



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

**ISEL**

# **Estudo Técnico-Económico para otimização do Projeto e Implementação de uma Bomba de Calor “Heat Machine”**

**LUIS CARLOS DINIZ DA SILVA**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientadores:

Especialista João Antero Nascimento dos Santos Cardoso  
Doutor Jorge Mendonça e Costa

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Especialista João Antero Nascimento dos Santos Cardoso

**Dezembro de 2015**





INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

**Área Departamental de Engenharia Mecânica**

**ISEL**

# **Estudo Técnico-Económico para otimização do Projeto e Implementação de uma Bomba de Calor “Heat Machine”**

**LUIS CARLOS DINIZ DA SILVA**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

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

Orientadores:

Especialista João Antero Nascimento dos Santos Cardoso  
Doutor Jorge Mendonça e Costa

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Especialista João Antero Nascimento dos Santos Cardoso

**Dezembro de 2015**

*“Our virtues and our failings are inseparable, like force  
and matter. When they separate, Man is no more.”*

*(Nikola Tesla)*

## **Agradecimentos**

Aos meus Orientadores *Professor Especialista João Antero Nascimento dos Santos Cardoso* e ao *Professor Doutor Jorge Mendonça e Costa* pela oportunidade e o privilégio de trabalhar sobre sua orientação, pela transmissão de conhecimentos e pela contribuição para o enriquecimento da minha formação académica e científica.

À empresa *ACET- ANTERO CARDOSO, Engenharia Termodinâmica, Lda*, pela oportunidade de me integrar num projeto inovador de uma forma direta e pela disponibilização de todos recursos necessários à conclusão da minha dissertação.

À *Professora Doutora. Alda Cristina Jesus Valentim Nunes De Carvalho* por todo o suporte e disponibilidade demonstrada na orientação e acompanhamento da dissertação, nas sugestões manifestadas e em todos os conselhos ao longo do trabalho.

Aos meus colegas de Mestrado em Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, com especial destaque ao *Engenheiro João Gonçalves* e *Engenheiro Sérgio Costa* pela ajuda e companheirismo nos momentos mais difíceis, onde foram também uma fonte de inspiração proporcionada pelos debates e discussões sobre assuntos técnicos e científicos e, mais importante, por se revelarem grandes amigos.

E por fim, mas não menos importante, agradeço aos meus pais *Fernando Silva* e *Fernanda Dinis* e à minha irmã *Ana Silva*, pela compreensão e força que sempre demonstraram até ao final do mestrado, à minha namorada *Katiana Silva* pelo seu companheirismo e apoio incondicional nos momentos de maior pressão, e aos meus amigos pela afeição a que sempre me habituaram.

## Lista de Siglas e Acrónimos

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BC	Bomba de Calor
HAP	<i>Hourly Analysis Program</i>
Tep	Tonelada equivalente de petróleo
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
NO <sub>x</sub>	Dióxido de Azoto
CFC	Clorofluorcarbonetos
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
BRIC	Acrónimo dos países em desenvolvimento: Brasil, Rússia, Índia e China
UE	União Europeia
RV	<i>Revolving Vane</i>
HFC	Hidrofluorcarbonetos
HCFC – 22	Clorodifluorometano
PV	Sistemas solares fotovoltaicos
PV SAHP	<i>Photovoltaic solar-assisted heat pump</i>
PVT	Sistema fotovoltaico térmico
COP	Coefficiente de Performance
MVC	<i>Mechanical vapour compression</i>
HE1	Permutadores de placas 1
HE2	Permutadores de placas 2
HE	Permutador de placas de evaporação-condensação

C	Compressor
P1	Bomba de circulação 1
P2	Bomba de circulação 2
P3	Bomba de circulação 3
VP	Bomba de vácuo
VS	Separador de líquido
GSHP	<i>Ground source heat pump</i>
HM	<i>Heat Machine</i>
BPS	<i>Building performance Simulation</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers</i>
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
FAT	<i>Factory acceptance test</i>
EER	<i>Energy efficiency ratio</i>
EEA	<i>Engineering Economic Analysis</i>
LCCA	<i>Life cycle cost Analysis</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
VS	Versus
VAL	Valor Atual Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
PRS	Período de Retorno Simples

## Simbologia

$\dot{m}_{sw}$	Caudal mássico água do mar (kg/s)
$\dot{m}_{pw}$	Caudal mássico evaporado (kg/s)
$\dot{m}_{pw}$	Caudal mássico solução salobra (kg/s)
$T_{swin}$	Temperatura entrada da água salgada (°C)
$T_{sw}$	Temperatura saída da água salgada (°C)
$T_{pwout1}$	Temperatura da solução salobra à saída do permutador 1 (°C)
$T_{pwout2}$	Temperatura da solução salobra à saída do permutador 2 (°C)
$T_{swevap}$	Temperatura evaporação da água salgada (°C)
$T_{evap}$	Temperatura evaporação da água pura (°C)
$T_{cond}$	Temperatura condensação da água pura (°C)
$T_C$	Temperatura Região mais fria – ciclo ideal (°C)
$T_H$	Temperatura Região mais quente – ciclo ideal (°C)
$Q_{vc}$	Quantidade de calor do volume de controlo – ciclo ideal (kWh)
$\dot{m}$	Caudal mássico fluido de trabalho – ciclo ideal (kg/s)
$W_c$	Trabalho consumido no compressor – ciclo ideal (W)
$W_t$	Trabalho produzido na turbina – ciclo ideal (W)
$\beta_{máx}$	Coefficiente de performance máximo (teórico) – ciclo ideal
$Q_{in}$	Quantidade de calor absorvida pelo ciclo (kWh)
$Q_{out}$	Quantidade de calor rejeitada pelo ciclo (kWh)
$T'_C$	Temperatura Região mais fria – ciclo real (°C)
$T'_H$	Temperatura Região mais quente – ciclo real (°C)
$\beta'$	Coefficiente de performance – ciclo real
$(W_c)_s$	Compressão irreversível – ciclo real (W)

$s$	Entropia específica (kJ/kg.K)
$h$	Entalpia específica (kJ/kg)
$Q_{carga\_AF}$	Carga térmica residual disponível (waste heat) (W)
$Q_{out\_CH}$	Carga térmica dissipada para o exterior no chiller (W)
$Q_{nec\_aq}$	Energia necessária para aquecimento (W)
$Q_{remans}$	Carga térmica remanescente (W)
$Q_{C\_ele}$	Consumo gás natural do sistema para a solução caldeira (kWh)
$W_{C\_misc}$	Consumo elétrico da caldeira (queimadores + miscellaneous), solução caldeira (kWh)
$W_{C\_pp}$	Consumo elétrico da bomba cir. de água aquecida (caudal <i>cte</i> ), solução caldeira (kWh)
$W_{C\_chiller}$	Consumo elétrico do <i>chiller</i> , solução caldeira (kWh)
$CE_C$	Consumo energético global - Caldeiras
$W_{HM\_in}$	Consumo elétrico da <i>HM</i> (kWh)
$W_{HM\_chiller}$	Consumo elétrico do <i>chiller</i> , solução <i>HM</i> (kWh)
$W_{HM\_misc}$	Consumo elétrico da caldeira (queimadores + miscellaneous), solução <i>HM</i> (kWh)
$W_{HM\_ppvar}$	Consumo elé. da bomba cir. de água aquecida (caudal variável), solução <i>HM</i> (kWh)
$W_{HM\_sp}$	Consumo elé. da bomba cir. de água arrefecida (fonte residual), solução <i>HM</i> (kWh)
$Q_{HM\_ele}$	Consumo gás natural do sistema para a solução <i>HM</i> , sistema de apoio (kWh)
$CE_{HM}$	Consumo energético global – <i>Heat Machine</i> (kWh)
$Q_{HM\_in}$	Calor absorvido pela <i>HM</i> no condensador (kWh)
$Q_{HM\_out}$	Calor fornecido pela <i>HM</i> no evaporador ao sistema de água aquecida (kWh)
$Q_{chiller\_out}$	Calor que dissipado no chiller para o exterior (kWh)
$C_{TGN}$	Consumo energético total da unidade em gás natural (m <sup>3</sup> )
$C_{kWh}$	Consumo energético total da unidade em kWh (kWh)
$PCS$	Poder calorífico superior de referência (kWh/Nm <sup>3</sup> )

## Resumo

A gestão sustentável de calor residual produzido em processos de arrefecimento em sistemas de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (AVAC), tem recebido uma especial atenção nos últimos anos. O aproveitamento do calor normalmente desperdiçado por estes sistemas para o meio ambiente, pode resultar em poupanças energéticas significativas.

Em colaboração com as empresas “ACET Engenharia e Termodinâmica” e “Recipharm”, observou-se a possibilidade de implementar um sistema para reaproveitamento do calor residual produzido no processo de arrefecimento de água dos sistemas de AVAC da Recipharm, utilizando o calor reaproveitado para a produção de água aquecida responsável pelo aquecimento e controlo de humidade dos mesmos sistemas.

Para tal, foi necessária a elaboração de um estudo, motivado pelo fato de não existir qualquer tipo de otimização no sistema de produção de água aquecida desde a sua instalação inicial, apresentando um enorme potencial de melhoria face a tecnologias atuais.

A presente dissertação consiste no estudo da otimização técnico-económica na instalação de uma bomba de calor do tipo "água/água", como alternativa ao sistema de produção de água aquecida existente, essencialmente composto por duas caldeiras a gás natural de evaporação rápida.

Modelaram-se computacionalmente todos os sistemas de AVAC fundamentais ao estudo energético recorrendo ao programa *HAPv4.8*. da empresa “Carrier”, sendo necessário desenvolver também algoritmos para o cálculo dos balanços energéticos e análise de resultados, com base nos regimes de funcionamento dos equipamentos. Foram disponibilizadas pela ACET, três tipos de bombas de calor possíveis de complementar o sistema atual: os modelos 30XWH354, 30XWH402 e 30XWH452 da “Carrier”.

Os cálculos levam à conclusão de que, a implementação destes equipamentos pode conduzir a uma redução de consumo energético até 1145939 kWh/ano, permitindo igualmente uma redução no consumo total de gás natural entre 14% e 15%, verificando-se assim duas soluções para o problema. Em primeiro lugar a solução de menor consumo energético, através da instalação do modelo XWH – 452 e em segundo a instalação do modelo XWH – 354, que se concluiu ser a solução ótima, com uma recuperação do investimento (PRS) de 1,3 anos.

**Palavras-chave:** Bomba de calor, Recuperação de calor, Custo energético, COP Heat machine, Modelação HAP, Estudo técnico-económico.

## **Abstract**

Sustainable management of heat waste produced in heating, ventilating and air conditioning (HVAC) systems, has been receiving a special attention in the last decades.

Normally, wasted heat recovery from environment, can yield significant energy savings.

In cooperation with "ACET-Engineering Thermodynamics" and "Recipharm" companies, it was observed the possibility to install a heat recovery system to recover heat from the chiller water process of Recipharm HVAC systems, for indoor heating and humidity control.

This study was motivated by the fact that Recipharm hot water system haven't had any optimization since its initial installation, therefore there is a huge improvement potential due to the advance of new technologies.

The present dissertation consists on a technical and economic study about the optimization of a water/water heat pump installation as an alternative of the existing hot water production system, which consists essentially in two natural gas boilers.

HVAC systems were designed and sized using the HAPv4.8 software from Carrier. It was also necessary to develop algorithms for energy calculation and results analysis afterwards. According to ACET previous calculations, there were three potential types of heat pumps to be install: the 30XWH354, 30XWH402 and 30XWH452 model from Carrier.

Calculations led to the conclusion that the installation of one heat pump can involve a reduction of energy consumption over 1145939 kWh per year, allowing also a decrease on overall consumption of natural gas between 14% and 15%, thus there were two solutions verified. The first one with the lowest power consumption, with 452 model installation and second one with 354 model that was found to be the optimal solution, given the lowest payback period of 1.3 years.

**Keywords:** Heat Pump, Heat Recovery, Energy Cost, Heat machine COP, HAP Modeling, Technical and economic study.

# Índice

Agradecimentos .....	v
Lista de Siglas e Acrónimos .....	vi
Simbologia .....	viii
Resumo .....	x
Abstract .....	xi
Índice.....	xii
Índice de Figuras.....	xiv
Índice de Tabelas .....	xvi
Capítulo 1. Introdução .....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Motivações.....	3
1.3 Estrutura.....	4
Capítulo 2. Estado da arte.....	5
2.1 Otimização da eficiência energética .....	7
2.1.1 Ciclos <i>multistage</i> .....	7
2.1.2. Otimização do rendimento dos compressores.....	8
2.1.3. Sistema de injeção.....	9
2.1.4. Novos fluidos de trabalho (fluidos frigorigéneos).....	11
2.2. Sistemas híbridos .....	13
2.2.1. Sistemas híbridos dessecantes.....	13
2.2.2. Sistemas híbridos solares .....	13
2.3. Aplicações inovadoras .....	15
2.3.1. Sistemas híbridos dessecantes.....	15
2.3.2 Geotérmica.....	17
Capítulo 3. Caso de estudo .....	19
3.1 Recuperação energética do sistema .....	27

3.2 Modelação dos sistemas e da unidade industrial .....	31
3.3 Simulação e Resultados .....	41
3.3.1 Exportação de dados e avaliação do potencial da fonte de calor residual disponível.....	41
3.3.2 Modelação matemática e cálculo dos balanços energéticos .....	43
3.3.3 Coeficiente de desempenho da HM .....	45
3.3.4 Otimização do sistema (seleção da heat machine).....	48
3.3.5 Viabilidade económica dos sistemas .....	54
3.4 Desenvolvimento de uma interface gráfica para o <i>software</i> de cálculo.....	63
Capítulo 4.    Conclusões .....	65
Referências.....	67
Anexo A – Fichas técnicas.....	71
Anexo B – Cálculo AVAC .....	77
Anexo C – Relatórios HAP v 4.8.....	88
Anexo D – Relatórios EEA.....	104
Anexo E – Contrato gás natural Recipharm .....	138
Anexo F – Proposta.....	144
Anexo G – Ficheiro funcionamento do programa .....	156
Anexo H – Código matlab .....	159
Anexo I – Algoritmo de cálculo.....	180

## Índice de Figuras

<b>Figura 2.1</b> - Classificação do desenvolvimento atual da tecnologia das Bombas de Calor [4].....	6
<b>Figura 2.2</b> - Sistemas (a) Ciclo de dois andares de compressão com intercooler, (b) Ciclo de dois andares de compressão com economizador, (c) Ciclo cascata e (d) legenda [6].....	7
<b>Figura 2.3</b> – Sistema de injeção-compressão [16].....	9
<b>Figura 2.4</b> – Coeficiente de desempenho de uma BC de injeção, com variação do diâmetro do injetor para diferentes temperaturas à qual o calor é dissipado [16].....	10
<b>Figura 2.5</b> – Variação energética no condensador de acordo com consumo energético do compressor e o valor do COP durante o inverno para um sistema de aquecimento de água em Hong Kong [25]. ...	14
<b>Figura 2.6</b> – Sistema MVC Dessecante [27].....	15
<b>Figura 2.7</b> – BC geotérmica de configuração vertical (a), e BC geotérmica de configuração vertical (b) [4].....	17
<b>Figura 2.8</b> – GSHP com recuperação de calor do solo e lençóis de água [4].....	18
<b>Figura 3.1</b> – Centrais de produção de água aquecida e arrefecida para os sistemas de AVAC.....	20
<b>Figura 3.2</b> – Ciclo Frigorífico de Carnot [29].....	21
<b>Figura 3.3</b> – Comparação entre as temperaturas do condensador e do evaporador com as temperaturas das regiões quente e fria [29].....	22
<b>Figura 3.4</b> – Componentes de um sistema de refrigeração por compressão de vapor [29].....	24
<b>Figura 3.5</b> – Diagrama T-s de um ciclo real de compressão de vapor [29].....	25
<b>Figura 3.6</b> – Diagrama esquemático simplificado dos fluxos de energia numa BC [29].....	27
<b>Figura 3.7</b> – Sistemas AVAC com aquecimento procedente da HM.....	29
<b>Figura 3.8</b> – Menu principal: Projeto Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8).....	32
<b>Figura 3.9</b> – Menu Design Parameters – Propriedades climatológicas Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8).....	33
<b>Figura 3.10</b> – Menu Design Temperatures – Perfil de temperaturas Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8).....	33
<b>Figura 3.11</b> – Lista dos espaços existentes no sistema Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8).....	35
<b>Figura 3.12</b> – Lista de horários de funcionamento (schedules) de iluminação, equipamentos e ocupação Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8).....	36

<b>Figura 3.13</b> – Lista de sistemas de tratamento de ar existentes na fábrica Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8) .....	36
<b>Figura 3.14</b> – Caracterização das centrais de produção de água arrefecida e água aquecida e caldeiras Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8) .....	37
<b>Figura 3.15</b> – Unidades produtoras de água arrefecida existentes na fábrica Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8) .....	38
<b>Figura 3.16</b> – Avaliação da energia térmica dissipada para o exterior no chiller, $Q_{carga\_AF}$ e potencial energético necessário para aquecimento AVAC $Q_{nec\_aq}$ .....	42
<b>Figura 3.17</b> – Boxplot da dispersão dos valores do COP da HM durante a estação de inverno e valores médios .....	46
<b>Figura 3.18</b> – Boxplot da dispersão dos valores do COP da HM durante a estação de verão e valores médios .....	46
<b>Figura 3.19</b> – Relação do COP relativamente aos valores de calor disponível para o sistema AVAC	47
<b>Figura 3.20</b> - Diagrama de Sankey sistema existente - Caldeias .....	48
<b>Figura 3.21</b> – Diagrama de Sankey heat machine 30XWH – 354 .....	49
<b>Figura 3.22</b> – Diagrama de Sankey heat machine 30XWH – 402 .....	49
<b>Figura 3.23</b> - Diagrama de Sankey heat machine 30XWH – 452 .....	50
<b>Figura 3.24</b> – Consumo energético mensal para aquecimento AVAC Heat Machine 354 + Apoio ...	52
<b>Figura 3.25</b> – Consumo energético mensal para aquecimento AVAC Heat Machine 402 + Apoio ...	52
<b>Figura 3.26</b> - Consumo energético mensal para aquecimento AVAC Heat Machine 452 + Apoio ....	52
<b>Figura 3.27</b> – Comparação do custo energético mensal entre solução a caldeiras e HM-354 .....	55
<b>Figura 3.28</b> – Comparação do custo energético mensal entre solução a caldeiras e HM-402 .....	55
<b>Figura 3.29</b> – Comparação do custo energético mensal entre solução a caldeiras e HM-452 .....	55
<b>Figura 3.30</b> – Cash flow da HM 354 .....	60
<b>Figura 3.31</b> – Cash flow das caldeiras .....	60
<b>Figura 3.32</b> – Benefício total entre sistemas, Anexo D .....	61
<b>Figura 3.33</b> – GUI layout: HeatMachine – beta 1.0 .....	63

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 3.1</b> – Estatísticas para as temperaturas do bolbo seco.....	34
<b>Tabela 3.2</b> - Estatísticas para radiação solar diária.....	34
<b>Tabela 3.3</b> – Equipamentos utilizados HAP (Project libraries).....	38
<b>Tabela 3.4</b> – Resultados da simulação energética mensal das caldeiras de vapor + total, Anexo D...	39
<b>Tabela 3.5</b> - Resultados da simulação energética mensal dos Chillers com caudal variável + total, Anexo D.....	40
<b>Tabela 3.6</b> - Resultados da simulação energética mensal da HM 402 + total, Anexo D.....	40
<b>Tabela 3.7</b> – Valores do balanço energético das fontes de calor disponível, residual e restante.....	42
<b>Tabela 3.8</b> – Comparação de resultados sistema convencional a caldeira, com o sistema a HM.....	51
<b>Tabela 3.9</b> – Economias obtidas no sistema global com a implementação da HM – XWH 452.....	53
<b>Tabela 3.10</b> – Investimento inicial e custo energético dos sistemas para produção de água aquecida – AVAC. Anexo F.....	54
<b>Tabela 3.11</b> – Valores de referência necessários ao estudo económico, Anexo E.....	54
<b>Tabela 3.12</b> - Aumento de disponibilidade das caldeiras para produção de vapor.....	57
<b>Tabela 3.13</b> – Resumo do LCCA da solução ótima para a substituição do sistema convencional considerando um período de operação de 20 anos.....	57
<b>Tabela 3.14</b> – Análise económica caldeiras vs HM 354.....	59

# Capítulo 1. Introdução

A gestão do calor residual produzido no processo de arrefecimento de água em sistemas de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (AVAC), pode resultar em poupanças significativas nos custos energéticos de um edifício ou unidade fabril. Com o aumento constante dos custos e consumos energéticos e o seu impacto direto sobre a economia e o meio ambiente, a recuperação energética a partir de calor residual de sistemas de produção de água arrefecida oferece um valor acrescentado de baixo custo, relativamente aos processos de produção de água aquecida nos sistemas AVAC [1].

O processo de recuperação de calor passa pelo aproveitamento de calor normalmente desperdiçado para o meio ambiente, convertendo-o em energia útil. Esta ideia forma-se com o propósito de redução de consumos energéticos e o impulsionar do conceito de projetos sustentáveis [1]. Este conceito deve determinar os melhores meios para aproveitamento do calor, sem prejudicar o funcionamento e a eficiência das unidades produtoras de água arrefecida. A especificação dos equipamentos de recuperação de calor utilizados para o caso de estudo nesta dissertação, estão de acordo com as necessidades de aquecimento dos sistemas AVAC, no que respeita à produção de água aquecida, que será realizada por intermédio de um sistema Bomba de Calor (BC).

A recuperação de calor através da utilização de uma BC permite a redução do uso de combustíveis fósseis. Além dos benefícios ambientais, existem também vantagens relacionadas com a gestão da manutenção dos equipamentos e a redução de custos operacionais.

Do ponto de vista de filosofia de funcionamento, sabendo que a BC a instalar é do tipo água/água, onde a fonte de calor captada no evaporador é de origem residual (*waste heat*) e tendo esta uma dupla recuperação energética tanto no condensador como no evaporador, convencionou-se que a BC comportar-se como uma *Heat Machine* (HM) [1]

Num típico edifício, o aquecimento de água e o aquecimento de espaços representa cerca de 43% da energia total consumida [2].

## 1.1 Objetivos

O objetivo da presente dissertação consiste na otimização técnico-económica da implementação de uma BC como alternativa à produção convencional de água aquecida exclusivamente por gás natural, responsável pelo aquecimento e controlo de humidade de uma instalação de AVAC de uma unidade industrial farmacêutica (Recipharm). Pretende-se simular, com base no *software* de modelação e simulação computacional “*Carrier HAP 4.80*”, os sistemas atuais de produção de água aquecida, geradores de vaporização rápida, comumente conhecidos como caldeiras a vapor, bem como todo o edifício e seus sistemas de AVAC.

Para o efeito, é necessário caracterizar e calibrar os sistemas de AVAC da unidade industrial no *HAP 4.80*, o que consistiu em definir as condições climatológicas exteriores aos sistemas, os espaços interiores e envolventes da unidade industrial, os horários de funcionamento da fábrica, os sistemas e as cargas térmicas existentes. Em seguida, pretende-se efetuar uma avaliação do potencial térmico disponível, a definição e cálculo dos balanços energéticos entre sistemas, a comparação dos custos e consumos energéticos entre os sistemas e o cálculo da viabilidade económica do investimento, utilizando instrumentos de apreciação financeira tais como a análise do ciclo de vida.

São também objetivos desta dissertação o desenvolvimento de um algoritmo em *Matlab* para cálculo, simulação e análise do comportamento dos sistemas, que permitirão a avaliação necessária à otimização da implementação da BC, bem como o desenvolvimento de uma interface gráfica para auxílio da utilização dos algoritmos implementados.

O trabalho desenvolvido foi de âmbito industrial através de uma parceria com a empresa ACET, *Antero Cardoso Engenharia Termodinâmica Lda*, inicialmente responsável pelo estudo e instalação dos sistemas.

## 1.2 Motivações

O cenário energético-económico e ambiental atual tem influenciado de forma cada vez mais proeminente a procura de investimentos em sistemas de recuperação energética, com o propósito de redução do seu consumo e diminuição da emissões de gases para a atmosfera, nomeadamente CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e CFC.

A diminuição do consumo energético global e o aumento das alternativas aos combustíveis fósseis têm cada vez mais impacto sobre as emissões de carbono para a atmosfera. Estudos recentes indicam que as emissões de CO<sub>2</sub> cresceram apenas 0,5% em 2014, valor mais baixo desde 1998 [3].

O consumo mundial de gás natural em 2014 cresceu 0,4%, abaixo da média dos últimos 10 anos, situada nos 2,4%. Os valores registados encontram-se tanto abaixo da média dos países da OCDE como dos das economias emergentes como o Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC). O consumo médio na União Europeia (UE) atingiu o maior declínio percentual da história (-11,6%). Os EUA (+ 2,9%), China (+ 8,6%) e Irão (+ 6,8%) registraram as maiores taxas de crescimento. Globalmente, o gás natural representa 23,7% do consumo de energia primária [3].

A instalação do sistema de produção de água aquecida da Recipharm nunca sofreu qualquer tipo de atualização, apresentando assim um enorme potencial de otimização face a tecnologias atuais que promovam melhores desempenhos energéticos. Existe assim, a possibilidade de equipar este sistema com uma unidade produtora de água aquecida como uma BC.

Atualmente, as BC possuem benefícios energéticos, ambientais e económicos, quando apresentadas como uma forma de substituição e/ou complemento de sistemas com necessidades de consumo de combustíveis fósseis, como no caso em estudo, caldeiras de vaporização rápida alimentadas a gás natural. As BC podem atingir coeficientes de desempenho cerca de 3,5 vezes superiores à (rendimento) de caldeiras, o que torna a implementação destes sistemas um investimento convincente, digno de estudos e investigação.

### 1.3 Estrutura

Tendo em conta tratar-se de uma dissertação baseada no estudo de caso concreto com vista a otimização do sistema energético da farmacêutica e a preocupação com as questões de sustentabilidade ambiental, o presente trabalho baseia-se numa estrutura simples e objetiva.

Na primeira parte, constituída pelo primeiro capítulo, trata-se do enquadramento do tema em estudo, os objetivos, as motivações e a metodologia seguida na dissertação.

No segundo capítulo é descrito o estado de arte, nomeadamente a evolução em termos de inovação tecnológica de BC, os sistemas mais avançados, a otimização de componentes e as aplicações inovadoras, entre outros pontos relevantes.

O terceiro capítulo é dedicado ao caso de estudo propriamente dito, começando com uma introdução ao problema, a temática das recuperações energéticas e modelação dos sistemas.

No ponto 3.3, faz-se a exportação de dados e a avaliação do potencial da fonte de calor residual disponível, a modelação matemática, o cálculo dos balanços energéticos, o estudo do coeficiente de desempenho da *heat machine*, a otimização do sistema (seleção da *heat machine*). Esta parte é ainda complementada por um estudo de viabilidade económica dos sistemas.

O subcapítulo 3.4 aborda o desenvolvimento de uma interface gráfica para o *software* de cálculo, sendo finalmente apresentadas as conclusões da dissertação no quarto e último capítulo.

## Capítulo 2. Estado da arte

Atualmente as BC oferecem diferentes alternativas económicas de recuperação de calor a partir de diversas fontes energéticas em várias aplicações industriais, comerciais e residências, afirmando-se como um componente chave nos sistemas de recuperação energética [4].

O avanço tecnológico, a otimização do desempenho, a viabilidade e o impacto ambiental das BC representam os grandes desafios no desenvolvimento desta tecnologia. O melhoramento de componentes do ciclo, os estudos na escolha dos fluidos de trabalho e a exploração da sua utilização em diferentes aplicações, tem aumentado cada vez mais a gama de possibilidades [4].

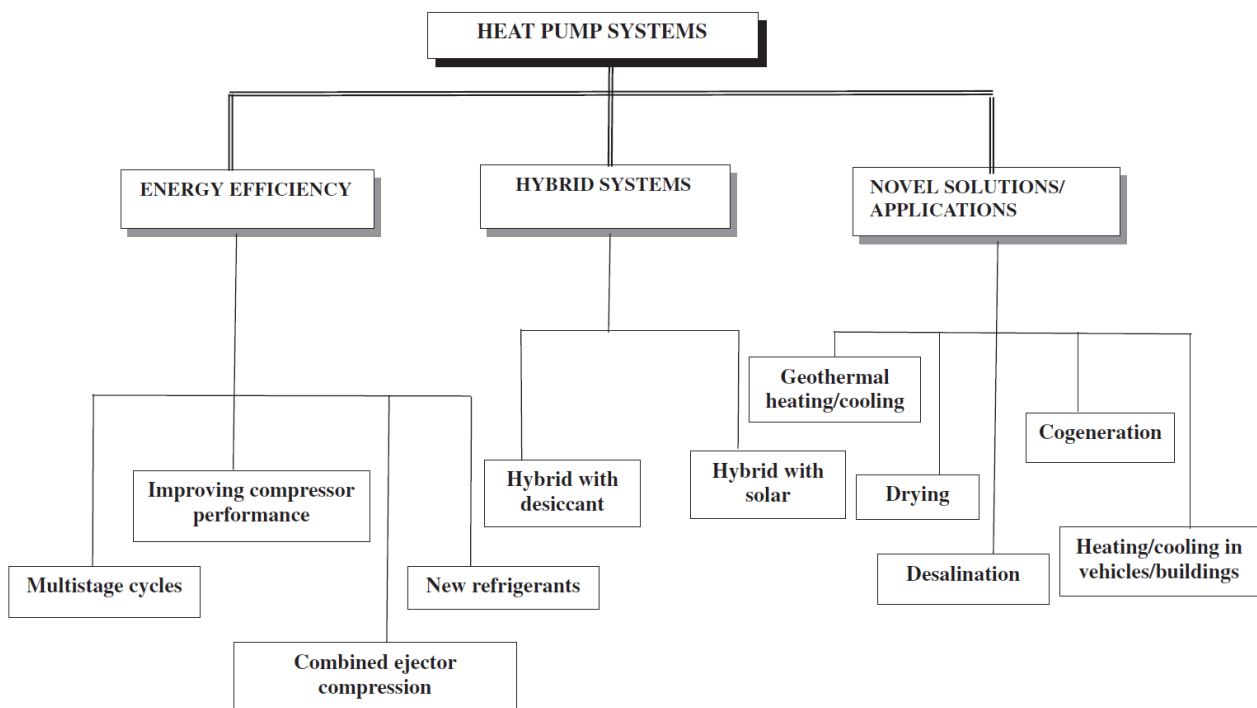
Esforços recentes conduzem as investigações a melhorar significativamente a eficiência energética das BC. Neste prisma, toma-se como exemplo, a utilização de um injetor térmico (subcapítulo 2.1.3) que proporcionou um aumento na eficiência energética em mais de 20%. O desenvolvimento tecnológico nos compressores instalados nos ciclos termodinâmicos tem potencial para reduzir o consumo de energia até cerca de 80% [4].

A evolução de novos sistemas híbridos está a permitir novas e diferentes aplicabilidades dos sistemas, bem como aumento de eficiência energética. Por exemplo, a incorporação de um dessecante no ciclo termodinâmico permite um melhoramento no controlo de humidade e temperatura promovendo diretamente o aumento da eficiência energética. As BC são vistas como uma chave tecnológica inovadora em futuros sistemas energéticos [4].

Relativamente a uma Heat

Dos diversos tipos existentes de BC, umas requerem trabalho externo para o seu funcionamento, enquanto outras necessitam de uma solicitação térmica externa. As BC baseadas em ciclos de compressão de vapor ou em ciclos de absorção são passíveis de operar em inúmeros modelos de aplicações e em vários ambientes industriais. Tecnologias mais recentes como ciclos de adsorção ou ciclos de reação química estão a emergir a grande velocidade, embora a sua aplicabilidade nas indústrias principais seja suscetível a casos de estudo [5].

Na figura 2.1 observa-se uma estrutura que descreve as técnicas atualmente utilizadas para otimização do desempenho de BC. Apresentam-se igualmente vários sistemas híbridos com a capacidade de recuperar o calor a partir de diferentes fontes térmicas assim como algumas das aplicações de sistemas mais inovadores.



