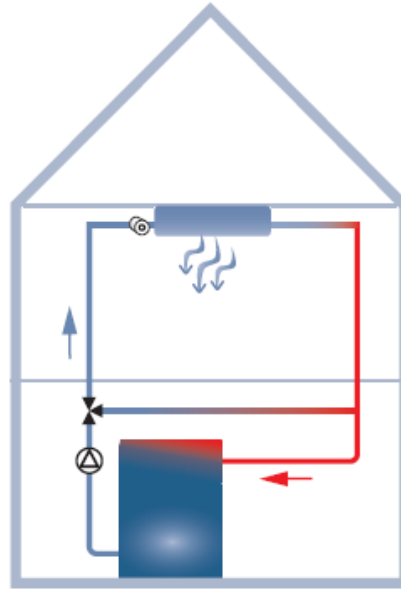




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

ISEL



Sistemas de Caudal Variável Versus Caudal Constante em Sistemas de AVAC (Água)

JOÃO FILIPE DA GAMA MARCELINO COSTA DIAS
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professor Especialista João Manuel Vinhas Frade

Júri:

Presidente: Professor Especialista Francisco Manuel Fernandes Severo

Vogais:

Professor Doutor Celestino Rodrigues Ruivo

Professor Especialista João Manuel Vinhas Frade

Novembro de 2012



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Mecânica

ISEL

**Sistemas de Caudal Variável Versus Caudal
Constante em Sistemas de AVAC
(Água)**

JOÃO FILIPE DA GAMA MARCELINO COSTA DIAS
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professor Especialista João Manuel Vinhas Frade

Júri:

Presidente: Professor Especialista Francisco Manuel Fernandes Severo

Vogais:

Professor Doutor Celestino Rodrigues Ruivo

Professor Especialista João Manuel Vinhas Frade

Novembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Apesar de este ser um trabalho de carácter individual, não poderia deixar de expressar aqui os meus agradecimentos às pessoas e instituições que me permitiram fechar desta forma este ciclo do meu percurso académico.

Ao professor, e também meu orientador, João Manuel Vinhas Frade, sendo que os meus agradecimentos não se estendem apenas ao apoio e disponibilidade prestados na elaboração deste trabalho, mas também por todos os conhecimentos que me transmitiu nas demais unidades curriculares por si leccionadas ao longo da licenciatura e do mestrado.

À minha família, pela compreensão, apoio incondicional e motivação que me transmitiram em especial nesta fase final do meu curso.

Por fim, deixo uma palavra de agradecimento ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, pelos conhecimentos técnicos e valores humanos que aí adquiri e que me permitem hoje ter orgulho em ser um “Iseliano”.

RESUMO

O principal objectivo deste trabalho foi determinar se o uso de instalações a caudal de água variável – doravante designado por CV – em sistemas de AVAC domésticos é sempre, independentemente da dimensão da mesma, uma mais-valia em termos de consumos anuais de energia eléctrica, de custos associados à aquisição e exploração do equipamento, quando comparado com um sistema convencional de caudal constante – doravante designado por CC.

Começou-se por estudar uma instalação de um apartamento T3, calculando as suas cargas térmicas, determinando o perfil de carga do sistema durante o ano, dimensionando a rede hidráulica, simulando os consumos anuais dos dois sistemas e por fim fazendo uma análise do retorno do investimento feito na solução a CV. O procedimento foi repetido até que, com o aumento do número de apartamentos T3, a resposta ao consumo das bombas circuladoras e ao retorno financeiro da instalação a CV fosse positiva, sendo que o número total de fogos T3 simulados foi de dez.

Conclui-se que em certas instalações a CV se obteve um consumo de energia eléctrica superior ao da instalação a CC, fruto da necessidade do uso de duas electrobombas circuladoras (uma no circuito primário e outra no secundário). Esta situação verificou-se nas instalações que comportam um número de fogos T3 igual a 4, sendo que apenas a partir de 5 fogos T3 é que os consumos anuais de uma instalação a CC são superiores aos registados com uma instalação a CV. Por outras palavras, pode concluir-se que a partir das 20 unidades ventiloconvector (com potências compreendidas entre os 0,8 kW e 2,0 kW, que correspondem, respectivamente, caudais de 137 l/h e 364 l/h) os sistemas a CV começam a ser mais vantajosos do ponto de vista energético.

No que ao retorno financeiro diz respeito, conclui-se que existe retorno, num espaço compreendido entre os 4 e os 9 anos, sempre que as instalações comportem um número de fogos superior a 6, ou seja, que contenham um número de unidades ventiloconvector instaladas superior a 24.

Palavras-chave: Caudal Constante, Caudal Variável, Válvulas de Duas Vias, Válvulas de Três Vias, Circuito Primário, Circuito Secundário, Síndrome de delta-T.

ABSTRACT

The main goal of this thesis was to determine if the variable flow water plant – henceforth designated as VF – in domestic HVAC systems is always, apart its dimension, a gain in terms of annual electricity consumptions, costs associated to the acquisition and annual exploration of the equipment, when compared with a conventional constant flow system – henceforth designated as CF.

The study has been started with a T3 apartment type, calculating the thermal loads, determining the annual system load profile, sizing the hydraulic system, simulating the annual consumptions of both systems and lastly making the analysis of payback made on the VF solution. The procedure was repeated until obtain a positive answer on the pump consumption and on the payback of the VF solution, considering the increase in the T3 apartment number. The total number of T3 apartments simulated was 10.

It's possible to conclude that in certain VF systems we will have an electrical consumption superior of those of CF systems due to the use of two pumps (one in the primary loop and other in the secondary loop). This situation has been verified in the systems that hold a number of 4 apartments T3 type, and that only from 5 apartments T3 type (using a CF system) we have annual consumptions superior to those verified in the VF systems. In other words, we can conclude that from 20 fan coil units (with ranging capacity between 0,8 kW and 2,0 kW, that matches, respectively, flows of 137 l/h and 364 l/h) the VF systems have larger benefit in terms of energy consumption.

Considering the payback on the investment, we can conclude that the payback is achieved in a period of time between 4 and 9 years, whenever the systems have a number of apartments above 6, and that means the systems have a number of 24 fan coil units installed or over.

Keywords: Constant Flow, Variable Flow, Two Way Valve, Three Way Valve, Primary Loop, Secondary Loop, Delta-T Syndrome.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....	x
SIGLAS E ACRÓNIMOS	xi
SIMBOLOGIA.....	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	6
2.1 Tipos de sistemas.....	6
2.1.1 Sistema de Caudal Constante	6
2.1.2 Sistema de Caudal Variável Primário/Secundário	8
2.1.3 Sistema de Caudal Variável no Circuito Primário Apenas	13
2.2 Características e funcionamento das bombas circuladoras.....	14
2.2.1 Bomba circuladora de velocidade constante	16
2.2.2 Bomba circuladora de velocidade variável	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4 METODOLOGIA	26
4.1 Caracterização dos fogos T3.....	29
4.2 Parâmetros Climatológicos.....	30
4.3 Perdas de carga	32
4.4 Caracterização das famílias consideradas.....	34

4.5	Horários	36
4.6	Perfil de carga anual dos sistemas	38
4.7	Generalidades	41
4.7.1	Temperatura de conforto interior	41
4.7.2	Características construtivas	41
4.7.3	Cargas térmicas de equipamentos eléctricos e iluminação	42
4.7.4	Renovações de ar.....	43
4.7.5	Fluxo solar.....	43
4.7.6	Temperatura da água nas baterias de arrefecimento e aquecimento.	44
4.7.7	Características das instalações	44
5	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	45
5.1	Cargas térmicas.....	45
5.2	Pontos de funcionamento das bombas circuladoras (caudal e perda de carga).....	47
5.3	Perfis de carga dos sistemas	50
5.4	Consumos energéticos anuais das bombas circuladoras.....	53
5.5	Análise comparativa dos custos de aquisição dos equipamentos	63
5.6	Análise do retorno do investimento.....	67
6	CONCLUSÕES.....	77
7	REFERÊNCIAS	79
8	ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Consumos anuais de energia eléctrica por região em anos anteriores e previsões até 2030 (TWh) [1]	2
Figura 1.2 – Comparação entre as antigas e as actuais classes de eficiência de motores eléctricos [2].....	3
Figura 2.1 – Sistema de Caudal Constante.....	7
Figura 2.2 – Sistema de Caudal Constante no Primário e Caudal Variável no Secundário.....	10
Figura 2.3 – Situação em que o caudal do primário é igual ao do secundário.....	11
Figura 2.4 – Caudal do secundário superior ao do primário.	12
Figura 2.5 – Caudal do primário superior ao do secundário.	13
Figura 2.6 – Sistema de caudal variável no circuito primário apenas.....	14
Figura 2.7 – Bomba de rotor imerso em corte. <i>Fonte: Lowara</i>	15
Figura 2.8 – Curva característica de uma instalação	15
Figura 2.9 – Intersecção da curva característica de uma instalação com a curva de funcionamento de uma bomba	16
Figura 2.10 – Curvas de funcionamento de bombas com respectivas curvas de rendimento. <i>Fonte: Grundfos</i>	17
Figura 2.11 – Ajuste da curva característica de uma instalação à curva de funcionamento de uma bomba	18
Figura 2.12 – Bomba de caudal variável a funcionar ao caudal máximo de projecto	19
Figura 2.13 – Bomba de caudal variável a funcionar a metade do caudal de projecto	19
Figura 3.1 – Curva de distribuição dos valores de carga do sistema [5].....	22
Figura 4.1 – Algoritmo usado para determinação do número de unidades ventiloconvector que corresponde a um consumo menor com uma instalação a CV.....	28
Figura 4.2 – Planta do R/C Esquerdo.....	29

Figura 4.3 – Distribuição dos dois tipos de famílias pelos respectivos andares	35
Figura 5.1 – Representação gráfica da evolução dos consumos de energia eléctrica em função do tipo de instalação e do aumento do número de fogos T3	63
Figura 5.2 – Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 1 fogo T3.....	68
Figura 5.3 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 2 fogos T3	69
Figura 5.4 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 3 fogos T3	70
Figura 5.5 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 4 fogos T3	71
Figura 5.6 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 5 fogos T3	72
Figura 5.7 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 6 fogos T3	73
Figura 5.8 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 7 fogos T3	74
Figura 5.9 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 8 fogos T3	74
Figura 5.10 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 9 fogos T3	75
Figura 5.11 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 10 fogos T3	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores de consumos anuais (kWh), para os diversos equipamentos, determinados pelos autores [6].....	23
Tabela 4.1 - Caracterização da área e pé direito das zonas alvo de climatização	30
Tabela 4.2 - Temperaturas máximas e mínimas de bolbo seco e húmido para os diferentes meses do ano	32
Tabela 4.3 - Exemplo do cálculo da perda de carga do troço de ida desde o <i>chiller</i> até ao R/C Esquerdo, na instalação a caudal constante de 2 fogos T3.....	33
Tabela 4.4 – Caracterização dos membros das famílias 1 e 2.....	34
Tabela 4.5 - Horários da ocupação.....	37
Tabela 4.6 - Horários da iluminação	37
Tabela 4.7 - Horários dos equipamentos eléctricos.....	37
Tabela 4.8 – Cargas térmicas registadas nos períodos de semana do mês de Julho, na instalação de 2 fogos T3.....	38
Tabela 4.9 – Contabilização do nº de horas, no período de semana do mês de Julho, em que a instalação de 2 fogos T3 se encontra a operar a uma determinada percentagem de carga	39
Tabela 4.10 - Cargas térmicas registadas nos períodos de fim-de-semana do mês de Julho, na instalação de 2 fogos T3.....	40
Tabela 4.11 - Contabilização do nº de horas, no período de fim-de-semana do mês de Julho, em que a instalação de 2 fogos T3 se encontra a operar a uma determinada percentagem de carga	40
Tabela 4.12 – Constituição da parede exterior	42
Tabela 4.13 – Cargas térmicas dos equipamentos eléctricos e iluminação por divisão.....	43
Tabela 5.1 - Exemplo das cargas térmicas associadas a dois fogos T3	45
Tabela 5.2 – Valores de potência térmica por m ² de área útil nas diferentes divisões	46
Tabela 5.3 – Resumo das cargas térmicas máximas registadas nos dez sistemas simulados ..	46

Tabela 5.4 - Pontos de funcionamento dos vários sistemas a caudal constante.....	47
Tabela 5.5 – Pontos de funcionamento dos vários sistemas a caudal variável	48
Tabela 5.6 - Valores de perdas de carga registados nos circuitos dos ventiloconvectores	49
Tabela 5.7 – Diagramas anuais de carga dos sistemas	50
Tabela 5.8 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de um fogo T3	54
Tabela 5.9 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de dois fogos T3	55
Tabela 5.10 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de três fogos T3	56
Tabela 5.11 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de quatro fogos T3	57
Tabela 5.12 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de cinco fogos T3	58
Tabela 5.13 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de seis fogos T3.....	59
Tabela 5.14 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de sete fogos T3	60
Tabela 5.15 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de oito fogos T3	60
Tabela 5.16 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de nove fogos T3.....	61
Tabela 5.17 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de dez fogos T3	61
Tabela 5.18 – Resumo dos consumos anuais de energia eléctrica dos dois sistemas	62
Tabela 5.19 – Diferenças ao nível dos equipamentos a instalar em cada uma das instalações.	64

Tabela 5.20 – Custos associados à aquisição dos equipamentos consoante o tipo de instalação	65
Tabela 5.21 – Custos relacionados apenas com a aquisição das bombas circuladoras	66
Tabela 5.22 – Preço da energia em cada ano	67
Tabela 5.23 – Resumo dos períodos de retorno ao investimento efectuado	76

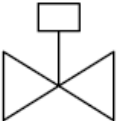
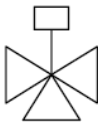
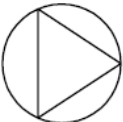

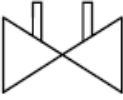

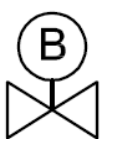
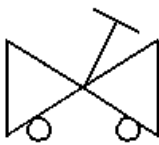
ÍNDICE DE EQUAÇÕES

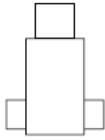
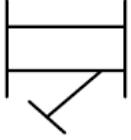
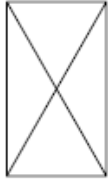
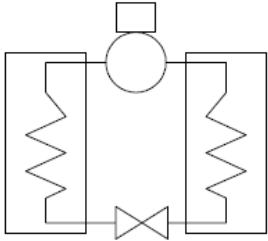
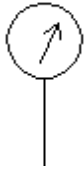
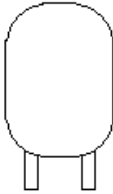
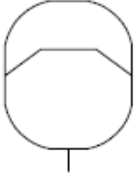
Equação 2.1	7
Equação 2.2	8
Equação 4.1	33
Equação 4.2	43

SIGLAS E ACRÓNIMOS

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
CC	Caudal Constante
CEMEP	<i>Comité Européen de Constructeurs de Machines Electriques et d'Electronique de Puissance</i>
CF	<i>Constant Flow</i>
CV	Caudal Variável
EDP	Energias de Portugal
HAP	<i>Hourly Analysis Program</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air-conditioning</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEC	<i>International Efficiency Class</i>
INE	Instituto Nacional de Estatística
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
n.a.	Não se aplica
n.d.	Não disponível
n.v.	Não se verifica
NPSH	<i>Net Positive Suction Head</i>
NUTS	<i>Nomenclature Commune des Unités Territoriales Statistiques</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PIB	Produto Interno Bruto
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
VF	<i>Variable Flow</i>
WEO	<i>World Energy Outlook</i>

SIMBOLOGIA

Símbolo	Equipamento
	Válvula de duas vias
	Válvula de três vias
	Electrobomba circuladora de velocidade constante
	Electrobomba circuladora de velocidade variável
	Válvula de equilíbrio dinâmico
	Válvula de seccionamento
	Válvula de <i>bypass</i>
	Válvula de equilíbrio estático

	<p>Desgasificador</p>
	<p>Filtro</p>
	<p>Ventiloconvector</p>
	<p><i>Chiller</i> bomba de calor</p>
	<p>Manómetro</p>
	<p>Volante Térmico</p>
	<p>Vaso de expansão</p>

1 INTRODUÇÃO

O aumento de consumo de energia eléctrica ao longo da história é uma realidade que se encontra patente nos registos, de ano para ano, sendo assim visível que em todo o mundo se consumiu mais energia eléctrica do que em anos anteriores. Muito se deve sobretudo às economias dos países emergentes que registam, em alguns casos, taxas de crescimento do PIB na ordem dos dois dígitos, potenciando dessa forma um despontar de novas indústrias, novos edifícios de carácter comercial ou de serviços e um consumo doméstico, também ele, cada vez mais desenfreado.

Tem existido um esforço reconhecido por parte de alguns governos e personalidades, para uma crescente persuasão relativa às atitudes que reflectem os consumos energéticos, apontando para um desenvolvimento sustentado.

Segundo as previsões da IEA, a realidade não será diferente nos próximos anos, apesar de todos os desenvolvimentos feitos e das tentativas de muitos países para mudarem a mentalidade das suas populações em relação ao consumo de energia eléctrica.

Cada vez existem mais consumidores a nível mundial e as projecções relativas ao consumo anual de energia eléctrica apontam para um aumento médio anual na ordem dos 2,7% no período de 2007 a 2015, abrandando para os 2,4% entre os anos de 2015 e 2030. Mais de 80% do aumento registado entre 2007 e 2030 dever-se-á aos países não pertencentes à OCDE. Nos países da OCDE as previsões apontam para um aumento, no consumo de energia eléctrica, de 0,7% de 2007 a 2015, que leva em conta o impacto da recente crise financeira e económica. O crescimento durante o período de 2015 a 2030 é um pouco mais elevado, situando-se a uma média de 1,1% por ano. No caso dos países não pertencentes à OCDE as taxas de crescimento registam valores superiores, mais concretamente um aumento de 5% ao ano entre 2007 e 2015, e entre 2015 e 2030 o aumento abrandará para 3,3% ao ano [1]. Na figura 1.1 encontra-se bem patente o que está exposto neste parágrafo.

	1980	2000	2007	2015	2030	2007-2030*
Países da OCDE	4 740	8 253	9 245	9 792	11 596	1.0%
América do Norte	2 386	4 144	4 530	4 773	5 679	1.0%
<i>E.U.A.</i>	2 026	3 500	3 826	3 986	4 676	0.9%
Europa	1 709	2 696	3 062	3 222	3 855	1.0%
Pacífico	645	1 413	1 653	1 797	2 062	1.0%
<i>Japão</i>	513	944	1 009	1 057	1 178	0.7%
Países não OCDE	2 059	4 390	7 183	10 589	17 334	3.9%
Europa de L./Eurasia	1 101	1 023	1 189	1 354	1 805	1.8%
<i>Rússia</i>	<i>n.d.</i>	609	701	813	1 066	1.8%
Ásia	477	2 023	4 108	6 777	11 696	4.7%
<i>China</i>	259	1 081	2 717	4 723	7 513	4.5%
<i>Índia</i>	90	369	544	892	1 966	5.7%
<i>ANSEA</i>	55	321	497	701	1 383	4.5%
Médio Oriente	75	371	575	790	1 382	3.9%
África	158	346	505	662	1 012	3.1%
América Latina	248	627	806	1 006	1 438	2.6%
<i>Brasil</i>	119	319	395	492	654	2.2%
MUNDO	6 799	12 642	16 429	20 381	28 930	2.5%
<i>União Europeia</i>	<i>n.d.</i>	2 520	2 840	2 973	3 485	0.9%

Figura 1.1 – Consumos anuais de energia eléctrica por região em anos anteriores e previsões até 2030 (TWh) [1]

No entanto, onde uns vêem as questões ambientais como um problema, outros vêem uma oportunidade de desenvolvimento de novas áreas de negócio, como por exemplo os fabricantes de equipamentos eléctricos. Também eles já há muito que apostam em equipamentos mais eficientes, fazendo disso uma das suas “bandeiras” na divulgação dos produtos.

Os fabricantes de electrobombas não são excepção; hoje as áreas de investigação centram-se nas questões da eficiência dos equipamentos, não tanto ao nível dos melhoramentos dos rendimentos hidráulicos, mas sim ao nível do aperfeiçoamento dos motores eléctricos, que com o advento das tecnologias electrónicas têm sofrido constantes melhoramentos, melhoramentos esses que elevaram os padrões de exigência dos níveis de eficiência dos motores eléctricos.

Os padrões de eficiência energética em motores eléctricos foram de tal forma alterados que as classes de eficiência determinadas em 1998 pelo CEMEP, onde por ordem crescente existiam

3 níveis de classes de eficiência, Eff 3, Eff 2 e Eff 1, foram actualmente substituídas pelas novas normas *International Efficiency Class* (IEC): neste caso o número de classes de eficiência continua a ser igual a três, por ordem crescente tem-se então, IE1, IE2 e IE3; a particularidade destas novas classes de eficiência é que a classe de eficiência intermédia (IE2) equivale, actualmente, à antiga classe Eff 1, como se encontra demonstrado na Figura 1.2 [2].

Quer isto dizer que um equipamento que era anteriormente classificado com a classe de eficiência EFF1, é hoje em dia equiparado a um equipamento de classe de eficiência intermédia (IE2).

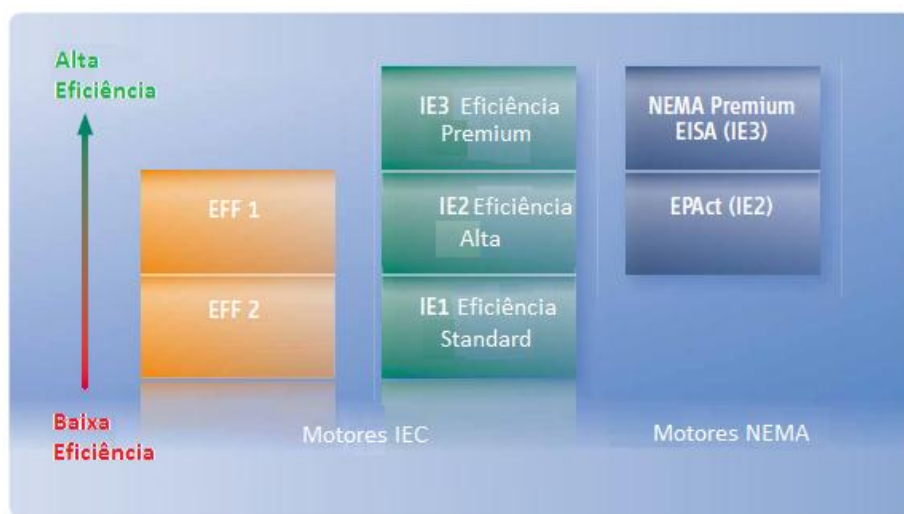


Figura 1.2 – Comparação entre as antigas e as actuais classes de eficiência de motores eléctricos [2]

Segundo uma publicação do *U.S. Department of Energy*, estima-se que as electrobombas sejam responsáveis, em todo o mundo, por cerca de 20% de toda a energia eléctrica consumida por motores eléctricos [3].

Com a crescente preocupação mundial em torno da eficiência energética, o mercado dos sistemas de AVAC também ele hoje apresenta soluções associadas a sistemas mais eficientes. Neste aspecto os fabricantes de bombas hidráulicas e *chillers* tiveram uma forte responsabilidade, tendo investido bastante na procura de tornar os seus equipamentos mais eficientes.

