



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Análise dos consumos energéticos nos HUC e medidas para a racionalização da energia térmica: caso de estudo produção de vapor**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Sistemas de Produção

**Autor**

**Ricardo Jorge Rodrigues Trindade**

**Orientador**

**Prof. José Carlos Miranda Góis**

**Eng<sup>o</sup> Victor Paulo Rodrigues Pais**

**Júri**

**Presidente Professor Doutor Pedro de Figueiredo Vieira Carvalheira**

**Vogais Professor Doutor José Manuel Baranda Rbeiro  
Professor Doutor José Carlos Miranda Góis  
Engenheiro Vítor Paulo Rodrigues Pais**



**Hospitais da  
Universidade de  
Coimbra**

**Coimbra, Setembro, 2012**

## Agradecimentos

Estando a terminar esta etapa da minha formação acadêmica não posso deixar de agradecer a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para harmonizar, apoiar e ensinar este meu percurso de aprendizagem, em particular a realização da tese. Sem eles esta caminhada não teria sido tão prazerosa, desafiadora e aliciante. De seguida, e não por ordem de importância agradeço:

Ao Doutor José Carlos Góis, por toda a ajuda, dedicação, pelos momentos de enorme enriquecimento científico e prático, e por ter estimulado este meu processo de aprendizagem, sem este verdadeiro apoio, talvez não fosse possível.

Ao Engenheiro Victor Pais pela sua disponibilidade e fornecimento de toda a informação solicitada, bem como ao Engenheiro Álvaro Lapa pelo seu apoio e dedicação em explicar todo o funcionamento da central térmica na minha fase inicial e também aos funcionários do Serviço de Instalações e Equipamentos dos HUC.

Aos meus pais e irmãs, pelos princípios transmitidos que me tornaram na pessoa que hoje sou e pelo esforço feito ao longo de todo o meu percurso académico.

À Andreia, por todo o amor e dedicação, por estar sempre presente e principalmente por toda a paciência ao longo desta etapa.

Aos meus amigos mais diretos que me apoiaram quando mais precisei e que sempre acreditaram em mim, nomeadamente, Titá, Mãe-Titá, Fernando Vicente, Carlos Costa e Gerlandi.

A todos os restantes que estiveram comigo na concretização deste trabalho e que não tiveram uma palavra mais individualizada nestes agradecimentos.

Obrigado!

## Resumo

Os hospitais são edifícios que operam durante todo do ano, 24 horas por dia, consumindo energia em diferentes formas para garantir o bom funcionamento, com a qualidade e o conforto que os pacientes merecem. Para manter um adequado ambiente interior em teatros cirúrgicos e em todo o hospital é necessário um eficiente e eficaz controlo térmico, uma vez que se trata de edifícios que apresentam um alto consumo específico de energia por unidade de área.

Os Hospitais da Universidade de Coimbra (HUC) são um dos maiores hospitais do país e também um dos que oferece maior número de serviços aos utentes, tendo por isso uma alta ocupação permanente. Por razões ambientais, impostas pela legislação europeia e por razões económicas associadas à escalada dos preços dos combustíveis, as sucessivas administrações dos HUC têm vindo a considerar como prioridade a racionalização da energia. Neste trabalho é efetuado o levantamento dos consumos de energia eléctrica e térmica, e calculadas as médias de consumos específicos e comparados os valores obtidos com os de outros hospitais nacionais e internacionais. Os HUC têm um consumo de energia eléctrica por cama inferior à média dos hospitais nacionais e próximo da média dos hospitalares internacionais. Já no que concerne à energia térmica, têm um consumo por cama superior ao dos hospitais nacionais, mas muito inferior aos hospitais internacionais. No sentido de baixar o consumo de energia térmica associada à produção de vapor, é feita uma análise dos possíveis ganhos energéticos e económicos, ainda que sem considerar os investimentos necessários, com o reaproveitamento dos condensados para formação de vapor *flash* para utilizadores que operam a mais baixas pressões.

**Palavras-chave:**

Hospitais, Consumo de energia, Análise energética, Eficiência energética.

## Abstract

Hospitals are buildings that work 24 hours per day during all the year consuming different types of energy to ensure the quality, comfort and care required to patients. In order to achieve an efficient and effective thermal control to maintain a suitable quality environment in surgical theatres and other areas of the hospital an high energy consumption per unit area is required.

The Hospitals of the University of Coimbra (HUC) is one of the largest in Portugal with a large number of services and therefore an huge permanent occupation. Due of environmental and economic reasons set by European legislation and fuel price rise the administration of HUC has been conducted reforms to reduce the consumption of energy. Data consumptions of electricity and thermal energy are collected and energy ratios are obtained and compared with other hospitals in Portugal and around the World. The HUC have electrical energy consumption per bed lower than the national average and is near the international average consumption for hospitals. Regarding thermal energy consumption per bed the value is higher than the national average but much lower than the international average for hospitals. In order to reduce the thermal energy consumption associated with the production of steam is performed the analysis of the potential energy gains with the reuse of the condensates to produce *flash* steam for users operating at lower pressures.

**Keywords** Hospitals, Energy consumption, Energetic analysis, Energetic efficiency.

---

## Índice

Índice de Figuras .....	vi
Índice de Tabelas .....	viii
Nomenclatura.....	ix
Acrónimos .....	1
1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1. Enquadramento .....	3
1.2. Objetivos.....	5
1.3. Metodologia.....	6
1.4. Estrutura da dissertação .....	7
2. ESTADO DA ARTE DA RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA NO SETOR HOSPITALAR .....	8
2.1. Legislação e planos para o aumento da eficiência energética de edifícios e equipamentos.....	8
2.2. Indicadores específicos dos consumos energéticos .....	16
2.2.1 Indicadores dos consumos energéticos mundiais.....	16
2.2.2 Indicadores dos consumos energéticos em hospitais .....	20
2.3. Casos de estudo da racionalização de energia em hospitais .....	24
2.4. Medidas gerais para racionalização de energia em hospitais.....	25
2.4.1 Medidas de racionalização de energia ao nível da estrutura do edifício e dos equipamentos.....	26
2.4.2 Medidas recentes em termos energéticos e ambientais nos HUC .....	37
3. CARATERÍSTICAS DAS INFRAESTRUTURAS E SERVIÇOS DOS HUC .....	39
3.1. Serviços e recursos humanos .....	39
3.2. Caraterização do edifício e equipamentos de produção de energia .....	41
4. ANÁLISE DOS CONSUMOS DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA DOS HUC	45

---

4.1. Caraterização da instalação térmica de produção de calor e frio .....	47
4.2. Histórico dos consumos de combustível e custos estimados da produção de energia térmica .....	54
4.3. Histórico dos consumos e custos da energia eléctrica .....	58
4.4. Cálculo do consumo médio de vapor por serviço .....	62
5. RESULTADOS DAS POUPANÇAS DE ENERGIA TÉRMICA COM A RECUPERAÇÃO DOS CONDENSADOS .....	66
5.1. Metodologia aplicada e cenários estudados .....	66
5.2. Análise energética e económica dos cenários estudados .....	70
6. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO .....	72
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
ANEXO A - ESQUEMA DE PRINCIPIOS .....	77
ANEXO B - CÁLCULO DO CONSUMO médio de VAPOR por serviço .....	78
ANEXO C – FOLHA EXCEL® USADA PARA O CÁLCULO DO CAUDAL DE VAPOR FLASH .....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Acompanhamento pelo perito nas várias fases do edifício (Fonte: ADENE, 2012). .....	13
Figura 2.2 - Calendarização do SCE (Fonte: ADENE, 2012). .....	13
Figura 2.3 - Comparação do consumo de energia mundial ao longo dos anos. ....	17
Figura 2.4 – Indicadores energéticos mundiais referentes ao ano de 2009. ....	17
Figura 2.5 – Perfis de consumos de energia, comparação entre China, US e EU (BP Statistical Review of world Energy, 2011). ....	18
Figura 2.6 - Consumo de energia por sector na China 2010 (China Statistical Yearbook, 2011). ....	18
Figura 2.7 - Consumo de energia por sector dos EUA referente a 2010 (NREL, 2010). ....	18
Figura 2.8 - Consumo de energia por sector na Europa 2009 (Eurostat, 2009). ....	19
Figura 2.9 - Consumo mundial de energia por sector referente a 2011 (EIA, 2012). ....	19
Figura 2.10 – Consumo de energia final por sector em Portugal referente ao ano 2010 (DGEG, 2011). ....	19
Figura 2.11 – Intensidade de energia em edifícios públicos (Statistics Norway, 2009). ....	20
Figura 2.12 - Comparação de consumos energéticos entre Hospital Melbourne e Brisbane referente a 2009 (Burger and Newman, 2010). ....	21
Figura 2.13 – Consumo de electricidade e combustíveis por sectores hospitalares (CADDET,1997). ....	21
Figura 2.14 – Consumo energético anual em hospitais (Environment Science Center, 2004). ....	22
Figura 2.15 – Distribuição da margem do potencial PEP por sector de actividade económica no âmbito dos “Serviços” até 2020. ....	24
Figura 3.1 – Fluxo de doentes nos HUC (HUC, 2011). ....	40
Figura 3.2 – Peso relativo dos grupos profissionais (Balanço Social, HUC (2010)). ....	40
Figura 3.3 - Perspectiva 3D do edifício central. ....	42
Figura 3.4 - Área útil de pavimento consoante a categoria de serviço (Elabora com base na Tabela 3.2). .	42
Figura 3.5 – Esquema de produção e distribuição do vapor. ....	44
Figura 4.1 – Fontes de energia dos HUC. ....	45
Figura 4.2 – Distribuição energia nos consumos globais em percentagem. ....	46
Figura 4.3 – Distribuição dos custos anuais de despesas não relacionadas com a saúde (dados relativos a 2010, baseados na Tabela 4.4 e Tabela 4.7). ....	46
Figura 4.4 – Distribuição de vapor por os diferentes serviços e operações em percentagem. ....	46
Figura 4.5 - Caldeira 1 ou 2 (são ambas iguais) equipadas com queimador dual (GN/Gasóleo) .....	48
Figura 4.6 - Caldeira 3, equipada com queimador de Gasóleo .....	48
Figura 4.7 – Economizador de uma das caldeiras da central térmica dos HUC e registo de temperaturas num dia de verão; .....	48

---

Figura 4.8 – Simplificação do esquema de princípios do circuito de vapor da central térmica, com indicação das pressões relativas para os diferentes serviços. ....	51
Figura 4.9 – Depósito de reaproveitamento de condensados para produção de vapor <i>flash</i> para pré-aquecimento de AQS para os pisos altos. ....	52
Figura 4.10 – <i>Chillers</i> de compressão – Carrier. ....	54
Figura 4.11 – Evolução do consumo anual de Nafta em m <sup>3</sup> e o nº de camas. ....	55
Figura 4.12 – Consumo médio mensal de Nafta entre 2002 e 2010 e comparação com o ano de 2005 (onde se verificou os valores mais altos dos últimos 10 ano), em m <sup>3</sup> . ....	56
Figura 4.13 – Consumo anual de água em m <sup>3</sup> . ....	56
Figura 4.14 – Comparação da facturação anual da água e Nafta. ....	57
Figura 4.15 – Consumo anual de energia eléctrica e custo associado. ....	60
Figura 4.16 – Distribuição de consumos da energia eléctrica no total do consumo eléctrico dos HUC. ....	61
Figura 4.17 – Distribuição do consumo anual de iluminação por categoria de serviço. ....	62
Figura 4.18 – Consumo médio mensal de vapor em tonelada. ....	63
Figura 4.19 – Variação de consumo médio de vapor por turno para cada estação do ano (verão e inverno) em tonelada. ....	63
Figura 4.20 – Exemplo do cálculo do caudal máximo diário de vapor (em kg) por serviço, efetuado em folha de Excel®, por acerto com o consumo médio mensal de combustível. ....	64
Figura 5.1 - Respiro do depósito atmosférico da central térmica dos HUC. ....	66
Figura 5.2 – Fracção de vapor <i>flash</i> para cada serviço passando da sua pressão inicial para a pressão do depósito de reevaporação. ....	67
Figura 5.3 – Esquema actual de recuperação dos condensados antes da descarga do depósito atmosférico (são considerados os cenários de inverno e verão). ....	68
Figura 5.4 - Esquema para a instalação de dois depósitos de reevaporação (os valores determinados contemplam o cenário 3 de Inverno). ....	69
Figura 5.5 - Esquema do cenário-3 para o período de verão o, com caudais e pressões dos condensados remanescentes. ....	69

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Medidas de eficiência energéticas em Portugal (Fonte: ADENE, 2012). .....	14
Tabela 2.2 – Estado da execução das medidas (Fonte: ADENE, 2012).....	15
Tabela 2.3 – Gastos energéticos do HSJ (os dados encontrados estão colocados a negrito). .....	23
Tabela 2.4 – Gastos energéticos do CHLP (os dados encontrados estão colocados a negrito). .....	23
Tabela 3.1 – Avaliação comparativa (em percentagem) da qualidade apercebida e da satisfação do utente dos hospitais (Relatório da ACSS, 2008). .....	40
Tabela 3.2- Área útil de pavimento consoante o tipo de serviço. ....	43
Tabela 3.3 - Área útil do edifício Cirurgia Cardiorácica.....	43
Tabela 3.4- Área útil do edifício S. Jerónimo. ....	43
Tabela 3.5 – Especificações técnicas das caldeiras dos HUC. ....	44
Tabela 3.6 – Informações técnicas dos <i>Chillers</i> dos HUC. ....	44
Tabela 4.1 – Características dos permutadores de calor dos Ventilconvetores. ....	50
Tabela 4.2 - Características dos permutadores de calor das AQS. ....	50
Tabela 4.3 – Consumos anual de energia térmica dos HUC. ....	54
Tabela 4.3 – Consumos anual de energia térmica dos HUC. ....	55
Tabela 4.4 – Fatura anual de Nafta e Água.....	57
Tabela 4.5 – Comparação de consumos médios de energia primária em hospitais nacionais.....	58
Tabela 4.6 – Análise global do consumo médio anual de energia térmica.....	58
Tabela 4.7 - Consumos de energia elétrica dos HUC.....	59
Tabela 4.8 - Comparação de consumos médios de electricidade em hospitais nacionais. ....	59
Tabela 4.9 - Análise global do consumo médio anual de energia elétrica.....	60
Tabela 4.10 – Consumo médio anual da iluminação por categoria de serviço. ....	61
Tabela 4.11 – Balanço anual médio de Nafta e Vapor. ....	64
Tabela 4.12 - Consumo e custo médio anual de vapor por serviços e equipamentos. ....	65
Tabela 5.1 – Comparação dos caudais de vapor e água de reposição entre os cenários escolhidos e o atual. ....	70
Tabela 5.2 - Comparação dos ganhos económicos em vapor e água de reposição entre os cenários escolhidos e o actual.....	71

---

## NOMENCLATURA

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidades</b>
$P$	Potência	<b>w</b>
t	Tonelada	t
tep	Toneladas equivalentes de petróleo	tep
P	Pressão	bar
T	Temperatura	°C
m	Caudal	kg/h
$h_l$	Entalpia específica do líquido	kJ/kg
$h_e$	Entalpia específica de evaporação	kJ/kg
$h_s$	Entalpia específica do vapor	kJ/kg

---

## ACRÓNIMOS

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

ARS - Administrações Regionais de Saúde

AVAC - Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

COP – coefficient of performance

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

DR – Depósito de Reevaporação

Eco.AP - Programa de Eficiência Energética na Administração Pública

EUA – Estados Unidos da América

GEE – Gases com Efeito Estufa

GN – Gás Natural

HUC – Hospitais da Universidade de Coimbra - EPE

IEA – International Energy Agency

INE- Instituto Nacional de Estatística

LED – Light-Emitting Diode

MEID - Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento

PE – Parlamento Europeu

PEBC - Plano Estratégico do Baixo Carbono no sector da Saúde

PIB – Produto Interno Bruto

PNAEE - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

PNAER - Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis

PRCE - Plano de Racionalização dos Consumos de Energia

QAI – Qualidade de ar Interior

RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RGCE - Regulamento de Gestão do Consumo de energia

RGCE – Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SNS - Serviço Nacional de Saúde

SUCH - Serviço de Utilização Comum dos Hospitais

UE – União Europeia

---

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

Os hospitais são instituições que cuidam de pessoas doentes ou feridas e geralmente são ocupadas 24 horas por dia, durante todo o ano. Consistem em grandes edifícios e caracterizam-se por um elevado nível de ocupação e de equipamentos em funcionamento. Para assegurar o funcionamento com as condições de conforto térmico devido, nas diferentes áreas do hospital. As unidades hospitalares consomem grandes quantidades de eletricidade e de combustíveis. O custo da energia utilizada em hospitais, como em outros tipos de instalações, está sujeito às forças do mercado, como as suas variações de preços e impostos, bem como às novas formas de produção de energia e prevê-se que o custo da energia continue a aumentar a médio-longo prazo. Vários estudos revelam que os custos da energia aumentaram cerca de 20% desde 1995 e tendem a aumentar cada vez mais, atingindo valores 25% superiores aos atuais em cinco anos (U.S. Department of Energy, 2010). Muitos relatórios apresentam estatísticas sobre a disponibilidade dos recursos energéticos esperados e apresentam diferentes graus de otimismo (British Petroleum, 2012; DGEG, 2012a; DGEG, 2012b). Embora existam diferentes ideias e pontos de vista, é claro que, por razões económicas ou ambientais, se deve continuar a desenvolver esforços para reduzir o consumo de energia, especialmente quando esta depende de recursos não renováveis.

O aumento da esperança média de vida, o desenvolvimento técnico e científico a que assistimos nas últimas décadas e a crescente oferta de cuidados de saúde à população fizeram aumentar os gastos do sector da saúde nos países desenvolvidos e Portugal não é exceção. O nosso país gasta cerca de 9,8% do Produto Interno Bruto (PIB) com a saúde, o que equivaleu a 16.727,7 milhões de euros no ano de 2011, segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2012). A necessidade de rentabilizar investimentos e racionalizar despesas na saúde há muito que é sublinhada, no entanto a grave crise económica que o país atravessa – e que obrigou a um pedido de ajuda externa em Abril de 2011 – precipitou cortes mais acentuados em todos os sectores públicos. O Ministério da Saúde é um dos que mais sofre com os cortes impostos: terá uma dotação orçamental de 7.952,1 milhões de euros para gerir em 2012, menos 710 milhões do que no ano anterior

(Ministério das Finanças, 2011). O Serviço Nacional de Saúde (SNS) perde cerca de 600 milhões de euros de financiamento do Estado, sendo metade desta redução imposta aos hospitais (Ministério das Finanças, 2011). A ordem é agora para reduzir as despesas e o Governo está a por em prática uma série de medidas de combate ao desperdício e de ganhos em eficiência. Há, no entanto, ainda muito trabalho a fazer, tendo em conta que no final do primeiro trimestre deste ano, de acordo com o relatório Síntese da Execução Orçamental da Direcção Geral do Orçamento, o défice da saúde se situava nos 74 milhões de euros.

Os hospitais recebem uma das maiores fatias do financiamento nacional na área da saúde e é a estes que cabe, portanto, o maior esforço de rentabilização dos recursos financeiros, de forma a fazerem mais com o mesmo investimento. Sendo certo que a maior parte do orçamento de um hospital central, como é o caso dos Hospitais da Universidade de Coimbra (HUC) agora designado de Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra - EPE, vai para o pagamento de pessoal, existem parcelas de valor assinalável nos consumos e nos fornecimentos de serviços que são possíveis de reduzir, nomeadamente os gastos em energia. Regateiro, em relatório de gestão dos HUC, refere que em 2010 os custos globais atingiram um montante de 294,4 milhões de euros. Os custos em eletricidade foram de 2,207 milhões de euros e os em combustíveis de 1,478 milhões de euros (Regateiro, 2011).

Os hospitais têm assim de encontrar uma forma de fazer mais com menos. É necessário valorizar os Projetos de Eficiência Energética e Racionalização de Energia, para que haja alguma margem de lucro que possa ser usada para financiar os avanços tecnológicos e melhorar as condições de bem-estar a toda a população hospitalar. No sentido de aumentar a eficiência energética dos edifícios e responder à ameaça de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e preocupações ambientais, foram publicados na última década vários regulamentos de carácter legislativo, aplicáveis ao comportamento térmico dos edifícios e dos sistemas energéticos de climatização neles aplicáveis (Ministério da Economia das Obras Públicas, Transporte e Comunicações, 2006). Seja pela urgente contenção financeira seja por preocupações ambientais, nomeadamente a redução de emissões de Gases com Efeito Estufa (GEE)<sup>1</sup>, a redução da fatura energética é uma preocupação do Governo para os serviços públicos, por isso foi criado um Programa de Eficiência Energética na Administração Pública para reduzir em

---

<sup>1</sup> Entre os vários gases que constituem os GEE, podemos encontrar o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) ou o metano (CH<sub>4</sub>). O CO<sub>2</sub> tem maior importância para o cumprimento do Protocolo de Quioto

20% os gastos com energia nos edifícios públicos, tendo em vista uma poupança estimada de 400 milhões de euros em 10 anos. Estudos realizados pela Agência para a Energia (ADENE) revelam que mais de 45% da energia elétrica consumida pelo setor público vai para os hospitais, institutos e escolas. Neste cenário, o estudo sobre os consumos energéticos dos HUC e a análise de medidas para a racionalização de energia e aumento da eficiência energética torna-se pertinente.

## **1.2. Objetivos**

O presente trabalho debruça-se sobre a realidade dos Hospitais da Universidade de Coimbra, Entidade Pública Empresarial, uma unidade de referência para toda a região Centro e também a nível nacional - em algumas áreas como sejam a transplantação hepática pediátrica ou a transplantação cardíaca -, o maior hospital do país em número de camas (1344 em 30 de Setembro de 2011) e em número de doentes saídos de internamento (46000, valor estimado para o ano 2011) (Regateiro, 2011).

O objetivo primordial deste trabalho é a análise dos consumos energéticos e a discussão de soluções para a racionalização dos consumos energéticos ao nível hospitalar. A concretização desse objetivo passa pela análise dos consumos de eletricidade e de combustíveis e respetivos custos nos HUC, dando destaque ao segundo ponto, pois uma análise profunda de ambos tornaria o este trabalho muito extenso, tendo em conta o horizonte temporal para a realização deste trabalho.

A análise dos consumos associados à produção de energia térmica passa pelo cálculo dos consumos dos diversos circuitos de vapor, nomeadamente: Lavandaria, Ventilador-Convectores, S. Jerónimo, Esterilização, Humidificação, Cozinha, Piscinas e Aquecimento de Águas Sanitárias (AQS), tendo em conta os gastos mensais em combustível. A partir dos consumos médios de vapor são calculadas as poupanças em vapor e água de reposição e consequentes poupanças económicas que poderão advir do reaproveitamento do condensado, para serviços que operam a baixa pressão, baixando o desperdício no depósito atmosférico de recolha de condensados.

### 1.3. Metodologia

Para o desenvolvimento do estudo foi estabelecido um plano com diversas etapas:

Inicialmente foi efetuado um reconhecimento geral das instalações e dos diversos equipamentos da unidade central dos HUC, tendo por base o esquema do projeto inicial. Foram identificados os diversos circuitos de vapor que partem da central térmica e verificadas as alterações efetuadas ao longo do tempo, elaborando um novo esquema de princípio simplificado e ajustado à atualidade.

Seguidamente foram elaborados quadros com os consumos mensais de combustível e eletricidade dos últimos 10 anos e estabelecidos rácios da energia por unidade de área e por cama para a média dos últimos 10 anos.

Com os consumos médios de combustível dos últimos 10 anos e a estimação dos períodos de utilização de vapor em cada serviço foram calculados os consumos médios de vapor mensais em cada circuito e calculado o custo da tonelada de vapor.