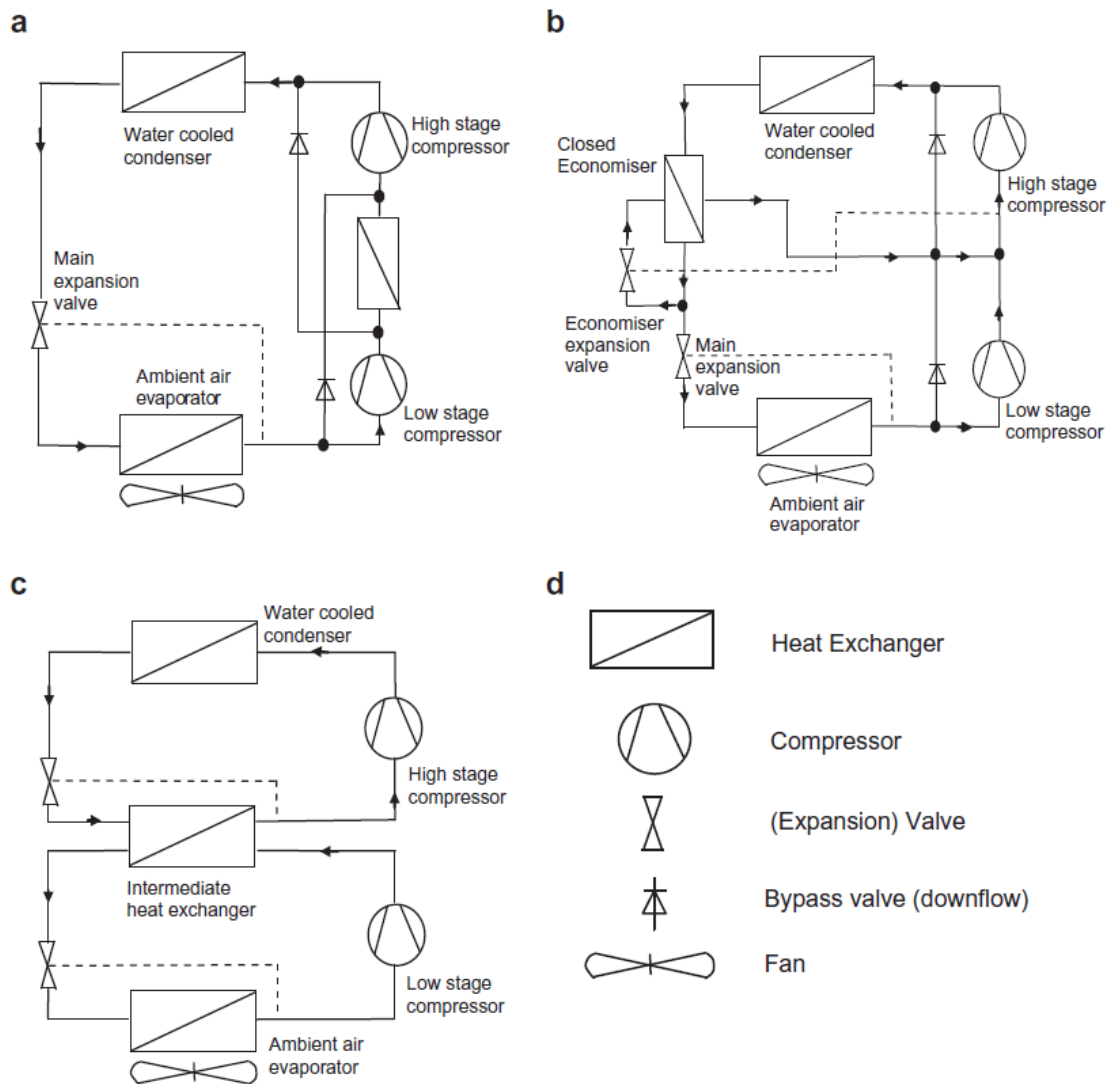
**Figura 2.1** - Classificação do desenvolvimento atual da tecnologia das Bombas de Calor [4]

## 2.1 Otimização da eficiência energética

### 2.1.1 Ciclos *multistage*

Os ciclos “*multistage*” são sistemas que utilizam mais do que um andar de compressão e podem classificar-se como sistemas compostos ou em cascata [6].

Como se observa na figura 2.2, um sistema composto consiste na instalação de dois ou mais andares de compressão instalados em série, podendo um deles ser de alta pressão e outro de baixa pressão. Os sistemas *multistage* têm razões de compressão menores e rendimentos de compressão mais elevados em cada andar, possibilitando maior efeito de refrigeração, temperaturas de compressão mais baixas e maior flexibilidade [7], [8].



**Figura 2.2** - Sistemas (a) Ciclo de dois andares de compressão com *intercooler*, (b) Ciclo de dois andares de compressão com economizador, (c) Ciclo cascata e (d) legenda [6].

Os sistemas em cascata consistem em dois sistemas independentes a operar com apenas um andar de compressão. Um mantém a temperatura de evaporação mais baixa, o outro funciona a uma temperatura de evaporação mais elevada. Estes estão ligados por um condensador tipo cascata, sendo que o calor libertado pelo condensador no sistema de baixa é exatamente o calor absorvido no evaporador do sistema de alta, como se observa da figura 2.2 (c) [6].

### 2.1.2. Otimização do rendimento dos compressores

Para otimização do consumo energético nos ciclos de compressão de vapor, uma abordagem chave é a redução do consumo energético do compressor. Atualmente pode-se considerar que a invenção do compressor de parafuso foi um grande avanço tecnológico na utilização de compressores [9]. Os compressores de parafuso são cerca de 10% mais eficientes que os alternativos convencionais.

Um grupo de investigadores tem vindo a desenvolver um compressor para aplicações em ciclos de refrigeração, conhecido como o *Revolving Vane (RV) Compressor* [10]. De acordo com estes investigadores, a característica relevante do conceito inovador envolve o uso radial de um cilindro rotativo, movido em conjunto com o mecanismo de compressão para reduzir as perdas de energia [11]. Em comparação com os compressores de êmbolo, as perdas de pressão na folga radial do compressor RV são 40% menores [10], [12]. O inovador compressor RV apresenta-se como sendo mais ecológico, reduzindo significativamente o consumo energético.

Dados obtidos em experiências têm indicado uma redução no consumo energético até 80%, quando comparados com outros sistemas existentes no mercado [11].

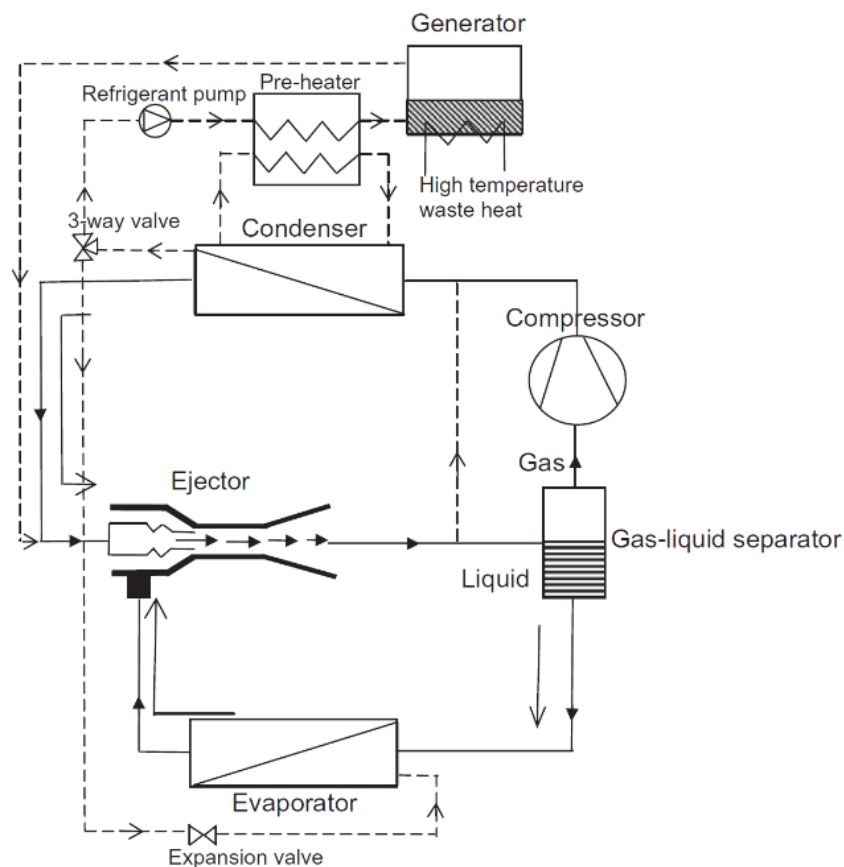
O avanço tecnológico na procura de melhorar o rendimento de compressores é transversal a vários tipos, como os compressores dinâmicos centrífugos e axiais e.g., na otimização geométrica e aerodinâmica e nos compressores volumétricos, alternativos (de êmbolo), rotativos de espiral, alhetas e de anel líquido.

### 2.1.3. Sistema de injeção

Inventado por Sir Charles Parsons por volta do ano de 1901, o injetor é o componente principal nos sistemas de refrigeração por injeção, através da remoção de ar do condensador de um motor a vapor.

Em 1910, o injetor foi utilizado por Maurice Leblanc no primeiro sistema de refrigeração por injeção [13]. Publicações recentes focam diferentes aspetos dos sistemas de compressão-injeção, como a compressão-injeção transcritical nos ciclos a CO<sub>2</sub> [14], os injetores de duas fases [15], [16] e o desempenho dos sistemas de refrigeração por injeção de fonte de calor residual ou solar [17].

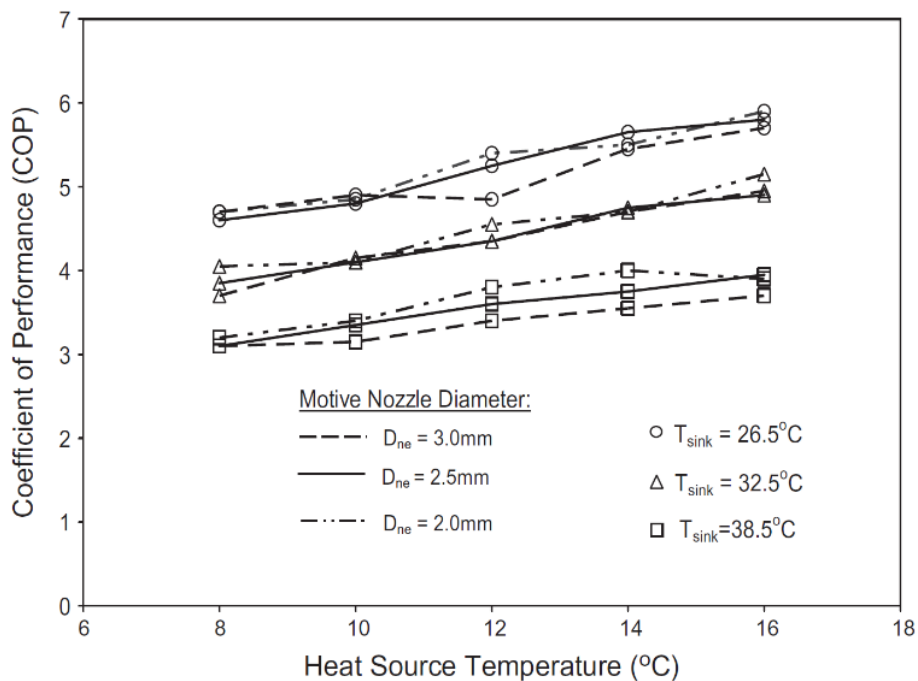
A bomba de calor de compressão-injeção utiliza uma fonte de calor residual para promover o aquecimento e o arrefecimento de espaços [16]. Na figura 2.3 observa-se um sistema de compressão-injeção que utiliza um injetor para efetuar vários graus de compressão no fluido de trabalho, dependendo da qualidade e da pressão de saída deste no condensador, assim como, a quantidade de calor residual disponível.



**Figura 2.3** – Sistema de injeção-compressão [16]

O separador de líquido direciona o gás diretamente para o compressor que se encontra a uma pressão mais elevada, enquanto o fluido de trabalho que se encontra no estado líquido é conduzido para o evaporador. O injetor inicia o processo de compressão, promovendo assim a diminuição de consumo energético no compressor. Quando o calor residual se encontra a elevadas temperaturas, o injetor tem capacidade realizar toda a compressão (figura 2.3).

Chaiwongsa e Wongwises et al [16] desenvolveram uma atividade experimental com um injetor variável com três diâmetros de saída diferentes. Na figura 2.4 observa-se o desempenho do injetor, operando a diferentes temperaturas de entrada.



**Figura 2.4** – Coeficiente de desempenho de uma BC de injeção, com variação do diâmetro do injetor para diferentes temperaturas à qual o calor é dissipado [16].

#### 2.1.4. Novos fluidos de trabalho (fluidos frigorigêneos)

Na procura de um potencial fluido de trabalho, é importante basear a seleção nas suas propriedades termodinâmicas. Estas devem ser similares às dos fluidos a serem substituídos. A investigação por novos fluidos de trabalho com semelhanças termodinâmicas ao clorodifluorometano (HCFC-22) não tem sido bem-sucedida, o que leva os investigadores a analisar novas possibilidades de misturas entre hidrofluorcarbonetos (HFC), por forma a substituir os HCFC-22 [18], trazendo novos desafios à engenharia.

Um fluido frigorigêneo irá condensar ou ebulir a uma temperatura constante, não acontecendo o mesmo em fluidos provenientes de misturas. A uma pressão constante, as temperaturas de condensação e de ebulição variam, levando à ocorrência de um fenómeno conhecido como deslize de temperaturas (*glide*). A ocorrência deste fenómeno durante a mudança de fase do fluido apresenta problemas relacionados com a transferência de calor, tais como a condensação incompleta, considerado o mais preocupante [19].

Além da questão do impacto ambiental causado pelos fluidos frigorigêneos, as investigações continuam a testar novas possibilidades de mistura entre fluidos, como o R404A, o R407C, o R410A, o R433A, o R32/R134a e o R170/R290 [4].

Contudo de acordo com o disposto no n.º 3 do artigo 13.º do Regulamento (UE) n.º 517/2014, a partir de 1 de janeiro de 2020, é proibida a utilização de gases fluorados com efeito de estufa cujo potencial de aquecimento global (PAG) seja igual ou superior a 2500, o que acontece para grande parte dos hidrofluorcarbonetos.



## 2.2. Sistemas híbridos

### 2.2.1. Sistemas híbridos dessecantes

Os sistemas híbridos dessecantes resultam da combinação de um ciclo de compressão de vapor com materiais dessecantes que se entendem como substâncias químicas capazes de absorver ou adsorver substâncias como a água, o etanol, entre outros, usadas na secagem de fluidos, tanto na fase líquida como na gasosa [20].

Em alternativa aos sistemas convencionais de AVAC, estes sistemas são utilizados principalmente quando a carga latente é alta ou quando há necessidades de controlo de temperatura e humidade [21]. O material dessecante é regenerado no condensador, voltando ao evaporador para absorção da humidade existente no interior do espaço, suprimindo assim as necessidades de dissipação da carga latente. As vantagens chave deste tipo de sistemas concentram-se no controlo independente de humidade e temperatura para maior conforto dos espaços e a redução do consumo energético evitando um arrefecimento excessivo (*over-cooling*) e reaquecimento necessário para desumidificar os espaços [22].

### 2.2.2. Sistemas híbridos solares

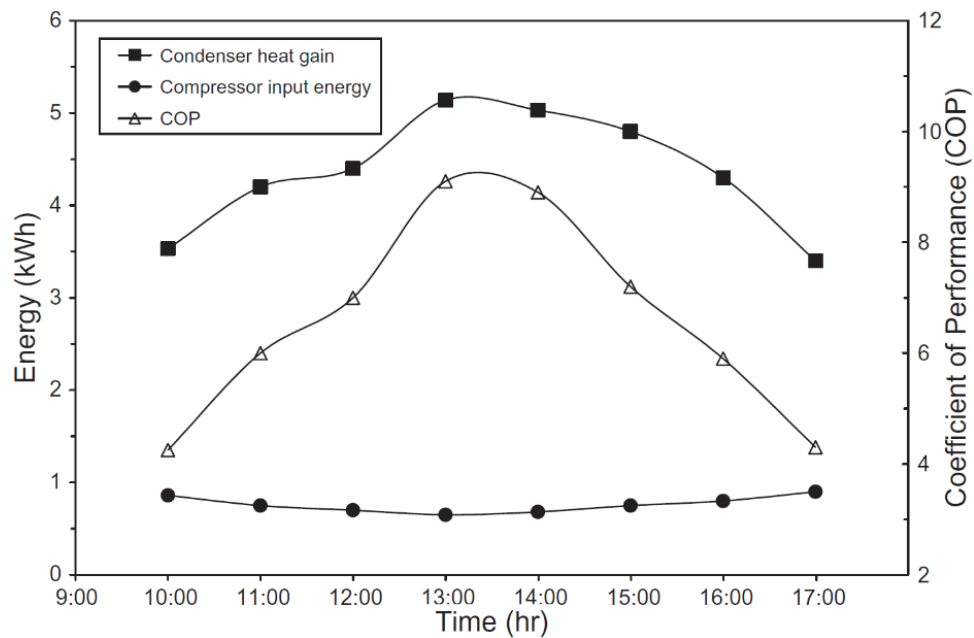
A integração de bombas de calor com sistemas solar-térmicos revela-se um sistema híbrido inovador, onde o desempenho da BC é consideravelmente melhorado, dada a origem da fonte de calor ser natural e inesgotável – energia solar [4]. Existem diferentes aplicações para sistemas híbridos solares como o aquecimento de águas sanitárias, o armazenamento de calor e a secagem.

Os estudos mais recentes apontam para a integração de sistemas solar-térmicos com solar-fotovoltaicos (PV) para recriação de novos sistemas híbridos, devido à necessidade de implementação de fontes energéticas renováveis que promovam a melhoria da eficiência energética das bombas de calor [23].

Pei G et al [24] descreve que numa BC (*photovoltaic solar-assisted heat pump – PV SAHP*) foi integrado um sistema fotovoltaico térmico (PVT) no evaporador, que permitiu realizar um efeito evaporativo e de condensação nas placas. Na sua configuração, parte da energia solar será convertida em energia elétrica, enquanto a restante é convertida em energia térmica. O calor é então transferido pelo fluido frigorígeno para o condensador e a energia elétrica aproveitada para alimentar o compressor, efeito este que revela resultados substanciais no aumento do coeficiente de desempenho (COP) da BC [24].

Os resultados indicaram que o sistema PV-SAHP apresenta uma eficiência superior em relação a um sistema convencional, conseguindo assim uma maior eficiência fotovoltaica.

Em Hong Kong foi desenvolvido um modelo matemático para estudo do desempenho de sistemas SAHP sob diferentes condições de operação. Os resultados obtidos apontam para vários pontos-chave na determinação da eficiência do sistema, como o caudal de circulação do fluido, as áreas dos coletores solares e a temperatura inicial da água no tanque solar de pré-aquecimento. De acordo com os resultados, foi também possível comprovar que, ao longo de um ano, o valor médio do COP foi 6,46 [25]. A figura 2.5 ilustra a variação da energia transferida no condensador de acordo com o consumo energético do compressor e o valor do COP durante o inverno para um sistema de aquecimento de água em Hong Kong [25].



**Figura 2.5** – Variação energética no condensador de acordo com consumo energético do compressor e o valor do COP durante o inverno para um sistema de aquecimento de água em Hong Kong [25].

## 2.3. Aplicações inovadoras

### 2.3.1. Sistemas híbridos dessecantes

A dessalinização entende-se como o processo de conversão de água do mar em água potável. A utilização de BC em centrais de dessalinização passa pelo reaproveitamento da energia térmica para ebulição da água salgada, promovendo assim a separação do sal da água e produzindo água potável [26]. Os sistemas mais comuns são os *mechanical vapour compression* (MVC), por se apresentarem como os sistemas termodinamicamente mais eficientes [26]. A eficiência termodinâmica dos sistemas MVC deriva da aplicação dos princípios termodinâmicos das bombas de calor.

Na figura 2.6 é possível observar um diagrama esquemático de um MVC. Consiste em dois permutadores de placas em paralelo (HE1 e HE2), um permutador de placas de evaporação-condensação (HE), um compressor (C), outros equipamentos essenciais ao funcionamento do sistema como as bombas de circulação (P1, P2 e P3), a bomba de vácuo (VP) e o separador de líquido (VS).

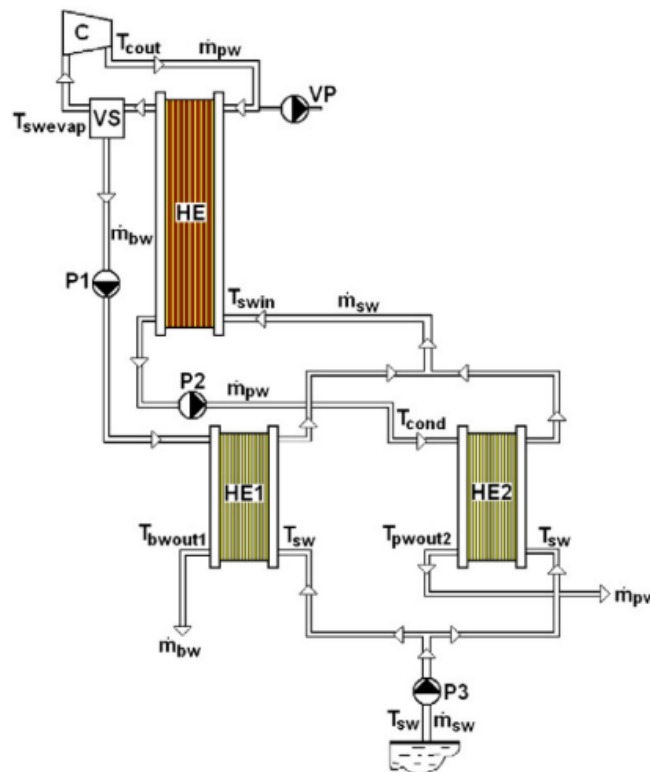


Figura 2.6 – Sistema MVC Dessecante [27]

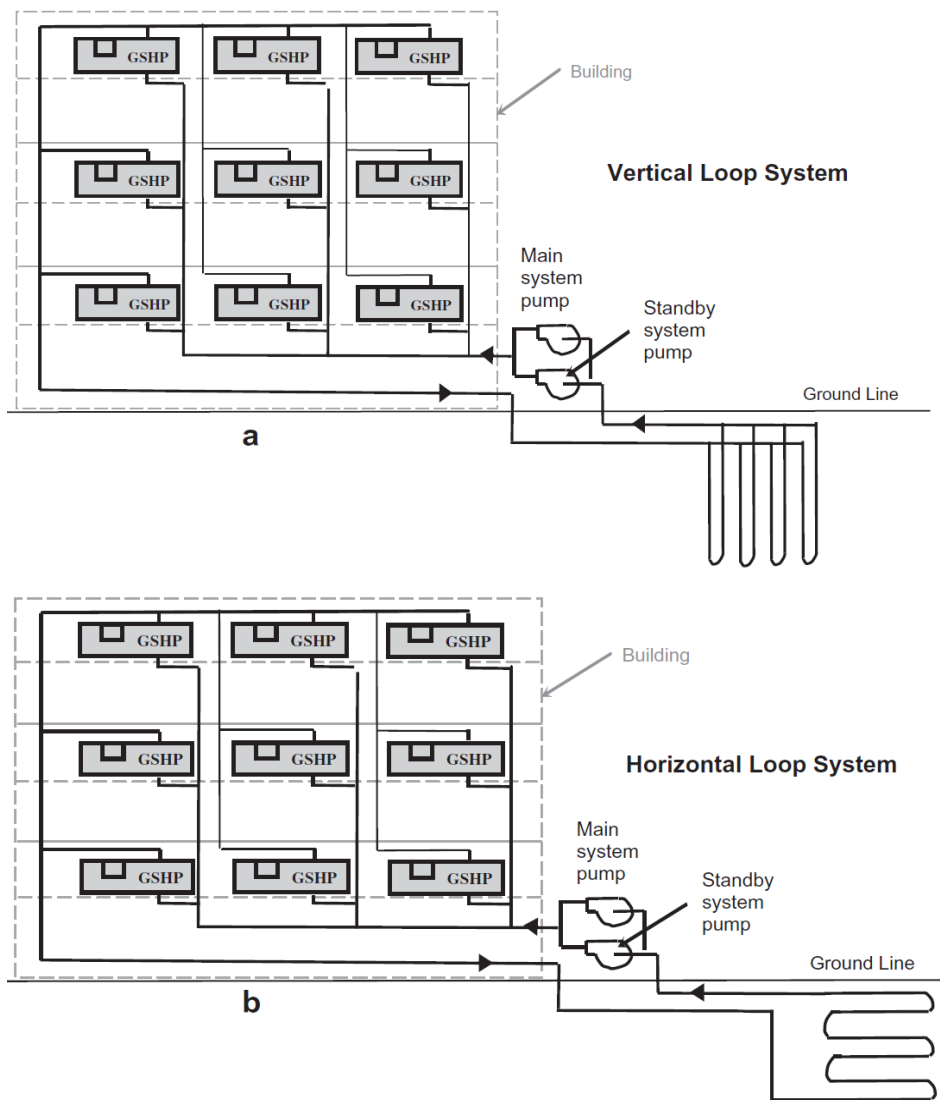
O permutador de evaporação-condensação HE, em conjunto com o compressor (C), compõem a central do MVC. O caudal mássico de água do mar ( $m_{sw}$ ) é dividido em duas correntes para pré aquecimento

nos permutadores H1 e H2, sendo direcionado para o HE, onde, parte do caudal irá evaporar ( $\dot{m}_{pw}$ ), e o restante caudal ( $\dot{m}_{bw}$ ) passa para uma solução salobra. Os caudais ( $\dot{m}_{bw}$ ), ( $\dot{m}_{pw}$ ) aquecem à saída do HE, e a água salgada que se encontra em contra corrente é pré-aquecida de ( $T_{sw}$ ) até ( $T_{swin}$ ). Depois de definidos os processos em HE1 e HE2, os caudais ( $\dot{m}_{bw}$ ) e ( $\dot{m}_{pw}$ ) são arrefecidos às temperaturas ( $T_{pwout1}$ ) e ( $T_{pwout2}$ ), a água do mar evapora à temperatura ( $T_{swevap}$ ), mais elevada que a temperatura de evaporação da água pura ( $T_{evap}$ ). Considerando que a água condensa à temperatura ( $T_{cond}$ ), o compressor irá aspirar o vapor da água e pressurizá-lo até a temperatura ( $T_{cout}$ ) [27].

Os sistemas de dessalinização térmica requerem um elevado consumo energia. Uma das possibilidades para a redução deste grande consumo pode, potencialmente, passar pela utilização de BC solar-assistida, uma vez que opera a temperaturas mais baixas e faz o reaproveitamento de energia solar ou energia proveniente de fontes de calor residual. Hawlader et al em [28] analisou o desempenho de uma BC solar-assistida em um banco de ensaios, obtendo resultados satisfatórios quanto à produção de água doce. O sistema testado tinha a capacidade de produção de um litro de água doce por hora, registrando valores na ordem dos 5 – 9 em termos de COP. A integração de uma BC com uma fonte energética solar num sistema híbrido pode resultar na redução dos custos operacionais [27].

### 2.3.2 Geotérmica

Uma BC geotérmica (*ground source heat pump – GSHP*) é um sistema de refrigeração e aquecimento central onde a fonte de calor provem do potencial térmico disponível no solo, sendo utilizado para aquecimento e arrefecimento ambientais e aquecimento de águas sanitárias [4]. Estes sistemas são ideais para a exploração de recursos geotérmicos superficiais através da utilização de bobinas instaladas no subsolo em configurações horizontais e verticais, como se pode verificar na figura 2.7. Durante o inverno, os GSHPs transferem calor proveniente do solo para as instalações e transferem as cargas no interior destes para o solo durante o verão. Estudos recentes comprovam que cerca de 70% da energia utilizada nos sistemas GSHP é proveniente de energia renovável armazenada no solo [4].



**Figura 2.7** – BC geotérmica de configuração vertical (a), e BC geotérmica de configuração horizontal (b) [4]

Os GSHP classificam-se como uma tecnologia de energia renovável, de alta eficiência energética e baixo impacto ambiental, tendo ganho atualmente alguma atenção em países de elevada demanda energética como a China [28]. Os GSHP podem aproveitar a energia do solo ou de fontes de água subterrânea como potenciais fontes de calor, como se pode observar na figura 2.8. A água existente abaixo do nível do solo pode ser água residual de centrais termoelétricas (por exemplo, produtos químicos, combustíveis fósseis, entre outros) direcionados para as centrais de tratamento de águas residuais. A principal vantagem dos sistemas GSHP é proporcionar temperaturas relativamente constantes durante as transferências de calor, melhorando desta forma a eficiência energética (COP), quando comparados com os sistemas convencionais [28].

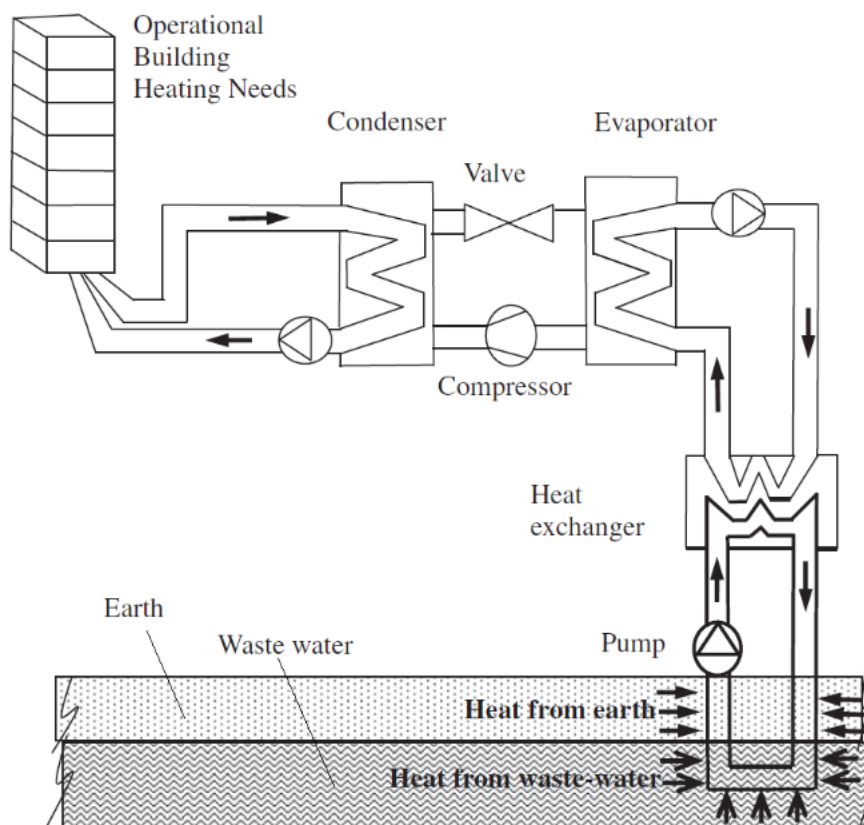


Figura 2.8 – GSHP com recuperação de calor do solo e lençóis de água [4]

## Capítulo 3. Caso de estudo

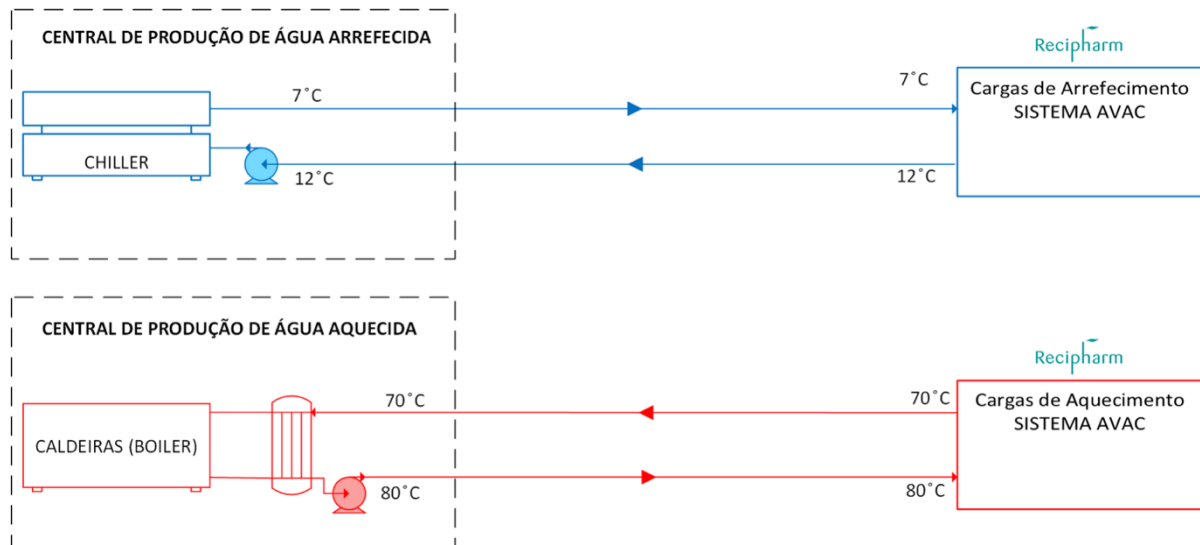
A produção de água aquecida e de água arrefecida necessárias à instalação de AVAC da Recipharm é feita separadamente. A produção de água arrefecida é efetuada por meio de uma central de arrefecimento, constituída por dois *chillers*. A produção de calor é efetuada por dois permutadores de calor instalados em paralelo com uma caldeira, cuja fonte primária é o gás natural.

Desde a sua instalação inicial, o sistema de produção de água aquecida não sofreu qualquer alteração, apresentando deste modo um enorme potencial de melhoria face à tecnologia atual. Existe a possibilidade de equipar este sistema com uma unidade produtora de água aquecida (ou bomba de calor), dispondo de um rendimento de funcionamento superior a 300%, pelo fato de utilizar parcialmente energia de uma fonte gratuita, proveniente do sistema de água arrefecida. Este valor comparado com o rendimento global do sistema atual de produção de água aquecida, que ronda os 70 %, é merecedor de um estudo quanto à viabilidade de um eventual investimento.

Pretende-se assim comparar a viabilidade técnico-económica na utilização de uma BC, instalada a montante do sistema de água arrefecida responsável pela dissipação das cargas térmicas internas da unidade industrial, alimentando o sistema de água aquecida, que fornece calor à unidade fabril, de modo a proceder-se à “transferência” de energia entre os referidos sistemas. O resultado passa pela diminuição da temperatura de retorno da água arrefecida e o aumento da temperatura no circuito de água aquecida, reduzindo o consumo energético dos respetivos sistemas, embora com o aumento de consumo elétrico.

As temperaturas atuais de funcionamento dos circuitos de água arrefecida e água aquecida são 7/12°C e 80/70°C, respetivamente.

A figura 3.1 representa o esquema de princípio atual dos sistemas utilizados atualmente para produção de água aquecida e água arrefecida para AVAC.



**Figura 3.1** – Centrais de produção de água aquecida e arrefecida para os sistemas de AVAC

Uma BC é um equipamento que tem como base de funcionamento um ciclo termodinâmico, i.e., um ciclo ideal de refrigeração de Carnot [29].

Um ciclo ideal de refrigeração é obtido através da inversão de um ciclo de potência a vapor de Carnot. Na figura 3.2 pode-se observar o diagrama  $T$ - $s$  (temperatura vs entropia) de um ciclo de refrigeração de Carnot, operando entre uma região à temperatura  $T_C$  e outra região a uma temperatura mais elevada  $T_H$  [29].