Durante a década de 50, a indústria de AVAC reconheceu a necessidade de diminuir os consumos associados às electrobombas circuladoras e permitir que os sistemas respondessem de forma adequada às variações que ocorrem nas cargas térmicas. Em teoria, uma das formas de satisfazer tais necessidades seria possível variando o caudal de água no *chiller*. No entanto, a tecnologia da altura presente nos *chillers*, não permitia que os mesmos operassem a caudal variável nos evaporadores pois originaria grandes instabilidades na sua operação. Em 1954, Gil Carlson da empresa *Bell & Gossett* introduz aquilo que mais tarde se viria a conhecer por sistema de caudal variável primário/secundário, permitindo assim desta forma obter uma diminuição nos consumos associados às electrobombas [4].

O recurso a bombas com variadores de velocidade é, hoje em dia, uma solução bem conhecida de todos, e encontra-se completamente aceite pelo mercado.

Muitos estudos e demonstrações têm sido feitos em torno deste tema, não só pelos próprios fabricantes de bombas hidráulicas, mas também por académicos. O que este estudo pretende demonstrar é a aplicabilidade desses sistemas em instalações de carácter doméstico, onde as necessidades de caudais são bem inferiores às que se podem encontrar em instalações hoteleiras, comerciais, edifícios de escritórios, etc.

À partida algumas questões então colocadas serão passíveis de ficarem esclarecidas no final deste trabalho, a saber:

1. Será possível uma instalação doméstica a CC ser uma solução mais vantajosa do ponto de vista energético, quando comparada com uma solução a CV?
2. Em caso afirmativo, a partir de que número de unidades interiores ventiloconvector, a solução a CV passa a ser a mais vantajosa do ponto de vista energético?
3. Qual o perfil de carga anual típico de uma instalação doméstica?
4. Qual a percentagem de carga em que um sistema opera mais horas por ano?
5. No que difere, em termos de custos de aquisição de equipamentos, a solução a CV da de CC?
6. Qual o tempo necessário para o retorno ao investimento efectuado numa instalação a CV?

Como tal, em três partes distintas se encontra dividido este trabalho.

Uma primeira parte de pesquisa e recolha de elementos em documentos tais como o RCCTE; cartas climatológicas da cidade de Lisboa; artigos científicos sobre a especialidade; opiniões dos fabricantes de electrobombas; publicações sobre a constituição dos materiais de construção a serem considerados no trabalho, etc. Esta primeira fase permitiu tomar conhecimento e avaliar os parâmetros em que o trabalho iria assentar. Procedeu-se a uma pesquisa bibliográfica sobre o estado da arte das matérias abordadas no trabalho, permitindo dessa forma avaliar que estudos foram feitos sobre esta matéria até ao momento, possibilitando também alargar horizontes no que diz respeito às tarefas futuras que o trabalho comportaria.

A segunda fase comportou a introdução de dados no programa HAP e respectivas simulações de cargas térmicas dos diferentes espaços em estudo; dimensionamento dos equipamentos a serem instalados nas diferentes instalações em estudo, como por exemplo, *chillers*, ventiloconvectores, bombas circuladoras, válvulas, etc; simulação do consumo anual de energia eléctrica para os dois tipos de instalação; avaliação do diferencial de custo de aquisição de equipamentos para os dois tipos de instalações em estudo e avaliação do retorno do investimento efectuado.

Por último, na terceira fase, com a análise dos resultados obtidos na fase anterior, tiraram-se as conclusões finais e respondeu-se às questões iniciais que este trabalho colocava.

2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 Tipos de sistemas

Será apresentado neste capítulo o funcionamento teórico de três tipos de sistemas utilizados em instalações de AVAC do tipo expansão indirecta a água. Existem três formas possíveis de conceber uma instalação de AVAC, são elas, Sistema de Caudal Constante, Sistema de Caudal Variável Primário/Secundário e por último o Sistema de Caudal Variável no Circuito Primário apenas (sendo que este último não será objecto de estudo no presente trabalho).

2.1.1 Sistema de Caudal Constante

O sistema de caudal constante é o sistema mais simples no que diz respeito a sistemas do tipo expansão indirecta a água. Uma bomba circuladora, instalada na linha de retorno do *chiller*, destina-se a fazer circular a água pelo mesmo, a qual é depois distribuída pelas unidades ventiloconvector da instalação. Um sistema de válvulas de três vias é instalado em cada ventiloconvector, e estas têm como função permitir efectuar um *bypass* quando a unidade ventiloconvector se encontra inactiva. Este caudal de *bypass* contribui para que o caudal total de retorno ao *chiller* permaneça constante.

O retorno, neste caso, é feito através de um esquema chamado de retorno invertido, que funciona do seguinte modo: o retorno da primeira unidade antes de ir para o ramal principal de retorno, irá juntar-se ao retorno da segunda unidade, para depois se juntarem ao retorno da unidade seguinte, procedendo-se sempre desta forma até que se atinja a última unidade e daí o retorno de todas as unidades segue pelo ramal principal de retorno até à entrada no *chiller*.

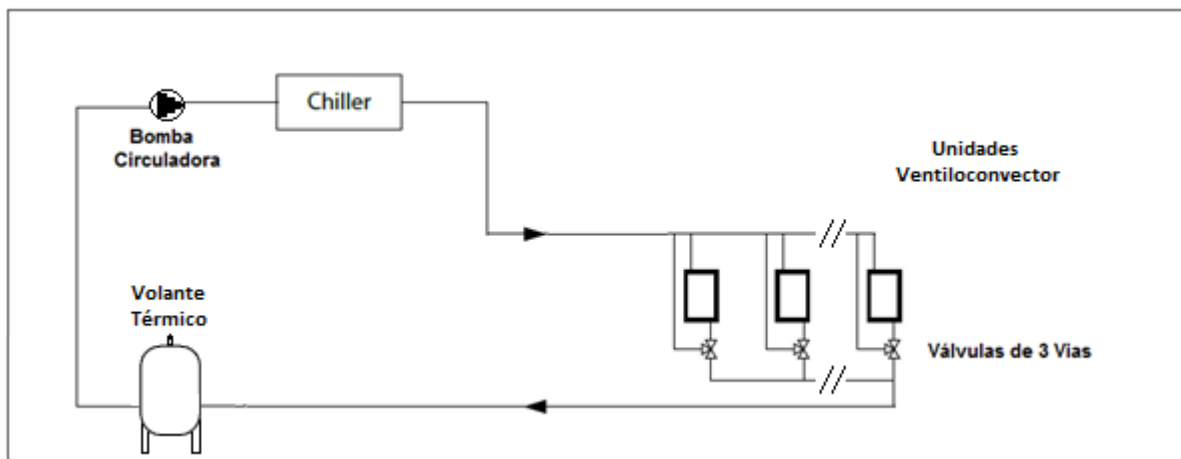


Figura 2.1 – Sistema de Caudal Constante

Se tivermos em consideração que a capacidade térmica de um *chiller* é proporcional ao produto do caudal pelo calor específico a pressão constante e pela diferença de temperaturas entre a ida e o retorno, assim sendo tem-se que:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times c_p \times \Delta T$$

Equação 2.1.

Em sistemas de caudal constante o valor de caudal é estabelecido para a situação de carga térmica mais adversa, ou seja, quando esta regista o seu maior valor. O valor de ΔT varia consoante as cargas térmicas também variam.

Em aplicações de AVAC, a situação em que o sistema se encontra a operar na sua carga térmica máxima, estabelecida pelas condições de projecto, apenas ocorre durante uma pequena percentagem de todas as horas em que o sistema opera anualmente, o que significa que em uma elevada percentagem das horas de funcionamento destes sistemas existe sempre água a passar através dos sistemas de *bypass* instalados em cada ventiloinvector. Elevadas quantidades de água provenientes das linhas de *bypass* irão ter um ponto de mistura com a água proveniente do ventiloinvector; ao misturar estas duas massas de água com diferentes caudais e diferentes temperaturas, obtém-se como resultado uma temperatura da água de retorno, inferior à temperatura de retorno estipulada em projecto na estação de arrefecimento, e na estação de aquecimento o valor será superior ao valor de projecto. Este fenómeno é denominado de “Síndrome de delta-T”, também conhecido por *Delta-T syndrome*, na literatura de língua inglesa.

2.1.1.1 O impacto de Síndrome de delta-T

A questão do síndrome de delta-T pode ser encarada como um problema sério nos sistemas de caudal constante, mais especificamente no que diz respeito à real capacidade do *chiller*. Vejamos o exemplo de uma instalação em que a temperatura de ida toma o valor de 7°C, enquanto que a temperatura de retorno toma o valor de 10°C, se for considerado como condição de projecto um ΔT igual a 5°C, ter-se-á uma temperatura na ida de 7°C e 12°C na temperatura de retorno. Considerando a equação:

$$CHC (\%) = \frac{TR_{real} - TI_{real}}{TR_{projecto} - TI_{projecto}} \times 100$$

Equação 2.2

Onde:

- CHC (%): capacidade do *chiller*
- TR_{real} : temperatura de retorno real (°C)
- TI_{real} : temperatura de ida real (°C)
- $TR_{projecto}$: temperatura de retorno de projecto (°C)
- $TI_{projecto}$: temperatura de ida de projecto (°C)

Para este caso ficamos com o seguinte:

$$CHC (\%) = \frac{10 - 7}{12 - 7} \times 100 = 60\%$$

Quer isto dizer que para estes valores de temperatura o *chiller* se encontrará a trabalhar apenas a 60% da sua capacidade.

2.1.2 Sistema de Caudal Variável Primário/Secundário

Um sistema a caudal variável do tipo primário/secundário, é dividido em dois circuitos distintos que se encontram fisicamente divididos por um terceiro circuito: o circuito *bypass*. Esta instalação é caracterizada por permitir que a água flua em regime de caudal constante ao longo do circuito primário, onde se encontra o *chiller*; já do lado do circuito secundário, que serve as unidades ventiloconvector, obtém-se assim, um sistema que é capaz de variar o seu

caudal em função das diferentes solicitações. A variação de caudal é realizada variando também a velocidade de rotação das bombas, variação essa que é feita recorrendo a um controlador que analisa os sinais enviados por um transdutor diferencial de pressão.

1. O circuito primário é responsável pela produção de água arrefecida e os seus principais componentes são o *chiller* e uma bomba circuladora. As bombas do primário são bombas de caudal constante, que são dimensionadas para o caudal máximo de projecto, sendo de potência inferior às bombas do secundário, uma vez que as mesmas apenas têm que vencer as perdas de carga associadas ao *chiller*, válvulas, tubagem e demais acessórios do circuito primário.
2. O circuito secundário é responsável pela distribuição de água pelas unidades ventiloconvector. Entre os principais componentes deste circuito encontram-se a bomba circuladora, os ventiloconvectores e as válvulas de duas vias. As bombas circuladoras do secundário serão do tipo caudal variável, e estarão dimensionadas por forma a operarem entre ao caudal máximo de projecto e o caudal mínimo requerido na situação de menor solicitação do sistema. Neste circuito, em cada unidade ventiloconvector, encontram-se instaladas válvulas de duas vias. Em alturas de menor carga térmica, as válvulas de duas vias irão fechar completamente, resultando desta forma um aumento de pressão no circuito secundário. O transdutor diferencial de pressão mede estas variações de pressão diferencial e envia para a bomba um sinal de 4 a 20 mA. A bomba ao fazer a leitura deste sinal irá, através do seu módulo electrónico, variar a frequência da energia eléctrica transmitida ao motor eléctrico e este por sua vez irá variar a sua velocidade de rotação.
3. O circuito *bypass* consiste em dois tês que são tipicamente instalados entre as aspirações das bombas do primário e do secundário, que por sua vez serão ligados por um troço de tubagem. Este circuito é responsável pela separação física entre o circuito primário e o secundário. Um circuito *bypass* bem dimensionado, terá uma importância vital para o bom funcionamento de todo o sistema, permitindo que as duas bombas operem de forma independente.

Uma das particularidades deste tipo de instalação, é o facto de permitir a circulação de caudais diferentes nos dois circuitos bem como diferentes valores de ΔT .

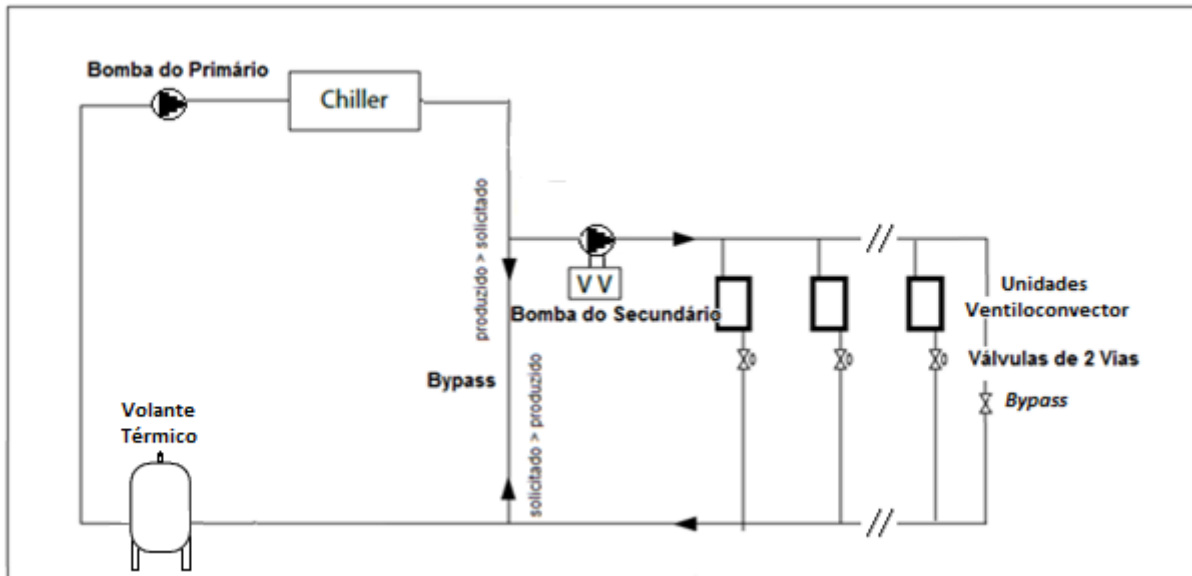


Figura 2.2 – Sistema de Caudal Constante no Primário e Caudal Variável no Secundário

Pelas mesmas razões apresentadas no sistema de caudal constante, aqui também o sistema irá estar sujeito ao síndrome de delta-T, uma vez que o *chiller* continua a ser de caudal constante. Este problema só será mesmo possível de resolver recorrendo a um sistema em que o caudal seja variável em toda a instalação, incluindo no *chiller*; este sistema é explicado no capítulo 2.1.3.

2.1.2.1 Circuito *bypass*

O período de tempo em que um sistema irá operar no seu pico máximo é extremamente pequeno quando comparado com as horas de funcionamento anual em que o sistema irá operar a uma determinada percentagem do valor máximo. Portanto, os caudais dos circuitos primário e secundário nunca serão exactamente equilibrados, pelo que haverá sempre algum caudal a circular no circuito *bypass*. Três possíveis cenários poderão ocorrer, a saber:

1. O caudal no primário ser igual ao do secundário.
2. O caudal no secundário ser superior ao do primário.
3. O caudal no primário ser superior ao do secundário.

Caudal no primário igual ao do secundário

Apenas em certas ocasiões este cenário irá ocorrer: ele ocorrerá quando a carga térmica solicitada nas unidades ventiloconvector for igual à carga térmica produzida pelo *chiller*, e assim a temperatura de retorno ao *chiller* é tal que o mesmo se encontra a trabalhar na sua capacidade máxima. A instalação encontra-se termicamente equilibrada e não existe passagem de qualquer caudal através do *bypass*.

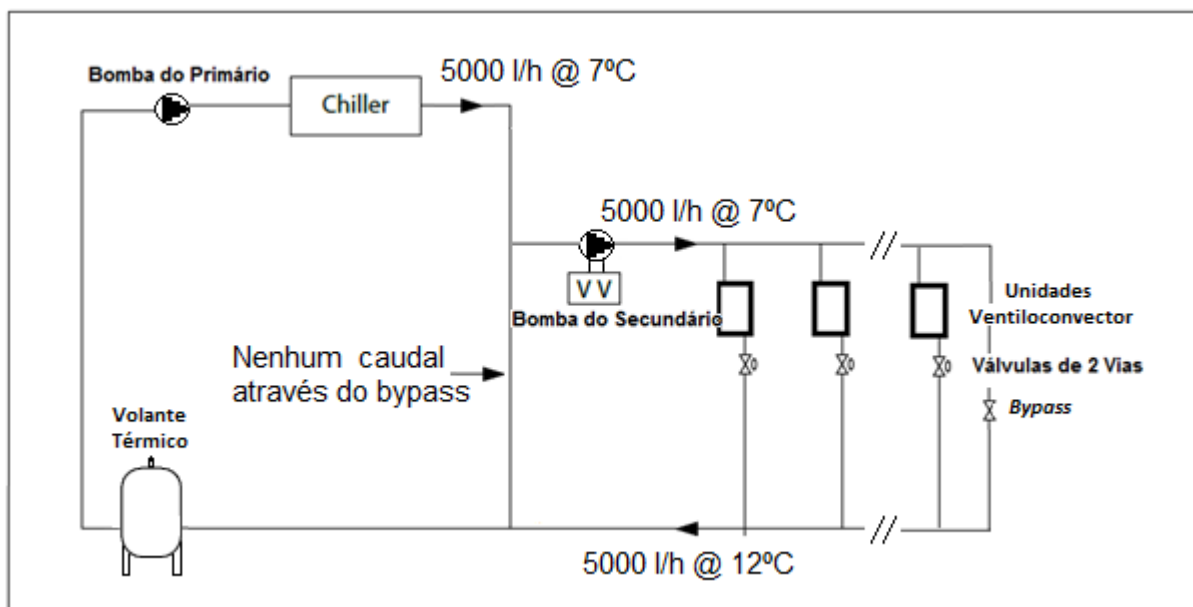


Figura 2.3 – Situação em que o caudal do primário é igual ao do secundário.

Caudal no secundário superior ao do primário

Continuando o raciocínio do exemplo anterior, imagine-se agora que existe um aumento brusco, do lado das unidades ventiloconvector, de carga térmica solicitada, tendo como resposta a abertura de todas as válvulas de duas vias, aumento esse que obriga a que o caudal total seja superior ao produzido do lado do circuito primário, de tal forma que o caudal requerido passa para 5500 l/h. O *chiller* continuará a produzir o mesmo caudal, ou seja, os 5000 l/h, e o excesso de caudal, 500 l/h, deverá ser assegurado pelas bombas do secundário,

sendo que no retorno existirá um caudal de 500 l/h a uma temperatura de 12°C que irá entrar no *bypass* e obtém-se um ponto de mistura entre essa massa de água e a água que provém do primário, os 5000 l/h a uma temperatura de 7 °C; como resultado tem-se um caudal de 5500 l/h a uma temperatura de 7,5°C. Este fenómeno ocorre pois a potência total instalada é superior à potência da central.

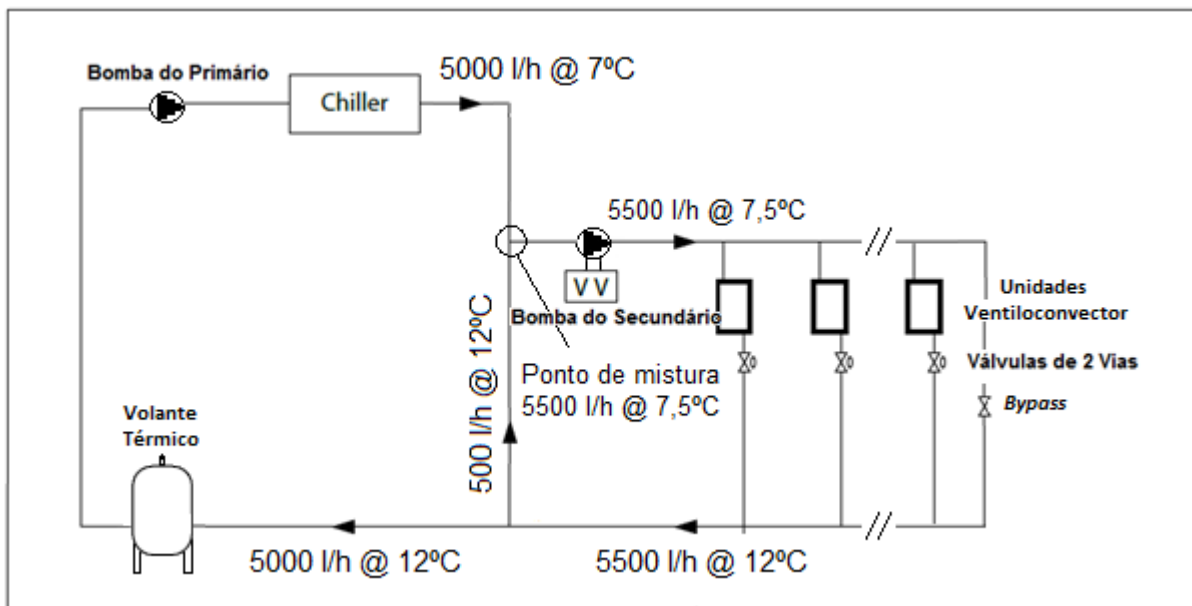


Figura 2.4 – Caudal do secundário superior ao do primário.

Caudal no primário superior ao do secundário

Este cenário ocorre quando a potência térmica solicitada do lado do secundário é inferior à potência térmica produzida pela central. Caso o caudal requerido do lado do secundário tome o valor de 3000 l/h, com o primário a produzir 5000 l/h, a diferença entre estes dois caudais, ou seja, 2000 l/h, irá fluir pelo circuito *bypass*, vindo a misturar-se com o caudal de retorno das unidades ventiladoconvetor (3000 l/h). Obtém-se como resultado desta mistura um caudal de 5000 l/h a uma temperatura de 9,6°C.

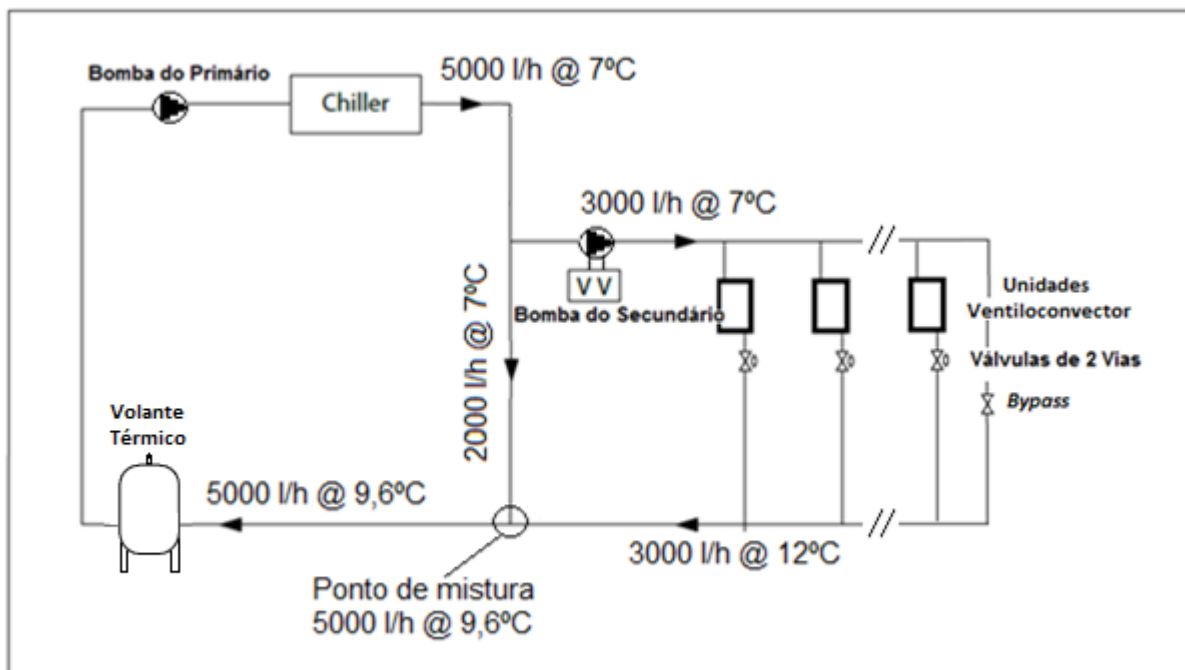


Figura 2.5 – Caudal do primário superior ao do secundário.