Por final são calculados os caudais de vapor *flash* associados ao reaproveitamento dos condensados de cada circuito, e estimados os ganhos económicos decorrentes da redução de vapor pela caldeira e de água de reposição no depósito atmosférico.

## 1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação está organizada em seis capítulos: o presente capítulo da Introdução que descreve o que motivou o estudo deste tema; o capítulo 2 apresenta os diplomas legais aplicáveis à eficiência energética, indicadores de consumo específico, estudos de racionalização de energia em hospitais e um conjunto de medidas possíveis de aplicar em hospitais; no capítulo 3 faz-se a caracterização do caso de estudo – HUC –, nomeadamente das suas infraestruturas e fontes de energia; no capítulo 4 descreve-se a produção de calor e frio, e analisa-se o histórico dos consumos e custos de eletricidade e combustível e estabelece-se comparação dos rácios de consumo específico com os de outros hospitais nacionais e internacionais; no capítulo 5 apresenta-se o estudo das poupanças de vapor e água com o reaproveitamento dos condensados para a produção de vapor *flash* a baixas pressões; no capítulo 6 são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido e definidas algumas propostas para prosseguir este estudo. Em anexo são apresentadas folhas de cálculo EXCEL<sup>®</sup> utilizadas para o cálculo do vapor *flash* e do caudal médio de vapor por circuito.

## **2. ESTADO DA ARTE DA RACIONALIZAÇÃO DE ENERGIA NO SETOR HOSPITALAR**

### **2.1. Legislação e planos para o aumento da eficiência energética de edifícios e equipamentos**

A ameaça de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e as preocupações ambientais têm motivado a realização de diversos fóruns internacionais e o estabelecimento de protocolos e metas em termos de incentivos à produção de energias renováveis, reduzindo a dependência de fontes externas de energia e as emissões de GEE. A par destes desafios, a nível da União Europeia (UE) foram criadas diversas diretivas para aumentar a eficiência energética de edifícios e equipamentos, e impor a sua certificação energética que ganhou proeminência desde a adoção pelos estados membros da Diretiva 2002/91/CE de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético em edifícios. Esta diretiva visa a adoção de medidas para manter ou aumentar o conforto reduzindo os consumos energéticos e os seus quatro pontos-chave consistem na criação de (UE, 2002):

- Uma metodologia comum para o cálculo do desempenho energético global dos edifícios;
- Normas mínimas sobre o desempenho energético dos edifícios novos e edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;
- Sistemas de certificação energética (SCE) dos edifícios novos e existentes e, para os edifícios públicos, exibição clara dessa certificação e outras informações relevantes. Os certificados deverão apresentar sempre um período de validade;
- Inspeções periódicas de caldeiras e sistemas centrais de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, avaliação das instalações de aquecimento, quando as caldeiras tenham mais de quinze anos.

Para a aplicação da certificação energética torna-se necessário adotar as normas existentes ou produzir novas que possam responder às necessidades do mercado. A norma EN 15217: “Energy performance of buildings - Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings”, fixa os requisitos mínimos para os certificados energéticos, em termos de: “imagem” do certificado; classe de eficiência

energética para edifícios; indicadores a utilizar. Todos os edifícios novos terão de ser baseados num indicador calculado numa base nominal. Esses indicadores são baseados em consumos reais (medidos em auditoria) e só podem ser utilizados em edifícios públicos existentes em que há manutenção de condições e padrões de utilização.

No que concerne aos edifícios de serviços (*e.g.*, escritórios, hospitais, edifícios públicos, etc.), os gastos energéticos representam aproximadamente um terço do consumo de energia elétrica total da UE (Eurostat, 2007). A comissão considera que, com as iniciativas tomadas neste domínio, importantes poupanças de energia podem ser alcançadas, contribuindo assim para atingir os objetivos em matéria de alterações climáticas e segurança do abastecimento energético.

Embora em 2002 já existisse uma diretiva relativa à certificação energética de edifícios (Diretiva 93/76/CEE), esta foi adaptada num contexto político diferente, nomeadamente antes do acordo de Quioto e do agravar de incertezas relativas à segurança do aprovisionamento energético na UE. A directiva não tinha os mesmos objectivos da directiva 2002/91/CE que vem no seguimento das directivas aplicáveis a caldeiras (92/42/CEE) e materiais de construção (89/106/CEE) e do programa SAVE, no que concerne a edifícios.

Em 2006, o Parlamento Europeu (PE) e o Conselho publicaram a Diretiva 2006/32/CE de 5 de Abril<sup>2</sup> relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos e que revogava a Diretiva 93/76/CEE do Conselho. O objetivo é incrementar a relação custo-eficácia da melhoria para a eficiência na utilização final de energia nos Estados-Membros. Em 2009 foi publicada a Diretiva 2009/28/CE de 23 de Abril relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, que altera e subsequentemente revoga as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE e estabelece um quadro comum para a promoção de energia proveniente das fontes renováveis. Esta diretiva fixa objetivos nacionais obrigatórios para a quota global de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia e para a quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida pelos transportes. Estabelece regras, em matéria de transferências estatísticas entre Estados-Membros, projetos conjuntos entre Estados-Membros e com países terceiros, garantias de origem, procedimentos administrativos,

---

<sup>2</sup> Decreto-Lei n.º 319/2009 (Retificações) transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos públicos e que visa incrementar a relação custo-eficácia na utilização final de energia.

informação e formação e acesso à rede de eletricidade no que se refere à energia produzida a partir de fontes renováveis. Estabelece ainda critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis e biolíquidos. Em 2010, o PE publicou a Diretiva 2010/31/UE de 19 de Maio, que veio reformular a Diretiva 2002/91/CE. A presente diretiva promove a melhoria do desempenho energético dos edifícios na União, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como exigências em matéria de clima interior e de rentabilidade.

Importa referir que, em 2007, a UE definiu a meta de poupar 20% do seu consumo de energia até 2020. O objetivo de 20% traduz-se numa economia de 368 milhões de toneladas equivalentes de petróleo<sup>3,4</sup> (Mtep) até 2020 em relação ao consumo previsto para esse ano, no valor de 1842 Mtep (European Union, 2011). De acordo com projeções efetuadas em meados de 2009, o consumo em 2020 deverá ser de 1678 Mtep, o equivalente a uma economia de apenas 9% em relação à projeção anterior (European Union, 2011). As estimativas feitas em 2009 mostraram que os sectores que mereciam maior atenção eram os imóveis de habitação, os transportes e o sector terciário (*e.g.* serviços hospitalares), havendo possibilidades mais limitadas para a indústria. Foi igualmente considerado necessário efetuar grandes melhorias no sector transformador de energia, para se poder alcançar a meta global de 20%. Em 2013, a Comissão irá, novamente, analisar a execução dos objetivos nacionais de eficiência energética estabelecidos no contexto da «Europa 2020», podendo haver revisão das metas nacionais impostas para 2020.

Para o sector público, a Comissão Europeia propõe a renovação de pelo menos 3% dos seus imóveis (por área), todos os anos, cada renovação deve colocar o imóvel ao nível dos melhores 10% do parque imobiliário nacional (Comissão Europeia, 2011). Quando os organismos públicos arrendarem ou comprarem imóveis já existentes, estes devem encontrar-se sempre na categoria do melhor desempenho energético disponível. Devem ser sistematicamente aplicados elevados padrões de eficiência energética quando as autoridades públicas comprarem bens (*e.g.*, equipamentos de escritório), serviços (*e.g.*, energia) e obras (*e.g.*, remodelação de edifícios). Devido ao grande volume de despesas públicas (17% do PIB ou cerca de 2 biliões de euros, sendo os edifícios públicos cerca de 12% da área de construção da UE), esta medida poderá servir como um importante motor

---

<sup>3</sup> Mtep – 10<sup>6</sup> tep

<sup>4</sup> Despacho n.º 17313/2008 - procede à publicação dos fatores de conversão para tonelada equivalente petróleo (tep) de teores em energia de combustíveis selecionados para utilização final, bem como dos respetivos fatores para cálculo da Intensidade Carbónica pela emissão de gases com efeito de estufa.

para uma maior adoção da eficiência energética pelo mercado e para o desenvolvimento das competências e conhecimentos necessários (Comissão Europeia, 2011).

Em Portugal, o primeiro regulamento com objectivos de redução de consumo energético e promoção de medidas de eficiência energética data de 1982. Trata-se do Regulamento de Gestão do Consumo de energia (RGCE), definido pelo Decreto-Lei nº 58/82 e pela Portaria 359/82. Obrigando as empresas consumidoras intensivas de energias a realizar uma auditoria energética com vista à implementação de um Plano de Racionalização dos Consumos de Energia (PRCE) - a três ou cinco anos, consoante o sector de atividade - sujeito à aprovação da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), com a execução de um Relatório de Progresso Anual (RPA). A estas condições estavam sujeitas empresas ou instalações onde se verificava pelo menos uma das condições:

- O consumo total de energia primária registasse um valor superior a 1000 tep/ano, durante o último ano de actividade;
- A soma dos consumos de energia nominais dos equipamentos instalados excedesse 0,5 tep/hora;
- O consumo energético nominal de pelo menos um dos equipamentos instalados excedesse 0,3 tep/hora.

Na década de 1990 houve a publicação de um regulamento com implicações em todo o sector da construção de edifícios. Trata-se do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei nº40/90, cujo objectivo primordial consiste em salvaguardar as condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia durante as estações de aquecimento e arrefecimento, passando a ser norma a utilização de isolamento térmico na envolvente exterior. Foi elaborado posteriormente o Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), na redacção do Decreto-Lei nº 118/98. Este regulamento impõe regras no dimensionamento e instalação de sistemas de climatização, contudo a sua aplicação revelou-se aquém das expectativas. Alguns dos motivos foram:

- Rendimentos mínimos exigidos aos equipamentos demasiadamente baixos;
- Falta de imposição nas qualificações dos projectistas;

- Não exigência na apresentação dos cálculos das cargas térmicas e do dimensionamento das centrais térmicas;
- Alguma indiferença por parte da maioria dos intervenientes no processo.

A melhoria do nível de vida e a redefinição dos critérios de conforto em vários segmentos da sociedade, e também o crescimento do parque edificado, resultou na mais elevada taxa de crescimento dos consumos de energia de todos os sectores da economia nacional, nomeadamente no subsector dos serviços, traduzida em valores médios da ordem dos 12% ao ano (Ministério da Economia das Obras Públicas, Transporte e Comunicações, 2006). Consequentemente foram produzidos ou revistos na última década diversos regulamentos com carácter legislativo sobre eficiência térmica, para aplicar a edifícios e equipamentos.

Em Abril de 2006, após uma expectativa de quase dois anos, foram publicados três novos decretos-lei que vieram atualizar o quadro legal para o sistema nacional de certificação energética de edifícios: a revisão dos dois anteriores regulamentos, o RCCTE e o RSECE foram publicados pelos Decretos-Lei nº 80/2006 e nº 79/2006, respetivamente; o processo de Certificação Energética de Edifícios, que entrou em vigor por efeito do Decreto-Lei nº 78/2006, de 4 de Abril. A nova legislação estabelece maiores requisitos térmicos do que as normas anteriores e introduz rigorosos requisitos sobre a qualidade do ar interior (QAI), bem como a obrigatoriedade de manutenção e inspeções periódicas durante o tempo de vida útil dos sistemas energéticos, nomeadamente aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC). As novas medidas para estes sectores incluídos no Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), tais como o incentivo para a substituição de aparelhos mais antigos por novos e mais eficientes, estão atualmente em vigor e vão resultar, a curto prazo, num aumento da eficiência energética.

A supervisão do SCE cabe à DGEG no que respeita à energia e à Agência Portuguesa do Ambiente (APA) no que respeita à qualidade do ar interior, cabendo a gestão regular do sistema à ADENE. A esta em particular é atribuída responsabilidade na criação de uma bolsa de peritos qualificados, que conduzem o processo de certificação energética dos edifícios, articulando diretamente com a ADENE. Na Figura 2.1 podemos ver as três fases que os peritos acompanham. O prazo de validade dos certificados para os edifícios que não estejam sujeitos a auditorias ou inspeções periódicas, no âmbito do RSECE, é de dez anos. Nos restantes casos, a validade do certificado será de seis, três ou

dois anos, conforme a tipologia do edifício. Na Figura 2.2 apresenta-se a evolução da aplicação do SCE.

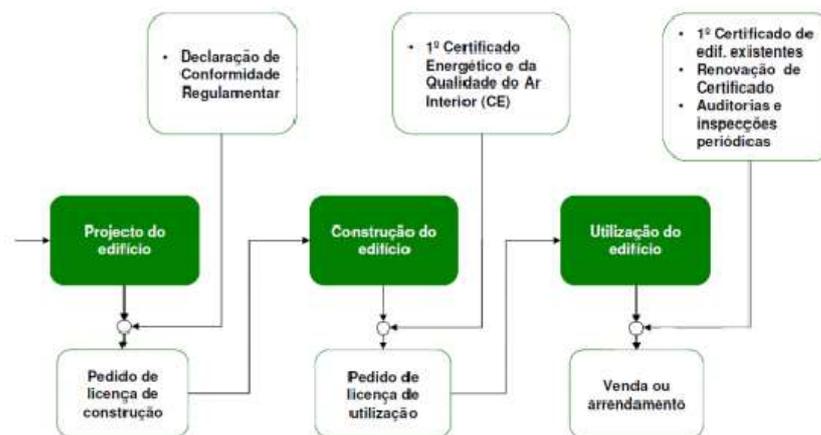


Figura 2.1- Acompanhamento pelo perito nas várias fases do edifício (Fonte: ADENE, 2012).



Figura 2.2 - Calendarização do SCE (Fonte: ADENE, 2012).

A Tabela 2.1 descreve o conjunto de medidas legislativas e programas de incentivos criados nas últimas duas décadas para aumentar a eficiência energética, tendo a maioria surgido a partir de 2006.

Tabela 2.1 – Medidas de eficiência energéticas em Portugal (Fonte: ADENE, 2012).

Sectores	Título das medidas	Data publicação
<b>Residencial/Terciário</b>	Revisão do RCCTE	2006
<b>Residencial/Terciário</b>	Revisão do RSECE	2006
<b>Residencial/Terciário</b>	Certificação Energética de Edifícios	2006
<b>Indústria</b>	RGCE	1982
<b>Indústria</b>	Sistema de Gestão dos Consumos de Energia (SGCIE)	2008
<b>Todos os sectores</b>	Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC)	2004
<b>Todos os sectores</b>	PNAEE	2008
<b>Todos os sectores</b>	Tarifário Bonificado para as renováveis	1988
<b>Todos os sectores</b>	Programa Prime - MAPE	2000
<b>Transportes</b>	Redução de encargo fiscal para biocombustíveis	2006
<b>Transportes</b>	Incentivos fiscais para o abate de veículos automóveis em fim de vida	2000
<b>Transportes</b>	Programa de Mobilidade Eléctrica (MOBIE.E).	2009

O estado de desenvolvimento das medidas estabelecidas pelo Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis (PNAER) pode ser visto na Tabela 2.2. Destas medidas faz parte a cogeração hospitalar que surge no seguimento do cumprimento da Resolução do Conselho de Ministro n.º 93/2010, de 26 de Novembro, que estabelece que se proceda à elaboração de planos sectoriais de baixo carbono para cada Ministério, e também da Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011, de 9 de Dezembro, que criou o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (Eco.AP), tendo sido publicado, em Diário da República, o despacho n.º 1729/2011. Este despacho incube a Administração Central do Sistema de Saúde, I.P. (ACSS), em conjunto com as Administrações Regionais de Saúde (ARS), de definir a estratégia de implementação do Plano Estratégico do Baixo Carbono no sector da Saúde (PEBC). Tanto o PEBC como o ECO.AP provêm de uma perspectiva pós Protocolo de Quioto, através do Pacote "Energia-Clima 20-20-20" da UE, aprovado pelo Parlamento Europeu em 17 de Dezembro de 2008, com as seguintes metas:

- Reduzir as emissões de GEE em 20%, face a 1990, podendo esta meta passar a 30%, no contexto das negociações em curso;
- Meta de 20% de quota global de energia proveniente de fontes de energia renovável no consumo final bruto de energia;
- Meta de melhoria de 20% na eficiência energética.

Tabela 2.2 – Estado da execução das medidas (Fonte: ADENE, 2012).

Código	Medida	Estado da medida	Ação	Racional
RS4M3	<b>Phase-out de lâmpadas incandescentes</b>	Impacto acima do esperado	Reforçar medida	Incluir a promoção do uso de lâmpadas LED ou do halogéneo eficiente
R&S5M1	<b>Edifícios Residências</b>	Impacto acima do esperado	Reforçar medida	Ajustar meta face ao elevado ritmo de certificação do parque residencial
R&S5M2	<b>Edifícios de Serviços</b>	Operacionalizada	Necessidade de afinar metodologia de recolha de dados	A abordagem do ponto de vista metodológico e da recolha de dados pode ser otimizada para se ajustarem ao aumento da procura real
E8M5	<b>Cogeração hospitalar</b>	Não implementado	Reforçar a medida	Reforçar a medida em linha com programa Eco.AP
E8M13	<b>Sistemas de Controlo de tráfego</b>	Operacionalizado	Necessidade de afinar metodologia de recolha de dados	A abordagem do ponto de vista metodológico e da recolha de dados pode ser otimizada para se ajustar ao real impacto da medida
C10M3	<b>Energia em casa</b>	Operacionalizado	Necessidade de afinar metodologia de recolha de dados	A abordagem do ponto de vista metodológico e da recolha de dados pode ser otimizada para se ajustar ao real impacto da medida

O PEBC é para aplicar a todo o SNS. A Saúde será assim o primeiro Ministério a apresentar um plano sectorial de baixo carbono, como requerido pelo Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2020, que orientará a definição das políticas nacionais a prosseguir e as metas nacionais a alcançar para controlar as emissões de GEE, para o período 2013-2020. O plano tirará também partido do Eco.AP e do diploma de mini produção, que permite a instalação de sistemas de produção de electricidade a partir de recursos renováveis até aos 250 kW de potência estabelecidos por o Decreto-Lei n.º 34/2011.

O Eco.AP visa obter até 2020, nos serviços públicos e organismos da administração pública, um aumento do nível de eficiência energética de 20 por cento face a 1990. O Eco.AP traduz-se num conjunto de medidas de eficiência energética para execução a curto, médio e longo prazo nos serviços, organismos e equipamentos públicos e tem por objetivo alterar comportamentos e promover uma gestão racional dos serviços energéticos.

No que diz respeito ao nosso caso de estudo, o hospital na sequência do Decreto-Lei n.º 34/2009 e do Despacho 10223-A/2009, iniciou uma auditoria energética e implementou as medidas resultantes de um plano de racionalização energética e um

Sistema de Gestão Ambiental (SGA) que refiro mais à frente na secção 2.4.2 Medidas recentes em termos energéticos e ambientais nos HUC. O Decreto-Lei n.º 34/2009 estabelece objectivos indicativos, mecanismos, incentivos e quadros institucionais, financeiros e jurídicos necessários para eliminar as actuais deficiências e obstáculos do mercado que impedem uma utilização final eficiente da energia e cria condições para o desenvolvimento e promoção de um mercado dos serviços energéticos e para o desenvolvimento de outras medidas de melhoria da eficiência energética destinadas aos consumidores finais.

## **2.2. Indicadores específicos dos consumos energéticos**

### **2.2.1 Indicadores dos consumos energéticos mundiais**

A satisfação das necessidades energéticas do mundo assenta sobretudo na exploração dos combustíveis fósseis. O problema é que estas necessidades têm vindo a aumentar, ao passo que as reservas se esgotam a um ritmo acelerado, assim como tem aumentado a instabilidade dos preços do GN e do petróleo, o que levou alguns países a apostarem novamente no carvão, que é uma das fontes de energia mais poluente utilizada nas tecnologias de aproveitamento energético.

Os Estados Unidos da América (EUA) consomem por ano um quarto de toda a energia produzida no mundo, por outro lado, o Canadá detém o consumo *per capita* mais elevado. A estes, juntam-se agora as potências económicas emergentes, como a China, o Brasil ou a Índia, cujo consumo de energia está a aumentar, como podemos verificar na Figura 2.3. Podemos também verificar com a análise do gráfico da Figura 2.4 que a China é um dos países com maior nível de poluição devido a emissões de CO<sub>2</sub>, associadas ao elevado consumo de combustíveis fósseis, sendo o maior produtor e consumidor de carvão mineral no mundo. Comparando os EUA, a China e a Europa, podemos verificar que esta última é a que menor intensidade de energia e quantidade de energia primária consome, um valor que se fica pelos 1,733 Mtep - em que menos de 10% são de fonte renovável, como podemos ver na Figura 2.5, no entanto é também quem mais importa energia. Confirma-se como imprescindível adotar um novo modelo baseado na eficiência energética e na difusão das energias renováveis.

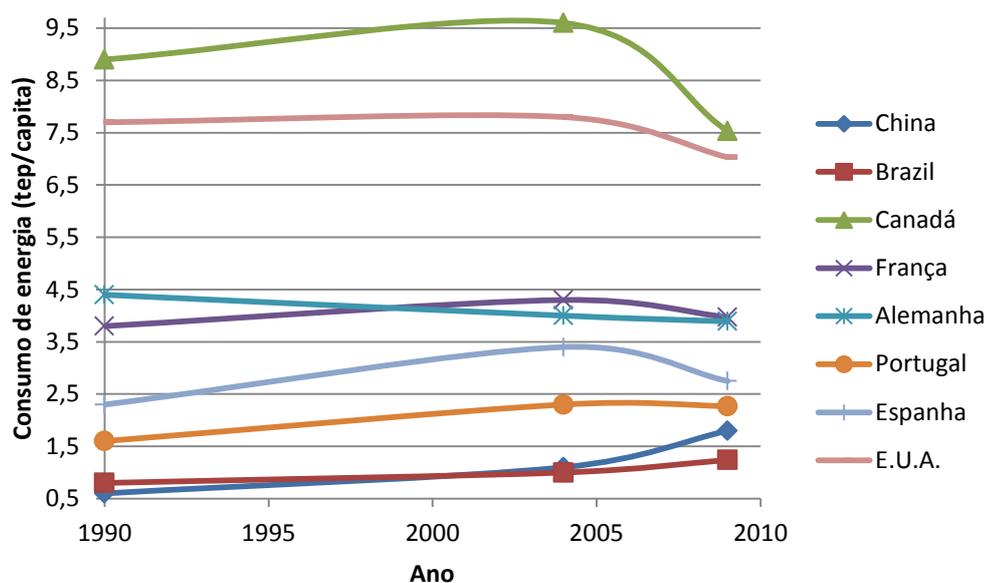


Figura 2.3 - Comparação do consumo de energia mundial ao longo dos anos<sup>5</sup>.

