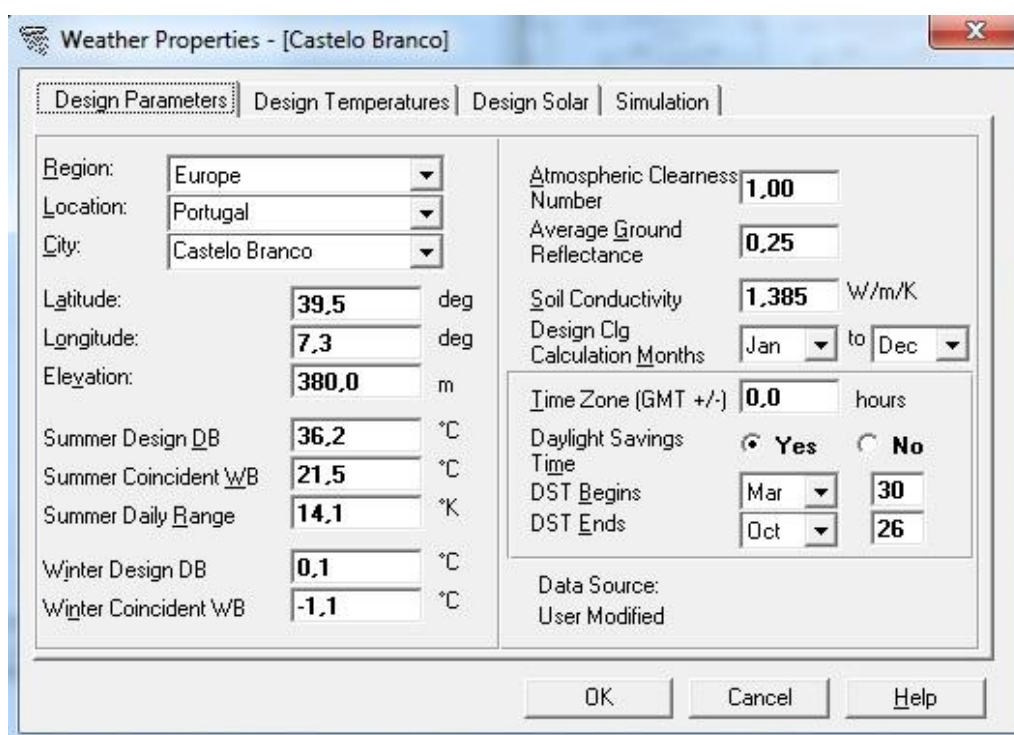


Fig. 12 - Propriedades da envolvente exterior ; Castelo Branco ; HAP

2.2.1. Correção dos perfis de temperatura exterior e de radiação solar

De forma a corrigir os valores para a temperatura do bolbo seco e húmido em cada mês do ano, recorre-se às Cartas de Temperatura horária (Normais Climatológicas) da estação meteorológica de Castelo Branco (anexo 3). Da mesma tabela determina-se a amplitude térmica através da diferença entre a média das temperaturas máximas e a média das temperaturas mínimas, subtraindo-se essa amplitude ao valor máximo, obtendo-se a temperatura mínima:

	Tmax	Med Max	Med Min	Tmin
Janeiro	19,3	11,1	4,7	12,9
Fevereiro	22,9	13	5,3	15,2
Março	27,5	15,6	7,5	19,4
Abril	31,5	18,8	9,3	22
Mai	36,7	22	11,8	26,5
Junho	38,8	27,4	15,4	26,8
Julho	41,6	31,2	18,1	28,5
Agosto	41,3	31	17,8	28,1
Setembro	37,3	27	16	26,3
Outubro	35,5	20,8	12,2	26,9
Novembro	23,6	15,1	8	16,5
Dezembro	19,4	11,7	5,2	12,9

Tab. 1 - Correção dos perfis de temperatura ; Temperatura mínima

As temperaturas do bolbo húmido, são obtidas com recurso à carta psicrométrica, devendo-se, para tal, seguir a seguinte metodologia: marcam-se na carta os valores, máximo e mínimo da temperatura de bolbo seco, correspondentes a cada mês. De seguida marcam-se os pontos referentes às humidades relativas e às temperaturas de bolbo seco retiradas das normais climatológicas da estação meteorológica de Castelo Branco para as 9 e 15 horas. Por último, por aplicação da “regra do retângulo” determinam-se as temperaturas de bolbo húmido máximas e mínimas, como se exemplifica para o mês de Janeiro):

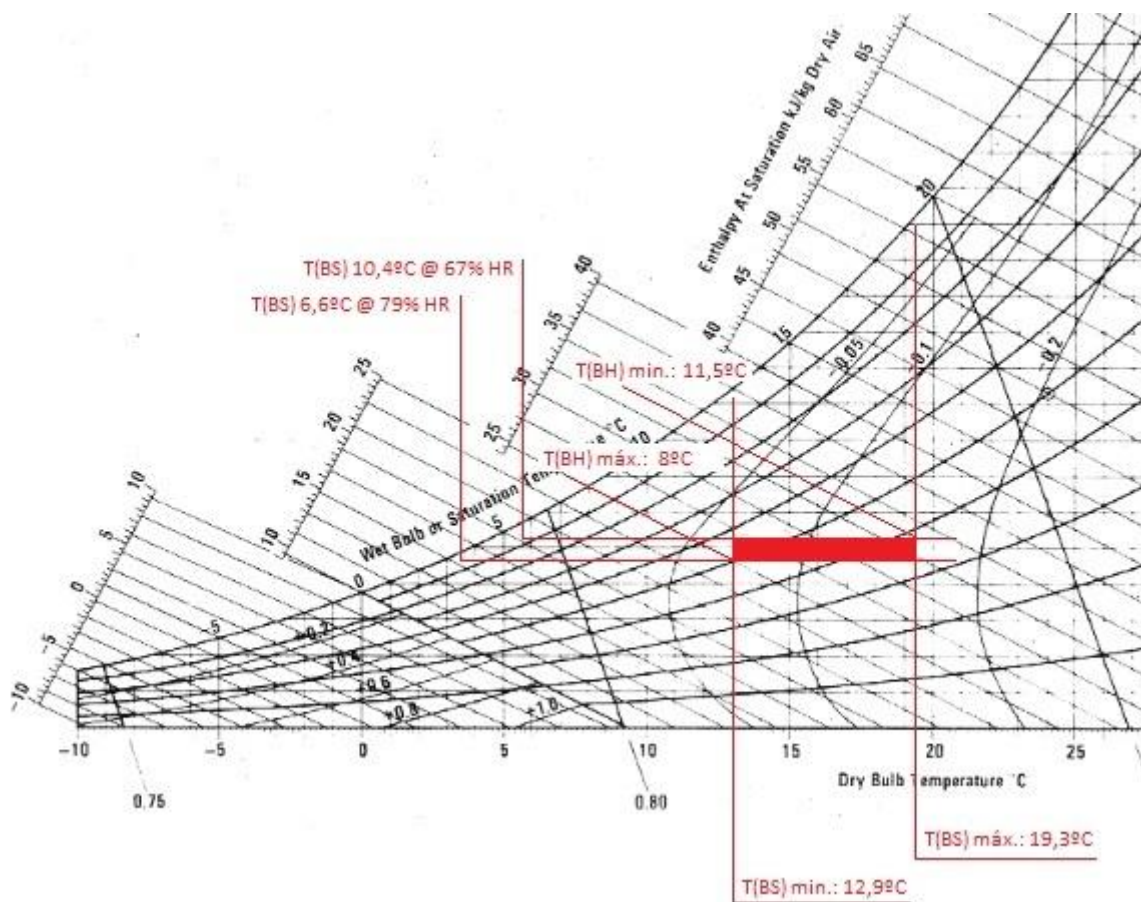


Fig. 13 - Determinação das temperaturas de bolbo húmido máximas e mínimas (Exemplo Janeiro)

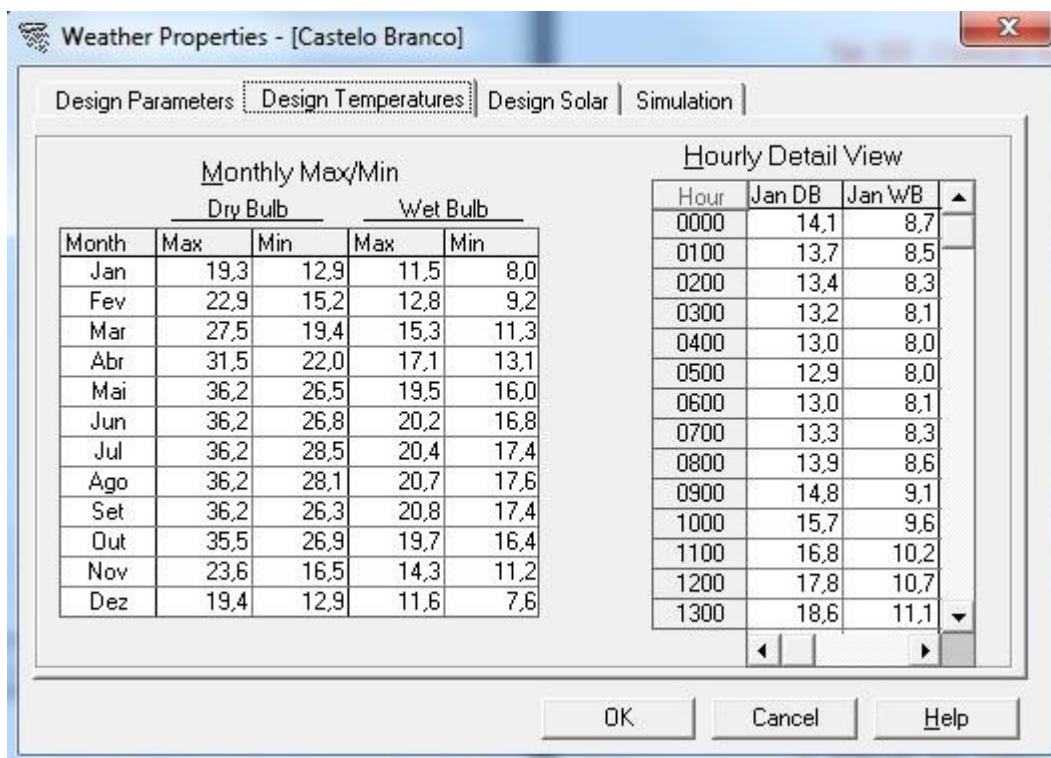


Fig. 14 - Perfis de temperatura corrigidos

Para corrigir o fator multiplicativo, de forma a obter os ganhos máximos reais de calor devido à radiação solar, recorre-se aos relatórios fornecidos pelo *software* para cada mês, “*Design Solar Profiles*”, retirando-se os fluxos de radiação solar na direção horizontal a todas as horas do dia. Recorrendo-se aos mapas de radiação solar na zona de Castelo Branco (fonte: Mapas de Radiação Solar em Portugal Continental - Instituto Nacional de Meteorologia ; resultados: anexo 4), determina-se os valores reais do fator multiplicador através da seguinte fórmula:

$$FM = \frac{\text{Radiação}}{FSM}$$

Sendo:

FM → Fator multiplicativo

Radiação → Radiação Solar (Mapas) – W/m²

FSM → Fluxo Solar Mensal – W/m²

A tabela com os valores finais encontra-se no ficheiro informático em anexo.

2.2.2. Simulação

Todos os resultados de simulação obtidos através do recurso ao *software* HAP, baseiam-se na cidade em que o edifício em estudo se localiza, uma vez que além da orientação solar, sombras, etc, são as condições climáticas típicas da localização, as principais responsáveis pelas cargas térmicas originadas pela envolvente exterior do edifício. É no menu “*Weather Properties*” na janela “*Simulation*”, que se introduz a cidade e os feriados, neste caso de acordo com o calendário de 2012.

Dado que a cidade de Castelo Branco não existe na base de dados do *software* HAP, foi necessário utilizar-se outra cidade disponível, que se aproximasse às condições climáticas esperadas para a cidade em estudo, tendo como base as tabelas das Normais Climatológicas. Numa tentativa de se obter uma aproximação com o máximo de rigor possível, foram escolhidas duas cidades que, pelo seu comportamento térmico, se aproximam num caso às condições exteriores de Inverno, e no outro, às condições exteriores de Verão, utilizando-se por isso a cidade do Porto e Évora, respetivamente.

Todas as simulações utilizadas neste projeto, foram realizadas tendo como base a cidade do Porto para os meses de Janeiro a Março e de Outubro a Dezembro, e a cidade de Évora para os meses de Abril a Setembro (Normais climatológicas de Castelo Branco, Porto e Évora no anexo 5).

2.3. Características psicrométricas interiores

Foram consideradas as seguintes condições interiores, requeridas como temperatura interna de conforto:

Verão: 24 °C (+/- 1K)

Inverno: 21 °C (+/- 1K)

2.4. Renovações de ar e extração

Tomaram-se, para este projeto, os seguintes valores de caudal de ar novo por pessoa, tendo em conta a regulamentação em vigor (anexo 0 – Decreto Lei):

Tipologia	m³/h.ocup
Salas de Refeições	35
Salas de Preparação de Refeições	30
Cafetarias	35
Gabinetes	35
Salas Conferência	35
Salas de Recepção	30
Salas de Aula	30
Ginásio	35

Tab. 2 – Renovações de ar em função da tipologia de utilização

Os caudais de extração foram determinados na ordem dos 70% do caudal de ar novo para os espaços a tratar que vão ter extração no próprio local, obtendo-se desta forma uma pressão relativa superior ao exterior, evitando infiltrações e garantindo a qualidade do ar interior. A extração remanescente, é garantida através dos espaços não considerados para tratamento (por exemplo sanitários), garantindo uma pressão negativa nos mesmos, para eliminar possibilidade de contaminação de odores.

NOTA: balanço de caudais exigiria um cálculo rigoroso das infiltrações a que o edifício está sujeito, de forma a determinar a percentagem de extração de ar, em relação ao caudal de ar novo, necessária. Neste projeto foi assumido um valor de 70%, sendo que o balanço de caudais está disponível em anexo (suporte informático, Tabelas.xls)

Os valores obtidos (anexo 6) para os caudais de ar novo e de extração foram:

- Ar Novo: 37.030 m³/h
- Extração: 36.364 m³/h

2.5. Ganhos internos

A definição dos ganhos internos de calor aos quais está sujeito o edifício a climatizar, é baseada em fatores como a ocupação, equipamento elétrico e iluminação. A ocupação foi determinada em função do número possível de ocupantes verificado em planta, a partir do número de lugares sentados, sendo que, no caso dos espaços de circulação sujeitos a tratamento térmico, a ocupação foi determinada em função da densidade ocupacional em função da área, tomando como base os dados sugeridos pelo regulamento, capítulo referente aos padrões de referência de utilização dos edifícios (anexo 0 - Decreto Lei).

As cargas internas referentes à iluminação e aos equipamentos elétricos (carga média), foram definidas tomando como base os valores indicados no manual da *ASHRAE* (anexo 7). Em baixo apresenta-se um exemplo das tabelas utilizadas na definição dos valores utilizados:

Table 2. Lighting Power Densities Using Space-by-Space Method

Common Space Types*	LPD, W/m ²	Building-Specific Space Types	LPD, W/m ²
Office—enclosed	12	Gymnasium/exercise center	
Office—open plan	12	Playing Area	15
Conference/meeting/multipurpose	14	Exercise Area	10
Classroom/lecture/training	15	Courthouse/police station/penitentiary	
For penitentiary	14	Courtroom	20
Lobby	14	Confinement cells	10
For hotel	12	Judges' chambers	14

Fig. 15 - Densidade de iluminação (*ASHRAE Handbook of Fundamentals*, 2001)

Table 11. Recommended Load Factors for Various Types of Offices

Load Density of Office	Load Factor, W/m ²	Description
Light	5.4	Assumes 15.5 m ² /workstation (6.5 workstations per 100 m ²) with computer and monitor at each plus printer and fax. Computer, monitor, and fax diversity 0.67, printer diversity 0.33.
Medium	10.8	Assumes 11.6 m ² /workstation (8.5 workstations per 100 m ²) with computer and monitor at each plus printer and fax. Computer, monitor, and fax diversity 0.75, printer diversity 0.50.
Medium/Heavy	16.1	Assumes 9.3 m ² /workstation (11 workstations per 100 m ²) with computer and monitor at each plus printer and fax. Computer and monitor diversity 0.75, printer and fax diversity 0.50.
Heavy	21.5	Assumes 7.8 m ² /workstation (13 workstations per 100 m ²) with computer and monitor at each plus printer and fax. Computer and monitor diversity 1.0, printer and fax diversity 0.50.