2.1.3 Sistema de Caudal Variável no Circuito Primário Apenas

Como foi referido anteriormente, este tipo de instalação não irá ser objecto de estudo no decurso deste trabalho. A justificação para tal prende-se com o facto deste tipo de instalação não ser possível actualmente implementar em pequenas instalações como as que são objecto de análise no presente trabalho, uma vez que a tecnologia de *chillers* a caudal variável, apesar de já ser uma realidade, não se aplica a pequenas instalações domésticas como as que são objecto de estudo no presente trabalho. No entanto, dada a importância que os demais autores atribuem a este tipo de sistema, apresenta-se uma breve explicação do seu funcionamento.

Com este sistema existe uma variação de caudal em toda a instalação, incluindo no *chiller*. As bombas do secundário são eliminadas, passando a ter apenas uma bomba de caudal variável instalada na aspiração do *chiller*; esta bomba terá de ter capacidade de bombear o caudal máximo de projecto e vencer a maior perda de carga de toda a instalação.

A linha de *bypass* utilizada neste tipo de instalação não deverá ser confundida com o *bypass* utilizado na instalação de caudal variável primário/secundário; neste caso o *bypass* é uma

tubagem de diâmetro reduzido, que apenas terá de garantir o caudal mínimo ao longo do *chiller* de maior dimensão (caso a instalação tenha mais que um *chiller* instalados em paralelo).

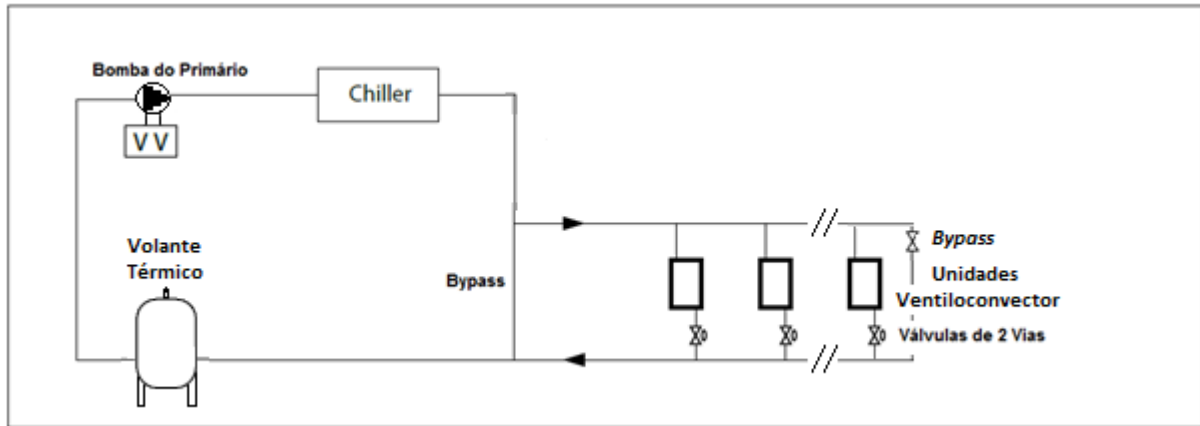


Figura 2.6 – Sistema de caudal variável no circuito primário apenas

2.2 Características e funcionamento das bombas circuladoras

Uma vez que o âmbito do trabalho incide no estudo de instalações domésticas, a escolha dos modelos de bombas recaiu sobre bombas de rotor imerso.

Numa bomba de “rotor imerso”, ou também denominadas por bombas de “estator encamisado”, o líquido bombeado circula no interior do revestimento do rotor, arrefecendo o motor e lubrificando os casquilhos. Este tipo de bombas é largamente utilizado em sistemas domésticos, pois trata-se de bombas de construção simples, estanques e com preço de aquisição relativamente baixo, quando comparadas com bombas de rotor seco.

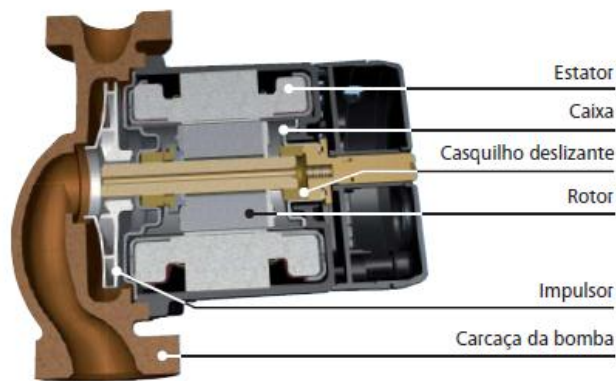


Figura 2.7 – Bomba de rotor imerso em corte. Fonte: Lowara

Uma curva característica de uma instalação (ver Figura 2.8) será uma curva que traduz, para cada caudal, a altura de elevação necessária para essa instalação. Será em cada ponto a soma da altura geométrica (no caso dos circuitos fechados se considera igual a zero) com todas as perdas de carga no sistema para esse caudal.

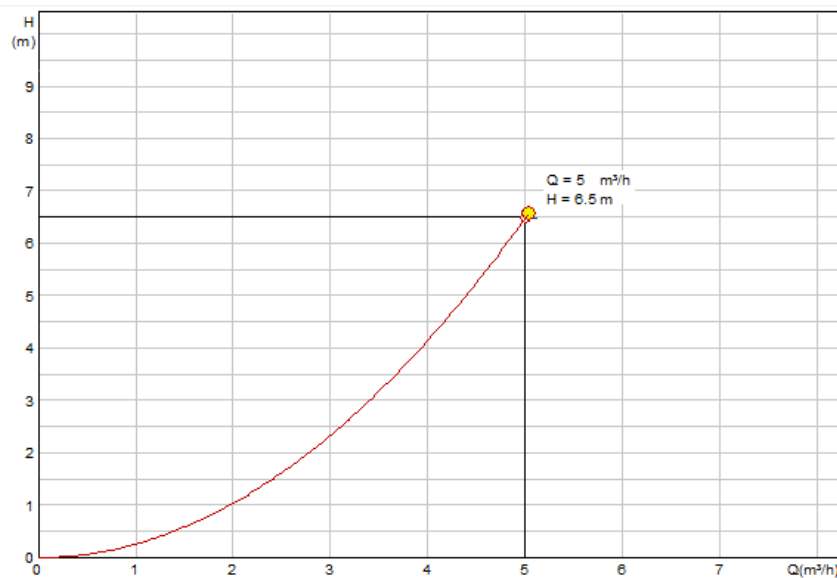


Figura 2.8 – Curva característica de uma instalação

O ponto em que a curva de funcionamento de uma bomba e a curva característica de um sistema se intersectam chama-se de ponto de funcionamento, ver Figura 2.9.

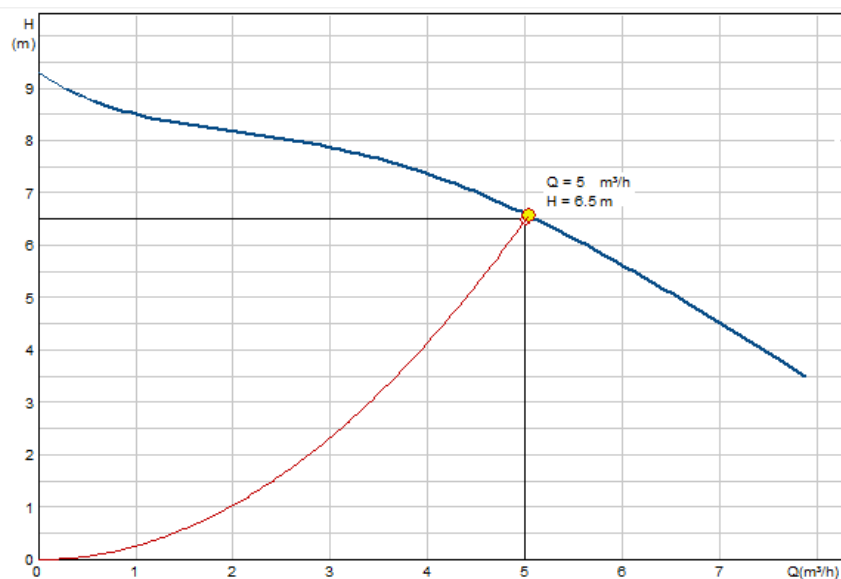


Figura 2.9 – Intersecção da curva característica de uma instalação com a curva de funcionamento de uma bomba

2.2.1 Bomba circuladora de velocidade constante

O ideal seria que existisse sempre uma bomba, cuja curva se intersecta com o ponto de funcionamento determinado nas condições de projecto, no entanto, a probabilidade de tal acontecer é muito reduzida.

Durante o processo de selecção de uma bomba circuladora, terá que se escolher uma electrobomba cuja curva se aproxime o mais possível do ponto de funcionamento por nós calculado, para evitar que a mesma fique a “trabalhar fora de curva”.

Ao mesmo tempo, no processo de selecção da electrobomba, terá que se ter o cuidado de enquadrar o ponto de funcionamento na zona de maior rendimento e com valores de NPSH baixos, evitando a cavitação da electrobomba. Na Figura 2.10 apresenta-se o exemplo de duas curvas de funcionamento com as respectivas curvas de rendimento representadas pela linha a tracejado e a curva NPSH.

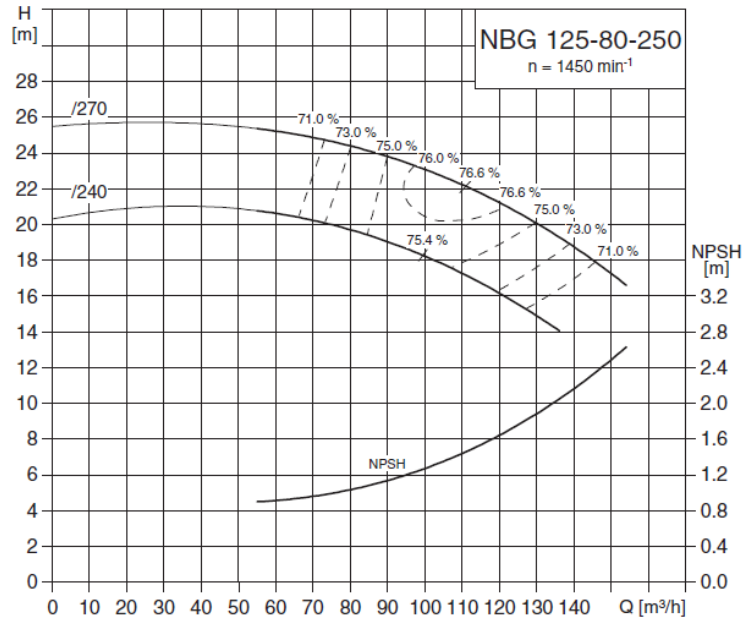


Figura 2.10 – Curvas de funcionamento de bombas com respectivas curvas de rendimento.
Fonte: Grundfos

Na Figura 2.11, tem-se a curva característica de um sistema, cujo caudal e altura manométrica tomam os valores de 5 m³/h e 6,5 m.c.a. respectivamente. Neste caso, na impossibilidade de adquirir uma bomba no mercado que satisfaça exactamente esse ponto de funcionamento, terá que se recorrer a uma bomba que seja a mais adequada para tal. O que irá acontecer na prática, é que a curva característica do sistema se irá ajustar à curva de funcionamento da bomba e o ponto de funcionamento real será ligeiramente diferente do ponto de funcionamento teórico.

Neste caso, a bomba iria debitar 5,67 m³/h a uma altura manométrica de 8,37 m.c.a e iria estar a consumir 350 W de potência eléctrica à rede.

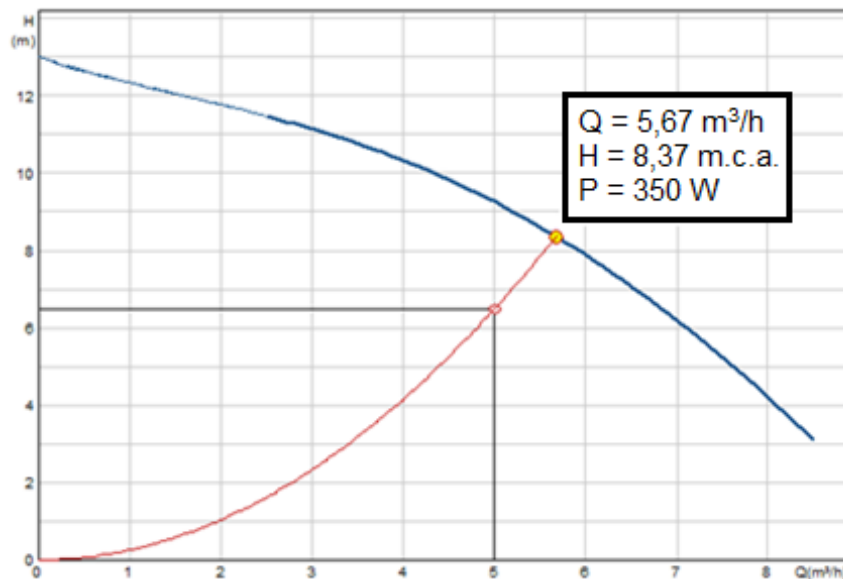


Figura 2.11 – Ajuste da curva característica de uma instalação à curva de funcionamento de uma bomba

2.2.2 Bomba circuladora de velocidade variável

Numa bomba de caudal variável, no momento em que a mesma é instalada, esta ter-se-á que configurar para trabalhar a pressão constante. Quer isto dizer que sabendo o ponto de funcionamento da instalação (caudal e perda de carga máxima), configura-se a bomba para um valor de pressão igual ao valor de perda de carga máxima designado no projecto.

A bomba, durante o seu funcionamento, irá manter a sua pressão constante, independentemente da necessidade do consumo de água requerido.

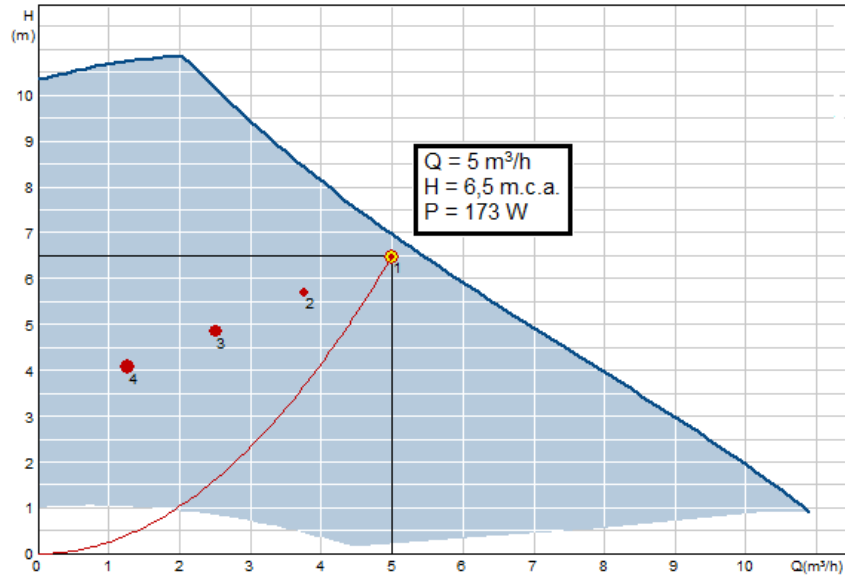


Figura 2.12 – Bomba de caudal variável a funcionar ao caudal máximo de projecto

Quando o caudal máximo de projecto é solicitado, para este exemplo foi considerado um caudal de 5 m³/h, a bomba aumenta a sua velocidade de rotação até atingir esse caudal (ver Figura 2.12).

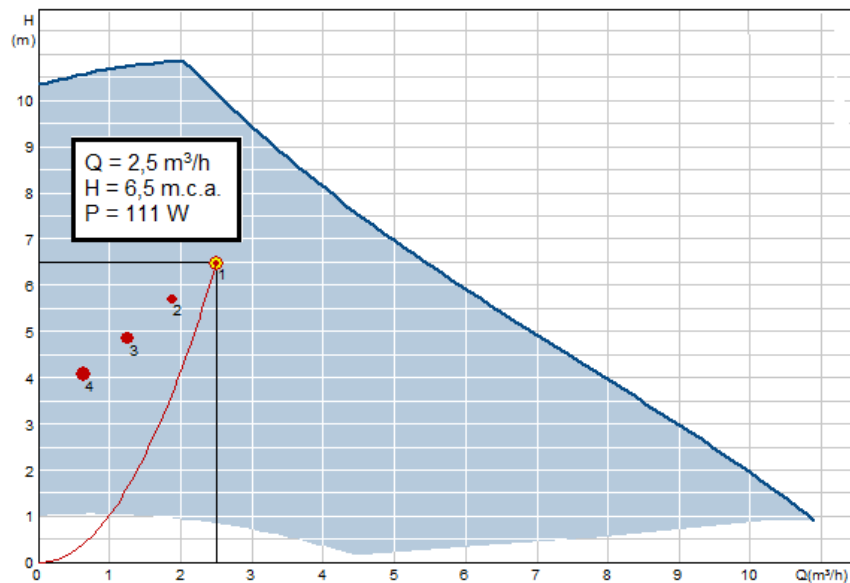


Figura 2.13 – Bomba de caudal variável a funcionar a metade do caudal de projecto

Como se verifica na figura anterior, a bomba ajustou o seu caudal, neste caso para um caudal igual a metade do caudal de projecto, ou seja $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$, mantendo-se a debitar uma altura manométrica de $6,5 \text{ m.c.a}$, encontrando-se neste ponto a consumir uma potência de 111 W , inferior aos 173 W verificados quando a bomba se encontra a debitar $5 \text{ m}^3/\text{h}$. É precisamente esta a maior vantagem deste tipo de bombas, consumir uma potência eléctrica menor do que a que consome quando se encontra a debitar o seu caudal máximo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Muitos estudos têm sido efectuados acerca desta temática do caudal variável, e todos eles são unânimes no que diz respeito às vantagens no recurso a uma instalação a caudal variável em detrimento de uma instalação a caudal constante.

No entanto, todos os trabalhos consultados referem-se a instalações de dimensões muito superiores às consideradas neste trabalho. As potências térmicas envolvidas levam a que os caudais em questão sejam muito elevados, quando comparados com os utilizados ao longo do trabalho. Como se verificou com este trabalho, conclui-se que em sistemas domésticos, onde os caudais em presença são menores, a resposta dos sistemas é diferente do ponto de vista dos consumos energéticos.

Alguns autores, conscientes da poupança que é conseguida com recurso a uma instalação a caudal variável em detrimento de uma instalação a caudal constante, remetem os seus estudos unicamente para a comparação entre dois tipos de instalação a caudal variável, a solução com recurso à instalação denominada de *Sistema de Caudal Variável do tipo Primário/Secundário* ou o *Sistema de Caudal Variável Primário Apenas* (os seus princípios de funcionamento foram demonstrados anteriormente nos capítulos 2.1.2 e 2.1.3). Portanto, o estado de arte dos académicos e da indústria de AVAC centra-se hoje na demonstração das vantagens associadas aos sistemas de caudal variável com circuito primário apenas.

Baldwin [5], efectuou uma comparação entre os dois tipos de sistemas. Tendo o estudo em causa demonstrado os enormes benefícios associados a uma instalação de caudal variável, fazendo questão de referir na introdução do seu trabalho “Hoje em dia, poupanças substanciais podem ser alcançadas convertendo um sistema de caudal constante para um de caudal variável. De facto, sistemas de caudal constante utilizam mais do dobro da energia que os sistemas de caudal variável”.

O autor, sem explorar o efeito em pequenas instalações domésticas, é sensível ao ponto de referir que “Esta conversão é mais adequada a grandes instalações, onde dois ou mais *chillers* são utilizados”.

“Os Sistemas de AVAC são projectados para as condições máximas de projecto. As cargas máximas de projecto apenas ocorrem 2% do tempo total, o que significa que em 98% do restante tempo o sistema se encontra sobredimensionado. A fim de igualar o caudal de água à carga térmica solicitada, é necessário variar o caudal de água bombeado de forma proporcional à carga térmica”.

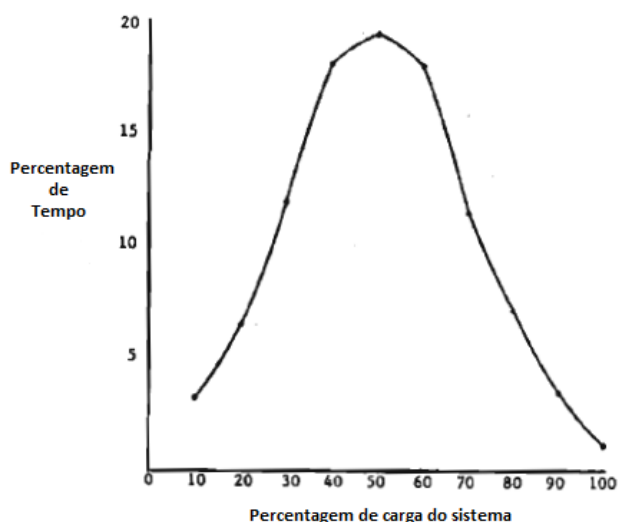


Figura 3.1 – Curva de distribuição dos valores de carga do sistema [5]

A instalação a caudal constante em causa, contempla dois *chillers*, cada um com uma capacidade de 1,76 MW, o que perfaz um total de 3,52 MW e duas electrobombas que debitam, cada uma, um caudal de 273 m³/h e uma perda de carga igual a 52 m.c.a. Nestas condições as electrobombas apresentam um consumo anual igual a 612.000 kWh.

Na instalação a caudal variável, as electrobombas do circuito primário terão de vencer uma perda de carga igual a 9 m.c.a., as electrobombas do secundário terão de vencer uma perda de carga igual a 43 m.c.a. O consumo total anual, das electrobombas, foi de 219.520 kWh.

O Autor termina o seu estudo referindo que “Claramente, um sistema de caudal variável oferece uma poupança muito significativa”, e ainda refere que “O exemplo usado no trabalho, que é tipicamente o de muitas instalações de água gelada, resulta numa poupança de 64 % no que diz respeito aos consumos das electrobombas”.

Bahnfleth *et al.* [6] efectuaram uma comparação entre três tipos de instalação: caudal constante, apenas circuito primário; caudal variável primário/secundário e por último o sistema caudal variável, apenas circuito primário. Os autores estudaram ainda a influência do uso de dois *chillers* instalados em paralelo, ao invés do uso de apenas um.

O estudo incidiu sobre um edifício de escritórios na cidade de Nova Iorque, sendo a capacidade total da instalação igual a 1,76 MW, a que corresponde um caudal de 273 m³/h.