O processo termodinâmico é realizado pela circulação contínua de um fluido de trabalho, neste caso fluido frigorígeno, através de 4 componentes essenciais ao funcionamento do ciclo. As transferências de energia (calor) observadas no diagrama são positivas nos sentidos indicados pelas setas [29].

No estado 4, o fluido frigorígeno entra no evaporador como uma mistura de duas fases líquido-vapor. No evaporador, parte do fluido muda de fase, de líquido para vapor, como resultado da transferência de calor da região à temperatura  $T_C$  para o fluido, durante o processo 4 – 1, sendo essa transferência de calor ocorre a temperatura e pressão constantes. O fluido é então comprimido isentropicamente do estado 1 para o estado 2. Durante este processo, a temperatura aumenta de  $T_C$  para  $T_H$ , verificando-se também um aumento de pressão. O fluido passa então do compressor para o condensador, onde muda de fase de vapor saturado para líquido saturado como resultado da transferência de calor para a região à temperatura  $T_H$  [29].

A temperatura e a pressão permanecem constantes no processo entre o estado 2 e o estado 3. Por fim, o fluido regressa ao estado inicial à entrada do evaporador através de uma expansão adiabática numa turbina, processo 3 – 4, onde a temperatura no fluido desce de  $T_H$  para  $T_C$ , verificando-se uma diminuição de pressão [29].

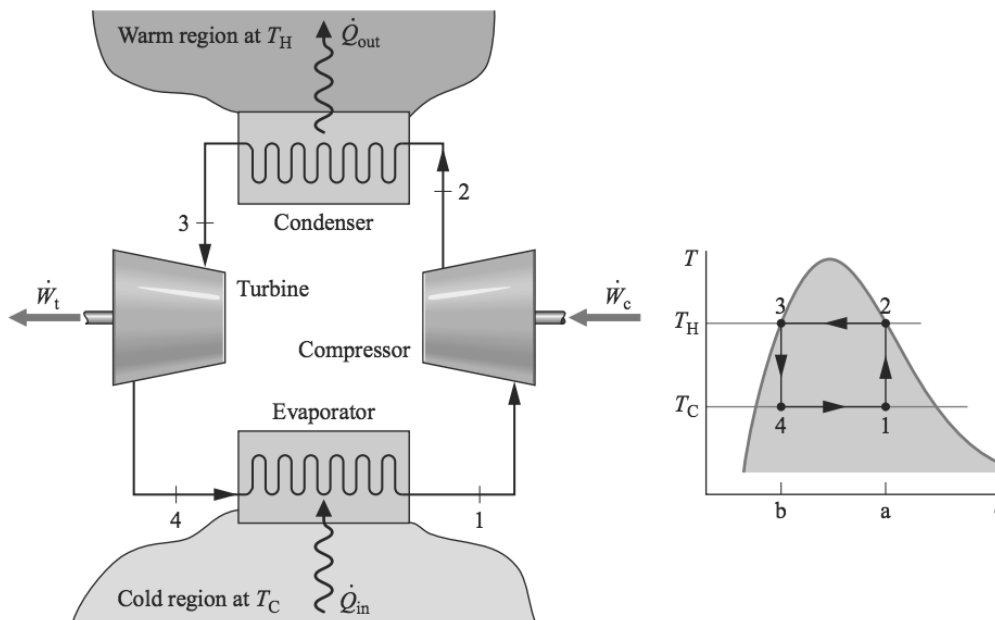


Figura 3.2 – Ciclo Frigorífico de Carnot [29]

Uma vez que o ciclo ideal de refrigeração a vapor de Carnot é composto por processos reversíveis, as áreas no diagrama  $T$ - $s$  podem ser interpretadas como transferências de calor, aplicando-se a equação (1):

$$\left(\frac{\dot{Q}_{vc}}{\dot{m}}\right)_{int_{rev}} = \int_1^2 T ds \quad (1)$$

A área  $1-a-b-4-1$  será o calor absorvido pelo fluido através da região mais fria por unidade de massa e a área  $2-a-b-3-2$  representa o calor rejeitado pelo fluido para a região mais quente por unidade de massa [29].

A área 1-2-3-4-1 representa a transferência de calor sobre o fluido. O trabalho resultante será a diferença entre o trabalho consumido pelo compressor  $\dot{W}_c$  e o trabalho produzido na turbina  $\dot{W}_t$  [29].

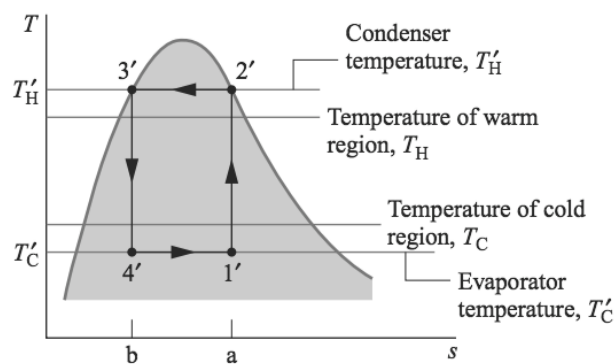
O coeficiente de desempenho  $\beta$  do ciclo, equação (3), é o quociente entre o efeito de refrigeração e o trabalho necessário para atingir esse mesmo efeito.

$$\beta_{m\acute{a}x} = \frac{\dot{Q}_{entra}}{\dot{W}_c - \dot{W}_t} = \frac{1, a, b, 4, 1}{1, 2, 3, 4, 1} = \frac{T_C(s_a - s_b)}{(T_H - T_C)(s_a - s_b)} \quad (2)$$

De onde se deduz,

$$\beta_{m\acute{a}x} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad (3)$$

Contudo, os sistemas de refrigeração a vapor são sistemas reais, o que implica que existam irreversibilidades nos processos, que promovem desvios significativos ao ciclo de Carnot ideal [29]. Um dos desvios mais relevantes está relacionado com as transferências de calor entre o fluido e as regiões quente e fria. Em sistemas reais, estas transferências não são realizadas reversivelmente. A fim de se alcançar uma taxa de transferência de calor suficiente para manter a temperatura da região mais fria  $T_C$  através de um evaporador de tamanho realístico, é necessário que a temperatura do fluido no evaporador  $T'_C$  esteja bastante abaixo da  $T_C$ . Analogamente, o mesmo acontece no condensador, onde, é necessário que a temperatura de  $T'_H$  esteja vários graus acima de  $T_H$ . Na figura 3.3 observa-se esta variação das temperaturas [29].



**Figura 3.3** – Comparação entre as temperaturas do condensador e do evaporador com as temperaturas das regiões quente e fria [29]

A manutenção das temperaturas do fluido nos permutadores em valores  $T'_C$  e  $T'_H$ , em vez de  $T_C$  e  $T_H$ , respectivamente, causa uma redução no coeficiente de performance do ciclo. Isto pode ser analisado expressando o coeficiente de desempenho na equação 4, designado por  $1'-2'-3'-4'-1'$  da figura 3.3.

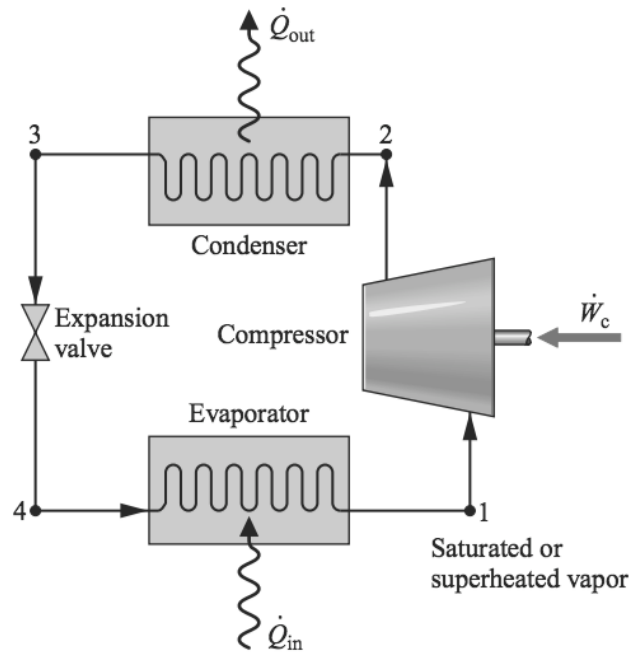
$$\beta' = \frac{1', a, b, 4', 1}{1', 2', 3', 4', 1'} = \frac{T'_C}{T'_H - T'_C} \quad (4)$$

Comparando as áreas associadas às expressões de  $\beta_{m\acute{a}x}$  e de  $\beta'$ , conclui-se que  $\beta' < \beta_{m\acute{a}x}$ .

Mesmo quando as diferenças de temperatura entre o fluido refrigerante e as regiões quente e fria são levadas em consideração, existem outras características que fazem com que o ciclo de refrigeração a vapor da figura 3.3 seja impraticável. Observando-se o processo de compressão do estado  $1'$  até  $2'$ , este ocorre com o fluido numa condição de mistura de duas fases líquido-vapor levando à presença de gotas de líquido no compressor. Isto poderia causar danos graves no compressor devido à incompressibilidade dos fluidos no estado líquido. Nos sistemas reais, o processo de compressão é realizado com o fluido apenas na fase de vapor [29].

Outra característica que torna o ciclo da figura 3.3 impraticável é o processo de expansão do estado líquido saturado  $3'$ , para o estado de mistura de duas fases líquido-vapor com baixo título  $4'$ . Esta expansão produz uma quantidade de trabalho relativamente pequena, quando comparada com o trabalho fornecido no compressor [29].

Por consequência geralmente sacrifica-se o trabalho disponível na turbina substituindo-a por uma simples válvula de expansão, com uma consequente redução de custos iniciais e de manutenção, como se observa na figura 3.4, conhecida como ciclo de compressão de vapor [29].



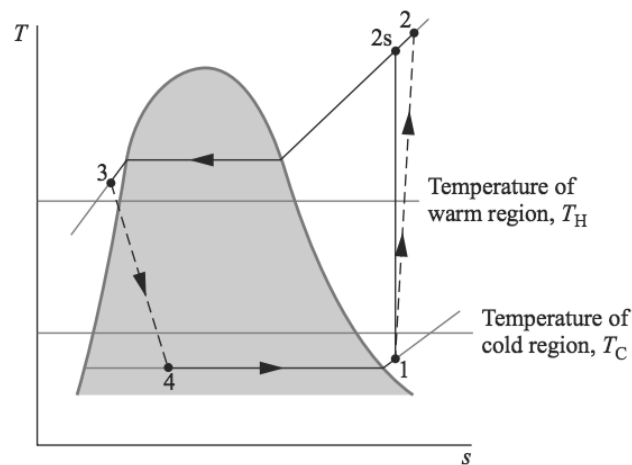
**Figura 3.4** – Componentes de um sistema de refrigeração por compressão de vapor [29]

A figura 3.5 representa um diagrama  $T$ - $s$  de um ciclo real de compressão de vapor, onde as transferências de energia não são realizadas de uma forma reversível. A temperatura do fluido no evaporador é mais baixa que a temperatura  $T_C$  da região fria, a temperatura do fluido no condensador é mais alta que a temperatura  $T_H$  da região quente e estas transferências de calor irreversíveis têm um efeito significativo no desempenho do ciclo. Outro fator importante no desempenho do ciclo é o efeito das irreversibilidades durante a compressão do fluido (sugerido pelo uso de uma linha tracejada para o processo de compressão do estado 1 até o estado 2) [29].

A linha a tracejado indica o aumento de entropia específica associada a uma compressão adiabática irreversível, comparando o ciclo 1-2-3-4-1 com o ciclo 1-2s-3-4-1, sabendo-se que a capacidade frigorífica é a mesma, o trabalho consumido pelo compressor é maior para o caso da compressão irreversível, quando comparado com um ciclo ideal [29].

O efeito da compressão irreversível é analisado tendo em conta a eficiência isentrópica do compressor. Na equação (5) observa-se:

$$\eta_c = \frac{(\dot{W}_c)_s}{\dot{W}_c} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad (5)$$



**Figura 3.5** – Diagrama  $T$ - $s$  de um ciclo real de compressão de vapor [29].



### 3.1 Recuperação energética do sistema

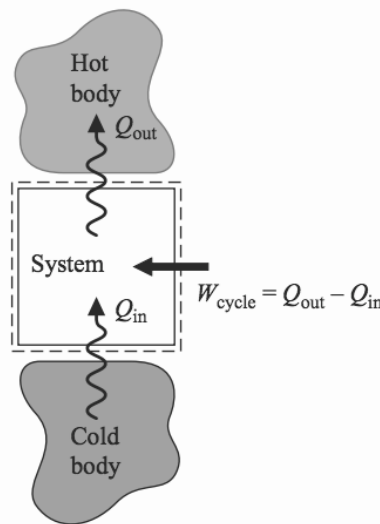
O balanço energético do ciclo termodinâmico pode ser descrito pelas equações (6), (7) e (8):

$$\Delta E_{ciclo} = Q_{ciclo} - W_{ciclo} \quad (6)$$

$$\Delta E_{ciclo} = 0 \quad (7)$$

$$W_{ciclo} = Q_{ciclo} \quad (8)$$

nas quais  $Q_{ciclo}$  e  $W_{ciclo}$  representam as quantidades líquidas de transferência de energia sob a forma de calor e trabalho para o ciclo. Essas expressões têm como base o princípio da conservação da energia que tem de ser satisfeita por todo o ciclo termodinâmico, independentemente da sequência dos processos seguidos [29]. Na figura 3.6 observa-se o esquema simplificado das transferências de energia no ciclo de uma bomba de calor. Este exemplifica a forma como os fluxos de energia se irão comportar no sistema a implementar onde, através do fornecimento de energia (trabalho) a uma bomba de calor, se irá transferir calor de uma fonte fria para uma fonte mais quente.



**Figura 3.6** – Diagrama esquemático simplificado dos fluxos de energia numa BC [29]

Os processos de transferência obedecem igualmente ao princípio da conservação da energia, i.e., a quantidade total de energia de um sistema isolado permanece constante [30].  $Q_{in}$  é a energia transferida de uma fonte a uma temperatura mais fria (fonte de calor residual), correspondendo às cargas térmicas existentes na fábrica, que estão a ser dissipadas pelo chiller para o exterior.  $Q_{out}$  é a energia transferida

sob a forma de calor, do sistema de arrefecimento para o sistema de aquecimento (neste caso a região mais quente).

De forma a possibilitarem-se estas trocas de calor, é necessário o fornecimento de trabalho por meio do compressor  $W_{ciclo}$ , como já referido (consumo de energia elétrica no compressor).

As quantidades  $W_{ciclo}$ ,  $Q_{out}$  e  $Q_{in}$  relacionam-se entre si de acordo com o balanço de energético da equação (8).

$$Q_{out} = Q_{in} + W_{ciclo} \quad (9)$$

O coeficiente de desempenho da BC pode ser descrito como a razão entre a quantidade de energia transferida pelo sistema  $Q_{out}$  e o trabalho líquido necessário para produzir esse efeito. Convencionalmente, este parâmetro é conhecido como coeficiente de desempenho doravante denominado por COP [29].

$$COP = \frac{Q_{out}}{W_{ciclo}} \quad (10)$$

Substituindo na equação (8), tem-se,

$$COP = \frac{Q_{out}}{Q_{out} - Q_{in}} \quad (11)$$

Da equação 10, conclui-se que o valor do COP nunca é inferior à unidade, pois definindo-se este como a razão entre a transferência de calor desejada e o consumo energético para tal, a quantidade de calor transferida pela BC será sempre maior que a energia elétrica consumida.

A possibilidade de implementação de uma BC como alternativa à produção convencional de água aquecida poderá ser considerada um sistema de recuperação energética, tendo em conta a sua filosofia de instalação.

Como referido no início deste capítulo, pretende-se que a BC seja instalada entre o sistema água arrefecida e o sistema de água aquecida. De acordo com o diagrama da figura 3.7, a BC capta água do circuito de arrefecimento a 12°C, devolvendo a jusante à temperatura de 7°C. Da mistura feita no *bypass* resulta uma temperatura intermédia entre os 7 e os 12 °C. Ao receber água a uma temperatura mais baixa, os *chillers* do sistema de arrefecimento vão consumir menos energia primária. Em simultâneo, a BC capta água do sistema de aquecimento a 50°C, devolvendo-a a jusante à temperatura de 60°C. Ao

receber água a uma temperatura mais elevada, as caldeiras de vapor da central de produção de água aquecida vão despende menos energia, pois não necessitam de aquecer a água do circuito para garantir os 60°C necessários às necessidades de aquecimento para os sistemas de AVAC.

De acordo com um estudo preliminar realizado pela ACET, foram disponibilizados três tipos de BC possíveis de instalar no circuito de água aquecida, como alternativa ao sistema existente. A existência destas três hipóteses conduziu à necessidade de realizar de três estudos comparativos, para cada uma das BC, e adicionalmente analisar a melhor solução.

As BC foram disponibilizados pela Carrier e são respetivamente os modelos *water-cooled liquid Chillers Aquaforte 30 XWH 354*, *30 XWH 402* e o *30 XWH 452*.

A figura 3.7 exemplifica o esquema de princípio do funcionamento dos sistemas com a instalação da BC. Como se pode observar, existe um duplo efeito energético no modo de funcionamento da BC. Sendo este equipamento do tipo água-água, poderá admitir-se que se comporta como uma *Heat Machine* (HM) [1]. A instalação deste equipamento no circuito de água aquecida irá promover o reaproveitamento energético pretendido, que se verifica ter um impacto a vários níveis.

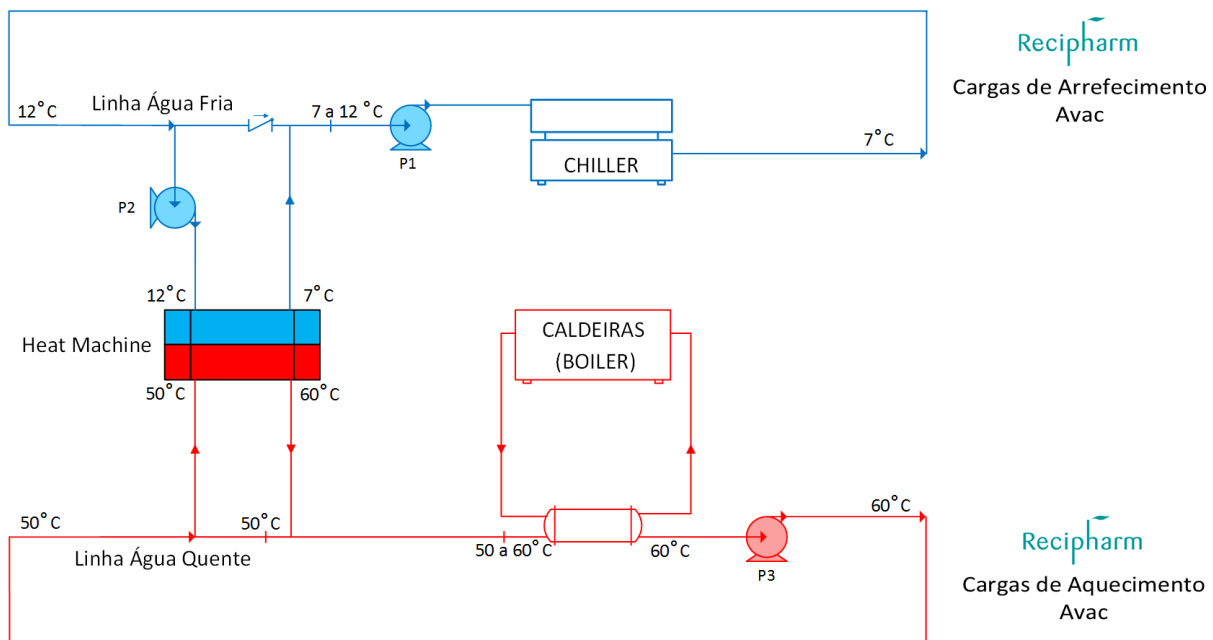


Figura 3.7 – Sistemas AVAC com aquecimento procedente da HM

Do ponto de vista de “transferência” de energia entre os sistemas, verifica-se que a fonte de calor residual da região mais fria na BC ( $Q_{HM\min}$ ) consiste nas cargas de arrefecimento que estão a ser retiradas do interior da fabrica através do sistema de água arrefecida. O reaproveitamento de calor das cargas de arrefecimento para a BC é a primeira recuperação energética obtida na otimização dos sistemas, i.e., a

quantidade de calor  $Q_{HM_{in}}$  que deixa de ser dissipada no chiller origina uma redução no seu consumo energético. Garantindo a possibilidade de existência de uma fonte residual suficiente para o funcionamento da BC, significaria que esta teria capacidade de fornecer a quantidade de calor ( $Q_{HM_{out}}$ ) necessária para suprimir as necessidades de aquecimento para AVAC, proporcionando assim a paragem das caldeiras e por consequência a segunda recuperação energética pela redução do consumo de gás natural.

Por questões relacionadas com o aumento de produção de fármacos, a *Recipharm* pretende atualmente aumentar a produção de vapor industrial, substituindo uma das caldeiras por uma nova caldeira de maior potência. A implementação deste sistema HM, como alternativa ao sistema existente, poderá então proporcionar um terceiro benefício que pode ser quantificado como o aumento da disponibilidade das caldeiras para produção de vapor industrial, dado que as caldeiras passam a poupar a energia que é gasta para o aquecimento AVAC. Não sendo assim necessário o investimento numa nova caldeira.

Por último, de forma a complementar a otimização do sistema, optou-se por trocar o circulador existente de água aquecida de caudal constante (*P3*, diagrama da figura 3.7), por um circulador de caudal variável.

### 3.2 Modelação dos sistemas e da unidade industrial

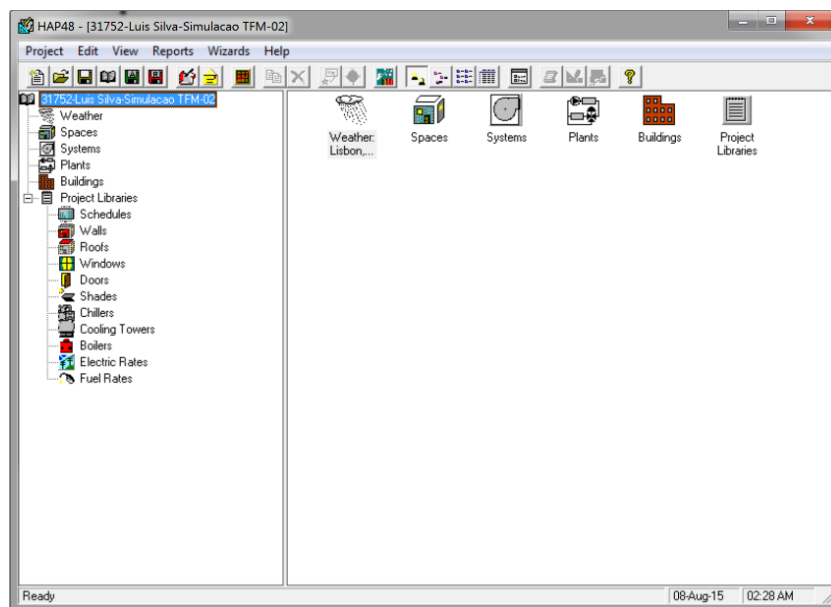
A abordagem inicial do caso de estudo passou pela modelação computacional da unidade industrial com base num programa de projeto, simulação e cálculo: o *Carrier – Hourly Analysis Program “HAP versão 4.80”*. A unidade industrial em questão é a RECIPHARM, uma indústria farmacêutica situada em Queluz de Baixo.

O “*Carrier HAP 4.80*” é um programa de simulação dinâmica de edifícios, conhecido como “*Building Performance Simulation tool*” BPS [31]. Enquadra-se nos programas de dimensionamento e seleção de equipamentos de AVAC e análise energética. A maior parte deste tipo de programas baseia-se em procedimentos padrão e algoritmos estabelecidos pela ASHRAE (*American Society of Heating Refrigeration and Air-conditioning Engineers*), apesar de um grande número destes ser patenteado e vendido por fabricantes de equipamentos. O programa tem a capacidade de prever o consumo anual de energia de um sistema AVAC, podendo realizar tanto análises anuais, como mensais e horárias para todos os dias ao longo de um ano [32].

A modelação dos sistemas AVAC existentes na Recipharm foi um passo essencial para o desenvolvimento da dissertação, possibilitando a obtenção dos resultados e conclusões finais. Esta permitiu definir os equipamentos existentes na fábrica responsáveis pela dissipação e fornecimento de cargas de arrefecimento e aquecimento e suas implicações na produção de água arrefecida e aquecida. Permitiu também a definição dos equipamentos a implementar, neste caso uma bomba de calor de duplo efeito – heat machine. Os horários de funcionamento, a caracterização das áreas interiores da fábrica e as condições climatológicas exteriores, são fatores fundamentais ao cálculo para dimensionamento dos equipamentos parametrizados no HAP.

Todo o sistema foi calibrado com base na importação de dados reais fornecidos pela Recipharm, correspondentes aos equipamentos existentes na fábrica, pela definição minuciosa dos horários de funcionamento e turnos laborais e pelos consumos anuais energéticos da farmacêutica.

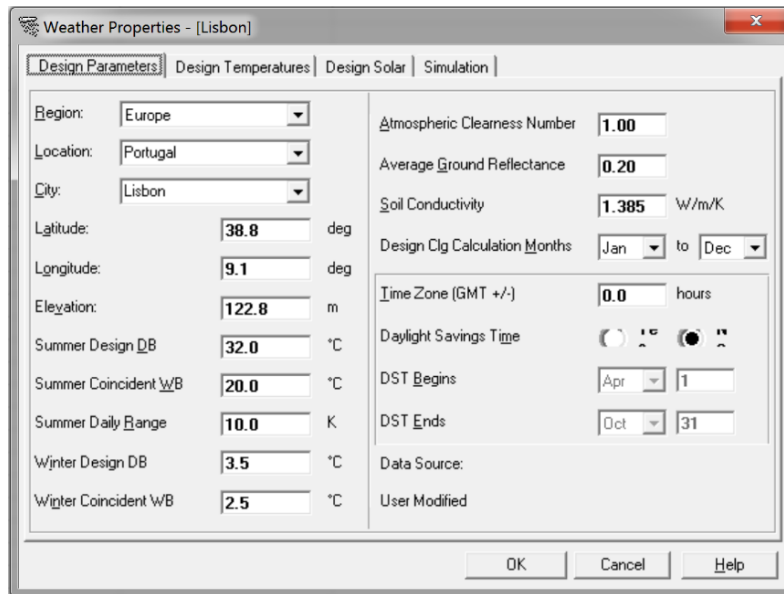
O subcapítulo 3.1 “Modelação dos sistemas e da unidade industrial”, aborda a forma como todos os parâmetros são definidos, calculados e simulados no HAP. Na figura 3.8 observa-se o *layout* principal do programa, onde, é possível verificar todos os menus necessários à caracterização de um sistema (“Edifício”).



**Figura 3.8** – Menu principal: Projeto  
Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8)

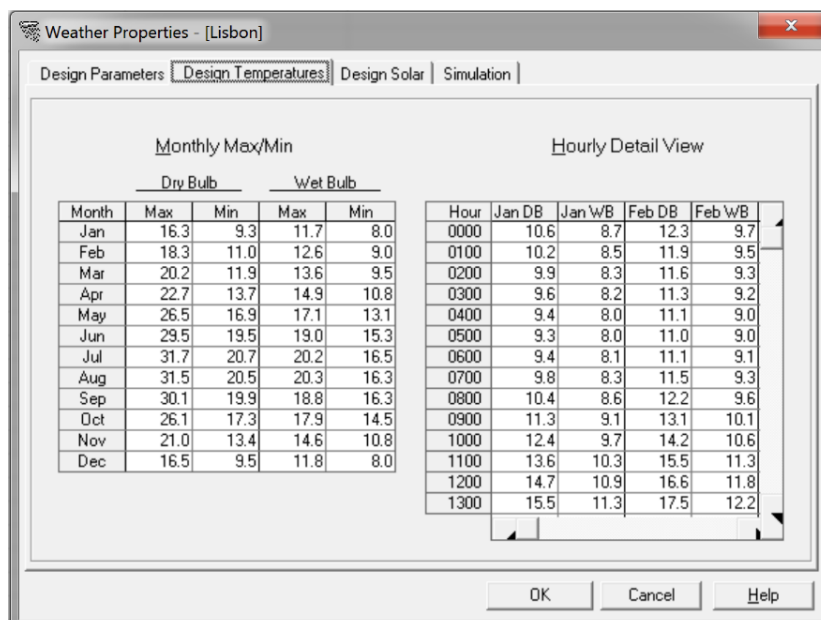
A figura 3.9 apresenta o menu *weather* responsável pela caracterização e correção de dados climatológicos do local geográfico, neste caso a cidade de Lisboa. Este menu consiste na definição de parâmetros essenciais ao projeto, como o estabelecimento de perfis de temperatura anuais, a correção de parâmetros de radiação do local e a importação de perfis de simulação da zona climática correspondente, a altitude, a longitude, a temperatura de projeto de Verão e Inverno para o bolbo seco, as temperaturas de projeto coincidentes do bolbo húmido, as amplitudes térmicas, entre outros, definindo-se assim as condições mais desfavoráveis ao projeto.

Os valores foram determinados com base no despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03 – Procede à publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados despacho e dados das Normais Climatológicas do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA).



**Figura 3.9** – Menu *Design Parameters* – Propriedades climatológicas  
 Fonte: Carrier, *Hourly Analysis Program* (HAPv4.8)

A figura 3.10 apresenta os valores de temperaturas máximas e mínimas mensais utilizadas no projeto, neste caso para seleção dos equipamentos, assim como, os perfis de temperaturas médias ao longo do dia para o ano inteiro.



**Figura 3.10** – Menu *Design Temperatures* – Perfil de temperaturas  
 Fonte: Carrier, *Hourly Analysis Program* (HAPv4.8)

Nas tabelas 3.1 e 3.2, apresentam-se os sumários dos valores máximos, mínimos e médios, das temperaturas e radiação solar diária incidente.

**Tabela 3.1** – Estatísticas para as temperaturas do bolbo seco.

Fonte: *Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8)*

Mês	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Média máxima (°C)	Temperatura Média (°C)	Temperatura Média mínima (°C)	Temperatura Mínima (°C)
Janeiro	19	13,6	10,8	8,1	2,5
Fevereiro	19	15,2	11,8	9,1	4,5
Março	24,5	15,6	12,2	9,5	5,5
Abril	25	19,9	15,1	11,2	8
Maio	26	19,8	15,7	12,4	10
Junho	33	23,9	18,7	14,5	13
Julho	35	26,8	20,8	16,1	14
Agosto	35	27,2	21,4	17	14
Setembro	30,5	25,4	19,8	15,7	11
Outubro	25	19	16	13,6	9,5
Novembro	22,1	16,8	12,9	9,9	6
Dezembro	17	14,7	11,7	8,9	3

**Tabela 3.2** - Estatísticas para radiação solar diária.

Fonte: *Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8)*

Mês	Radiação diária total - Horizontal (kJ/m <sup>2</sup> )			Índice de claridade (adimensional)		
	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima
Janeiro	9 941,6	6 621,4	3 123,3	0,637	0,41	0,182
Fevereiro	16 416	9 510,8	4 026,4	0,682	0,444	0,187
Março	21 142,2	13 388,3	7 070,4	0,659	0,47	0,279
Abril	25 712,6	21 348,6	10 033,1	0,697	0,606	0,288
Maio	28 330	22 353,1	10 745,2	0,697	0,56	0,281
Junho	29 180,2	25 856,7	14 351,5	0,697	0,619	0,344
Julho	29 052,3	26 231,3	18 815	0,697	0,644	0,459
Agosto	26 686,4	23 493	17 808,2	0,688	0,637	0,456
Setembro	23 102,7	19 037,8	15 750,4	0,687	0,617	0,49
Outubro	16 418,9	10 345,7	4 323,4	0,602	0,436	0,19
Novembro	13 209,4	8 926,8	3 788,4	0,663	0,509	0,215
Dezembro	9 387,2	5 861,7	2 635,3	0,627	0,402	0,18

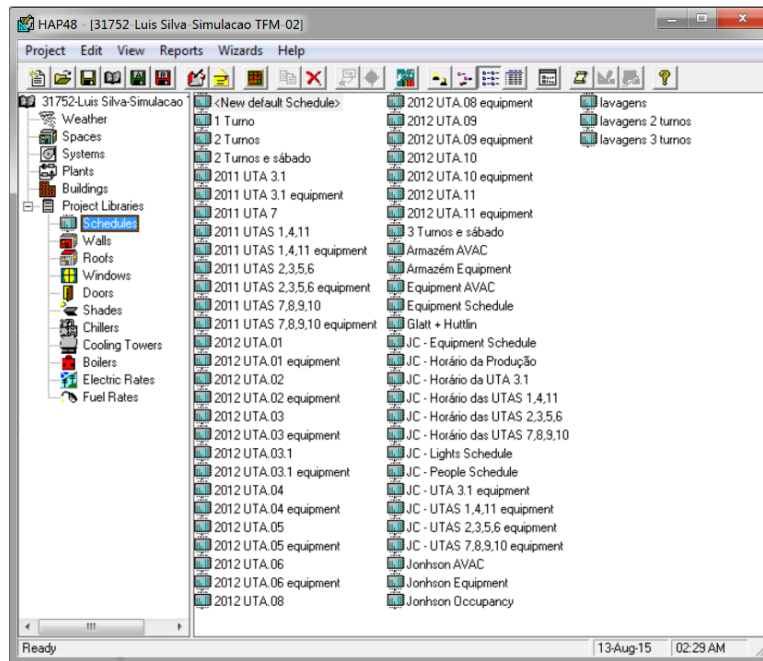
Para a modelação do sistema de climatização da fábrica foi essencial caracterizar os espaços interiores desta. A caracterização dos espaços consiste em identificar todas as salas climatizadas, calcular os coeficientes globais de transmissão de calor de todas as envolventes opacas exteriores, os fatores de sombreamento de todos os vãos do edifício, assim como elaborar a lista de salas com todos os dados necessários ao cálculo de potência e, posteriormente, os cálculos energéticos e de potências dissipadas por equipamentos, iluminação, áreas e volumes das salas, as renovações de ar, as condições ambientais interiores e os caudais de insuflação. Definiram-se diferentes tipologias de utilização do edifício para a elaboração de horários de funcionamento (schedules) de iluminação, equipamentos e ocupação.