Fig. 16 - Equipamentos elétricos (*ASHRAE Handbook of Fundamentals*, 2001)

As condições de utilização de cada espaço interior, foram então definidas e introduzidas no *software* de simulação. Conforme se apresenta de seguida, cada espaço interior foi definido em relação à sua dimensão, necessidades de ar novo, cargas internas, ocupação, etc:

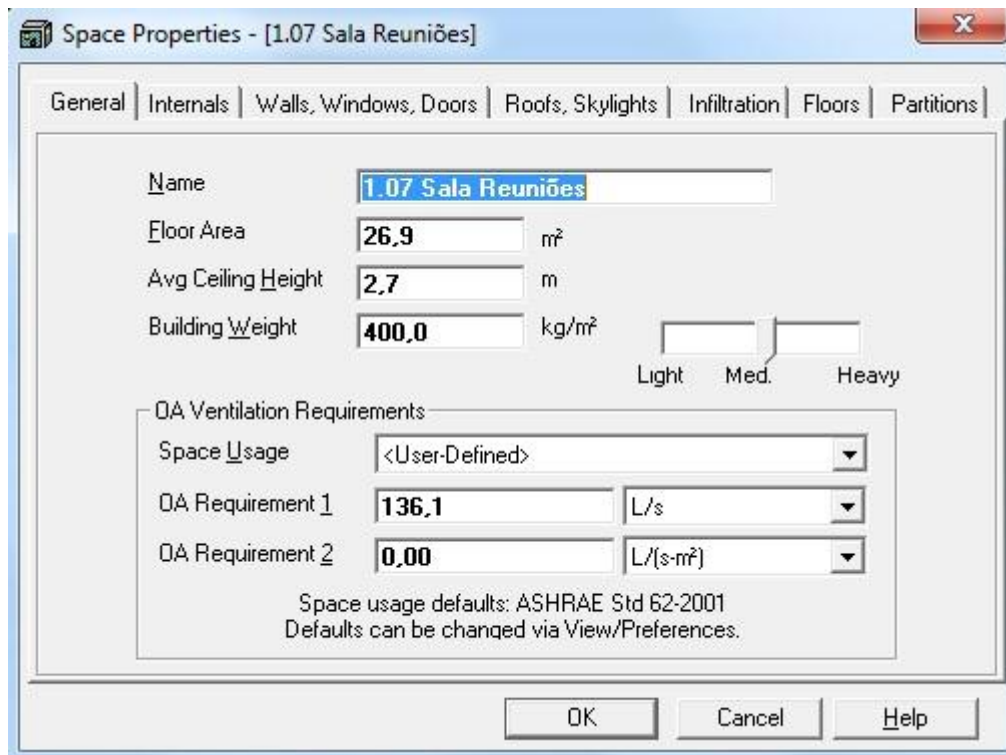


Fig. 17 - Definição dos espaços interiores ; menu geral

Para cada espaço interior, são indicados os valores da área e pé direito, sendo o peso do edifício (“*Building Weight*”), valor que quantifica a inércia térmica do edifício, ou seja a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior por influência do exterior, definido pelo *software* para um edifício de dimensão média (peso específico de 400,0 Kg/m²). Igualmente é indicada a necessidade de ar novo determinada conforme indicado no ponto anterior (2.4. Renovações de ar e extração).

Neste menu do *software*, além da informação geral para cada espaço interior, são também indicados os ganhos internos referentes à iluminação, ocupação e equipamentos elétricos (Fig. 16), o tipo, dimensão e número de paredes, janelas e portas (Fig. 17 - definição em 2.1. Caracterização do edifício):

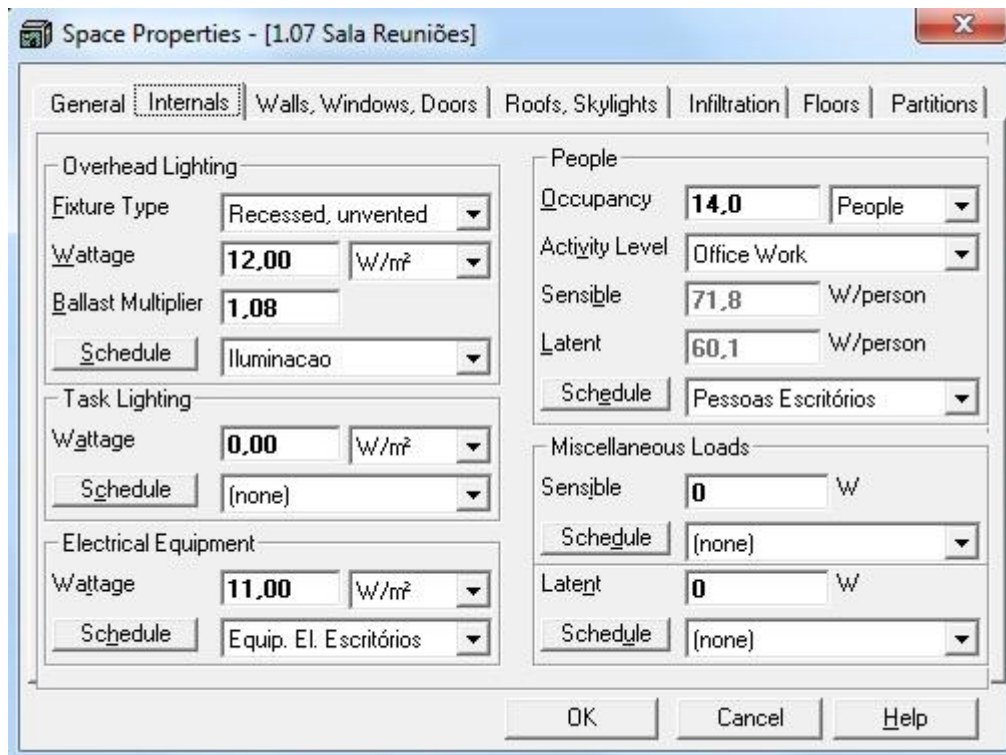


Fig. 18 - Definição dos espaços interiores ; ganhos internos

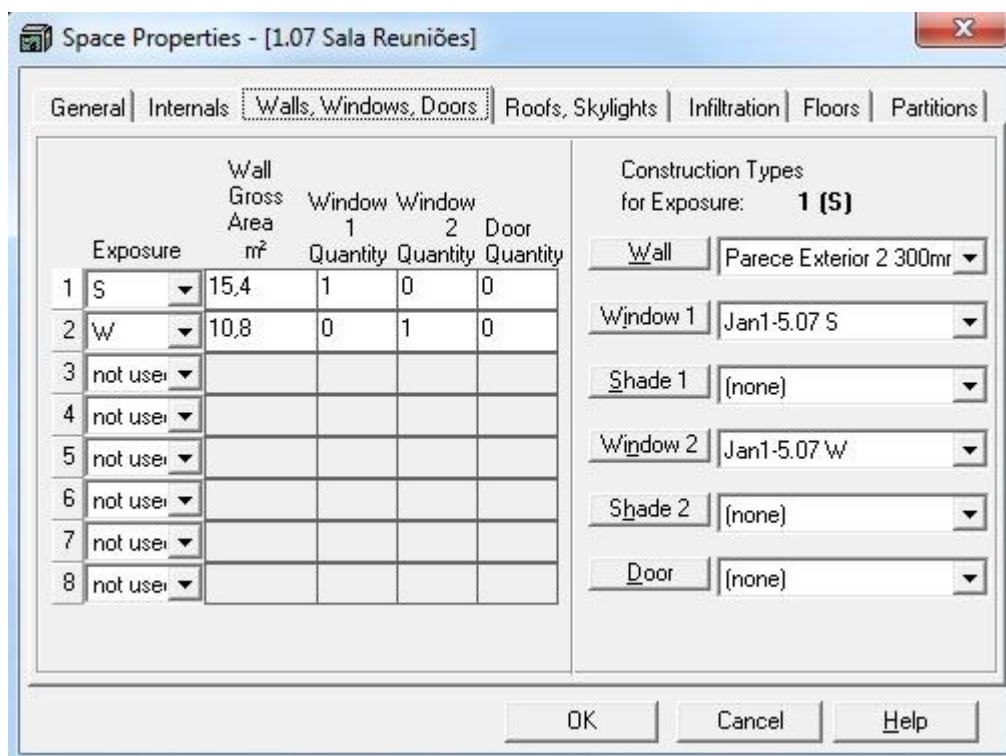


Fig. 19 - Definição dos espaços interiores ; paredes, janelas e portas

Os seguintes sub-menus, dizem respeito a:

- cobertura de cada espaço interior para o exterior, sendo apenas influenciados os espaços interiores do último piso, depois de definida a composição da cobertura do edifício;

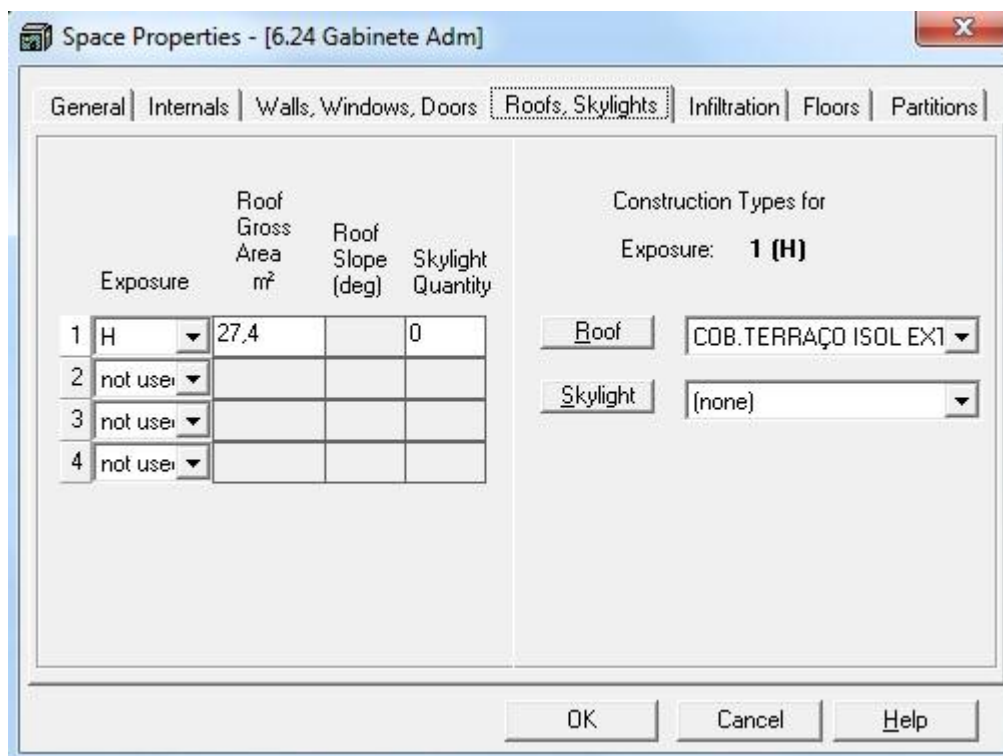


Fig. 20 - Definição da cobertura

- infiltrações, que não foram consideradas devido à pressurização do espaço interior do edifício (2.4. Renovações de ar e extração);
- influência dos espaços interiores adjacentes (pavimentos e paredes), que no caso de não serem climatizados, podem trocar calor com o espaço interior em definição, sendo para tal necessário indicar as características dos pavimentos e paredes que os separam (área e coeficiente de transmissão térmica global).

Os valores obtidos para o dimensionamento (valores máximos de projeto) das necessidades térmicas do edifício, tendo em conta os ganhos internos e externos a que o mesmo estará sujeito, foram determinados recorrendo ao *software* HAP, sendo apresentados no capítulo seguinte.

2.6. Perfis de utilização

Para determinação das cargas a que o edifício estará sujeito, é igualmente necessária uma correta aproximação ao tipo de utilização esperado, de forma a se poder dimensionar o sistema. Os perfis definidos para as fontes internas de calor, são do tipo fracionário e introduzidos no *software* HAP, ou seja, permitem definir a utilização percentual das fontes internas de calor atrás definidas (iluminação, ocupação, etc), diariamente e hora a hora.

Considerou-se a possibilidade de existirem 2 horários laborais, das 8h-17h e das 9h-18h, utilização parcial a partir das 7h (limpezas, pequenos-almoços, ginásio) e até às 20h (horas extra), com a particularidade do ginásio, com utilização pós-laboral até às 21h.

Foram elaborados perfis de utilização/ocupação para os seguintes parâmetros:











Schedule	Schedule Type
 Equip. El. Escritórios	Fractional
 Equip. El. Ginásio	Fractional
 Equip. El. Hall Circ.	Fractional
 Equip. El. Refeitórios	Fractional
 Iluminacao	Fractional
 Pessoas Copa	Fractional
 Pessoas Escritórios	Fractional
 Pessoas Ginásio	Fractional
 Pessoas Refeitório	Fractional
 termoestatos ventiloconvectore	Fan & Thermostat

Fig. 21 - Parâmetros definidos em perfis de utilização/ocupação

Para cada um deles, foi então definida a carga horária esperada para 4 casos distintos. O perfil “Dimensionamento” (1) diz respeito à utilização mais crítica para a qual o sistema de climatização terá de ser dimensionado, sendo as restantes atribuições, uma aproximação ao perfil real esperado para elaboração da simulação final de consumos e necessidades térmicas, por parte do *software* (2-Férias, 3-Simulação Semanal, 4-Fim de Semana). A seguir exemplifica-se o tipo de perfil definido para os casos de equipamento elétrico de escritórios (Fig. 20), iluminação (Fig. 21) e ocupação dos escritórios (Perfil "Pessoas escritórios - Fig. 22):