Concluíram que o sistema caudal constante primário apenas é aquele que consome mais energia eléctrica; o sistema caudal variável primário/secundário, consome menos energia que o sistema anterior; por último, o sistema caudal variável primário apenas é o que obtém melhores resultados. Concluíram ainda que a aposta na instalação com dois *chillers* origina uma poupança anual nos consumos totais das três instalações. Praticamente todos os equipamentos registaram um menor consumo anual, com excepção das bombas da instalação caudal variável primário apenas, essas, registaram um aumento de consumo de 34.512 kWh para os 36.864 kWh.

Tabela 3.1 – Valores de consumos anuais (kWh), para os diversos equipamentos, determinados pelos autores [6]

Configuração do Chiller	Caudal constante primário apenas		Caudal constante primário/caudal variável secundário		Caudal variável primário apenas	
	Um	Dois	Um	Dois	Um	Dois
Chiller	450,625	426,057	450,625	426,057	450,625	425,951
Bomba primário	169,607	108,017	62,420	39,629	34,512	36,864
Bomba secundário	N/A	N/A	22,092	22,092	N/A	N/A
Torre-arrefecimento	120,080	77,837	120,080	77,837	120,080	77,389
Bomba condensador	125,370	80,010	125,370	80,010	125,370	79,699
TOTAL	865,682	691,921	780,587	645,625	730,587	619,903
Percentagem bombas	20	16	11	10	5	6

A Tabela 3.1 apresenta o resumo dos valores de consumos dos diferentes equipamentos considerados em cada tipo de instalação. É fácil perceber que são as electrobombas as grandes responsáveis pela variação de consumos das diferentes instalações.

Bahnfleth *et al.* [7] comparam, uma vez mais simulando uma grande instalação de AVAC, os três tipos de instalação e a influência do uso de mais do que um *chiller* instalados em paralelo. Neste estudo, os autores afirmam que “uma instalação de caudal variável do tipo primário apenas, permite uma redução no consumo anual total de uma instalação cerca de 3 a 8%, e uma redução de 4 a 8% no que a custos de instalação diz respeito, quando comparada com uma instalação de caudal variável do tipo primário/secundário”. Se se tiver em conta apenas o consumo anual das electrobombas, e não de toda a instalação, “O sistema de caudal variável primário apenas, tem um consumo, associado às bombas circuladoras, 25 a 50% menor, que no caso da instalação a caudal variável primário/secundário”. Referem ainda que “Em sistemas onde se encontram dois ou mais *chillers* instalados em paralelo, obtém-se uma poupança nos consumos anuais dos *chillers* superiores as 13%”, no entanto, o estudo revela que o uso de mais do que um *chiller* em instalações de CV primário apenas resulta num maior consumo por parte das bombas. No fundo, confirmaram uma vez mais os resultados que tinham obtido no trabalho anterior [6].

O estado da arte dos sistemas de AVAC de expansão indirecta a água, centra-se hoje, claramente, no estudo do potencial e vantagens das instalações do tipo caudal variável com circuito primário apenas. Se os autores, nos trabalhos anteriormente referidos [5, 6 e 7], ainda referem as instalações a caudal constante, muitos autores apenas comparam os dois tipos de instalações a caudal variável, pondo, logo à partida, as instalações de caudal constante fora do âmbito dos trabalhos.

Taylor [8], na sua publicação, demonstra as vantagens e desvantagens associadas às instalações de caudal variável do tipo apenas circuito primário.

Aponta como principais vantagens o seguinte:

- Consumo anual de energia inferior. Este tipo de sistema apresenta uma grande vantagem sobre um sistema de caudal variável primário/secundário, que acaba sempre

por ter nas bombas do primário um consumo constante, independente da carga do sistema.

- Custos de aquisição e instalação inferiores. Isto deve-se à eliminação das bombas do secundário, às quais estão também associados acessórios de ligação à tubagem, cabelagem, quadros eléctricos de controlo e protecção, apoios antivibráticos, etc. A economia associada a estes acessórios é ligeiramente compensada pelo maior custo das bombas de um sistema primário apenas.
- Menor espaço das instalações requerido, mais uma vez devido eliminação das bombas do secundário. Isto poderá resultar numa redução de custos substancial, dependendo do *layout* da instalação e constrangimentos de espaço.

As desvantagens apresentadas são:

- Complexidade e possibilidade de falha da válvula de *bypass*.
- Complexidade e possíveis falhas associadas aos estágios dos *chillers*.

Nonnenmann [4], para além das vantagens, relativas ao sistema caudal variável primário apenas, que Taylor [8] enumerou no seu trabalho, refere ainda o facto de este tipo de sistemas eliminar os problemas relativos ao Síndrome de delta-T. O autor efectua a comparação entre dois sistemas de caudal variável – aqui já não é feita qualquer referência a uma instalação de caudal constante – um do tipo primário/secundário e outro apenas primário. A instalação em causa apresenta uma potência térmica de 21,1 MW a que corresponde um caudal de 2044 m³/h. Simulando os consumos totais anuais das duas instalações chegou ao valor de 15,038x10⁶ kWh, no caso da instalação primário/secundário, e 14,411x10⁶ kWh para a instalação apenas primário. Neste caso, a aposta num sistema de caudal variável apenas primário resultaria numa poupança anual de 626,5x10³ kWh, que corresponde a uma poupança de 4,2 %.

4 METODOLOGIA

No presente capítulo apresenta-se uma descrição da metodologia seguida e quais as simplificações e critérios que foram adoptados no decorrer do trabalho. Tentou-se arranjar um modelo que se aproxima o mais possível das condições reais a que as habitações, em Lisboa, se encontram sujeitas.

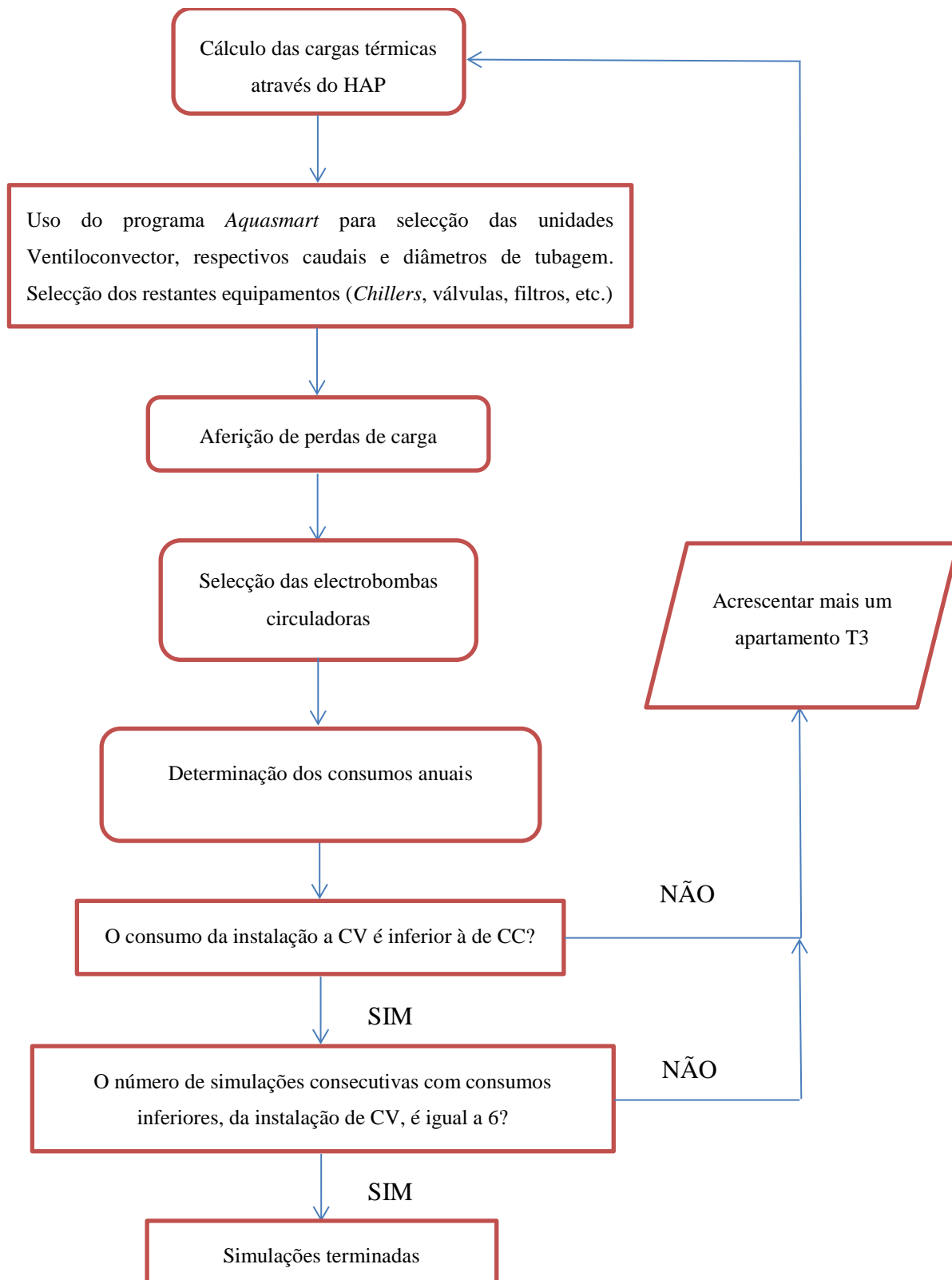
Apresenta-se a descrição das actividades adoptadas de forma sequencial e que permitiram ir construindo, passo a passo, o presente trabalho.

1. Começou-se por tipificar as divisões do apartamento T3, atribuindo áreas, identificando materiais de constituição das paredes exteriores e janelas, cargas térmicas provenientes da iluminação e equipamento eléctrico, número de ocupantes de cada espaço e por último os horários de utilização e ocupação.
2. Cálculo dos parâmetros climatológicos da cidade de Lisboa.
3. Introdução dos dados no programa *Hourly Analysis Program 4.50*, da *Carrier*.
4. Obtenção das cargas térmicas para as situações de arrefecimento e aquecimento nos espaços sujeitos a climatização.
5. Recorrendo ao programa *Aquasmart* determinaram-se os modelos de ventiloconvector a serem instalados nas diferentes divisões e por sua vez os caudais necessários para os mesmos; obtiveram-se também os diâmetros das respectivas tubagens.
6. Seleccionaram-se todos os outros equipamentos e acessórios necessários para o correcto funcionamento das instalações a caudal constante e a caudal variável, nomeadamente, *chillers* bomba de calor, válvulas de 2 e 3 vias, válvulas de seccionamento, filtros, desgasificadores etc.
7. Aferiu-se o valor de perda de carga dos circuitos mais desfavoráveis.
8. Com os valores de caudais e perda de carga definidos, procedeu-se à selecção dos modelos de electrobombas.
9. Com base nos resultados obtidos, no HAP, dos diferentes valores de cargas térmicas ao longo do ano e nos diferentes períodos considerados, obteve-se um perfil anual de carga do sistema de AVAC, onde é calculado o número de horas em que o sistema se encontra a operar a uma determinada carga.

10. Considerando o anterior perfil de carga do sistema simulou-se o consumo anual de energia eléctrica, por parte das bombas, para os dois tipos de instalação.
11. Determinou-se o custo dos equipamentos para os dois tipos de instalação.
12. Fez-se uma análise do retorno de investimento.
13. Compararam-se os resultados dos passos 10, 11 e 12 e tiraram-se as respectivas conclusões.
14. Repetição dos passos 4 a 13, simulando sempre a instalação com mais um fogo, do tipo T3, que a instalação anterior, até chegar a um número de fogos em que se começasse a registar que iria compensar, nessa situação, a utilização de uma instalação a caudal variável, em detrimentos de uma instalação a caudal constante.

Na figura seguinte, é apresentado o algoritmo que permitiu determinar o número de unidades ventiloconvector, a partir das quais os consumos das instalações do tipo CV são menores do que com uma instalação a CC.

Figura 4.1 – Algoritmo usado para determinação do número de unidades ventiloconvector que corresponde a um consumo menor com uma instalação a CV



4.1 Caracterização dos fogos T3

A tipologia de fogo utilizada no trabalho foi o T3. Segundo dados de 2010, emitidos pelo INE, reproduzidos no documento *Estatísticas da Construção e Habitação 2010* [9], os fogos do tipo T3 representam 41,6% do total de fogos licenciados em construções novas para habitação familiar, por NUTS III (Nomenclatura Comum das Unidades Territoriais Estatísticas) na zona de Grande Lisboa, sendo que o tipo de fogo imediatamente mais representado é o T2 com 31,8%. Após análise destes dados estatísticos decidiu-se escolher a tipologia T3.

Com este trabalho pretendia-se compreender a evolução do consumo de energia eléctrica, associado às bombas circuladoras, dos dois tipos de instalação em estudo; recorrendo a um aumento progressivo das capacidades da instalação, decidiu-se que se iria acrescentar sempre mais um fogo T3 em relação ao estudo anteriormente feito.

Na Figura 4.2 encontra-se a disposição considerada para todos os apartamentos T3, neste caso do R/C esquerdo, em Anexo I encontra-se a planta do piso R/C, que é idêntica para os restantes pisos. Em cada piso existem dois fogos, um que ocupa a fracção do lado esquerdo e outro que ocupa a fracção do lado direito do edifício.

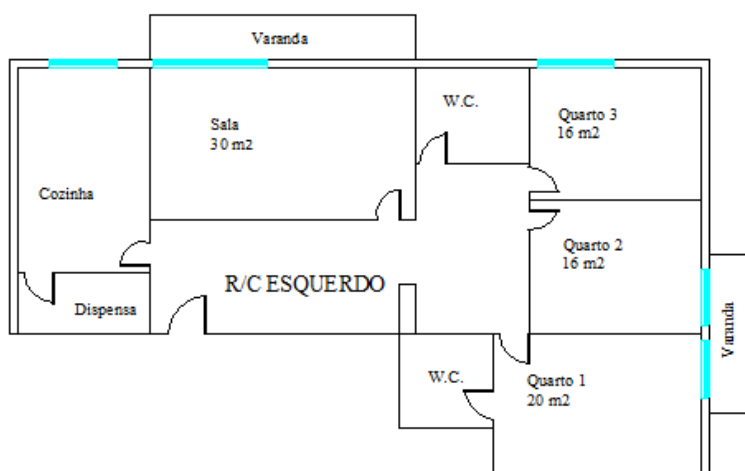


Figura 4.2 – Planta do R/C Esquerdo

Os espaços alvos de climatização serão os quartos e a sala. Considerou-se que um dos quartos, o de maior área, seria de casal (denominado por Quarto 1), os outros dois seriam ocupados por uma pessoa apenas (denominados por Quarto 2 e Quarto 3). O apartamento contempla uma varanda que abrange toda a área da sala e uma outra varanda, de menor dimensão que a primeira, que abrange o Quarto 1 e 2. O Quarto 3 não é abrangido por qualquer uma das varandas, contemplando apenas uma janela.

Tabela 4.1 - Caracterização da área e pé direito das zonas alvo de climatização

Apartamento T3		
Divisão	Área m ²	Pé direito m
Sala	30	2,7
Quarto 1	20	2,7
Quarto 2	16	2,7
Quarto 3	16	2,7

4.2 Parâmetros Climatológicos

Para determinação das potências térmicas de projecto bem como da simulação de consumo ao longo dos doze meses do ano foi necessário carregar o programa HAP 4.50 com os valores das temperaturas máximas e mínimas. Com base nas publicações normais climatológicas e quantis da estação meteorológica da Faculdade de Ciências de Lisboa determinaram-se esses valores.

O RCCTE considera que, a cidade de Lisboa se encontra na zona climática de Inverno II e na zona climática de Verão V2. O RCCTE determina ainda que, para Lisboa, a estação de aquecimento tem uma duração de 5,3 meses, para efeitos de simulação no HAP 4.50 determinaram-se 5 meses pertencentes à estação de aquecimento, a saber, Janeiro, Fevereiro, Março, Novembro e Dezembro, os restantes meses do ano foram considerados como pertencendo à estação de arrefecimento [10].

As temperaturas de bolbo seco máximas e mínimas de projecto foram determinadas com base nas probabilidades acumuladas de ocorrência. No caso dos meses que pertencem à estação de

arrefecimento para valor de temperatura máxima escolheu-se um valor tal que a probabilidade de ocorrência de uma temperatura igual ou inferior seja de 97,5%, significando isto que a probabilidade da temperatura do ar ser superior à temperatura máxima de projecto é de 2,5%, é no mês de Agosto que se regista o maior valor de temperatura. No que diz respeito aos meses da estação de aquecimento para valor da temperatura mínima de projecto escolheu-se um valor tal que a probabilidade de ocorrência de uma temperatura com valor igual ou superior à temperatura escolhida de projecto seja de 97,5%, significando isto que a probabilidade da temperatura do ar ser inferior à temperatura escolhida é de 2,5%, sendo que foi no mês de Janeiro que se registou o valor mais baixo.

Na estação de arrefecimento as temperaturas de bolbo seco mínimas calcularam-se subtraindo a amplitude térmica ao valor de temperatura de bolbo seco máxima. Na estação de aquecimento, a temperatura máxima de bolbo seco determinou-se somando a amplitude térmica ao valor de temperatura de bolbo seco mínima.

As amplitudes térmicas de cada mês calcularam-se recorrendo à carta das normais climatológicas, fazendo a diferença entre o valor de temperatura média máxima e temperatura média mínima em cada mês.

A determinação das temperaturas máximas e mínimas de bolbo húmido foram obtidas marcando numa carta psicométrica, para cada situação, o valor da temperatura de bolbo seco e a humidade relativa, sendo que se recorreu também a carta das normais climatológicas para determinação dos valores de humidade relativa máxima e mínima.

De seguida mostra-se o valor das temperaturas de projecto consideradas bem como as temperaturas consideradas para simulação nos restantes meses do ano.

Condições exteriores de projecto:

- Estação de arrefecimento: temperatura de bolbo seco de 35,5°C a uma humidade relativa de 27%.
- Estação de aquecimento: temperatura de bolbo seco de 3°C a uma humidade relativa de 86%.

Tabela 4.2 - Temperaturas máximas e mínimas de bolbo seco e húmido para os diferentes meses do ano

Mês	Temperaturas de bolbo seco		Amplitude térmica	Humidade relativa		Temperaturas de bolbo húmido	
	°C			%		°C	
	Máx.	Mín.		Mín.	Máx.	Máx.	Mín.
Janeiro	9,2	3	6,2	72	86	6,8	2,1
Fevereiro	10	3,2	6,8	67	82	7,1	2
Março	13,1	5,5	7,6	63	79	9,5	4
Abril	26,3	17,9	8,4	33	45	15,8	11,3
Maiο	31,2	22,2	9	27	40	18	14
Junho	33	23,5	9,5	30	45	20	15,8
Julho	35,1	24,6	10,5	28	46	21	16,8
Agosto	35,5	25	10,5	27	45	21	17
Setembro	34	24,4	9,6	30	49	20,7	17,2
Outubro	29,6	21,5	8,1	36	52	18,8	15,2
Novembro	13,1	6,2	6,9	67	81	9,9	4,8
Dezembro	9,4	3,3	6,1	72	85	7	2,3

4.3 Perdas de carga

Sendo necessário aferir o valor de perda de carga que o circulador terá capacidade de vencer, foi necessário determinar qual o circuito mais desfavorável na situação de carga máxima do sistema, que por consequência é também a situação de caudal máximo na tubagem.

Para a determinação do valor de perda de carga nas tubagens impôs-se uma velocidade padrão em toda a rede de 1 m/s. Através do programa *Aquasmart*, da *Carrier*, simulou-se, para as diferentes instalações estudadas, a rede de distribuição do *chiller* aos diferentes ventiloconvectores, distribuídos pelas diferentes divisões; com os valores de caudal obtidos pelo programa foi-se ajustando o diâmetro das tubagens de cobre dos diferentes ramais da rede até que todos tivessem um valor de velocidade de aproximadamente 1 m/s, obtendo como resultado um valor de perda de carga por cada metro de tubagem.

Para perdas de carga localizadas (h_L), ou seja, as perdas que ocorrem devido a acessórios como curvas, tês, válvulas, filtros, etc. optou-se pela determinação desses valores através do método dos K. O valor é obtido através da equação 4.1:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g}$$

Equação 4.1

Onde:

- h_L : perda de carga localizada (m)
- K: constante (adimensional)
- V: velocidade do fluido (m/s)
- g: aceleração da gravidade (m/s^2)

No caso dos *chillers* e ventiloconvectores, os valores foram determinados recorrendo a catálogos de fabricantes, adoptando os valores de acordo com as normas EUROVENT LCP/A/AC¹.

Tabela 4.3 - Exemplo do cálculo da perda de carga do troço de ida desde o *chiller* até ao R/C Esquerdo, na instalação a caudal constante de 2 fogos T3

Diâmetro da tubagem mm	Caudal l/h	Velocidade m/s	Comprimento da tubagem m	Perda de carga unitária kPa/m	Perda de carga só tubagem		Perda de carga dos acessórios		Perda de carga Total	
					kPa	m.c.a.	kPa	m.c.a.	kPa	m.c.a.
1º troço de ida (Chiller ao R/C Esq)										
25	1598	1,07	5	0,67	3,35	0,34	3,06	0,31	6,41	0,65

Na Tabela 4.3 encontra-se o exemplo de cálculo da perda de carga de um troço, neste caso trata-se de um troço da instalação a caudal constante de 2 fogos T3, troço esse que se encontra compreendido entre o *chiller* e a entrada no R/C Esquerdo. O procedimento é sempre o de identificar, através do *Aquasmart*, o valor de perda de carga unitária da tubagem, e sabendo o comprimento da mesma, determinar a perda de carga da tubagem. Sabendo os acessórios que esse mesmo troço contempla, determina-se, para cada um, o valor da sua perda de carga localizada. Com estes dois valores de perda de carga determinados procede-se à soma dos dois e obtém-se o valor total da perda de carga desse mesmo troço.

¹ No modo de aquecimento: temperatura da água à entrada/temperatura da água à saída de 40°C/45°C, temperatura exterior 7°C bolbo seco/ 6°C bolbo húmido.

No modo de arrefecimento: temperatura da água à entrada/temperatura da água à saída de 12°/7°C, temperatura exterior de bolbo seco 35°C.

4.4 Caracterização das famílias consideradas

Foram definidos dois tipos de família, no presente estudo. Caracterizou-se uma família em que, durante o período de semana, todos os seus quatro elementos se encontram ausentes da habitação durante um período da manhã e da tarde; a esta família atribuiu-se a denominação de *Família do tipo 1*. A outra família caracteriza-se por ter dois, dos quatro elementos, que se encontram grande parte do período de semana ocupando diversas fracções do apartamento, esta foi denominada de *Família do tipo 2*.

Poder-se-á considerar que, no caso da família do tipo 1, todos os elementos se encontram em idade activa e deslocam-se durante a semana para as suas actividades profissionais ou académicas, sendo que, no caso da família do tipo 2, existem dois elementos que, um por razão da idade e outro por razões do foro pessoal, se encontram grande parte do tempo semanal no apartamento.

A diferenciação destes dois tipos de família teve como intenção obter uma maior variedade no que diz respeito às cargas térmicas verificadas nas diferentes horas do dia, em especial, durante a semana, uma vez que as pessoas consideradas activas e os filhos se encontraram a trabalhar ou a estudar durante o dia, logo encontram-se ausentes das respectivas habitações.