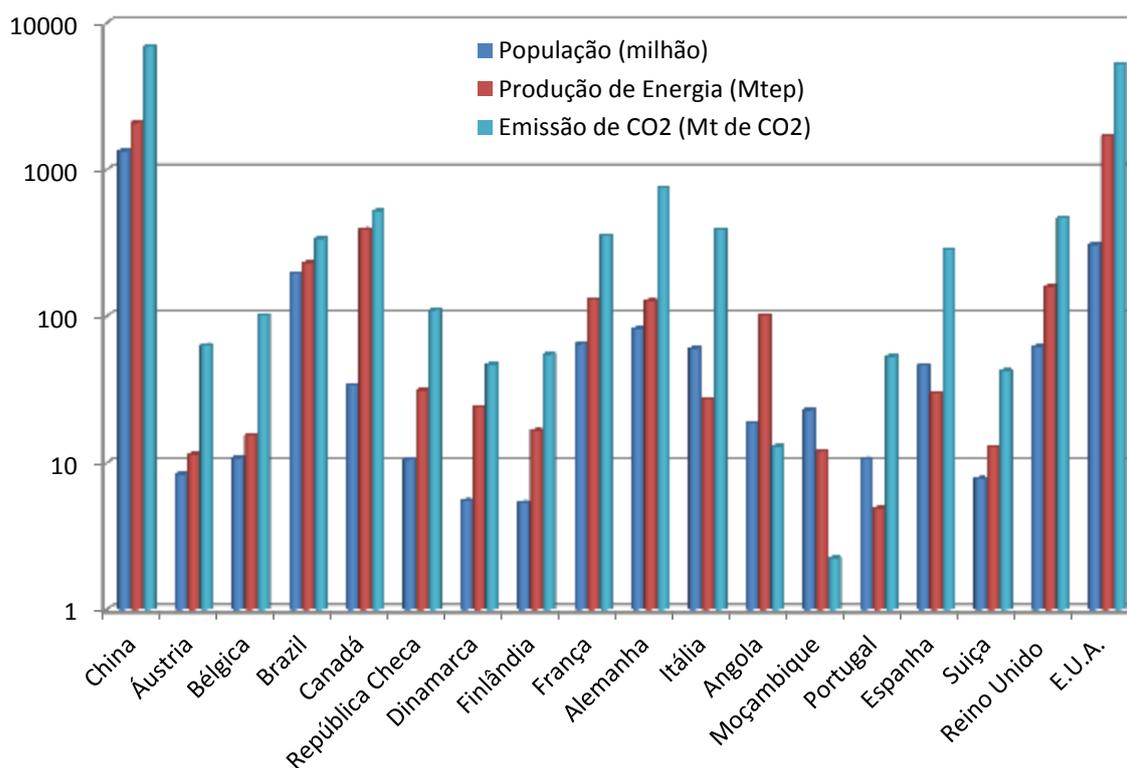


Figura 2.4 – Indicadores energéticos mundiais referentes ao ano de 2009<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Elaborado pelo discente, baseado em dados da International Energy Agency referentes a vários anos (IEA,2011).

<sup>6</sup> Elaborado pelo discente, baseado em dados da International Energy Agency referentes a ano 2009 (IEA,2011).

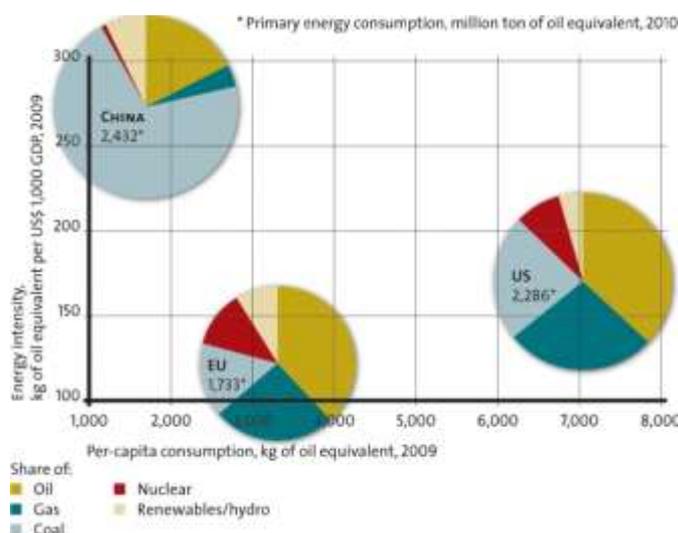


Figura 2.5 – Perfis de consumos de energia, comparação entre China, US e EU (BP Statistical Review of world Energy, 2011).

Atualmente, a nível mundial a maior fatia do consumo de energia vai para o sector da indústria, com a forte contribuição da China e EUA (Figura 2.6 e Figura 2.7). Na Europa, a maior fatia energética é consumida no sector de transportes, seguindo-se o da habitação, só depois o da indústria e, por fim, o dos serviços, como podemos ver na Figura 2.8.

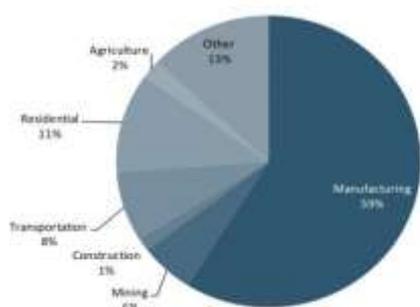


Figura 2.6 - Consumo de energia por sector na China 2010 (China Statistical Yearbook, 2011).

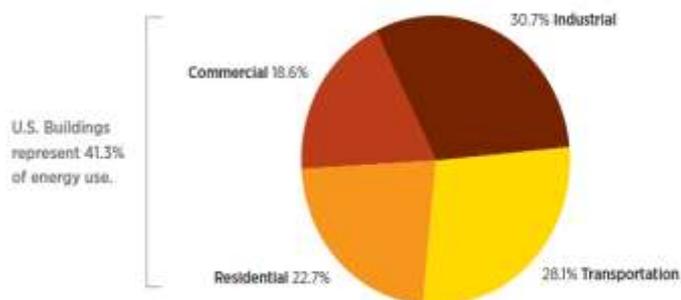


Figura 2.7 - Consumo de energia por sector dos EUA referente a 2010 (NREL, 2010).

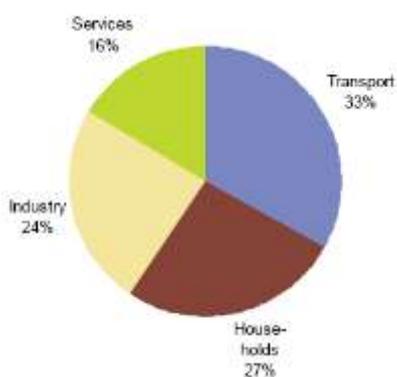


Figura 2.8 - Consumo de energia por sector na Europa 2009 (Eurostat, 2009).

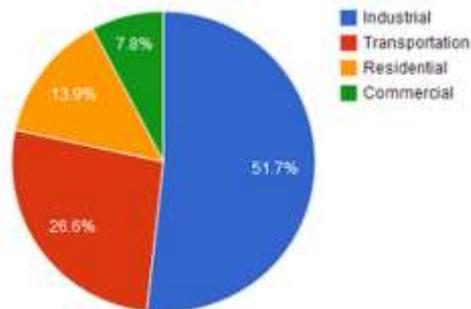


Figura 2.9 - Consumo mundial de energia por sector referente a 2011 (EIA, 2012).

A factura de energia primária de Portugal em 2011 foi de 7,1 mil milhões de euros, penalizada por importações que já valem mais de 6% do PIB. É o valor mais alto dos últimos três anos e esta factura representa um agravamento de 27,7% face ao ano de 2010 (DGEG, 2012c). Em contrapartida, Portugal é o quarto país da UE mais avançado em termos de cumprimento das metas para 2020 sobre o peso das fontes de energia renováveis no consumo final de energia. De acordo com um relatório do Ministério da Economia em 2009, Portugal já tinha atingido 79% dos objetivos previstos, sendo apenas superado pela Suécia, Finlândia e Áustria.

Portugal pouco difere nas percentagens de consumo de energia por setor da Europa (cf. Figura 2.8 e Figura 2.10). As variações que se verificam devem-se à decrescente produção nacional (diminuição do consumo da indústria) e aumento de importações (maior consumo nos transportes). Como está patente na Figura 2.10 os edifícios são responsáveis por cerca de 28% do consumo nacional total de energia primária, distribuídos por 11% em edifícios do setor dos serviços e 17% em edifícios do setor residencial.

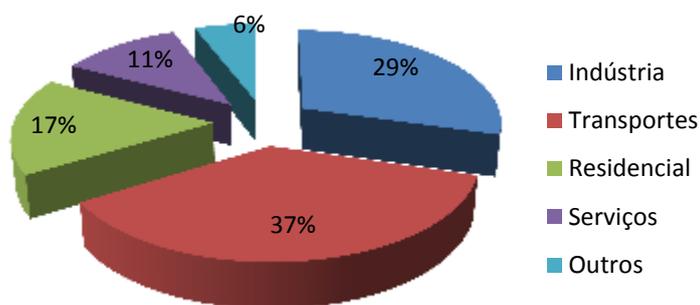


Figura 2.10 – Consumo de energia final por sector em Portugal referente ao ano 2010 (DGEG, 2011).

## 2.2.2 Indicadores dos consumos energéticos em hospitais

No setor de serviços, o consumo por  $m^2$  é geralmente superior ao que tem lugar na habitação. Exceptuam-se os locais em que o equipamento existente (por unidade de área) e a climatização (*e.g.* ar condicionado) são reduzidos ou mesmo inexistentes, como é o caso de muitas pequenas lojas, serviços públicos, igrejas e estabelecimentos de ensino.

Os edifícios que apresentam maior consumo específico de energia por unidade de área são os edifícios hospitalares (com internamento, cozinha, lavandaria, etc.) atingindo valores entre 70 e 300 kWh/ $m^2$ .ano, (Figura 2.11).

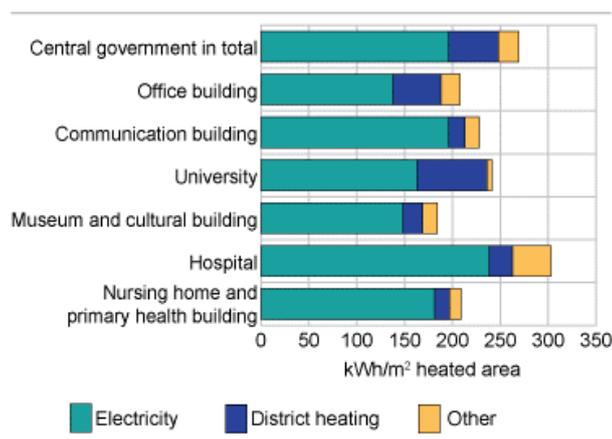


Figura 2.11 – Intensidade de energia em edifícios públicos (Statistics Norway, 2009).

Estes edifícios operam durante todo ano, 24 horas por dia, a consumir energia em diferentes formas para garantir a qualidade, o conforto e o atendimento aos pacientes (*e.g.* AQS, esterilização, equipamentos e conforto térmico). É necessário um eficiente sistema de aquecimento ventilação e ar condicionado (AVAC) para manter um adequado ambiente interior em teatros cirúrgicos e outras áreas sensíveis do hospital (Saidur *et al*, 2010).

Em torno do consumo de energia por equipamento e processo existem variações entre os diferentes hospitais no mesmo país (Austrália), conforme mostra a Figura 2.12, que compara o hospital de Melbourne (na costa sul) com o de Brisbane (na costa este). Considerando este estudo da Curtin University of Technology, Australia CRC Construction Innovation, o maior consumo verifica-se com os ventiladores (35% a 36%), seguido da iluminação interna que varia entre 13% e 17%. No conjunto estes dois

consumos representam cerca de 50% dos gastos de energia enquanto a produção de calor e frio (caldeiras e *chillers*) no conjunto varia entre 26% e 28%.

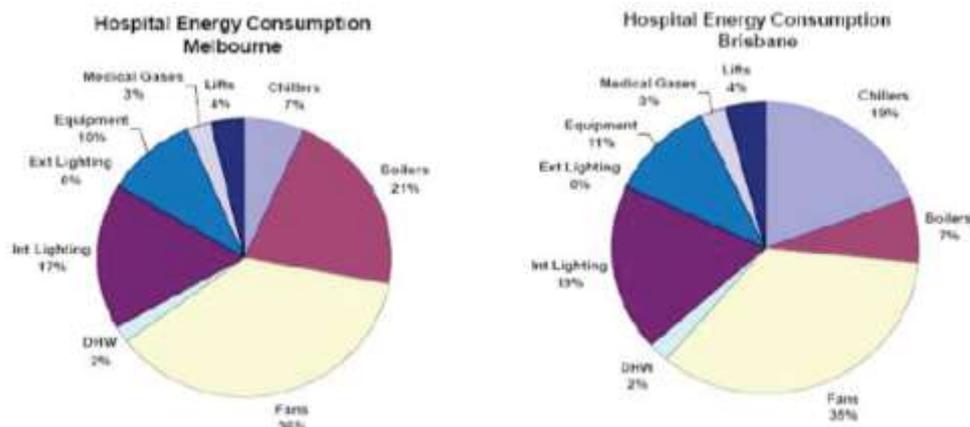


Figura 2.12 - Comparação de consumos energéticos entre Hospital Melbourne e Brisbane referente a 2009 (Burger and Newman, 2010).

A repartição dos consumos depende de tipo de hospital e da complexidade dos equipamentos e serviços. Novos hospitais muitas vezes gastam mais com ar condicionado (*chillers* e sistemas de ventilação de maior capacidade aumentam os custos) do que os hospitais mais antigos que não dispõem de uma concentração tão elevada de equipamentos. Como podemos verificar pela distribuição da Figura 2.13, que é referente ao um estudo mais antigo (ano de 1997), usando dados de hospitais com construções mais antigas (como é o caso do nosso estudo). Também pela análise dos consumos representados na Figura 2.14, conclui-se que a energia térmica tem maior peso (entre 55% e 60%) do que a energia eléctrica (entre 40% e 45%), sendo os combustíveis usados para o aquecimento e produção de água quente, enquanto a eletricidade é usada principalmente nas áreas de iluminação, ventilação e arrefecimento. Na figura 2.13 surpreende o elevado valor com a produção de água quente, por comparação aos dois hospitais australianos.

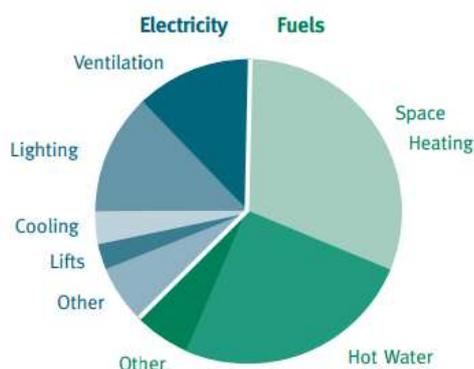


Figura 2.13 – Consumo de electricidade e combustíveis por sectores hospitalares (CADDET,1997).

Hospitais e edifícios hospitalares são, em qualquer parte do mundo, grandes consumidores de energia. A Figura 2.14 mostra-nos a média anual do consumo de energia térmica e eléctrica por metro quadrado de hospitais em vários pontos da Europa e América.

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) e a IEA em Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies (CADDET, 1997), o consumo de eletricidade por cama varia entre 5,1 MWh (Itália) e 28,1 MWh (Austrália), com um consumo médio de 16,1 MWh)/cama, sendo que a variação poderá estar associada aos diferentes climas e ao nível de sofisticação e idade dos edifícios e sistemas de energia. O consumo de energia térmica por cama varia entre 23,3 MWh (Itália) e 42,8 MWh (Canadá), com uma média de 33,9 MWh/cama. O consumo de eletricidade por m<sup>2</sup> de área bruta varia entre 61 kWh (Suíça) e 339 kWh (Canadá), com um consumo médio de 145 kWh)/m<sup>2</sup>. O maior consumo de eletricidade por m<sup>2</sup> no Canadá talvez se deva ao baixo custo da eletricidade e a condições climáticas mais desfavoráveis e ao possível uso de maior número de equipamentos eléctricos para o aquecimento. Por seu lado o consumo térmico por m<sup>2</sup> varia entre 168 kWh (Suécia) e 690 kWh (EUA), com uma média de 367 kWh, sendo de admitir estas variações em razões das condições climáticas, já que EUA e Canadá apresentam valores muito semelhantes e a Austrália, que tem um clima mais quente apresenta valores muito mais baixos. Outra razão pode ter a ver com as dimensões dos hospitais e serviços que oferecem, pois a Suécia apesar de ter um clima frio tem um valor inferior à Austrália.

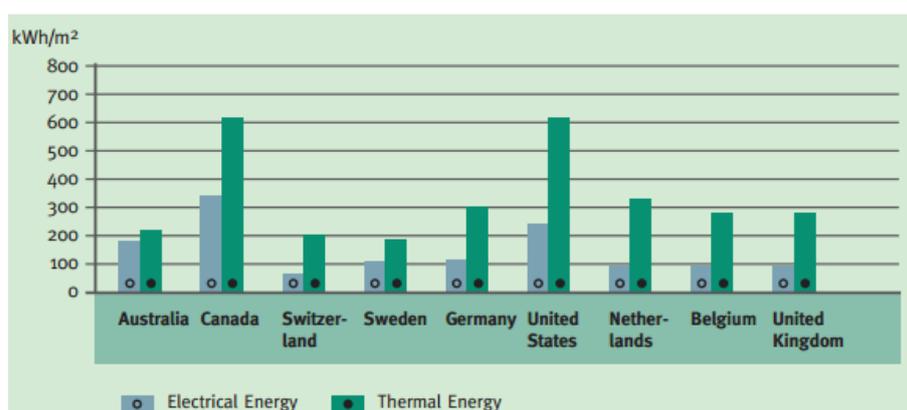


Figura 2.14 – Consumo energético anual em hospitais (Environment Science Center, 2004).

No que diz respeito ao panorama nacional, existem 64 unidades hospitalares, mas não existem publicações com os indicadores energéticos hospitalares e poucos são os hospitais que disponibilizam ou contabilizam os gastos em energia térmica (em quantidade

de combustível) e energia elétrica (em kWh), assim optámos por seleccionar dois em que esses dados estão disponíveis: hospital de S. João (HSJ), no Porto e Centro Hospitalar de Leiria/Pombal (CHLP)

O HSJ tem sensivelmente a mesma idade dos HUC e semelhantes dimensões e serviços e o CHLP é mais pequeno e como menos serviços, mas tem construção mais recente (Ano 1995).

Através de uma pesquisa na internet foram encontrados dados dos consumos energéticos e através deles calculados os indicadores energéticos, do HSJ relativamente ao período de 2007 a 2011 e do CHLP relativamente ao período de 2009 a 2011, apresentados na Tabela 2.3 e Tabela 2.4 (os dados encontrados estão a negrito), para que pudéssemos comparar com o nosso caso de estudo, cujo histórico dos consumos e necessidades energéticas estão pormenorizados no Capítulo 4.

Tabela 2.3 – Gastos energéticos do HSJ (os dados encontrados estão colocados a negrito).

Ano	Nº Camas	Nafta			Eletricidade	
		kg	MWh	MWh/cama	kWh	kWh/cama
2007	1103	<b>1.741.380</b>	19.443	17,6	<b>20.562.902</b>	18.643
2008	1099	<b>1.687.120</b>	18.837	17,1	<b>22.215.762</b>	20.215
2009	1121	<b>1.882.960</b>	21.024	18,8	<b>22.818.279</b>	20.355
2010	1118	<b>2.052.300</b>	22.915	20,5	<b>25.914.698</b>	23.180
2011	1076	<b>1.721.980</b>	19.227	17,9	<b>25.316.000</b>	23.528
<b>Média</b>	1103,4	1.817.148	20.289	18,4	23.365.528	21.184

PCI (nafta) = 40,195 GJ/t

Tabela 2.4 – Gastos energéticos do CHLP (os dados encontrados estão colocados a negrito).

Ano	Nº Camas	Gás Natural			Eletricidade	
		m3	MWh	MWh/cama	KWh	KWh/cama
2009	468*	<b>967.516</b>	10.360	22,1	<b>5.517.220</b>	11.789
2010	468*	<b>999.233</b>	10.699	22,9	<b>6.543.607</b>	13.982
2011	468*	<b>1.411.617</b>	15.115	32,3	<b>7.077.350</b>	15.123
<b>Média</b>	<b>468</b>	1.126.122	12.058	25,8	6.379.392	13.631

\* Valor estimado.

$R(\text{GN}) = 0,8404 \text{ kg/m}^3\text{N}$  /  $\text{PCI}(\text{GN}) = 45,1 \text{ GJ/t}$  (Despacho nº 17313/2008 da DGEG, em DR 2ª série nº 122 de 26 Junho 2008)

### 2.3. Casos de estudo da racionalização de energia em hospitais

Os hospitais por serem normalmente grandes edifícios e possuírem um número significativo de pessoas e equipamentos, a par de um bom isolamento, apresentam normalmente elevada carga interna por comparação com outros tipos de construção menos exigentes, sendo por isso menos sensíveis às condições climáticas exteriores. O tipo de construção hospitalar é projetada para uso a longo prazo, e na prática, muitas vezes utilizado por maior período do que seus construtores estabeleceram. A vida real é frequentemente mais de 50 anos. Durante este período, o edifício é retro-equipado e renovado várias vezes.

Uma das mais viáveis formas de racionalizar a energia no setor hospitalar é a implementação de centrais de cogeração, tendo em consideração as características de desempenho de cada equipamento e as relações de equilíbrio energético de cada fluxo de energia para satisfazer as necessidades de carga para as várias estações do ano e diferentes picos diários. O investimento inicial vai sendo amortizado a longo prazo nas faturas de energia, principalmente nas de energia elétrica e GN (Beihong and Weiding, 2006).

Em 2007, a potência instalada de sistemas de cogeração em Portugal ao nível hospitalar era de 4,27 MW<sub>e</sub> num total de 1.400 MW<sub>e</sub>, ou seja, cerca de 0,3%, o que era insignificante. Segundo Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (MEID, 2010), sobre o potencial de Poupança Energética Primária (PEP) por setor de atividade económica no âmbito dos serviços até 2020, os hospitais apresentam o valor mais elevado a par das actividades de lazer e desporto, Figura 2.15.

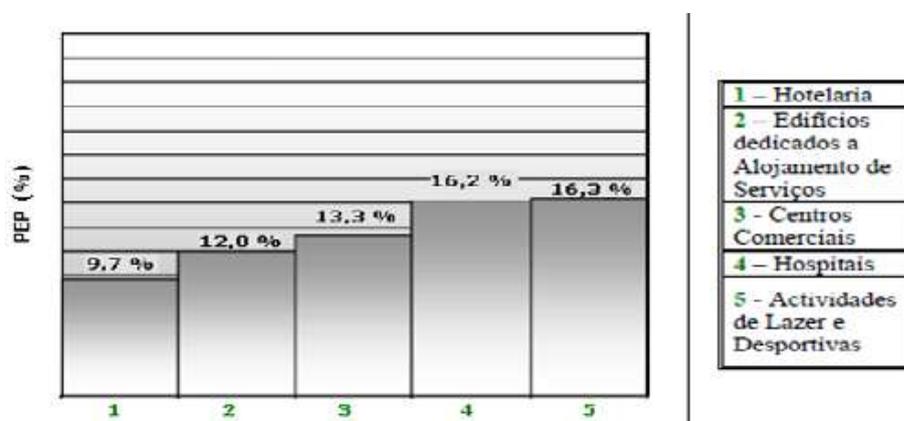


Figura 2.15 – Distribuição da margem do potencial PEP por sector de actividade económica no âmbito dos “Serviços” até 2020.

Saidur *et al* (2010) mostrou para o caso de um hospital público na Malásia que é possível reduzir o consumo anual de energia. Foi estimada uma redução da intensidade de energia em cerca de 1,10%, 1,29% e 1,64%, a 50%, 75% e 100% cargas, respectivamente, para a utilização de motores de alta eficiência. Também uma redução da intensidade de energia foi encontrado para ser cerca de 8,97%, 20,92% e 32,88% para a redução de velocidade de 20%, 40% e 60%, respectivamente, com a utilização de uma unidade de velocidade variável. Verificou-se que o período de retorno para a utilização de motores de alta eficiência com cargas diferentes, é inferior a um ano, o que é economicamente muito viável. No entanto, a utilização de accionamentos de velocidade variável foi encontrada para ser economicamente viável para os motores maiores e redução de velocidade mais elevada.

Bonnema *et al* (2010) apresentou um estudo para grandes hospitais dos EUA, baseado nas interacções entre o clima, a forma e a construção do edifício, ganhos internos, aquecimento, ventilação e ar condicionado, comparando-os com um hospital padrão projectado para consumos mínimos. Concluiu que seria possível poupar até 50% de energia nos grandes hospitais em todas as áreas climáticas dos USA.