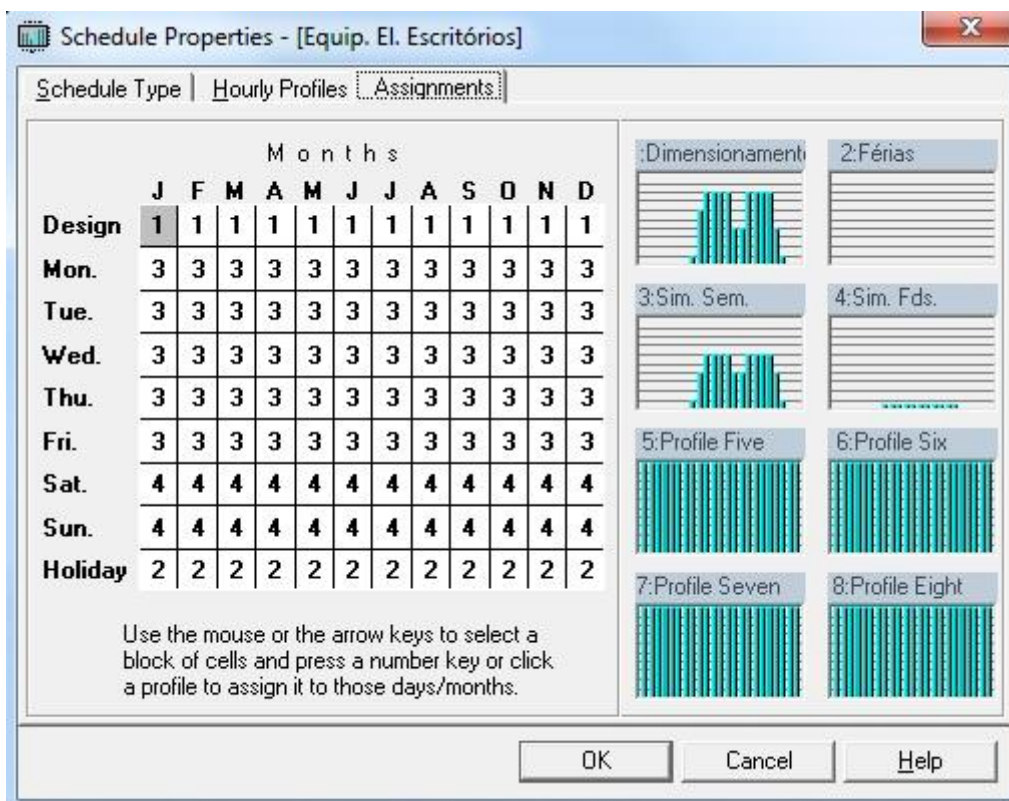


Fig. 22 – Perfil horário, equipamentos elétricos escritórios

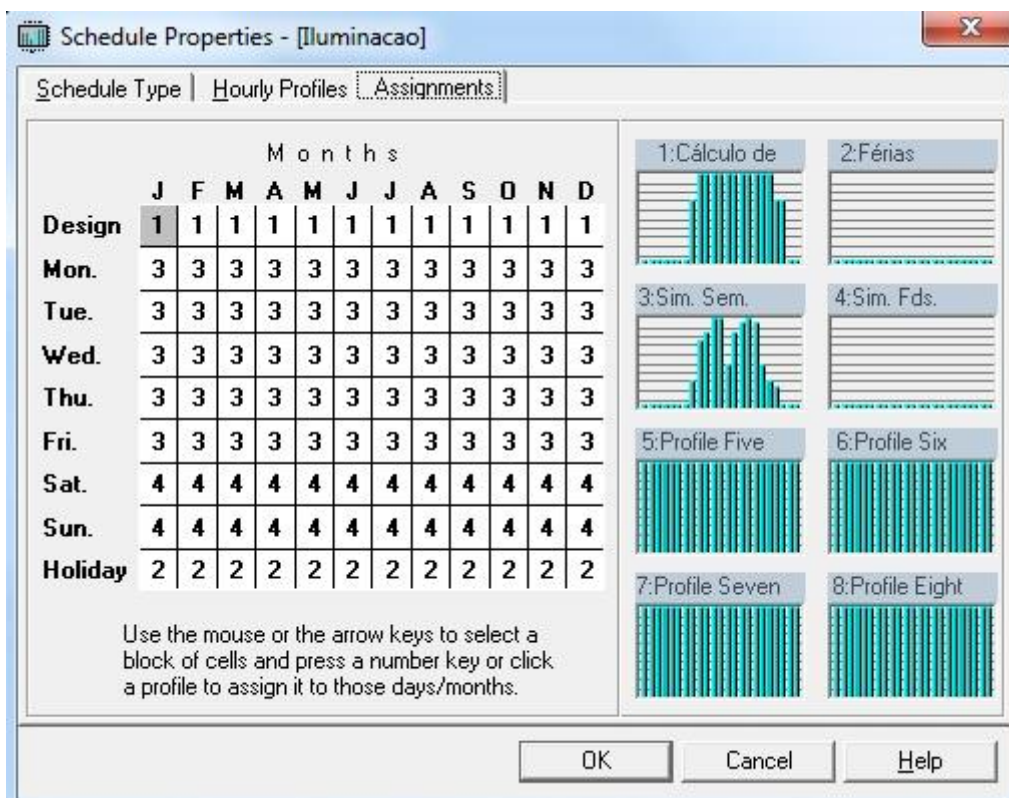


Fig. 23 – Perfil horário, iluminação

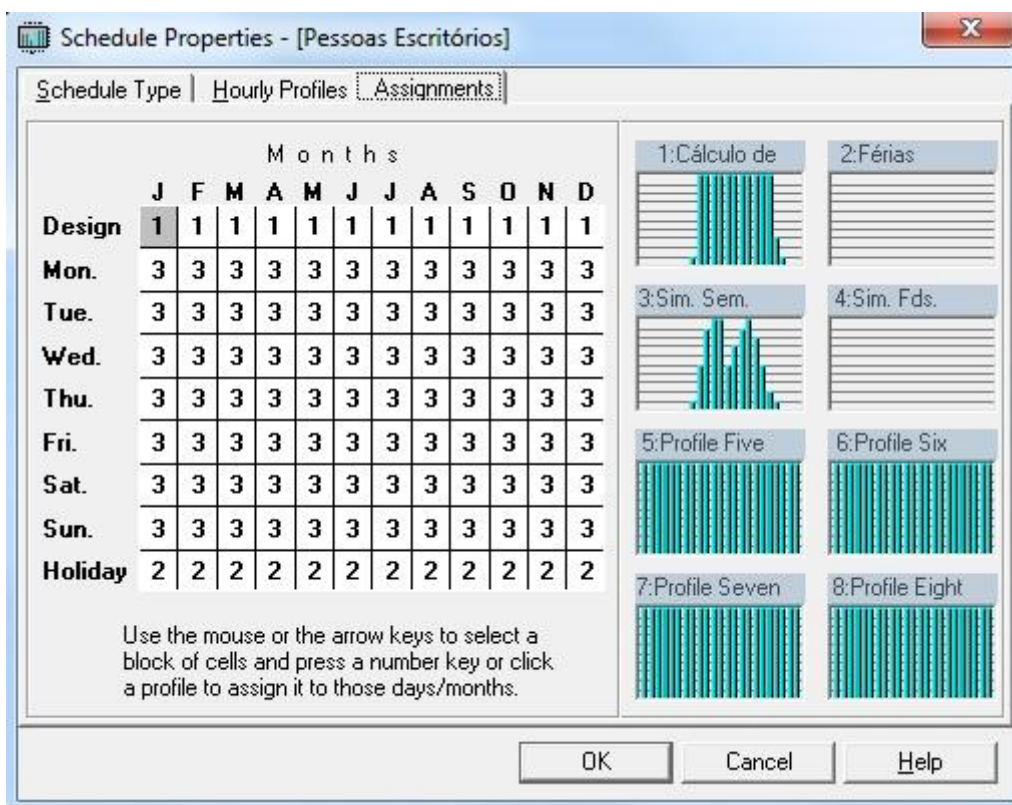


Fig. 24 – Perfil horário, ocupação escritórios

NOTA: foi considerado para os casos da ocupação e iluminação no perfil de dimensionamento (perfil 1), valores percentuais, nos horários de utilização, praticamente situados a 100%, pois para cada um destes exemplos essa utilização aproxima-se do conceito tudo-nada. As percentagens ligeiramente mais baixas nas horas imediatamente antes e depois dos horários de ocupação máximos, procuram simular a entrada e saída de pessoas e a respetiva utilização de equipamentos, de forma gradual e mais próxima do comportamento real. No entanto, para o caso do perfil de utilização dos equipamentos elétricos, mesmo para a situação de dimensionamento, considerou-se uma percentagem de utilização dos mesmos inferior a 100%, devido ao facto de que este tipo de equipamentos, fontes de cargas térmicas, raramente trabalham a plena carga durante todo o seu período de utilização. Desta forma, evita-se dimensionar necessidades térmicas de pico, muito diferentes das que se vão verificar na realidade.

3. Descrição sumária da instalação

Depois de definidos os espaços interiores do edifício, de forma a dimensionar os sistemas de climatização em estudo, foi necessário criar sistemas no *software* de simulação (HAP 4.31 da *Carrier*), dos quais fazem parte os referidos espaços interiores a climatizar.

Numa primeira fase, dado que, como já referido, se tomaram duas cidades (Porto e Évora) para melhor simular as condições exteriores de Castelo Branco, criaram-se diferentes projetos no *software* de simulação, de forma a dimensionar/simular as condições para cada caso:

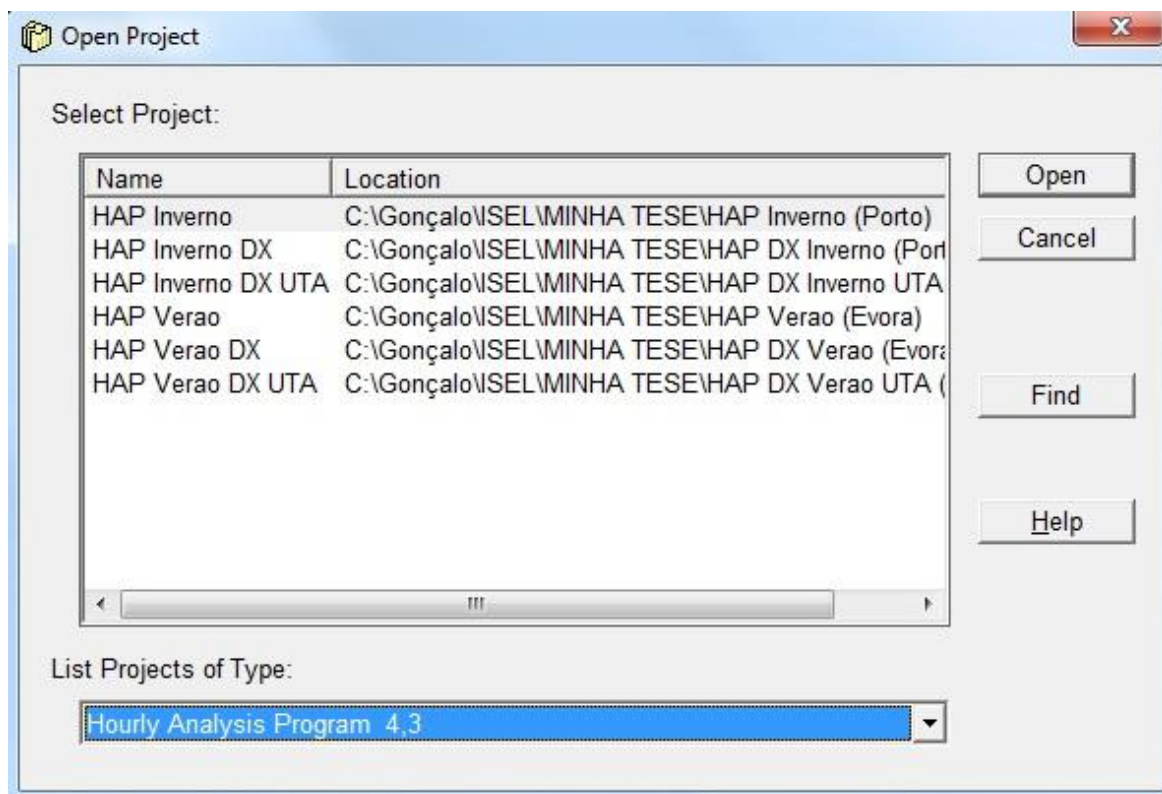


Fig. 25 – Projetos considerados para simulação dos sistemas

- HAP Inverno - simula o sistema de climatização a água com base na cidade do Porto;
- HAP Verão - simula o sistema de climatização a água com base na cidade de Évora;

-
- HAP Inverno DX - simula o sistema de climatização a VRF com base na cidade do Porto;
 - HAP Verão DX - simula o sistema de climatização a VRF com base na cidade de Évora;
 - HAP Inverno DX UTA - simula o sistema de climatização a VRF com base na cidade do Porto;
 - HAP Verão DX UTA - simula o sistema de climatização a VRF com base na cidade de Évora.

Além dos projetos diferenciados entre Inverno e Verão, cujas simulações se baseiam em diferentes cidades, a razão pela qual se utilizaram diferentes projetos para os sistemas a água e VRF (HAP Inverno e HAP Inverno DX, por exemplo), deve-se ao facto de que no primeiro caso o sistema de climatização fornece água fria e quente tanto às unidades interiores de climatização como também à unidade de tratamento de ar novo. Já no caso dos sistemas VRF, dada a especificidade e rigor necessário no controlo do caudal de fluido frigorigéneo para as baterias de expansão direta instaladas nas unidades de tratamento de ar desta tipologia de sistema, de forma a poderem ser controladas rigorosamente as pressões de condensação e de evaporação e assim controlar o sistema frigorífico, torna-se aconselhável que as mesmas sejam tratadas por um sistema independente, isto é, que os sistemas que tratam por um lado as unidades interiores e por outro o ar novo, sejam separados. Desta forma, exemplificando para os projetos de Inverno, as diferenças provocadas na caracterização dos espaços interiores são:

- HAP Inverno - o sistema fornece capacidade frigorífica para vencer a neutralização do ar novo e os ganhos internos - espaços interiores caracterizados com introdução de ar novo com *set point* da temperatura de insuflação com valor idêntico ao do interior;
- HAP Inverno DX - o sistema fornece capacidade frigorífica para vencer os ganhos internos - espaços interiores caracterizados sem introdução de ar novo, sistemas definidos com *set point* de temperatura interior para vencer os ganhos internos e sem entrada e respetiva neutralização de ar novo;
- HAP Inverno DX UTA - o sistema fornece capacidade frigorífica para vencer a neutralização do ar novo - espaços interiores caracterizados com introdução de ar novo, sistemas definidos apenas para tratamento do ar ("*Tempering Ventilation*").

Foram então criados, para cada projeto, um sistema por cada piso, nos quais foram introduzidas definições gerais referentes ao tipo de equipamentos interiores utilizados para a climatização, número de espaços interiores associados, dados *de set point* para o ar novo a tratar no respectivo sistema (caso do sistema de climatização a água), dados para os espaços interiores (*set point* de temperatura interior, utilização de termóstatos, etc):

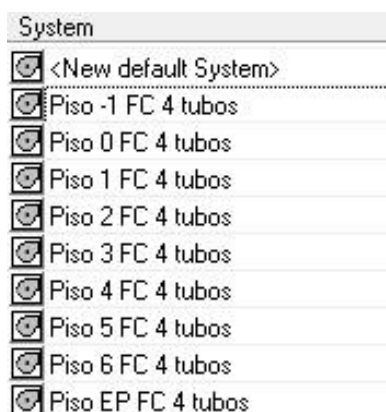


Fig. 26 – Menu "Systems" - Sistemas utilizados

3.1. Considerações sobre as opções tomadas

Sendo o sistema de climatização a água o primeiro a dimensionar e projetar, é com base neste que se efetuaram os estudos e consequentes decisões a seguir indicadas, com base nos resultados obtidos.

3.1.1. Necessidades simultâneas de frio e calor

Nesta fase de definição do projeto, tornou-se necessário definir o sistema a dimensionar de forma a cumprir com as necessidades do edifício. Devido aos ganhos internos verificados durante os horários de utilização do edifício, acrescido da influência da exposição solar durante o dia, as necessidades térmicas dos espaços a tratar sofrem uma elevada variação ao longo das 24h. Definidos os sistemas, efetuou-se uma simulação por forma verificar as necessidades térmicas por hora do edifício, de modo a definir se o

sistema teria de fornecer frio e calor em simultâneo. A seguir, mostra-se o exemplo para o dia 2 de Janeiro, por forma a justificar a solução adotada para o sistema de climatização:

Janeiro	2	
	Necessidades kW	
Hora	Frio	Calor
0	0	0
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	47	260,8
8	44,8	234,5
9	63	189,9
10	81,8	149,5
11	113,8	101,7
12	109,1	92,4
13	122,1	66,2
14	125,6	46,2
15	119,3	43,5
16	86,8	54,8
17	66,5	73
18	50,7	87,3
19	35,4	108,2
20	19,8	132
21	14	119,1
22	8,7	143,8
23	0	0
TOTAL kWh	1108,40	1902,90

Tab. 3 - Necessidades por hora do edifício para o dia 2 de Janeiro

Conforme se pode verificar pelos resultados da simulação, existem necessidades simultâneas de calor e frio nos períodos de utilização do edifício, o que implica que se tome como opção um sistema capaz de servir tais necessidades.

3.1.2. Opção de funcionamento do sistema

Tendo em consideração, como descrito acima, de que existem necessidades simultâneas de frio e calor, torna-se necessário definir qual o funcionamento dos sistemas a adotar, procurando sempre que possível uma solução economicamente viável. As alternativas estudadas foram:

-
1. sem controlo da humidade interior, sem climatização fora de horas utilização;
 2. com controlo da humidade interior, sem climatização fora de horas utilização;
 3. sem controlo da humidade interior, com climatização fora de horas utilização;
 4. sem controlo da humidade interior, sem climatização fora de horas utilização, UTA apenas com recuperação de calor (sem bateria).

Qualquer uma das opções, tem implicações diretas no conforto e nos consumos do sistema de climatização. No caso de não haver climatização fora das horas de utilização, existe uma redução dos consumos durante este período, no entanto as cargas térmicas a vencer a cada início de utilização serão superiores. No caso de se controlar a humidade interior, garante-se um maior conforto térmico, havendo como consequência um esperado aumento dos consumos e na instalação dos equipamentos. Para o ensaio 4, em que a Unidade de Tratamento de Ar não possuiria bateria de frio/calor para pré-arrefecimento ou pré-aquecimento do ar novo respetivamente, este seria tratado termicamente na unidade apenas através de um sistema de recuperação de calor por fluxos cruzados. A sua limitada eficiência em conjunto com temperaturas exteriores extremas, podem originar que os valores da temperatura de insuflação do ar novo se afastem das temperaturas pré-estabelecidas, tendo o sistema de climatização que vencer esta carga térmica adicional.