Tabela 4.4 – Caracterização dos membros das famílias 1 e 2

		Nº ocupantes	Ocupação
Família Tipo 1	Quarto 1	2	Casal com dois membros activos
	Quarto 2	1	1 filho com idade superior a 18 anos
	Quarto 3	1	1 filho com idade inferior a 18 anos
	Sala	4	Todos os 4 membros acima referidos
Família Tipo 2	Quarto 1	2	Casal em que apenas um se considera activo
	Quarto 2	1	1 filho com idade superior a 18 anos
	Quarto 3	1	1 pessoa idosa
	Sala	4	Todos os 4 membros acima referidos

Procedeu-se a uma distribuição dos dois tipos de família pelos diferentes apartamentos, no primeiro piso R/C, a fracção do lado esquerdo é ocupada pela família do tipo 1, já a fracção do lado direito é ocupada pela família do tipo 2, quando passamos para o andar seguinte, o 1º andar, existe uma troca no que diz respeito ao tipo de família que ocupa cada uma das fracções, esta metodologia foi seguida sempre que se aumentava o número de apartamentos. Pretendeu-se com esta distribuição obter uma diversidade na utilização das unidades ventiloconvector, algo que não aconteceria se fosse considerada sempre o mesmo tipo de família sempre no mesmo lado do edifício.

4º Andar	
Esq	Dir
Família Tipo 1	Família Tipo 2
3º Andar	
Esq	Dir
Família Tipo 2	Família Tipo 1
2º Andar	
Esq	Dir
Família Tipo 1	Família Tipo 2
1º Andar	
Esq	Dir
Família Tipo 2	Família Tipo 1
R/C	
Esq	Dir
Família Tipo 1	Família Tipo 2

Figura 4.3 – Distribuição dos dois tipos de famílias pelos respectivos andares

4.5 Horários

Por forma a avaliar os valores de carga térmica a que os diferentes espaços estão sujeitos a diferentes horas do dia e em diferentes alturas do ano, foram considerados os diferentes horários que se exemplificam nas seguintes tabelas. Três variáveis se encontram sujeitas a horários, a saber:

- Ocupação dos espaços
- Iluminação dos espaços
- Utilização dos equipamentos eléctricos

Com os horários de projecto obtiveram-se os valores de carga térmica e conseqüente valor de caudal que permitiu a posterior selecção de equipamentos.

Com os horários de semana, fim-de-semana e feriados pretendeu-se simular o comportamento dos ocupantes das diferentes divisões, a fim de simular para cada hora dos doze meses do ano as cargas térmicas a que as divisões se encontravam sujeitas, construindo, com base nesses resultados, um perfil de carga da instalação, explicado com mais detalhe no capítulo 4.6.

Considerou-se ainda o mês de Agosto como um mês típico de férias. Cada família tipo, de forma alternada, neste mês, irá encontrar-se uma semana (8 dias) fora da residência, sendo que durante este período o sistema desse apartamento se considera completamente desligado; nos restantes dias do mês a família irá encontrar-se na habitação, sendo que se consideraram para esse mesmo período os horários de *Fim-de-semana e feriados*.

A título de exemplo, na página seguinte, são apresentados os horários correspondentes à sala da família do tipo 1. Os restantes horários, devido à sua extensão, foram remetidos para o Anexo VII.

Os horários considerados tiveram como base os horários considerados no trabalho [\[11\]](#).

Tabela 4.5 - Horários da ocupação

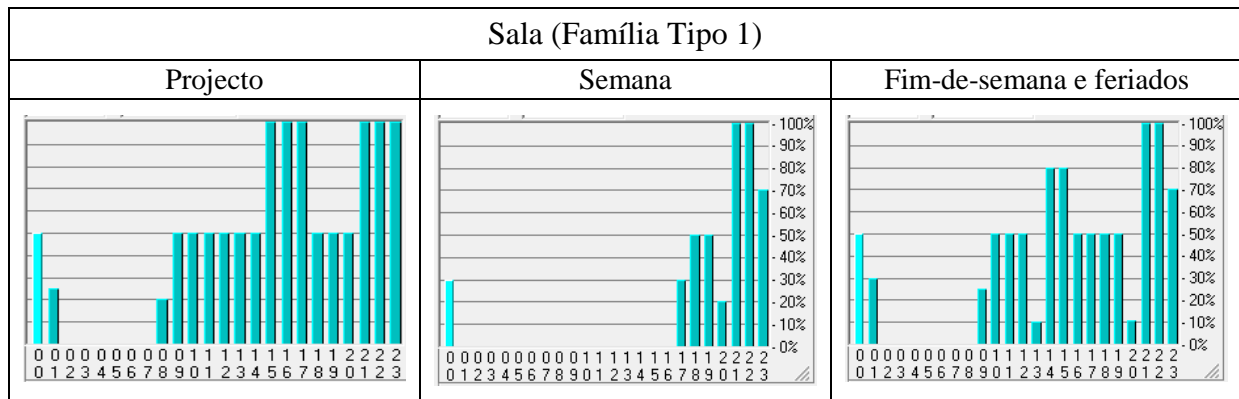


Tabela 4.6 - Horários da iluminação

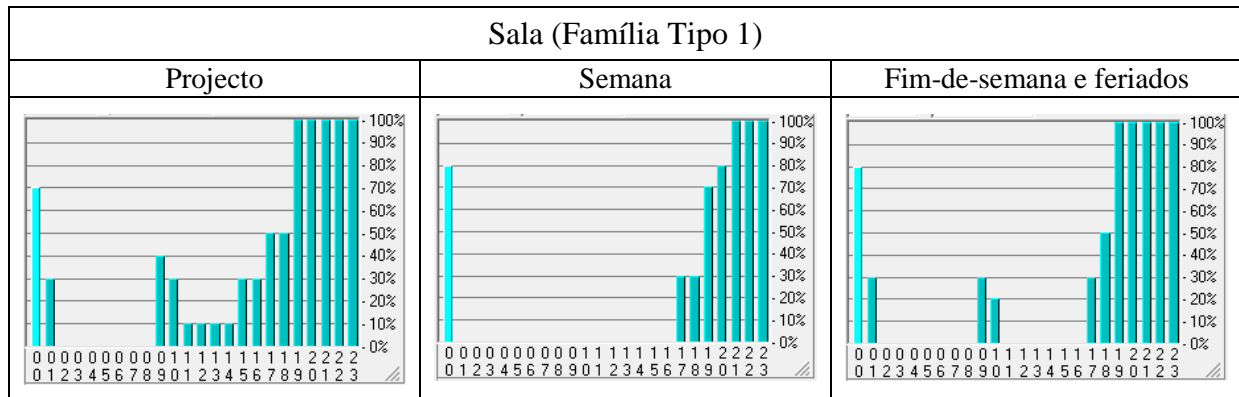
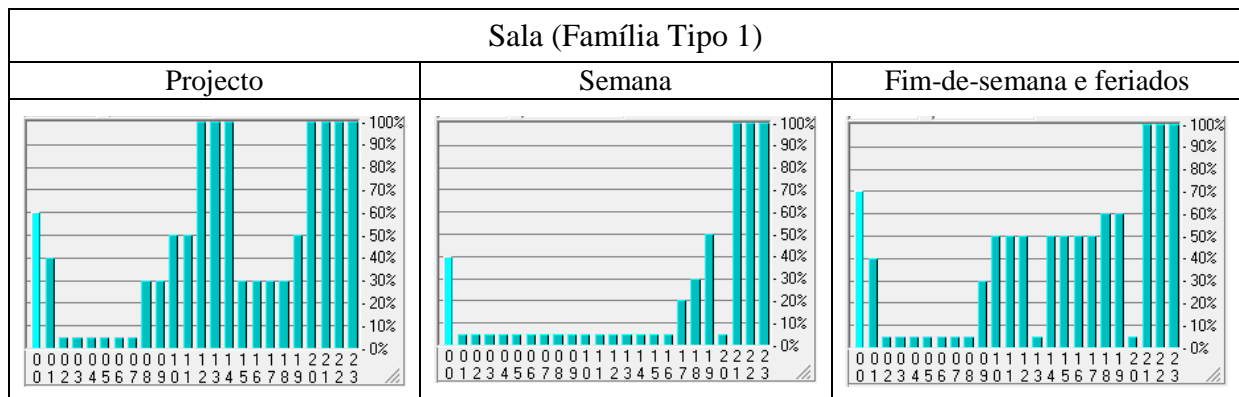


Tabela 4.7 - Horários dos equipamentos eléctricos



4.6 Perfil de carga anual dos sistemas

A determinação dos perfis de carga anuais dos sistemas em estudo é fundamental para o cálculo dos consumos energéticos das electrobombas circuladoras. Este perfil dirá quantas horas o sistema esteve a operar a uma determinada percentagem de carga do sistema. Por outras palavras, tem-se uma ideia das horas que o sistema trabalhou a um determinado caudal de água [4 e 5].

O processo passa por retirar os dados das potências térmicas registadas nas 24 horas do dia de cada mês, tendo por base os horários de semana e de fim-de-semana e ainda os do período de férias. A potência térmica máxima de projecto serve como valor de referência.

Na impossibilidade de mostrar todos os cálculos efectuados para todos os meses do ano, para os diferentes horários considerados e para os dez sistemas calculados, apresenta-se um exemplo referente à instalação no caso de dois fogos T3 para o mês de Julho.

Em Anexo V, encontra-se um exemplo de um relatório do HAP, onde é possível verificar as cargas térmicas registadas nas diferentes horas do dia na Sala da fracção R/C Esquerdo, considerando os horários de semana e fim-de-semana do mês de Julho.

Tabela 4.8 – Cargas térmicas registadas nos períodos de semana do mês de Julho, na instalação de 2 fogos T3

Hora	Julho - Cargas térmicas no horário de semana									
	R/C Esq				R/C Dir				Instalação	
	Sala kW	Quarto1 kW	Quarto2 kW	Quarto3 kW	Sala kW	Quarto1 kW	Quarto2 kW	Quarto3 kW	Total kW	%
00:00	0,7	0,5	0,5	0,6	0,9	0,6	0,5	0,5	4,8	52
01:00		0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5	3	32
02:00		0,5	0,4	0,4		0,5	0,4	0,4	2,6	28
03:00		0,5	0,4	0,4		0,5	0,4	0,4	2,6	28
04:00		0,4	0,4	0,4		0,5	0,4	0,4	2,5	27
05:00		0,4	0,4	0,4		0,5	0,4	0,4	2,5	27
06:00		0,4	0,4	0,4		0,5	0,4	0,4	2,5	27
07:00		0,4	0,4	0,4		0,5	0,4	0,5	2,6	28
08:00		0,4	0,4	0,4		0,4	0,4	0,5	2,5	27
09:00					0,8	0,5		0,6	1,9	20
10:00					0,9	0,6			1,5	16
11:00					1,1				1,1	12
12:00					1,3				1,3	14
13:00					1,2				1,2	13
14:00					1,3	0,7		0,7	2,7	29
15:00					1,3	0,9		0,7	2,9	31
16:00					1,3	1,1		0,7	3,1	33
17:00	1,2		1	0,8	1,5		1	0,7	6,2	67
18:00	1,2		1	0,8	1,4		1		5,4	58
19:00	1,1	0,9	0,9	0,7	1,4	1	0,9		6,9	74
20:00	0,7	0,6	0,5	0,6	0,9	0,6	0,5		4,4	47
21:00	1,2	0,6	0,6	0,7	1,3	0,7	0,6		5,7	61
22:00	1,1	0,6	0,7	0,7	1,3	0,7	0,7	0,7	6,5	70
23:00	1	0,6	0,6	0,6	1,1	0,7	0,6	0,6	5,8	62

A Tabela 4.8 representa os valores de carga térmica registados em cada uma das divisões dos dois apartamentos T3, neste caso o R/C esquerdo e o direito, nas diferentes horas de um dia de semana do mês de Julho. Na coluna “Instalação” tem-se o total de todas as divisões bem como a respectiva percentagem de carga. Se se tiver em conta que para dois fogos T3 a potência total de arrefecimento calculada segundo as condições de projecto é de 9,3 kW, então se, por exemplo, às 17h de um dia de semana do mês de Julho o sistema requer uma potência de arrefecimento de 6,2 kW, quer isto dizer que a potência de arrefecimento corresponde a 67% do valor de projecto, por outras palavras, pode-se deduzir que o sistema irá estar a requerer 67% do caudal máximo de projecto considerado.

Tabela 4.9 – Contabilização do nº de horas, no período de semana do mês de Julho, em que a instalação de 2 fogos T3 se encontra a operar a uma determinada percentagem de carga

Carga do sistema	nº de horas durante o dia	nº de dias
		21
10%	0	0
20%	4	84
30%	9	189
40%	3	63
50%	1	21
60%	2	42
70%	4	84
80%	1	21
90%	0	0
100%	0	0
Total de Horas	24	504

Analisando a Tabela 4.9 contabiliza-se o número de horas em que o sistema, num dia de semana, se encontra a operar a uma determinada percentagem de carga. Neste caso, a informação que se retira é que nos 21 dias de semana que o mês de Julho contempla, o sistema, das 24 horas do dia, encontra-se durante 9 horas a operar a 30% da sua carga térmica máxima, o que perfaz um total de 189 horas ao fim dos 21 dias. Pode-se também verificar que nos dias de semana do mês de Julho o sistema nunca chega a operar a 100%, ao contrário do que acontece nos dias de fim-de-semana, como se poderá ver de seguida; tal acontece porque a família do tipo 1 entre as 09:00 e as 17:00 não tem qualquer elemento em casa.

Tabela 4.10 - Cargas térmicas registadas nos períodos de fim-de-semana do mês de Julho, na instalação de 2 fogos T3

Hora	Julho - Cargas térmicas no horário de fim-de-semana									
	R/C Esq				R/C Dir				Instalação	
	Sala kW	Quarto1 kW	Quarto2 kW	Quarto3 kW	Sala kW	Quarto1 kW	Quarto2 kW	Quarto3 kW	Total kW	%
00:00	0,9	0,6	0,6	0,6	0,9	0,7	0,6	0,5	5,4	58
01:00	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8	0,6	0,5	0,5	4,6	49
02:00		0,5	0,4	0,5		0,5	0,4	0,4	2,7	29
03:00		0,5	0,4	0,4		0,5	0,4	0,4	2,6	28
04:00		0,5	0,4	0,4		0,5	0,4	0,4	2,6	28
05:00		0,4	0,4	0,4		0,5	0,4	0,4	2,5	27
06:00		0,4	0,4	0,5		0,5	0,4	0,4	2,6	28
07:00		0,5	0,4	0,4		0,5	0,4	0,5	2,7	29
08:00		0,5	0,4	0,5		0,5	0,4	0,6	2,9	31
09:00	0,7	0,5	0,5	0,6	0,9	0,5	0,5	0,6	4,8	52
10:00	0,9	0,5	0,5	0,6	1,1	0,5	0,5		4,6	49
11:00	1,2		0,5		1,2		0,5		3,4	37
12:00	1,4		0,6		1,3		0,6		3,9	42
13:00	1,4				1,1				2,5	27
14:00	1,8	0,8	0,7	1	1,5	0,8	0,7	0,7	8	86
15:00	1,7	0,9	0,8	1	1,5	0,9	0,8	0,7	8,3	89
16:00	1,5	1	1	0,9	1,5	1	1	0,7	8,6	92
17:00	1,4	1,1	1	0,8	1,4	1,1	1	0,7	8,5	91
18:00	1,3		1	0,8	1,4		1		5,5	59
19:00	1,2		0,9	0,7	1,4		0,9		5,1	55
20:00	0,9				1				1,9	20
21:00	1,2				1,3				2,5	27
22:00	1,1	0,6	0,7	0,7	1,3	0,7	0,7	0,7	6,5	70
23:00	1	0,6	0,6	0,6	1,2	0,7	0,6	0,6	5,9	63

Se se considerar neste caso também as 17h, o sistema irá requerer uma potência total de arrefecimento igual a 8,5 kW, correspondendo a 91% do valor de projecto, deduz-se assim que irá ser necessário 91% do caudal de projecto para manter as condições interiores de conforto nas diferentes divisões dos apartamentos.

Tabela 4.11 - Contabilização do nº de horas, no período de fim-de-semana do mês de Julho, em que a instalação de 2 fogos T3 se encontra a operar a uma determinada percentagem de carga

Carga do sistema	nº de horas durante o dia	nº de dias
		10
10%	0	0
20%	0	0
30%	9	90
40%	2	20
50%	3	30
60%	4	40
70%	2	20
80%	0	0
90%	2	20
100%	2	20
Total de Horas	24	240

A contabilização do número de horas nos dias de fim-de-semana é, como se esperava, diferentes das registadas nos dias de semana, uma vez que os horários considerados também são diferentes.

Contabilizando todas as horas das Tabela 4.9 e Tabela 4.11, conseguimos determinar das 744 que o mês de Julho comporta nos seus 31 dias, o número de horas em que o sistema se encontra a operar a uma determinada percentagem de carga do sistema.

Fazendo o mesmo procedimento para os restantes meses do ano, é determinado um perfil de carga anual para os 365 dias do ano e para as 8760 horas anuais.

4.7 Generalidades

4.7.1 Temperatura de conforto interior

Recorrendo às temperaturas de conforto interior definidas pelo RCCTE [10], considera-se para a estação de arrefecimento uma temperatura interior de 25°C, na estação de aquecimento a temperatura é de 20°C, não existindo qualquer controlo da humidade interior.

4.7.2 Características construtivas

Parede exterior

Considerou-se uma parede de alvenaria dupla, típica da construção nacional; a mesma é composta por duas camadas de tijolo furado e isolamento do tipo *wallmate*.

Recorreu-se à publicação do LNEC *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios* [12], para obter os valores de condutibilidade térmica (λ) dos materiais em causa. No que diz respeito aos valores de resistência térmica superficial exterior e interior foram considerados os valores estipulados pelo RCCTE [10].

A parede apresenta um valor de coeficiente global de transmissão de calor (U) de 0,521 W/m².K, em pormenor poderá ser consultada a constituição da parede na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Constituição da parede exterior

Parede Dupla Exterior				
Elemento de Camada	Espessura (mm)	Condutibilidade térmica (λ) (W/m.K)	Resistência térmica (R) (m ² .K/W)	Coefficiente global de transmissão de calor (U) (W/m ² .K)
R _{si}	-	-	0,130	0,521
Reboco	20	1,300	0,015	
Tijolo	110	0,305	0,361	
Isolamento Wallmate	30	0,035	0,857	
Tijolo	150	0,305	0,492	
Estuque	10	0,400	0,025	
R _{se}	-	-	0,040	

Janelas

Considerou-se para todas as janelas a mesma constituição, ou seja, vidro duplo com caixa-de-ar intermédia, caixilharia em alumínio sem pontes térmicas e persianas interiores brancas do tipo rolo. Obteve-se assim, um valor de coeficiente global de transmissão global de calor U igual a 3,551 W/m².K.

Cobertura

Para simplificação do trabalho, desprezou-se a existência de cobertura nos últimos pisos.

4.7.3 Cargas térmicas de equipamentos eléctricos e iluminação

Nos equipamentos eléctricos para cada divisão considerou-se um televisor e um outro equipamento eléctrico, por exemplo um computador portátil ou consola de vídeo jogos. Para os Quartos 2 e 3 a potência eléctrica atribuída foi de 170 W, no Quarto 1 apenas se considera um televisor com uma potência eléctrica de 80 W. Nas salas, considerando um televisor de dimensão superior aos que se encontram instalados nos quartos, a potência eléctrica atribuída foi de 210 W.

No que diz respeito à iluminação consideraram-se apenas lâmpadas de muito baixo consumo, cada uma contemplando uma potência de 11 W. Nas salas consideraram-se 5 lâmpadas, o que

perfaz uma potência total de 55 W, nos quartos foram consideradas 3 lâmpadas que correspondem a 33 W.

Tabela 4.13 – Cargas térmicas dos equipamentos eléctricos e iluminação por divisão

Divisão	Equipamento Eléctrico	Iluminação
	W	W
Sala	210	55
Quarto 1	80	33
Quarto 2	170	33
Quarto 3	170	33

4.7.4 Renovações de ar

Tendo consciência de que as habitações não são completamente estanques, e que as mesmas estão sujeitas a renovações de ar novo provenientes das aberturas de portas e janelas, foi considerado que as divisões alvo de climatização estariam sujeitas a um valor de renovações de ar igual ao que está estabelecido pelo RCCTE que garante a qualidade do ar interior, ou seja, 0,6 renovações por hora [10].

4.7.5 Fluxo solar

De uma forma análoga às temperaturas, o programa HAP não contém os valores correctos de radiação solar para a cidade de Lisboa, uma correcção desses mesmos valores é necessária para cada mês.

Este cálculo é feito, retirando, do HAP, os valores de radiação horizontal mensais, para as diversas horas do dia. Os valores de Radiação Global são retirados da publicação do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica [13].

O Factor de correcção é calculado através da seguinte equação 4.2:

$$\text{Factor de correcção} = \frac{\text{Radiação Solar Global Mensal}}{\text{Radiação Solar Horizontal Diária} \times \text{Dias do Mês}}$$

Equação 4.2

Onde:

- Radiação Solar Global Mensal ($\text{Wh/m}^2\cdot\text{mês}$)
- Radiação Solar Horizontal Diária (W/m^2)

Em Anexo VI poderá ser consultada a tabela de cálculo dos factores de correcção.

4.7.6 Temperatura da água nas baterias de arrefecimento e aquecimento.

Tanto para a situação de arrefecimento como para a de aquecimento, considerou-se um diferencial entre a temperatura de ida e a temperatura de retorno de 5°C . A entrada de água nas baterias de arrefecimento é feita a 12°C e sai a 7°C , nas baterias de aquecimento a água entra a 40°C e sai a 45°C .

4.7.7 Características das instalações

As instalações são do tipo a dois tubos. No que diz respeito ao traçado das tubagens e equipamentos, existem duas situações distintas quanto à localização dos mesmos:

1. Se a instalação for de um fogo apenas, o *chiller* bomba de calor e respectivo circuito hidráulico encontra-se instalado na varanda junto à sala (ver Anexo II, Figuras 2 e 3), daí as tubagens seguem até aos ventiloconectores distribuídos pelas respectivas divisões.
2. No caso das restantes instalações, com 2 ou mais fogos, o *chiller* bomba de calor e respectivo circuito hidráulico, encontrar-se-á instalado na cobertura (ver Anexo II, Figuras 4 e 5).

No Anexo III, encontram-se os esquemas de princípio de três instalações a CC e outras três a CV. Como não teria qualquer interesse mostrar os esquemas das 20 instalações simuladas em todo o trabalho, o que se tornaria demasiado repetitivo e exaustivo para o leitor, com estes esquemas de princípio do Anexo III será possível ter uma ideia de como a instalação evolui, ao nível das tubagens e acessórios, consoante se dá o aumento do número de fogos.

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Cargas térmicas

Tendo todos os dados devidamente carregados no HAP, estão criadas as condições para correr o programa a fim de retirar os relatórios dos espaços e dos sistemas.

Dois tipos de cargas terão que se ter em atenção. A fim de dimensionar as unidades ventiloconvector interiores é importante saber qual a carga máxima que essas mesmas unidades terão capacidade de fornecer. No entanto, para dimensionamento de outros equipamentos, entre eles o *chiller* e restantes acessórios, tais como, tubagens, válvulas, etc., a carga térmica e os caudais a considerar não serão a soma das cargas máximas de cada espaço, mas sim a soma das cargas e caudais de todos os espaços na situação mais adversa de todo o sistema, que irá ocorrer a uma determinada hora de um determinado mês.

A título de exemplo na Tabela 5.1, do lado esquerdo da tabela encontram-se as cargas térmicas respeitantes à situação individual de projecto, ou seja, as cargas máximas e respectiva data e hora de ocorrência para cada uma das divisões do R/C Esquerdo e R/C Direito. No lado direito encontramos as cargas térmicas desses mesmos espaços na situação mais adversa de todo o sistema, que neste caso ocorre às 16h de Agosto.