Nas figuras 3.11 e 3.12, apresentam-se as listas de salas e schedules existentes na fábrica, respetivamente.

The screenshot shows the HAPv4.8 software interface. On the left is a tree view with categories like Weather, Spaces, Systems, Plants, Buildings, Project Libraries, Schedules, Walls, Roofs, Windows, Doors, Shades, Chillers, Cooling Towers, Boilers, Electric Rates, and Fuel Rates. The 'Spaces' category is selected. The main window displays a table with two columns: 'Space' and 'Floor Area'. The table contains the following data:

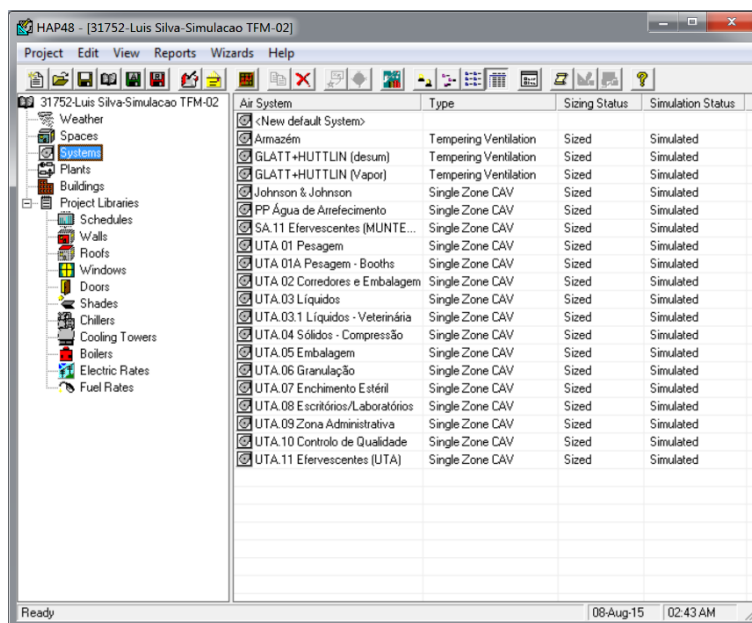
Space	Floor Area
<New default Space>	
01 Pesagem	270.0
01A Pesagem - Booths	25.0
02 Corredores/Embalagem	951.0
03 Líquidos	1045.0
03.1 Líquidos-Veterinária	186.0
04 Sólidos - Compressão	958.0
05 Embalagem	824.0
06 Granulação	367.0
07 Enchimento Estéil	18.0
08 Controlo de Qualidade	1083.0
09 Zona Administrativa	804.0
10 Microbiologia	115.0
11 Efervescentes (UTA)	338.0
Água de Arefecimento	1000.0
Armazém	4100.0
Efervescentes (MUNTERS)	80.0
Glatt + Huttlin (desum)	1000.0
Glatt + Huttlin (vapor)	1000.0
Johnson & Johnson	6000.0

**Figura 3.11** – Lista dos espaços existentes no sistema  
 Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8)



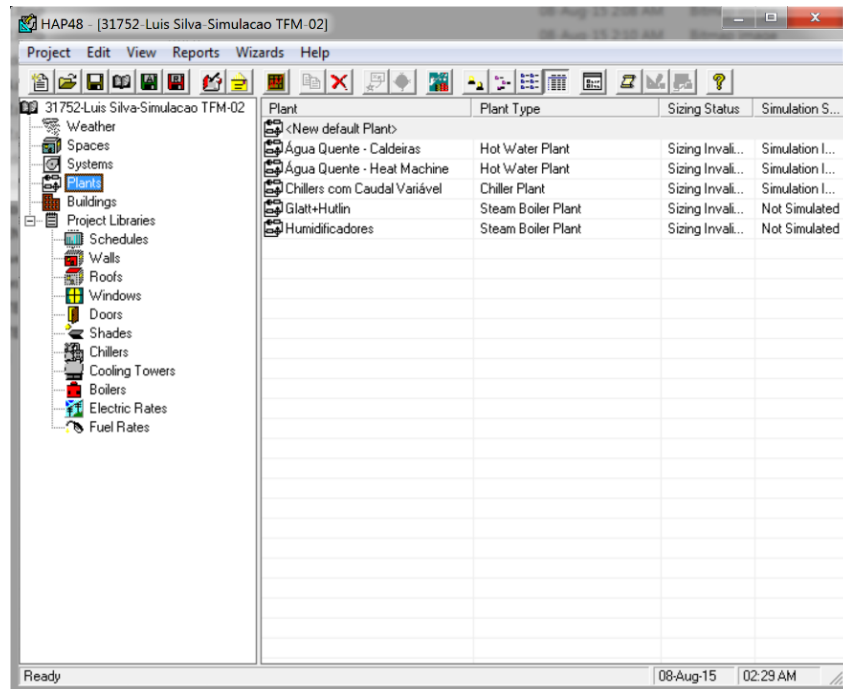
**Figura 3.12** – Lista de horários de funcionamento (*schedules*) de iluminação, equipamentos e ocupação  
 Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8)

O dimensionamento dos sistemas (equipamentos) passa pela caracterização e introdução das centrais de climatização existentes na fábrica no HAP, de acordo com a metodologia discutida na dissertação. Foi necessário efetuar a caracterização de todos os sistemas de tratamento de ar existentes conhecidos como Unidades de Tratamento de Ar (UTA), que fornecem ar tratado unicamente a uma zona (figura 3.13).



**Figura 3.13** – Lista de sistemas de tratamento de ar existentes na fábrica  
 Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8)

Foi também efetuada a caracterização das centrais de produção de água aquecida e arrefecida, bem como das caldeiras de produção de vapor no HAP. O mesmo é possível através do menu *Plants*, como se pode observar na figura 3.14. No menu *Plants* são definidos quais os sistemas e por conseguinte os espaços aos quais será fornecida água aquecida ou arrefecida, a configuração das centrais, as temperaturas de operação, a seletividade de controlo de distribuição entre centrais e os fatores de perda de carga nas tubagens.



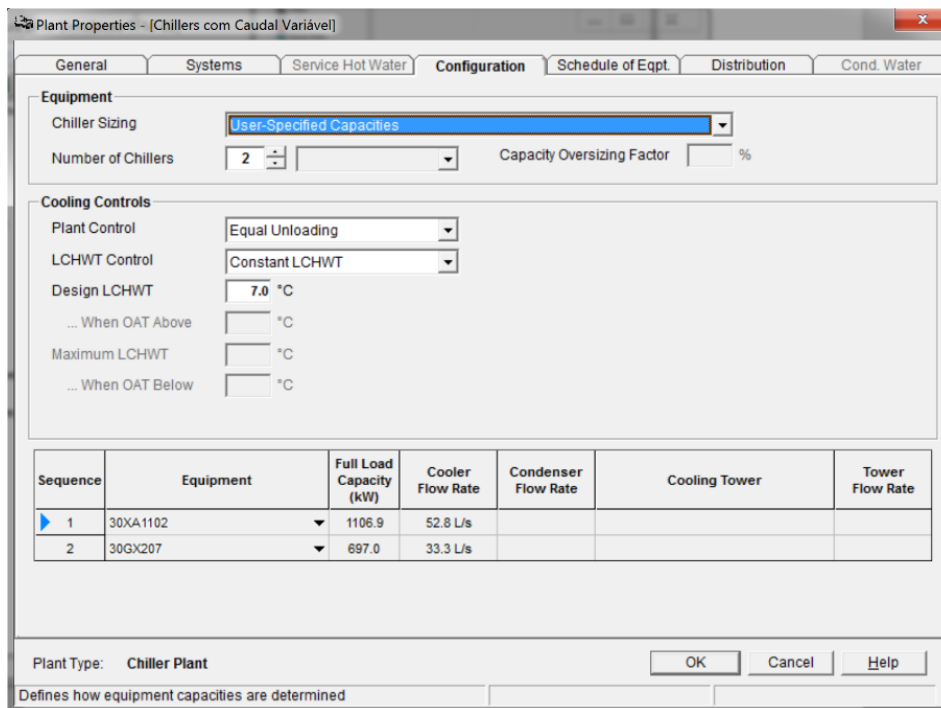
**Figura 3.14** – Caraterização das centrais de produção de água arrefecida e água aquecida e caldeiras  
 Fonte: *Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8)*

Contudo, dada a necessidade de calibrar o modelo do HAP, todos os dados de consumo relativos aos *chillers* e BC, foram introduzidos segundo uma base de dados do fornecedor (*Carrier*), permitindo a elaboração de uma biblioteca de equipamentos (*project libraries*). Os desempenhos dos equipamentos estão de acordo com os testes realizados em fábrica pelo fornecedor FAT (*Factory Acceptance Test*). A tabela 3.3 apresenta a relação de equipamentos utilizados na biblioteca, bem como as suas principais características.

**Tabela 3.3** – Equipamentos utilizados HAP (*Project libraries*)Fonte: Carrier, *Hourly Analysis Program* (HAPv4.8)

Equipamento	Modelo	Potência (kW)	Caudal (L/s)	Eficiência
Chiller # 1	30 GX 207	697	33,3	-
Chiller # 2	30 XA 1102	1 107	52,8	-
Heat Machine #1	30 XWH 354	388,8	13,72	3,50
Heat Machine #2	30 XWH 402	430,7	14,68	3,19
Heat Machine #3	30 XWH 452	453,1	15,76	3,35
Caldeira	2000 RR	1 100	-	70%

Existem duas unidades produtoras de água arrefecida, vulgarmente conhecidas por chillers, que operam em carga equivalente, i.e., as necessidades de arrefecimento são solicitadas a ambas na mesma proporção, figura 3.15.

**Figura 3.15** – Unidades produtoras de água arrefecida existentes na fábricaFonte: Carrier, *Hourly Analysis Program* (HAPv4.8)

Após a caracterização e a modelação de todo o sistema no HAP, o programa possibilitou a elaboração de cálculos energéticos anuais e a exportação dos resultados essenciais ao seguimento do estudo. Os valores observados nas tabelas 3.4, 3.5 e 3.6 representam os respetivos balanços energéticos entre as bombas de calor (*heat machine*), os chillers e as caldeiras. Os resultados representam totais mensais, pelo que, no decorrer do caso de estudo a análise energética será efetuada com valores horários para todos os equipamentos ao longo de um ano.

**Tabela 3.4** – Resultados da simulação energética mensal das caldeiras de vapor + total, Anexo D

Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8)

Mês	Heating coil load (kWh)	Plant heating load (kWh)	Boiler output (kWh)	Boiler input - Gas (kWh)	Boiler misc. electric (kWh)	Primary water pump (kWh)
Janeiro	48 624	44 207	44 364	63 377	60	6 433
Fevereiro	39 203	35 682	35 837	51 196	49	5 172
Março	68 254	64 387	64 551	92 216	88	6 269
Abril	55 089	51 712	51 892	74 132	71	5 374
Mai	94 168	90 360	90 364	129 092	123	6 698
Junho	108 331	105 265	105 265	150 379	144	6 156
Julho	120 222	116 429	116 435	166 335	159	7 291
Agosto	387 97	37 879	37 879	54 112	52	1 993
Setembro	140 264	137 245	137 271	196 101	187	6 862
Outubro	109 477	105 651	105 686	150 979	144	7 115
Novembro	48 937	45 186	45 378	64 825	62	5 740
Dezembro	41 135	38 379	38 568	55 097	53	4 415
Total	912 501	872 382	873 490	1 247 841	1 192	69 518

**Tabela 3.5** - Resultados da simulação energética mensal dos Chillers com caudal variável + total, Anexo D

Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8)

Mês	Cooling coil load (kWh)	Plant cooling load (kWh)	Chiller output (kWh)	Chiller input (kWh)	Primary water pump (kWh)
Janeiro	173 180	178 078	178 078	41 833	6 529
Fevereiro	150 941	155 014	155 014	36 370	5 422
Março	223 924	229 248	229 001	53 578	6 872
Abril	245 081	250 430	250 379	60 036	6 782
Maio	308 819	314 812	314 812	75 230	7 463
Junho	369 104	376 061	375 966	94 023	8 237
Julho	463 795	472 709	472 320	121 135	10 512
Agosto	195 267	200 484	200 484	53 452	6 552
Setembro	476 563	485 712	484 890	121 554	10 621
Outubro	338 519	345 066	345 066	82 656	8 129
Novembro	196 153	200 941	200 941	47 560	6 248
Dezembro	153 957	158 379	158 379	37 305	5 814
Total	3 295 303	3 366 934	3 365 330	824 732	89 181

**Tabela 3.6** - Resultados da simulação energética mensal da HM 402 + total, Anexo D

Fonte: Carrier, Hourly Analysis Program (HAPv4.8)

Month	Plant heating load (kWh)	Boiler output (kWh)	Heat pump output (kWh)	Heat pump input (kWh)	Boiler input – Gas (kWh)	Boiler misc. electric (kWh)	Primary water pump (kWh)	Source water pump (kWh)
Janeiro	47 771	0	47 771	22 869	0	0	986	575
Fevereiro	38 515	0	38 515	18 462	0	0	795	466
Março	67 350	1 518	65 832	28 125	2 169	2	1 043	642
Abril	54 328	1 551	52 777	22 760	2 216	2	879	526
Maio	93 140	304	92 836	38 472	435	0	1 185	861
Junho	107 295	0	107 295	41 756	0	0	1 193	877
Julho	119 031	599	118 433	47 181	855	1	1 372	1 010
Agosto	38 446	0	38 446	14 559	0	0	404	290
Setembro	139 035	1 210	13 7825	51 405	1 728	2	1 415	1 005
Outubro	108 343	301	108 042	43 669	430	0	1 307	947
Novembro	48 149	0	48 149	21 556	0	0	910	519
Dezembro	40 510	0	40 510	17 490	0	0	721	411
Total	901 913	5 483	896 431	368 304	7 833	7	12 210	8129

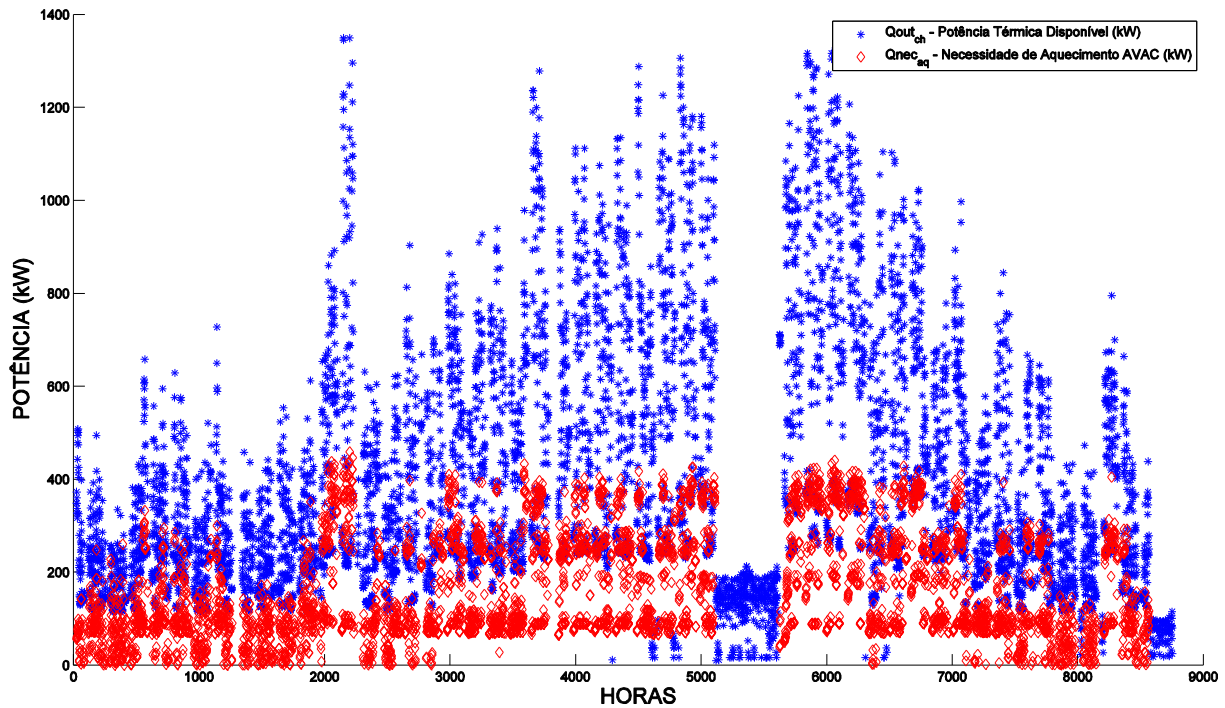
### 3.3 Simulação e Resultados

#### 3.3.1 Exportação de dados e avaliação do potencial da fonte de calor residual disponível

Como referido no subcapítulo 3.2, a análise energética do sistema será efetuada com base nos dados exportados a partir do programa *HAPv4.8* (anexo D). Os resultados serão retirados da simulação dos sistemas para um ano de funcionamento e obtidos iterativamente, hora a hora, num total de 8760 horas. Tendo em conta que existem algumas restrições na utilização do *HAPv4.8* relativamente à interação entre os sistemas, e.g., no cálculo da fonte de calor residual disponível, o programa assume que esta provém de uma fonte energética inesgotável, que não representa a realidade. De modo a ultrapassar esta dificuldade, toda a modelação matemática dos balanços energéticos, assim como, as respetivas simulações e a obtenção de resultados finais foram realizados com auxílio de um programa de cálculo numérico, o *MATLAB R2014a* (Computação técnica, linguagem em C e Java).

Inicialmente foi necessário efetuar a avaliação da quantidade de calor residual disponível  $Q_{carga\_AF}$ , conhecida como *heat source* ou *waste heat* do sistema, que representa essencialmente a energia térmica dissipada para o exterior através do *chiller*  $Q_{out\_CH}$ . A fonte de calor é necessária ao funcionamento da HM, pois é esta a transferida para o circuito de água aquecida, que por sua vez deve ser igual ou superior às necessidades de aquecimento. As necessidades de aquecimento são definidas de acordo com os resultados obtidos da simulação calibrada das caldeiras.

Da figura 3.16 foi possível retirar algumas conclusões sobre a energia disponível para a HM, observando-se a existência de energia térmica disponível suficiente face às necessidades de aquecimento. Os dados a azul representam os valores de energia disponível em cada hora (correspondendo à potência instantânea), verificando-se que ao longo do ano as necessidades de AVAC, a vermelho, apresentam valores inferiores à energia disponível, confirmando a possibilidade do sistema promover uma fonte de calor residual para o funcionamento da HM.



**Figura 3.16** – Avaliação da energia térmica dissipada para o exterior no chiller,  $Q_{carga\_AF}$  e potencial energético necessário para aquecimento AVAC  $Q_{nec\_aq}$

A tabela 3.7 mostra o balanço energético existente entre a fonte de calor disponível e a carga real dissipada no *chiller*, com valores totais mensais, comprovando a disponibilidade do sistema em servir a HM com uma fonte de calor residual.

**Tabela 3.7** – Valores do balanço energético das fontes de calor disponível, residual e restante

Mês	Cargas de arrefecimento de AVAC $Q_{carga\_AF}$ (kWh)	Necessidades de aquecimento de AVAC $Q_{nec\_aq}$ (kWh)	Energia remanescente $Q_{remans}$ (kWh)
Janeiro	146914	48 624	124 556
Fevereiro	127801	39 203	111 738
Março	186665	68 254	155 670
Abril	200515	55 089	189 992
Maio	251994	94 168	214 651
Junho	290801	108 331	260 773
Julho	361514	120 222	343 573
Agosto	154410	38 797	156 470
Setembro	372913	140 264	336 299
Outubro	275818	109 477	229 042
Novembro	163307	48 937	147 216
Dezembro	129302	41 135	112 822
Total	2661954	912 501	2 382 802

### 3.3.2 Modelação matemática e cálculo dos balanços energéticos

O modelo matemático foi desenvolvido com base na comparação entre balanços energéticos, confrontando o consumo energético global do sistema de produção de água aquecida convencional, a gás natural, com o consumo do sistema de produção de água aquecida através da HM.

O consumo energético do sistema atual deve ser separado em duas parcelas: elétrica e gás natural. O consumo energético global do sistema da caldeira a gás natural  $CE_C$  é:

$$CE_C = W_{C_{misc}} + W_{C_{pp}} + W_{C_{chiller}} + Q_{C_{ele}} \quad (12)$$

$Q_{C_{ele}}$  – Consumo gás natural do sistema para a solução caldeira (kWh).

$W_{C_{misc}}$  – Consumo elétrico da caldeira (queimadores + miscellaneous), solução caldeira (kWh),

$W_{C_{pp}}$  – Consumo elétrico da bomba circuladora de água aquecida principal (caudal constante), solução caldeira (kWh),

$W_{C_{chiller}}$  – Consumo elétrico do *chiller*, solução caldeira (kWh).

O consumo energético do sistema com a solução HM é essencialmente elétrico, contudo existe uma parcela de consumo de gás natural devido a incapacidade de cobrir as necessidades de aquecimento por parte da HM nos dias mais desfavoráveis. Essa situação será abordada no subcapítulo 3.3.3. O consumo energético  $CE_{HM}$  do sistema é dado por:

$$CE_{HM} = W_{HM_{in}} + W_{HM_{chiller}} + W_{HM_{misc}} + W_{HM_{pp}} + W_{HM_{dp}} + Q_{HM_{ele}} \quad (13)$$

$W_{HM_{in}}$  – Consumo elétrico da *HM* (kWh),

$W_{HM_{chiller}}$  – Consumo elétrico do *chiller*, solução HM (kWh),

$W_{HM_{misc}}$  – Consumo elétrico da caldeira (queimadores + miscellaneous), solução HM (kWh),

$W_{HM_{ppvar}}$  – Consumo elétrico da bomba circuladora de água aquecida (caudal variável), solução HM (kWh),

$W_{HM_{sp}}$  – Consumo elétrico da bomba circuladora de água arrefecida (fonte residual), solução HM (kWh),

$Q_{HM_{ele}}$  – Consumo de gás natural do sistema para a solução HM, sistema de apoio (kWh).

Todos os valores são exportados das simulações em *HAP 4.8* com exceção do  $W_{HM_{chiller}}$  que tem de ser calculado, considerando os casos possíveis de recuperação energética abordados no subcapítulo 3.1.

Considerando que o calor absorvido na fonte residual pela HM (evaporador) é  $Q_{HM_{in}}$ ,

$$Q_{HM_{in}} = Q_{HM_{out}} - W_{HM_{in}} \quad (14)$$

$Q_{HM_{out}}$  – Calor fornecido pela HM ao sistema de água aquecida (kWh)

O calor que é dissipado no chiller passar a ser  $Q_{chiller_{out}} - Q_{HM_{in}}$ .

Esta redução de carga dissipada no chiller implica uma variação do efeito de refrigeração (EER) do *chiller*. Considerando que esta variação será de aproximadamente 0.25% é possível calcular o EER corrigido do chiller, quando a HM entra em funcionamento.

$$EER = \frac{Q_{chiller_{out}}}{W_{C_{chiller}}} \quad (15)$$

$$EER_{corr} = EER \times (1 - 0,0025) \quad (16)$$

Assim, é possível estimar a poupança em termos de consumo elétrico no *chiller* para a solução HM

$$W_{HM_{chiller}} = \frac{Q_{chiller_{out}} - Q_{HM_{in}}}{EER_{corr}} \quad (17)$$

Como já referido no subcapítulo 3.1, a otimização do sistema prevê a troca da bomba circuladora de caudal constante do sistema de água aquecida (bomba P3 da figura 3.7) por uma bomba de caudal variável, alteração esta que oferece uma redução significativa do consumo da bomba que deve ser quantificada no cálculo dos balanços energéticos.

A estimativa dos balanços energéticos com base nos resultados obtidos pelas simulações em HAP 4.8, requer uma grande quantidade de cálculos. De forma a simplificar a análise dos dados e gestão dos resultados, desenvolveu-se um algoritmo que permitiu auxiliar o cálculo computacional.

O algoritmo foi desenvolvido em linguagem de programação C e Java (*Matlab*). O pseudocódigo permite escrever um algoritmo utilizando uma linguagem simples. Anexo I

### 3.3.3 Coeficiente de desempenho da HM

A razão entre a energia fornecida por uma BC a um sistema e o seu consumo de energia elétrica, ou trabalho mecânico, é conhecido como o coeficiente de desempenho (COP), atualmente considerado o principal indicador no ponto de vista e interesse comercial das BC [33].

No caso em estudo, os valores de COP são previstos através da importação dos dados simulados e calculados de acordo com a equação 17. As componentes  $Q_{HM\ out}$  e  $W_{HM\ in}$  são facultadas diretamente das simulações.

$$COP = \frac{Q_{HM\ out}}{W_{HM\ in}} \quad (18)$$

As características intrínsecas da HM que provocam a variação do seu desempenho estão diretamente relacionadas com os regimes de funcionamento da fábrica. Uma forma de estimar o COP passou pelo cálculo do valor médio horário durante um dia típico de inverno e um dia de verão, no período laboral diário da fábrica, com início às 08h até às 22h, como se observa nas figuras 3.18 e 3.19. Os valores das médias horarias de COP são representadas pelo tracejado preto.

Os valores estudados são referentes ao modelo XWH – 402.

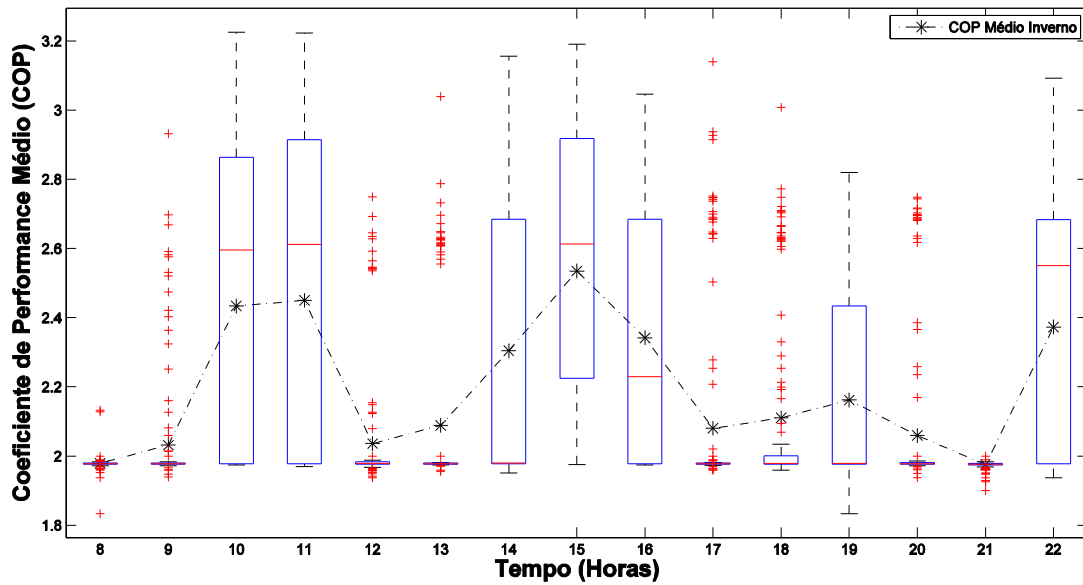


Figura 3.17 – *Boxplot* da dispersão dos valores do COP da HM durante a estação de inverno e valores médios

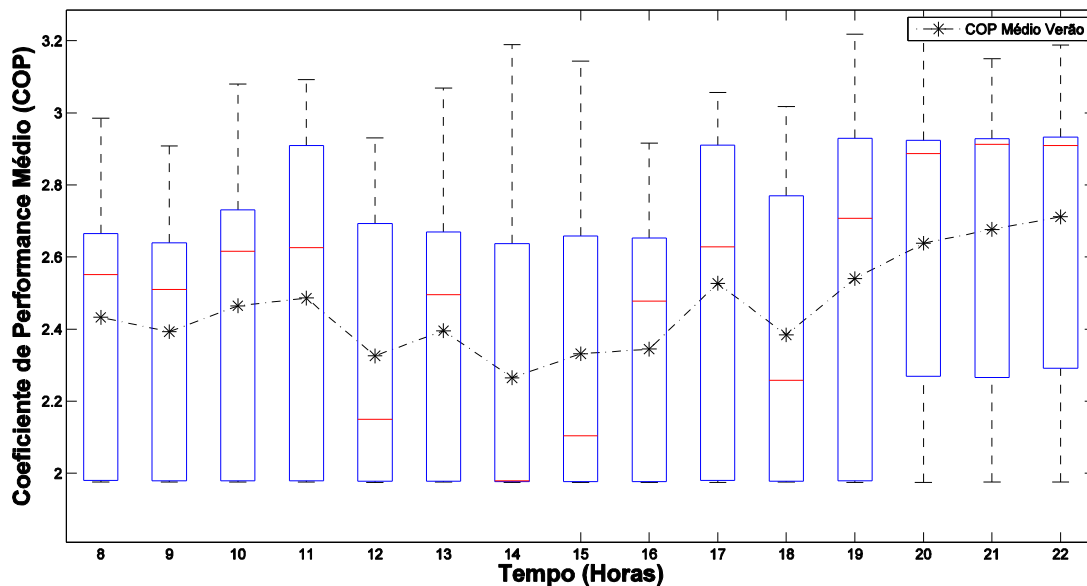


Figura 3.18 – *Boxplot* da dispersão dos valores do COP da HM durante a estação de verão e valores médios

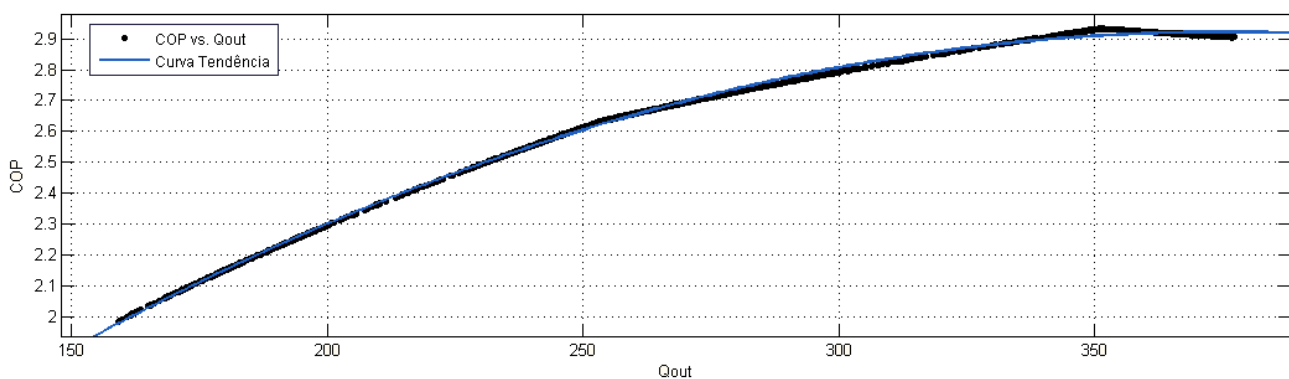
Dada a grande dispersão dos dados analisados e a existência de valores atípicos (*outliers*), afastados dos demais, optou-se pela análise dos mesmos sob a forma de um diagrama de extremos “*boxplot*”, que fornece a informação sobre a dispersão e a variação de resultados. A existência de “*outliers*” pode afetar de forma adversa a análise dos dados, se estes não forem devidamente considerados.

Nas figuras 3.18 e 3.19, observa-se o “*boxplot*”, onde o centro da distribuição é indicado pela linha da mediana, a vermelho, que divide a parte inferior da metade superior da amostra.

A dispersão dos valores é representada pela altura do retângulo, i.e., o quartil superior menos o quartil inferior ( $Q_3=75\%$  –  $Q_1=25\%$ ), onde estão representados 50% dos valores do conjunto da amostra, conhecida como região interquartil.

Os “fios de bigode” do *boxplot* representam o menor valor das medidas ( $- 1,5 \times$  altura da caixa) e o maior valor das medidas ( $1,5 \times$  altura total). Estes indicadores permitem retirar algumas conclusões sobre os resultados observados da amostra. Para os meses de verão, verifica-se uma maior homogeneidade do que para o período de inverno. Este fenómeno está relacionado com o fato da HM encontrar condições mais adversas ao seu funcionamento nos meses de inverno, pois sendo um equipamento destinado à produção de calor, o desempenho é gravemente influenciado nas estações mais frias do ano. Existe uma enorme assimetria em praticamente todos os casos tanto no verão com no inverno, sendo que nos meses mais quentes verifica-se uma maior incidência dos valores de desempenho da HM acima dos 2.6, enquanto nos meses de inverno a amostra assume uma distribuição diferente, como se pode observar na figura 3.18, e.g., nos períodos horários entre às 8h-9h, 12h-13h e 17h-18h. Ocorre uma grande alteração na dispersão de valores. Este comportamento deve-se às horas de menor ocupação das instalações, que implicam menores necessidades dos sistemas. Podem ainda corresponder a troca de turnos laborais ou paragens para almoço.

Os *outliers* que se verificam essencialmente nos meses de verão, nas horas de paragem, estão relacionados com os regimes de funcionamento dos equipamentos. Sabendo que estes valores de desempenho são obtidos em regime de funcionamento contínuo, as paragens e arranques provocam uma dispersão acentuada nos valores do COP da HM, sendo estes valores mais baixos durante o arranque, em condições mais desfavoráveis



**Figura 3.19** – Relação do COP relativamente aos valores de calor disponível para o sistema AVAC

Na figura 3.19 observa-se a forma como se relaciona o desempenho da HM de acordo com o seu funcionamento. Esta relação acaba por validar os valores acima representados, pois, sendo  $Q_{out}$  a potência térmica que está a ser requerida pelo sistema, verifica-se uma melhoria gradual no COP com o aumento de  $Q_{out}$ .