## **2.4. Medidas gerais para racionalização de energia em hospitais**

As medidas de poupança de energia podem desempenhar um importante papel para diminuir os encargos associados ao consumo de energia, bem como contribuir para a melhoria do ambiente, através da redução das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, e conseqüente diminuição do "efeito estufa".

Para haver poupanças de energia é necessário conseguir uma alta eficiência energética das infraestruturas, o que exige excelente qualidade dos equipamentos instalados, bem como o cumprimento de todos os requisitos estabelecidos pela legislação. Para maximizar a eficiência energética de um edifício com base nos recursos e infraestrutura existentes e minimizar a necessidade de qualquer reconstrução ou desenvolvimento de um programa de racionalização de energia para o edifício é necessário começar por um registo dos gastos energéticos, a fim de que todos os dados de energia e as contas do edifício sejam inseridos numa base de dados. Esses dados serão muito úteis para

qualquer inspeção ou auditoria de energia no futuro. Um Programa de Gestão de Energia para um edifício ou grupo de edifícios geralmente inclui:

- Registo da evolução do consumo de energia ao longo do tempo, identificando o potencial de poupança de energia;
- Identificação das metas adequadas para o consumo de energia;
- Estudos de viabilidade de medidas de poupança de energia, incluindo a implementação de novas tecnologias energéticas (por exemplo, cogeração, trigeração, sistemas centrais de gestão automatizada, etc.);
- Desenvolvimento de relatórios de energia periódicos;
- Implementação e monitorização do Programa de Gestão de Energia para um racional funcionamento e utilização das infraestruturas do edifício (aquecimento, refrigeração, iluminação, AQS) e dos equipamentos elétricos e eletrónicos;
- Informação aos utilizadores do edifício das metas estabelecidas no âmbito do Programa de Gestão Energética e sobre a sua participação nele;
- Formação do pessoal do departamento técnico envolvido na operação e manutenção do edifício e das infraestruturas;
- Identificação dos mecanismos de financiamento adequados para projetos de energia;
- Acompanhamento da construção das aplicações energéticas e monitorização da eficiência durante sua operação.

#### **2.4.1 Medidas de racionalização de energia ao nível da estrutura do edifício e dos equipamentos**

A aplicação de medidas de poupança energética pode ser tanto na *estrutura do edifício* como nas *instalações*. No que diz respeito ao investimento, as medidas podem ser divididas em três categorias:

- *Medidas simples*: não requerem financiamento ou investimento de capital. Essas medidas são aplicadas em base regular e estão incluídas na operação normal de manutenção do edifício - estão muitas vezes relacionadas com a mudança de comportamento dos utilizadores do edifício;
- *Medidas de baixo custo*: dizem respeito às ações que são tomadas pela administração e por ela financiadas. O seu custo pode, muitas vezes, ter retorno no mesmo ano ou em menos de dois anos;

- *Medidas de reconstrução*: requerem investimento de capital, devido ao custo de implementação e têm um período de retorno médio ou longo. Para a implementação destas medidas é muitas vezes necessário um estudo técnico-económico especial, para a viabilidade do investimento ser examinado.

Considerando várias publicações comerciais de empresas de consultadoria e relatórios de auditoria energéticas são apresentadas algumas das medidas consideradas razoáveis para implementar em hospitais.

### ***Medidas relativas à estrutura do edifício***

#### *Medidas simples:*

- Controlo da utilização das aberturas (janelas e portas) entre espaços nas diferentes condições térmicas;
- Operação racional dos equipamentos existentes para sombreamento, dependendo da época e da orientação da abertura que é exposta à radiação solar;
- Controlo e reparação de paredes danificadas, de mecanismos danificados relativos a abertura de portas e janelas, reparação de isolamento térmico danificado;
- Vedação das passagens do fluxo térmico em poços e escadarias, uso sistemático de aberturas, especificamente durante a noite, para a promoção da ventilação natural e arrefecimento durante o verão.

#### *Medidas de baixo custo:*

- Vedação de juntas com material isolante especial para a melhoria do isolamento térmico das aberturas;
- Fecho das aberturas desnecessárias com isolamento térmico ao nível da cobertura;
- Fecho de portas inúteis com isolamento térmico;
- Substituição de vidros rachados ou partidos com novos de painéis duplos;
- Colocação de dispositivos coloridos e refletores para sombreamento interno (venezianas, cortinas), em aberturas com indesejável exposição solar durante o verão;
- Colocação de mecanismos de fecho automático de portas;
- Substituição de portas de metal convencional - pontes de transmissão de calor considerável - por outras de materiais de baixa condutividade térmica;

- Adição de camadas de isolamento em áreas das paredes externas, que estão atrás de radiadores da central aquecimento.

*Medidas de reconstrução:*

- Isolamento térmico de paredes exteriores, telhado, pisos;
- Isolamento térmico de pontes térmicas (vigas, ligações de fachadas com pavimentos, etc.);
- Substituição de aberturas existentes (quadros, painéis de vidro) por novas, com térmica melhorada e atributos óticos;
- Redução do volume de aquecimento/arrefecimento em espaços com altura excessiva (integração de tetos falsos);
- Colocação de dispositivos de sombreamento exterior fixos ou móveis (toldos, venezianas, guarda-sóis vertical ou horizontal, etc.);
- Adição de sistemas solares passivos, de aquecimento e iluminação (paredes de Trombe, clarabóias, condutas de iluminação, etc.).

*Medidas relativas às instalações: caldeiras*

*Medidas simples:*

- Manutenção periódica: regulação do queimador (relação ar-combustível e turbulência);
- Limpeza dos depósitos das superfícies de operação térmica da caldeira;
- Controlo e reparação de pontos de fuga dos gases de escape e do ar de combustão;
- Redução da temperatura de água quente na entrada da rede, de acordo com a redução da carga de aquecimento até aos limites da manutenção de segurança da caldeira para evitar possível corrosão;
- Garantir a pressão adequada do sistema para evitar a evaporação da água ou entrada de ar na rede;
- Redução do número, se mais do que uma, das caldeiras em funcionamento, dependendo da carga de aquecimento solicitada;
- Recalibração do equipamento de medida e controle;
- Minimização da variação da carga de aquecimento (revisão do calendário automatizado de operações da caldeira-queimador).
-

*Medidas de baixo custo:*

- Reparação ou atualização do isolamento térmico da superfície da caldeira;
- Instalação de economizadores nas condutas de exaustão dos gases da caldeira, para ajudar na transferência de calor entre gases de escape e água;
- Instalação de diafragma na chaminé para a redução de perdas térmicas nos intervalos em que o sistema está parado;
- Substituição dos injetores de combustível por outros menores ou substituição de toda a caldeira por uma com menor potência, quando o sistema está sobredimensionado;
- Instalação de sistema de medição permanente para a monitorização dos parâmetros de combustão (análise dos gases de escape, medição de combustível).

*Medidas de reconstrução:*

- Substituição de antigos queimadores das caldeiras por novos: de vários estádios ou dual combustível (fuelóleo e GN), quando viável;
- Substituição de caldeiras antigas por outras novas de alta eficiência e baixa temperatura dos gases de escape;
- Em edifícios onde a água quente é produzida a partir do fuelóleo, instalar uma caldeira separada para cobrir as necessidades durante o verão;
- Instalação de um permutador de calor para a recuperação de calor dos gases de escape (economizador) em caldeiras onde a temperatura desses gases é elevada;
- Instalação de um sistema automático para a otimização da combustão, dependendo da carga;
- Instalação de sistema de iniciação sequencial das caldeiras (controle de disparo sequencial), com ajuste para uma carga específica;
- Instalação de uma unidade de cogeração, ou integração em uma rede de zona de aquecimento, substituindo o atual sistema de aquecimento e de produção de água quente.

*Medidas relativas às instalações: rede de vapor**Medidas simples:*

- Controlo dos caudais de vapor e condensados nas tubagens e elementos do sistema;
- Manutenção de purgadores de vapor;
- Manutenção do sistema de proteção química.

*Medidas de baixo custo:*

- Reparação ou atualização de isolamento térmico das tubagens e elementos do sistema.

*Medidas de reconstrução:*

- Recuperação de calor a partir de condensados através de permutadores de calor.

***Medidas relativas às instalações: rede de água quente***

*Medidas simples:*

- Redução do volume de armazenamento temperatura da água quente até o limite suficiente para limpeza e segurança em termos de eliminação de bactérias e vírus;
- Pausa de circuladores em períodos em que não haja necessidade;
- Uso racional de válvulas misturadoras de fluxo de água quente e fria;

*Medidas de baixo custo:*

- Instalação de sistemas de restrição de fluxo através da mistura com ar em torneiras;
- Controlo automático com válvulas de isolamento ou redução da pressão do fluxo;

*Medidas de reconstrução:*

- Modificação do tamanho do reservatório de armazenamento para a adaptação às necessidades de uso (caso de sistemas sobredimensionados);
- Substituição de torneiras comuns manuais por torneiras automáticas, controlados por fotocélula, sensores infravermelhos ou sistemas mecânicos;
- Uso de aquecedor local para o aumento da temperatura da água quente na distribuição final, o que envolve a necessidade de reservatórios menores e temperaturas mais baixas no sistema central;
- Instalação de sistemas de medição de água quente em cada andar do edifício;
- Instalação de coletores solares para aquecimento de água;
- Instalação de bomba de calor para aquecimento de água no sistema central, em combinação com o sistema de ar condicionado;
- Descentralização do sistema para a redução das perdas de distribuição.

***Medidas relativas às instalações: ar condicionado******Medidas simples:***

- Manutenção periódica do sistema (limpeza e reparação da torre de refrigeração, superfícies de permutadores de calor, ventiladores, etc., restauração do líquido de arrefecimento);
- Aumento do limite de temperatura de refrigeração da água no radiador e da pressão de sucção de gás do fluido de arrefecimento (em sistemas de expansão direta), até os limites de refrigeração e desumidificação do ar, de modo a que o conforto nos espaços seja garantido;
- Redução do limite de temperatura da água de condensação no condensador e da pressão de condensação (em grupos de expansão direta), através de:
  - a) Aumento do ar fornecido pelos ventiladores no condensador de ar-refrigerado ou na torre de refrigeração do sistema de refrigeração;
  - b) Aumento do fornecimento de água à torre de refrigeração;
  - c) Modificação do funcionamento das unidades de controlo para a operação contínua do arrefecimento-condensado;
  - d) Remoção do condensador mais perto do compressor (redução da energia necessária para o bombeamento);
- Pausa de operação do equipamento auxiliar quando não é necessário (circuladores de água do refrigerador e condensador, resistências térmicas, etc);
- Controlo e manutenção dos dispositivos de degelo e da válvula de expansão das bombas de calor.

***Medidas de baixo custo:***

- Limpeza dos tubos do condensador dos sistemas de água refrigerada;
- Reinstalação da ligação hidráulica (em paralelo ou em série) entre partes do sistema (convetores, compressores, evaporadores/condensadores) para equilibrar os ganhos de consumo de compressores com o custo de energia das bombas, em sistemas centrais com muitas unidades.

***Medidas de reconstrução:***

- Instalação de permutadores de calor no circuito de arrefecimento da água do condensador ou no fluido quente do circuito de arrefecimento, de recuperação de calor;

- Arrefecimento da água de ar condicionado através do ar frio exterior, com um permutador de calor exterior ou fluidos internos na unidade central de ar condicionado, em edifícios localizados em regiões de invernos muito frios;
- Instalação central de sistemas automáticos de otimização da eficiência global e operação do sistema;
- Utilização de fontes naturais de água para o círculo de condensação (rios, lagos).
- Uso de materiais dessecantes de sílica gel para a redução da humidade do ar. Isto envolve a redução da carga de arrefecimento latente, e consequentemente o aumento da temperatura necessária para fluido arrefecer esta carga;
- Instalação de sistema para o armazenamento de curto prazo ou médio prazo de água fria ou gelo para beneficiar das tarifas elétricas em horas de vazio, durante a noite;
- Produção de água fria em *Chillers* de absorção com o uso de calor recuperado, GN ou fontes de energia renováveis (solar, biomassa);
- Incorporação de sistemas de controlo mais eficientes para a melhoria do poder de refrigeração em cargas parciais, (controle de variação da velocidade, cilindro de descarga, válvula de controle, controle do sistema de bombagem/compressão e dos ventiladores);
- Substituição da fonte auxiliar de energia, em instalações com bombas de calor e outros sistemas mais económicos e/ou mais eficientes;

***Medidas relativas às instalações: rede de ar condicionado***

*Medidas simples:*

- a) *Condições ambientais sistemas de controlo dos espaços aéreos condicionados*
- Manutenção das opções adequadas dos termostatos e pressostatos em todos espaços;
  - Adaptação dos controladores de regulação da temperatura para poupança de energia durante períodos, em espaços não utilizados;
  - Pausa de ventilação e equipamentos de desumidificação nos períodos em que os espaços não são usados;
  - Fecho de diafragmas;
  - Adaptação de correias de ventiladores;
- b) *Rede de tubagens*
- Controlo e manutenção para evitar a entrada de ar na rede e derrame nas condutas, reservatórios, válvulas e bombas;

- Pausa dos ventiladores quando sua operação não é necessária;
- Limpeza e substituição de filtros;

c) *Rede de ventiladores*

- Limpeza das pás dos grandes ventiladores centrífugos;
- Manutenção de partes motoras (sincronização de cargas do motor com a transmissão, adaptação e substituição das correias de movimento);
- Limpeza e substituição de filtros de ar.

*Medidas de baixo custo*

a) *Condições ambientais de sistemas de controlo do ar condicionado dos espaços*

- Aquecimento ou pré-arrefecimento, sem a importação de ar fresco com mais carga térmica em sistemas com economizadores ou sistemas de ventilação (circuito de pré-combustão);
- Ajuste do ar de alimentação, em edifícios com elevada variação de habitação, através de:
  - a) Regulação dos diafragmas,
  - b) Estrangulamento do fornecimento de ventilação,
  - c) Controlo da rotação do motor,
  - d) Controlo mecânico das rotações,
  - e) Integração de palhetas com passo variável nas pás, etc.;
- Substituição de conectores, partes ou todos os diafragmas que regulam o ar (amortecedores de mistura) para prevenir as fugas de ar;
- Instalação de economizador no circuito central de ar condicionado com capacidade de distribuição de 100 % de ar fresco;
- Instalação de mais termostatos;
- Remoção ou restauração do elemento de aquecimento central de ar condicionado após o dispositivo de mistura, em casos de atualizações do sistema, a fim de lidar com grandes quantidades de retorno de ar;

b) *Rede de tubagens*

- Equilíbrio hidráulico da rede através de:
  - a) Regulamentação ou a substituição de válvulas nos coletores principais e setores e a adaptação das válvulas;
  - b) Instalação de válvulas reguladoras o controle automático de fornecimento;
- Reparação ou atualização do isolamento térmico das tubulações e reservatórios;

- Redução do fornecimento, em caso de:
  - a) Sistemas sobredimensionados;
  - b) Redução de cargas;
  - c) Aumento da variação de temperatura entre as linhas de alimentação e retorno (estrangulamento de fluxo, válvulas de regulação automática, redução de turnos ou substituição de circulador);
- c) *Rede de ventiladores*
  - Balanço de rede para a realização de suprimento de ar adequada nos espaços;
  - Redução de fornecimento, em caso de:
    - a) Sistemas sobredimensionados;
    - b) Redução de cargas;
    - c) Aumento da variação de temperatura entre as linhas de fornecimento e retorno (estrangulamento de fluxo de ar, adaptação de novos rolamentos em motores de ventilação, redução das rotações dos ventiladores);
  - Redução de quedas de pressão em instalações com pressões de operação acima de 200 Pa, através da:
    - a) Remoção de filtros sujos bloqueados e destruídos, por detritos arrastados por o escoamento;
    - b) Abertura do diafragma na direção de fluxo;
    - c) Instalação de válvulas distribuidoras em pontos de distribuição difícil;
    - d) Dilatação das passagens estreitas;
    - e) Substituição de grandes setores flexíveis por sólidos;
  - Reparação de pontos de saídas de ar;
  - Redução da potência instalada dos ventiladores em sistemas sobredimensionados (instalação de menores);
  - Reparação ou atualização do isolamento térmico das condutas de ventilação;
  - Instalação de diafragmas para impedir a exportação para o ambiente de energia útil da energia térmica do ar corrente durante a operação.

*Medidas de reconstrução:*

- a) *Sistemas de controlo das condições ambientais dos espaços com ar condicionado*
  - Transformação dos sistemas de distribuição com reaquecimento final (terminal reaquecimento) e com tubo duplo de ar quente-frio (dois tubos) em sistemas de volume de ar variável (VAV);

- Instalação de ventoinhas e ventiladores para aumento do movimento e mistura de ar entre diferentes áreas térmica;
- Instalação de um moderno sistema central de gestão de energia, com possibilidade de controlo digital direto através de unidades eletrónicas regionais de recolha e processamento de dados (provavelmente em combinação com o funcionamento de outros sistemas de energia, por exemplo, iluminação);

*b) Rede de tubagens*

- Instalação de circuladores separados em circuitos com diferenças relevantes de queda de pressão ou em áreas com requisitos bastante diferenciados;
- Instalação de muitos circuladores controlados em paralelo ou de um circulador com controlo por turnos para bombeamento, em etapas, dependendo da carga;
- Anulação de departamentos inúteis de rede em redes previamente modificadas.

***Medidas relativas às instalações: iluminação***

*Medidas simples:*

- Desligar lâmpadas em áreas não utilizadas;
- Coordenações periódicas de limpeza, controlo e manutenção de lâmpadas e sistemas de iluminação em períodos de férias;
- Limpeza de superfícies das paredes internas e pintura com cores mais brilhantes;
- Reajuste de espaços para uso mais eficiente de iluminação natural;
- Manutenção de baixos níveis de iluminação quando a instalação é utilizada apenas por razões de segurança (noite);
- Remoção das lâmpadas em sistemas de iluminação sobredimensionados ou substituição por lâmpadas de baixo consumo;

*Medidas de baixo custo:*

- Minimização da iluminação exterior e uso de temporizadores;
- Modificação e otimização da combinação dos dispositivos iluminação em cada área;
- Uso de iluminação local apropriada para o tipo de atividade na área;
- Nos locais que têm de ser iluminados 24 horas por dia, substituição de lâmpadas de baixa eficiência luminosa (brilho, por exemplo) com lâmpadas mais eficientes (por exemplo, lâmpadas compactas eletrónicas de fluorescência ou de baixo consumo);

- Instalação de tampas com refletores de luz, para a otimização da distribuição de luz na área;
- Controlo de iluminação com interruptores locais e sensores luminosidade;
- Instalação de sensores de movimento e *timers* em locais pouco frequentados.

*Medidas de reconstrução:*

- Instalação de controlo automatizado nas instalações dependendo do nível de luz natural, com o uso de sensores de luz natural;
- Alguns tipos de lâmpadas que são colocadas ao ar livre consomem grande quantidade de carga reativa e o resultado é seu desempenho reduzido. Este problema pode ser tratado com o uso local de condensadores;
- Substituição de sistema de iluminação por novos mais eficientes;
- Instalação de sistema central de gestão de energia, com possibilidade de controlo digital direto através de áreas de unidades eletrónicas de recolha de dados e processamento (provavelmente em combinação com o funcionamento de outros sistemas de energia, por exemplo ar condicionado).

***Medidas relativas às instalações: equipamento elétrico***

*Medidas simples:*

- Manutenção de motores;
- Equilíbrio de fases de cargas elétricas para a melhoria do desempenho dos motores;
- Redução do uso de elevadores e escadas automática;
- Uso de aparelhos de escritório com recursos de economia de energia.
- Utilização de motores de velocidade variável.

*Medidas de baixo custo:*

- Sistema de controlo automático de cargas elétricas - corte de cargas secundárias em períodos de altas que influenciam a tarifa da energia elétrica;
- Instalação do controlador de fator de potência de motores elétricos para a melhoria da eficiência nas cargas parciais.

*Medidas de reconstrução:*

- Sistema para a melhoria da qualidade da energia fornecida (com filtros especiais de harmónicas para corrente e para tensão);
- Correção de fator de potência (cosseno) com a instalação de condensadores;
- Sistemas de controlo de rotações dos motores.

## 2.4.2 Medidas recentes em termos energéticos e ambientais nos HUC

No que concerne ao nosso caso de estudo de estudo, os HUC projetam três eixos estratégicos de acção para a sustentabilidade ambiental, plasmados no projecto "HUC - Hospital Amigo do Ambiente": eficiência energética, eficiência hídrica, QAI e a adoção de comportamentos ambientais responsáveis (política dos três R - (Reduzir, Reutilizar e Reciclar)). Um plano com uma visão integrada que se iniciou em 2009, após a realização de uma auditoria externa<sup>7</sup>. Este plano prevê a redução do consumo energético em 30% e a produção de energia eléctrica, através de energias renováveis, até cerca de 5% das necessidades dos HUC. Sendo uma unidade de referência no país, mas sobretudo na região onde está instalado, os HUC pretendem ainda que este projeto dê um importante contributo para o aumento da penetração das energias renováveis na região.

Para conseguir uma maior eficiência hídrica, a prioridade dos responsáveis dos HUC foi melhorar a gestão e controlo dos consumos de água, através da instalação de torneiras temporizadoras, de novos chuveiros, de fluxómetros e da optimização das águas pluviais e efluentes.

Ao nível da qualidade do ar, foi feita a renovação das estações de tratamento do ar, efectuou-se a substituição dos sistemas AVAC, o isolamento das fontes de maior ruído, a instalação de barreiras acústicas e a implementação de um SGA, de acordo com a política dos três R, foram também instalados ecopontos nas áreas comuns do hospital.

O hospital tornou-se mais "amigo do ambiente" com a reconversão do sistema de alimentação das caldeiras passando de Nafta<sup>8</sup> para GN<sup>9</sup>, em Março de 2011, medida que se traduz numa redução de 5.575 toneladas de CO<sub>2</sub>/ano, o que implicou um investimento de 375 mil euros e representa uma diminuição de quase 25% nos custos com energia primária (Regateiro, 2011).

Desde 2009, os HUC têm vindo a realizar um investimento significativo que ultrapassou os 1,3 milhões de euros, nomeadamente, na referida ligação à rede de GN para o abastecimento da central térmica, na substituição de motores dos elevadores e na iluminação. As unidades de produção de frio, que já tinham um quarto de século e cujo rendimento estava muito aquém dos padrões de eficiência desejáveis, foram modernizadas

---

<sup>7</sup> Auditoria com início em 2008 e realizada pelo Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (CTCV).

<sup>8</sup> Nafta é uma fração obtida da destilação do petróleo, possui um Poder Calorífico Inferior (PCI) de 44,5 MJ/kg e Factor de Emissão (FE) de 3068,9 kgCO<sub>2</sub>e/tep.

<sup>9</sup> O GN é composto basicamente de metano (CH<sub>4</sub>), com PCI de 45,1 MJ/kg e Factor de Emissão (FE) de 2683,7 kgCO<sub>2</sub>e/tep.

com novos *chillers*, que têm uma potência inferior em cerca de 20%, conseguindo uma economia estimada em 1,87 GWh por ano, esta instalação inclui um sistema de monitorização inserido no edifício da Central Térmica. Para melhorar o desempenho energético do bloco central foi necessário substituir 1.313 caixilharias, por novas de corte térmico e com vidros duplos.

A iluminação antiga, que era baseada em luminárias fluorescentes de lâmpadas T8 com balastro de ferro magnético, foram substituídas por lâmpadas LED (Light-Emitting Diode) e, em simultâneo, foram instalados sistemas de deteção automática de presença, o que poupa anualmente 450 MWh/ano. Os motores dos elevadores antigos foram associados a controladores avançados que ajustam a velocidade e permitem fazer também uma mais eficaz gestão de tráfego, o que gera uma economia estimada em 201 MWh/ano.