Através do *software* HAP, obtiveram-se os seguintes resultados dos consumos elétricos esperados após o dimensionamento para o caso do Piso 2 (piso representativo do edifício, uma vez que num total 9 pisos, os pisos 1 a 5 são iguais), tendo sido utilizadas as cidades do Porto e Évora nos meses atrás descritos:

Mês \ Ensaio	1 (kWh)	2 (kWh)	3 (kWh)	4 (kWh)	Cidade
Janeiro	5738	6208	7911	5233	Porto
Fevereiro	6103	6332	7877	5780	
Março	8446	8754	10512	8522	
Abril	9208	9578	11207	9603	Évora
Mai	13305	13848	15649	14136	
Junho	15540	17052	17836	16168	
Julho	18032	21519	21479	18480	
Agosto	19143	22446	22414	19593	
Setembro	16574	20273	19801	17140	
Outubro	11857	14593	13833	12657	Porto
Novembro	5297	7185	6907	5257	
Dezembro	4357	5078	6082	4052	
TOTAL	133600	152866	161508	136621	

Tab. 4 - Consumos elétricos esperados em kWh

Estes consumos englobam os valores do pré-arrefecimento e pré-aquecimento do ar na UTA, bem como as cargas térmicas que as unidades interiores de climatização terão de vencer.

Como se verifica na tabela 4, o ensaio 1 registou o consumo mais baixo. Desta forma, a opção de climatização escolhida foi a de não climatizar nas horas de não utilização e de não controlar a humidade interior.

Definidos os sistemas e as respetivas opções de funcionamento, todos os equipamentos que compõem os sistemas de climatização foram selecionados tendo em conta a potência dimensionada para cada piso de forma a cumprir com as necessidades térmicas do edifício, simuladas através do recurso ao *software* HAP:

Piso \ kW	Pot. Frio	Pot. Frio Sensível	Pot. Calor	Pot. Frio Ar Novo	Pot. Calor Ar Novo
Piso -1	11,3	9,6	2,5	6,8	6,1
Piso 0	71,3	71,2	20,6	4,6	4,2
Entrepiso	74,9	74,2	21,3	12,4	11,1
Piso 1	81,2	80,5	22,1	10,7	9,6
Piso 2	81,2	80,5	22,1	10,7	9,6
Piso 3	81,2	80,5	22,1	10,7	9,6
Piso 4	81,2	80,5	22,1	10,7	9,6
Piso 5	81,2	80,5	22,1	10,7	9,6
Piso 6	95,8	94,7	31,6	9,3	8

Tab. 5 - Necessidades do edifício (Dimensionamento)

Os valores das necessidades de térmicas por espaço interior, encontram-se disponíveis no ficheiro informático em anexo (Tabelas.xls) e o exemplo para o piso -1 no anexo 8.

3.2. Sistemas de climatização dimensionados

Obtidas as necessidades do edifício, foram então definidos os sistemas de climatização a água e VRF:

3.2.1. Sistema a água

A instalação dimensionada será constituída por dois grupos produtores de água arrefecida ou aquecida (*Chillers*) a dois tubos, arrefecidos a ar, instalados na cobertura.

O primeiro *Chiller* é do tipo Bomba de Calor Reservável, cuja capacidade foi calculada para cumprir com as necessidades máximas de calor do edifício, atingidas durante o período de Inverno.

O segundo *Chiller*, do tipo apenas Arrefecimento com Recuperação Parcial de Calor, foi dimensionado por forma a, em conjunto com o primeiro *Chiller*, cumprir com as necessidades máximas de frio do edifício, atingidas durante o período de Verão.

O princípio de funcionamento deste sistema parte do princípio de que, durante o período de Inverno em que as necessidades de frio são baixas, a eficiência da Recuperação de Calor do segundo *Chiller* é insuficiente para cumprir com as necessidades simultâneas de calor. Estas são então ultrapassadas pelo primeiro *Chiller*, sendo que as necessidades de frio são cobertas pelo segundo *Chiller*, neste período. Durante o período de Verão, altura em que as necessidades de calor são praticamente residuais e são desta forma cobertas pela Recuperação de Calor, o segundo *Chiller* cumpre exclusivamente com as necessidades de frio sempre que tenha capacidade para tal, sendo que as remanescentes serão vencidas pelo primeiro *Chiller*, quando a capacidade do segundo *Chiller* é insuficiente para as necessidades de frio do edifício.

Ambos os *Chillers* fornecem água fria ou quente a uma UTAN e às unidades terminais de climatização (ventiloconvectores).

A UTAN, situada igualmente na cobertura, destina-se ao fornecimento de ar novo ao edifício, neutralizado à temperatura pretendida da sala, distribuído através de um sistema de condutas e difusores (anexos 9, 10 e 11).

NOTA: após contacto com a marca referenciada para dimensionamento da UTAN para o sistema a água, (*FranceAir*), dada a relação de potências e de caudais, foram selecionadas duas UTANs para tratamento do edifício, por questões relacionadas com eficiências e consumos de ventiladores (anexo 12).

A extração do ar, efetuada nos espaços interiores através de grelhas de extração e respetivo traçado de condutas, é assegurada pelo ventilador de extração da UTAN em regime de fluxos cruzados, por forma a reduzir a potência necessária para tratamento do ar novo (secção de filtragem G4+F7, 800Pa de pressão estática disponível).

Através do recurso ao *software* Aquasmart, para dimensionamento de sistemas a água, apresentam-se de seguida as potências que será necessário instalar, consideradas as necessidades do edifício (Tab. 5 - Necessidades do edifício (Dimensionamento)):

kW	Pot. Instalada Frio Un. Interiores	Pot. Instalada Calor Un. Interiores	Pot. Instalada Frio UTA	Pot. Frio Final Instalada	Pot. Frio Otimizada HAP
EDIFÍCIO	1537,9	186,5	86,6	1624,5	671,8

Tab. 6 - Potências Instaladas para seleção de *Chillers*

NOTA: a "Pot. Frio Otimizada HAP", refere-se à potência necessária máxima esperada, calculada pelo *software*, pela qual se efetuou o dimensionamento das unidades exteriores.

kW	<i>Chiller</i> Reversível 30RQ182		<i>Chiller</i> Frio C/ rec. parcial 30RB522		
	Pot. Calor	Pot. Frio	Pot. Frio Necessária (Pot. Frio Ot. HAP - 30RQ)	Pot. Frio <i>Chiller</i> 30RB	Calor Disp. pela Recuperação
EDIFÍCIO	189	174,0	671,8 - 174 = 497,8	506	155

Tab. 7 - Capacidades dos *Chillers* selecionados em kW

Todos os espaços interiores disporão de um comando de parede para controlo individual das unidades interiores, sendo o sistema de climatização controlado por um sistema de controlo centralizado (capítulo 3.4.).

Marcas de referência:

- unidades exteriores e interiores de climatização: *Carrier*

-
- unidades de tratamento de ar: *France Air*

3.2.2. Sistema a VRF

A instalação dimensionada, alternativa ao sistema centralizado a água, é constituída por sistemas centralizados a volume de refrigerante variável (VRF), ficando as unidades exteriores situadas na cobertura. Cada sistema é composto por unidades exteriores do tipo recuperação de calor (três tubos), que alimentam as unidades interiores.

O sistema instalado no piso -1 é composto por uma unidade exterior, sendo os restantes pisos tratados por sistemas modulares, várias unidades exteriores ligadas a um sistema de tubagem comum, por forma a atingir a potência necessária.

As UTANs, situadas igualmente na cobertura, que são servidas por uma unidade exterior dedicada do tipo bomba de calor (2 tubos) , destinam-se, tal como no caso dos sistemas a água, ao fornecimento de ar novo ao edifício, neutralizado à temperatura pretendida da sala, distribuído através de um sistema de condutas e difusores.

Os sistemas afetos às UTANs são dimensionados e divididos pelos pisos do edifício em função da potência da unidade exterior, bem como pelo respetivo kit de bateria de expansão direta a instalar (potência de frio a partir de 28kW - valor mínimo disponível pelo fabricante - anexos 14, 15 e 16).

A extração do ar, efetuada nos espaços interiores através de grelhas de extração e respetivo traçado de condutas, é assegurada pelo ventilador de extração da UTAN em regime de fluxos cruzados, por forma a reduzir a potência necessária para tratamento do ar novo (secção de filtragem G4+F7, 200Pa de pressão estática disponível).

Através do recurso ao *software* DVM Pro, para dimensionamento de sistemas a VRF, apresentam-se de seguida as potências dimensionadas que será necessário instalar, consideradas as necessidades do edifício (Tab. 5 - Necessidades do edifício (Dimensionamento)):

	Pot. Instalada Un. Interiores	Pot. Instalada UTANs	Pot. Final Optimizada HAP	Pot.Total VRF (DVM Pro 130%)	Sistema VRF	Sistema UTA
PISO -1	19,3	28	17,6	22,4	8 Hp HighEff HR	8 Hp
PISO 0	117		70,3	95,2	34 Hp HighEff HR	
Entrepiso	112,4		84,5	95,2	34 Hp HighEff HR	
PISO 1	142,5	28	81,1	112,0	40 Hp HighEff HR	8 Hp
PISO 2	142,5		81,1	112,0	40 Hp HighEff HR	
PISO 3	142,5	28	81,1	112,0	40 Hp HighEff HR	8 Hp
PISO 4	142,5		81,1	112,0	40 Hp HighEff HR	
PISO 5	142,5	28	81,1	112,0	40 Hp HighEff HR	8 Hp
PISO 6	155,5		91,8	117,6	42 Hp HighEff HR	

Tab. 8 - Potências Instaladas para seleção de Sistemas VRF, kW

Todos os espaços interiores têm um comando de parede para controlo individual das respetivas unidades de climatização, sendo o sistema total controlado por um sistema de controlo centralizado.

A rede de tubagens foi dimensionada, no que toca a comprimentos e secções, através do *Software* DVM Pro CAD, introduzindo as unidades interiores, exteriores e criando os respectivos troços de ligação.

Marcas de referência:

- unidades exteriores e interiores de climatização: *Samsung*
- unidades de tratamento de ar: *SystemAir*

3.3. Gestão centralizada

O Sistema de Gestão Técnica, Optimização de Energia, Comando e Controlo Distribuído das Instalações Técnicas de Edifícios, a propor para este projeto, terá por objectivo:

- Optimizar as tarefas de exploração e serviço;
- Minimizar o consumo de energia com uma boa programação da exploração do edifício;
- Minimizar o custo de exploração dos equipamentos com um conhecimento preciso do seu funcionamento, aumento do MTBF (*Mean Time Between Failure*);

-
- Aumentar a eficiência das tarefas de manutenção a partir de uma informação instantânea do estado de todas as instalações e actuações programadas;
 - Facilitar a supervisão e controlo das instalações;
 - Aumentar a produtividade dos ocupantes do edifício por meio do aumento do conforto interior;
 - Facilitar a administração do edifício fornecendo estatísticas energéticas e económicas.

A implementação de um Sistema de Gestão Técnica em instalações com estas características permite gerir as necessidades de racionalizar e otimizar a exploração das instalações dos edifícios, nomeadamente:

a) Garantir o conforto térmico mediante:

- Controlo individualizado dos processos térmicos de produção e distribuição de energia;
- Grande rapidez de resposta do Sistema de Controlo perante alterações das variáveis controladas.

b) Garantir a redução dos gastos de exploração mediante:

- Optimização do uso dos recursos energéticos com a conseqüente redução no consumo de energia;
- Redução dos gastos de manutenção;
- Aumento da vida útil dos equipamentos;
- Utilização de estratégias de controlo optimizadas que permitirão conseguir um nível máximo de conforto com um menor consumo de energia.

c) Facilitar a operação das instalações do edifício mediante:

- Suporte gráfico de alta definição;
- Deteção rápida de situações de anomalia ou emergência e notificação dos mesmos;
- Conhecimento permanente e em tempo real do estado de funcionamento das instalações e equipamentos do edifício;
- Indicações precisas com decisões a tomar em caso de anomalia.

3.4. Sistema de condutas e de elementos de difusão/captação de ar

No dimensionamento das condutas de ar, utilizou-se o método de perda de carga constante, considerando-se para o seu dimensionamento uma perda de carga máxima de aproximadamente 0,07 mmca/m.

O dimensionamento dos elementos terminais de difusão e captação de ar foi efetuado recorrendo ao catálogo da Trox. Optou-se por difusores de insuflação retangulares para o edifício. As velocidades de passagem do ar a insuflar e a extrair, através de difusores, grelhas, foram dimensionadas para valores inferiores a 2,5 [m/s].

4. Análise económica

De forma a poder ser feita uma aproximação aos consumos energéticos esperados para cada uma das tipologias de sistemas considerados, foi necessário, através do *software* HAP, efetuar uma simulação anual com as condições acima indicadas (capítulos 2 e 3), uma vez definidos o tipo de sistemas e respetivas utilizações.

4.1. Sistema a água

4.1.1. Simulação

Conforme indicado atrás (Fig. 24 – Sistemas utilizados), o edifício foi dividido por pisos por forma a definir com mais rigor os espaços interiores. Posteriormente, para o caso do sistema a água, tratando-se de um único sistema que fornecerá todo o edifício, recorreu-se ao menu "*Plants*" do *software* de simulação, a fim de agrupar todos os pisos num único sistema caracterizado conforme definido atrás (3.2.1. Sistema centralizado a água):

Plant	Plant Type	Sizing Status	Simulation Status
<New default Plant>			
Aquecimento 1 Chiller	Hot Water Boiler Plant	Sized	Simulated
Arrefecimento 2 Chillers	Chiller Plant	Sized	Simulated

Fig. 27 – Menu "*Plants*" ; "*Plants*" utilizadas

Cada "*Plant*" foi definida com todos os pisos do edifício, cujos equipamentos exteriores de climatização e respetivas capacidades, foram introduzidos através de um ficheiro disponível no catálogo eletrónico da *Carrier*, específico para o *software* HAP, a fim de retirar dos relatórios de simulação, os consumos esperados:

Chiller Name	Chiller Type	Full Load Capacity
<New default Chiller>		
30RB522	A/C Pkg Scroll	506,3
30RQ182	A/C Pkg Scroll	173,3

Fig. 28 – Menu *Chillers* ; *Chillers* utilizados

4.1.2. Consumos

Do resultado da simulação efetuada, obtiveram-se os seguintes resultados diários para os consumos energéticos anuais do sistema a água, exemplificados para os seguintes dias representativos:

Janeiro	16														
	Necessidades (kW)		Chillers							Consumo eléctrico (kW)					
			RB522			RQ182				Frio	Bomba	Calor HAP	Calor Real	Bomba	Total
Frio	Calor	Frio (kW)	Rec. (kW)	% Ut.	Frio (kW)	Calor (kW)	% Ut. Frio	% Ut. Calor							
0	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
2	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
3	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
4	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
5	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
6	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
7	31,5	93,9	31,5	6,54	5,71	0	87,36	0,00	42,20	8,4	2,2	93,9	23,59	0,6	34,79
8	35	78,5	35	7,26	6,34	0	71,24	0,00	34,41	9,4	2,2	78,5	19,72	0,6	31,92
9	53,7	63,3	53,7	11,14	9,73	0	52,16	0,00	25,20	14,4	2,2	63,3	15,90	0,6	33,10
10	84,3	35,4	84,3	17,49	15,27	0	17,91	0,00	8,65	18,9	2,2	35,4	8,89	0,6	30,59
11	116,2	21,6	116,2	24,11	21,05	0	Recup	0,00	0	25	2,2	21,6	0	0,6	27,80
12	130,7	18,1	130,7	27,12	23,68	0	Recup	0,00	0	27,9	2,2	18,1	0	0,6	30,70
13	150,1	13,4	150,1	31,15	27,19	0	Recup	0,00	0	32	2,2	13,4	0	0,6	34,80
14	164,3	12,8	164,3	34,09	29,76	0	Recup	0,00	0	35,2	2,2	12,8	0	0,6	38,00
15	156,5	12,7	156,5	32,48	28,35	0	Recup	0,00	0	33,4	2,2	12,7	0	0,6	36,20
16	115,6	16,2	115,6	23,99	20,94	0	Recup	0,00	0	24,9	2,2	16,2	0	0,6	27,70
17	86,6	19	86,6	17,97	15,69	0	1,03	0,00	0,50	19,3	2,2	19	4,77	0,6	26,87
18	72,2	20,6	72,2	14,98	13,08	0	5,62	0,00	2,71	16,9	2,2	20,6	5,18	0,6	24,88
19	57,4	29,6	57,4	11,91	10,40	0	17,69	0,00	8,55	15,4	2,2	29,6	7,44	0,6	25,64
20	35,9	42,8	35,9	7,45	6,50	0	35,35	0,00	17,08	9,6	2,2	42,8	10,75	0,6	23,15
21	25,3	47,5	25,3	5,25	4,58	0	42,25	0,00	20,41	6,8	2,2	47,5	11,93	0,6	21,53
22	19,4	55,5	19,4	4,03	3,51	0	51,47	0,00	24,87	5,2	2,2	55,5	13,94	0,6	21,94
23	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
TOTAL	1334,70	580,90	1334,70	276,96		0,00	382,08			302,70	35,20		122,14	9,60	469,64

Tab. 9 - Necessidades e consumos energéticos, sistema a água para o dia 16 de Janeiro

O *software* de simulação calculou as necessidades de frio e calor para tratamento dos espaços interiores e neutralização do ar novo para cada dia do ano. No entanto os valores de consumo anual obtidos não eram completos, dado que o referido *software* não consegue simular a recuperação de calor por parte do segundo *Chiller*, utilizada para auxiliar o primeiro chiler a vencer as necessidades de calor. Dos catálogos técnicos do segundo *Chiller* (anexo 10), foi então retirado um valor percentual da capacidade de recuperação de calor em função da capacidade de frio debitada, de forma a ser

determinada a cada hora, a capacidade de calor recuperada e debitada às necessidades de calor do edifício, a tratar pelo primeiro *Chiller*:

$$\frac{\text{Re c. Calor}}{\text{Cap. Frio}} = \% \text{ Re c. Calor}$$

$$\Leftrightarrow \frac{105}{506} = 0,2075 \Rightarrow 20,75\%$$

Sempre que a recuperação de calor do segundo *Chiller* é suficiente para cumprir com as necessidades totais de calor do edifício, a nota "Recup" aparece na coluna referente às cargas de calor a vencer pelo primeiro *Chiller*, cujo consumo horário é então nulo.