### 3.3.4 Otimização do sistema (seleção da HM)

De acordo com as necessidades de projeto, o caso de estudo poderia ser solucionado utilizando 3 tamanhos de HM, subcapítulo 3.2 tabela 3.3.

Em complemento ao estudo técnico-económico destinado à avaliação dos sistemas, convencional vs HM, foi necessário investigar qual do tamanho mais apropriado de HM. O estudo inicialmente teve como base a simulação e o cálculo dos valores de energia elétrica consumida pelos equipamentos, as transferências de energia térmica, a poupança de gás natural, a solicitação da caldeira como sistema de apoio e o custo do investimento.

Uma forma de relacionar os balanços energéticos entre equipamentos foi utilizando diagramas de *Sankey*, geralmente usados para caracterização de transferência de energia ou materiais entre processos.

As figuras 3.20, 3.21, 3.22 e 3.23 representam os diagramas de *Sankey* dos balanços energéticos do sistema convencional e do sistema HM para os diferentes tamanhos.

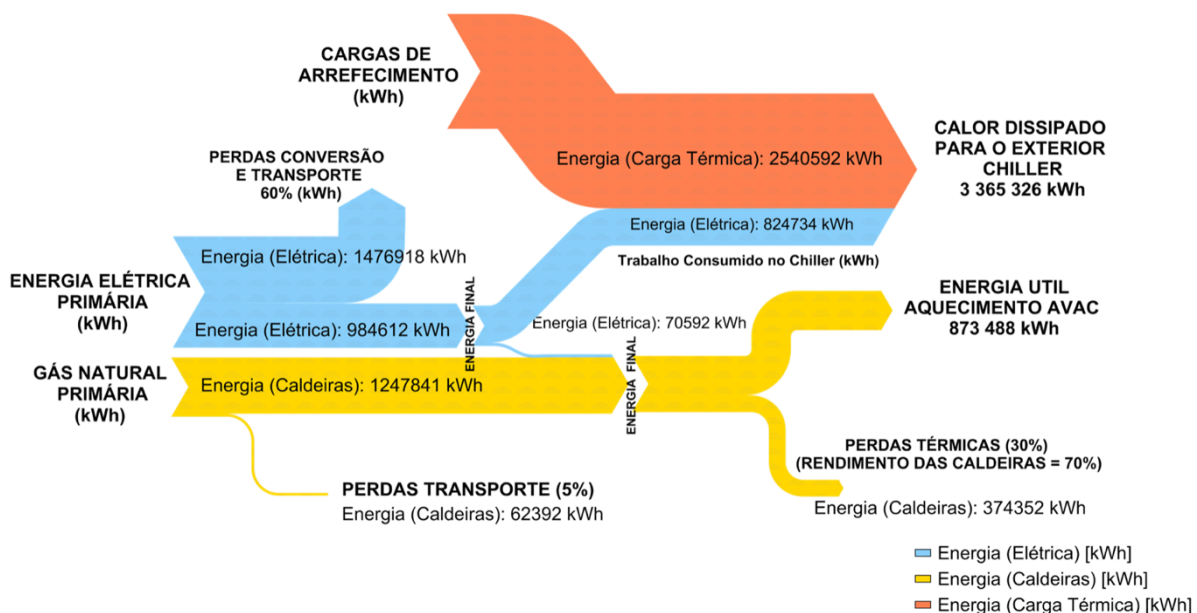


Figura 3.20 - Diagrama de *Sankey* sistema existente - Caldeias



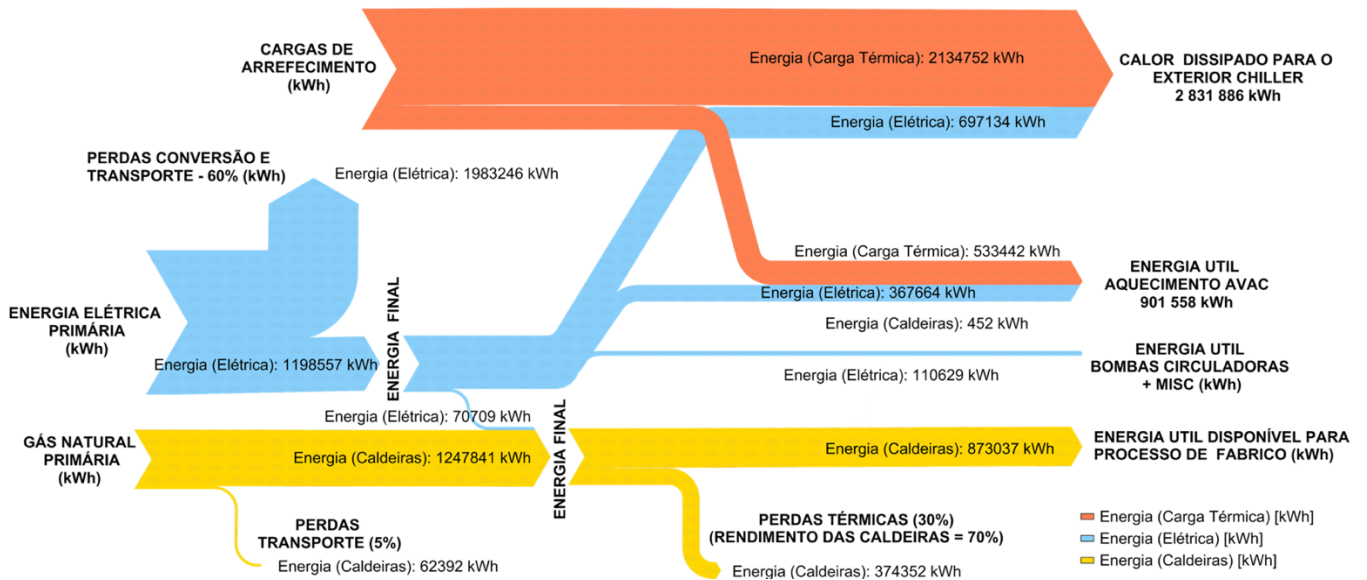


Figura 3.23 - Diagrama de Sankey HM 30XWH – 452

O diagrama de Sankey mostra todas as transferências de energia existentes no sistema. A vermelho é representada a transferência de carga térmica que é dissipada do interior da fábrica para o exterior, de onde é retirada a parcela energética residual ao funcionamento da HM. A azul é apresentado o consumo de energia elétrica do sistema, onde se observa a energia que é consumida pelo *chiller*, que acaba por ser dissipada com a restante carga térmica, o consumo de eletricidade das bombas circuladoras de água e miscellaneous, bem como o consumo da HM e das caldeiras. Os fluxos a amarelo representam a energia proveniente do gás natural, com 5% de perdas relativas ao transporte e 30% de perdas de rendimento ( $\eta_{caldeira} = 70\%$ ). Aqui é contabilizada a quantidade utilizada para apoio da HM e a quantidade remanescente de energia que possibilita o aumento de produção de vapor de água.

Da análise dos diagramas de *Sankey* foi possível resumir os valores observados na tabela 3.8, e chegar a algumas conclusões para a seleção do tamanho ótimo da HM do ponto de vista energético.

**Tabela 3.8** – Comparação de resultados sistema convencional a caldeira, com o sistema a HM

Sistema	$W_{HM_{in}}$ Energia elétrica consumida na HM (kWh)	$Q_{HM_{out}}$ Energia útil aquecimento AVAC (kWh)	$Q_{C_{disp}}$ Energia disponível processo de fabrico (kWh)	$W_{HM_{chiller}}$ Energia elétrica consumida no <i>Chiller</i> (kWh)	$Q_{HM_{ele}}$ Energia consumida Sistema de apoio (kWh)
Convencional (Caldeiras)	1 153*	873 488	0	824 734	0
HM - XWH 354	318 000	913 539	777 793	701 021	95 695
HM - XWH 402	368 303	904 283	865 656	698 448	7 833
HM - XWH 452	367 664	901 558	873 036	697 134	452

\* Consumo de energia elétrica das caldeiras  $W_{C_{misc}}$

O modelo 452 apresenta valores relevantes em termos de consumo energético  $W_{HM_{in}} = 367\,664$  kWh, sendo o equipamento de maior capacidade de aquecimento, este consegue suprimir as necessidades com a menor utilização do sistema de apoio  $Q_{HM_{ele}} = 452$  kWh, garantindo uma redução substancial no consumo de gás natural.

Sabendo que um dos objetivos da instalação da HM é a redução do consumo de gás natural, o modelo 354 apresenta-se como a solução com o maior consumo de gás natural, isto devido à necessidade de funcionamento das caldeiras como sistema de apoio à HM.

A variação entre o output térmico e o input elétrico nas diferentes HM, está relacionada com COP, maiores coeficientes de desempenho permitem um output térmico com o menor consumo elétrico na HM. Esta variação verifica-se também noutros resultados como o consumo de gás natural nas caldeiras para o aquecimento e o consumo elétrico do *chiller*.

As figuras 3.24, 3.25 e 3.26 representam o consumo energético do sistema HM necessário para o aquecimento dos sistemas AVAC, representado pelas linhas tracejadas a vermelho. A componente de consumo exibida a azul corresponde à quantidade de energia consumida pelo sistema de apoio.

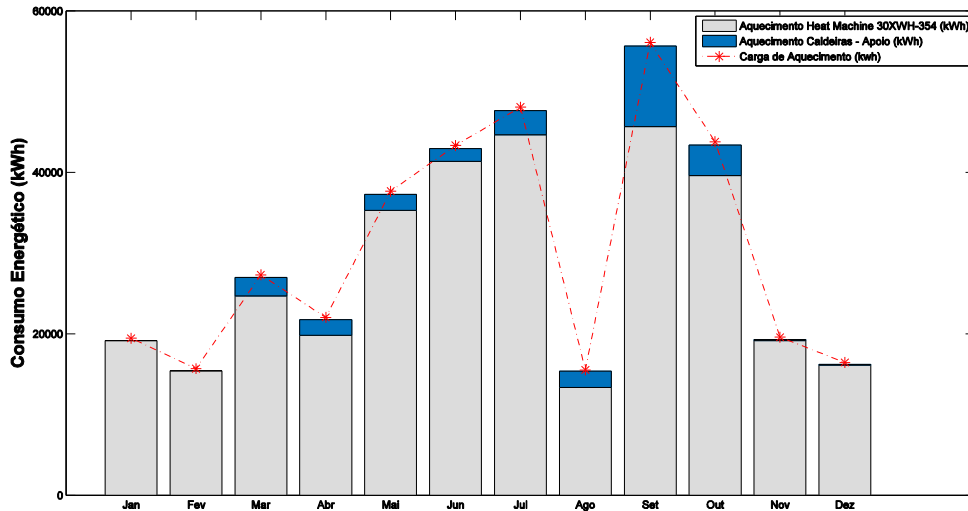


Figura 3.24 – Consumo energético mensal para aquecimento AVAC Heat Machine 354 + Apoio

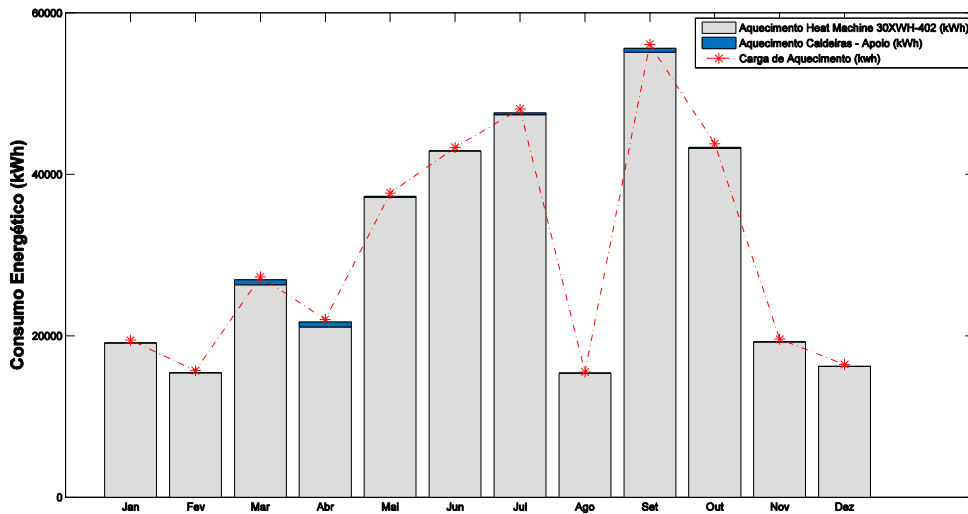


Figura 3.25 – Consumo energético mensal para aquecimento AVAC Heat Machine 402 + Apoio

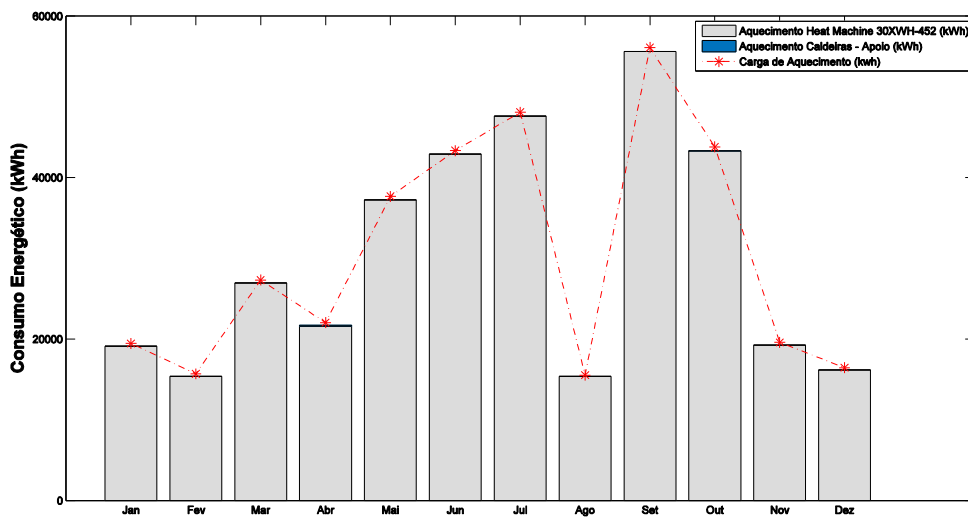


Figura 3.26 - Consumo energético mensal para aquecimento AVAC Heat Machine 452 + Apoio

Como se observa nos gráficos das figuras 3.24, 3.25 e 3.26, o modelo XWH - 452 apresenta o menor consumo de energia por parte do sistema de apoio (caldeiras). Como referenciado anteriormente o consumo energético dos *chillers* varia com a implementação de uma HM no sistema. O modelo 452 promove o menor consumo de eletricidade no *chiller*. Como se verifica na tabela 3.8, este modelo exhibe a melhor solução energética para uma possível substituição do sistema convencional atual.

Na tabela 3.9 observam-se as economias entre sistemas, em energia elétrica (kWh), gás natural (m<sup>3</sup>), tep (tonelada equivalente de petróleo) e redução de emissões de CO<sub>2</sub> considerando a implementação de uma HM.

**Tabela 3.9** – Economias obtidas no sistema global com a implementação da HM – XWH 452

<b>Economia em eletricidade (kWh)</b>	<b>Economia em gás natural (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Economia total em emissões de CO<sub>2</sub> (tonCO<sub>2</sub>)</b>	<b>Economia total em toneladas equivalentes de petróleo</b>	<b>Economia energética total (kWh)</b>
-166 025*	104 726	174,3	58,5	1 612 743

\* Valor apresenta-se como negativo pois o sistema passa a consumir mais energia elétrica.

O aumento do consumo de energia elétrica que se verifica entre os dois sistemas está associado ao trabalho consumido pelo compressor da HM. Contudo, existe uma poupança significativa em gás natural, pelo que foi necessária uma avaliação dos custos energéticos e a viabilidade económica do investimento para determinar o melhor sistema a implementar.

## 3.3.5 Viabilidade económica dos sistemas

No decorrer do estudo realizado, verificou-se que apesar do modelo XWH - 452 constituir a melhor solução do ponto de vista energético para o aquecimento dos sistemas de AVAC, há necessidade de avaliar a viabilidade económica dessa implementação. Assim, comparar-se os três modelos HM em relação ao sistema existente.

O estudo foi realizado com base no *software* de análise de custo do ciclo de vida de projetos *LCCA*, fornecido pela *Carrier – EEA*.

**Tabela 3.10** – Investimento inicial e custo energético dos sistemas para produção de água aquecida – AVAC. Anexo F

Sistema	Custo do investimento inicial* (€)	Custo energético anual (€)
Convencional (Caldeiras)	85 000,00	146 064,54
HM - XWH 354	108 309,00	127 569,43
HM - XWH 402	112 689,00	130 694,37
HM - XWH 452	120 396,00	130 342,26

\* IVA não incluído

Na tabela 3.10 apresentam-se os valores do investimento inicial referente a cada um dos sistemas, o custo inicial de uma nova caldeira e o custo energético anual associado à produção de água aquecida para os sistemas de AVAC. O fato de os consumos energéticos originarem de fontes primárias diferentes, faz com que estes não possam ser comparados diretamente. A comparação deve ser efetuada da análise da relação do custo energético. Os custos foram obtidos através dos cálculos energéticos e das taxas de custo de eletricidade e gás natural, de acordo com os valores de referência da tabela 3.11, retirados dos contratos de fornecimento de eletricidade e gás natural da Recipharm.

**Tabela 3.11** – Valores de referência necessários ao estudo económico, Anexo E

Fator conversão kWh /m <sup>3</sup>	Preço eletricidade* €/kWh	Preço gás natural* €/m <sup>3</sup>
11,99	0,12	0,371

\* IVA não incluído

Apresentam-se os gráficos de comparação do custo energético entre os sistemas, para os três modelos em estudo, respetivamente as figuras 3.27, 3.28 e 3.39.

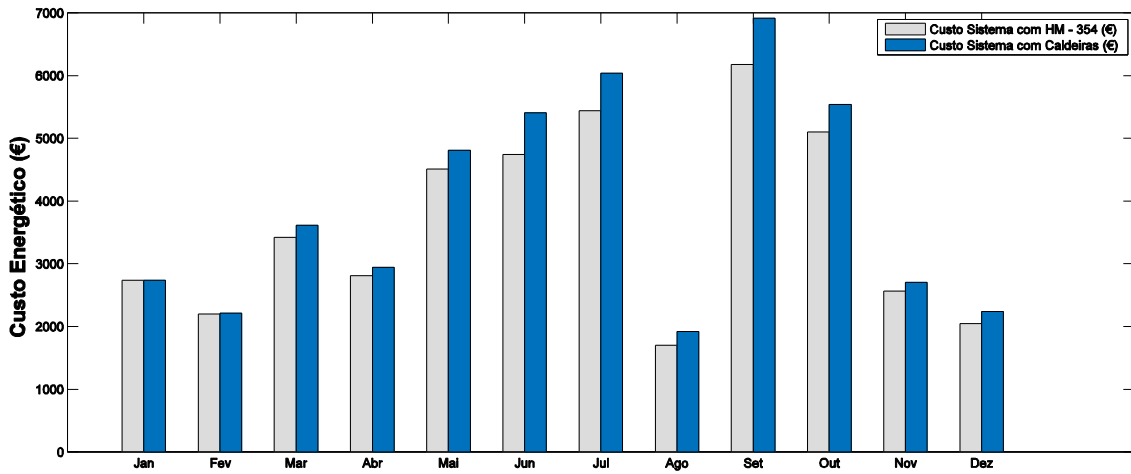


Figura 3.27 – Comparação do custo energético mensal entre solução a caldeiras e HM-354

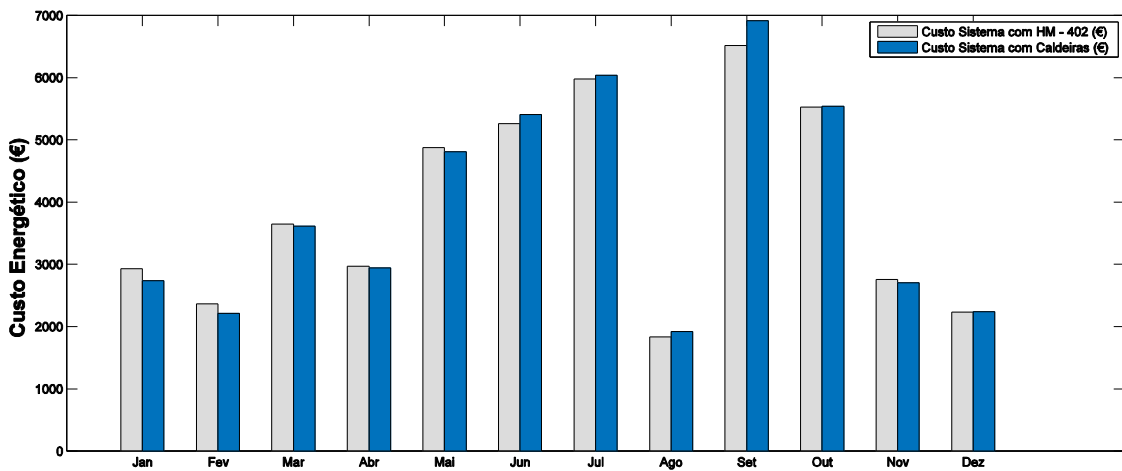


Figura 3.28 – Comparação do custo energético mensal entre solução a caldeiras e HM-402

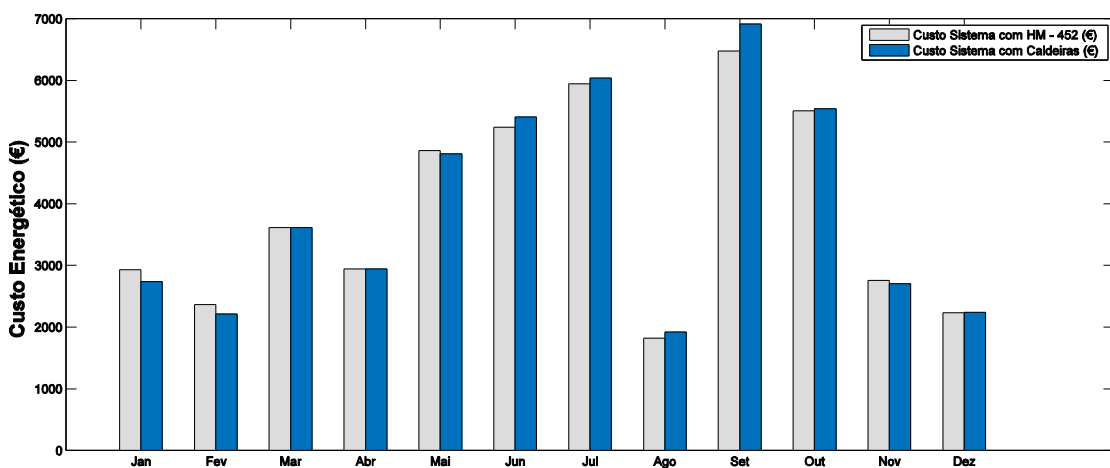


Figura 3.29 – Comparação do custo energético mensal entre solução a caldeiras e HM-452

Foram analisados e avaliados os três casos de estudo: o caso 1 HM 354 vs Caldeiras; o caso 2 HM 402 vs Caldeiras; e o caso 3 HM 452 vs Caldeiras. Sabendo que o consumo de gás natural para a produção de vapor é um fator de peso na escolha da solução ótima, procurou-se ainda combinar o investimento mais atrativo com a disponibilidade energética obtida para cada sistema.

A Recipharm tem um custo de aproximadamente 261 709,00 €/ano (+IVA) em gás natural (dados fornecidos pela fábrica). Este valor representa o consumo de gás natural para a produção de vapor industrial e para produção de água aquecida necessária para o sistema de AVAC. O consumo total de gás natural é obtido pela equação 18.

$$C_{TGN} = \frac{\text{custo GN (€/ano)}}{\text{preço GN (m}^3\text{/€)}} = \frac{261\,709,00}{0,371} = 705\,415\,m^3 \quad (19)$$

Uma forma de quantificar a parcela de aquecimento AVAC na fatura total é avaliar a percentagem de redução no consumo anual de gás natural, convertendo este valor em kWh, com um poder calorífico superior calculado a 0°C à pressão normal,

$$PCS \text{ (de referência)} = 11,667 \text{ kWh/Nm}^3$$

$$\text{Consumo energético total em kWh: } C_{kWh} = C_{GN} \times PCS = 705\,415 \times 11,667 = 8230076,8 \text{ kWh}$$

Sabendo que o consumo energético destinado aos sistemas de AVAC é de 1247841 kWh (HAP),

$$\frac{8230076,8}{1247841} = 6982236 \text{ kWh}$$

$$\frac{1247841 \times 100\%}{8230076,8} = 15,16\%$$

Esta fração representa cerca de 15,16% do consumo total de gás natural nas caldeiras.

Assim, na tabela 3.12 apresenta-se a percentagem de redução no consumo anual de gás natural, e por sua vez, o aumento da disponibilidade de vapor para os consumos da fábrica.

**Tabela 3.12** - Aumento de disponibilidade das caldeiras para produção de vapor

Sistema	Aumento de disponibilidade produção de vapor (%)
HM - XWH 354	14 %
HM - XWH 402	15 %
HM - XWH 452	15 %

Como se pode observar na tabela 3.12, os resultados são similares, concluindo-se que este fator não é relevante na escolha da solução ótimo para o tamanho da HM.

A utilização de instrumentos de apreciação financeira, como a análise do LCCA, teve como objetivo determinar a opção económica mais eficiente entre as diferentes alternativas concorrentes, independentemente da solução ótima enquadrada do ponto de vista energético.

Como se pode observar pela tabela 3.13, referente ao resumo da análise económica dos três casos em estudo, a solução ótima para a substituição do sistema existente para produção de água aquecida, passa pela instalação do modelo 354. Esta solução apresenta-se como ótima pois oferece o menor período de recuperação do capital investido, em 1,3 anos, tornando-se num investimento bastante atrativo. Adicionalmente, está associada a uma taxa interna de retorno de 79,4 % e na concretizando-se de uma poupança total efetiva de 346 611 €, considerando um período de operação pós investimento de 20 anos.

**Tabela 3.13** – Resumo do LCCA da solução ótima para a substituição do sistema convencional considerando um período de operação de 20 anos

Fonte: Carrier - Engineering Economic Analysis (EEA), Anexo D

Caso de estudo	Caldeira	Heat machine 354	Heat machine 402	Heat machine 452
Valor Atual Líquido (€)	3 006 300 €	2 659 689 €	2 726 569 €	2 727 236 €
Poupança líquida total (€)	-	346 611 €	279 731 €	279 064 €
Taxa Interna de Retorno (%)	-	79,4 %	55,5 %	44,4 %
PRS (Anos)	-	1,3	1,8	2,3

Apesar dos modelos das HM 402 e 452 serem energeticamente mais apetecíveis que o modelo 354, este revela-se a solução preferencial no prisma económico, uma vez que dado o investimento inicial de 108 309 €, superior em 23 309 € caso se optasse pela aquisição de uma nova caldeira, reflete-se em uma poupança líquida anual de 18 496 € (tabela 3.14). Além deste indicador, o mesmo modelo apresenta um *cash flow* total de 2 659 689 €, valor este que representa o menor custo efetivo de implementação de um novo sistema considerando o período de vida útil do projeto de 20 anos. A instalação deste último equipamento incorre em uma taxa interna de retorno superior, sendo que o capital inicial investido tem uma taxa de rentabilidade máxima de 79,4%, proporcionando um retorno de capital superior aos demais projetos.

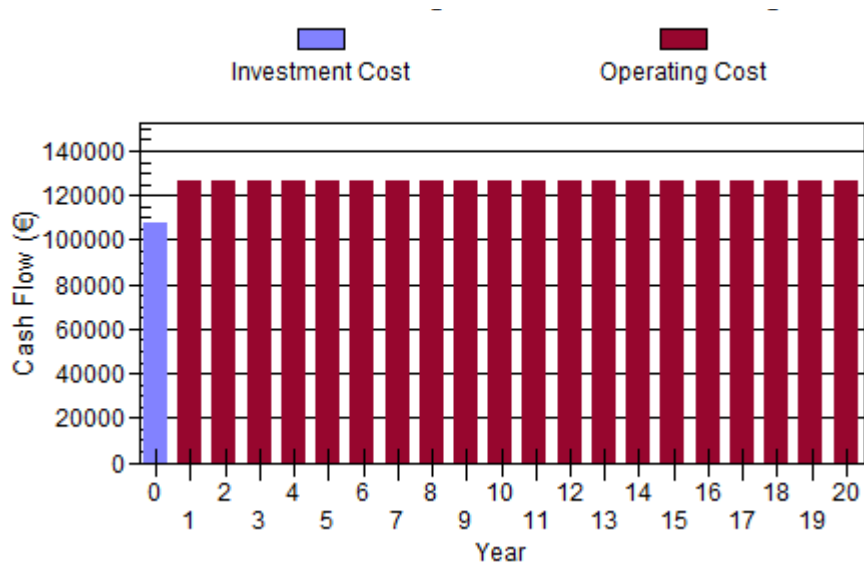
**Tabela 3.14** – Análise económica caldeiras vs HM 354

Fonte: Carrier - Engineering Economic Analysis (EEA), Anexo D

Ano	Cash Flow (VAL)		Poupança/Investimento					
	Caldeira Cash Flow (€)	HM 354 Cash Flow (€)	Poupança líquida anual(€)	Poupança de custo de operação (€)	Poupança acumulada de custos de operação (€)	Custo de investimento adicional (€)	Custo de investimento adicional acumulado (€)	Rácio poupança/Investimento anual
0	85.000	108.309	-23.309	0	0	23.309	23.309	0,000
1	146.065	127.569	18.496	18.496	18.496	0	23.309	0,794
2	146.065	127.569	18.496	18.496	36.992	0	23.309	1,587
3	146.065	127.569	18.496	18.496	55.488	0	23.309	2,381
4	146.065	127.569	18.496	18.496	73.984	0	23.309	3,174
5	146.065	127.569	18.496	18.496	92.480	0	23.309	3,968
6	146.065	127.569	18.496	18.496	110.976	0	23.309	4,761
7	146.065	127.569	18.496	18.496	129.472	0	23.309	5,555
8	146.065	127.569	18.496	18.496	147.968	0	23.309	6,348
9	146.065	127.569	18.496	18.496	166.464	0	23.309	7,142
10	146.065	127.569	18.496	18.496	184.960	0	23.309	7,935
11	146.065	127.569	18.496	18.496	203.456	0	23.309	8,729
12	146.065	127.569	18.496	18.496	221.952	0	23.309	9,522
13	146.065	127.569	18.496	18.496	240.448	0	23.309	10,316
14	146.065	127.569	18.496	18.496	258.944	0	23.309	11,109
15	146.065	127.569	18.496	18.496	277.440	0	23.309	11,903
16	146.065	127.569	18.496	18.496	295.936	0	23.309	12,696
17	146.065	127.569	18.496	18.496	314.432	0	23.309	13,490
18	146.065	127.569	18.496	18.496	332.928	0	23.309	14,283
19	146.065	127.569	18.496	18.496	351.424	0	23.309	15,077
20	146.065	127.569	18.496	18.496	369.920	0	23.309	15,870
Total	3.006.300	2.659.689	346.611	369.920	-	23.309	-	-

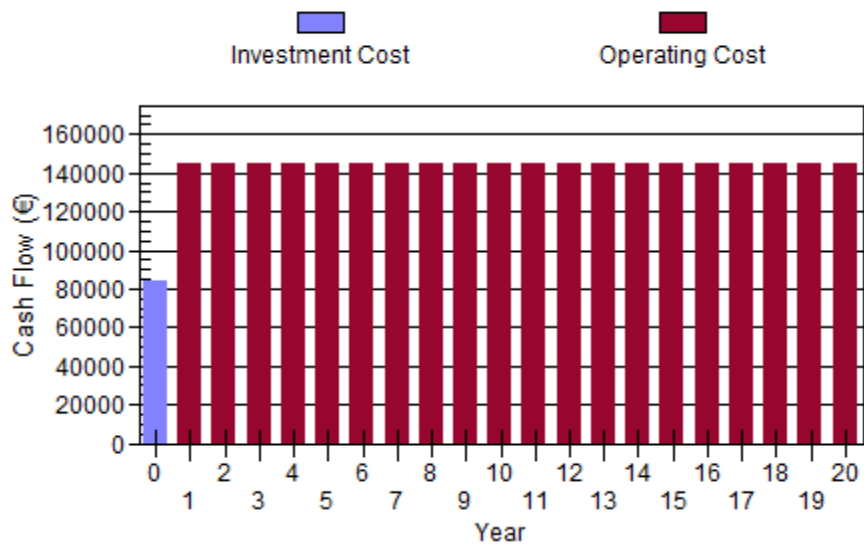
A análise comparativa baseada na tabela 3.14 reforça as ilações, em termos de viabilidade económica, inerentes à instalação da HM 354, pela observância do menor custo de investimento total. Embora inicialmente se incorra num custo financeiro superior em 23.309 € no ano 0, este esforço traz benefícios de poupança acumulada num total de 369 920 € no horizonte temporal de 20 anos.

Os gráficos das figuras 3.30 e 3.31 representam o *cash flow* respetivo da caldeira e da HM 354.