Os HUC estão sensíveis às medidas relativas à Certificação Energética e, em 8 de Abril 2011, acolheram o Workshop “QAI e Certificação Energética em Edifícios Hospitalares”, organizado pela Associação de Técnicos de Engenharia Hospitalar Portugueses (ATEHP, 2011), em parceria com a CLEAN BREEZE, QUALENECO e POLITÉRMICA.

Encontram-se ainda em desenvolvimento processos firmados no âmbito das recomendações do governo e acordos europeus, que consistem na instalação de painéis solares térmicos, de painéis fotovoltaicos e de uma central de cogeração. No entanto, as recentes decisões governamentais de cancelar alguns projetos em curso ou em fase de adjudicação, poderão fazer adiar a implementação destas medidas para a redução dos custos energéticos.

### **3. CARATERÍSTICAS DAS INFRAESTRUTURAS E SERVIÇOS DOS HUC**

#### **3.1. Serviços e recursos humanos**

Os HUC são um conjunto de espaços que constituem um hospital geral central e universitário, sendo o único hospital nacional que coloca Portugal no top 200 do mundo e no 50º lugar dos melhores da Europa (Cybermetrics Lab, 2012), ocupando um lugar de topo na estrutura hospitalar portuguesa e o 2º lugar no ranking para o Desempenho Global (Costa e Lopes, 2007).

Os HUC dirigem a sua ação assistencial à cobertura da população do centro do país, constituindo referência regional e também nacional, em algumas especialidades médicas. Assumindo cobertura supra-regional nas áreas dos Transplantes, Queimados, Banco de Ossos, Cirurgia Cardiorácica, Oftalmologia e Medicina da Reprodução, entre outras.

Localiza-se na região Centro do país, distrito de Coimbra e freguesia de S<sup>to</sup> António dos Olivais, dando apoio especializado aos hospitais da região Centro, com especial incidência para os hospitais de Aveiro, Viseu e Castelo Branco. A sua área de influência é de 2,4 milhões de pessoas, no entanto, com o recente encerramento das urgências no período nocturno do Centro Hospitalar de Coimbra (CHC), a área de influência é acrescida em 368.622 habitantes, compreendendo as freguesias de S. Martinho do Bispo e de Santa Clara, em Coimbra, e os concelhos de Alvaiázere, Ansião, Castanheira de Pêra, Condeixa-a-Nova, Figueiró dos Vinhos, Montemor-o-Velho, Soure, Pedrógão Grande e Penela (CHC, 2012).

Toda a área de influência contribui para uma ocupação diária de utentes, com cerca de 1000 doentes em internamento, onde dão entrada 135 diariamente. Fazem-se 450 urgências e cerca de 1.400 consultas externas, valores calculados com base na Figura 3.1. É de salientar o seu excelente posicionamento na avaliação da qualidade apercebida e da satisfação do utente dos hospitais, em relação aos hospitais nacionais da mesma dimensão (*e.g.* Hospital de S. João e Hospital Santa Maria), segundo consta na Tabela 2.1.

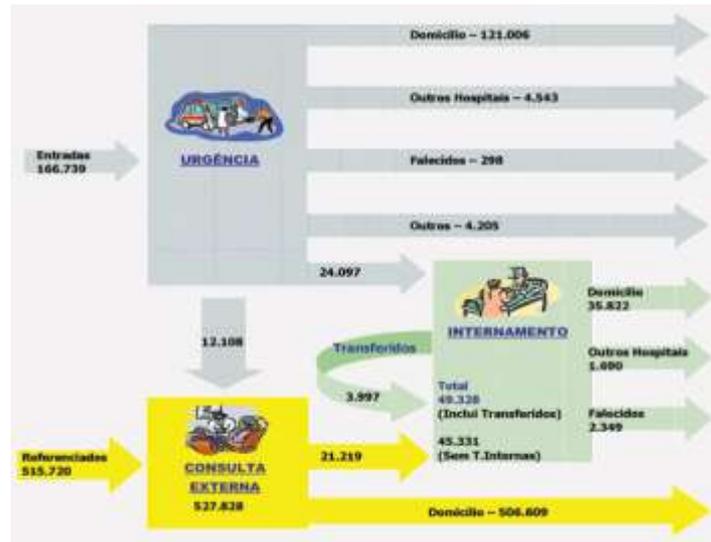


Figura 3.1 – Fluxo de doentes nos HUC (HUC, 2011).

Tabela 3.1 – Avaliação comparativa (em percentagem) da qualidade apercebida e da satisfação do utente dos hospitais (Relatório da ACSS, 2008).

	Consultas Externas Média: 77,1	Urgências Média: 68,3	Internamento Média: 77,1	Global Média: 75,0
HUC	77	74,9	84,9	78,9
Hospital S. João	77,4	73,5	82,7	77,9
Centro Hospitalar Lisboa Norte	77,9	69,4	84,5	77,3

Os recursos humanos necessários para que um hospital esteja preparado para servir toda a população alvo, não se restringem apenas aos serviços médicos, mas sim a toda a sua envolvente. Os HUC no ano de 2010 contavam com 4.564 efectivos distribuídos pelos diversos grupos profissionais como podemos ver na Figura 3.2, não contabilizando 687 trabalhadores externos, sendo 630 do Serviço de Utilização Comum dos Hospitais (SUCH), 55 pertencentes à empresa de vigilância e 2 para outros fins (elevadores e gases).

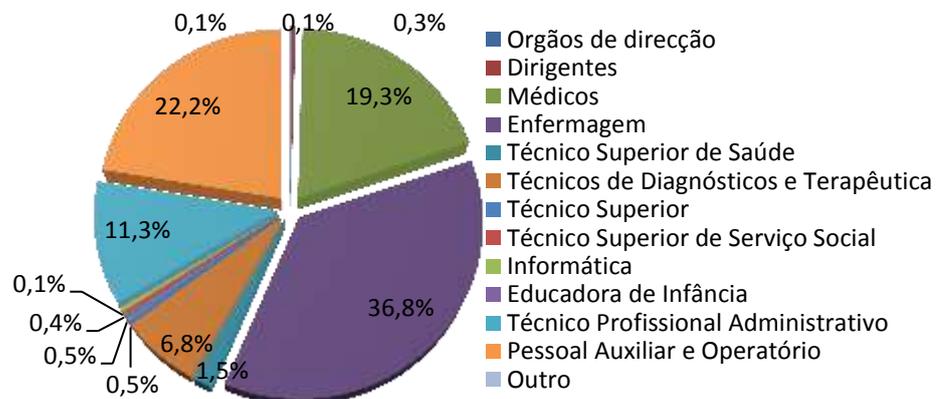


Figura 3.2 – Peso relativo dos grupos profissionais (Balanço Social, HUC (2010)).

## 3.2. Caracterização do edifício e equipamentos de produção de energia

Os HUC são uma das maiores unidades hospitalares portuguesas. Possuem uma área total de pavimento de 185.953 m<sup>2</sup> e são o maior empregador na região centro, com 5.251 postos de trabalho (cf. Secção 3.1).

O edifício principal tem uma planta cruciforme, como podemos visualizar na Figura 3.3. Nos “seus braços” nascente, sul e poente encontram-se as enfermarias e os seus apoios e no “braço” norte as consultas externas e exames especiais, bem como uma zona de ensino. Através da Figura 3.4 é possível ter a ideia do peso de cada serviço na área útil de pavimento.

A “função hospital” dos HUC é cumprida, em três edifícios localizados no campus hospitalar: o Bloco Central<sup>10</sup>, inaugurado em 1987<sup>11</sup>, com cerca de 114.323 m<sup>2</sup> de área útil de pavimento (cf. Tabela 3.2) distribuída por 16 pisos, em que 7 estão interligados - onde se concentra a grande maioria das valências, a maioria das camas de internamento e a Urgência Polivalente; o edifício de S. Jerónimo, que alberga o serviço de Radioterapia, o serviço de Saúde de Pessoal, Medicina do Trabalho e Apoio Domiciliário, o Hospital de Dia de Oncologia, o serviço de Reprodução Humana, o Centro de Histocompatibilidade da Região Centro, tem uma área útil de 7.976 m<sup>2</sup> distribuídos por 4 pisos (cf. Tabela 3.3) e, por fim, o edifício da Cirurgia Cardiorácica, inaugurado em 2002, com uma área de 6.906 m<sup>2</sup> distribuída por 5 pisos (cf. Tabela 3.4).

Fazem ainda parte dos HUC os Blocos de Celas com uma área coberta de 11.059 m<sup>2</sup> distribuídos por 11 edifícios, localizado nas imediações do Bloco Central, onde funcionam os Serviços de Ortopedia, de Cirurgia Maxilo-Facial, de Cirurgia Plástica e Reconstructiva, de Estomatologia e a Medicina Dentária. A cerca de 3 km do campus hospitalar, encontra-se o edifício onde funcionam os serviços de Obstetrícia e de Neonatologia - Maternidade Daniel de Matos - com 1.560 m<sup>2</sup> de área coberta distribuída por 6 pisos.

---

<sup>10</sup> Edifício alvo da análise.

<sup>11</sup> A sua construção decorreu entre 1978 e 1985 e em 2003 foi considerada, pela Ordem dos Engenheiros, uma das obras mais notáveis construídas no século XX, em Portugal.

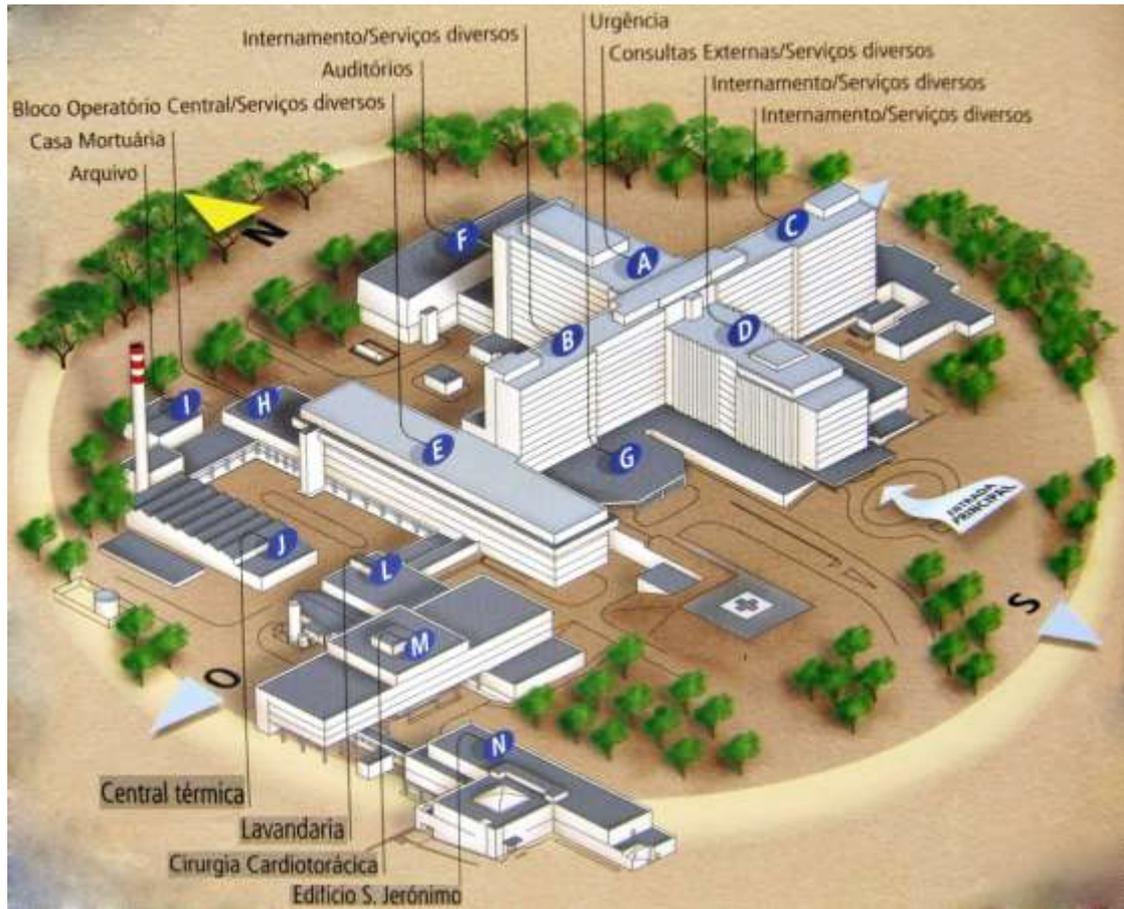


Figura 3.3 - Perspectiva 3D do edifício central.

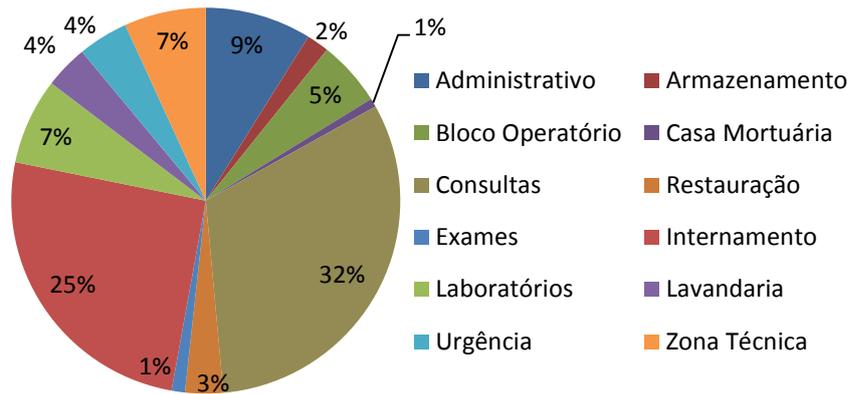


Figura 3.4 - Área útil de pavimento consoante a categoria de serviço (Elabora com base na Tabela 3.2).

Tabela 3.2- Área útil de pavimento consoante o tipo de serviço<sup>12</sup>.

Serviço	Área [m <sup>2</sup> ]
<b>Administrativo</b>	10105
<b>Armazenamento</b>	2138
<b>Bloco Operatório</b>	6242
<b>Casa Mortuária</b>	821
<b>Consultas</b>	36206
<b>Restauração</b>	3613
<b>Exames</b>	1265
<b>Internamento</b>	29013
<b>Laboratórios</b>	8242
<b>Lavandaria</b>	4126
<b>Urgência</b>	4781
<b>Zona Técnica</b>	7771
<b>TOTAL</b>	114323

Tabela 3.3 - Área útil do edifício Cirurgia Cardiorácica.

Piso	Área [m <sup>2</sup> ]
<b>0</b>	565
<b>-1</b>	2546
<b>-2</b>	2543
<b>-3</b>	1071
<b>-4</b>	183
<b>TOTAL</b>	6908

Tabela 3.4- Área útil do edifício S. Jerónimo.

Piso	Área [m <sup>2</sup> ]
<b>1</b>	2129
<b>2</b>	1776
<b>3</b>	2235
<b>4</b>	1836
<b>TOTAL</b>	7976

No que diz respeito aos equipamentos de produção de energia, os HUC possuem uma Central Térmica (identificado na Figura 3.3 por J) com duas caldeiras operacionais (alimentadas a GN, mas preparadas para uma eventual necessidade de alimentação a Gasóleo) e uma suplente (apenas preparada para consumir Gasóleo), que produzem vapor para ser distribuído pelos diferentes serviços utilizadores, como ilustra a Figura 3.5. Nas imediações da mesma, identificadas por a letra “O” na Figura 4.1, estão localizadas as baterias de *Chillers* que produzem água gelada para o Bloco Central (identificado na Figura 3.3 por A,B,C,D,E,F,H,I), existindo também outra bateria de *Chillers*, nas imediações do edifício S. Jerónimo (identificado na Figura 3.3 por M) servindo exclusivamente os edifícios M e Cirurgia Cardiorácica (identificado na Figura

<sup>12</sup> Tabelas elaboradas por o discente com dados fornecidos por serviços dos HUC.

3.3 por N). Podemos ver as principais características das caldeiras na Tabela 3.5 e dos *Chillers* na Tabela 3.6.

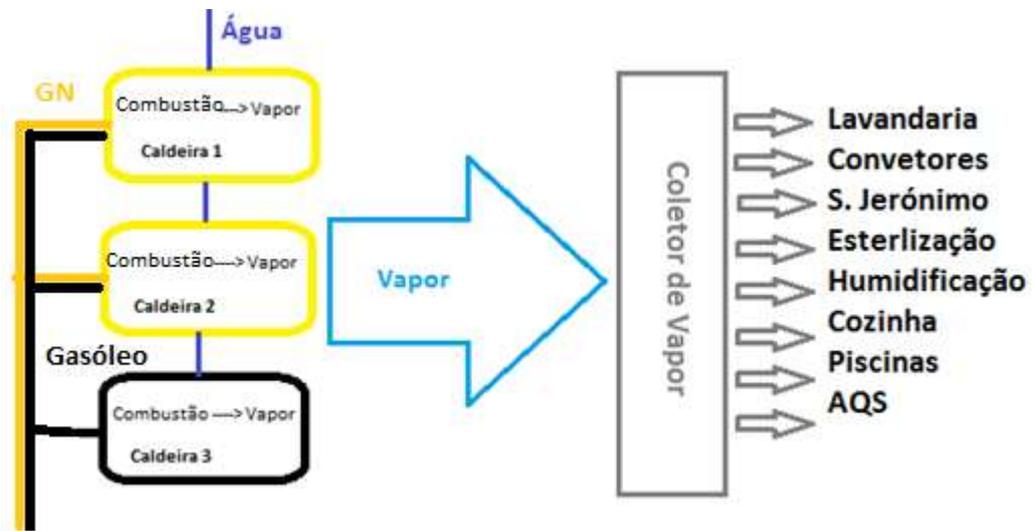


Figura 3.5 – Esquema de produção e distribuição do vapor.

Tabela 3.5 – Especificações técnicas das caldeiras dos HUC<sup>13</sup>.

Tipo	Marca	Queimador	Pressão relativa		Caudal [t/h]	Potência [MW]	
			Funciona/to [bar]	Máx. [bar]			
Caldeira 1	Gástubular 3 passagens	Condor CM325	Dual (GN/Gasóleo)	10	13	15	9
Caldeira 2	Gástubular 3 passagens	Condor CM325	Dual (GN/Gasóleo)	10	13	15	9
Caldeira 3	Gástubular 3 passagens	Condor CM325	Gasóleo	10	13	15	9

Tabela 3.6 – Informações técnicas dos *Chillers* dos HUC.

Marca	Modelo	Quantidade	Edifícios de utilização	Pot. Frio [kW]	COP <sup>14</sup>	Tipo	Consumo [kW]
							-
Carrier	30XA	3	A,B,C,D,E,F,H,I	1200	3	Compressão	317
Century	AR-360G2	2	M e N	1620	0,9	Absorção	-

<sup>13</sup> Dados recolhidos nas instalações da Central Térmica através das informações dos responsáveis pelos equipamentos, nomeadamente os fogueiros.

<sup>14</sup> COP avalia a capacidade de retirar calor sobre a potência consumida pelo compressor.

## 4. ANÁLISE DOS CONSUMOS DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA DOS HUC

Como ilustra a Figura 4.1, os HUC necessitam de energia eléctrica e energia térmica para satisfazer as necessidades de funcionamento. Grande parte da energia eléctrica (em média 18.858 MWh/ano) é consumida na iluminação e nos equipamentos, sendo apenas 7% desta utilizada na produção de energia térmica, em todos os mecanismos de bombagem, ventilação, controlo e baterias de *chillers*. Por sua vez o combustível (GN atualmente) é consumido na grande maioria na produção de vapor, contribuindo para o gasto de energia primário, que representa a maior fatia do consumo energético (Figura 4.2.

A água para a alimentação das caldeiras na produção de vapor e para outros consumidores tem um peso de 25% nos custos anuais de despesas não relacionadas com a saúde, onde se iguala praticamente com os custos com energia primária (valores relativos a nafta). Por sua vez os custos com energia eléctrica são cerca de 50% dos custos anuais de despesas não relacionadas com a saúde como podemos ver na Figura 4.3.



Figura 4.1 – Fontes de energia dos HUC.

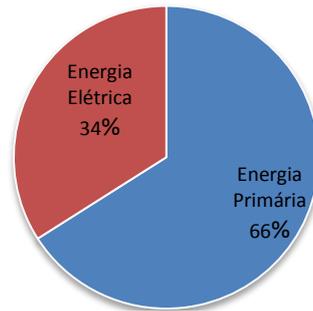


Figura 4.2 – Distribuição energia nos consumos globais em percentagem.

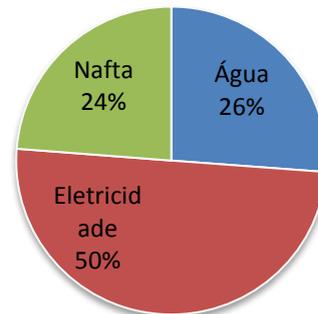


Figura 4.3 – Distribuição dos custos anuais de despesas não relacionadas com a saúde (dados relativos a 2010, baseados na Tabela 4.4 e Tabela 4.7).

A Central Térmica, ilustrada na Figura 4.1 pela letra J, é o centro de produção e distribuição vapor para todo o edifício central e para o edifício S. Jerónimo. Na parte exterior da Central Térmica, letra O, estão localizados os *chillers* de compressão que produzem água gelada.

A Figura 4.4 mostra a distribuição do consumo de vapor para os diferentes serviços para um mês típico de inverno em que as necessidades de vapor são maiores, em particular a relativa aos convectores no aquecimento do edifício.

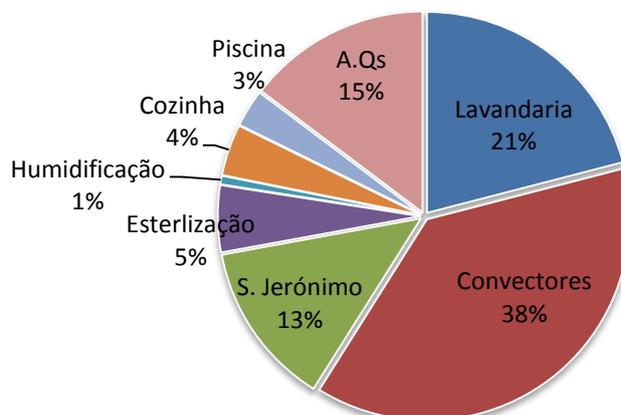


Figura 4.4 – Distribuição de vapor por os diferentes serviços e operações em percentagem.

## 4.1. Caraterização da instalação térmica de produção de calor e frio

### *Produção do vapor*

A produção de vapor é levada a cabo por duas caldeiras gastubular (as suas características estão expressas na Tabela 3.5, secção 3.2), Figura 4.5, alimentadas a GN, equipadas com queimadores dual combustível<sup>15</sup>, que funcionam em regime rotativo de três turnos de 8 horas, para não sobrecarregar nenhuma delas, (enquanto uma se encontra em pleno funcionamento, a outra mantém-se apenas sobre pressão (P), para que na mudança de turno ou eventual emergência (avaria da que se encontra em pleno funcionamento) não haja tempo de espera nem paragem na produção de vapor). Existe ainda uma terceira caldeira Figura 4.6, embora inativa, equipada com um queimador de gasóleo, abastecida por um reservatório que se encontra no exterior da central térmica, e que visa responder a uma eventual falha de fornecimento do GN.

As duas caldeiras com queimadores dual, atrás referidas, estão ligadas à rede de GN de concessionária Lusitaniagás. O gás é filtrado e regulado em pressão por uma rampa de gás, antes de entrar no tubo de fogo onde é misturado com ar forçado vindo do ventilador. Os gases da combustão circulam dentro de tubos no interior da caldeira de três passagens, sendo depois canalizados para um economizador<sup>16</sup> externo acoplado à caldeira (Figura 4.7), sendo a temperatura de entrada de aproximadamente 200 °C saindo com uma temperatura ligeiramente acima dos 100 °C para a chaminé. Pelo economizador passa a água de alimentação da caldeira, entrando a uma temperatura de aproximadamente 95 °C e saindo para a caldeira a uma temperatura entre 115 °C e 125 °C consoante a carga da caldeira.