NOTA: a coluna "Calor Real" representa o consumo elétrico real do primeiro *Chiller* no modo de calor. Dado que o *software* não consegue simular os consumos no modo de calor dos *Chillers* introduzidos, para determinar as necessidades de calor do edifício recorreu-se à opção de utilização de uma caldeira elétrica no *software*, no menu "*Plant*", cujo consumo (com COP = 1), teve de ser dividido pelo COP do primeiro *Chiller* (valor retirados dos respetivos catálogos técnicos - anexo 9).

Outubro	2														
	Necessidades (kW)		Chillers							Consumo eléctrico (kW)					
			RB522			RQ182									
Hora	Frio	Calor	Frio (kW)	Rec. (kW)	% Ut.	Frio (kW)	Calor (kW)	% Ut. Frio	% Ut. Calor	Frio	Bomba	Calor HAP	Calor Real	Bomba	Total
0	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
1	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
2	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
3	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
4	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
5	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
6	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
7	430,8	14,5	430,8	89,40	78,04	0	Recup	0,00	0	91,6	5,2	14,5	0	0,6	97,40
8	419	11,4	419	86,95	75,91	0	Recup	0,00	0	88,8	5,2	11,4	0	0,6	94,60
9	436,2	9,9	436,2	90,52	79,02	0	Recup	0,00	0	92,9	5,2	9,9	0	0,6	98,70
10	458,1	9	458,1	95,06	82,99	0	Recup	0,00	0	102	5,2	9	0	0,6	107,80
11	517,1	7,1	517,1	107,30	93,68	0	Recup	0,00	0	119,9	8,6	7,1	0	0,6	129,10
12	504,6	6,8	504,6	104,71	91,41	0	Recup	0,00	0	129,7	5,2	6,8	0	0,6	135,50
13	546,3	4,5	546,3	113,36	98,97	0	Recup	0,00	0	137,3	8,6	4,5	0	0,6	146,50
14	579,8	3,6	552	114,55	100,00	27,80	Recup	15,98	0	150,9	8,6	3,6	0	0,6	160,10
15	574,8	2,8	552	114,55	100,00	22,80	Recup	13,10	0	145,8	8,6	2,8	0	0,6	155,00
16	536,8	2,9	536,8	111,39	97,25	0	Recup	0,00	0	131,7	8,6	2,9	0	0,6	140,90
17	475,3	2,7	475,3	98,63	86,11	0	Recup	0,00	0	122	5,2	2,7	0	0,6	127,80
18	393,1	2,9	393,1	81,57	71,21	0	Recup	0,00	0	93,6	5,2	2,9	0	0,6	99,40
19	306,2	4,6	306,2	63,54	55,47	0	Recup	0,00	0	67,3	5,2	4,6	0	0,6	73,10
20	238	6	238	49,39	43,12	0	Recup	0,00	0	52,5	5,2	6	0	0,6	58,30
21	195,8	8,2	195,8	40,63	35,47	0	Recup	0,00	0	44	5,2	8,2	0	0,6	49,80
22	171,5	10,1	171,5	35,59	31,07	0	Recup	0,00	0	36,9	2,2	10,1	0	0,6	39,70
23	0	0	0	0,00	0,00	0	Recup	0,00	0	0	0	0	0	0	0,00
TOTAL	6783,40	107,00	6732,80	1397,12		50,60	0,00			1606,90	97,20		0,00	9,60	1713,70

Tab. 10 - Necessidades e consumos energéticos, sistema a água, dia 2 de Outubro

Nos dias cujas necessidades horárias de frio do edifício superam a capacidade do segundo *Chiller* (linhas representadas em tom vermelho), as cargas térmicas de frio são vencidas pelos dois *Chillers*, e as necessidades de calor pela recuperação.

O consumo eléctrico anual estimado foi então obtido:

kWh	Consumo Frio	Consumo Bomba Frio	Consumo Frio Final	Consumo Calor	Consumo Bomba Calor	Consumo Calor Final	Consumo Final HAP	Consumo Final Real	Rec. Calor	Cidade
Jan.	3959,0	772	4731,0	4202,3	448	4650,3	9381,3	8992,7	388,5	Porto
Fev.	6525,0	834	7359,0	2115,3	402	2517,3	9876,3	9288,9	587,4	
Mar.	10732,0	1150	11882,0	1355,5	443	1798,5	13680,5	12844,9	835,7	
Abr.	11678,0	1110	12788,0	1012,5	418	1430,5	14218,5	13214,5	1004,0	Évora
Mai.	21128,0	1544	22672,0	540,2	337	877,2	23549,2	22892,1	657,1	
Jun.	28466,0	1716	30182,0	263,0	230	493,0	30675,0	30308,5	366,5	
Jul.	36034,0	1935	37969,0	107,1	113	220,1	38189,1	38021,4	167,7	
Ago.	38829,0	2081	40910,0	112,5	95	207,5	41117,5	40970,3	147,2	
Set.	31744,0	1840	33584,0	176,8	124	300,8	33884,8	33662,9	222,0	
Out.	14419,0	1289	15708,0	770,6	403	1173,6	16881,6	15845,6	1036,0	
Nov.	4918,0	793	5711,0	2305,8	422	2727,8	8438,8	7833,4	605,4	Porto
Dez.	3176,0	685	3861,0	3030,9	449	3479,9	7340,9	6935,3	405,6	
TOTAL	211608,0	15749,0	227357,0	15992,6	3884,0	19876,6	247233,6	240810,6	6423,0	

Tab. 11 - Consumo anual edifício - sistema a água, kWh

NOTA: a coluna "Consumo Final HAP", é obtida diretamente através do *software* HAP, como se não houvesse no sistema recuperação de calor. A coluna "Consumo Final Real", inclui o consumo final real, considerando a recuperação de calor esperada, apresentando-se, como esperado, um valor inferior.

4.2. Sistema a VRF

4.2.1. Simulação

Conforme indicado atrás (Fig. 24 – Sistemas utilizados), o edifício foi dividido por pisos por forma a definir com mais rigor os espaços interiores. No caso dos sistemas a VRF, o dimensionamento das necessidades de cada sistema foi feito individualmente por piso, tendo sido dimensionado um sistema de climatização por cada um. A simulação de consumos foi realizada sem o recurso ao *software* HAP, uma vez que não existem disponíveis as características funcionais dos respetivos equipamentos para introduzir no *software*. Foram por isso tomadas várias considerações:

4.2.1.1. EER e COP dos sistemas

Os valores de EER e COP dos sistemas a VRF considerados, foram obtidos através do recurso ao relatório do *software* de dimensionamento, relativo à evolução das temperaturas exteriores ao longo do ano:

Mês / °C	Abs.	Média	Média Total	Média	Abs.
	Máx.	Máx.		Min.	Min.
Janeiro	17,4	14,4	9,4	5,8	0
Fevereiro	21	14,5	10,7	7,3	2
Março	21	15,7	11,6	7,9	1
Abril	24,4	17,1	13,2	9,8	5,6
Mai	29,8	22,6	17,2	12,5	9,6
Junho	35,8	26,1	19,8	14	9,6
Julho	38,4	29,6	22,7	16,6	13,2
Agosto	36,1	30	23	16,9	12,8
Setembro	36,2	27,4	22	17,3	10,6
Outubro	27	19,9	15,5	11,7	6
Novembro	20	15,7	12,2	8,7	1
Dezembro	18,7	13,9	10,3	7	0,4

Tab. 12 - Evolução das temperaturas exteriores ao longo do ano ; HAP

Conforme indicado na Tab. 8 - Potências Instaladas para seleção de Sistemas VRF - devido à limitação de 130% para a simultaneidade dos sistemas (capacidade total das unidades interiores acima da capacidade máxima das respetivas unidades exteriores), a potência instalada, determinada em função do dimensionamento (situação mais crítica), acaba por ser superior à que efetivamente o *software* de simulação indica como necessária (Pot. Final Optimizada HAP ; Pot. Total VRF - DVM Pro 130%). O valor de simultaneidade considerado para os sistemas, necessário para determinação do EER e COP, foi de 90% e 70% respetivamente, para as temperaturas médias máximas e mínimas exteriores. O valor de 90% considera uma margem de tolerância para os sistemas, pela razão de estes estarem dimensionados 130% acima nas necessidades de frio simuladas. O valor de 70% considera uma margem de tolerância maior do que no caso anterior para os sistemas de climatização, uma vez que, estando os mesmos dimensionados para as necessidades de frio (mais elevadas que as de aquecimento), os sistemas a VRF, equipados com recuperação de calor e por isso servindo ambas as necessidades de

arrefecimento e de aquecimento, trabalharão conseqüentemente a um regime inferior quando operam no modo de aquecimento.

Os valores obtidos com recurso aos manuais técnicos dos equipamentos instalados (anexo 14), foram:

Mês	Média Máx.	EER				COP				Média Min.
		8Hp	34Hp	40Hp	42Hp	8Hp	34Hp	40Hp	42Hp	
Janeiro	14,4	7,2	6,7	6,2	6,4	4,2	4,1	4,1	4,1	5,8
Fevereiro	14,5	7,2	6,7	6,2	6,4	4,4	4,3	4,3	4,3	7,3
Março	15,7	7,1	6,5	6,1	6,2	4,5	4,5	4,4	4,4	7,9
Abril	17,1	6,9	6,3	6	6,1	4,8	4,7	4,6	4,6	9,8
Mai	22,6	6	5,5	5,2	5,2	5,2	5,1	5,1	5,1	12,5
Junho	26,1	5,6	5,1	4,7	4,8	5,4	5,3	5,2	5,2	14
Julho	29,6	5,1	4,6	4,3	4,3	5,9	5,6	5,6	5,5	16,6
Agosto	30	4,9	4,5	4,3	4,2	5,9	5,7	5,6	5,6	16,9
Setembro	27,4	5,3	4,8	4,5	4,6	6	5,8	5,7	5,6	17,3
Outubro	19,9	6,5	6	5,6	5,7	5	5	4,9	4,9	11,7
Novembro	15,7	7,1	6,5	6,1	6,2	4,6	4,6	4,5	4,5	8,7
Dezembro	13,9	7,3	6,8	6,3	6,4	4,4	4,3	4,2	4,2	7

Tab. 13 - EER e COP dos sistemas VRF dimensionados em função das temperaturas médias máximas e mínimas exteriores e simultaneidade de 90% e 70%, respetivamente

4.2.1.2. EER e COP dos sistemas - meses de Verão

Tratando-se de sistemas com recuperação de calor, sendo esta praticamente gratuita, apenas reduzida pelas perdas de pressão referentes aos troços de tubagem nos quais circula o fluído refrigerante e à eficiência das caixas recuperadoras de calor entre unidades interiores, considerou-se que os consumos no modo de calor são aproximadamente zero nos meses de Verão (Abril a Setembro). Analizando as necessidades diárias durante o período de utilização do edifício (Anexo 8 e suporte informático - Tabelas.xls), as necessidades de frio são sempre superiores às de calor a qualquer hora do dia, inclusive no início e fim do período de utilização, o que permite que os sistemas trabalhem exclusivamente no modo de frio (valores da tab. 13) sendo as necessidades de calor ultrapassadas pela recuperação de calor.

4.2.1.3. EER e COP dos sistemas - meses de Inverno

Durante os meses de Inverno (Janeiro a Março e Outubro a Dezembro), analisando as necessidades diárias durante o período de utilização do edifício (Anexo 8 e suporte informático - Tabelas.xls), as necessidades de calor superam várias vezes as necessidades de frio, principalmente durante as horas de início e fim de utilização. Isto implica que os sistemas alternem o modo de funcionamento (entre frio e calor) no mesmo dia, uma vez que o modo de funcionamento é definido em função da soma das capacidades requeridas pelas unidades interiores. Os consumos são então função do EER e COP dos sistemas, tendo em conta o modo em que cada sistema opera a cada momento. Por forma a simular os consumos para estes meses, foi então definido um valor médio de eficiência dos equipamentos, em função do EER e COP, considerando que durante um dia os sistemas operam em modos diferentes, sempre, no entanto, mais tempo durante o modo de frio. Esse valor médio foi então obtido para 70% do valor de EER e 30% do valor de COP:

Valor Médio de Eficiência - Meses Inverno (EER 70% / COP 30%)				
Mês	8Hp	34Hp	40Hp	42Hp
Janeiro	6,3	5,92	5,57	5,71
Fevereiro	6,36	5,98	5,63	5,77
Março	6,32	5,9	5,59	5,66
Abril	6,27	5,82	5,58	5,65
Maió	5,76	5,38	5,17	5,17
Junho	5,54	5,16	4,85	4,92
Julho	5,34	4,9	4,69	4,66
Agosto	5,2	4,86	4,69	4,62
Setembro	5,51	5,1	4,86	4,9
Outubro	6,05	5,7	5,39	5,46
Novembro	6,35	5,93	5,62	5,69
Dezembro	6,43	6,05	5,67	5,74

Tab. 14 - Eficiência média ponderada dos sistemas VRF quando existe alternância entre os modos de frio e calor durante um dia

4.2.2. Consumos energéticos

Do resultado da simulação efetuada, obtiveram-se os seguintes resultados mensais para os consumos energéticos anuais do sistema centralizado a VRF, exemplificados com o seguinte mês representativo:

Janeiro Dia	Piso 5 (40Hp)					Piso 6 (42Hp)					UTA P5 e P6 (8Hp)					Consumo elétrico final kWh
	Necessidades kWh		Consumos kWh		Consumo total kWh	Necessidades kWh		Consumos kWh		Consumo total kWh	Necessidades kWh		Consumos kWh		Consumo total kWh	
	Frio	Calor	Frio	Calor		Frio	Calor	Frio	Calor		Frio	Calor	Frio	Calor		
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	232,0	176,0	41,7	31,6	41,7	71,0	288,0	12,4	50,4	50,4	0,0	257,0	0,0	61,2	61,2	153,3
3	152,0	93,0	27,3	16,7	27,3	61,0	157,0	10,7	27,5	27,5	0,0	254,0	0,0	60,5	60,5	115,3
4	54,0	60,0	9,7	10,8	10,8	12,0	122,0	2,1	21,4	21,4	0,0	191,0	0,0	45,5	45,5	77,6
5	54,0	36,0	9,7	6,5	9,7	9,0	92,0	1,6	16,1	16,1	0,0	132,0	0,0	31,4	31,4	57,2
6	86,0	28,0	15,4	5,0	15,4	17,0	69,0	3,0	12,1	12,1	0,0	140,0	0,0	33,3	33,3	60,9
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	190,0	85,0	34,1	15,3	34,1	48,0	172,0	8,4	30,1	30,1	0,0	199,0	0,0	47,4	47,4	111,6
10	65,0	54,0	11,7	9,7	11,7	13,0	108,0	2,3	18,9	18,9	0,0	172,0	0,0	41,0	41,0	71,5
11	52,0	30,0	9,3	5,4	9,3	11,0	74,0	1,9	13,0	13,0	0,0	123,0	0,0	29,3	29,3	51,6
12	51,0	23,0	9,2	4,1	9,2	11,0	59,0	1,9	10,3	10,3	0,0	97,0	0,0	23,1	23,1	42,6
13	108,0	18,0	19,4	3,2	19,4	28,0	41,0	4,9	7,2	7,2	0,0	98,0	0,0	23,3	23,3	49,9
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	256,0	41,0	46,0	7,4	46,0	129,0	97,0	22,6	17,0	22,6	0,0	158,0	0,0	37,6	37,6	106,2
17	224,0	35,0	40,2	6,3	40,2	153,0	61,0	26,8	10,7	26,8	0,0	167,0	0,0	39,8	39,8	106,8
18	172,0	25,0	30,9	4,5	30,9	105,0	48,0	18,4	8,4	18,4	0,0	170,0	0,0	40,5	40,5	89,7
19	200,0	26,0	35,9	4,7	35,9	137,0	50,0	24,0	8,8	24,0	0,0	177,0	0,0	42,1	42,1	102,0
20	219,0	27,0	39,3	4,8	39,3	155,0	54,0	27,1	9,5	27,1	0,0	193,0	0,0	46,0	46,0	112,4
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	305,0	93,0	54,8	16,7	54,8	152,0	176,0	26,6	30,8	30,8	0,0	220,0	0,0	52,4	52,4	138,0
24	150,0	60,0	26,9	10,8	26,9	70,0	107,0	12,3	18,7	18,7	0,0	231,0	0,0	55,0	55,0	100,7
25	171,0	58,0	30,7	10,4	30,7	99,0	103,0	17,3	18,0	18,0	0,0	245,0	0,0	58,3	58,3	107,1
26	221,0	40,0	39,7	7,2	39,7	147,0	76,0	25,7	13,3	25,7	0,0	175,0	0,0	41,7	41,7	107,1
27	234,0	31,0	42,0	5,6	42,0	161,0	62,0	28,2	10,9	28,2	0,0	204,0	0,0	48,6	48,6	118,8
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	99,0	83,0	17,8	14,9	17,8	14,0	206,0	2,5	36,1	36,1	0,0	179,0	0,0	42,6	42,6	96,5
31	100,0	40,0	18,0	7,2	18,0	27,0	84,0	4,7	14,7	14,7	0,0	172,0	0,0	41,0	41,0	73,6
TOTAL																2050,3

Tab. 15 - Consumo energético do edifício ; Janeiro ; sistema a VRF

As necessidades de frio e calor para tratamento dos espaços interiores e neutralização do ar novo, foram obtidas pelo *software* de simulação para cada mês do ano. As necessidades para tratamento dos espaços interiores foram introduzidas nas colunas

referentes ao sistema VRF correspondente, assim como as necessidades para neutralização de ar novo, separados neste sistema.

O consumo elétrico anual estimado foi então obtido:

kWh	Consumo Final DX	Cidade
Janeiro	8393,4	Porto
Fevereiro	9542,5	
Março	13179,3	
Abril	12142,0	Évora
Mai	20041,0	
Junho	24366,9	
Julho	30830,7	
Agosto	33042,2	
Setembro	27282,7	
Outubro	14834,0	Porto
Novembro	7934,7	
Dezembro	6348,6	
TOTAL	207937,9	

Tab. 16 - Consumo elétrico anual edifício - sistema a VRF

4.3. Comparação entre consumos elétricos:

kWh	Consumo Final Real Água (com bomba)	VRF
Janeiro	8992,7	8393,4
Fevereiro	9288,9	9542,5
Março	12844,9	13179,3
Abril	13214,5	12142,0
Mai	22892,1	20041,0
Junho	30308,5	24366,9
Julho	38021,4	30830,7
Agosto	40970,3	33042,2
Setembro	33662,9	27282,7
Outubro	15845,6	14834,0
Novembro	7833,4	7934,7
Dezembro	6935,3	6348,6
TOTAL	240810,6	207937,9

Tab. 17 - Consumo elétrico anual edifício - sistema a água e VRF ; Simulação

Considerando um valor de 0,1365€/kWh (valor à data de Setembro do ano de 2012 – fonte: www.edp.pt), os gastos anuais para cada tipo de sistema, serão:

	Simulação	Diferença (€)	Diferença (%)
Total anual Água	32.870,65 €	4.487,14 €	13,65
Total anual VRF	28.383,52 €		

Tab. 18 – Gastos anuais por sistema ; Diferença (poupança VRF)

4.4. Custos de aquisição dos equipamentos

A análise de custos de aquisição dos equipamentos referentes a cada um dos tipos de sistema em estudo, foi efetuada considerando os valores PVP disponibilizados pelas marcas referenciadas, no que toca a unidades interiores e exteriores de climatização, unidades de tratamento de ar, comandos de controlo individuais, comandos centralizados e respetivos interfaces. Apresentam-se de seguida, os valores disponibilizados apenas referentes aos equipamentos, não considerando tubagens e acessórios:

Equipamento	Referência/modelo	Número	Valor Unitário	Valor total
Ventiloconvector	42GWD 004	21	1.200,00 €	25.200,00 €
Ventiloconvector	42GWD 008	14	1.300,00 €	18.200,00 €
Ventiloconvector	42GWD 020	202	2.000,00 €	404.000,00 €
<i>Chillers</i>	30RQ182	1	35.000,00 €	35.000,00 €
	30RB522	1	80.000,00 €	80.000,00 €
Comandos Ind.		146	75,00 €	10.950,00 €
Gestão Central	Type 128 Manager	2	3.500,00 €	7.000,00 €
UTAN	Power Play Max	1	37.800,00 €	37.800,00 €
TOTAL				618.150,00 €

Tab. 19 - Custos associados aos equipamentos ; Sistema a água

Equipamento	Referência	Número	Valor Unitário	Valor total
Unidade interior	AVXCMH028EE	35	675,00 €	23.625,00 €
Unidade interior	AVXCMH036EE	11	710,00 €	7.810,00 €
Unidade interior	AVXCMH056EE	80	800,00 €	64.000,00 €
Unidade interior	ND045HXEA	108	750,00 €	81.000,00 €
Unidade interior	ND0714HXEA	2	890,00 €	1.780,00 €
Painel decoração Cassete 4 vias	P4SMA	110	260,00 €	28.600,00 €
Painel decoração mini Cassete 4 vias	PMSMA	126	255,00 €	32.130,00 €
Unidade exterior 8HP	RD080HHXGB	4	5.420,00 €	21.680,00 €
Unidade exterior 8HR	RD080HRXGB	3	5.820,00 €	17.460,00 €
Unidade exterior 10HR	RD100HRXGB	2	6.700,00 €	13.400,00 €
Unidade exterior 12HR	RD120HRXGB	12	7.940,00 €	95.280,00 €
Unidade exterior 16HR	RD160HRXGB	8	10.250,00 €	82.000,00 €
Caixa Recuperadora 4 saídas	MCU-Y4NEE	10	1.610,00 €	16.100,00 €
Caixa Recuperadora 6 saídas	MCU-Y6NEE	34	1.970,00 €	66.980,00 €
Kit Air Handling Unit 75Hp	MXD-A22K200X1	4	870,00 €	3.480,00 €
UTAN 8Hp	Premiair PR60	4	9.800,00 €	39.200,00 €
Comandos Individuais	MWR-WH00	146	55,00 €	8.030,00 €
Interface	MIM-B13D	13	157,00 €	2.041,00 €
Gestão Central	DMS2	1	1.200,00 €	1.200,00 €
TOTAL				605.796,00 €

Tab. 20 - Custos associados aos equipamentos ; Sistema a VRF

4.5. Custos de instalação

Por motivos diversos, não foi possível, até à data de entrega do presente trabalho, obter os resultados comparativos referentes aos valores de instalação pela empresa Conveclima, que se dispôs a fazer o respetivo estudo tendo em conta as características dos sistemas dimensionados. A fim de tentar obter uma ideia da diferença de valores, no âmbito da instalação, entre os sistemas em estudo, foi então disponibilizada a informação, pela referida empresa Conveclima e pela empresa Hiperclima, de que o valor aproximado para custos de mão-de-obra, tubagens e respetivos acessórios de suportagem, isolamentos, válvulas de regulação, corte de caudal, etc., para obras desta dimensão de sistemas a água, têm por norma um valor superior na ordem dos 20%, aos mesmos custos associados mas para sistemas a VRF.

4.6. Custos de manutenção

A análise de custos previstos de manutenção para cada um dos tipos de sistema em estudo, foi disponibilizada pela empresa de manutenção Pinto & Cruz. O dimensionamento corresponde a uma previsão dos custos associados em função dos

equipamentos em causa, podendo o seu valor, dependendo do tipo de contrato, ser acertado anualmente em função dos custos reais contabilizados ao final de cada período contratual, por norma ao ano, descontando ao valor do contrato de manutenção no ano posterior. Apresentam-se de seguida, os valores disponibilizados:

- Equipamentos considerados:

- Sistema a água: 2 CHILLER'S + 237 VC'S + 1 UTA + 4 ELECTROBOMBAS + REDE HIDRÁULICA ASSOCIADA + SIST. TRATAMENTO DE ÁGUA + REDE AERÓLICA + GRELHAS E DIFUSORES + 1 QE AVAC;
- Sistema Expansão Direta: 13 VRF'S UEXT'S + 236 UI'S + 4 UTA'S C/ BATERIA DE EXPANSÃO DIRETA + REDE AERÓLICA + GRELHAS E DIFUSORES + 1 QE AVAC;

- Considerações:

- Intervenções: Mensais;
- Funcionamento: em contínuo;
- Todos os equipamentos acessíveis;
- Realização dos trabalhos: Horário Normal e Dias Úteis.

- Custos associados:

- Sistema a água: € 15.108,00 + IVA / ano --> avença mensal: € 1.259,00 + IVA;
- Sistema Expansão Direta: € 17.136,00 + IVA / ano --> avença mensal: € 1.428,00 + IVA

- Tempo de mão de obra:

- Sistema a água: 470 Hrs anuais de trabalho para 1 pessoa;
- Sistema Expansão Direta: 594 Hrs anuais de trabalho para 1 pessoa.

5. Comentários e conclusões

NOTA: de forma a não fugir ao principal objectivo deste projeto, o comparativo dos desempenhos entre os dois principais tipos de sistemas de climatização, alguns estudos e dimensionamentos foram apenas realizados de forma parcial, a fim de fornecer uma ideia do necessário a instalar no caso de se tratar de um projeto real de execução. Desta forma, as peças desenhadas (tubagens sistema a água e sistema a VRF) e o dimensionamento das condutas de extração, foram apenas realizados para o piso 3, uma vez que as necessidades e *layout* do mesmo se repetem para o caso do piso 1 ao piso 5, ficando dessa forma a maioria do edifício representado (anexo 16).

Numa primeira abordagem ao tema, verifica-se que os valores do EER e COP para cada tipo de sistema, apresentam de imediato uma ideia inicial da diferença esperada nos consumos. Mostra-se, nos gráficos em baixo, a evolução dos valores de EER e COP em função da temperatura exterior, para um regime de funcionamento a 100%, entre cada tipo de sistema instalado (Fonte: catálogos técnicos das unidades exteriores de cada tipologia de sistema e respetiva marca):

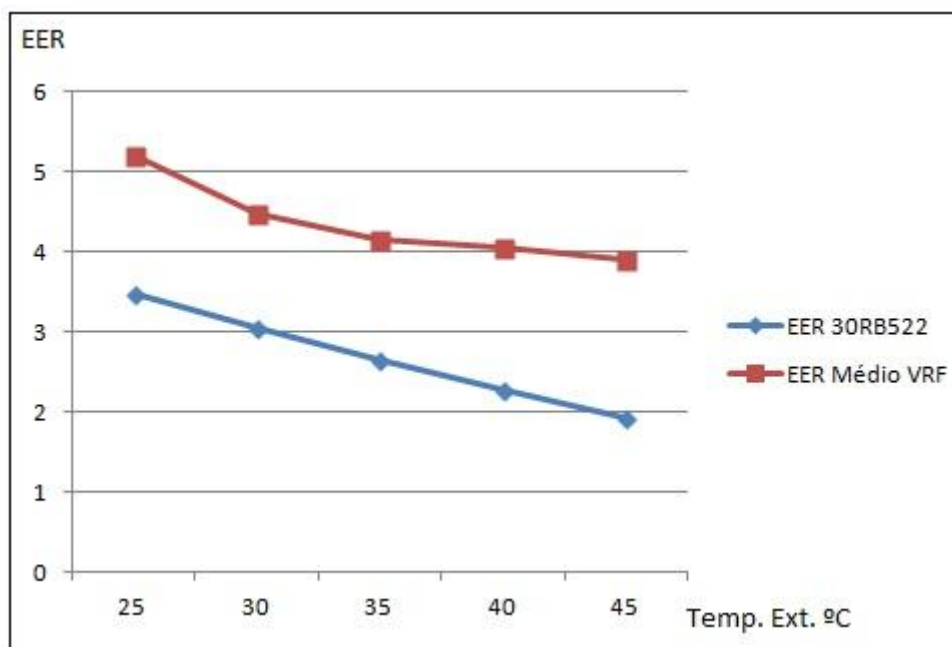


Fig. 29 – Evolução do EER em função da temperatura exterior, regime de funcionamento 100%

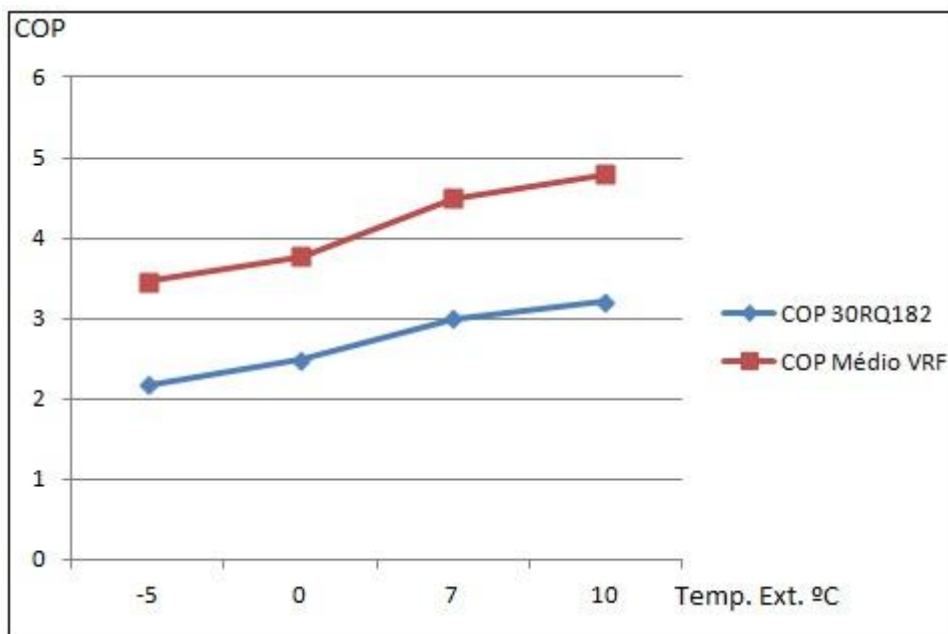


Fig. 30 – Evolução do COP em função da temperatura exterior, regime de funcionamento 100%

Verifica-se que para qualquer temperatura exterior, a tendência da evolução do EER e COP é sempre superior no caso do valor médio dos sistemas considerados a VRF. Esta diferença justifica-se pelo facto de que no caso da instalação VRF, os sistemas são mais pequenos / menos potentes, tratando o edifício piso a piso e por isso tendencialmente mais eficientes. O mesmo procedimento poderia ter sido usado na definição do sistema a água, no entanto iria implicar um incremento acentuado no custo de aquisição dos equipamentos neste caso.