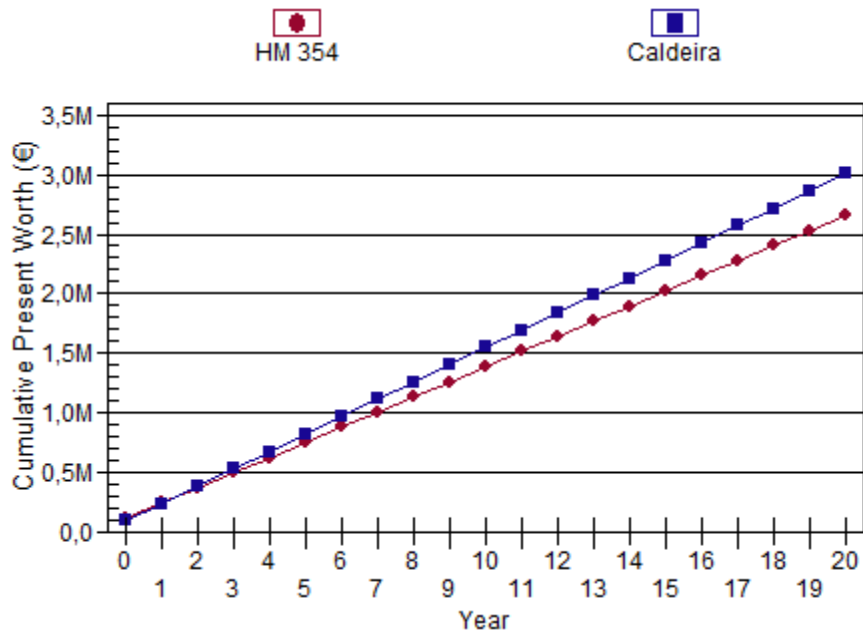
**Figura 3.30** – Cash flow da HM 354

Fonte: Carrier - Engineering Economic Analysis (EEA), Anexo D



**Figura 3.31** – Cash flow das caldeiras

Fonte: Carrier - Engineering Economic Analysis (EEA), Anexo D



**Figura 3.32** – Benefício total entre sistemas

Fonte: *Carrier - Engineering Economic Analysis (EEA)*, Anexo D

O gráfico da figura 3.32 representa o benefício total entre os sistemas HM e caldeira observado para um período de operação de 20 anos. Do mesmo depreende-se que no longo prazo, a instalação da HM acarreta menos custos e conseqüentemente uma maior poupança.



### 3.4 Desenvolvimento de uma interface gráfica para o *software* de cálculo

A interface gráfica de um *software* normalmente denominada por GUI (*Graphical User Interface*), é um caso particular de interface de um utilizador com um computador, que permite a interação com dispositivos digitais através de elementos gráficos como ícones e outros indicadores visuais, ao contrário de uma interface por linha de comando.

Numa tentativa de facilitar a utilização dos algoritmos concebidos para a otimização e implementação de sistemas da mesma natureza deste caso de estudo, desenvolveu-se um *software* de cálculo energético e financeiro, o Heatmachine versão Beta 1.0.

O Heatmachine – Beta 1.0 é um GUI que permite a importação de informação relativa a sistemas AVAC (como BC, caldeiras e chillers) e gerar relatórios conclusivos quanto a viabilidade tecno-económica de instalação de uma HM como alternativa à produção convencional de água aquecida (exclusivamente dedicada a gás natural) responsável pelo aquecimento e controlo de humidade de uma instalação AVAC.

Na figura 3.33 está representado o *layout* de utilização do *software*.

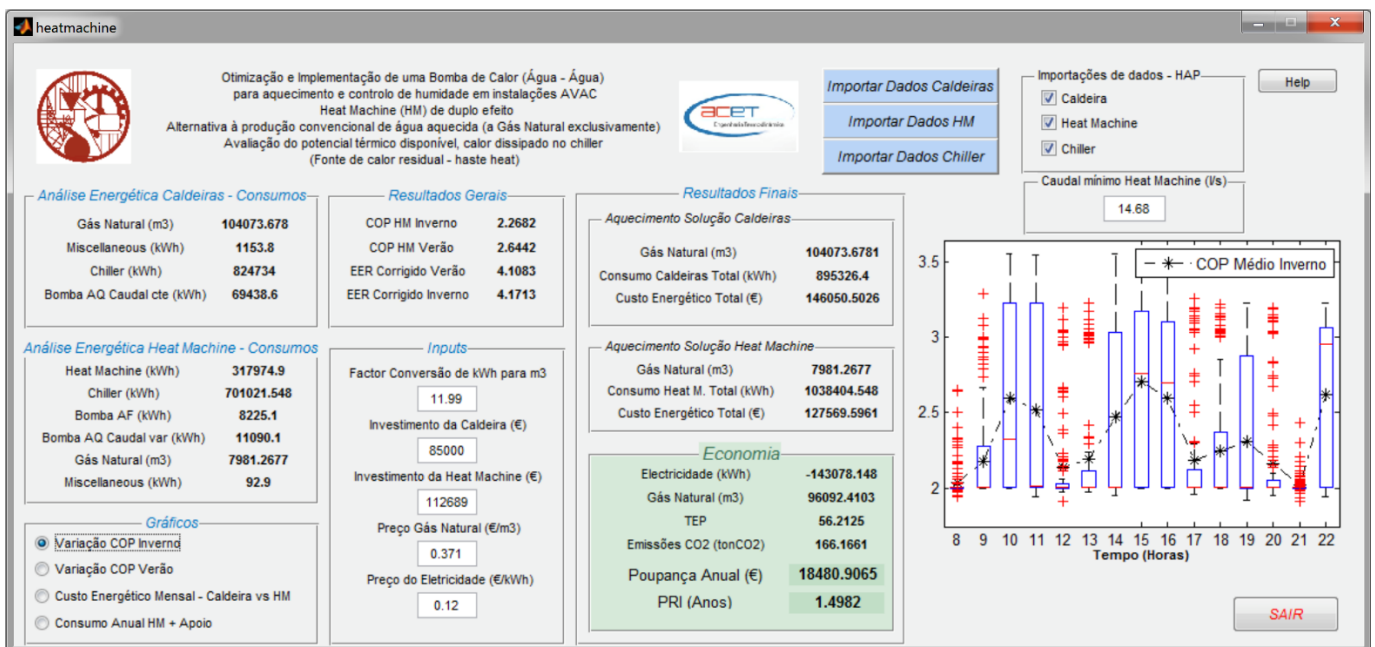


Figura 3.33 – GUI layout: HeatMachine – beta 1.0

Para uma utilização correta do Heatmachine – Beta 1.0 é necessária a importação dos dados relativos aos “*hourly simulation results*” exportados do *HAP 4.80*. Estes relatórios devem ser exportados no formato txt no menu “*view simulation reports*” e simulados para as caldeiras, HM e chiller ao longo de todo o ano. A importação correta dos dados é confirmada na caixa de *check box* à direita dos botões de importação

No menu *inputs* o utilizador pode configurar os valores de referência específicos para o projeto como sejam, o fator de conversão de kWh para m<sup>3</sup> relativo ao consumo de gás natural dos sistemas, o investimento da caldeira em euros, o investimento da HM em euros, o preço do gás natural por m<sup>3</sup> (€/m<sup>3</sup>) e o preço da energia elétrica por kWh (kWh/€).

No menu Gráficos, o utilizador pode avaliar graficamente os seguintes parâmetros: a variação diária do COP da HM para um dia típico de verão (dispersão de valores); a variação diária do COP da HM para um dia típico de inverno (dispersão de valores); a comparação do custo energético mensal entre os dois sistemas caldeiras vs HM; e o potencial térmico disponível mensal na HM (*heat source*).

A análise de resultados apresenta-se no Menu Economia, onde é exposta a economia em energia elétrica entre os dois sistemas, a economia em gás natural e a economia em toneladas equivalentes de petróleo entre os dois sistemas (caldeira vs HM). São igualmente apresentadas a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, o retorno financeiro anual em euros e por fim o período de recuperação do investimento (PRS) em anos.

## Capítulo 4. Conclusões

Esta dissertação assumiu como objetivo um caso de estudo que consistiu em investigar a viabilidade e otimização técnico-económica da implementação de 3 modelos diferentes de HM (XWH - 354, XWH - 402 e XWH - 452 da *Carrier*), como alternativa à produção convencional de água aquecida a gás natural exclusivamente, responsável pelo aquecimento e controlo de humidade ambiente na instalação AVAC na empresa Recipharm, uma unidade industrial farmacêutica, em parceria com a empresa ACET, Antero Cardoso Engenharia Termodinâmica Lda.

A abordagem ao caso de estudo a dissertar iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica e de referências relacionadas com o tema, onde se realizou um levantamento do estado da arte em sistemas de recuperação energética por intermédio de bombas de calor. O avanço tecnológico, a otimização de performance, a viabilidade e o impacto ambiental foram considerados como os pontos-chave da investigação e inovação atual.

Dada a dimensão e a complexidade do caso de estudo, i.e., a caracterização dos sistemas envolvidos energeticamente, do comportamento térmico do edifício e as condições climatológicas exteriores, foi necessária a modelação computacional de todos os condicionantes, tendo sido utilizado o programa de simulação dinâmica de edifícios (*building performance simulation tool*) *Carrier – HAP 4.80*.

Com o modelo computacional anteriormente referido, foram desenvolvidos paralelamente algoritmos de cálculo essenciais à compreensão e estruturação do caso de estudo em linguagem de programação. Estes foram cruciais para a definição dos balanços energéticos entre os sistemas, validados por intermédio de diagramas de Sankey, essenciais à compreensão da interligação entre sistemas e o modo como estes poderiam ser otimizados aproveitando ao máximo a recuperação energética. Observou-se a existência de um duplo efeito energético no modo de funcionamento da BC, convencionando-a como uma *heat machine*. A definição dos diagramas de Sankey e os algoritmos de cálculos foram essenciais na determinação do sistema ótimo a ser implementado (HM).

De acordo com os objetivos propostos, foi necessário investigar inicialmente o potencial energético da fonte de calor residual disponível  $Q_{carga\_AF}$ , (conhecida como *heat source* ou *waste heat* do sistema), que representa essencialmente a energia térmica no interior do edifício dissipada através do *chiller*  $Q_{out\_CH}$ . Verificou-se a disponibilidade do sistema em servir a HM com uma fonte de calor residual, num total de 2268765 kWh anuais disponíveis para a fonte residual energética.

A recuperação energética que torna este investimento viável baseia-se na poupança em gás natural do sistema. A implementação da HM - 452 conduz a uma economia de 104726 m<sup>3</sup> ano, quantidade energética esta que pode ser aproveitada para a consumo de vapor para fabrico. Dos balanços energéticos efetuados foi também possível concluir qual o sistema ótimo a implementar para substituição das caldeiras. O modelo 452 apresentou-se como a melhor solução energética, sendo o sistema que garante a maior disponibilidade energética de vapor essencial aos processos de fabrico da unidade industrial (aproximadamente 873 036 kWh/ano), garantindo o menor consumo energético no *chiller* (697134 kWh/ano), e o menor consumo também por parte do sistema de apoio (cerca de 452 kWh/ano).

No que respeita ao estudo económico, embora a instalação de sistemas complementares baseados em Heat Machines comportem um maior investimento inicial, o mesmo vai sendo diluído em cada ano de exercício em termos de poupança financeira, uma vez que reduz em simultâneos os custos operacionais mensais. Neste prisma entende-se que o modelo 354 é a melhor solução com base no critério económico.

Foi desenvolvido um GUI (*Graphical User Interface*) programado para a avaliação tecno-económica de futuros projetos da mesma natureza, facilitando a importação de dados e a obtenção de resultados em forma de output gráfico. Sendo esta uma versão beta e restrita a este tipo de recuperação energética com fonte residual proveniente da dissipação interna de cargas, investigações futuras poderiam aprofundar o desenvolvimento de *softwares* integrando o projeto, o cálculo térmico, a análise energética e a capacidade de integrar diferentes formas de recuperação energética, pensando cada vez mais em projetos sustentáveis.

Dada a possibilidade de implementação deste sistema na Recipharm, sugere-se também um estudo dos valores de consumos e recuperações energéticas do novo sistema, com a instalação de contadores de energia nos equipamentos, bem como, a medição *in loco* de caudais e temperaturas. Estes resultados poderiam levar à definição e previsão exata do comportamento dos sistemas e à construção de modelos mais adequados à previsão de resultados de novos projetos.

# Referências

- [1] Carrier, “Converting Waste Heat to Useful Energy in Heating, Ventilation and Air-Conditioning Systems,” *Carrier Engineering Newsletter*, vol. 2, n° 1, pp. 1-4, 2014.
- [2] EIA;, “Commercial Buildings Energy Consumption Survey,” Energy Information Administration, 2003.
- [3] T. B. P. Company, BP Statistical Review of World Energy, 64th ed., London, 2015.
- [4] K. Chua, S. Chou e W. Yang, “Advances in heat pump systems: A review,” *Applied Energy*, p. 3611–3624, 2010.
- [5] K. Chua e S. Chou, “Heat pump drying systems,” *Handbook of industrial drying*, p. 1103–1132, 2006.
- [6] S. Bertsch, “Two-stage air-source heat pump for residential heating and cooling applications in northern US climates,” *Int J. Refrigeration*, p. 1282–1292, 2008.
- [7] L. Chen, J. Li, F. Sun e C. Wu, “Performance optimization for a two-stage thermoelectric heat-pump with internal and external irreversibilities,” *Appl Energy*, p. 641–649, 2008.
- [8] N. Agrawal e S. Bhattacharyya, “Studies on a two-stage transcritical carbon dioxide heat pump cycle with flash intercooling,” *Appl Therm Eng*, p. 299–305, 2007.
- [9] X. Wang, Y. Hwang e R. Radermacher, “Two-stage heat pump system with vapor-injected scroll compressor using R410A as a refrigerant,” *Int J Refrig*, p. 1442–1451, 2009.
- [10] Y. Teh e K. Ooi, “Theoretical study of a novel refrigeration compressor – Part III: Leakage loss of the revolving vane (RV) compressor and a comparison with,” *Int J Refrig*, p. 945–952, 2009.
- [11] Y. Teh e K. Ooi, “Experimental study of the revolving vane (RV) compressor,” *Appl Therm Eng*, p. 3235–3245, 2009.

- [12] Y. Teh e K. Ooi, "Theoretical study of a novel refrigeration compressor – Part I: Design of the revolving vane (RV) compressor and its frictional losses," *Int J Refrig*, p. 1092–1102, 2009.
- [13] G. Alexis, "Estimation of ejector's main cross sections in steam-ejector refrigeration system," *Appl Therm Eng*, p. 2657–2663, 2004.
- [14] J. Sarkar, "Optimization of ejector-expansion transcritical CO<sub>2</sub> heat pump cycle," *Energy*, p. 1399–13406, 2008.
- [15] S. Wongwises e S. Disawas, "Performance of the two-phase ejector expansion refrigeration cycle," *Int J Heat Mass Trans*, p. 4282–4286, 2005.
- [16] P. Chaiwongsa e S. Wongwises, "Experimental study on R-134a refrigeration system using a two-phase ejector as an expansion device," *Appl Therm Eng*, p. 467–477, 2008.
- [17] Y. Yapıcı R, "Experimental study on ejector refrigeration system powered by low grade heat," *Energy Convers Manage*, p. 1560–1568, 2007.
- [18] N. Liu, S. Lin, L. Han e M. Zhu, "Moderately high temperature water source heat pumps using a near-azeotropic refrigerant mixture," *Appl Energy*, p. 435–447, 2005.
- [19] G. Pan e Z. Li, "Investigation on incomplete condensation of non-azeotropic working fluids in high temperature heat pumps," *Energy Convers Manage*, p. 1884–1893, 2006.
- [20] O. W. Flörke, "Silica" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Weinheim: Wiley-VCH, 2008.
- [21] T. Aynur, Y. Hwang e R. Radermacher, "Integration of variable refrigerant flow and heat pump desiccant systems for the heating season," *Energy Buildings*, p. 468–476, 2010.
- [22] R. Lazzarina e F. Castellotti, "new heat pump desiccant dehumidifier for supermarket application," *Energy Buildings*, p. 59–65, 2007.
- [23] G. Pei, J. Ji, T. Chow e T. Liu, "Experimental study of photovoltaic solar assisted heat pump system," *Solar Energy*, p. 43–52, 2008.

- [24] G. Pei, J. Ji, C. Han e W. Fan, “Performance of solar assisted heat pump using PV evaporator under different compressor frequency,” *Proceedings of ISES world congress*, p. 935–939, 2007.
- [25] G. Pei e T. Chow, “Modeling and application of direct-expansion solar-assisted heat pump for water heating in subtropical Hong Kong,” *Appl Energy*, p. 643–649, 2010.
- [26] J. Chen e S. Huang, “Heat pumps as a source of heat energy for desalination of seawater,” *Desalination*, p. 161–165, 2004.
- [27] N. Lukic, L. Diezel, A. Froba e A. Leipertz, “Economical aspects of the improvement of a mechanical vapour compression desalination plant by dropwise condensation,” *Desalination*, p. 173–178, 2010.
- [28] M. Hawlader, P. Dey, S. Diab e C. Chung, “Solar assisted heat pump desalination system,” *Desalination*, p. 49–54, 2004.
- [29] H. N. Shapiro e M. J. Moran, *Princípios de Termodinâmica para Engenheiros*, 6th ed., Ohio: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [30] R. A. Serway e J. W. Jewett, *Physics for Scientists and Engineers*, 6th ed., California: Brooks/Cole, 2004.
- [31] J. Clarke, *Energy Simulation in Building Design*, Second edition ed., U.K: Butterworth-Heinemann, 2001.
- [32] T. Marija e L. J. Hensen, “Overview of HVAC system simulation,” *Automation in Construction*, pp. 93-99, 2010.
- [33] I. S. Ertesvåg, “Uncertainties in heat-pump coefficient of performance (COP) and exergy efficiency based on standardized testing,” *Energy and Buildings*, p. 1937–1946, 2011.
- [34] W. Yang, J. Zhou, W. Xu e G. Zhang, “Current status of ground-source heat pumps in China,” *Energy Policy*, p. 323–332, 2010.
- [35] ASHRAE, *ASHRAE Handbook's Fundamentals, Refrigeration, HVAC Applications, and Systems and Equipment*, Atlanta: ASHRAE, 2009.



# Anexo A – Fichas técnicas

## A SOLUÇÃO PARA OS EQUIPAMENTOS DA CENTRAL TÉRMICA

Caldeiras de vaporização rápida

# Série VAP

150 a 3500 kg/h  
112 a 2 616 kW



Desde a sua concepção pelo grupo Babcock-Wanson, foram instaladas mais de 10.000 unidades. Mantendo o conceito original, posto à prova ao longo dos anos, estas caldeiras são continuamente aperfeiçoadas a fim de garantir uma maior fiabilidade e rendimento.

As caldeiras são fabricadas de acordo com a Directiva 97/23/CE e segundo normas de qualidade e regulamentos tais como Ispesl, TUV, BV, Apave, Lloyds, etc.

As emissões gasosas estão de acordo com as mais estritas normas Europeias.

### Operação e fabrico

Com 5 passagens de gases, o ar combustível é pré-aquecido numa câmara constituída por duas virolas, sendo a exterior anti-radiante. Este conjunto faz o isolamento térmico da caldeira aumentando o rendimento energético.

O queimador é de fabrico Babcock Wanson garantindo uma perfeita conjugação com a caldeira, sendo os seus componentes instalados de forma a facilitar o acesso e manutenção.

Os equipamentos de controlo e segurança da caldeira e queimador estão de acordo com as Normas Europeias EN 746-1 e EN 746-2. Os sistemas de segurança são múltiplos controlando as temperaturas dos fumos e vapor, pressões, existência de chama e falta de água.

### Características Técnicas

- 5 passagens de gases garantindo um rendimento superior.
- Isenção de fogueiro até 600kg/h e timbre 8 bar.
- Caldeira vertical permitindo a lavagem do circuito de fumos.
- A disposição vertical permite dilatação livre da serpentina prolongando a vida do equipamento.
- A serpentina de diâmetro variável prolonga a vida e produz vapor mais seco.
- A alta velocidade dos gases impede a acumulação de sujidade no circuito de gases.
- Arranque em apenas três minutos. O baixo conteúdo de água reduz as perdas de calor.
- Construção com serpentina não tem risco de explosão.
- Construção compacta pronta a receber ligações de vapor, água, electricidade, fumos, combustível e purgas.

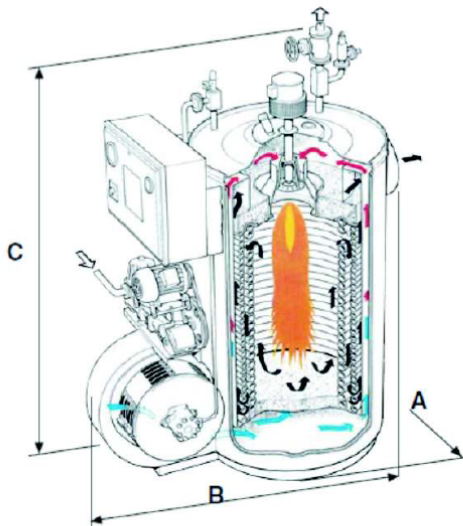


# A SOLUÇÃO PARA OS EQUIPAMENTOS DA CENTRAL TÉRMICA

## Características técnicas - Technical data

VAP Standard	mod.	150	250	400	600	900	1200	1500	1800	2500	3500
Potência técnica Net capacity	kCal/h. kw.	96000 112	162000 188	258000 300	390000 454	600000 698	780000 907	900000 1047	1200000 1396	1620000 1884	2250000 2616
Pressão máxima (limbre) Max stamp pressure	bar	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	7.84	4.9
Produção de vapor Steam production	kg/h.	160	270	430	650	1000	1300	1500	2000	2700	3750
Peso em vazio Empty weight	kg.	310	310	500	570	950	1300	1560	2100	3200	4400
Conteúdo em água Water content	l.	11.4	11.4	22	24.5	74	116.8	166	248.1	374	599
Largura - Width A	mm.	576	576	822	907	1130	1295	1455	1500	1668	1990
Comprimento - Length B	mm.	880	880	1070	1170	1380	1550	1710	1780	2085	2850
Altura - Height C	mm.	1455	1455	1710	1710	1990	2090	2225	2710	3460	3414
Ligação chaminé Chimney connection	mm.	159x 209	159x 209	208x 258	208x 258	174x 310	243x 308	308x 308	296x 360	458x 458	508x 508
Válvula saída de vapor Steam intake valve	DN. PN.	20 16	20 16	25 16	25 16	32 16	40 16	50 16	50 16	50 16	65 16

A BABCOCK WANSON reserva-se no direito de modificar os dados mencionados sem aviso prévio.  
The above mentioned data are not binding and can be changed without notice.



### Serviços técnicos

Com uma equipa de técnicos especializados a Babcock Wanson Caldeiras projecta e fornece instalações completas.  
A assistência técnica está disponível 24/24h.

### Contactos

Babcock Wanson Caldeiras, Lda  
Email : [bwc@babcock-wanson.com](mailto:bwc@babcock-wanson.com)  
Site web : [www.babcock-wanson.pt](http://www.babcock-wanson.pt)

Porto:  
Rua Gonçalves Zarco, 1843 / 1867 Salas B e J  
4450-685 MATOSINHOS  
Tel / Fax: (351) 229 999 490 / (351) 229 999 659

Lisboa:  
Rua Prof Dr Jorge Mineiro 16, 1ºB, Queluz de Baixo  
2730-146 BARCARENA  
Tel / Fax: (351) 218 049 017 - (351) 216 036 002



## Relatório performance para Untitled1

Projecto : -Untitled3  
Preparado por:

01-22-2014  
06.07



### AquaForce™ Chiller parafuso arrefecido por água



#### Informação da unidade

Nome ficheiro:.....**Untitled1**  
Modelo:.....**30XWH-0402**  
Quantidade:.....**1**  
Fábrica:.....**Montluel, France**  
Peso transporte:.....**2423** kg  
Peso em funcionamento:.....**2575** kg  
Comprimento da unidade:.....**2742** mm  
Largura da unidade:.....**936** mm  
Altura unidade:.....**1693** mm

#### Opções instaladas e Acessórios

Opção 150 Alta Temperatura de condensação ( 63 °C )

#### Informação eléctrica

Tensão da unidade:.....**400-3-50** V-Ph-Hz  
Potência de standby:.....**0.05** kW  
Tensão mínima:.....**360** Volts  
Tensão máxima:.....**440** Volts  
Factor de potência:.....**0.86**

#### Informação do evaporador

Tipo de Fluido:.....**Fresh Water**  
Factor de incrustamento:.....**0.0000** (sqm-K)/kW  
Temperatura água na saída:.....**7.0** °C  
Temperatura à entrada:.....**12.0** °C  
Caudal do fluido:.....**14.68** L/s  
Total Pressure Drop:.....**17.1** kPa

Amperagem ( Un )	Electrica Circuito 1	Electrica Circuito2
Corrente Max Unidade (RLA)	250.0	---
Corrente máxima no arranque (ICF)	587.0	---
Corrente nominal ( A ) unidade	150.0	---

#### Informação do Condensador

Tipo de Fluido:.....**Fresh Water**  
Factor de incrustamento:.....**0.0000** (sqm-K)/kW  
Temperatura água na saída:.....**60.0** °C  
Temperatura à entrada:.....**50.0** °C  
Caudal do fluido:.....**10.44** L/s  
Total Pressure Drop:.....**15.0** kPa

#### Informação de performance

Capacidade de Arrefecimento:.....**307.9** kW  
Capacidade Aquecimento:.....**430.7** kW  
Potência eléctrica total da unidade :.....**135.0** kW  
Cooling Efficiency (E.E.R.):.....**2.28** kW/kW  
Heating Efficiency (C.O.P.):.....**3.19** kW/kW  
A- Nivel de potência acústica :.....**99** dbA

Nota: A performance é sempre para uma tensão nominal. O Chiller pode variar a carga se a instalação tiver uma tensão abaixo dos 380 Volts.

Calculations done in accordance with adjusted performances(not taking into account pump efficiency and exchanger(s) pressure drop) - Not compliant with EN14511-3 : 2011.

Unit is outside of the scope of AHRI Water-Cooled Water Chilling Packages Using Vapor Compression Cycle Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (I-P).

Nivel de potencia sonora Lw de acordo com a ISO 9614-1 e certificado pela EUROVENT 8/1.

## Relatório performance para Untitled1

Projecto : ~Untitled3  
Preparado por:

03-19-2014  
10:35



### AquaForce™ Chiller parafuso arrefecido por água



#### Informação da unidade

Nome ficheiro:.....Untitled1  
Modelo:.....**30XWH-0354**  
Quantidade:.....**1**  
Fábrica:.....**Montluel, France**  
Peso transporte:.....**1953** kg  
Peso em funcionamento:.....**2072** kg  
Comprimento da unidade:.....**2724** mm  
Largura da unidade:.....**927** mm  
Altura unidade:.....**1567** mm

#### Opções instaladas e Acessórios

Opção 150 Alta Temperatura de condensação ( 63 °C )

#### Informação eléctrica

Tensão da unidade:.....**400-3-50** V-Ph-Hz  
Potência de standby:.....**0.05** kW  
Tensão mínima:.....**360** Volts  
Tensão máxima:.....**440** Volts  
Factor de potência:.....**0.86**

#### Informação do evaporador

Tipo de Fluido:.....**Fresh Water**  
Factor de incrustamento:.....**0.0000** (sqm-K)/kW  
Temperatura água na saída:.....**7.0** °C  
Temperatura à entrada:.....**12.0** °C  
Caudal do fluido:.....**13.72** L/s  
Total Pressure Drop:.....**20.6** kPa

Amperagem ( Un )	Electrica Circuito 1	Electrica Circuito2
Corrente Max Unidade (RLA)	200.0	---
Corrente máxima no arranque (ICF)	388.0	---
Corrente nominal ( A ) unidade	125.0	---

#### Informação do Condensador

Tipo de Fluido:.....**Fresh Water**  
Factor de incrustamento:.....**0.0000** (sqm-K)/kW  
Temperatura água na saída:.....**60.0** °C  
Temperatura à entrada:.....**50.0** °C  
Caudal do fluido:.....**9.42** L/s  
Total Pressure Drop:.....**15.0** kPa

#### Informação de performance

Capacidade de Arrefecimento:.....**287.8** kW  
Capacidade Aquecimento:.....**388.8** kW  
Potência eléctrica total da unidade :.....**110.9** kW  
Cooling Efficiency (E.E.R.):.....**2.59** kW/kW  
Heating Efficiency (C.O.P.):.....**3.50** kW/kW  
ESEER:.....**6.46** kW/kW  
A- Nivel de potência acústica :.....**95** dbA

Nota: A performance é sempre para uma tensão nominal. O Chiller pode variar a carga se a instalação tiver uma tensão abaixo dos 380 Volts.

Calculations done in accordance with adjusted performances(not taking into account pump efficiency and exchanger(s) pressure drop) - Not compliant with EN14511-3 : 2011.

Nivel de potencia sonora Lw de acordo com a ISO 9614-1 e certificado pela EUROVENT 8/1.

Unit is outside of the scope of AHRI Water-Cooled Water Chilling Packages Using Vapor Compression Cycle Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (I-P).

## Relatório performance para Untitled1

Projecto : ~Untitled3  
Preparado por:

01-22-2014  
06:10



### AquaForce™ Chiller parafuso arrefecido por água



#### Informação da unidade

Nome ficheiro:.....Untitled1  
Modelo:.....30XWH-0452  
Quantidade:.....1  
Fábrica:.....Montluel, France  
Peso transporte:.....2423 kg  
Peso em funcionamento:.....2575 kg  
Comprimento da unidade:.....2742 mm  
Largura da unidade:.....936 mm  
Altura unidade:.....1693 mm

#### Informação do evaporador

Tipo de Fluido:.....Fresh Water  
Factor de incrustamento:.....0.0000 (sqm-K)/kW  
Temperatura água na saída:.....7.0 °C  
Temperatura à entrada:.....12.0 °C  
Caudal do fluido:.....15.76 L/s  
Total Pressure Drop:.....19.0 kPa

#### Informação do Condensador

Tipo de Fluido:.....Fresh Water  
Factor de incrustamento:.....0.0000 (sqm-K)/kW  
Temperatura água na saída:.....60.0 °C  
Temperatura à entrada:.....50.0 °C  
Caudal do fluido:.....10.98 L/s  
Total Pressure Drop:.....15.0 kPa

#### Informação de performance

Capacidade de Arrefecimento:.....330.5 kW  
Capacidade Aquecimento:.....453.1 kW  
Potência eléctrica total da unidade :.....135.1 kW  
Cooling Efficiency (E.E.R.):.....2.45 kW/kW  
Heating Efficiency (C.O.P.):.....3.35 kW/kW  
A- Nivel de potência acústica :.....99 dbA

#### Opções instaladas e Acessórios

Opção 150 Alta Temperatura de condensação ( 63 °C )

#### Informação eléctrica

Tensão da unidade:.....400-3-50 V-Ph-Hz  
Potência de standby:.....0.05 kW  
Tensão mínima:.....360 Volts  
Tensão máxima:.....440 Volts  
Factor de potência:.....0.88

Amperagem ( Un )	Electrica Circuito 1	Electrica Circuito2
Corrente Max Unidade (RLA)	275.0	---
Corrente máxima no arranque (ICF)	587.0	---
Corrente nominal ( A ) unidade	162.0	---

Nota: A performance é sempre para uma tensão nominal. O Chiller pode variar a carga se a instalação tiver uma tensão abaixo dos 380 Volts.

Calculations done in accordance with adjusted performances(not taking into account pump efficiency and exchanger(s) pressure drop) - Not compliant with EN14511-3 : 2011.

Unit is outside of the scope of AHRI Water-Cooled Water Chilling Packages Using Vapor Compression Cycle Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (I-P).

Nivel de potencia sonora Lw de acordo com a ISO 9614-1 e certificado pela EUROVENT 8/1.