---

<sup>15</sup> Capaz de queimar dois tipos de combustível, gasosos e líquidos. Os combustíveis gasosos normalmente não implicam dispositivos muito elaborados de alimentação aos geradores de calor. São recebidos sob pressão e o controlo da sua alimentação reduz-se praticamente ao accionamento de uma válvula. Os combustíveis líquidos é que são normalmente bombeados e pulverizados na câmara de combustão e essa pulverização exige quase sempre pressões relativamente elevadas (da ordem de 5 a 10 kg/cm<sup>2</sup>).

<sup>16</sup> Economizador serve para aproveitar o calor desperdiçado por os gases de escape para pré-aquecer a água de alimentação da caldeira, ficando esta a uma temperatura mais próxima da temperatura de formação de vapor, aumentando o rendimento da caldeira.



Figura 4.5 - Caldeira 1 ou 2 (são ambas iguais) equipadas com queimador dual (GN/Gasóleo)



Figura 4.6 - Caldeira 3, equipada com queimador de Gasóleo

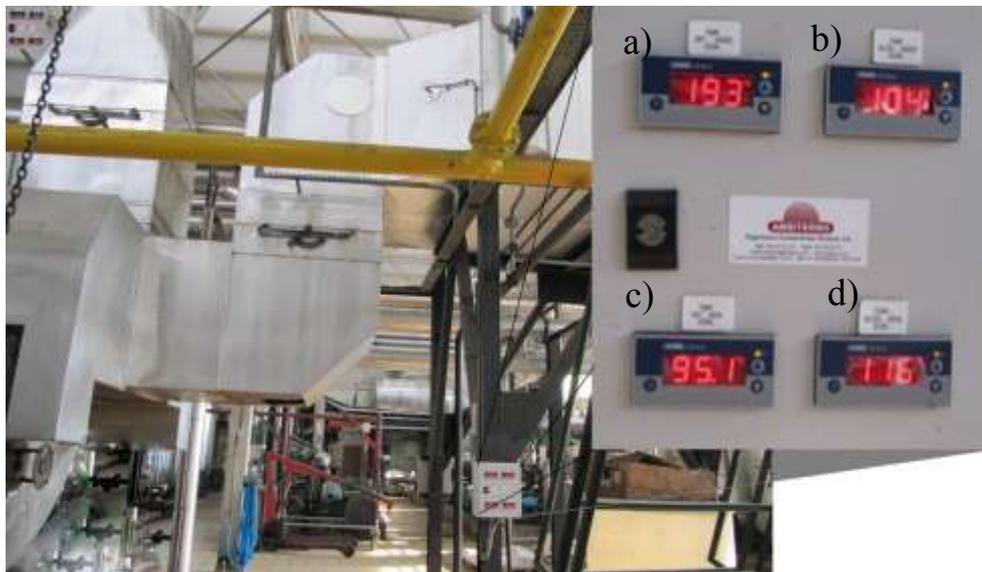


Figura 4.7 – Economizador de uma das caldeiras da central térmica dos HUC e registo de temperaturas num dia de verão;

- a) Temperatura de entrada dos gases no economizador;
- b) Temperatura de saída dos gases no economizador;
- c) Temperatura de entrada da água no economizador;
- d) Temperatura de entrada da água no economizador.

### *Distribuição do vapor*

O vapor saturado produzido na caldeira é canalizado para o colector principal, que distribui para todos os serviços e operações onde é necessária energia sob esta forma, nomeadamente:

- Lavandaria
- S. Jerónimo
- Esterilização

- Cozinha
- Piscina
- Humidificação
- Ventiloinvetores & Aquecimento (UTA's)
- AQS

Nestes dois últimos a energia do vapor é transferida, ainda no interior da central térmica, através permutadores de calor de carcaça e tubo. No caso dos Convectores, o vapor (a 10 bar) é utilizado para aquecer água através de sete permutadores de calor, mais um para aquecimento da água quente destinada às baterias das UTA's.

Tabela 4.1 mostra a distribuição das potências dos permutadores de calor usados para aquecer a água destinada aos Convectores. Para fazer chegar a água quente ao destino é utilizado um circuito de bombas hidráulicas (bombas de serviço e bombas de reserva) de diferentes potências, dependendo da altitude e distância a que se encontram as zonas a abastecer, a circulação da água faz-se em circuito fechado existindo um depósito de compensação com almofada de azoto para absorver as contracções ou dilatações da água no interior da tubagem. Se houver fuga este mesmo depósito faz a compensação, funcionando assim como volante da instalação dando ordem às bombas para introduzir mais água e repor a pressão pretendida. Já as AQS estão divididas em quatro depósitos de 10.000 L, dois para os pisos baixos (do piso -4 até ao 3º) e dois para os pisos altos (do 4º piso ao 10º). A água para os dos pisos baixos são é aquecida, através de um permutador de calor para cada depósito, enquanto os dos pisos altos são usados dois permutadores colocados em série para cada depósito (Tabela 4.2), sendo que um faz um pré-aquecimento com vapor proveniente do depósito *flash*<sup>17</sup> e o outro com vapor vindo do colector principal. É de referir que a água aquecida sai dos depósitos a uma temperatura máxima de 50 °C e faz-se circular por meio de bombas hidráulicas num circuito em forma de anel, ou seja, a água circula entre as tubagens do edifício retornando à central térmica a cerca de 35 °C onde é reaquecida e, quando consumida, é repostada no depósito, mantendo-se assim a uma

---

<sup>17</sup> Trata-se de tanques onde a pressão reinante é inferior à pressão do líquido que se pretende vaporizar. Ao dar entrada no tanque, o líquido, cuja temperatura é superior à temperatura de equilíbrio entre o líquido e o vapor à pressão reinante, vaporiza-se até que a sua entalpia iguale a entalpia do líquido correspondente à pressão do tanque.

temperatura constante próxima dos utilizadores. O circuito em anel permite um menor consumo de água em cada local até que seja atingida a temperatura pretendida.

Tabela 4.1 – Características dos permutadores de calor dos Ventiloinvetores.

Permutadores	Potência [kW]
Zona E	1494
Zona B, C, D, G, H	2442
Zona A, D, F, I	3070
Zona Norte	351
Zona Sul	443
Zona Este	242
Zona Oeste	220
Zona Pisos Baixos	334

Tabela 4.2 - Características dos permutadores de calor das AQS.

	Q. <sup>de</sup>	P [kW]	Pressão [bar]	T [°C]	Caudal [kg/h]
<b>Pisos Baixos</b>	2	580	2,2	127,4	850
<b>Pisos Altos</b>	2	580	2,2	127,4	850
<b>Pisos Altos (vapor flash)</b>	2	256	1,5	115	-

No que concerne aos restantes serviços (Lavandaria, S. Jerónimo, Esterilização, Cozinha e Humidificação), a energia é transferida localmente, ou seja, o vapor é transportado até ao local de utilização: na Lavandaria o vapor é utilizado no túnel de lavagem e em duas calandras, tendo estes equipamentos capacidade para lavar 1600 kg de roupa; no edifício S. Jerónimo existe um colector que recebe o vapor proveniente da central térmica e o distribui para os seus serviços e operações (AQS, unidades de tratamento de ar, ventiloinvetores, etc.); na Esterilização é distribuído por 54 autoclaves a vapor; na Cozinha é utilizado nas máquinas de lavar, produzindo diariamente 5.500 refeições para todas as unidades de cuidados de saúde que fazem parte dos HUC; e, finalmente, no que diz respeito à Humidificação, o vapor é utilizado nas Unidades de Tratamento de Ar (UTAs) e climatização sendo o ar aquecido ou arrefecido por permutadores água-ar passando antes por uma série de filtros. No caso de se pretender locais com maior grau de humidade, (e.g. salas de operações, salas de partos, etc.), utiliza-se injeção direta de vapor nos sistemas de ventilação, para que o ar saia com a humidade

pretendida. Nos serviços de Esterilização devido ao risco de contaminação, os circuitos são parcialmente abertos, ou seja, não se efetua o aproveitamento dos condensados.

Como já foi referido o vapor é produzido a 10 ou a 8,2 bar<sup>18</sup> consoante seja inverno ou verão, contudo, nem todos os serviços necessitam de vapor a esta pressão, além de que a capacidade térmica transmitida pelo vapor é prejudicada com o aumento de pressão.

A Figura 4.8 ilustra simplificada o circuito de vapor da central térmica e mostra a pressão de alimentação dos circuitos dos vários serviços (foi elaborado um circuito com todos os valores disponíveis e calculados em folha de cálculo de Excel, mas devido à sua dimensão está no Anexo A).

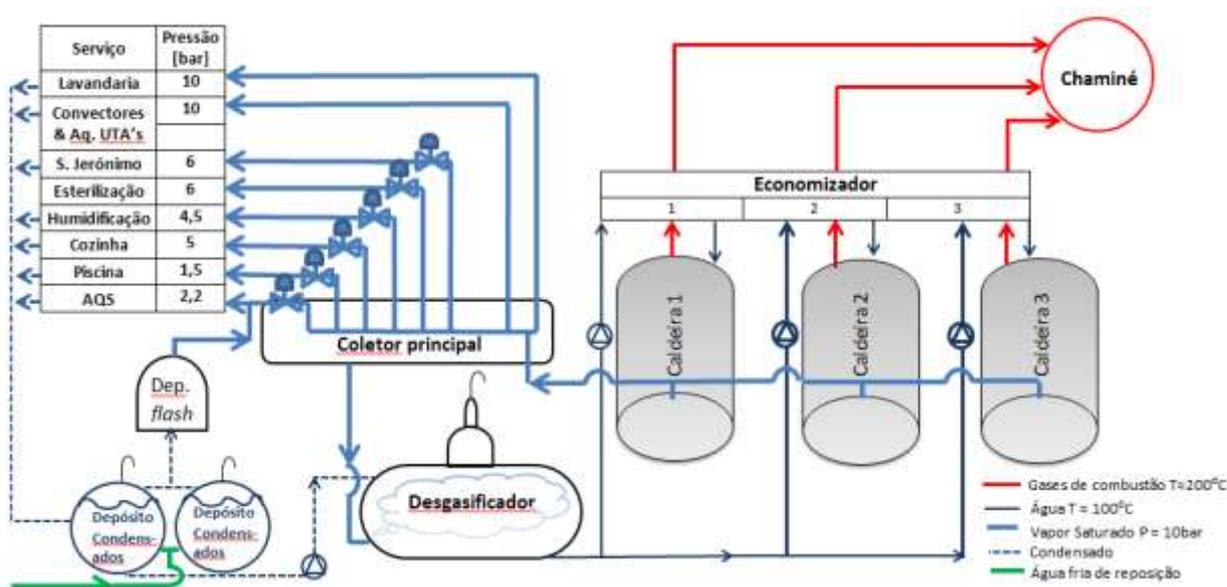


Figura 4.8 – Simplificação do esquema de princípios do circuito de vapor da central térmica, com indicação das pressões relativas para os diferentes serviços.

### ***Depósitos dos Condensados e Desgasificador***

Na maioria dos serviços (e.g. Lavandaria, Convectores, S. Jerónimo, Cozinha, Piscina e AQS), o vapor cede a energia de vaporização e regressa à central térmica sob a forma de condensado, sendo descarregado em dois depósitos à pressão atmosférica (Depósito de Condensados). Como os condensados estão a pressão superior à pressão atmosférica, a descarga no depósito resulta na formação de vapor *flash*, sendo tanto maior

<sup>18</sup> Com o objectivo de assegurar a máxima transferência de calor, as caldeiras devem funcionar à pressão de vapor mais baixa possível, a que corresponde também, no caso de vapor saturado, a temperatura mais baixa. É de referir que a entalpia específica de evaporação aumenta com a diminuição da pressão, pelo que, quanto mais baixa for a pressão, maior quantidade de calor está disponível por kg de vapor.

quanto maior a diferença de pressão. Se a queda de pressão for significativa é possível interpor um depósito a uma pressão intermédia e aproveitar o vapor *flash* para serviços que possam funcionar com vapor a mais baixa pressão. Atualmente existe um depósito à pressão de 1,5 bar (Figura 4.9) para recuperar a energia dos condensados da lavandaria e dos convetores para pré-aquecer água para os pisos das zonas superiores (cf. Tabela 4.2).



Figura 4.9 – Depósito de reaproveitamento de condensados para produção de vapor *flash* para pré-aquecimento de AQS para os pisos altos.

Os dois depósitos de recolha de condensados à pressão atmosférica estão localizados no interior da central térmica a um nível ligeiramente inferior a todos os permutadores permitindo a recolha por gravidade. Para compensar as perdas de vapor *flash* no depósito atmosférico e perda de vapor em alguns consumidores (eg. Esterilização) é feita a reposição com água da rede (cerca de 20% da produção de vapor da caldeira), previamente tratada por passagem em descalcificadores. Os condensados do depósito atmosférico, a uma temperatura de cerca de 85 °C são bombeados para o desgaseificador<sup>19</sup>, a uma pressão de 1,2 bar (absoluta), onde por “lavagem por vapor saturado” são removidos os gases retidos na água que provocam corrosão (CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>) e elevada a temperatura para cerca de 95 °C. À saída do desgaseificador a água é submetida a um tratamento à base de sulfito de sódio, para corrigir o valor do ph para valores entre 10-11. A água vai passar

<sup>19</sup> Desgaseificador - serve para remover gases de carácter corrosivo (O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>) do vapor e dos condensados evitando a corrosão. O vapor é injectado contra a água e dividida sob a forma de “spray” ou filme, para arrastar os gases dissolvidos na água (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>).

depois por um economizador antes de entrar na caldeira, que eleva a sua temperatura em cerca de 30 °C à custa de parte da energia dos gases de escape.

#### ***Armazenamento e distribuição da água***

A água usada na Central Térmica, além do tratamento efetuado pelos Serviços Municipalizados, passa num filtro de carvão (para remover o cloro livre e a matéria orgânica) antes de ser armazenada em dois grandes reservatórios subterrâneos com capacidade para 1.700.000 L, localizados nas imediações da Central Térmica, para salvaguardar um eventual corte no fornecimento da rede pública. A água de alimentação das caldeiras, antes de entrar no circuito de vapor pelo depósito atmosférico passa por um descalcificador de resinas para remover o carbonato de cálcio e magnésio que produzem incrustações. As resinas são regeneradas periodicamente com cloreto de sódio.

#### ***Produção de água gelada***

A produção de água gelada é produzida por dois grupos principais de arrefecimento: *chillers* de Compressão e os *chillers* de Absorção, caracterizados na Tabela 3.6 da secção 3.2.

A água gelada que abastece o Bloco Central é produzida pelo grupo de *chillers* de Compressão (Figura 4.10), funcionando com R134a como fluido refrigerante e com ar ventilado para arrefecer o condensador. Os três *chillers* de compressão operam de forma intercalada (em turnos de 8h, tal como as caldeiras), operando um ou os dois em simultâneo, dependendo da necessidade da produção de frio. A seleção de qual vai entrar em funcionamento é feita com base nas horas anteriores de funcionamento e a carga a que cada um se encontra. Geralmente, quando a carga ultrapassa os 70% a eficiência começa a decrescer rapidamente (Carrier, 2009) e é ligado outro. A operação do grupo de *chillers* é da responsabilidade dos funcionários dos Serviços de Utilização Comum dos Hospitais (SUCH). Nos turnos das 0h às 8h e das 16h às 24h apenas funciona o *chiller* do meio, devido à diminuição da necessidade de arrefecimento e para minimizar o ruído.



Figura 4.10 – Chillers de compressão – Carrier.

## 4.2. Histórico dos consumos de combustível e custos estimados da produção de energia térmica

Apesar de atualmente o combustível utilizado ser GN, o histórico é relativo à Nafta (Tabela 4.3) uma vez que a recente alteração de combustível ocorreu em 2011.

Tabela 4.3 – Consumos anual de energia térmica dos HUC.

Ano	Nº Camas	Nafta				Valor estimado
		m <sup>3</sup>	MWh	MWh/cama	kWh/m <sup>2</sup>	
2000	1252	2786	29256	23,4	226,4	1.048.093 €
2001	1251	2804	29444	23,5	227,9	1.054.865 €
2002	1187	3081	32353	27,3	250,4	1.159.072 €
2003	1211	3766	39548	32,7	306,1	1.416.769 €
2004	1214	3840	40328	33,2	312,1	1.444.608 €
2005	1198	4086	42906	35,8	332,1	1.537.153 €
2006	1190	3584	37636	31,6	291,3	1.348.301 €
2007	1043	3586	37657	36,1	291,4	1.349.053 €
2008	1042	3500	36755	35,3	284,5	1.316.700 €
2009	1050	3511	36874	35,1	285,4	1.320.838 €
2010	1057	3742	39293	37,2	304,1	1.407.740 €
<b>Média</b>	1154	3481	36550	31,7	282,9	1.309.381 €

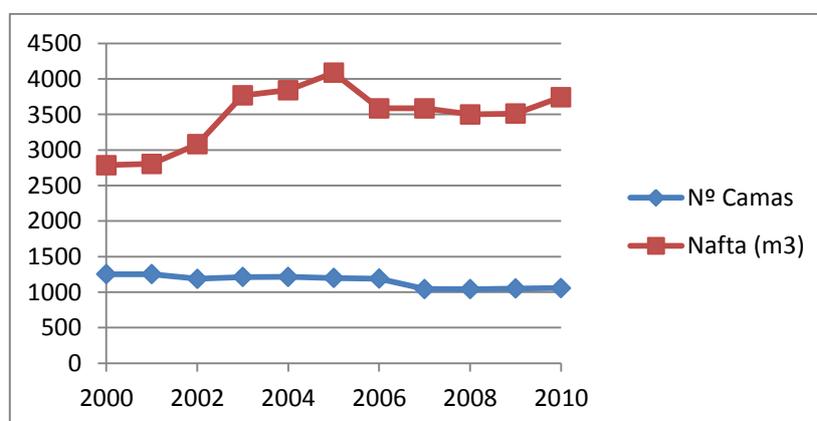
Base de cálculo: Massa volúmica = 940,5 kg/m<sup>3</sup>; Poder calorífico inferior = 40,195 MJ/kg;  
Fator de conversão de conversão de MJ para MWh= 0,00028; Preço = 400€/t

Podemos verificar um pico de consumo de Nafta nos últimos 10 anos para o ano de 2005 (Figura 4.11), possivelmente por este ter sido um ano de baixas temperaturas, nomeadamente no que respeita aos meses de fevereiro e novembro, segundo o Instituto de Meteorologia (IM), o que veio a refletir-se no consumo mensal de combustível referente a esses meses, como podemos verificar na Figura 4.12. Podemos também confirmar com a Figura 4.12 que as maiores necessidades de energia térmica se encontram nos meses de inverno, em que é necessário uma maior produção de vapor para o aquecimento por convetores. A Figura 4.11 mostra não haver uma relação direta em o consumo de combustível e o número de camas. Tirando razões de ordem climatérica desconhece-se outras razões para os picos no consumo em 2004 e mais em 2005.

Tabela 4.4 – Consumos anual de energia térmica dos HUC.

Ano	Nº Camas	Nafta			
		m <sup>3</sup>	MWh	MWh/cama	kWh/m <sup>2</sup>
2000	1252	2786	29256	23,4	226,4
2001	1251	2804	29444	23,5	227,9
2002	1187	3081	32353	27,3	250,4
2003	1211	3766	39548	32,7	306,1
2004	1214	3840	40328	33,2	312,1
2005	1198	4086	42906	35,8	332,1
2006	1190	3584	37636	31,6	291,3
2007	1043	3586	37657	36,1	291,4
2008	1042	3500	36755	35,3	284,5
2009	1050	3511	36874	35,1	285,4
2010	1057	3742	39293	37,2	304,1
<b>Média</b>	1154	3481	36550	31,7	282,9

Base de cálculo: Massa volúmica = 940,5 kg/m<sup>3</sup>; Poder calorífico inferior = 40,195 GJ/t.


 Figura 4.11 – Evolução do consumo anual de Nafta em m<sup>3</sup> e o nº de camas.

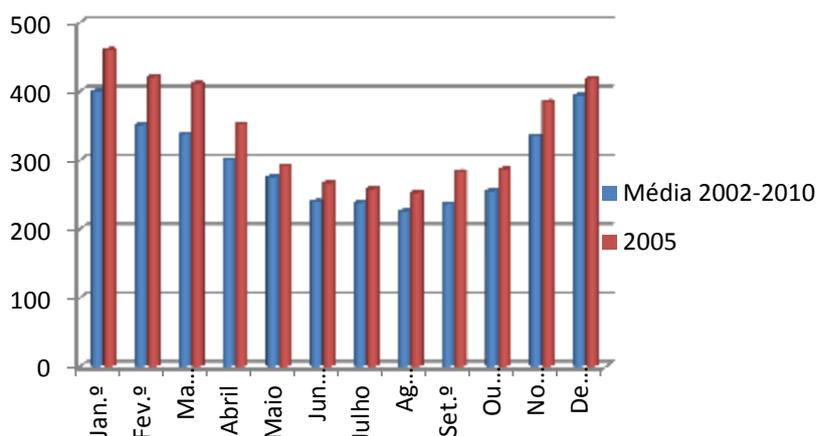


Figura 4.12 – Consumo médio mensal de Nafta entre 2002 e 2010 e comparação com o ano de 2005 (onde se verificou os valores mais altos dos últimos 10 ano), em m<sup>3</sup>.

O maior consumo de combustível também se reflecte no consumo da água, uma vez que para a produção de vapor é necessária água de reposição no circuito de vapor, devido a perdas por vapor *flash* no depósito atmosférico que podem chegar a cerca de 20% do caudal do vapor produzido pela caldeira. Como podemos ver na Figura 4.13, relativamente à água também se verifica um pico no ano de 2005. Contudo a água não é somente gasta na produção de energia, mas também na rede de águas sanitárias, cozinha, lavandaria, etc. Se compararmos os custos anuais de água e combustível pelas Figura 4.11 e 4.13 podemos verificar que segue a mesma tendência. Relativamente aos custo anuais o da água tem vindo a crescer devido ao aumento das tarifas, já que o consumo de água tem vindo a baixar desde o pico em 2005. Para a nafta por falta de informação foi assumido um custo unitário de 400 €/t durante o período em análise, o que não permite uma aproximação exata dos custos efetivos com combustível.

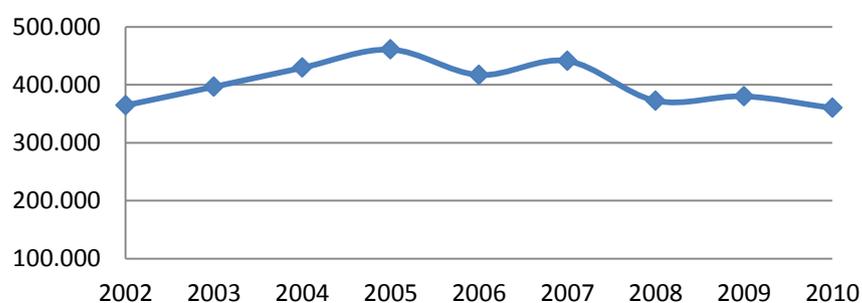


Figura 4.13 – Consumo anual de água em m<sup>3</sup>.

Tabela 4.5 – Fatura anual de Nafta e Água.

Ano	Nafta		Água	
	m <sup>3</sup>	Faturação	m <sup>3</sup>	Faturação
2000	2.786	1.048.093 €	n.d.	n.d.
2001	2.804	1.054.865 €	n.d.	n.d.
2002	3.081	1.159.072 €	364.430	604.515 €
2003	3.766	1.416.769 €	396.470	708.706 €
2004	3.840	1.444.608 €	429.260	792.963 €
2005	4.086	1.537.153 €	460.690	895.491 €
2006	3.584	1.348.301 €	417.000	910.147 €
2007	3.586	1.349.053 €	441.090	955.455 €
2008	3.500	1.316.700 €	372.421	930.149 €
2009	3.511	1.320.838 €	380.070	1.031.480 €
2010	3.742	1.407.740 €	359.900	1.048.833 €
Média	3.481	1.309.381 €	402.370	875.304 €

n.d. – não disponível.