Pela análise aos consumos mensais ao longo do ano, verifica-se uma diferença pouco acentuada durante os meses de maior necessidade de aquecimento (Fonte: Tabela 17):

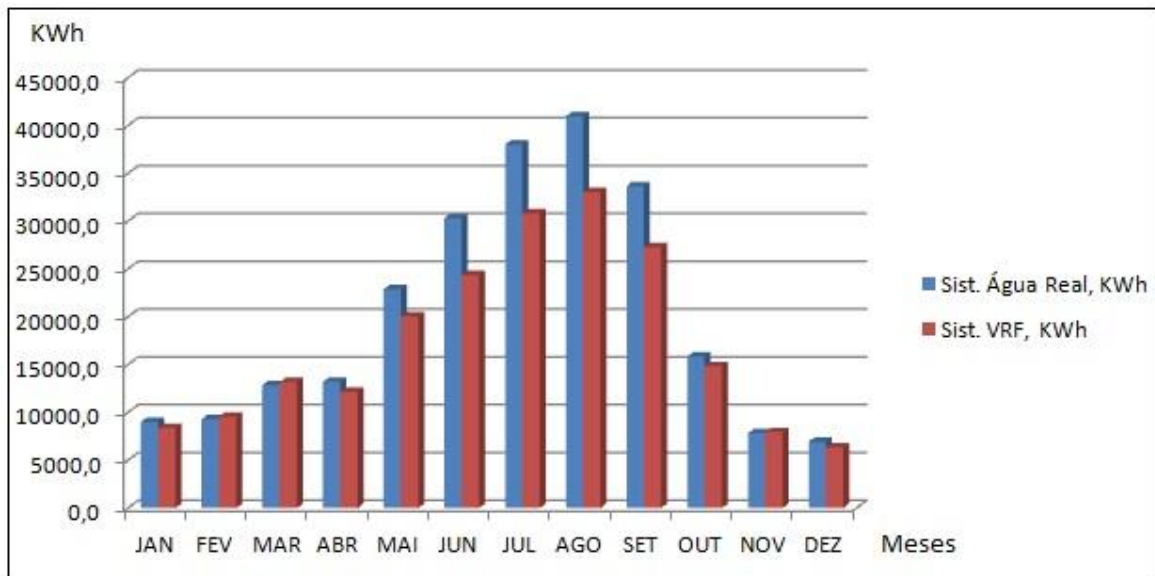


Fig. 31 – Consumos elétricos mensais ; Sistema a água e VRF

Tal facto era esperado uma vez que, sendo as necessidades de arrefecimento globais ainda assim superiores nesses períodos, ocorre um favorável aproveitamento da recuperação de calor por parte do segundo *Chiller*, período durante o qual os sistemas a VRF poderão ainda ter de alternar entre os dois modos de funcionamento.

O sistema de bombagem, para o sistema a água, confirma-se como um fator de incremento considerável nos consumos energéticos (Fonte: Tabela 11):

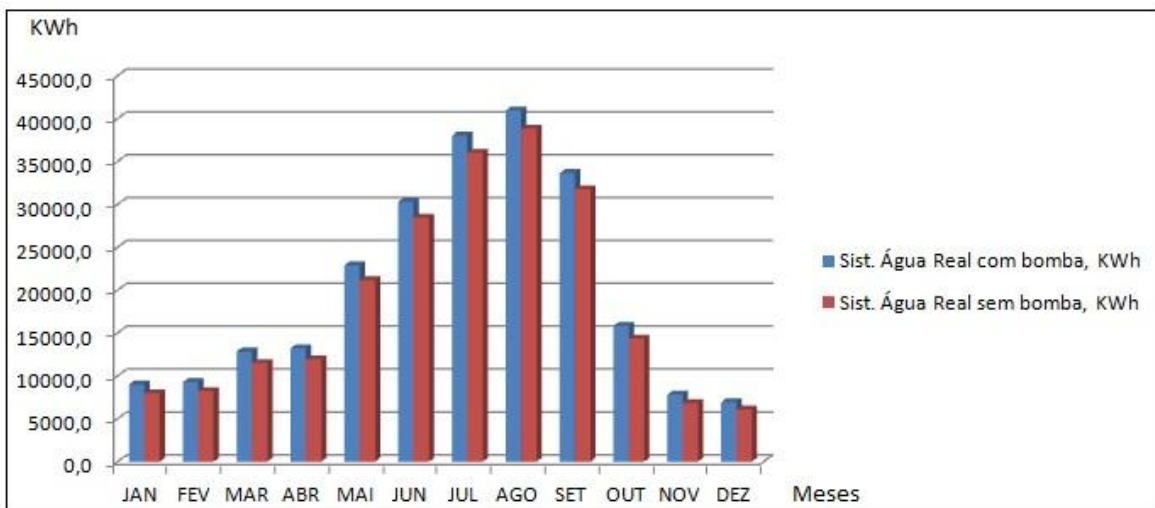


Fig. 32 – Consumos elétricos mensais ; Sistema de bombagem

De facto, apesar da vantagem dos sistemas a água na flexibilidade do coeficiente de simultaneidade utilizado, bem como nos comprimentos de tubagem de distribuição do

fluido térmico, devido ao facto de a distribuição do fluido térmico ser independente do sistema que o trata termicamente, o que impacta que o sistema de bombagem origina nos consumos energéticos, revela-se considerável, atingindo-se no caso em estudo os 17696,4 kWh/ano, o que traduz um custo associado de 2415,6€/ano (consumos obtidos através do *software* de simulação). Os sistemas VRF, sem esta parcela no cálculo dos consumos, uma vez que o fluido frigorígeno circula pela instalação por diferencial de pressão criada pela compressão nas unidades exteriores, têm por seu lado as limitações referentes ao coeficiente de simultaneidade (máximo de 130%, que pode variar de marca para marca e modelo para modelo) e de comprimentos máximos de tubagem, uma vez que as perdas de carga associadas, quando ultrapassadas, implicam uma perda de pressão no sistema e consequente diminuição de caudal e a respetiva perda de capacidade.

Dado que foi necessário, devido às necessidades do edifício, recorrer a sistemas capazes de fornecer aquecimento e arrefecimento em simultâneo, a utilização de equipamentos com recuperação de calor, acaba por trazer uma vantagem em termos de poupança energética (Fonte: Tabela 11):

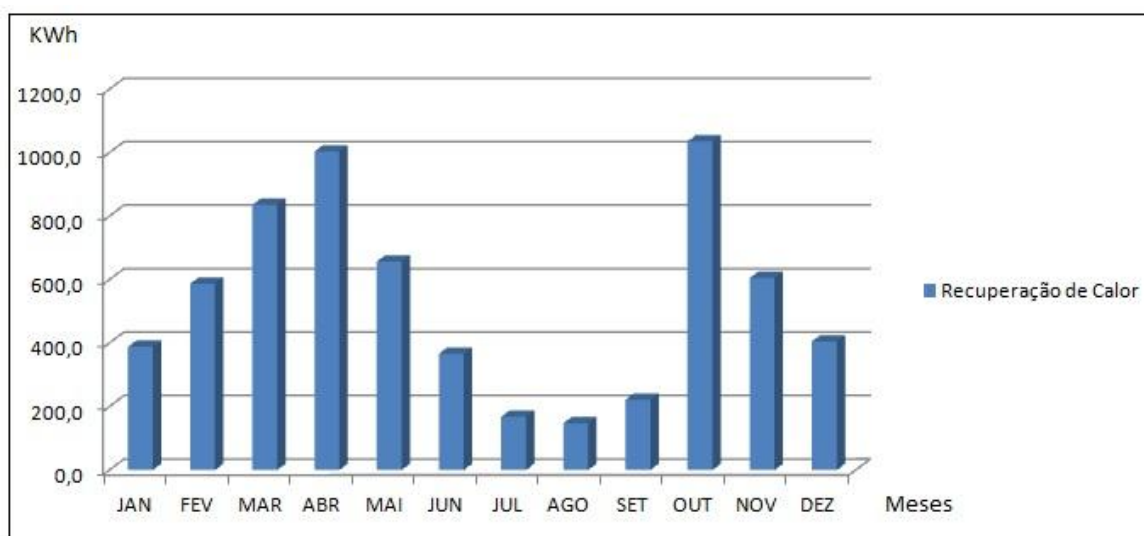


Fig. 33 – Recuperação de calor ; Sistema a água

Conforme esperado, a recuperação de calor, cujo valor varia em função das cargas de frio (quanto maior a carga de frio, maior a capacidade disponível para recuperar), torna-se mais eficiente nos meses de temperatura mais amena, uma vez que as necessidades de arrefecimento são consideráveis por forma a originar uma capacidade recuperada útil, utilizada para as ainda consideráveis necessidades de aquecimento durante este período. No meses de Inverno, sendo a necessidade de arrefecimento mais baixa, a

recuperação de calor é consequentemente baixa, embora as necessidades de aquecimento sejam elevadas, e por isso têm de ser vencidas em grande parte pelo primeiro *Chiller* funcionando no modo de aquecimento. Nos meses de Verão, embora exista uma grande capacidade de calor possível de ser recuperada, as necessidades de aquecimento são baixas, daí que as vantagens, diretamente para o sistema de climatização são pouco consideráveis. A poupança energética anual atinge um valor de 6423,00kWh, o que se traduz numa poupança anual de 876,74€. No entanto, o calor recuperado durante os meses de Verão, pode e deve ser reaproveitado para outras utilizações, como as AQSs (Águas Quentes Sanitárias), o que implicaria uma poupança anual consideravelmente superior.

Para os custos associados à aquisição dos equipamentos, verifica-se uma diferença entre os orçamentos de cerca de 2% superior para o caso do sistema a água, quando comparado com o sistema a VRF. Os valores apresentados não contemplam acessórios de instalação (acessórios de tubagem e válvulas de corte, por exemplo), nem o sistema de bombagem para o sistema a água (indisponibilizado). De facto, mesmo com um maior número de unidades exteriores e de tratamento de ar, o seu menor custo unitário, origina um valor final ligeiramente mais vantajoso, como se pode verificar nas tabelas 19 e 20.

Para os custos associados à instalação dos dois tipos de sistema em estudo, verifica-se uma diferença entre os orçamentos tipo de cerca de 20%, tendo os sistemas a VRF custos associados à instalação mais baixos, conforme informação disponibilizada pelas empresas da especialidade contactadas. Tal aproximação foi obtida através da experiência dos profissionais das Conveclima e Hiperclima.

Para os custos associados à manutenção dos dois tipos de sistema em estudo, verifica-se uma diferença entre os orçamentos favorável aos sistemas a água. Tal situação fica a dever-se ao facto de, no caso da opção a VRF, existir um maior número de unidades exteriores devido ao facto de este tipo de equipamentos permitirem apenas um coeficiente de simultaneidade de 130%, o que implica o recurso a um maior número de máquinas exteriores e consequentes valores acrescidos de necessidades esperadas de manutenção. Considerando a diferença verificada entre os valores apresentados, verifica-se uma poupança de cerca de 2200€/ano no sistema a água, face à alternativa VRF.

5.1. Aplicação legal

Pretendeu-se, com este trabalho, contribuir para o desenvolvimento do conhecimento e da base fomentada de decisão quando, um projetista, define o sistema a dimensionar para um determinado edifício de serviços. De facto, os sistemas a VRF, quando legalmente elegíveis, podem ser uma solução a ter em conta, considerando as respetivas eficiências e custos associados.

5.1.1. Concentração de gases

Outra condição imposta no atual regulamento em vigor, diz respeito à concentração máxima de fluído frigorígeno por volume, que tem o valor de $0,44\text{kg/m}^3$, tendo em conta o espaço interior fechado mais pequeno. Considerando o exemplo do piso 3, verifica-se que a condição regulamentada, para o sistema dimensionado não é atingida. O sistema a VRF de 40Hp possui um total de 17kg de fluído refrigerante originalmente nas unidades exteriores (Anexo A6), aos quais se juntam os 37,07kg referentes à carga adicional necessária devido aos comprimentos e diâmetros da tubagem. Obtém-se um total de 54,07Kg que, para o volume do espaço mais pequeno do referido piso (3.09, Reprografia, $8,2\text{m}^2$, anexo A8), perfaz uma concentração de $2,20\text{kg/m}^3$. Para esta situação o regulamento não é cumprido (ver ponto seguinte).

5.2. Considerações finais

Como conclusão final, verifica-se uma tendência mais económica para os sistemas a VRF, em praticamente todas as vertentes, sendo a mais considerável a do consumo energético. E quanto maiores as necessidades térmicas, mais notória é a diferença em termos de exploração. Os custos de manutenção invertem um pouco a tendência, revelando valores mais baixos para o caso dos sistemas a água, reduzindo ligeiramente a diferença geral em termos de vantagem económica para os sistemas a VRF.

Convém também referir que neste estudo os sistemas a VRF foram dimensionados de modo a se aproximarem o mais possível dos sistemas dimensionados a água, obtendo-se desta forma sistemas de grande capacidade (recorrendo-se ao menor número possível de unidades exteriores) e que tratassem espaços fáceis de definir, como pisos inteiros, para facilitar os estudos comparativos. Desta forma obtiveram-se soluções

de todo não aconselhadas em termos de eficiência e aplicabilidade, comparando com o que se pratica no terreno, podendo originar, inclusive, consequências de aplicação legal, como se acabou por verificar. Geralmente, dividir os grandes sistemas de climatização em outros mais pequenos, permite obter sistemas com menos capacidade e tendencialmente mais eficientes, além do que, em cada um deles, a quantidade de fluido frigorigéneo será conseqüentemente inferior e por isso capaz de respeitar a regulamentação referente à concentração máxima de gás. Exemplificando, recorrendo-se aos equipamentos climatização a VRF da marca *Samsung*, para um sistema de 40Hp com recuperação de calor, obtêm-se as seguintes possibilidades:

- Solução de 40Hp modular:
 - 40Hp: EER para condições nominais - 3,68
- Solução de 40Hp, sistemas subdivididos (2 x 16Hp + 8Hp):
 - 16Hp: EER para condições nominais - 3,73
 - 8Hp: EER para condições nominais - 4,31

NOTA: Condições nominais: Temperatura interior 27°C ; Temperatura exterior: 35°C

Esta alteração para a subdivisão dos sistemas, mantendo-se a potência instalada, permite obter sistemas menos potentes e mais eficientes (maiores valores de EER), sendo que ainda se podem colocar as unidades exteriores separadas e melhor localizadas, tendo em conta as unidades interiores que tratam, de forma a reduzir os comprimentos de tubagem e assim reduzir a quantidade de fluído frigorigéneo adicional necessário. O valor de aquisição dos equipamentos pouco varia, tratando-se das mesmas unidades exteriores, sendo esta a solução utilizada para atingir o valor máximo de 0,44kg/m³ regulamentado.

Exemplificando, através da alteração dos sistemas afetos ao piso 3 (referido no ponto 5.1.2.) e respetiva rede de tubagens, substituindo o sistema original de 40Hp, subdividindo-se em por exemplo 3 unidades exteriores (duas unidades exteriores de 16Hp e uma de 8Hp - anexo 17), obtêm-se para os sistemas as cargas de gás adicionais em relação aos espaços fechados mais pequenos:

- Sistema 16Hp 1: Espaço 3.14 (16,5m²) ; Total Gás: 7 + 10,36Kg ; Concentração: 0,36kg/m³

- Sistema 16Hp 2: Espaço 3.32 (17,2m²) ; Total Gás: 7 + 11,13Kg ; Concentração: 0,35kg/m³
- Sistema 8Hp: Espaço 3.30 (8,2m²) ; Total Gás: 5 + 5,22Kg ; Concentração: 0,42kg/m³
- EER Médio:

$$\frac{4 \times 3.73 + 4.31}{3} = 3.92$$

Através deste exemplo, obtêm-se para o piso 3, três sistemas independentes que mantêm a potência total necessária, respeitando a concentração de fluido frigoriférico e atingindo valores de eficiência superiores. Esta alteração por vezes pode não ser possível de realizar de forma tão direta, sendo necessário avaliar caso a caso.

NOTA: Os valores de aquisição no caso dos sistemas VRF subdivididos varia consoante as unidades exteriores (que no caso apresentado são as mesmas), apresentando depois outras variações passíveis de ensaio: no caso dos sistemas modulares, é necessária a aquisição dos T's de ligação entre unidades exteriores, para além de, dado que se tratam de sistemas com maior capacidade, utilizarem tubagens de cobre com maior secção. Por seu lado, os sistemas subdivididos, utilizam maiores comprimentos de tubagem de cobre, uma vez que de cada unidade exterior (na cobertura) tem de ser passadas tubagens para as unidades interiores. No entanto, por se tratarem de sistemas com menor capacidade, necessitam de secções de tubagem mais pequenas, podendo-se localizar as unidades exteriores em locais separados para otimizar a distância às respetivas unidades interiores. Em resumo, trata-se de uma solução que apresenta vantagens e desvantagens, sendo necessário avaliar caso a caso.