**EQUIPMENT:** EH01; EH02

**DESCRIPTION:** HVAC Hot Water/Steam Heat  
Exchangens

**MAKE:** Metalmogos

**MODEL:** P.V.A.M. 420-81

**CHARACTERISTICS:**

Capacity	600.000kcal/h
Steam	6 kgf/cm2 @ 164°C
Water temperature	80°C/70°C
Water Flow	60m3/h
Water max. pressure drop	1,75 m.w.g.
Commections	Steam 2 1/2": Water 4"
Exchange surface	7 m2

(See attached catalogs)

# Anexo B – Cálculo AVAC

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 01

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
1	211A	7.5	2.6	19	20	108	150	D	LIGHT GREY	15	
1	231	79.2	2.6	206	20	1,144	1,150	D	LIGHT GREY	10	
1	285	9.0	2.6	23	20	130	130	D	LIGHT GREY	-5	
1	286	9.6	2.6	25	-	20	20	D	LIGHT GREY	10	Apenas ar novo para LAF
1	287	9.6	2.6	25	-	20	20	D	LIGHT GREY	10	Apenas ar novo para LAF
1	288	11.4	2.6	30	20	165	170	D	LIGHT GREY	5	
1	284 + 289	102.5	2.6	267	20	1,481	1,490	D	LIGHT GREY	10	
1	291	38.0	2.6	99	NC			NC	BLACK	0	
<b>Totais</b>		<b>259.3</b>		<b>674</b>		<b>2,959</b>	<b>3,130</b>				

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 02

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
2	113	33.0	2.6	86	12	286	290	D	GREY	-5	
2	114	17.0	2.6	44	12	147	150	D	GREY	10	
2	116	15.0	2.6	39	12	130	130	D	GREY	10	
2	132	65.0	2.6	169	0	0		NC	BLACK	0	
2	133	6.3	2.6	16	12	54	150	D	GREY	15	
2	141	75.0	2.6	195	12	650	650	D	GREY	10	
2	141B	7.5	2.6	20	20	108	150	D	LIGHT GREY	15	
2	141C	15.0	2.6	39	12	130	150	D	GREY	5	
2	152	14.3	2.6	37	12	124	130	D	GREY	5	
2	153	88.0	2.6	229	12	763	770	D	GREY	5	incli as salas 154 e 155
2	156	160.5	2.6	417	12	1,391	1,400	D	GREY	5	incli as salas 157 e 158
2	161	14.0	2.6	36	12	121	120	D	GREY	10	

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 02

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
2	162	48.0	2.6	125	20	693	700	D	LIGHT GREY	10	
2	165	7.5	2.6	20	12	65	70	D	GREY	15	
2	167		2.6	0	12	0	1,770	D	GREY	15	
2	168	9.0	2.6	23	12	78	80	D	GREY	10	
2	211	32.5	2.6	85	12	282	290	D	GREY	10	
2	211B	6.3	2.6	16	12	54	100	D	GREY	15	
2	212	20.0	2.6	52	12	173	180	D	GREY	-5	
2	212A		2.6	0	12	0		NC	BLACK	-5	
2	215		2.6	0	12	0		D	GREY	10	
2	215A		2.6	0	12	0		D	GREY	10	
2	215B		2.6	0	12	0		D	GREY	10	
2	215C		2.6	0	12	0		D	GREY	10	

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 02

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (nº/h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
2	216	17.5	2.6	46	12	152	150	D	GREY	10	
2	221	83.0	2.6	216	0	0		NC	BLACK	0	
2	270	21.0	2.6	55	12	182	190	D	GREY	10	
<b>Totais</b>		<b>755.3</b>		<b>1,964</b>		<b>5,584</b>	<b>7,620</b>				

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 03

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação ccGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
3	163	51.9	2.8	145	12	485	490	D	LIGHT GREY	20	
3	169	37.5	2.8	105	12	350	350	D	LIGHT GREY	20	
3	181	12.0	2.6	31	12	104	110	D	LIGHT GREY	15	
3	182	12.0	2.6	31	12	104	110	D	LIGHT GREY	15	
3	182A	17.5	2.6	46	12	152	160	D	LIGHT GREY	15	
3	183	11.0	2.6	29	12	95	100	D	LIGHT GREY	15	
3	184	6.6	2.6	17	12	57	60	D	LIGHT GREY	15	
3	184A	4.4	2.6	11	12	38	40	D	LIGHT GREY	15	
3	185	40.8	2.8	114	12	381	380	D	LIGHT GREY	20	
3	185A	68.0	2.8	190	7	370	370	D	GREY	15	
3	186	44.2	2.8	124	12	413	415	D	LIGHT GREY	20	
3	186A	62.4	2.8	175	7	340	340	D	GREY	15	

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 03

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação ccGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
3	187	39.0	2.8	109	12	364	365	D	LIGHT GREY	20	
3	187A	42.5	2.8	119	7	231	230	D	GREY	15	
3	188	33.5	2.8	94	12	313	315	D	LIGHT GREY	20	
3	188A	7.2	2.8	20	7	39	40	D	GREY	15	
3	189	80.3	2.8	225	12	749	750	D	LIGHT GREY	15	
3	190	27.6	2.8	77	12	258	260	D	LIGHT GREY	20	
3	190A	46.2	2.8	129	7	252	255	D	GREY	15	
3	191	79.4	2.6	207	7	402	410	D	GREY	20	
3	191A	16.6	2.6	43	12	144	145	D	LIGHT GREY	20	
<b>Totais</b>		<b>740.8</b>		<b>2,042</b>		<b>5,640</b>	<b>5,695</b>				
3	275	28.0	2.8	78	12	261	260	D	LIGHT GREY	15	

Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 03

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
3	276	78.0	2.6	203	20	1,127	1,130	D	LIGHT GREY	20	
3	277	42.0	2.8	118	12	392	395	D	LIGHT GREY	20	
3	280	30.0	3.0	90	20	500	500	D	LIGHT GREY GMP	25	
3	281	28.0	3.0	84	20	467	470	D	LIGHT GREY GMP	25	
3	282	33.5	3.0	101	20	558	560	D	LIGHT GREY GMP	25	
3	283	29.8	3.3	98	20	546	550	D	LIGHT GREY GMP	25	
<b>Totais</b>		<b>269.3</b>	<b>772</b>	<b>124</b>	<b>3,851</b>	<b>3,865</b>					
<b>Totais da UTA 03</b>		<b>1,010</b>	<b>2,814</b>	<b>9,492</b>	<b>9,560</b>						
3	271	12.0	2.6	31	20	173	180	D	LIGHT GREY	15	
3	272	27.0	2.6	70	20	390	390	D	LIGHT GREY	15	

Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 03

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
3	273	25.5	2.6	66	20	368	370	D	LIGHT GREY	15	
3	274	19.5	2.6	51	20	282	285	D	LIGHT GREY	15	
3	275A	6.0	2.6	16	20	87	90	D	LIGHT GREY	15	
3	276	78.0	2.6	203	20	1,127	1,130	D	LIGHT GREY	20	
3	276A	6.0	2.6	16	20	87	90	D	LIGHT GREY	15	
3	277A	21.0	2.6	55	20	303	305	D	LIGHT GREY	25	
3	278	6.0	2.6	16	20	87	90	D	LIGHT GREY	15	
3	279	15.0	2.6	39	20	217	220	D	LIGHT GREY	15	
3	280	30.0	2.8	84	20	467	470	D	LIGHT GREY GMP	25	
<b>Totais da UTA.03A</b>		<b>246.0</b>		<b>646</b>		<b>3,587</b>	<b>3,620</b>				

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 04

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
4	102	14.6	2.8	41	12	136	140	D	LIGHT GREY	+	
4	103	13.8	2.8	39	20	215	220	D	LIGHT GREY GMP	+	
4	103A	10.8	2.8	30	12	101	105	D	LIGHT GREY	+++	
4	104	11.2	2.8	31	20	174	175	D	LIGHT GREY GMP	+	
4	104A	9.0	2.8	25	12	84	100	D	LIGHT GREY	+++	
4	105	11.2	2.8	31	20	174	175	D	LIGHT GREY GMP	+	
4	105A	9.0	2.8	25	12	84	100	D	LIGHT GREY	+++	
4	106	11.2	2.8	31	20	174	175	D	LIGHT GREY GMP	+	
4	106A	9.0	2.8	25	12	84	100	D	LIGHT GREY	+++	
4	108	20.2	2.8	56	12	188	190	D	LIGHT GREY	+	
4	109	20.2	2.8	56	12	188	190	D	LIGHT GREY	+	
4	110	9.7	2.8	27	12	91	95	D	LIGHT GREY	+	

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 04

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
4	111	18.6	2.8	52	12	173	175	D	LIGHT GREY	+	
4	112	22.0	2.8	61	12	205	210	NC	LIGHT GREY	+	
4	115	7.5	2.8	21	12	70	200	D	LIGHT GREY	+++	
4	118	118.1	2.8	331	12	1,103	1,105	D	LIGHT GREY	++	
4	119	21.6	2.8	60	6	101	105	NC	GREY	+	
4	120	11.2	2.8	31	20	174	175	D	LIGHT GREY GMP	+	
4	120A	9.0	2.8	25	12	84	100	D	LIGHT GREY	+++	
4	121	11.2	2.8	31	20	174	175	D	LIGHT GREY GMP	+	
4	121A	9.0	2.8	25	12	84	100	D	LIGHT GREY	+++	
4	122	11.2	2.8	31	20	174	175	D	LIGHT GREY GMP	+	
4	122A	9.0	2.8	25	12	84	100	D	LIGHT GREY	+++	
4	124	9.6	2.8	27	20	149	150	D	LIGHT GREY GMP	++	

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 04

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (nº/h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
4	124A	7.2	2.8	20	12	67	80	D	LIGHT GREY	+++	
4	125	71.8	2.8	201	20	1.117	1.120	D	LIGHT GREY GMP	++	
4	126	9.6	3.0	29	20	160	160	D	LIGHT GREY GMP	++	
<b>Sub-Totais</b>		<b>496</b>		<b>1,391</b>		<b>5,609</b>	<b>5,895</b>				

Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 04

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
4	202	20.5	2.8	57	12	195	175	D	LIGHT GREY	++	
4	203A,B,C, D	84.4	2.8	236	12	787	790	D	LIGHT GREY	++	
4	204	42.9	2.8	120	12	401	405	D	LIGHT GREY	++	
4	205	39.6	2.8	111	12	370	370	D	LIGHT GREY	++	
4	206	136.9	2.8	383	12	1,278	1,280	D	LIGHT GREY	++	
4	207	6.1	2.8	17	12	57	200	D	LIGHT GREY	+++	
4	208A,B,C, D	55.0	2.8	154	12	513	515	D	LIGHT GREY	++	
4	209	39.0	2.8	109	12	364	365	D	LIGHT GREY	++	
4	210	28.0	2.8	78	12	261	265	D	LIGHT GREY	++	
4	224	20.6	2.8	58	20	321	325	D	LIGHT GREY	+	
<b>Sub-Totais</b>		<b>473</b>		<b>1,324</b>		<b>4,547</b>	<b>4,690</b>				

Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 04

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
<b>Totais</b>											
		969		2,716		10,156	10,585				

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 05

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
5	142	115.5	2.6	300	12	1,001	1,000				
5	131	10.0	2.6	26	12	87	90				
5	134	10.0	2.6	26	12	87	90				
5	135	17.5	2.6	46	12	152	160				
5	136	17.5	2.6	46	12	152	160				
5	137	17.5	2.6	46	12	152	160				
5	138	17.5	2.6	46	12	152	160				
5	139	110.0		286	12	953	960				
5	140	12.0		31	12	104	105				
5	143	119.0		309	12	1,031	1,050				
5	144	119.0		309	12	1,031	1,050				
5	145	119.0		309	12	1,031	1,050				

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 05

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
5	147	119.0		309	12	1,031	1,050				
<b>Totais</b>		<b>803.5</b>		<b>2,089</b>		<b>6,964</b>	<b>7,085</b>				

Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 06

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação ccGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
6	222A	51.0	2.6	133	12	442	445	D	LIGHT GREY	+++	
6	223	Obs.	Obs.	78	20	433	435	D	LIGHT GREY GMP	+	PD 3,00 e 3,65
6	225	20.0	3.3	66	20	367	370	D	LIGHT GREY GMP	+	
6	226	40.0	3.8	152	20	844	845	D	LIGHT GREY GMP	+	
6	227	23.0	3.3	76	20	422	600	D	LIGHT GREY GMP	+	
6	227a	34.0	3.6	122	20	680	965	D	LIGHT GREY GMP	+	
6	228	141.0	2.6	367	12	1,222	1,225	D	LIGHT GREY	++	
6	229	7.5	2.6	20	12	65	200	D	LIGHT GREY	+++	
6	245	7.4	2.8	21	20	115	120	D	LIGHT GREY GMP	+	
6	246	25.0		156	20	867	890	D	LIGHT GREY GMP	+	
<b>Totais</b>		<b>348.9</b>		<b>1,190</b>		<b>5,457</b>	<b>6,095</b>				

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 07

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
7	202A	12.0	2.6	31	60	520	520	B	LIGHT GREY GMP	55	Filtros Terminais
7	202B	2.7	2.4	6	60	108	110	B	LIGHT GREY GMP	45	Filtros Terminais
7	202C	1.5	2.4	4	30	31	40	C	LIGHT GREY GMP	30	Filtros Terminais
7	202D	2.2	2.4	5	60	88	90	B	LIGHT GREY GMP	45	Filtros Terminais
7	202E	1.3	2.4	3	30	25	30	C	LIGHT GREY GMP	30	Filtros Terminais
<b>Totais</b>		<b>19.7</b>		<b>50</b>		<b>772</b>	<b>790</b>				

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 08

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
8	301	5.3	2.6	14	12	46	50				
8	302	41.5	2.6	108	12	360	360				
8	302A	2.0	2.6	5	12	17	20				
8	302B	2.0	2.6	5	12	17	20				
8	318	14.0	2.6	36	12	121	125				
8	319	12.3	2.6	32	12	106	110				
8	320	12.3	2.6	32	12	106	110				
8	321	12.3		32	12	106	110				
8	322	12.3		32	12	106	110				
8	303	8.0		21	12	69	70				
8	304	44.0		114	12	381	385				
8	306	55.0		143	12	477	480				

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 08

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
8	307	7.0		18	12	61	65				
8	309	38.5		100	12	334	335				
8	315	49.0		127	12	425	425				
8	310	38.5		100	12	334	335				
8	311	20.0		52	12	173	175				
8	312	20.0		52	12	173	175				
8	313	7.5		20	12	65	65				
8	314	31.5		82	12	273	275				
8	308	70.0		182	12	607	610				
8	331	28.0		73	12	243	245				
8		62.0		161	12	537	540				corredor

Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 08

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
<b>Totais</b>											
		592.8		1,541		5,137	5,195				

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 11

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação ccGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
11	230	9.4	2.8	26	7	51	60	NC	GREY	5	
11	232	15.0	2.8	42	12	140	150	D	LIGHT GREY	15	
11	233	51.0	2.8	143	12	476	500	D	LIGHT GREY	10	
11	234	89.0	2.8	249	12	831	850	D	LIGHT GREY	10	
11	235	7.0	2.8	20	12	65	150	D	LIGHT GREY	15	
11	236	63.0	2.8	176	20	980	1,000	D	LIGHT GREY GMP	10	
11	237	56.0	2.8	157	20	871	900	D	LIGHT GREY GMP	10	
11	238	29.0	3.5	102	20	564	600	D	LIGHT GREY GMP	5	
11	238A	12.0	2.8	34	12	112	150	D	LIGHT GREY	15	
11	239	5.0	2.8	14	12	47	100	D	LIGHT GREY	15	
11	240	2.0	2.8	6	12	19	100	D	LIGHT GREY	15	
11	241	10.0	2.8	28	12	93	100	D	LIGHT GREY	15	

## Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 11

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
11	247	10.8	2.8	30	12	101	110	D	LIGHT GREY	5	
<b>Totais</b>		<b>359.2</b>		<b>1,026</b>		<b>4,349</b>	<b>4,770</b>				

Lusomedicamenta - Parâmetros de Balanceamento

Sistema 12

Sistema	Sala	Área (m <sup>2</sup> )	Pé Direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Recirculações Mínimas (n <sup>o</sup> /h)	Caudal de Ar Mínimo (l/s)	Caudal de Ar Adoptado (l/s)	Classificação cGMP	Classificação Lusomedicamenta	Pressão (Pa)	Observações
12	005	10.0	2.8	28	12	93	240	D	LIGHT GREY GMP	20	
12	005A	5.6	2.8	16	12	52	60	D	LIGHT GREY GMP	20	
12	005B	7.5	2.8	21	12	70	70	D	LIGHT GREY	30	
12	006	11.5	2.8	32	20	179	180	D	LIGHT GREY GMP	20	
12	006A	11.5	2.8	32	20	179	180	D	LIGHT GREY GMP	20	
<b>Totais</b>		<b>46.1</b>		<b>129</b>		<b>573</b>	<b>730</b>				

# Anexo C – Relatórios HAP v 4.8

# Água Quente - Caldeiras Input Data

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:17AM

## 1. General Details:

Plant Name ..... **Água Quente - Caldeiras**  
Plant Type ..... **Hot Water Plant**

## 2. Air Systems served by Plant:

Air System Name	Mult.
UTA 01 Pesagem	1
UTA 02 Corredores e Embalagem	1
UTA.03 Líquidos	1
UTA.03.1 Líquidos - Veterinária	1
UTA.04 Sólidos - Compressão	1
UTA.05 Embalagem	1
UTA.06 Granulação	1
UTA.07 Enchimento Estéril	1
UTA.08 Escritórios/Laboratórios	1
UTA.09 Zona Administrativa	1
UTA.10 Controlo de Qualidade	1
UTA.11 Efervescentes (UTA)	1

## 3. Configuration

### Equipment

Capacities ..... **User-Specified**  
Number of Units ..... **2**

### Controls

Plant Control ..... **Equal Unloading**  
HWST Control ..... **Constant HWST**  
Design HWST ..... **80.0 °C**

### Features

None

### Auxiliary Heating

Used ..... **No**

## 4. Schedule of Equipment

Sequence	Name	Full Load Capacity (kW)	Hot Water Flow Rate	Evaporator Flow Rate
1	Geradores de Vapor	1100.0	11.1 °K	
2	Geradores de Vapor	1100.0	11.1 °K	
	Totals:	2200.0	n/a	0.0 L/s

Est. Max Heating Load ..... **654.5 kW**

## 5. Distribution

### Distribution System

Type ..... **Primary Only, Constant Speed**  
Heating Coil Delta-T at Design ..... **10.0 °K**  
Pipe Heat Loss Factor ..... **2.0 %**

### Fluid Properties

Fluid ..... **Fresh Water**  
Density ..... **970.7 kg/m³**  
Specific Heat ..... **4.19 kJ / (kg - °K)**

### Primary Loop

## Água Quente - Caldeiras Input Data

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:17AM

Pump for Equipment No.	Flow	Head (kPa)	Mechanical Efficiency (%)	Electrical Efficiency (%)
1	11.1 °K	330.0	75.0	85.0
2	11.1 °K	0.0	80.0	94.0

### 6. Source Water

Not Applicable

## Monthly Simulation Results for Agua Quente - Caldeiras

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:19AM

### Plant Simulation Results (Table 1) :

Month	Heating Coil Load (kWh)	Plant Heating Load (kWh)	Boiler Output (kWh)	Boiler Input - Gas (kWh)	Boiler Misc. Electric (kWh)	Primary Water Dist. Pump (kWh)
January	48624	44207	44364	63377	60	6433
February	39203	35682	35837	51196	49	5172
March	68254	64387	64551	92216	88	6269
April	55089	51712	51892	74132	71	5374
May	94168	90360	90364	129092	123	6698
June	108331	105265	105265	150379	144	6156
July	120222	116429	116435	166335	159	7291
August	38797	37879	37879	54112	52	1993
September	140264	137245	137271	196101	187	6862
October	109477	105651	105686	150979	144	7115
November	48937	45186	45378	64825	62	5740
December	41135	38379	38568	55097	53	4415
<b>Total</b>	<b>912499</b>	<b>872380</b>	<b>873489</b>	<b>1247841</b>	<b>1191</b>	<b>69518</b>

# Chillers com Caudal Variável Input Data

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:22AM

## 1. General Details:

Plant Name ..... **Chillers com Caudal Variável**  
Plant Type ..... **Chiller Plant**

## 2. Air Systems served by Plant:

Air System Name	Mult.
UTA 01 Pesagem	2
UTA 02 Corredores e Embalagem	1
UTA.03 Líquidos	1
UTA.03.1 Líquidos - Veterinária	1
UTA.04 Sólidos - Compressão	1
UTA.05 Embalagem	1
UTA.06 Granulação	1
UTA.08 Escritórios/Laboratórios	1
UTA.09 Zona Administrativa	1
UTA.10 Controlo de Qualidade	1
UTA.11 Efervescentes (UTA)	1
UTA.07 Enchimento Estéril	1
Armazém	1
GLATT+HUTTTLIN (desum)	1
Johnson & Johnson	1
PP Água de Arrefecimento	1
SA.11 Efervescentes (MUNTERS)	1
UTA 01A Pesagem - Booths	1

## 3. Configuration

### Equipment

Capacities ..... **User-Specified**  
Number of Units ..... **2**

### Controls

Plant Control ..... **Equal Unloading**  
LCHWT Control ..... **Constant LCHWT**  
Design LCHWT ..... **7.0 °C**

### Features

Free Cooling ..... **Not Used**  
Cooling Tower Configuration ..... **Individual**

## 4. Schedule of Equipment

Sequence	Name	Full Load Capacity (kW)	Cooler Flow Rate	Condenser Flow Rate	Cooling Tower Name	Tower Flow Rate
1	30XA1102	1106.9	52.8 L/s	n/a	n/a	n/a
2	30GX207	697.0	33.3 L/s	n/a	n/a	n/a
Totals:		1803.9	86.1 L/s	0.0 L/s		0.0 L/s

## 5. Distribution

### Distribution System

Type ..... **Primary Only, Variable Speed**  
Cooling Coil Delta-T at Design ..... **5.0 °K**  
Pipe Heat Gain Factor ..... **0.0 %**

### Fluid Properties

Fluid ..... **Fresh Water**  
Density ..... **999.6 kg/m³**

# Chillers com Caudal Variável Input Data

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:22AM

Specific Heat ..... **4.19** kJ / (kg - °K)

## Primary Loop

	Flow	Head (kPa)	Mechanical Efficiency (%)	Electrical Efficiency (%)
Design	86.1 L/s	400.0	80.0	94.0

Control Head ..... **200.0** kPa  
Minimum Pump Flow ..... **25.0** %  
Minimum Chiller Flow ..... **25.0** %

## 6. Condenser Water

Not Applicable

## Monthly Simulation Results for Chillers com Caudal Variável

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:23AM

### Plant Simulation Results (Table 1) :

Month	Cooling Coil Load (kWh)	Plant Cooling Load (kWh)	Chiller Output (kWh)	Chiller Input (kWh)	Primary Water Dist. Pump (kWh)
January	173180	178078	178078	41833	6529
February	150941	155014	155014	36370	5422
March	223924	229248	229001	53578	6872
April	245081	250430	250379	60036	6782
May	308819	314812	314812	75230	7463
June	369104	376061	375966	94023	8237
July	463795	472709	472320	121135	10512
August	195267	200484	200484	53452	6552
September	476563	485712	484890	121554	10621
October	338519	345066	345066	82656	8129
November	196153	200941	200941	47560	6248
December	153957	158379	158379	37305	5814
<b>Total</b>	<b>3295304</b>	<b>3366935</b>	<b>3365330</b>	<b>824733</b>	<b>89181</b>

# Água Quente - Heat Machine Input Data

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:20AM

## 1. General Details:

Plant Name ..... **Água Quente - Heat Machine**  
Plant Type ..... **Hot Water Plant**

## 2. Air Systems served by Plant:

Air System Name	Mult.
UTA 01 Pesagem	1
UTA 02 Corredores e Embalagem	1
UTA.03 Líquidos	1
UTA.03.1 Líquidos - Veterinária	1
UTA.04 Sólidos - Compressão	1
UTA.05 Embalagem	1
UTA.06 Granulação	1
UTA.07 Enchimento Estéril	1
UTA.08 Escritórios/Laboratórios	1
UTA.09 Zona Administrativa	1
UTA.10 Controlo de Qualidade	1
UTA.11 Efervescentes (UTA)	1

## 3. Configuration

### Equipment

Capacities ..... **User-Specified**  
Number of Units ..... **2**

### Controls

Plant Control ..... **Sequenced**  
HWST Control ..... **Constant HWST**  
Design HWST ..... **60.0 °C**

### Features

None

### Auxiliary Heating

Used ..... **No**

## 4. Schedule of Equipment

Sequence	Name	Full Load Capacity (kW)	Hot Water Flow Rate	Evaporator Flow Rate
1	30XWH354	388.8	9.4 L/s	13.7 L/s
2	Geradores de Vapor	1100.0	11.1 °K	
	Totals:	1488.8	n/a	13.7 L/s

Shared Water Source ..... **Linha de Água Arrefecida**  
Shared Water Source Flow Rate ..... **5.0 °K**

## 5. Distribution

### Distribution System

Type ..... **Primary Only, Constant Speed**  
Heating Coil Delta-T at Design ..... **10.0 °K**  
Pipe Heat Loss Factor ..... **0.0 %**

### Fluid Properties

Fluid ..... **Fresh Water**  
Density ..... **970.7 kg/m³**  
Specific Heat ..... **4.19 kJ / (kg - °K)**

### Primary Loop

## Água Quente - Heat Machine Input Data

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:20AM

Pump for Equipment No.	Flow	Head (kPa)	Mechanical Efficiency (%)	Electrical Efficiency (%)
1	9.4 L/s	220.0	80.0	87.0
2	11.1 °K	0.0	80.0	94.0

### 6. Source Water

#### Water System

Pump Control ..... **Variable Flow / Variable Speed**  
Minimum Pump Flow ..... **80** %  
Static Head ..... **0.0** kPa

#### Water Loop

Pump for Equipment No.	Flow	Head (kPa)	Mechanical Efficiency (%)	Electrical Efficiency (%)
Shared	5.0 °K	100.0	80.0	87.0

## Monthly Simulation Results for Água Quente - Heat Machine

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:21AM

### Plant Simulation Results (Table 1) :

Month	Heating Coil Load (kWh)	Plant Heating Load (kWh)	Boiler Output (kWh)	Heat Pump Output (kWh)	Heat Pump Input (kWh)	Boiler Input - Gas (kWh)	Boiler Misc. Electric (kWh)
January	48624	47839	0	47839	21256	0	0
February	39203	38569	0	38569	17070	0	0
March	68254	67428	5665	61763	24778	8092	8
April	55089	54396	4818	49577	20285	6883	7
May	94168	93223	4958	88265	33776	7083	7
June	108331	107372	3972	103399	36096	5675	5
July	120222	119128	7453	111674	40353	10648	10
August	38797	38482	5083	33399	11648	7261	7
September	140264	139180	25053	114127	40055	35789	34
October	109477	108443	9406	99037	36924	13437	13
November	48937	48212	285	47926	19879	408	0
December	41135	40559	293	40266	15880	419	0
<b>Total</b>	<b>912499</b>	<b>902830</b>	<b>66987</b>	<b>835844</b>	<b>318000</b>	<b>95695</b>	<b>91</b>

### Plant Simulation Results (Table 2) :

Month	Primary Water Dist. Pump (kWh)	Source Water Pump (kWh)
January	907	645
February	732	517
March	953	682
April	801	570
May	1089	889
June	1104	847
July	1261	993
August	362	271
September	1248	939
October	1192	943
November	837	568
December	664	433
<b>Total</b>	<b>11151</b>	<b>8299</b>

# Água Quente - Heat Machine Input Data

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:21AM

## 1. General Details:

Plant Name ..... **Água Quente - Heat Machine**  
Plant Type ..... **Hot Water Plant**

## 2. Air Systems served by Plant:

Air System Name	Mult.
UTA 01 Pesagem	1
UTA 02 Corredores e Embalagem	1
UTA.03 Líquidos	1
UTA.03.1 Líquidos - Veterinária	1
UTA.04 Sólidos - Compressão	1
UTA.05 Embalagem	1
UTA.06 Granulação	1
UTA.07 Enchimento Estéril	1
UTA.08 Escritórios/Laboratórios	1
UTA.09 Zona Administrativa	1
UTA.10 Controlo de Qualidade	1
UTA.11 Efervescentes (UTA)	1

## 3. Configuration

### Equipment

Capacities ..... **User-Specified**  
Number of Units ..... **2**

### Controls

Plant Control ..... **Sequenced**  
HWST Control ..... **Constant HWST**  
Design HWST ..... **60.0 °C**

### Features

None

### Auxiliary Heating

Used ..... **No**

## 4. Schedule of Equipment

Sequence	Name	Full Load Capacity (kW)	Hot Water Flow Rate	Evaporator Flow Rate
1	30XWH402	430.7	10.5 L/s	14.7 L/s
2	Geradores de Vapor	1100.0	11.1 °K	
	Totals:	1530.7	n/a	14.7 L/s

Shared Water Source ..... **Linha de Água Arrefecida**  
Shared Water Source Flow Rate ..... **5.0 °K**

## 5. Distribution

### Distribution System

Type ..... **Primary Only, Constant Speed**  
Heating Coil Delta-T at Design ..... **10.0 °K**  
Pipe Heat Loss Factor ..... **0.0 %**

### Fluid Properties

Fluid ..... **Fresh Water**  
Density ..... **970.7 kg/m<sup>3</sup>**  
Specific Heat ..... **4.19 kJ / (kg - °K)**

### Primary Loop

## Água Quente - Heat Machine Input Data

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:21AM

Pump for Equipment No.	Flow	Head (kPa)	Mechanical Efficiency (%)	Electrical Efficiency (%)
1	10.5 L/s	220.0	80.0	87.0
2	11.1 °K	0.0	80.0	94.0

### 6. Source Water

#### Water System

Pump Control ..... **Variable Flow / Variable Speed**  
Minimum Pump Flow ..... **80** %  
Static Head ..... **0.0** kPa

#### Water Loop

Pump for Equipment No.	Flow	Head (kPa)	Mechanical Efficiency (%)	Electrical Efficiency (%)
Shared	5.0 °K	100.0	80.0	87.0

## Monthly Simulation Results for Água Quente - Heat Machine

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:21AM

### Plant Simulation Results (Table 1) :

Month	Heating Coil Load (kWh)	Plant Heating Load (kWh)	Boiler Output (kWh)	Heat Pump Output (kWh)	Heat Pump Input (kWh)	Boiler Input - Gas (kWh)	Boiler Misc. Electric (kWh)
January	48624	47771	0	47771	22869	0	0
February	39203	38515	0	38515	18462	0	0
March	68254	67350	1518	65832	28125	2169	2
April	55089	54328	1551	52777	22760	2216	2
May	94168	93140	304	92836	38472	435	0
June	108331	107295	0	107295	41756	0	0
July	120222	119031	599	118433	47181	855	1
August	38797	38446	0	38446	14559	0	0
September	140264	139035	1210	137825	51405	1728	2
October	109477	108343	301	108042	43669	430	0
November	48937	48149	0	48149	21556	0	0
December	41135	40510	0	40510	17490	0	0
<b>Total</b>	<b>912499</b>	<b>901913</b>	<b>5483</b>	<b>896430</b>	<b>368303</b>	<b>7833</b>	<b>7</b>

### Plant Simulation Results (Table 2) :

Month	Primary Water Dist. Pump (kWh)	Source Water Pump (kWh)
January	986	575
February	795	466
March	1043	642
April	879	526
May	1185	861
June	1193	877
July	1372	1010
August	404	290
September	1415	1005
October	1307	947
November	910	519
December	721	411
<b>Total</b>	<b>12210</b>	<b>8129</b>

# Água Quente - Heat Machine Input Data

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:22AM

## 1. General Details:

Plant Name ..... **Água Quente - Heat Machine**  
Plant Type ..... **Hot Water Plant**

## 2. Air Systems served by Plant:

Air System Name	Mult.
UTA 01 Pesagem	1
UTA 02 Corredores e Embalagem	1
UTA.03 Líquidos	1
UTA.03.1 Líquidos - Veterinária	1
UTA.04 Sólidos - Compressão	1
UTA.05 Embalagem	1
UTA.06 Granulação	1
UTA.07 Enchimento Estéril	1
UTA.08 Escritórios/Laboratórios	1
UTA.09 Zona Administrativa	1
UTA.10 Controlo de Qualidade	1
UTA.11 Efervescentes (UTA)	1

## 3. Configuration

### Equipment

Capacities ..... **User-Specified**  
Number of Units ..... **2**

### Controls

Plant Control ..... **Sequenced**  
HWST Control ..... **Constant HWST**  
Design HWST ..... **60.0 °C**

### Features

None

### Auxiliary Heating

Used ..... **No**

## 4. Schedule of Equipment

Sequence	Name	Full Load Capacity (kW)	Hot Water Flow Rate	Evaporator Flow Rate
1	30XWH452	457.3	11.1 L/s	15.8 L/s
2	Geradores de Vapor	1100.0	11.1 °K	
	Totals:	1557.3	n/a	15.8 L/s

Shared Water Source ..... **Linha de Água Arrefecida**  
Shared Water Source Flow Rate ..... **5.0 °K**

## 5. Distribution

### Distribution System

Type ..... **Primary Only, Constant Speed**  
Heating Coil Delta-T at Design ..... **10.0 °K**  
Pipe Heat Loss Factor ..... **0.0 %**

### Fluid Properties

Fluid ..... **Fresh Water**  
Density ..... **970.7 kg/m<sup>3</sup>**  
Specific Heat ..... **4.19 kJ / (kg - °K)**

### Primary Loop

## Água Quente - Heat Machine Input Data

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:22AM

Pump for Equipment No.	Flow	Head (kPa)	Mechanical Efficiency (%)	Electrical Efficiency (%)
1	11.1 L/s	220.0	80.0	87.0
2	11.1 °K	0.0	80.0	94.0

### 6. Source Water

#### Water System

Pump Control ..... **Variable Flow / Variable Speed**  
Minimum Pump Flow ..... **80** %  
Static Head ..... **0.0** kPa

#### Water Loop

Pump for Equipment No.	Flow	Head (kPa)	Mechanical Efficiency (%)	Electrical Efficiency (%)
Shared	5.0 °K	100.0	80.0	87.0

## Monthly Simulation Results for Água Quente - Heat Machine

31752-Luis Silva-Simulacao TFM-02  
ISEL

10-01-2015  
02:22AM

### Plant Simulation Results (Table 1) :

Month	Heating Coil Load (kWh)	Plant Heating Load (kWh)	Boiler Output (kWh)	Heat Pump Output (kWh)	Heat Pump Input (kWh)	Boiler Input - Gas (kWh)	Boiler Misc. Electric (kWh)
January	48624	47727	0	47727	22774	0	0
February	39203	38480	0	38480	18388	0	0
March	68254	67303	0	67303	28355	0	0
April	55089	54286	316	53970	22949	452	0
May	94168	93095	0	93095	38377	0	0
June	108331	107253	0	107253	41490	0	0
July	120222	118980	0	118980	47043	0	0
August	38797	38432	0	38432	14458	0	0
September	140264	138984	0	138984	51441	0	0
October	109477	108295	0	108295	43508	0	0
November	48937	48109	0	48109	21463	0	0
December	41135	40479	0	40479	17418	0	0
<b>Total</b>	<b>912499</b>	<b>901422</b>	<b>316</b>	<b>901106</b>	<b>367664</b>	<b>452</b>	<b>0</b>

### Plant Simulation Results (Table 2) :

Month	Primary Water Dist. Pump (kWh)	Source Water Pump (kWh)
January	1037	605
February	836	489
March	1098	677
April	927	555
May	1238	907
June	1242	924
July	1431	1065
August	420	305
September	1473	1060
October	1363	998
November	957	546
December	757	433
<b>Total</b>	<b>12779</b>	<b>8564</b>

# Anexo D – Relatórios EEA

## Analysis Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:28:41

### Heat Machine 354 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Mutually Exclusive  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes ..... Not Considered

#### 1A. Summary of Results

Base Case	Caldeiras [Caldeira]
Challenger <b>[Winner]</b>	Heat Machine 354 [HM 354]
[Caldeira] Total Present Worth (€)	3.006.300
[HM 354] Total Present Worth (€)	2.659.689
Net Present Worth Savings (€)	346.611
Internal Rate of Return	79,4 %
Payback Period (yrs)	1,3 years