Tabela 5.1 - Exemplo das cargas térmicas associadas a dois fogos T3

Espaços			Situação individual de projecto				Situação mais adversa de todo o sistema (Agosto às 16h)			
Piso	Fracção	Divisão	Potência total de arrefecimento kW	Potência sensível de arrefecimento kW	Caudal l/h	Data da ocorrência mês/hora	Potência total de arrefecimento kW	Potência sensível de arrefecimento kW	Caudal l/h	Caudal Total l/h
R/C	R/C E	Sala	2	1,8	364	Ago/14h	1,8	1,5	309	1598
		Quarto 1	1,1	0,9	216	Jul/17h	1,1	0,9	189	
		Quarto 2	1	0,9	216	Jul/18h	1	0,8	172	
		Quarto 3	1,2	1	303	Ago/14h	1	0,9	172	
	R/C D	Sala	1,6	1,2	275	Jul/16h	1,5	1,2	258	
		Quarto 1	1,1	1	189	Jul/17h	1,1	1	189	
		Quarto 2	1	0,9	172	Jul/18h	1	0,8	172	
		Quarto 3	0,8	0,7	137	Jul/15h	0,8	0,7	137	

Em Anexo IV poderá ser consultado com mais detalhe, para cada um dos dez sistemas simulados, as cargas térmicas de cada espaço.

Na Tabela 5.2 encontram-se os valores de potência térmica por metro quadrado de área útil das diferentes divisões dos apartamentos e para as fracções do lado esquerdo e direito do edifício, estes valores têm por base as potências térmicas individuais calculadas nas condições de projecto.

Tabela 5.2 – Valores de potência térmica por m² de área útil nas diferentes divisões

Divisão	Fracções lado esquerdo W/m ²	Fracções lado direito W/m ²
Sala	67	53
Quarto 1	55	55
Quarto 2	63	63
Quarto 3	75	50

De seguida apresentam-se os valores e datas de ocorrência das cargas térmicas registadas nos dez sistemas simulados, ou seja, de um a dez apartamentos.

Tabela 5.3 – Resumo das cargas térmicas máximas registadas nos dez sistemas simulados

Nº de Apartamentos	Potência total de arrefecimento kW	Potência sensível de arrefecimento kW	Caudal l/h	Data da ocorrência mês/hora
1xT3	4,9	4,2	843	Agosto/15h
2xT3	9,3	7,9	1598	Agosto/16h
3xT3	14,2	12,1	2440	Agosto/16h
4xT3	18,6	15,6	3196	Agosto/16h
5xT3	23,1	19,6	3973	Agosto/15h
6xT3	27,9	23,6	4794	Agosto/16h
7xT3	32,2	27,3	5538	Agosto/15h
8xT3	37,2	31,3	6392	Agosto/16h
9xT3	41,3	35,0	7103	Agosto/15h
10xT3	46,5	39,2	7990	Agosto/16h

Verifica-se que a carga térmica máxima em todos os sistemas irá ocorrer sempre no mês de Agosto, às 15 horas ou 16 horas, dependendo do sistema em causa.

5.2 Pontos de funcionamento das bombas circuladoras (caudal e perda de carga)

Para um correcto dimensionamento das bombas circuladoras é necessário determinar o seu ponto de funcionamento, que não é mais do que o caudal registado na situação de carga térmica máxima de cada sistema e respectivo valor de perda de carga registada no circuito mais desfavorável.

Tabela 5.4 - Pontos de funcionamento dos vários sistemas a caudal constante

Nº do fogos	Caudal		Perda de carga	
	l/h	m ³ /h	kPa	m.c.a.
1xT3	843	0,84	44,4	4,5
2xT3	1598	1,60	83,5	8,5
3xT3	2440	2,44	84,6	8,6
4xT3	3196	3,20	92,3	9,4
5xT3	3973	3,97	101,6	10,4
6xT3	4794	4,79	98,2	10,0
7xT3	5538	5,54	99,8	10,2
8xT3	6392	6,39	105,9	10,8
9xT3	7103	7,10	99,6	10,1
10xT3	7990	7,99	100,2	10,2

De notar que a perda de carga registada no caso da instalação a CC de um fogo T3 é manifestamente inferior aos valores calculados para os restantes sistema. O traçado de tubagem escolhido na instalação a um fogo é determinante, uma vez que o facto do circuito do *chiller* se encontrar instalado na varanda da sala leva a que o comprimento de tubagem seja inferior ao comprimento registado nas instalações de dois ou mais fogos; para estes casos o *chiller* encontra-se instalado na cobertura.

Tabela 5.5 – Pontos de funcionamento dos vários sistemas a caudal variável

Nº do fogos	Circuito Primário				Circuito Secundário			
	Caudal		Perda de carga		Caudal		Perda de carga	
	l/h	m3/h	kPa	m.c.a.	l/h	m3/h	kPa	m.c.a.
1xT3	843	0,84	14,8	1,5	843	0,84	35,8	3,7
2xT3	1598	1,60	28,5	2,9	1598	1,60	65,7	6,7
3xT3	2440	2,44	29,4	3,0	2440	2,44	64,0	6,5
4xT3	3196	3,20	35,6	3,6	3196	3,20	70,2	7,2
5xT3	3973	3,97	40,4	4,1	3973	3,97	75,1	7,7
6xT3	4794	4,79	37,3	3,8	4794	4,79	77,9	7,9
7xT3	5538	5,54	33,5	3,4	5538	5,54	85,6	8,7
8xT3	6392	6,39	39,0	4,0	6392	6,39	89,8	9,2
9xT3	7103	7,10	32,5	3,3	7103	7,10	89,1	9,1
10xT3	7990	7,99	34,6	3,5	7990	7,99	89,5	9,1

Confirma-se que o valor de perda de carga do circuito primário é manifestamente, em todas as posições, inferior ao valor de perda de carga do circuito secundário.

Se anteriormente foram apresentados os valores de perda de carga totais para cada uma das instalações, será interessante saber o valor de perda de carga que cada circuito de ventiloconvectores regista (ver Tabela 5.6), sendo que se entende por circuito de ventiloconvectores, como sendo a parte da instalação que se encontra no interior de cada fogo T3, que contempla as tubagens de ida e retorno, as válvulas de 2 ou 3 vias e as unidades ventiloconvector.

Os valores de perda de carga, dos circuitos ventiloconvector, apresentam valores diferentes, consoante o tipo de instalação; esta diferença deve-se à diferença que existe ao nível dos traçados de tubagem de retorno, que são diferentes.

São ainda calculados os valores de perdas de carga para as 15h e 16h, pois correspondem aos momentos em que se dá, durante o mês de Agosto, a maior carga térmica, que corresponde ao maior caudal de toda a instalação. As perdas de carga registam um maior valor às 16, quando comparado com o valor calculado às 15h, porque é nesta altura em que se regista um caudal superior no ventiloconvetor que se encontra instalado na Sala.

Tabela 5.6 - Valores de perdas de carga registados nos circuitos dos ventiloconvectores

Hora	Circuitos Ventiloconvetor Caudal Constante		Circuitos Ventiloconvetor Caudal Variável	
	Perda de carga		Perda de carga	
	kPa	m.c.a.	kPa	m.c.a.
15H	47,1	4,8	49,1	5,0
16H	51,0	5,2	53,0	5,4

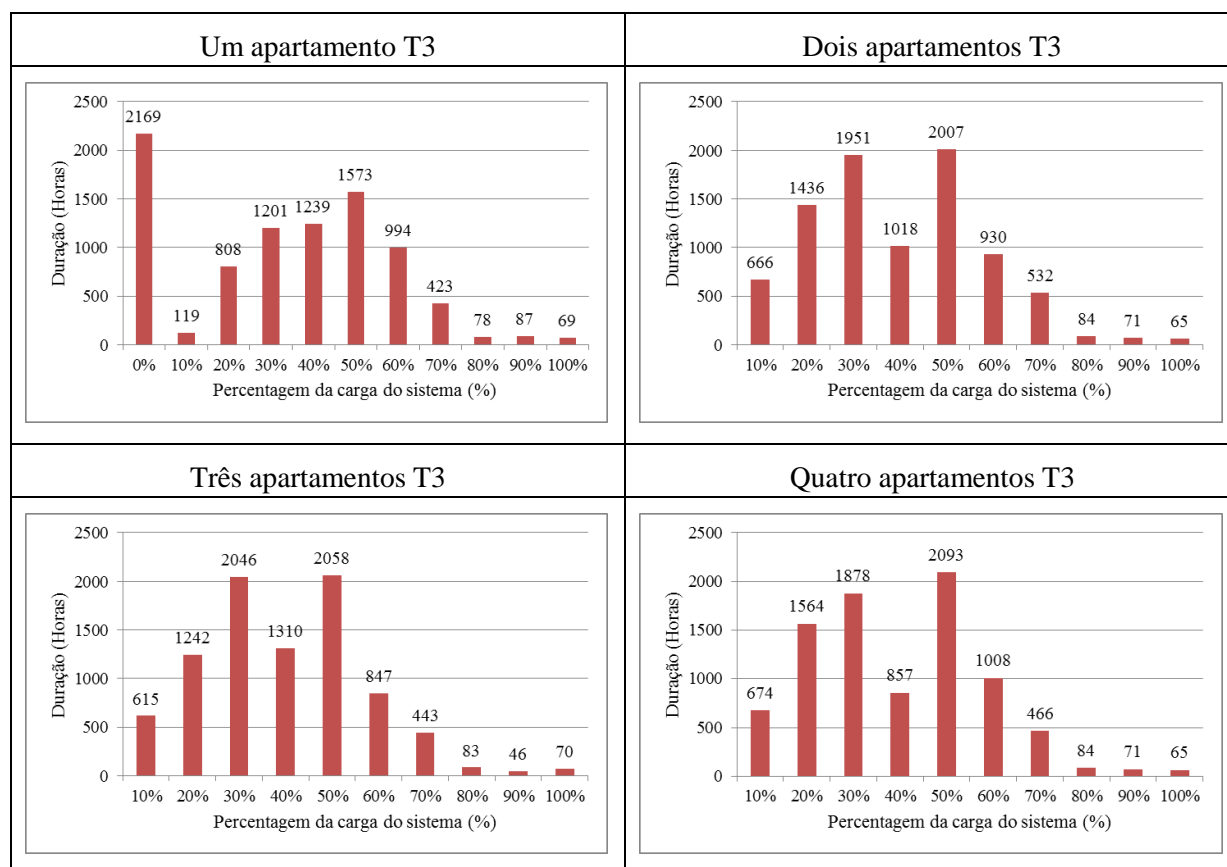
5.3 Perfis de carga dos sistemas

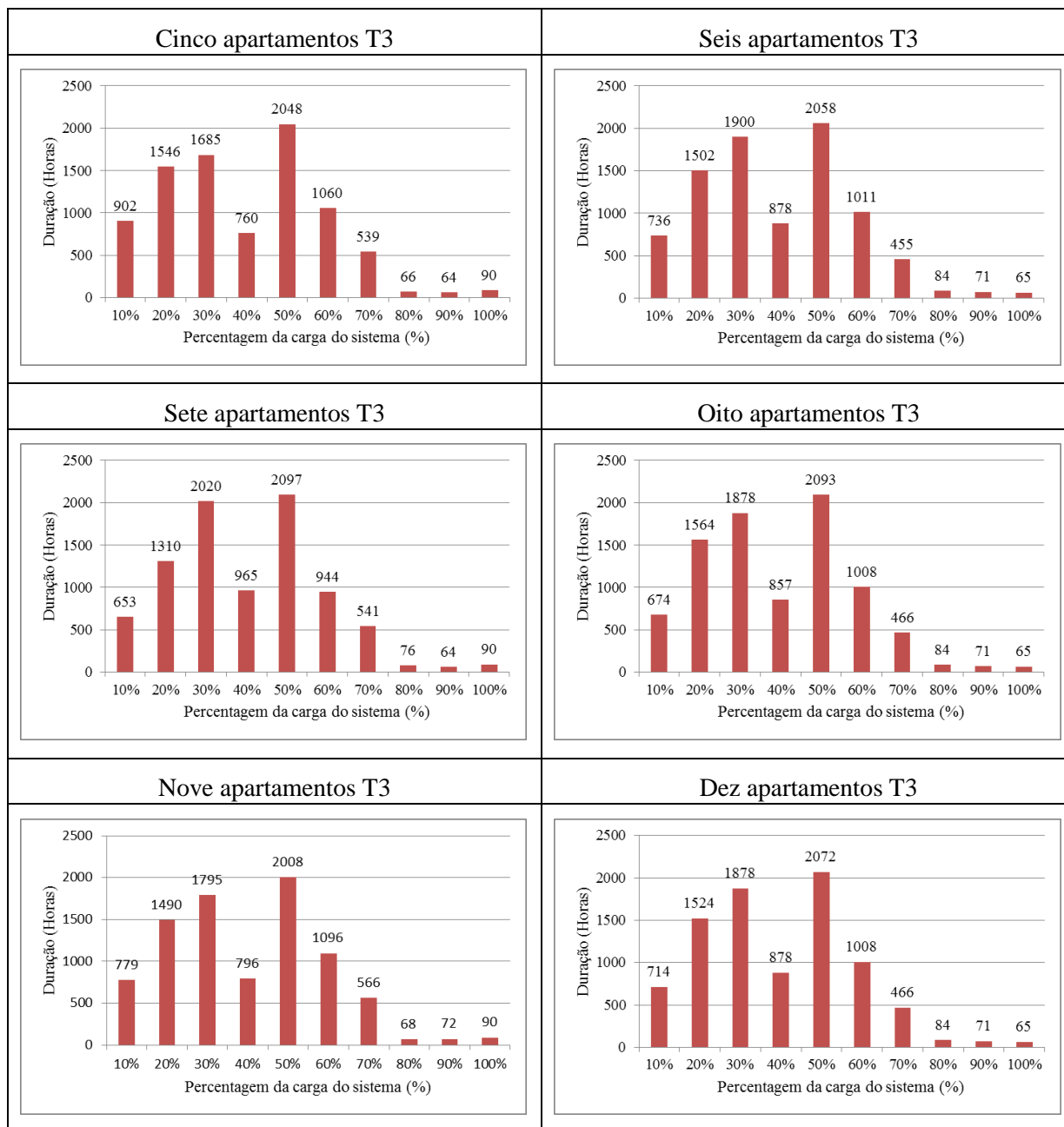
Tendo em consideração que os sistemas irão solicitar diferentes cargas térmicas ao longo dos diferentes meses do ano, e durante as diferentes horas do dia dos diferentes horários considerados, com base nos valores de cargas térmicas que o HAP calculou para as 24 horas de cada dia para cada mês do ano, foi possível determinar das 8760 horas anuais, em que regime de carga se encontrava cada uma dessas horas.

Considerando intervalos de 10%, foi possível construir diagramas que indicam o número de horas anuais em que o sistema se encontra a operar num determinado intervalo de percentagem de carga [4 e 5].

De notar que para o caso de um apartamento T3, existem 2169 horas durante o ano em que o sistema se encontra completamente desligado, tal deve-se à ausência, da respectiva habitação, de todos os membros da família, durante o período semanal.

Tabela 5.7 – Diagramas anuais de carga dos sistemas





Verificando todos os gráficos, conclui-se que, em todos eles, apenas com exceção para um apartamento T3, pelas razões anteriormente expostas, os sistemas se encontram a trabalhar mais horas durante o ano entre os 50% e 60%, quer isto dizer que grande parte do ano as bombas ciculadoras de caudal variável irão debitar metade do caudal máximo.

De uma forma geral, em 80% do total de horas anuais de funcionamento dos sistemas, os mesmos encontram-se a operar num intervalo de percentagem de carga entre os 20 e os 60%.

Em cerca de metade das horas anuais, os sistemas encontram-se a operar entre os 30 e os 50%.

As horas de funcionamento de um sistema a operar a um valor igual ou superior a 80% é manifestamente residual. Em todos os sistemas o período em que os mesmos se encontram a trabalhar a 100% correspondem a períodos que ocorrem no período da tarde nos meses de Julho e Agosto.

Sem estes dados se encontrarem determinados, não seria possível estimar os consumos anuais das bombas circuladoras de caudal variável, pois é através de estes perfis de carga que se calcula o consumo das bombas de CV para as diferentes percentagens de carga, o mesmo é dizer para os diferentes caudais que circulam no lado do circuito secundário. No capítulo seguinte apresentam-se os consumos anuais das bombas.

5.4 Consumos energéticos anuais das bombas circuladoras

Apresentam-se agora neste capítulo os consumos anuais das electrobombas.

Tendo todas as bombas circuladoras já previamente seleccionadas, sabe-se qual a potência eléctrica que as mesmas consomem no ponto de funcionamento designado na fase de projecto.

No que diz respeito à bomba da instalação a CC, como a do circuito primário da instalação a CV, ambas encontram-se sempre a consumir a mesma potência, independentemente da carga a que o sistema se encontra sujeito, uma vez que se tratam de dois circuitos a caudal constante.

A bomba do circuito secundário da instalação a CV terá a capacidade de regular a sua velocidade de modo a bombear mais ou menos caudal em função da solicitação do sistema, dessa forma irá existir uma situação em que a bomba estará a trabalhar e a consumir a sua potência máxima que corresponde à altura em que a carga do sistema se encontra nos 100%, e por sua vez estará a consumir a sua potência mínima quando a o sistema se encontra a operar a 10% da sua carga máxima.

Para obter a energia consumida pelas bombas, em kWh, basta multiplicar a potência eléctrica das bombas pelo número de horas de funcionamento. Nas tabelas seguintes encontram-se os cálculos efectuados para os dez sistemas simulados.

1 Fogo T3

Tabela 5.8 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de um fogo T3

Carga		Horas	Caudal Constante		Caudal Variável					
					Bomba do Primário		Bomba do Secundário		Total dois circuitos	
			%	m3/h	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh
0%	0,0	2169	0	0	0	0	0	0	0	0
10%	0,08	119	0,057	7	0,035	4	0,031	4	0,066	8
20%	0,17	808		46		28	0,032	26	0,066	54
30%	0,25	1201		68		41	0,033	39	0,067	81
40%	0,34	1239		70		43	0,034	42	0,068	84
50%	0,42	1573		89		54	0,035	54	0,069	109
60%	0,50	994		56		34	0,035	35	0,070	69
70%	0,59	423		24		15	0,036	15	0,071	30
80%	0,67	78		4		3	0,037	3	0,072	6
90%	0,76	87		5		3	0,038	3	0,073	6
100%	0,84	69		4		2	0,039	3	0,074	5
Total		8760		372		227		224		452

Conclui-se que a instalação de um sistema a caudal variável iria traduzir-se num maior consumo de energia eléctrica anual do que no caso da instalação a caudal constante.

Aqui, o facto de se utilizarem duas bombas, uma no primário e outra no secundário, reverte-se num factor penalizador. Para qualquer percentagem de carga do sistema, incluindo, para 10%, a soma da energia consumida pelas bombas do primário e secundário é sempre superior à energia consumida pela bomba do sistema a caudal constante.

Apesar de ser de caudal variável, a bomba do secundário, a sua variação de consumo de energia eléctrica não é muito significativa, levando a que tenha um consumo anual praticamente igual à bomba do primário, diferenciado apenas em 3 kWh a seu favor.

2 Fogos T3

Tabela 5.9 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de dois fogos T3

Carga		Horas	Caudal Constante		Caudal Variável					
					Bomba do Primário		Bomba do Secundário		Total dois circuitos	
			%	m ³ /h	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh
10%	0,16	666	0,198	132	0,129	86	0,065	43	0,194	129
20%	0,32	1436		284		185	0,068	98	0,197	283
30%	0,48	1951		386		252	0,071	138	0,200	390
40%	0,64	1018		202		131	0,074	75	0,203	207
50%	0,80	2007		397		259	0,077	154	0,206	413
60%	0,96	930		184		120	0,080	74	0,209	194
70%	1,12	532		105		69	0,083	44	0,212	113
80%	1,28	84		17		11	0,086	7	0,215	18
90%	1,44	71		14		9	0,090	6	0,219	16
100%	1,60	65		13		8	0,093	6	0,222	14
Total		8760		1734		1130		647		1777

Para a instalação de dois fogos T3, a situação é muito semelhante à anterior, aqui também o consumo da instalação a CV é superior à instalação a CC.

A instalação a CV praticamente nunca chega a consumir uma potência inferior à instalação a CC, será necessário que o caudal requerido seja igual a 20% do caudal máximo (0,32 m³/h) para que se registre uma potência de 197 W do lado da instalação a CV enquanto que a potência consumida com a instalação a caudal constante é de 198W.

A bomba do secundário regista um consumo anual inferior à bomba do primário, sendo apenas responsável por cerca de 1/3 do consumo total.

3 Fogos T3

Tabela 5.10 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de três fogos T3

Carga		Horas	Caudal Constante		Caudal Variável						
					Bomba do Primário		Bomba do Secundário		Total dois circuitos		
			%	m ³ /h	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW
10%	0,24	615	0,220	135	0,143	88	0,064	39	0,207	127	
20%	0,49	1242				273	178	0,069	85	0,212	263
30%	0,73	2046				450	293	0,073	149	0,216	442
40%	0,98	1310				288	187	0,078	102	0,221	289
50%	1,22	2058				453	294	0,082	169	0,225	463
60%	1,46	847				186	121	0,087	74	0,230	195
70%	1,71	443				97	63	0,092	41	0,235	104
80%	1,95	83				18	12	0,097	8	0,240	20
90%	2,20	46				10	7	0,102	5	0,245	11
100%	2,44	70				15	10	0,107	7	0,250	18
Total		8760					1927		1253		679

Para a situação de 3 fogos, os consumos anuais poderão considerar-se praticamente iguais. A situação a CC até registou um consumo inferior, mas foi de apenas 5 kWh/ano, o que é insuficiente para se considerar que exista uma diferença nos consumos. Conclui-se que a instalação a CV não teria qualquer vantagem do ponto de vista energético.

A situação para 3 fogos é muito semelhante à anterior, com 2 fogos, no que diz respeito à bomba do secundário, onde se regista um consumo anual inferior à bomba do primário.

4 Fogos T3

Tabela 5.11 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de quatro fogos T3

Carga		Horas	Caudal Constante		Caudal Variável					
					Bomba do Primário		Bomba do Secundário		Total dois circuitos	
			%	m3/h	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh
10%	0,32	674	0,259	0,158	175	106	0,083	56	0,241	162
20%	0,64	1564			405	247	0,090	141	0,248	388
30%	0,96	1878			486	297	0,099	185	0,257	482
40%	1,28	857			222	135	0,108	93	0,266	228
50%	1,60	2093			542	331	0,118	247	0,276	578
60%	1,92	1008			261	159	0,127	128	0,285	287
70%	2,24	466			121	74	0,132	62	0,290	135
80%	2,56	84			22	13	0,134	11	0,292	25
90%	2,88	71			18	11	0,134	10	0,292	21
100%	3,20	65			17	10	0,135	9	0,293	19
Total		8760					1384		940	

Para 4 fogos a situação é muito semelhante à anterior, comparando os dois sistemas é o sistema a CC que regista um menor consumo anual, registando-se uma diferença de 55 kWh/ano.

Uma vez mais é a bomba do primário a maior responsável no total de energia eléctrica consumida anualmente, dos 2324 kWh consumidos, cerca de 60% devem-se à bomba do primário.