Base de referência da Nafta: Preço = 400€/t; Massa volúmica = 940,5 kg/m<sup>3</sup>.

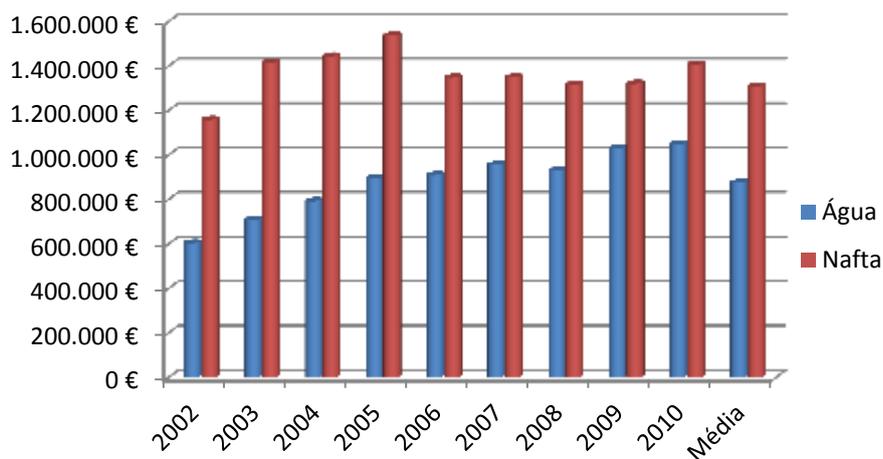


Figura 4.14 – Comparação da faturação anual da água e Nafta.

Com base nos dados de indicadores energéticos hospitalares referentes ao HSJ (Tabela 2.3) e CHLP (Tabela 2.4), disponíveis na secção 2.2.2 Indicadores dos consumos energéticos em hospita foi feita uma comparação dos consumos médios de energia primária entre os referidos hospitais nacionais e o nosso caso de estudo, como podemos ver na Tabela 4.6, e conclui-se que os HUC têm um consumo de energia térmica por cama superior ao dos outros dois.

Tabela 4.6 – Comparação de consumos médios de energia primária em hospitais nacionais.

Hospitais	Energia primária [MWh/cama]
Hospital S. João	18,4
C.H. Leiria Pombal	25,8
HUC	31,7
Média	25,3

Através da Tabela 4.7, elaborada com base nos indicadores de consumos de energia térmica hospitalar a nível mundial (*cf.* secção 2.2, Figura 2.13) e a nível nacional (Tabela 4.6), concluímos positivamente que os HUC, no que diz respeito aos consumos de energia eléctrica por cama estão abaixo da média dos consumos hospitalares de outros países e muito abaixo da média de energia térmica por unidade de área em relação aos mesmos países, possivelmente por ter maior área em relação à média dos hospitais dos outros países.

Tabela 4.7 – Análise global do consumo médio anual de energia térmica.

	Energia Térmica	
	MWh/cama	kWh/m <sup>2</sup>
Consumo médio anual hospitalar dos Países <sup>20</sup>	33,9	367
Consumo médio dos Hospitais nacionais	25,3	n.d.
Consumo médio dos HUC	31,7	283

n.d. – não disponível.

### 4.3. Histórico dos consumos e custos da energia eléctrica

A Tabela 4.8 descreve os consumos totais anuais de energia eléctrica e os custos associados. Com os valores do número de camas e da área útil de pavimento são calculados os indicadores de energia eléctrica por cama e por m<sup>2</sup> no que diz respeito ao edifício central.

<sup>20</sup> Austrália, Canadá, Suíça, Suécia, Alemanha, EUA, Holanda, Bélgica e Reino Unido.

Tabela 4.8 - Consumos de energia eléctrica dos HUC.

Eletricidade					
Ano	Nº Camas	MWh	kWh/cama	kWh/m <sup>2</sup>	Faturado
2000	1252	14149,8	11306	109,5	931.849€
2001	1251	15251,6	12195	118,0	1.001.684€
2002	1187	16260,6	13700	125,8	1.176.732€
2003	1211	18690,2	15436	144,7	1.359.237€
2004	1214	19952,9	16438	154,4	1.467.312€
2005	1198	20721,6	17304	160,4	1.657.452€
2006	1190	20941,3	17602	162,1	1.693.527€
2007	1043	20722,3	19860	160,4	1.746.581€
2008	1042	21392,2	20524	165,6	1.842.169€
2009	1050	20333,8	19375	157,4	1.864.900€
2010	1057	19021,4	17999	147,2	1.820.176€
<b>Média</b>	1154	18858	16343	146,0	1.625.343€

Base de cálculo: Área útil de pavimento do Edifício Central = 129.206 m<sup>2</sup>

Foi feita uma comparação dos consumos médios de energia eléctrica dos hospitais nacionais (referidos na secção anterior) com o nosso caso de estudo, como podemos ver na Tabela 4.9, e que permitiu concluir positivamente que os HUC têm um consumo de energia eléctrica por cama inferior à média dos consumos nacionais.

Tabela 4.9 - Comparação de consumos médios de electricidade em hospitais nacionais.

Hospitais	Eletricidade [MWh/cama]
Hospital S. João	21,2
C.H. Leiria Pombal	13,6
HUC	16,3
<b>Média</b>	17,1

Através da Tabela 4.10, elaborada com base nos indicadores de consumos de energia eléctrica hospitalar, a nível mundial (*cf.* secção 2.2, Figura 2.13) e a nível nacional (Tabela 4.9), concluímos que os HUC, no que diz respeito aos consumos de energia eléctrica, tanto por cama como por unidade de área, está na média dos consumos hospitalares dos países referidos anteriormente.

Tabela 4.10 - Análise global do consumo médio anual de energia elétrica.

	Energia Elétrica	
	MWh/cama	KWh/m <sup>2</sup>
<b>Consumo médio anual hospitalar dos Países<sup>21</sup></b>	16,1	145
<b>Consumo médio dos Hospitais nacionais</b>	17,1	n.d.
<b>Consumo médio dos HUC</b>	16,3	146

n.d. – não disponível.

Na Figura 4.15 é demonstrado graficamente que o consumo de electricidade aumentou até 2008 e apesar de haver um decréscimo no consumo a partir de 2008, tal não teve repercussão semelhante em termos do custo. Muito provavelmente devido ao aumento das tarifas neste período.

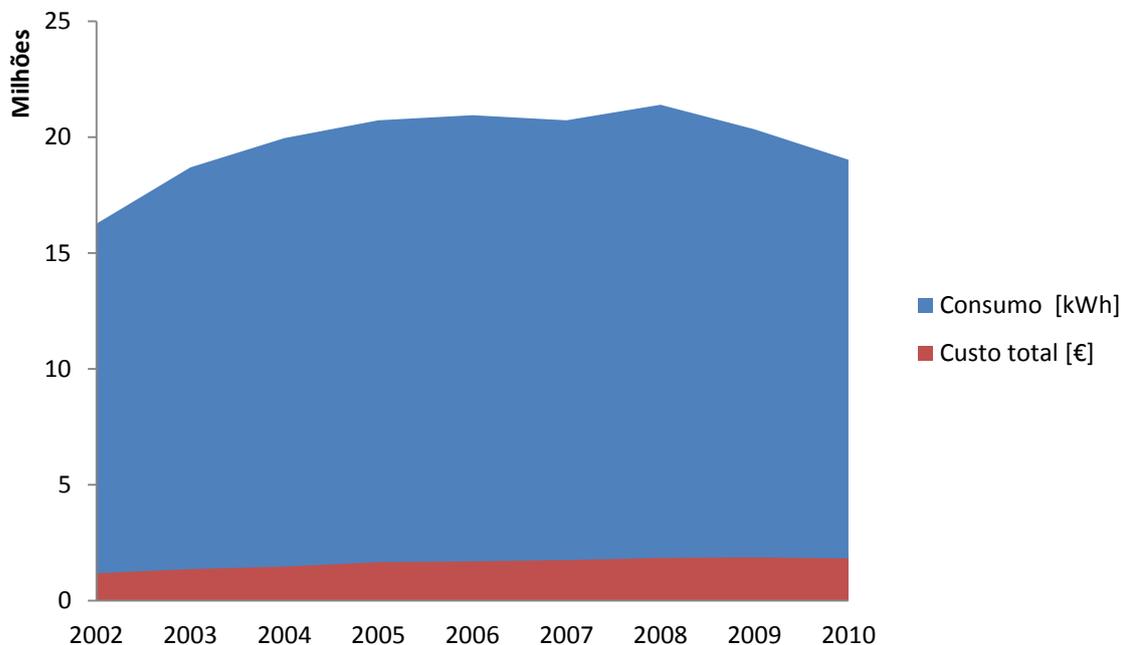


Figura 4.15 – Consumo anual de energia eléctrica e custo associado.

A energia elétrica é consumida por três grandes grupos, o do arrefecimento (*chillers* de compressão), o da iluminação e dos restantes equipamentos. A iluminação e os *chillers* representam em conjunto 11% do consumo global (Figura 4.16). Para os grandes consumidores existem saídas específicas nos sete postos de transformação dos HUC com uma potência total instalada de 11.350 kVA.

<sup>21</sup> Austrália, Canadá, Suíça, Suécia, Alemanha, EUA, Holanda, Bélgica e Reino Unido.

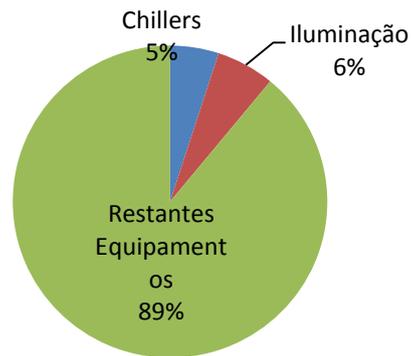


Figura 4.16 – Distribuição de consumos da energia eléctrica no total do consumo eléctrico dos HUC.

A iluminação representa uma pequena parcela nos consumos de energia eléctrica, mas ainda assim significa 1.171.069 kWh/ano, o que se traduz em cerca de 112.061 €/ano, como podemos ver na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Consumo médio anual da iluminação por categoria de serviço.

<b>Categoria</b>	<b>Total [kWh]</b>	<b>Custo estimado [€/ano]</b>
<b>Administrativo</b>	50.187	4.802 €
<b>Armazenamento</b>	51.379	4.917 €
<b>Bloco Operatório</b>	9.264	886 €
<b>Casa Mortuária</b>	11.882	1.137 €
<b>Consultas</b>	358.332	34.289 €
<b>Restauração</b>	75.025	7.179 €
<b>Exames</b>	10.028	960 €
<b>Internamento</b>	238.905	22.861 €
<b>Laboratórios</b>	87.839	8.405 €
<b>Lavandaria</b>	45.759	4.379 €
<b>Urgência</b>	154.920	14.824 €
<b>Zona Técnica</b>	77.548	7.421 €
<b>TOTAL</b>	1.171.069	112.061 €

Este levantamento foi feito de forma a identificar as áreas prioritárias de intervenção para a implementação de planos de racionalização. Através da Figura 2.1 podemos ver os serviços que mais se destacam nos consumos em iluminação. É de referir que caso fosse possível a implementação algumas das medidas referidas anteriormente (cf. secção 2.4.1 Medidas de racionalização de energia ao nível da estrutura do edifício e dos equipamentos), admitindo que isso resultaria numa redução de 10 % no consumo e que o investimento significasse 15 % do consumo, ao fim de ano e meio passaríamos a ter o retorno e a longo prazo teríamos proveitos.

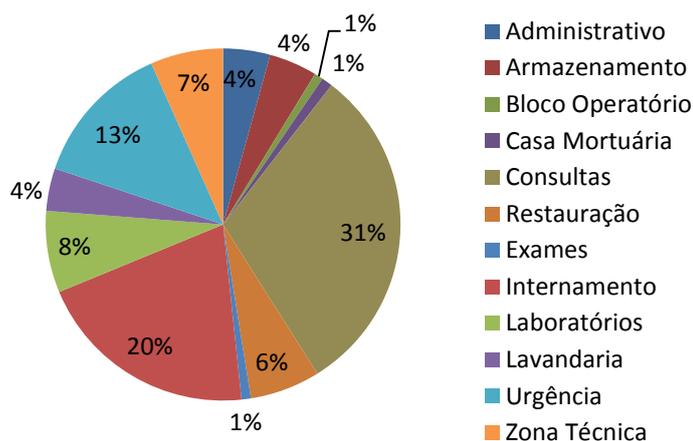


Figura 4.17 – Distribuição do consumo anual de iluminação por categoria de serviço.

#### 4.4. Cálculo do consumo médio de vapor por serviço

O consumo de vapor varia consoante o turno e as estações do ano (estação de aquecimento e a estação de arrefecimento), como se pode constatar com a Figura 4.18, sendo no inverno que se consome mais vapor devido à necessidade de aquecimento do edifício. No turno da noite (0-8h) o consumo é sempre inferior (Figura 4.19) pois diminuem as necessidades de aquecimento nas áreas de serviços de consultas externas. Os outros dois turnos (das 8-16h e 16-24h) coincidem com o horário de funcionamento da lavandaria (que funciona de igual forma todo o ano), havendo um pequeno decréscimo no último turno (16-24h), uma vez que as consultas externas estão localizadas na zona norte (A) do Bloco Central (como podemos ver na Figura 3.3 e têm menor exposição solar do que as zonas das fachadas viradas para sul, exigindo portanto maior necessidade de aquecimento no horário de funcionamento (8-17h). Os circuitos que requerem maior quantidade de vapor são os dos convetores e da lavandaria, sendo também circuitos que requerem alta pressão.

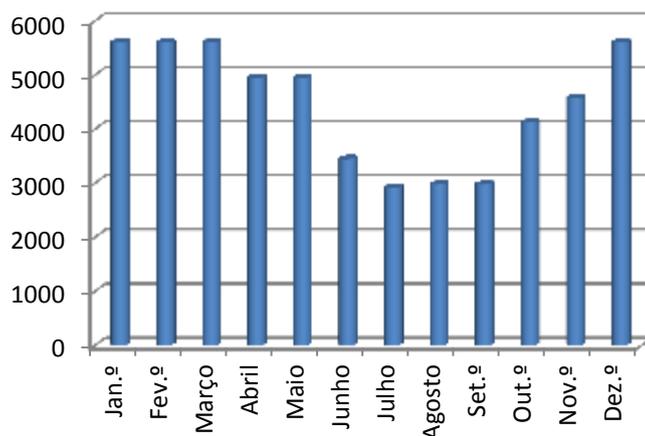


Figura 4.18 – Consumo médio mensal de vapor em tonelada.

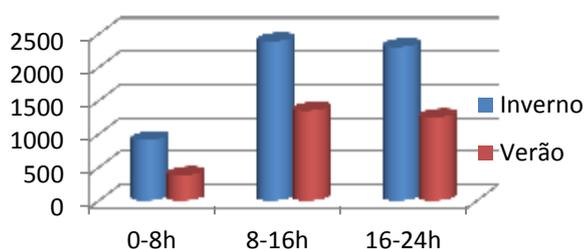


Figura 4.19 – Variação de consumo médio de vapor por turno para cada estação do ano (verão e inverno) em tonelada.

Dado que não existe nenhum contador de vapor na instalação, o consumo de mensal de vapor por serviço foi calculado para cada turno com base na fração do valor máximo de projeto estimada para cada turno (3 turnos de 8h). Foram adotadas frações diferentes entre o período de semana e de fim-de-semana, assim a variação ao longo do ano (verão, inverno, período de férias). As frações utilizadas tiveram por base a experiência de alguns funcionários dos serviços e instalações. O resultado mensal global de vapor foi obtido de modo a que a potência útil para produzir vapor coincidissem com o valor da potência fornecida pelo combustível (valor conhecido), assumindo um rendimento do conjunto caldeira+economizador de 88%). A Figura 4.20 mostra um exemplo do cálculo para o mês de fevereiro, o cálculo para os restantes meses está no Anexo B.

		FEVEREIRO																
		semana								fim de semana/ feriados								
		0-8h		8-16h		16-24h		Consumo	0-8h		8-16h		16-24h		Consumo	TOTAL Mês		
	Caudal [kg/h]	%	kg	%	kg	%	kg	diário [kg]	%	kg	%	kg	%	kg	diário			
Lavandaria	7000	0	0	45	25200	40	22400	47600	0	0	20	11200	15	8400	19600	1204000		
Convectores	8000	30	19200	40	25600	40	25600	70400	30	19200	40	25600	40	25600	70400	2112000		
S. Jerónimo	3400	10	2720	40	10880	40	10880	24480	10	2720	40	10880	40	10880	24480	734400		
Esterilização	1780	10	1424	30	4272	30	4272	9968	10	1424	30	4272	30	4272	9968	299040		
Humidificação	1065	5	426	5	426	5	426	1278	5	426	5	426	5	426	1278	38340		
Cozinha	1200	0	0	40	3840	40	3840	7680	0	0	40	3840	40	3840	7680	230400		
Piscina	700	20	1120	40	2240	40	2240	5600	20	1120	40	2240	40	2240	5600	168000		
A.Qs	3400	20	5440	40	10880	40	10880	27200	20	5440	40	10880	40	10880	27200	816000		
								Soma						Soma	SOMA			
								194206						166206	5602180			

	Nafta	
Massa Vol [kg/m3]	940,5	
PCI [kJ/kg]	40195	
Consumo Fev [m3]	351,074	
Energia [kJ]	1,128E+10	

Pressão [bar]	10
Entalpia Esp Evaporação [KJ/Kg]	2011,872
Energia Consumida [KJ]	1,127E+10

Figura 4.20 – Exemplo do cálculo do caudal máximo diário de vapor (em kg) por serviço, efetuado em folha de Excel®, por acerto com o consumo médio mensal de combustível.

Com base nas estimativas do consumo mensal por serviço conforme atrás referido foi feito um cálculo da produção de vapor anual (Tabela 4.12), e a partir daí calculado o custo da tonelada de vapor.

Tabela 4.12 – Balanço anual médio de Nafta e Vapor.

	Nafta	Vapor
Energia [MWh/ano]	36.550	32.164
Quantidade [t/ano]	3.586	53.250

Base de cálculo: rendimento da caldeira e economizador = 88%<sup>22</sup>

O custo do vapor, tal como o seu consumo, foi calculado utilizando um método semi-empírico. Como não nos foi facultado o preço da Nafta nem a variação ao longo dos anos, assumimos que o valor médio de Nafta seria 400 €/t (cf. 4.2) e através dos resultados da Tabela 4.12 obtivemos um valor estimado de 26,94 €/t para o vapor. A partir do custo do vapor e dos valores médios anuais de vapor em cada serviço obteve-se o respetivo gasto por serviço (Tabela 4.13).

$$n = \frac{E_{produzida}}{E_{consumida}} = \frac{m_{vapor}(h_{v(11\text{ bar})} - h_{l(95\text{ }^{\circ}\text{C})})}{m_{combustivel} * PCI} = 88\% = \frac{m_{vapor}(2780 - 398)}{3586 * 40195}$$

Tabela 4.13 - Consumo e custo médio anual de vapor por serviços e equipamentos.

Serviços e equipamentos	Quantidade de vapor [t/ano]	Custo [€/ano]
<b>Lavandaria</b>	13502	332.014 €
<b>Ventiloconvetores &amp; Aquecimento UTA's</b>	15360	377.702 €
<b>S. Jerónimo</b>	7899	194.236 €
<b>Esterilização</b>	3588	88.229 €
<b>Humidificação</b>	460	11.311 €
<b>Cozinha</b>	2212	54.393 €
<b>Piscina</b>	1777	43.696 €
<b>AQS</b>	8527	209.679 €
<b>TOTAL</b>	<b>53326</b>	<b>1.311.286 €</b>

Base de cálculo: Custo do vapor = 26,94 €/t

## 5. RESULTADOS DAS POUPANÇAS DE ENERGIA TÉRMICA COM A RECUPERAÇÃO DOS CONDENSADOS

### 5.1. Metodologia aplicada e cenários estudados

São vários os circuitos de condensados que descarregam no depósito atmosférico, com conseqüente perda de energia sob a forma de vapor *flash* para a atmosfera, o que obriga à reposição de água da rede para compensação dessas perdas.

Conforme referido em 4.1 atualmente os HUC dispõem de um depósito de reevaporação que faz o aproveitamento dos condensados proveniente da lavandaria e dos ventiloconvetores para produzir vapor saturado a 1,5 bar para o pré-aquecimento das AQS dos pisos altos. Nos restantes serviços o condensado vai directamente depósito atmosférico sendo parte dele liberto para a atmosfera sob a forma de vapor *flash*, como ilustra a Figura 5.1.



Figura 5.1 - Respiro do depósito atmosférico da central térmica dos HUC.

Havendo vários circuitos a pressões diferenciadas e com caudais consideráveis, cujo período de funcionamento é permanente ou tem uma duração considerável importa analisar a racionalização de energia que pode resultar do reaproveitamento dos condensados para a produção de vapor para utilizadores que operam a baixa pressão.

Assim são analisados vários cenários de aproveitamento do condensado para a formação de vapor *flash* e os resultados que daí podem advir em termos de poupanças em combustível e água de reposição no depósito atmosférico. Tomando dois meses por referência representativos dos meses de inverno e verão são analisadas as poupanças em termos de caudal mássico de vapor e de caudal volúmico de água de reposição.

A selecção do tipo de cenários consiste em detetar de qual dos serviços se pode retirar do seu condensado o vapor *flash* e para que pressões. Considera-se que os valores das pressões do reevaporador sejam os mais baixos utilizados no circuito de vapor, para que haja a possibilidade do vapor *flash* produzido ser utilizado num dos serviços. A Figura 5.2 mostra o método que ajuda a seleccionar quais os melhores cenários através da fracção de vapor *flash*<sup>23</sup>: para um depósito de reevaporação a 2,2 bar, estão excluídas as Piscinas e AQS por insuficiência, e para um depósito de reevaporação a 5 bar apenas apenas se aproveitaria o condensado dos serviços de Lavandaria, Conv. & Aq. UTA's e muito pouco de S.Jerónimo. O reevaporador que maior fracção de vapor *flash* produz é o de 1,5 bar pois pode receber de todos os serviços com excepção da Piscina que funciona à mesma pressão. Não esquecendo que a Esterilização e a Humidificação não são considerados uma vez que o condensado não é recuperável.

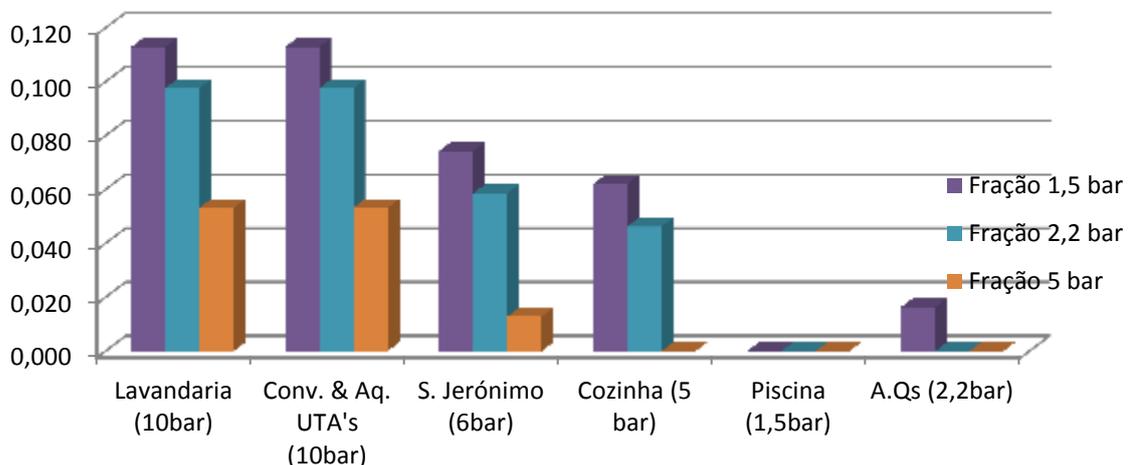


Figura 5.2 – Fracção de vapor *flash* para cada serviço passando da sua pressão inicial para a pressão do depósito de reevaporação.