5.3. Melhorias e perspetivas futuras

Como sugestões de melhoria/desenvolvimento deste trabalho, seria interessante verificar diretamente no terreno os consumos para cada tipo de sistema para instalações de potência semelhante, de forma a verificar a elegibilidade dos resultados deste estudo.

Seria igualmente interessante elaborar um projeto paralelo com sistemas VRF sub-divididos, de forma a que todos cumprissem com a regulamentação em vigor referente à concentração máxima de fluido frigorigéneo. No final, repetir os estudos económicos de exploração e de aquisição, que se supõe serem inferiores e semelhantes respetivamente.

Para a área da manutenção, os valores apresentados baseiam-se apenas no número de equipamentos instalados, sendo esta a forma que as empresas da especialidade, no seu geral, efetuam os orçamentos. Contudo, este facto pouco representa a realidade em relação ao valor real efetivo necessário, aquando das manutenções necessárias aos equipamentos. De facto, as informações disponibilizadas por técnicos de manutenção de terreno sugerem que, para ambos os sistemas de climatização, os trabalhos realizados em termos de horas dispendidas, pouco se relacionam com o número de equipamentos, incidindo sim sobre a fiabilidade dos equipamentos em questão, que varia essencialmente entre equipamentos, respectivo fabricante, tecnologia, acessórios instalados, etc. Seria interessante elaborar-se um estudo para verificar as diferenças reais entre os valores estipulados em orçamentos de manutenção e os valores realmente gastos nas respetivas intervenções.

6. Referências bibliográficas

www.dvmsystem.com

www.edp.pt

www.Carrier.com

www.wesper.com

www.franceair.com/pt/

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wmo_region_6/country=PRT/cname=Portugal

2011, *SAMSUNG DVM Air Conditioner*, Technical Databook

Climatização. Conceção, instalação e condução de sistemas, Luís Roriz, 2008, Edições Orion

Carrier, General Catalogue 2009, Building Systems and Services

Diário da República, Abril de 2006, Número 67, I - A série, Decreto-Lei 79/2006, Decreto-Lei 80/2006

Temperaturas exteriores de projeto e números de graus-dias, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa 1995 2ª edição, J. Casimiro Mendes, M. Rita Guerreiro, C. A. Pina dos Santos, J.A. Vasconcelos de Paiva

AHSRAE. *AHSRAE Handbook - Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, 2001.

Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, 2006,
LNEC, Carlos Santos, Luís Matias

Mapas de Radiação Solar em Portugal Continental - Instituto Nacional de Meteorologia

7. Anexos

A1

Caracterização das envolventes do edifício

A2
Graus dia

Quadro II.A - 1 (cont.)

TEMPERATURAS EXTERIORES DE PROJECTO DE VERÃO
(PROBABILIDADES ACUMULADAS DE OCORRÊNCIA DE 90, 95, 97.5 e 99%)
E AMPLITUDE TÉRMICA DIÁRIA DO MÊS MAIS QUENTE

REGIÃO	NUM. DE ORDEM	LOCAL	T TERM. SECO				TW TERM. MOLHADO COINCIDENTE COM T				TW TERM. MOLHADO				AMPLITUDE TERMICA DIARIA
			99%	97.5%	95%	90%	99%	97.5%	95%	90%	99%	97.5%	95%	90%	
CONTINENTE	30	MONTENOR-O-VELHO	32.3	30.0	27.7	25.5	22.0	21.1	20.2	19.6	22.9	21.8	21.0	20.1	10.5
	31	FUNDAD	34.8	33.5	32.1	30.1	20.5	19.9	19.6	18.9	22.3	21.1	20.1	19.2	15.0
	32	ZEBREIRA	36.4	34.9	33.5	31.7	19.8	19.5	19.2	18.6	21.3	20.6	20.0	19.1	14.8
	33	CASTELO BRANCO	36.2	34.9	33.6	31.7	21.5	21.1	20.7	19.9	24.1	22.3	21.3	20.3	14.1
	34	MARINHA GRANDE	31.5	28.7	26.2	24.3	20.3	19.6	19.4	19.0	21.7	20.8	20.2	19.4	10.5
	35	ALCOBACA	33.1	30.5	28.0	25.5	21.5	20.6	19.9	19.2	22.2	21.3	20.5	19.7	11.8
	36	TANCUS/B.AEREA	36.1	34.2	32.4	30.2	21.9	21.3	20.9	20.1	22.7	21.9	21.3	20.5	15.1
	37	ALVEGA	36.9	35.0	33.3	31.2	23.2	22.2	21.8	21.0	24.4	23.4	22.6	21.7	17.1
	38	MARVAD	31.8	30.4	29.2	27.4	18.5	18.2	17.9	17.3	20.9	19.7	18.9	18.0	10.1
	39	CAOJ CARVOEIRO	23.9	22.2	21.4	20.6	18.8	18.5	18.5	18.0	19.8	19.3	18.8	18.4	4.1
	40	KIU MAIOR	34.5	32.3	30.0	27.6	22.1	21.5	20.7	20.0	23.1	22.2	21.5	20.6	13.2
	41	PORTALEGRE	33.6	32.2	30.7	29.1	18.4	17.8	17.4	17.1	19.5	19.1	18.5	17.8	13.5
	42	SANTAREM	35.6	33.6	31.9	29.7	21.9	21.3	20.8	20.1	22.8	22.0	21.4	20.6	15.5
	43	FONTE BOA	35.7	33.6	31.9	29.4	22.6	21.9	21.3	20.5	24.0	22.7	21.8	20.8	14.3
	44	UTA/BASE AEREA	34.8	32.8	30.9	28.6	22.1	21.2	20.6	19.9	22.7	21.9	21.2	20.4	11.9
	45	BENAVILA	37.0	35.3	33.7	31.6	22.6	21.9	21.3	20.5	23.7	22.7	21.9	20.9	16.5
	46	DOIS PURTOS	32.8	30.7	28.5	26.0	21.6	20.8	20.2	19.8	22.6	21.6	20.8	19.9	11.3
	47	SALVATERRA DE MAGOS	34.0	32.2	30.3	28.2	22.7	21.8	21.3	20.4	24.1	22.7	21.9	21.0	13.9
	48	MORA	36.3	34.4	32.8	30.8	22.5	21.8	21.2	20.5	23.8	22.8	22.0	21.0	15.9
	49	ELVAS	37.0	35.7	34.3	32.4	21.8	21.7	21.1	20.4	23.5	22.5	21.8	20.8	17.2
	50	SINTRA/GRANJA	31.6	29.3	26.9	24.7	20.5	19.6	19.3	18.8	21.4	20.6	20.0	19.3	9.9
	51	CABO DA ROCA	27.6	25.1	23.1	21.4	19.4	18.7	18.1	17.9	20.6	19.5	19.0	18.4	5.9
	52	LISBOA/PURTELA	33.3	31.4	29.4	27.0	22.2	21.2	20.4	19.6	23.0	22.0	21.0	20.0	11.2
	53	LISBOA/GEOFISICO	32.9	31.2	29.7	27.8	20.8	20.3	19.9	19.5	21.9	21.2	20.6	19.9	10.5
	54	PEGDES	35.5	33.7	32.0	29.8	22.0	21.4	21.0	20.4	23.1	22.3	21.6	20.9	16.1
	55	EVORA	35.4	33.7	32.0	30.2	19.9	19.3	19.1	18.6	21.0	20.3	19.8	19.0	13.8
	56	SETUBAL	34.4	32.5	30.9	28.8	21.8	21.3	20.7	20.1	23.8	22.2	21.4	20.6	13.4
	57	EVORA/CJKRATS	36.9	35.2	33.7	31.7	22.5	21.9	21.3	20.4	24.1	22.9	22.0	20.9	17.6
	58	SETUBAL/SETENAVE	34.0	32.1	30.4	28.3	21.8	21.3	20.7	19.9	23.1	22.0	21.3	20.5	12.2

A3

Normais Climatológicas - Castelo Branco

1931-1960

$\phi=39^{\circ}49'N$; $\lambda=7^{\circ}29'W$; $g=9,8004 \text{ m/s}^2$; $\Delta G=0 \text{ m}$

Mês	Pressão atmosférica P (mb)		Temperatura do ar T (°C)								Humidade relativa do ar U (%)		
	No local	Red. nível do mar	9 h	15 h	21 h	Mensal	Max	Min	Max	Min	9 h	15 h	21 h
Janeiro .. I	972,4	1019,6	6,6	10,4	7,5	7,9	11,1	4,7	19,5	-4,5	79	67	-
Fevereiro .. II	971,2	1018,1	7,8	12,2	8,6	8,2	15,0	5,5	22,9	-4,5	75	58	-
Março ... III	968,5	1015,0	10,0	14,7	11,1	11,6	15,6	7,5	27,5	-1,2	72	58	-
Abril IV	968,6	1014,8	15,9	17,8	15,5	14,0	18,8	9,5	31,5	1,6	65	49	-
Maió V	969,4	1014,1	16,8	20,7	15,9	16,9	22,0	11,8	35,7	2,0	69	47	-
Junho ... VI	969,8	1014,8	21,2	26,0	20,2	21,4	27,4	15,4	38,8	7,0	55	58	-
Julho VII	969,7	1014,4	24,2	29,8	25,4	24,5	31,2	18,1	41,6	10,0	46	39	-
Agosto ... VIII	969,1	1013,8	25,8	30,2	25,5	24,4	31,0	17,8	41,5	10,8	48	52	-
Setembro IX	970,5	1015,5	20,7	26,0	20,4	21,5	27,0	16,0	37,5	6,6	58	45	-
Outubro . X	970,6	1016,4	15,7	20,1	15,8	16,5	20,8	12,2	35,5	5,2	69	54	-
Novembro XI	970,7	1017,2	10,7	14,5	11,0	11,6	15,1	8,0	25,6	0,5	77	64	-
Dezembro XII	971,7	1018,8	7,4	10,8	8,0	8,4	11,7	5,2	19,4	-2,5	68	67	-
Ano	970,1	1016,0	14,9	19,4	14,9	15,6	20,4	10,9	41,6	-4,5	64	51	-

Mês	Insolação I		Nebulosidade N (0-10)			Precipitação R (mm)		Número de dias						
	Total (h)	Porcent. (%)	9 h	15 h	21 h	Total	Max (diária)	Evoresção E (mm)	Temperatura do ar T			Velocidade do vento f		
									Min < 0°	Max > 0°	Min > 0°	0-5 km/h	5-30 km/h	> 30 km/h
Janeiro .. I	-	-	5	5	-	125,1	82,2	58,5	2	0	0	1	0	
Fevereiro .. II	-	-	5	5	-	80,7	84,0	75,1	1	0	0	1	0	
Março ... III	-	-	6	6	-	128,6	118,0	97,0	0	0	0	1	0	
Abril IV	-	-	5	5	-	69,9	77,0	140,5	0	2	0	0	0	
Maió V	-	-	5	5	-	56,4	44,0	164,3	0	9	0	0	0	
Junho ... VI	-	-	4	4	-	22,5	55,0	223,5	0	39	4	0	0	
Julho VII	-	-	2	2	-	4,6	57,5	385,2	0	28	0	0	0	
Agosto ... VIII	-	-	2	2	-	7,8	45,0	285,2	0	23	9	0	0	
Setembro IX	-	-	3	4	-	58,9	76,0	195,0	0	19	3	0	0	
Outubro . X	-	-	5	5	-	77,0	87,0	121,9	0	6	0	0	0	
Novembro XI	-	-	5	5	-	101,9	107,5	75,9	0	0	0	0	0	
Dezembro XII	-	-	5	5	-	116,1	69,0	58,2	1	0	0	0	0	
Ano	-	-	4	4	-	827,5	118,0	1805,0	4	112	25	5	0	

$H_1=390 \text{ m}$; $H_2=392 \text{ m}$; $h_1=1,5 \text{ m}$; $h_2=13,2 \text{ m}$; $h_3=13,2 \text{ m}$; $h_4=1,5 \text{ m}$

1931-1960

Vento											Mês						
Número nd de observações e velocidade média f (km/h) para cada rumo																	
N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C	Velocid. média f (km/h)								
10,5	7,8	15,4	7,6	11,0	6,2	7,1	6,5	5,5	7,1	5,3	8,9	12,8	8,0	8,2	8,4	6,4	6,9
15,5	7,7	15,9	7,4	8,6	7,1	6,2	6,2	4,2	8,4	5,5	8,8	9,6	8,9	7,8	10,1	5,1	6,8
10,0	8,5	12,4	7,5	10,0	8,5	8,4	6,5	7,5	7,4	7,0	9,8	14,6	7,8	7,6	10,4	4,5	7,8
11,2	9,9	15,2	8,8	9,2	7,8	6,5	6,6	5,0	7,5	5,9	7,7	14,2	8,1	8,6	8,0	3,5	8,1
11,0	9,1	10,1	7,2	8,8	7,2	5,0	6,1	4,8	6,5	7,9	8,0	19,5	8,1	11,1	8,8	3,4	7,6
15,1	8,5	8,5	6,8	7,5	6,2	4,8	6,1	5,9	6,4	6,8	6,2	19,5	6,8	11,5	8,0	2,8	7,4
15,8	8,2	8,6	7,0	6,6	6,8	4,0	6,6	5,4	5,7	8,9	7,6	17,8	8,7	11,6	9,8	2,9	8,2
12,4	7,8	9,7	7,0	6,9	7,5	5,9	5,8	4,8	6,5	9,2	8,1	18,9	8,5	11,9	8,5	3,9	7,5
11,8	7,4	10,7	8,1	7,6	7,5	6,0	5,8	6,1	5,7	8,1	7,0	15,8	7,7	10,2	7,7	2,7	6,6
11,8	6,5	14,7	8,9	10,2	6,5	6,7	6,5	5,8	6,6	4,8	6,7	12,7	7,5	9,5	7,9	5,6	5,9
12,9	6,7	15,2	6,6	9,5	5,7	6,1	6,5	5,8	8,1	5,2	7,8	11,8	7,4	7,5	7,7	5,0	6,5
13,2	6,6	12,8	7,7	10,4	7,5	7,4	6,1	4,6	8,5	5,0	8,9	15,4	8,7	9,5	9,9	5,5	7,0
148,0	7,8	147,0	7,6	106,5	7,9	72,1	6,5	65,0	7,0	79,5	8,0	179,4	8,0	114,4	8,7	50,9	7,2

Número de dias														Mês
Nebulosidade N		Precipitação R			Número de dias									
as III	as IV	as I	as II	as III	Neve *	Granizo / Sarraiva	Trovoadas	Nevoeiro	Orralho	Gada	Sole colorto de neve			
8	7	10	9	4	1	0	0	5	5	4	1	1	1	Janeiro .. I
8	7	8	7	5	0	0	0	2	5	5	5	1	0	Fevereiro .. II
9	5	11	10	5	0	1	1	2	2	1	0	1	0	Março ... III
7	7	8	7	2	0	0	2	0	1	1	1	1	0	Abril IV
6	6	7	6	2	0	1	2	0	1	0	0	0	0	Maió V
5	10	5	5	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	Junho ... VI
1	18	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	Julho VII
1	16	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	Agosto ... VIII
5	10	4	5	1	0	0	2	1	2	0	0	0	0	Setembro IX
7	7	7	6	5	0	0	1	1	4	1	0	0	0	Outubro . X
8	7	9	8	4	0	0	1	2	5	4	0	0	0	Novembro XI
10	8	10	9	4	0	0	1	4	5	6	0	0	0	Dezembro XII
72	108	79	70	29	1	2	14	17	25	20	1	1	1	Ano

A4

Radiação Solar

A5

Normais climatológicas Porto e Évora

A6

Caudais de ar novo e de extração

A7
Ashrae

A8

Necessidades espaços, piso -1

A9

Chiller 30RQ182

A10

Chiller 30RB522

A11
Fancoils

A12

UTAN *France Air*

A13

DVM - unidades exteriores

A14

DVM - unidades interiores

A15
UTAN DX

A16
Peças desenhadas

A17

Peças desenhadas - afinação quantidade de gás