5 Fogos T3

Tabela 5.12 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de cinco fogos T3

Carga		Horas	Caudal Constante		Caudal Variável					
					Bomba do Primário		Bomba do Secundário		Total dois circuitos	
			%	m3/h	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh
10%	0,40	902	0,361	326	0,162	146	0,079	71	0,241	217
20%	0,79	1546		558		250	0,086	132	0,248	383
30%	1,19	1685		608		273	0,095	159	0,257	432
40%	1,59	760		274		123	0,105	80	0,267	203
50%	1,99	2048		739		332	0,116	238	0,278	569
60%	2,38	1060		383		172	0,128	136	0,290	307
70%	2,78	539		195		87	0,140	75	0,302	163
80%	3,18	66		24		11	0,152	10	0,314	21
90%	3,57	64		23		10	0,163	10	0,325	21
100%	3,97	90		32		15	0,173	16	0,335	30
Total		8760		3162		1419		927		2346

Registou-se uma diferença considerável entre os consumos anuais da instalação a CC e CV. Neste caso o maior consumo regista-se com o uso da bomba a caudal constante, consumindo mais 816 kWh/ano, significa que o uso de uma instalação a CV resultaria numa poupança anual de 34,8%.

O que foi dito anteriormente, para 4 fogos, acerca dos consumos das bombas do primário e do secundário, aplica-se, igualmente, neste caso: dos 2346 kWh consumidos, 1419 kWh, cerca de 60% dizem respeito à bomba do primário.

É a partir de um número de fogos igual a 5, que as instalações a CV começam a registar um menor consumo anual de energia eléctrica, quando comparadas com as instalações de CC.

6 Fogos T3

Tabela 5.13 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de seis fogos T3

Carga		Horas	Caudal Constante		Caudal Variável					
					Bomba do Primário		Bomba do Secundário		Total dois circuitos	
			%	m3/h	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh
10%	0,48	736	0,382	281	0,155	114	0,195	144	0,350	258
20%	0,96	1502		574		233	0,201	302	0,356	535
30%	1,44	1900		726		295	0,207	393	0,362	688
40%	1,92	878		335		136	0,213	187	0,368	323
50%	2,40	2058		786		319	0,221	455	0,376	774
60%	2,88	1011		386		157	0,230	233	0,385	389
70%	3,36	455		174		71	0,239	109	0,394	179
80%	3,84	84		32		13	0,248	21	0,403	34
90%	4,32	71		27		11	0,258	18	0,413	29
100%	4,80	65		25		10	0,269	17	0,424	28
Total		8760				3346		1358		1878

Apesar da ligeira diferença, o menor consumo de energia eléctrica é registado por parte da instalação a CV. Anualmente, a poupança é de apenas 110 kWh, como se irá ver no capítulo 5.6 não será suficiente para que exista um retorno ao investimento efectuado.

A partir dos 6 fogos, como se pode ver daqui em diante, existe uma inflexão relativamente ao consumo de energia eléctrica das bombas do secundário relativamente às do primário, ou seja, onde antes as bombas do primário consumiam anualmente um maior valor de energia eléctrica, passam a ser as bombas do secundário que registam um maior consumo anual.

7, 8, 9 e 10 Fogos T3

Tabela 5.14 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de sete fogos T3

Carga		Horas	Caudal Constante		Caudal Variável					
					Bomba do Primário		Bomba do Secundário		Total dois circuitos	
%	m3/h		Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh
10%	0,55	653	0,471	308	0,161	105	0,220	144	0,381	249
20%	1,11	1310		617		211	0,226	296	0,387	507
30%	1,66	2020		951		325	0,234	473	0,395	798
40%	2,21	965		455		155	0,243	234	0,404	390
50%	2,77	2097		988		338	0,253	531	0,414	868
60%	3,32	944		445		152	0,264	249	0,425	401
70%	3,87	541		255		87	0,276	149	0,437	236
80%	4,42	76		36		12	0,289	22	0,450	34
90%	4,98	64		30		10	0,303	19	0,464	30
100%	5,53	90		42		14	0,317	29	0,478	43
Total		8760		4126		1410		2146		3556

Tabela 5.15 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de oito fogos T3

Carga		Horas	Caudal Constante		Caudal Variável					
					Bomba do Primário		Bomba do Secundário		Total dois circuitos	
%	m3/h		Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh
10%	0,64	674	0,527	355	0,167	113	0,238	160	0,405	273
20%	1,28	1564		824		261	0,246	385	0,413	646
30%	1,92	1878		990		314	0,256	481	0,423	794
40%	2,56	857		452		143	0,268	230	0,435	373
50%	3,20	2093		1103		350	0,281	588	0,448	938
60%	3,83	1008		531		168	0,296	298	0,463	467
70%	4,47	466		246		78	0,312	145	0,479	223
80%	5,11	84		44		14	0,328	28	0,495	42
90%	5,75	71		37		12	0,346	25	0,513	36
100%	6,39	65		34		11	0,363	24	0,530	34
Total		8760		4617		1463		2363		3826

Tabela 5.16 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de nove fogos T3

Carga		Horas	Caudal Constante		Caudal Variável					
					Bomba do Primário		Bomba do Secundário		Total dois circuitos	
%	m3/h		Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh
10%	0,71	779	0,511	398	0,175	136	0,252	196	0,427	333
20%	1,42	1490		761		261	0,255	380	0,430	641
30%	2,13	1795		917		314	0,262	470	0,437	784
40%	2,84	796		407		139	0,273	217	0,448	357
50%	3,55	2008		1026		351	0,287	576	0,462	928
60%	4,26	1096		560		192	0,305	334	0,480	526
70%	4,97	566		289		99	0,325	184	0,500	283
80%	5,68	68		35		12	0,348	24	0,523	36
90%	6,39	72		37		13	0,375	27	0,550	40
100%	7,10	90		46		16	0,404	36	0,579	52
Total		8760		4476		1533		2445		3978

Tabela 5.17 - Consumos anuais de energia eléctrica das electrobombas circuladoras na situação de dez fogos T3

Carga		Horas	Caudal Constante		Caudal Variável					
					Bomba do Primário		Bomba do Secundário		Total dois circuitos	
%	m3/h		Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh	Potência consumida kW	Energia consumida kWh
10%	0,80	714	0,624	446	0,184	131	0,240	171	0,424	303
20%	1,60	1524		951		280	0,251	383	0,435	663
30%	2,40	1878		1172		346	0,265	498	0,449	843
40%	3,20	878		548		162	0,281	247	0,465	408
50%	4,00	2072		1293		381	0,300	622	0,484	1003
60%	4,79	1008		629		185	0,320	323	0,504	508
70%	5,59	466		291		86	0,342	159	0,526	245
80%	6,39	84		52		15	0,364	31	0,548	46
90%	7,19	71		44		13	0,387	27	0,571	41
100%	7,99	65		41		12	0,410	27	0,594	39
Total		8760		5466		1612		2487		4098

A partir de um número de fogos igual ou superior a sete, em todas as simulações o sistema a CC foi aquele em que os consumos de energia eléctrica anual são sempre superiores aos consumos registados nos sistemas a CV.

As simulações interromperam-se num número de fogos igual a dez. Como o número de fogos consecutivos, em que o sistema a CV registava um consumo inferior ao CC, foi de seis

fogos, considera-se que se chegou ao ponto em que quantos mais fogos – consequentemente mais unidades ventiloconvector - são adicionados, os consumos da instalação a CC serão sempre superiores ao da instalação a CV.

Nestas últimas cinco simulações, nas instalações a CV, a electrobomba responsável pelo maior consumo anual foi sempre a bomba instalada no circuito secundário.

Tabela 5.18 – Resumo dos consumos anuais de energia eléctrica dos dois sistemas

Nº de apartamentos	Consumos energéticos anuais (kWh)		Diferença percentual entre C.V. e C.C.
	Caudal constante	Caudal variável	
1xT3	372	452	+17,5%
2xT3	1734	1777	+2,4%
3xT3	1927	1932	+0,2%
4xT3	2269	2324	+2,4%
5xT3	3162	2346	-34,8%
6xT3	3346	3236	-3,4%
7xT3	4126	3556	-16,0%
8xT3	4617	3826	-20,7%
9xT3	4476	3978	-12,5%
10xT3	5466	4098	-33,4%

Das 10 simulações efectuadas em 4 verificou-se um consumo superior com uma instalação do tipo CV, tendo este resultado ocorrido nas instalações de 1 a 4 fogos. A maior diferença (+17,5%) verificou-se para um número de fogos igual a um, estando na presença de 4 unidades ventiloconvector.

Para um número de apartamentos igual a 6, a poupança anual com recurso a uma instalação a CV é de apenas 3,4%, valor manifestamente baixo e que não será suficiente, como se mostrará no capítulo 5.6, para que exista um retorno financeiro desse mesmo tipo de instalação.

A instalação a CV que registou um maior consumo em termos percentuais foi no caso de 5 fogos, onde se regista uma poupança de 34,8%. Aqui o ponto de funcionamento das bombas circuladoras foi determinante, tendo a bomba de caudal variável seleccionada registado um consumo anual muito inferior ao da bomba de caudal constante.

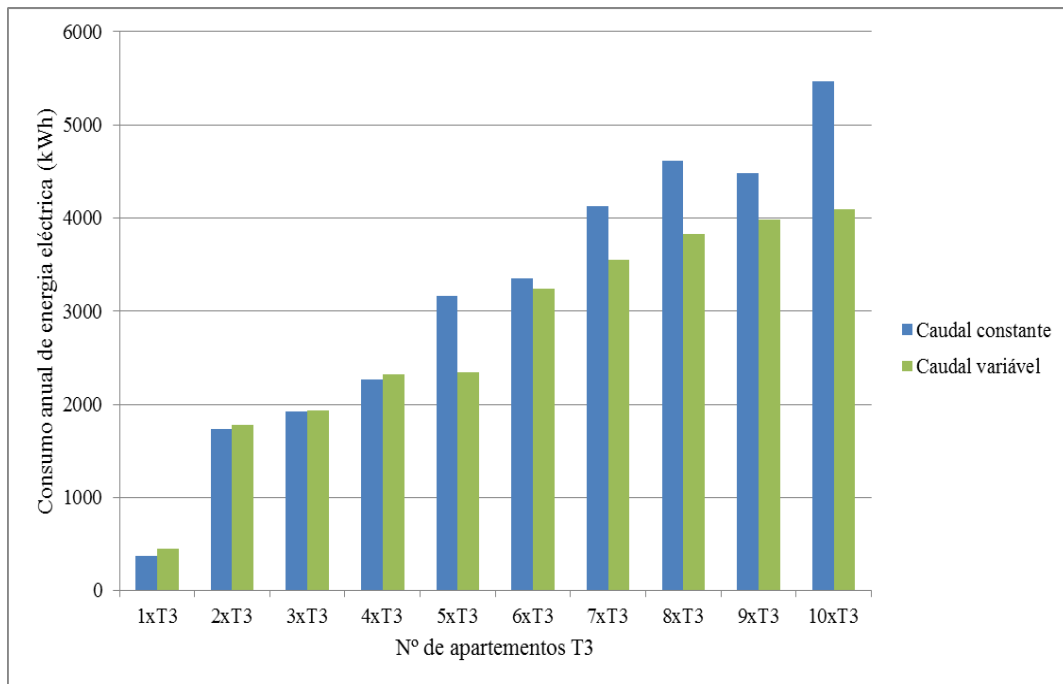


Figura 5.1 – Representação gráfica da evolução dos consumos de energia eléctrica em função do tipo de instalação e do aumento do número de fogos T3

No grafismo anterior está bem patente a evolução dos consumos anuais de energia eléctrica com o aumento do número de fogos, a tendência é claramente para que a partir dos 5 apartamentos, o que equivale dizer a partir das 20 unidades ventiloconvector, a instalação a CV é aquela que regista sempre um menor consumo de energia eléctrica.

5.5 Análise comparativa dos custos de aquisição dos equipamentos

Tendo os equipamentos já seleccionados, consultaram-se, junto dos demais fabricantes conceituados e/ou representantes dos equipamentos os Preços de Venda ao Público (P.V.P.).

Como o número de sistemas simulados ao todo foi de 20 sistemas, a saber, 10 sistemas a caudal constante e outros 10 a caudal variável, decidiu-se que os equipamentos que seriam comuns aos dois sistemas, dando como exemplo o *chiller*, as unidades ventiloconvector, o

filtro, o desgasificador, o vaso de expansão e a tubagem de ida, não seriam considerados os seus custos de aquisição, uma vez que esses mesmos equipamentos são comuns às duas instalações, logo não irão ter qualquer influência no que diz respeito ao diferencial de custo de aquisição dos dois tipos de instalação.

Apresenta-se um quadro resumo, onde se explica para cada equipamento, quais as diferenças registadas em cada uma das instalações.

Tabela 5.19 – Diferenças ao nível dos equipamentos a instalar em cada uma das instalações.

Equipamento	Observações
Electrobombas ciculadoras	Na instalação a CV é necessário considerar 2 bombas, uma para o circuito primário e outra para o secundário. No caso da instalação a CC apenas é considerada uma bomba.
Válvulas de 2 e 3 vias	Para a instalação a CC consideram-se válvulas de 3 vias, que são ligeiramente mais caras que as de 2 vias utilizadas na situação de CV
Válvulas de seccionamento	Um maior número de válvulas de seccionamento é requerido na instalação a CV
Válvulas de Bypass	A aquisição deste tipo de válvulas é apenas necessária no caso das instalações a CV
Válvulas de equilíbrio estático e dinâmico	Para a instalação a CV consideram-se válvulas de equilíbrio dinâmico, que são mais caras que as de equilíbrio estático utilizadas na situação de CC
Tubagem de retorno	Como se poderá facilmente verificar pelos esquemas de princípio dos dois tipos de instalação, a instalação a CC obrigará a uma maior aquisição de tubo de cobre, devido ao retorno invertido.
Isolamento para tubagens de retorno	Pelas mesmas razões acima explicadas, também iremos ter de considerar no caso do CC uma maior aquisição de isolante para as tubagens de retorno.
Transdutor de pressão diferencial	Os modelos de bombas de CV escolhidos são equipamentos com transdutor de pressão diferencial já integrado.

Identificados que estão os equipamentos sujeitos a consultas de preços, procedeu-se à estimativa orçamental dos mesmos (ver Tabela 5.20)

Tabela 5.20 – Custos associados à aquisição dos equipamentos consoante o tipo de instalação

Nº de apartamentos T3	Custos de aquisição dos equipamentos consoante tipo de instalação		Diferença de custos entre os dois sistemas
	Caudal Constante	Caudal Variável	Caudal Variável Vs Caudal Constante
1xT3	626 €	1.245 €	619 €
2xT3	1.094 €	1.799 €	705 €
3xT3	1.572 €	2.201 €	629 €
4xT3	2.210 €	2.566 €	356 €
5xT3	2.770 €	2.977 €	207 €
6xT3	3.157 €	3.941 €	784 €
7xT3	3.552 €	4.264 €	712 €
8xT3	4.074 €	4.658 €	584 €
9xT3	4.138 €	4.684 €	546 €
10xT3	4.488 €	5.121 €	633 €

Verifica-se que em todos os casos, como era expectável, a solução de CV é a mais dispendiosa.

A diferença de custos de aquisição incide praticamente, toda ela, na aquisição das bombas ciculadoras. São elas, de todos os acessórios da instalação, as maiores responsáveis pela diferença registada.

O valor de maior diferença registou-se na instalação para 6 apartamentos T3, onde se obteve um diferencial de 784 €, já a instalação para 5 apartamentos foi aquela em que a diferença foi menor, registando-se um valor de 207 €.

Tabela 5.21 – Custos relacionados apenas com a aquisição das bombas circuladoras

Nº de apartamentos T3	Instalação a C.C.	Instalação a C.V.			Diferença de custo das bombas
	P.V.P. da bomba	P.V.P. da bomba do primário	P.V.P. da bomba do secundário	Total das Bombas	Caudal Variável Vs Caudal Constante
1xT3	231 €	184 €	702 €	886 €	655 €
2xT3	380 €	368 €	718 €	1.086 €	706 €
3xT3	450 €	368 €	718 €	1.086 €	636 €
4xT3	739 €	368 €	760 €	1.128 €	389 €
5xT3	950 €	368 €	848 €	1.216 €	266 €
6xT3	950 €	561 €	1.248 €	1.809 €	859 €
7xT3	996 €	561 €	1.248 €	1.809 €	813 €
8xT3	1.112 €	561 €	1.248 €	1.809 €	697 €
9xT3	996 €	561 €	1.162 €	1.723 €	727 €
10xT3	996 €	588 €	1.248 €	1.836 €	840 €

No caso da instalação para 5 apartamentos, o ponto de funcionamento da instalação a CC deu origem à selecção de uma bomba circuladora cujo seu P.V.P. é superior ao da bomba de CV do circuito secundário. Esta foi a única situação em tal aconteceu.

Constata-se que, com o uso de bombas de rotor imerso, os custos associados à aquisição de uma bomba de caudal variável não são assim tão mais elevados quando comparados com a aquisição de uma bomba de caudal constante.

O preço de aquisição das electrobombas circuladoras acaba por ser o elemento que mais pesa na diferença de custos entre as duas instalações. Embora a instalação a CV obrigue o uso de um maior número de válvulas de seccionamento e de *bypass*, na instalação a CC acabamos por ter um custo superior na aquisição de tubagem e respectivo material de isolamento devido a forma como o retorno é efectuado nesse tipo de instalação.

5.6 Análise do retorno do investimento

Sabendo os consumos anuais de energia eléctrica e os custos de aquisição dos dois sistemas, estão reunidas as condições para determinar o tempo de retorno ao investimento, caso exista, efectuado com a aquisição de uma instalação a caudal variável.

Como se pode verificar no capítulo anterior, a instalação a CV é aquela em que o investimento inicial é superior quando comparada com a instalação a CC. No ano zero a instalação a CC começara com um valor de 0 €, enquanto que a instalação a CV começara com o valor igual à diferença de custos de aquisição de equipamentos entre os dois sistemas, nos anos seguintes é somado o valor do custo da energia eléctrica consumida por ano.

O retorno irá ser verificado quando as duas curvas se intersectarem.

A análise aos custos de exploração foi feita a 20 anos. Tendo em conta que o preço do kWh ao fim de 20 anos será superior ao custo no primeiro ano, teve que se estimar um aumento anual no preço da energia.

Considerando um tarifário simples onde a potência contratada é superior a 2,3 kVA, o custo em 2012 do kWh é de 0,1393 € [14]. Segundo os dados do ano de 1997 o preço encontrava-se nos 0,0917 €, o que se reflecte num aumento médio anual de 0,0045 €.

Com base nesse aumento médio construiu-se uma tabela com uma estimativa do preço do kWh para cada um dos 20 anos considerados.

Tabela 5.22 – Preço da energia em cada ano

Ano	Preço kWh €	Ano	Preço kWh €
1º	0,1393	11º	0,1843
2º	0,1438	12º	0,1888
3º	0,1483	13º	0,1933
4º	0,1528	14º	0,1978
5º	0,1573	15º	0,2023
6º	0,1618	16º	0,2068
7º	0,1663	17º	0,2113
8º	0,1708	18º	0,2158
9º	0,1753	19º	0,2203
10º	0,1798	20º	0,2248

1 Fogo T3

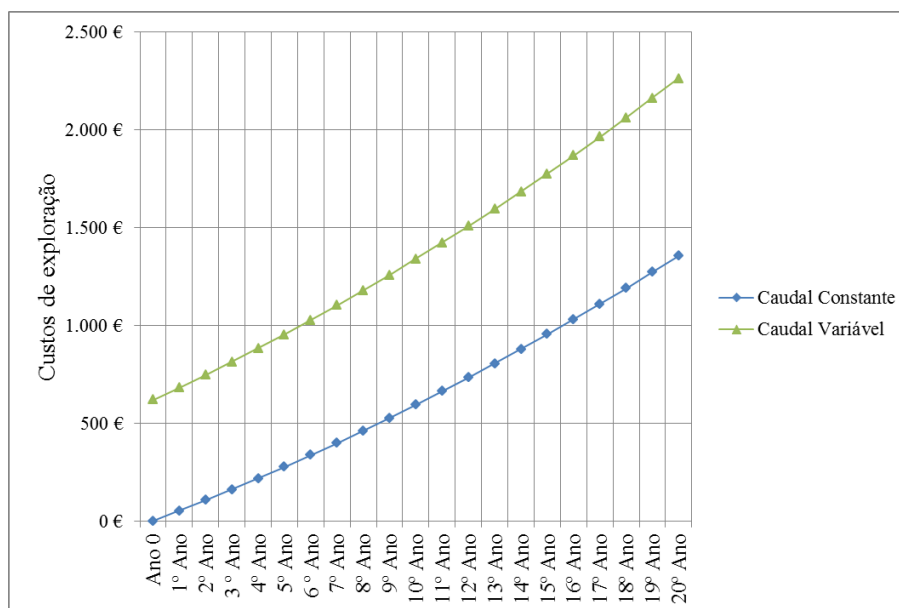


Figura 5.2 – Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 1 fogo T3

O maior custo da instalação a CV e o seu maior consumo anual em termos de energia eléctrica, leva a que a curva de exploração do CV, com o avançar dos anos, se vá distanciando da curva a CC, querendo isto dizer que neste caso nunca existirá retorno caso a opção recaia por uma instalação a CV.

Ao fim dos 20 anos de exploração, registar-se-ia, com uma instalação a CV, um consumo por parte das electrobombas igual a 9040 kWh, ao passo que com a instalação a CC, o consumo seria de 7440 kWh. A diferença ao fim dos 20 anos de exploração seria de 1600 kWh.

2 Fogos T3

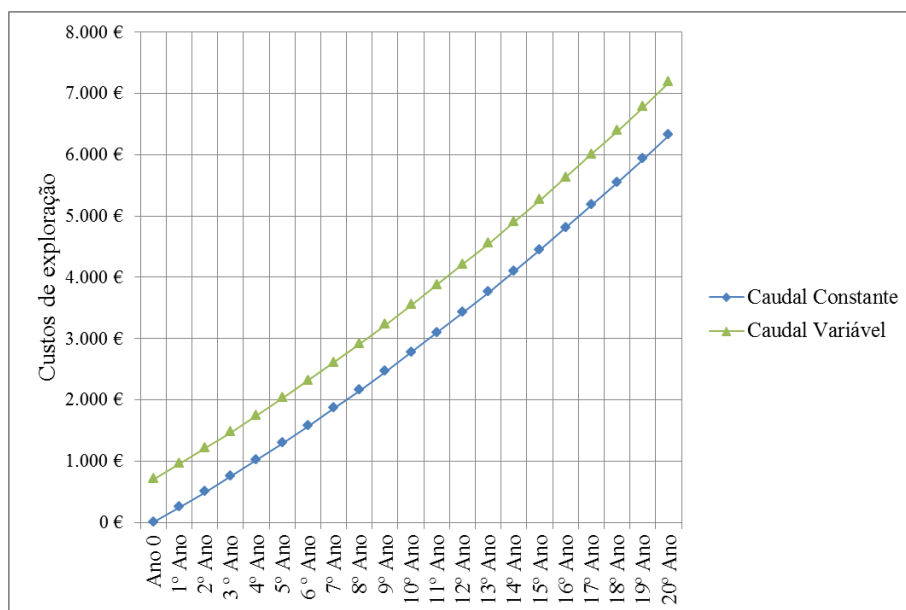


Figura 5.3 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 2 fogos T3

Não é verificado qualquer retorno ao investimento efectuado na instalação a CV. Existe praticamente um “paralelismo” entre as duas curvas, isto porque a diferença anual de consumo entre os dois sistemas é de apenas 43 kWh, o que faz com que o custo de exploração ao fim de 20 anos difere apenas em 860€, sendo que a instalação a CV obrigava a um investimento inicial superior em 705€ quando comparada com a instalação a CC.