<sup>23</sup> Por análise do diagrama pressão-entalpia de vapor e consulta de tabelas de vapor saturado, determina-se a fracção de vapor *flash* pela regra da alavanca.

Eg. Fracção de vapor para uma que de pressão de 10 para 5 bar =  $\frac{(h_{l_{10bar}} - h_{l_{5bar}})}{h_{e_{5bar}}}$

Na escolha do cenário também se deve ter em atenção o caudal e a pressão necessária para satisfazer os utilizadores do vapor *flash*, com base nestes métodos foram seleccionados três cenários: (1) - introduzir os condensados vindos da Lavandaria e dos Ventiloinvetores & Aq. UTA's (a 10 ou 8,2 bar, dependendo da estação do ano) num depósito de reevaporação a 5 bar para o circuito de Cozinha, reduzindo no caudal vindo do colector principal; (2) adicionar ao cenário 1 reevaporador para aproveitar os condensados provenientes de S.Jerónimo (6 bar) e Cozinha (5bar) num reevaporador a 1,5 bar procedendo da mesma forma, mas para alimentar a Piscina; (3) é idêntico ao cenário 2 mas o depósito de reevaporação que recebe os condensados da Lavandaria e dos Ventiloinvetores & Aq. UTA's está à pressão de 1,5 bar para alimentar os permutadores de calor que fazem um pré aquecimento das AQS dos pisos altos, aproveitando assim o circuito existente.

A Figura 5.3 mostra o cenário actual e as Figura 5.4 e Figura 5.5 mostram esquematicamente o cenário 3 para os meses de inverno e verão. Os cálculos efectuados para determinar estes valores encontram-se exemplificados para os meses de Inverno no ANEXO C.

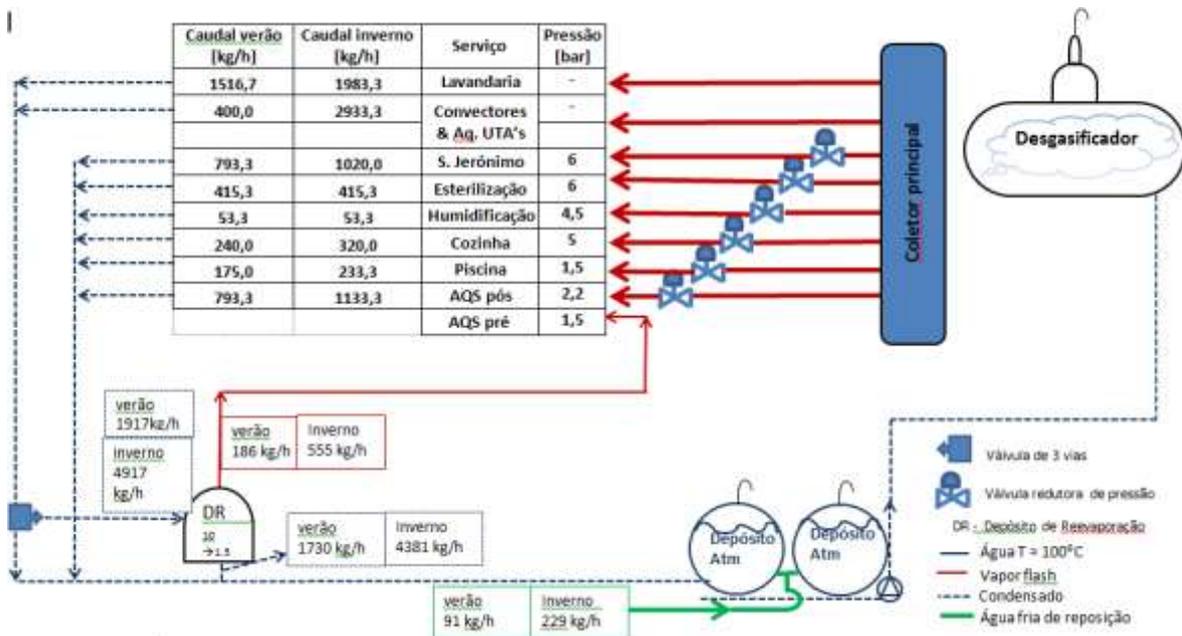


Figura 5.3 – Esquema actual de recuperação dos condensados antes da descarga do depósito atmosférico (são considerados os cenários de inverno e verão).

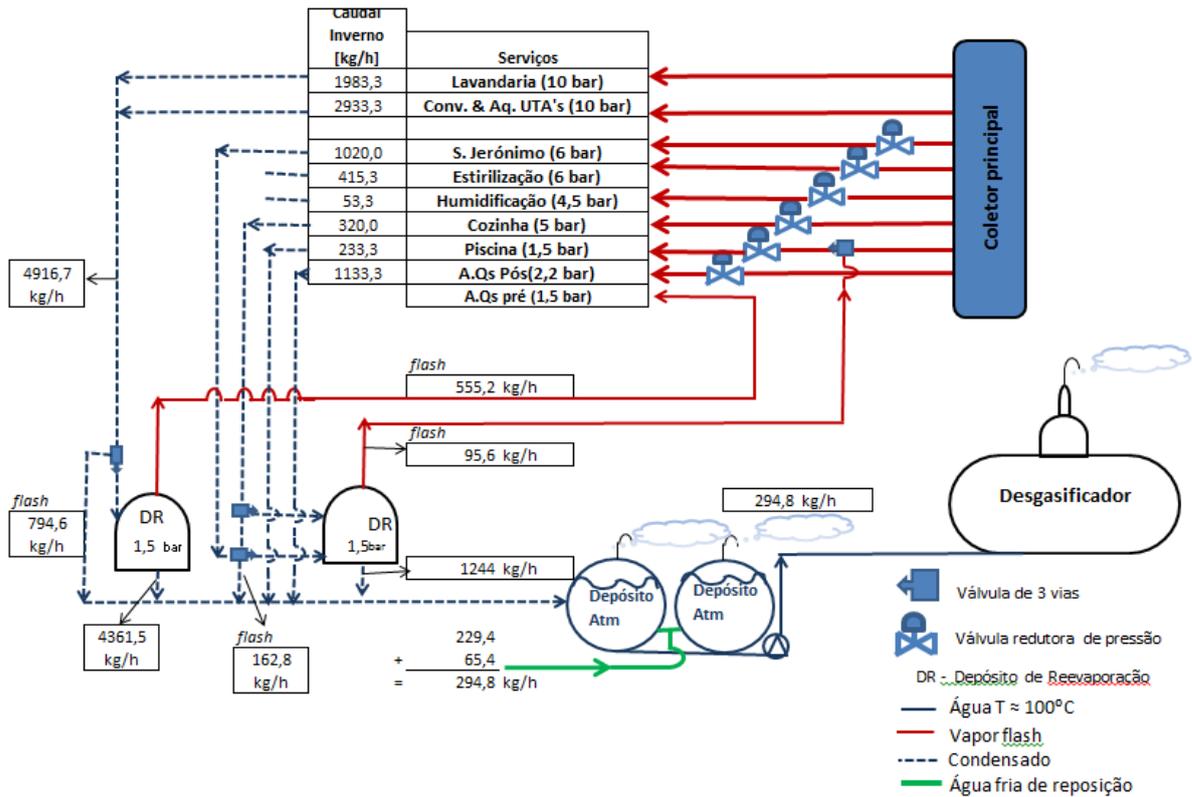


Figura 5.4 - Esquema para a instalação de dois depósitos de reevaporação (os valores determinados contemplam o cenário 3 de Inverno).

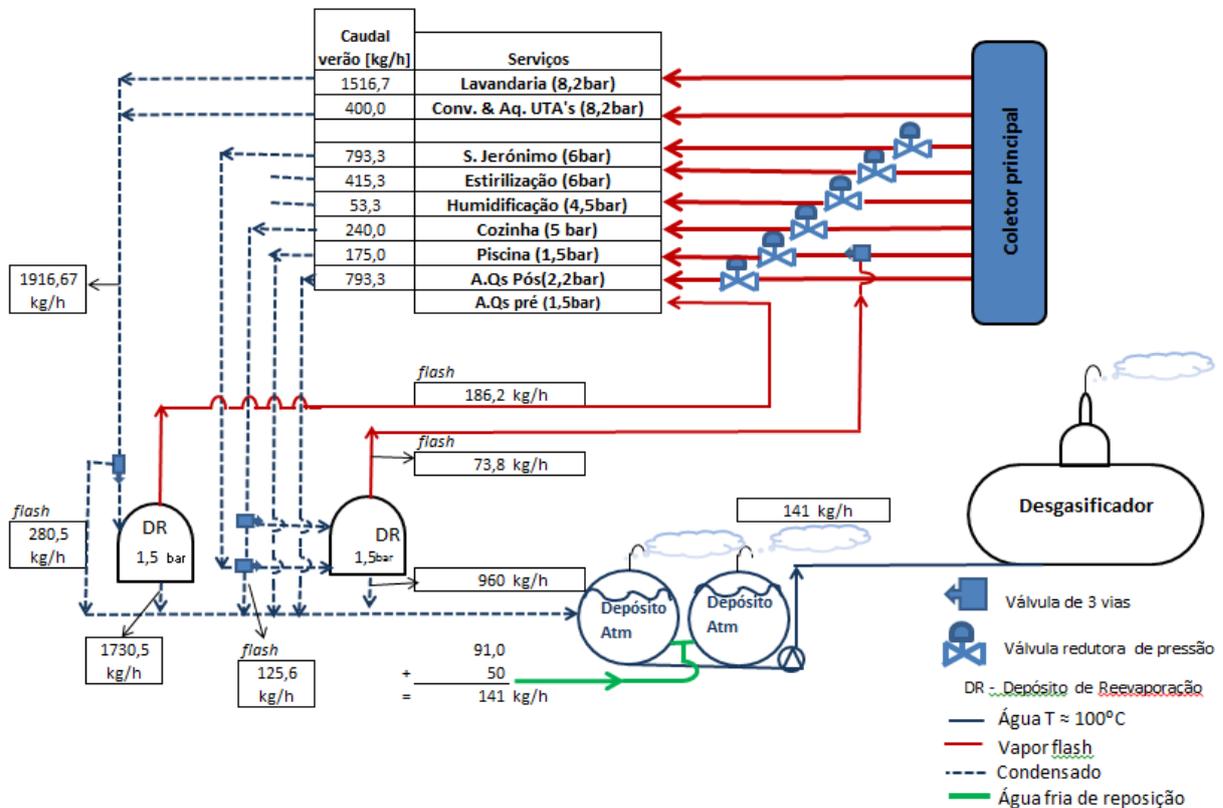


Figura 5.5 - Esquema do cenário-3 para o período de verão o, com caudais e pressões dos condensados remanescentes.

## 5.2. Análise energética e económica dos cenários estudados

Utilizando um dos cenários referidos anterior mente dois depósitos de reevaporação pode-se reduzir o caudal de vapor no colector principal bem como de água de reposição: cerca de 204 kg/h de vapor e 474 kg/h de água nos meses de inverno; cerca de 69 kg/h de vapor e 207 kg/h de água nos meses de verão em relação ao cenário actual.

Através da Tabela 5.1 podemos ver a comparação dos valores dos caudais de vapor flash obtido nos depósitos de reevaporação, bem como o caudal de flash que ainda será liberto no depósito atmosférico e que se traduz na água de reposição, para cada cenário e diferença entre o cenário actual e cada cenário escolhido. Concluindo que comparativamente com cenário actual, o cenário 3 possibilita um ganho de 6.9120 kg/mês de vapor durante o inverno, e de 53.280 kg/mês de vapor e também de 36.720 kg/mês de água de reposição durante o verão.

Tabela 5.1 – Comparação dos caudais de vapor e água de reposição entre os cenários escolhidos e o actual.

		INVERNO		VERÃO	
		Vapor <i>flash</i> [kg/h]	Água de reposição [kg/h]	Vapor <i>flash</i> [kg/h]	Água de reposição [kg/h]
	<b>Cenário Actual</b>	555	229	186	91
	Cenário 1	262	524	70	208
	Cenário 2	357	589	144	258
	Cenário 3	651	295	260	142
<b>Diferença entre o actual</b>	Cenário 1	-293	294	-116	117
	Cenário 2	-198	359	-42	167
	Cenário 3	96	65	74	51

Cenário actual - Depósito de reevaporação de 10 ou 8,2 bar para 1,5 bar.

Cenário 1 – Depósito de reevaporação de 10 ou 8,2 bar para 5 bar.

Cenário 2– Depósito de reevaporação de 10 ou 8,2 bar para 5 bar, mais depósito de reevaporação de 6 e 5 bar para 1,5 bar.

Cenário 3 - Depósito de reevaporação de 10 ou 8,2 bar para 1,5 bar, mais depósito de reevaporação de 6 e 5 bar para 1,5 bar.

Usando o valor do custo do vapor calculado em 4.4 de 26,94 €/t, considerando que o custo da água de reposição (2,91 €/t, referido ao ano de 2010) é acrescido de 2,5% pelo tratamento químico nos descalcificadores e com a energia para a bombagem, sendo então 2,98 €/t, estimámos ganhos na poupança de vapor e consequentemente de combustível e de água obtendo os valores que estão na Tabela 5.2. Verificando que o cenário 3 trás mais proveitos do que o actual, reflectindo-se numa poupança total de 2.059 €/mês em meses de inverno e de 1.590 €/mês em meses de verão. Considerando seis meses de necessidade de aquecimento e seis meses sem grande necessidade de aquecimento, daria um proveito de 21.894 €/ano.

Tabela 5.2 - Comparação dos ganhos económicos em vapor e água de reposição entre os cenários escolhidos e o actual.

		€/mês (30 dias)					
		INVERNO			VERÃO		
		Poup. Vap.	Poup. Ag.	Poup. Total	Poup. Vap.	Poup. Ag.	Poup. Total
<b>Diferença entre o actual</b>	Cenário 1	-5.195 €	627 €	-5.265 €	-2.050 €	249 €	-2.077 €
	Cenário 2	-3.502 €	766 €	-3.206 €	-779 €	355 €	-492 €
	Cenário 3	1.693 €	139 €	2.059 €	1.307 €	108 €	1.590 €

Base de cálculo: Custo do vapor = 26,94 €/t; Custo água de reposição = 2,98 €/t

## 6. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHO FUTURO

Neste trabalho é feito o levantamento dos consumos de energia elétrica e térmica, na última década (2000 – 2010) sendo elaboradas médias para estabelecer comparações com outros hospitais nacionais e internacionais. Os HUC têm um consumo de energia elétrica médio de 16,34 MWh/cama que é inferior à média dos consumos nacionais e está na média dos consumos hospitalares internacionais em termos de energia elétrica por unidade de área (146 kWh/m<sup>2</sup>). No que concerne à energia térmica o consumo médio é de 31,7 MWh/cama, valor que é superior ao dos hospitais nacionais, mas inferior aos hospitais internacionais, que se situa em 33,9 MWh/cama. Já em termos de unidade de área o valor médio de energia térmica é de 282,9 kWh/m<sup>2</sup>, que está abaixo da média internacional de 367 kWh/m<sup>2</sup>.

Com os valores do consumo mensal de nafta (para um valor médio de 400 €/t) e o regime de funcionamento dos diversos serviços é estimada a produção de vapor por cada circuito e calculado o custo médio do vapor por tonelada, de 26,94 €/t. Igualmente considerando o caudal médio de água de reposição e o custo respetivo foi calculado o valor de 2,98€/t.

Para a energia térmica associada à produção e distribuição de vapor é feita uma análise dos possíveis ganhos energéticos com o reaproveitamento dos condensados na formação de vapor *flash* para utilizadores que operam a mais baixas pressões. Para os diferentes cenários estudados conclui-se que é importante e considerável o aproveitamento do vapor *flash* dos condensados com depósitos de reevaporação, diminuindo a sua libertação para a atmosfera. No nosso caso de estudo, e através do cenário escolhido é possível diminuir a carga solicitada ao coletor principal em aproximadamente 1020 t/ano de vapor, o que se reflete numa poupança de 21.894 €/ano já contabilizando algumas perdas em água de reposição.

De futuro, seria interessante poder dispor de caudalímetros para aferir com maior rigor os caudais de vapor por circuito para poder confrontar com os consumos de GN e assim determinar com maior precisão os custos por circuito e conseqüentemente analisar com maior precisão os ganhos da reevaporação dos condensados e eventualmente

a instalação de depósitos de acumulação para a reevaporação em casos de picos de curta duração, potenciando uma maior racionalização da energia. Com os valores da orçamentação da instalação de reevaporadores de vapor, através dos Serviços de Instalações e Equipamentos dos HUC poder-se-á fazer uma análise do investimento e *pay-back*,.

Considerando a altura do edifício e os espaços nos terraços deverá ser estudada a instalação de coletores solares no apoio à produção de água quente para o circuito de AQS e Piscina.

Considerando que o consumo de vapor com o aquecimento (ventilo-convetores e UTA's) representa cerca de 25 % dever-se-ia a analisar a possibilidade de compra de uma caldeira mais pequena para o período de verão para assim contrapor às perdas pelo abaixamento da carga da caldeira existente nesse período.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATEHP, (2011). Associação de Técnicos de Engenharia Hospitalar Portugueses. Acedido em 21/06/2012 em : [http://www.atehp.pt/catalogo\\_noticias.php?ID=124](http://www.atehp.pt/catalogo_noticias.php?ID=124)
- ADENE, (2012). Certificação Energética e Ar Interior EDIFÍCIOS (SGE). Acedido em 19/05/2012 em <http://www.adene.pt/pt-PT/Subportais/SCE/Paginas/default.aspx>
- Balço Social, HUC, (2010). *Os HUC em números*. Acedido em 21/06/2012, em <http://www.huc.min-saude.pt/>
- Beihong, Z. and Weiding, L. (2006). *An optimal sizing method for cogeneration plants*, Energy and Buildings. 38 (2006), pp. 189-195
- British Petroleum (2012). *BP Statistical Review of World Energy. June 2012*, p.45.
- Burger, B. and Newman, P (2010). *Hospitals Sustainability*. Curtin University of technology, Australia CRC Construction Innovation, 2010/2011.
- CADDET, (1997). Saving energy with Energy Efficiency in Hospitals. Maxi Brochure, N°05, p.23.
- Carrier, (2009). Catálogo do produto 30 XAS 242 – 482, de 2009
- Çengel, Yunus A.; Turner, Robert H.; and Cimbala, John M., (2003) *Fundamentals of Thermal fluid Science*, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw Hill, 2003)
- CHC, (2012). *Apresentação*, Centro Hospitalar de Coimbra. Acedido em 21/06/2012, em: <http://www.chc.min-saude.pt/>
- China Statistical Yearbook, (2011). *The Chinese Statistical Association*, acedido em 15/11/2011 em: <http://www.businessinsider.com/china-energy-use-2012-8?op=1>
- Costa, C. e Lopes, S., (2007). *Avaliação do Desempenho dos hospitais publicos em Portugal, 2005*. Escola Nacional de Saúde Publica, Universidade Nova de Lisboa, 31 de Janeiro de 2007
- Cybermetrics Lab, (2012). Ranking Web of World Hospitals. Acedido em 17/08/2012, em: <http://hospitals.webometrics.info/index.html>
- DGEG, (2011). *A fatura energética portuguesa*. N°22, pp. 1-16.
- DGEG, (2012a). *Renováveis: Estatísticas rápidas*. N° 87, p. 21.
- DGEG, (2012b). *Petróleo, Gás Natural e Carvão: Estatísticas Rápidas*. 85, p.15.
- DGEG, (2012c). *A fatura energética portuguesa*. N°27, p.14.
- EDP, (2012). Caldeiras industriais. Acedido em 24/06/2012, em: <http://www.edpgassu.pt/index.php?id=360>
- EIA, (2012). *World Energy Consumption by sector*. U.S. Energy Information Administration. Acedido em 22/05/2012, em <http://www.eia.gov/>
- Environment Science Center, (2004). *Greener Hospitals, Improving Environmental Performance*. Augsburg, Germany.

- ETH Zurich, (2012). *Strategic Trends 2012*. Center for Security Studies, p.124.
- European Union, (2011). *The Commission's new Energy Efficiency Directive*. MEMO/11/440, Brussels, 22 June 2011.
- Eurostat, (2007). *Eurostatistics*. European Commission. Acedido em 22/05/2012, em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- Eurostat, (2009). *Eurostatistics*. European Commission, Russia-EU- basic statistical indicators. Acedido em 22/05/2012, em <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
- HUC, (2011). *Fluxo de doentes, 2010*. Acedido em 11/10/2011, em: <http://www.huc.min-saude.pt/>
- IEA, (2011). *Key World Energy Statistics. 2011*, p.80
- iInformação, (2010). *Presidente dos HUC reclama título de maior hospital*. Acedido em 17/08/2012 em: <http://www1.ionline.pt/conteudo/52170-presidente-dos-huc-reclama-titulo-maior-hospital>
- INE, (2012). *Boletim Nacional de Estatísticas*. Acedido em 20/07/2012, em: <http://www.ine.pt>
- MEID, (2010). *Estudo do potencial de cogeração de elevada eficiência em Portugal*, Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, 2010
- Ministério das Finanças (2011). *Relatório do Ministério das Finanças sobre o Orçamento do Estado para 2012*.
- NREL, (2011). *National Renewable Energy Laboratory*. U.S. Department of Energy. Acedido em 15/05/2012 em: <http://www.nrel.gov/>
- Regateiro, F.J. ( 2011). *HUC 4 anos de gestão e o futuro*. Coimbra, Concelho de Administração dos HUC-EPE.
- Relatório da ACSS, (2008). *Sistemas de avaliação de qualidade apercebida e de satisfação dos utentes dos hospitais EPE e SPA*. Universidade Nova.
- Saidur, R., Hasanuzzaman, M., Yogeswaran, S., Mohammed, H.A. and Hossain, M.S., (2010). *An end-use energy analysis in a Malaysian public hospital Energy*. Vol. 35, pp. 4780-4785.
- Statistics Norway, (2009). *Highest energy use in hospital buildings*. Acedido em 12/07/2012 em: [http://www.ssb.no/entjen\\_statres\\_en/](http://www.ssb.no/entjen_statres_en/)
- U.S. Department of Energy, (2010). *Commercial Buildings Energy Consumption Survey*. Acedido em 19/10/2011, em: <http://www.eia.gov/>.
- UE, (2002). *Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002*. Comissão Europeia.

***Legislação***

Ministério da Economia das obras publicas, transporte e Comunicações, (2006).  
*Decreto-Lei nº 78/2006, Decreto-Lei nº 79/2006 e Decreto-Lei nº 80/2006.*  
*Diário da República nº 67 - 4 de Abril de 2006.*

Decreto de Lei nº 78/2006 – *Diário da República nº 67 - 4 de Abril de 2006, 1ª Série* –  
A. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

Decreto de Lei nº 79/2006 – *Diário da República nº 67 - 4 de Abril de 2006, 1ª Série* –  
A. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

Decreto de Lei nº 80/2006 – *Diário da República nº 67 - 4 de Abril de 2006, 1ª Série* –  
A. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações.

## **ANEXO A - ESQUEMA DE PRINCIPIOS**

## **ANEXO B - CÁLCULO DO CONSUMO MÉDIO DE VAPOR POR SERVIÇO**

## **ANEXO C – FOLHA EXCEL® USADA PARA O CÁLCULO DO CAUDAL DE VAPOR FLASH**