Neste caso não existe qualquer proveito em adquirir uma instalação a caudal variável, uma vez que estamos perante um sistema mais caro e que não apresenta qualquer vantagem do ponto de vista energético.

3 Fogos T3

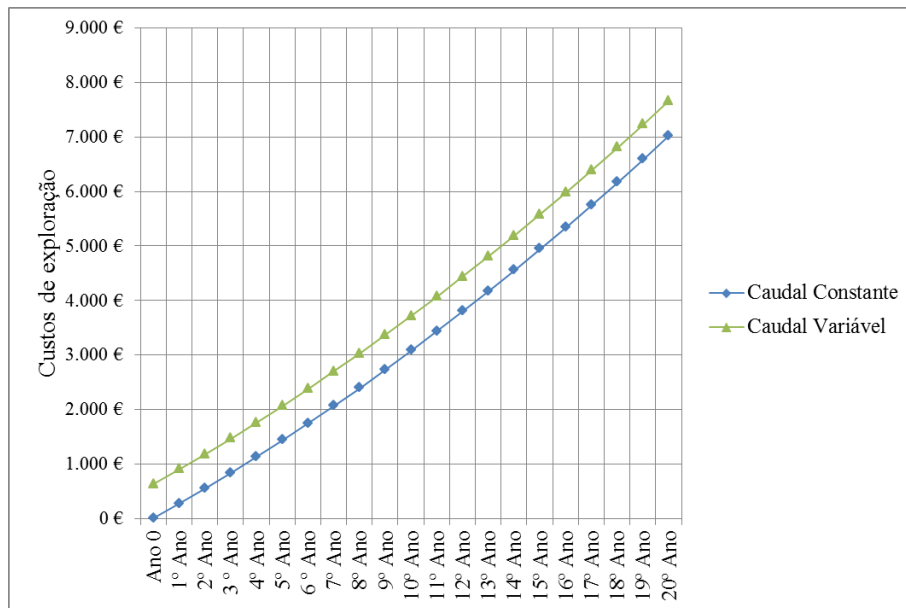


Figura 5.4 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 3 fogos T3

Não existirá retorno financeiro caso a opção seja a instalação de um sistema a CV, a explicação encontra-se no facto do consumo anual dos dois sistemas ser praticamente o mesmo, no caso do CC o consumo anual é de 1927 kWh, ao passo que no caso do CV o consumo é anual é de 1932 kWh.

Como o sistema a CV obriga a um investimento inicial superior ao do CC, mais concretamente de 629 €, o retorno não se virá a verificar.

4 Fogos T3

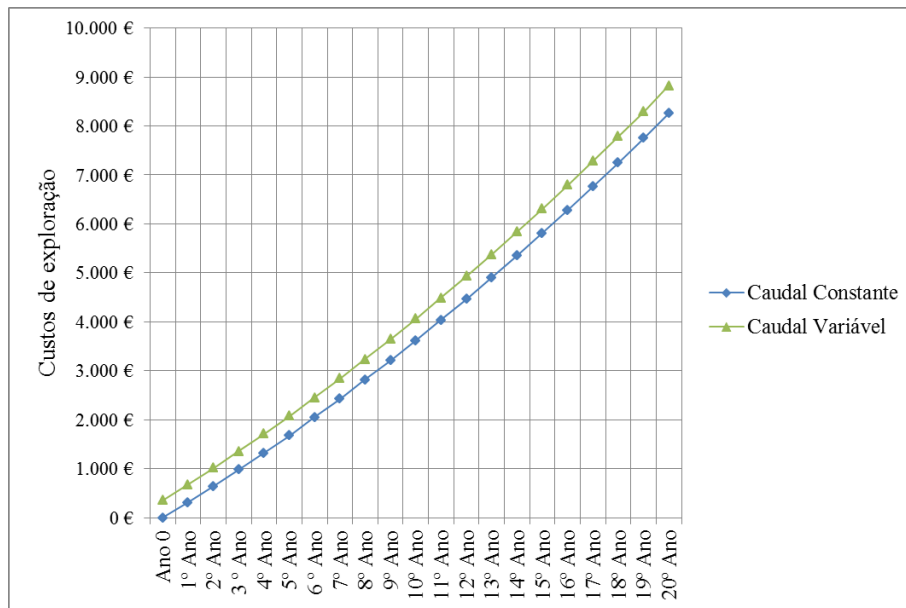


Figura 5.5 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 4 fogos T3

A situação de 4 fogos é muito semelhante ao caso anterior, de 3 fogos: aqui também a instalação a CV tem um consumo anual superior (2324 kWh) quando comparado com a instalação a CC (2269 kWh).

Uma vez que a aquisição de um sistema a CV também irá obrigar a um maior investimento, o retorno financeiro nunca se irá verificar.

5 Fogos T3

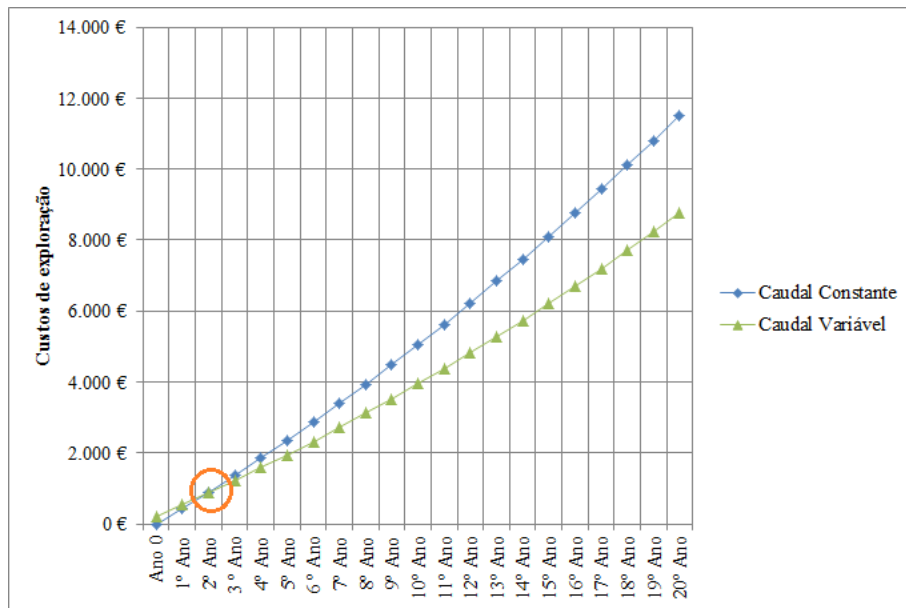


Figura 5.6 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 5 fogos T3

De todos os sistemas simulados este foi aquele em que o retorno de investimento registou um período menor. Neste caso, ao fim do segundo ano, o sistema de CV já registava um retorno ao seu investimento inicial.

A explicação encontrada para este facto é a de que foi também nesta situação que se registou uma menor diferença na aquisição dos equipamentos para a instalação a CV, onde se obteve uma diferença de apenas 207 €. Este facto, aliado ao consumo energético da instalação a CC ser em 34,8% superior, levou a que os 207 € sejam rapidamente superados pela factura energética dos consumos associados ao CC.

6 Fogos T3

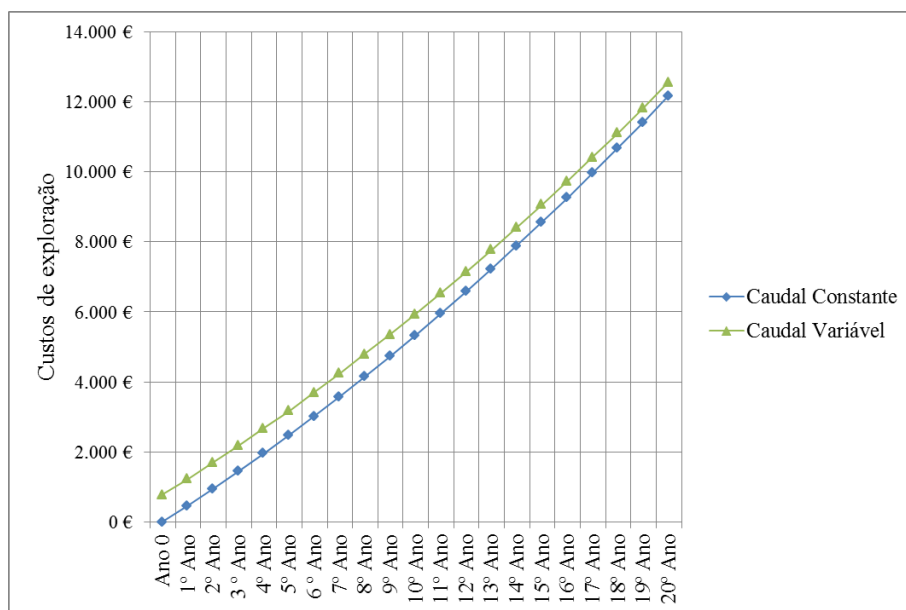


Figura 5.7 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 6 fogos T3

Vê-se claramente que existe uma tendência para que a curva de CC se vá aproximando da curva a CV, no entanto mesmo ao fim de 20 anos de exploração, a instalação a CV ainda não obteve retorno ao seu investimento inicial.

No ano zero, a diferença entre os dois sistemas cifra-se em 784 €; ao fim de 20 anos de exploração obteve-se um custo de exploração de 12.567 € para a instalação a CV e um de 12.184 € para a instalação a CC, sendo que a diferença entre os dois diminui para os 383 €.

7, 8, 9 e 10 Fogos T3

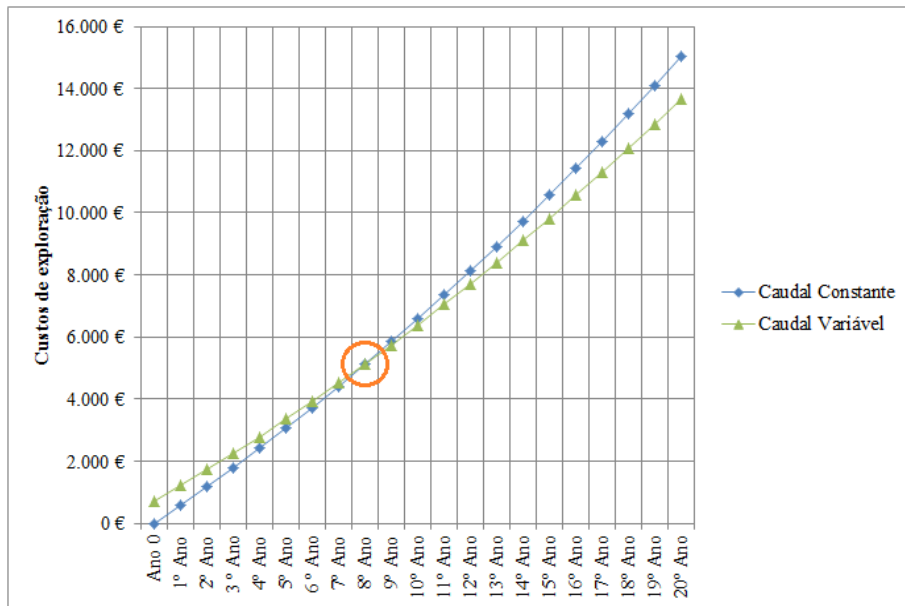


Figura 5.8 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 7 fogos T3

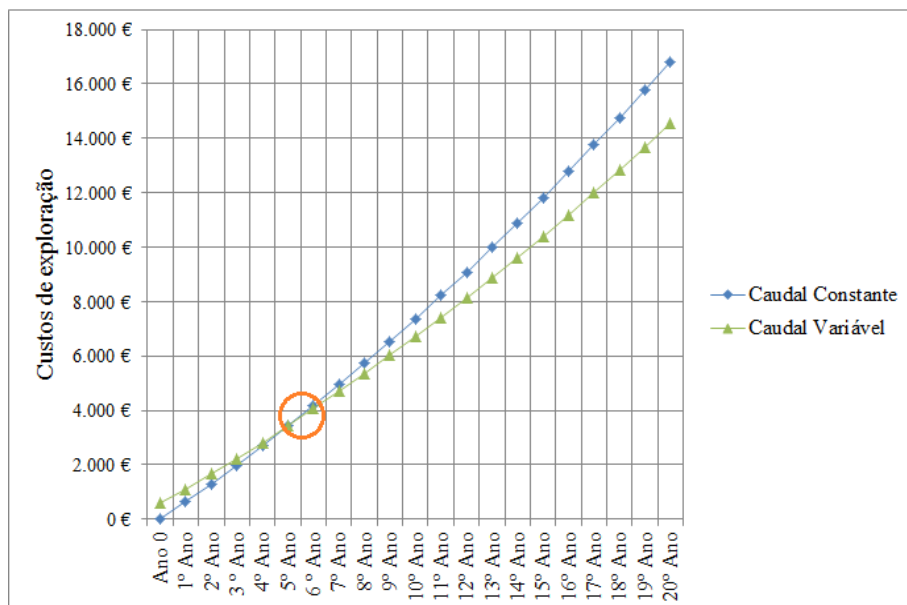


Figura 5.9 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 8 fogos T3

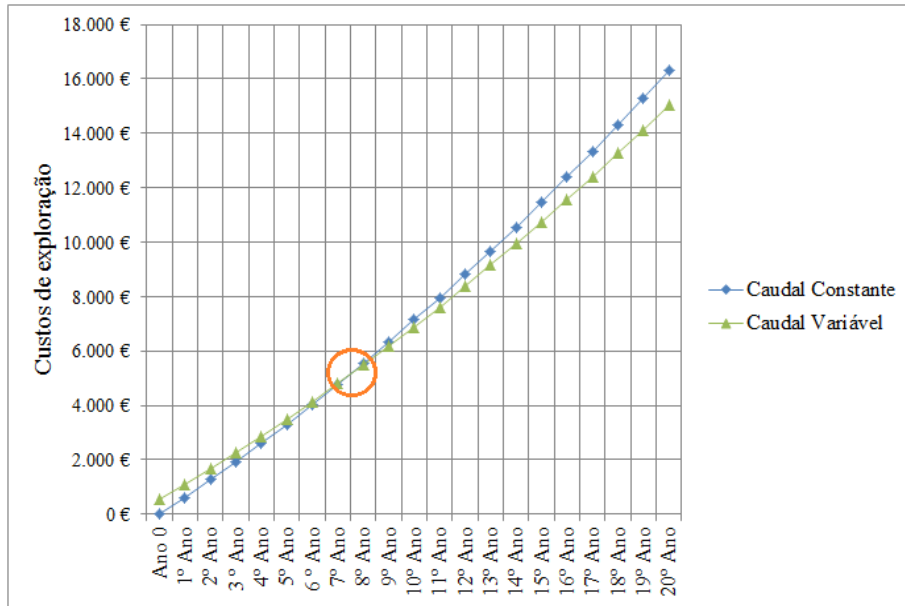


Figura 5.10 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 9 fogos T3

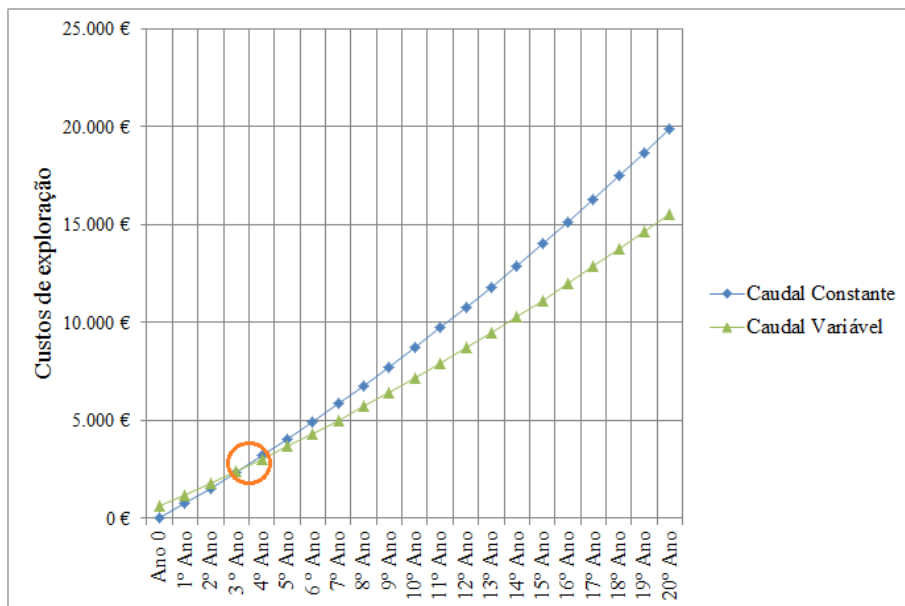


Figura 5.11 - Análise dos custos de investimento Vs custos de exploração a 20 anos dos dois sistemas para 10 fogos T3

Para as quatro situações anteriormente expostas, ou seja, para as instalações com um número de fogos compreendidos entre os 7 e os 10 fogos, em todos eles se obteve um retorno de investimento entre os 4 e os 9 anos.

Pode-se afirmar que chegando a um número de apartamentos igual a 10, tendo instaladas ao todo 40 unidades ventiloconvector, é um número suficiente para verificar que a tendência será claramente de apostar em sistemas a caudal variável, caso se pretenda um número superior de fogos, e conseqüentemente uma maior número de unidades ventiloconvector.

Tabela 5.23 – Resumo dos períodos de retorno ao investimento efectuado

Nº Fogos	1xT3	2xT3	3xT3	4xT3	5xT3	6xT3	7xT3	8xT3	9xT3	10xT3
Retorno	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	2 anos	n.v.	9 anos	6 anos	8 anos	4 anos

(n.v. : não se verifica)

6 CONCLUSÕES

A realização deste trabalho permitiu responder às questões que foram levantadas no capítulo 1, que, por sua vez, podem vir a mudar a ideia de como o mercado aborda a questão das instalações domésticas de AVAC de caudal variável.

Com este trabalho foi possível concluir qual a influência que o recurso a duas bombas circuladoras, uma a ser instalada no circuito primário e a outra no secundário, pode ter nos consumos energéticos das instalações simuladas.

No que a consumos energéticos diz respeito, ficou provado que uma instalação a caudal variável não é, por si só, logo à partida, uma mais valia em termos de consumos anuais de energia eléctrica. Isto é demonstrado pela verificação, através deste trabalho, de que é a partir de um número de fogos T3 igual a 5 que as instalações a CV começam a obter consumos energéticos inferiores aos verificados nas instalações a CC. Poderá isto dizer também que é a partir das 20 unidades interiores ventiloconvector (com potências compreendidas entre os 0,8 kW e 2,0 kW, que correspondem, respectivamente, caudais de 137 l/h e 364 l/h), perfazendo uma instalação com uma potência total de 23,1 kW e um caudal de água de 3973 l/h, que existe vantagem em optar por uma instalação a caudal variável.

As instalações de AVAC domésticas irão trabalhar num maior número de horas a uma percentagem de carga de 50%. Conclui-se daqui que, na maior parte do seu tempo de funcionamento, as bombas de caudal variável, instaladas no circuito secundário, irão debitar metade do caudal máximo de projecto.

Em cerca de 80% do período de funcionamento destas instalações, as mesmas encontram-se a operar num intervalo de percentagem de carga entre os 20 e os 60%. Em metade das horas anuais de funcionamento os sistemas encontram-se a trabalhar entre os 30 e os 50%.

As horas em que um sistema se encontra a trabalhar a 100%, ou seja, a trabalhar a caudal máximo, são manifestamente residuais, quando comparadas com as 8760 horas que um ano contempla. Esse valor apenas é atingido durante os horários de fim-de-semana – quando se regista uma maior ocupação das divisões das habitações – nos meses de Julho e Agosto – ou seja, quando se registam os maiores valores de temperatura exterior e de radiação solar – que

levam a que os valores de carga térmica das respectivas divisões atinjam valores mais elevados.

No que diz respeito à diferenciação dos custos de aquisição dos equipamentos para os dois tipos de instalação, o custo das bombas circuladoras é aquele que tem maior peso quando se comparam os dois sistemas. Uma instalação a CC obriga a uma maior instalação de tubagem, e conseqüente maior quantidade de isolamento, mais concretamente na tubagem de retorno, devido à necessidade do retorno ser do tipo “retorno invertido”.

Os gastos despendidos na aquisição de válvulas de equilíbrio dinâmico e válvulas *bypass* numa instalação a CV, é praticamente coberto pela necessidade de aquisição de mais tubagem para o circuito de retorno da instalação a CC.

Quanto ao retorno ao investimento, a situação onde o tempo de retorno foi inferior – 2 anos apenas – foi no caso onde o número de fogos T3 era igual a 5, no entanto apenas a partir de um número de fogos superior ou igual a 7 é que o sistema começou a estabilizar e a responder de forma positiva – com tempos de retorno entre os 4 e os 9 anos – no que a retorno ao investimento se pode considerar. Já para um número de fogos até 4 e igual a 6, durante um período de 20 anos de exploração, não houve qualquer registo de retorno financeiro.

7 REFERÊNCIAS

- [1] IEA – International Energy Agency (2009) – *World Energy Outlook 2009*.
- [2] CEMEP (2011) – *Electric Motors and Variable Speed Drives: Standards and legal requirements for the energy efficiency of low-voltage three-phase motors*, Frankfurt.
- [3] Hydraulic Institute; Europump; U.S. Department of Energy (2004) – *Variable Speed Pumping: A Guide to Successful Applications*.
- [4] NONNENMANN, James J. – *Chilled Water Plant Pumping Scheme*. Stanley Consultants, Inc. Muscatine, Iowa.
- [5] BALDWIN, David A. (1985) – *Variable Flow Chilled Water Systems*. Pacific Gas and Electric Company Sunnyvale, California.
- [6] BAHNFLETH, William P.; PEYER, Eric (2001) – *Comparative Analysis of Variable and Constant Primary-Flow Chilled-Water-Plant Performance*. The Pennsylvania State University, University Park.
- [7] BAHNFLETH, William P.; PEYER, Eric (2004) – *Variable Primary Flow Chilled Water Systems: Potential Benefits and Application Issues*. The Pennsylvania State University, University Park.
- [8] TAYLOR, Steven T. – *Primary-Only vs. Primary-Secondary Variable Flow Systems*. ASHRAE Journal, February 2002.
- [9] INE – Instituto Nacional de Estatística (2011) – *Estatísticas da Construção e Habitação 2010*. Lisboa.
- [10] Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, *Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios* (RCCTE), Diário da República, 4 de Abril de 2006.
- [11] BALTAZAR, Nuno Gonçalo (2010) – *Projecto AVAC para um Edifício Habitacional Multifamiliar*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.
- [12] dos SANTOS, Carlos A. Pina; MATIAS, Luís (2006) – *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [13] ROCHA, M. Silva (1981) – *Radiação Solar Global em Portugal Continental*. Revista do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica.
- [14] EDP Serviço Universal (2012) – *Tarifas de Vendas a Clientes Finais em BTN em Portugal Continental*.

8 ANEXOS

Lista de Anexos:

- Anexo I – Planta do piso R/C
- Anexo II – Plantas do traçado da tubagem e distribuição dos ventiloconvectores
- Anexo III – Esquemas de princípio das instalações
- Anexo IV – Cargas térmicas
- Anexo V – Exemplo de um relatório de cargas térmicas do HAP
- Anexo VI – Factores de correcção da radiação solar
- Anexo VII – Horários de ocupação, iluminação e equipamentos eléctricos