#### 1B. Comparative Analysis Details

Year	Date	Cash Flow (Present Worth €)			SIR and Payback Calculation (Present Worth €)				
		[Caldeira] Cash Flow (€)	[HM 354] Cash Flow (€)	Net Present Worth Savings (€)	Operating Cost Savings (€)	Cumulative Operating Cost Savings (€)	Additional Investment Cost (€)	Cumulative Additional Investment Cost (€)	Year-End SIR
0	Initial	85.000	108.309	-23.309	0	0	23.309	23.309	0,000
1	1	146.065	127.569	18.496	18.496	18.496	0	23.309	0,794
2	2	146.065	127.569	18.496	18.496	36.992	0	23.309	1,587
3	3	146.065	127.569	18.496	18.496	55.488	0	23.309	2,381
4	4	146.065	127.569	18.496	18.496	73.984	0	23.309	3,174
5	5	146.065	127.569	18.496	18.496	92.480	0	23.309	3,968
6	6	146.065	127.569	18.496	18.496	110.976	0	23.309	4,761
7	7	146.065	127.569	18.496	18.496	129.472	0	23.309	5,555
8	8	146.065	127.569	18.496	18.496	147.968	0	23.309	6,348
9	9	146.065	127.569	18.496	18.496	166.464	0	23.309	7,142
10	10	146.065	127.569	18.496	18.496	184.960	0	23.309	7,935
11	11	146.065	127.569	18.496	18.496	203.456	0	23.309	8,729
12	12	146.065	127.569	18.496	18.496	221.952	0	23.309	9,522
13	13	146.065	127.569	18.496	18.496	240.448	0	23.309	10,316
14	14	146.065	127.569	18.496	18.496	258.944	0	23.309	11,109
15	15	146.065	127.569	18.496	18.496	277.440	0	23.309	11,903
16	16	146.065	127.569	18.496	18.496	295.936	0	23.309	12,696
17	17	146.065	127.569	18.496	18.496	314.432	0	23.309	13,490
18	18	146.065	127.569	18.496	18.496	332.928	0	23.309	14,283
19	19	146.065	127.569	18.496	18.496	351.424	0	23.309	15,077
20	20	146.065	127.569	18.496	18.496	369.920	0	23.309	15,870
<b>Totals</b>		<b>3.006.300</b>	<b>2.659.689</b>	<b>346.611</b>	<b>369.920</b>		<b>23.309</b>		

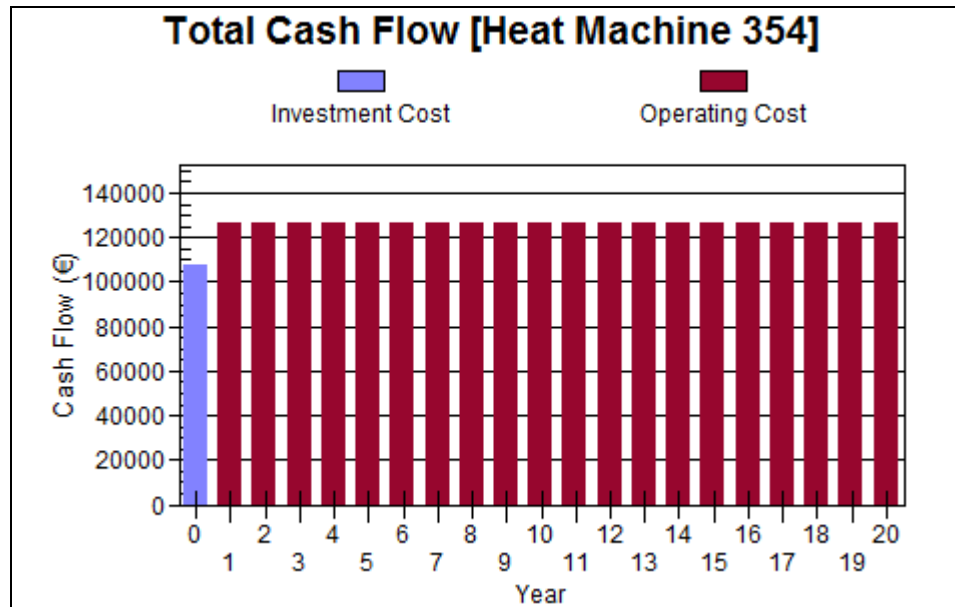
## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:02:54

### Heat Machine 354 vs Caldeiras

Type of Analysis.....Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives .....Independent  
 Length of Analysis..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes .....Not Considered



#### 1A. Component Cash Flows [Heat Machine 354], Actual Value

Year	Date	Cash Investment (€)	Loan Principal (€)	Loan Interest (€)	Total Investment Cost (€)	Annual Operating Cost (€)	Non-Annual Operating Cost (€)	Total Operating Cost (€)	Total Cash Flow (€)
0	Initial	108.309	0	0	108.309	0	0	0	108.309
1	1	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
2	2	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
3	3	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
4	4	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569

## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:02:54

Year	Date	Cash Investment (€)	Loan Principal (€)	Loan Interest (€)	Total Investment Cost (€)	Annual Operating Cost (€)	Non-Annual Operating Cost (€)	Total Operating Cost (€)	Total Cash Flow (€)
5	5	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
6	6	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
7	7	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
8	8	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
9	9	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
10	10	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
11	11	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
12	12	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
13	13	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
14	14	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
15	15	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
16	16	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
17	17	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
18	18	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
19	19	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
20	20	0	0	0	0	127.569	0	127.569	127.569
Totals		108.309	0	0	108.309	2.551.380	0	2.551.380	2.659.689

### 1B. Present Worth Cash Flows [Heat Machine 354]

Year	Date	Total Investment Cost (€)	Total Operating Cost (€)	Total Present Worth (€)
0	Initial	108.309	0	108.309
1	1	0	127.569	127.569
2	2	0	127.569	127.569
3	3	0	127.569	127.569
4	4	0	127.569	127.569
5	5	0	127.569	127.569
6	6	0	127.569	127.569
7	7	0	127.569	127.569
8	8	0	127.569	127.569
9	9	0	127.569	127.569
10	10	0	127.569	127.569
11	11	0	127.569	127.569
12	12	0	127.569	127.569
13	13	0	127.569	127.569
14	14	0	127.569	127.569

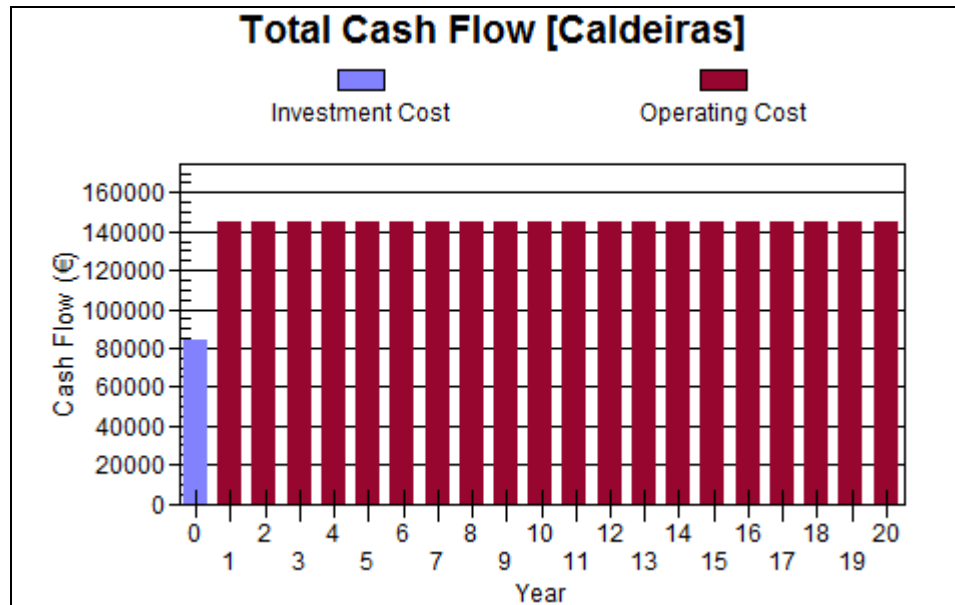
## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:02:54

Year	Date	Total Investment Cost (€)	Total Operating Cost (€)	Total Present Worth (€)
15	15	0	127.569	127.569
16	16	0	127.569	127.569
17	17	0	127.569	127.569
18	18	0	127.569	127.569
19	19	0	127.569	127.569
20	20	0	127.569	127.569
Totals		108.309	2.551.380	2.659.689

## Cash Flow Details



### 2A. Component Cash Flows [Caldeiras], Actual Value

Year	Date	Cash Investment (€)	Loan Principal (€)	Loan Interest (€)	Total Investment Cost (€)	Annual Operating Cost (€)	Non-Annual Operating Cost (€)	Total Operating Cost (€)	Total Cash Flow (€)
0	Initial	85.000	0	0	85.000	0	0	0	85.000
1	1	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
2	2	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
3	3	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
4	4	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
5	5	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
6	6	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
7	7	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
8	8	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
9	9	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
10	10	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
11	11	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
12	12	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065

## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:02:54

Year	Date	Cash Investment (€)	Loan Principal (€)	Loan Interest (€)	Total Investment Cost (€)	Annual Operating Cost (€)	Non-Annual Operating Cost (€)	Total Operating Cost (€)	Total Cash Flow (€)
13	13	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
14	14	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
15	15	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
16	16	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
17	17	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
18	18	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
19	19	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
20	20	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
<b>Totals</b>		85.000	0	0	85.000	2.921.300	0	2.921.300	3.006.300

### 2B. Present Worth Cash Flows [Caldeiras]

Year	Date	Total Investment Cost (€)	Total Operating Cost (€)	Total Present Worth (€)
0	Initial	85.000	0	85.000
1	1	0	146.065	146.065
2	2	0	146.065	146.065
3	3	0	146.065	146.065
4	4	0	146.065	146.065
5	5	0	146.065	146.065
6	6	0	146.065	146.065
7	7	0	146.065	146.065
8	8	0	146.065	146.065
9	9	0	146.065	146.065
10	10	0	146.065	146.065
11	11	0	146.065	146.065
12	12	0	146.065	146.065
13	13	0	146.065	146.065
14	14	0	146.065	146.065
15	15	0	146.065	146.065
16	16	0	146.065	146.065
17	17	0	146.065	146.065
18	18	0	146.065	146.065
19	19	0	146.065	146.065
20	20	0	146.065	146.065
<b>Totals</b>		85.000	2.921.300	3.006.300

## Design Case Inputs

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:28:44

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
Length of Analysis ..... 20 yrs  
Income Taxes ..... Not Considered

### General Information :

Design Case Name ..... Caldeiras  
Design Case Short Name ... Caldeira  
Description :

### Investment Costs :

Cost Item	Cost (€)	Year Incurred	Esc Rate (%/yr)	Salvage Value (€)	Useful Life (yrs)
Initial Investment Cost	85.000	0	0,00	0	20

### Loans :

Loan Item	Start Year	Investment In Start Year (€)	Percent Financed	Term Of Loan (Years)	Interest Rate (%/yr)	Payment Method
AV Loan	0	85.000	0	1	0,00	Equal Payments

### Annual Operating Costs :

Cost Item	Cost (€)	Start Year	Number Of Years	Esc Rate (%/yr)
Energy	146.065	1	20	0,00
Maintenance	0	1	20	0,00

*There are no non-annual operating cost inputs*

## Design Case Inputs

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:28:44

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
Length of Analysis ..... 20 yrs  
Income Taxes ..... Not Considered

### General Information :

Design Case Name ..... Heat Machine 354  
Design Case Short Name ... HM 354  
Description :

### Investment Costs :

Cost Item	Cost (€)	Year Incurred	Esc Rate (%/yr)	Salvage Value (€)	Useful Life (yrs)
Initial Investment Cost	108.309	0	0,00	0	20

### Loans :

Loan Item	Start Year	Investment In Start Year (€)	Percent Financed	Term Of Loan (Years)	Interest Rate (%/yr)	Payment Method
AV Loan	0	108.309	0	1	0,00	Equal Payments

### Annual Operating Costs :

Cost Item	Cost (€)	Start Year	Number Of Years	Esc Rate (%/yr)
Energy	127.569	1	20	0,00
Maintenance	0	1	20	0,00

*There are no non-annual operating cost inputs*

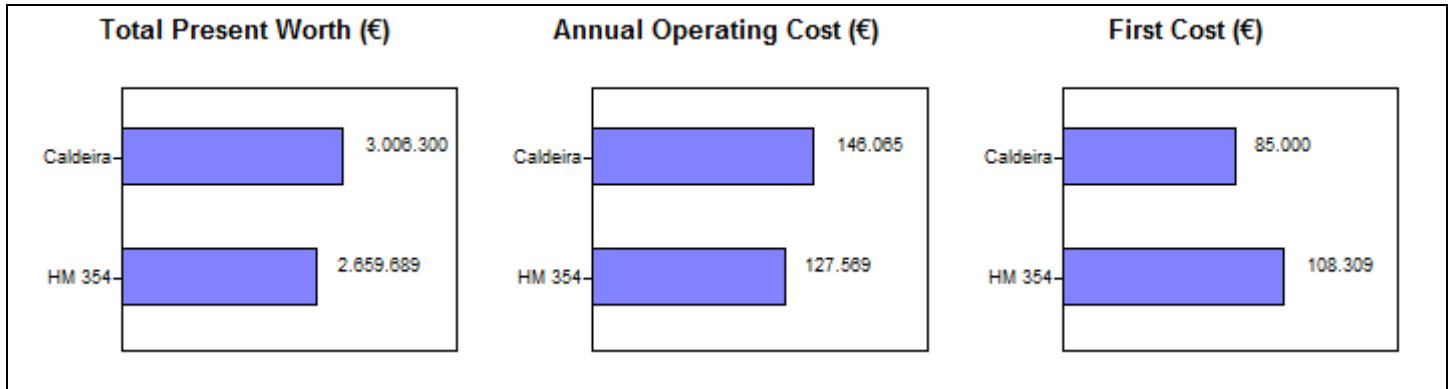
# Lifecycle Summary

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:28:39

## Heat Machine 354 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Mutually Exclusive  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes ..... Not Considered



**Table 1. Executive Summary**

Economic Criteria	Best Design Case for Each Criteria	Value (€)
Incremental NPW Savings Analysis	Heat Machine 354	-
Lowest Total Present Worth	Heat Machine 354	2.659.689
Lowest Annual Operating Cost	Heat Machine 354	127.569
Lowest First Cost	Caldeiras	85.000

**Table 2. Design Cases Ranked by First Cost**

Design Case Name	Design Case Short Name	Total Present Worth (€)	Annual Operating Cost (€/yr)	First Cost (€)
Caldeiras	Caldeira	3.006.300	146.065	85.000
Heat Machine 354	HM 354	2.659.689	127.569	108.309

**Table 3. Incremental Analysis Data**

Challenger	Base Case	Additional First Cost (€)	NPW Savings (€)	IRR (%)	Payback Period (yrs)
HM 354 [Winner]	Caldeira	23.309	346.611	79,35	1,3

# Lifecycle Summary

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
 Prepared By: Acet

18-09-2015  
 20:07:35

## Heat Machine 354 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Simple Payback Analysis  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Discount Rate ..... 0,00 %

**Table 1. Executive Summary**

Economic Criteria	Best Design Case for Each Criteria	Value (€)
Payback Analysis	Heat Machine 354	-
Lowest Annual Operating Cost	Heat Machine 354	127.569
Lowest First Cost	Caldeiras	85.000

**Table 2. Design Cases Ranked by First Cost**

Design Case Name	Design Case Short Name	Total Present Worth (€)	Annual Operating Cost (€/yr)	First Cost (€)
Caldeiras	Caldeira	3.006.300	146.065	85.000
Heat Machine 354	HM 354	2.659.689	127.569	108.309

**Table 3. Incremental Analysis Data**

Challenger	Base Case	Additional First Cost (€)	Payback Period (yrs)
HM 354 [Winner]	Caldeira	23.309	1,3

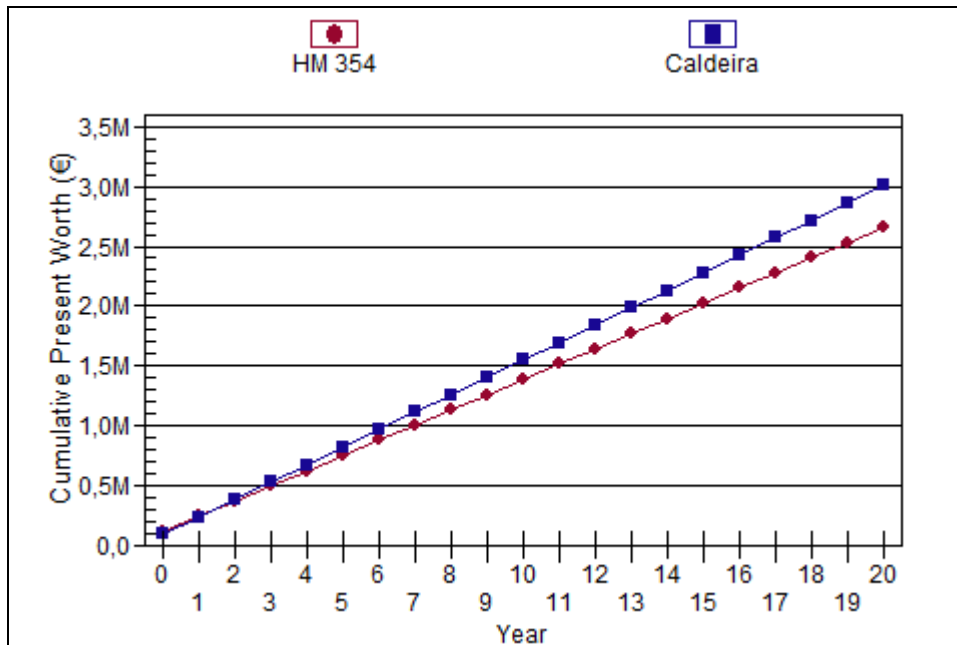
## Total Present Worth Profiles

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:02:57

### Heat Machine 354 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Independent  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes ..... Not Considered



#### Design Cases Ranked by Total Present Worth

Design Case Name	Design Case Short Name	Total Present Worth (€)	Annual Operating Cost (€/yr)	First Cost (€)
Heat Machine 354	HM 354	2.659.689	127.569	108.309
Caldeiras	Caldeira	3.006.300	146.065	85.000

## Analysis Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:25:43

### Heat Machine 402 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Mutually Exclusive  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes ..... Not Considered

#### 1A. Summary of Results

Base Case	Caldeiras [Caldeira]
Challenger <b>[Winner]</b>	Heat Machine 402 [HM 402]
[Caldeira] Total Present Worth (\$)	\$3.006.300
[HM 402] Total Present Worth (\$)	\$2.726.569
Net Present Worth Savings (\$)	\$279.731
Internal Rate of Return	55,5 %
Payback Period (yrs)	1,8 years

#### 1B. Comparative Analysis Details

Year	Date	Cash Flow (Present Worth \$)			SIR and Payback Calculation (Present Worth \$)				
		[Caldeira] Cash Flow (\$)	[HM 402] Cash Flow (\$)	Net Present Worth Savings (\$)	Operating Cost Savings (\$)	Cumulative Operating Cost Savings (\$)	Additional Investment Cost (\$)	Cumulative Additional Investment Cost (\$)	Year-End SIR
0	Initial	85.000	112.689	-27.689	0	0	27.689	27.689	0,000
1	1	146.065	130.694	15.371	15.371	15.371	0	27.689	0,555
2	2	146.065	130.694	15.371	15.371	30.742	0	27.689	1,110
3	3	146.065	130.694	15.371	15.371	46.113	0	27.689	1,665
4	4	146.065	130.694	15.371	15.371	61.484	0	27.689	2,221
5	5	146.065	130.694	15.371	15.371	76.855	0	27.689	2,776
6	6	146.065	130.694	15.371	15.371	92.226	0	27.689	3,331
7	7	146.065	130.694	15.371	15.371	107.597	0	27.689	3,886
8	8	146.065	130.694	15.371	15.371	122.968	0	27.689	4,441
9	9	146.065	130.694	15.371	15.371	138.339	0	27.689	4,996
10	10	146.065	130.694	15.371	15.371	153.710	0	27.689	5,551
11	11	146.065	130.694	15.371	15.371	169.081	0	27.689	6,106
12	12	146.065	130.694	15.371	15.371	184.452	0	27.689	6,662
13	13	146.065	130.694	15.371	15.371	199.823	0	27.689	7,217
14	14	146.065	130.694	15.371	15.371	215.194	0	27.689	7,772
15	15	146.065	130.694	15.371	15.371	230.565	0	27.689	8,327
16	16	146.065	130.694	15.371	15.371	245.936	0	27.689	8,882
17	17	146.065	130.694	15.371	15.371	261.307	0	27.689	9,437
18	18	146.065	130.694	15.371	15.371	276.678	0	27.689	9,992
19	19	146.065	130.694	15.371	15.371	292.049	0	27.689	10,547
20	20	146.065	130.694	15.371	15.371	307.420	0	27.689	11,103
<b>Totals</b>		<b>3.006.300</b>	<b>2.726.569</b>	<b>279.731</b>	<b>307.420</b>		<b>27.689</b>		

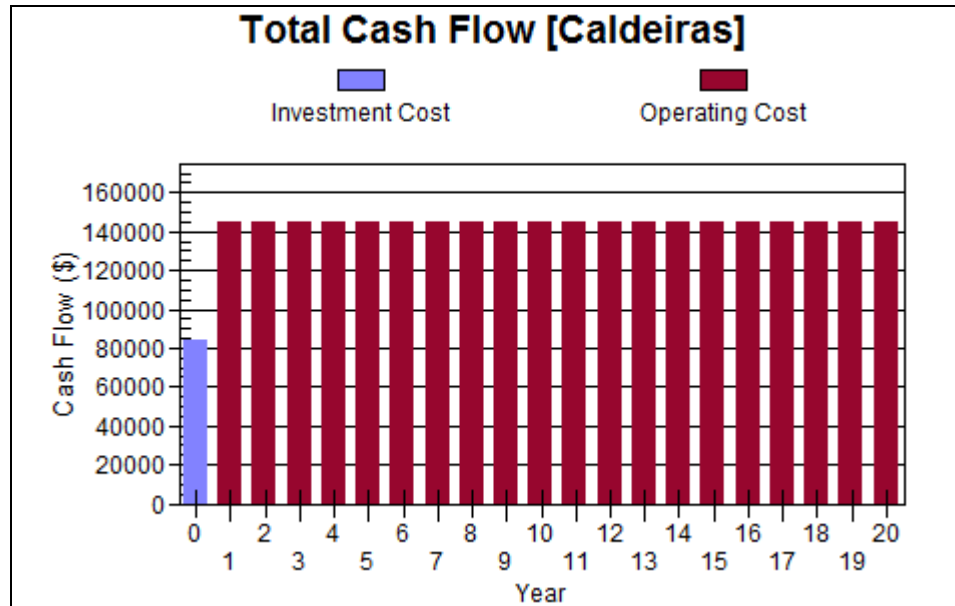
## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:25:44

### Heat Machine 402 vs Caldeiras

Type of Analysis.....Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Mutually Exclusive  
 Length of Analysis..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes .....Not Considered



#### 1A. Component Cash Flows [Caldeiras], Actual Value

Year	Date	Cash Investment (\$)	Loan Principal (\$)	Loan Interest (\$)	Total Investment Cost (\$)	Annual Operating Cost (\$)	Non-Annual Operating Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Cash Flow (\$)
0	Initial	85.000	0	0	85.000	0	0	0	85.000
1	1	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
2	2	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
3	3	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
4	4	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065

## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:25:44

Year	Date	Cash Investment (\$)	Loan Principal (\$)	Loan Interest (\$)	Total Investment Cost (\$)	Annual Operating Cost (\$)	Non-Annual Operating Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Cash Flow (\$)
5	5	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
6	6	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
7	7	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
8	8	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
9	9	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
10	10	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
11	11	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
12	12	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
13	13	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
14	14	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
15	15	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
16	16	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
17	17	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
18	18	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
19	19	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
20	20	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
Totals		85.000	0	0	85.000	2.921.300	0	2.921.300	3.006.300

### 1B. Present Worth Cash Flows [Caldeiras]

Year	Date	Total Investment Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Present Worth (\$)
0	Initial	85.000	0	85.000
1	1	0	146.065	146.065
2	2	0	146.065	146.065
3	3	0	146.065	146.065
4	4	0	146.065	146.065
5	5	0	146.065	146.065
6	6	0	146.065	146.065
7	7	0	146.065	146.065
8	8	0	146.065	146.065
9	9	0	146.065	146.065
10	10	0	146.065	146.065
11	11	0	146.065	146.065
12	12	0	146.065	146.065
13	13	0	146.065	146.065
14	14	0	146.065	146.065

## Cash Flow Details

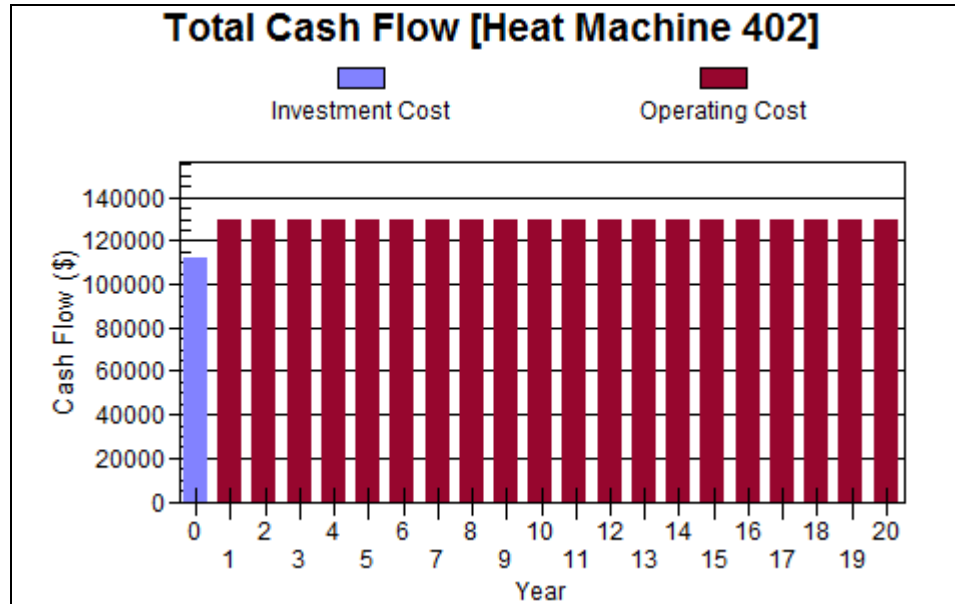
Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:25:44

---

Year	Date	Total Investment Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Present Worth (\$)
15	15	0	146.065	146.065
16	16	0	146.065	146.065
17	17	0	146.065	146.065
18	18	0	146.065	146.065
19	19	0	146.065	146.065
20	20	0	146.065	146.065
Totals		85.000	2.921.300	3.006.300

## Cash Flow Details



### 2A. Component Cash Flows [Heat Machine 402], Actual Value

Year	Date	Cash Investment (\$)	Loan Principal (\$)	Loan Interest (\$)	Total Investment Cost (\$)	Annual Operating Cost (\$)	Non-Annual Operating Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Cash Flow (\$)
0	Initial	112.689	0	0	112.689	0	0	0	112.689
1	1	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
2	2	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
3	3	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
4	4	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
5	5	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
6	6	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
7	7	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
8	8	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
9	9	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
10	10	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
11	11	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
12	12	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694

## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:25:44

Year	Date	Cash Investment (\$)	Loan Principal (\$)	Loan Interest (\$)	Total Investment Cost (\$)	Annual Operating Cost (\$)	Non-Annual Operating Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Cash Flow (\$)
13	13	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
14	14	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
15	15	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
16	16	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
17	17	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
18	18	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
19	19	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
20	20	0	0	0	0	130.694	0	130.694	130.694
<b>Totals</b>		112.689	0	0	112.689	2.613.880	0	2.613.880	2.726.569

### 2B. Present Worth Cash Flows [Heat Machine 402]

Year	Date	Total Investment Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Present Worth (\$)
0	Initial	112.689	0	112.689
1	1	0	130.694	130.694
2	2	0	130.694	130.694
3	3	0	130.694	130.694
4	4	0	130.694	130.694
5	5	0	130.694	130.694
6	6	0	130.694	130.694
7	7	0	130.694	130.694
8	8	0	130.694	130.694
9	9	0	130.694	130.694
10	10	0	130.694	130.694
11	11	0	130.694	130.694
12	12	0	130.694	130.694
13	13	0	130.694	130.694
14	14	0	130.694	130.694
15	15	0	130.694	130.694
16	16	0	130.694	130.694
17	17	0	130.694	130.694
18	18	0	130.694	130.694
19	19	0	130.694	130.694
20	20	0	130.694	130.694
<b>Totals</b>		112.689	2.613.880	2.726.569

## Design Case Inputs

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
 Prepared By: Acet

18-09-2015  
 20:25:47

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Income Taxes ..... Not Considered

**General Information :**

Design Case Name ..... Caldeiras  
 Design Case Short Name ... Caldeira  
 Description :

**Investment Costs :**

Cost Item	Cost (\$)	Year Incurred	Esc Rate (%/yr)	Salvage Value (\$)	Useful Life (yrs)
Initial Investment Cost	\$ 85.000	0	0,00	\$ 0	20

**Loans :**

Loan Item	Start Year	Investment In Start Year (\$)	Percent Financed	Term Of Loan (Years)	Interest Rate (%/yr)	Payment Method
AV Loan	0	\$ 85.000	0	1	0,00	Equal Payments

**Annual Operating Costs :**

Cost Item	Cost (\$)	Start Year	Number Of Years	Esc Rate (%/yr)
Energy	\$ 146.065	1	20	0,00
Maintenance	\$ 0	1	20	0,00

*There are no non-annual operating cost inputs*

## Design Case Inputs

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
 Prepared By: Acet

18-09-2015  
 20:25:47

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Income Taxes ..... Not Considered

**General Information :**

Design Case Name ..... Heat Machine 402  
 Design Case Short Name ... HM 402  
 Description :

**Investment Costs :**

Cost Item	Cost (\$)	Year Incurred	Esc Rate (%/yr)	Salvage Value (\$)	Useful Life (yrs)
Initial Investment Cost	\$ 112.689	0	0,00	\$ 0	20

**Loans :**

Loan Item	Start Year	Investment In Start Year (\$)	Percent Financed	Term Of Loan (Years)	Interest Rate (%/yr)	Payment Method
AV Loan	0	\$ 112.689	0	1	0,00	Equal Payments

**Annual Operating Costs :**

Cost Item	Cost (\$)	Start Year	Number Of Years	Esc Rate (%/yr)
Energy	\$ 130.694	1	20	0,00
Maintenance	\$ 0	1	20	0,00

*There are no non-annual operating cost inputs*

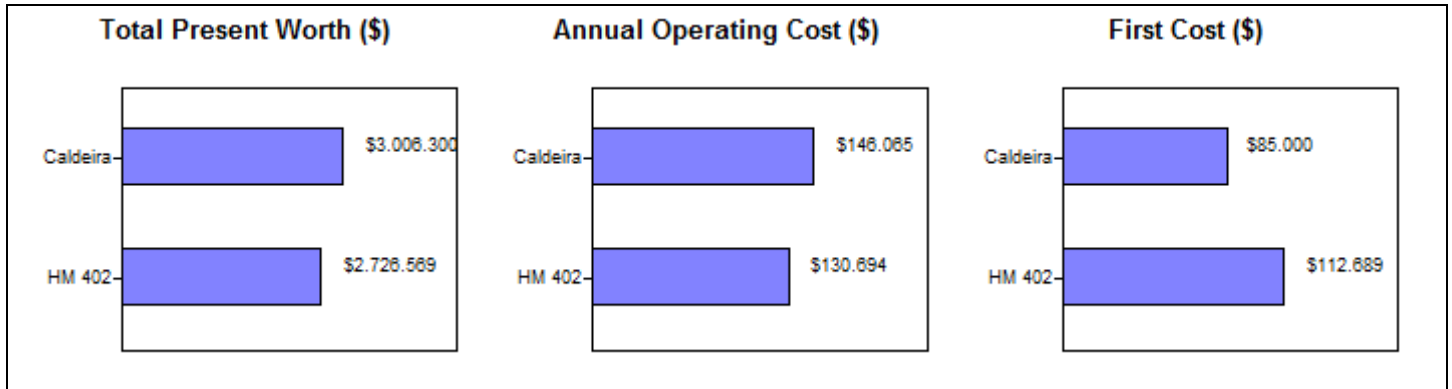
# Lifecycle Summary

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:25:42

## Heat Machine 402 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Mutually Exclusive  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes ..... Not Considered



**Table 1. Executive Summary**

Economic Criteria	Best Design Case for Each Criteria	Value (\$)
Incremental NPW Savings Analysis	Heat Machine 402	-
Lowest Total Present Worth	Heat Machine 402	\$2,726,569
Lowest Annual Operating Cost	Heat Machine 402	\$130,694
Lowest First Cost	Caldeiras	\$85,000

**Table 2. Design Cases Ranked by First Cost**

Design Case Name	Design Case Short Name	Total Present Worth (\$)	Annual Operating Cost (\$/yr)	First Cost (\$)
Caldeiras	Caldeira	\$3,006,300	\$146,065	\$85,000
Heat Machine 402	HM 402	\$2,726,569	\$130,694	\$112,689

**Table 3. Incremental Analysis Data**

Challenger	Base Case	Additional First Cost (\$)	NPW Savings (\$)	IRR (%)	Payback Period (yrs)
HM 402 [Winner]	Caldeira	\$27,689	\$279,731	55,51	1,8

## Lifecycle Summary

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
 Prepared By: Acet

18-09-2015  
 20:21:15

### Heat Machine 402 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Simple Payback Analysis  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Discount Rate ..... 0,00 %

**Table 1. Executive Summary**

Economic Criteria	Best Design Case for Each Criteria	Value (\$)
Payback Analysis	Heat Machine 402	-
Lowest Annual Operating Cost	Heat Machine 402	\$130.694
Lowest First Cost	Caldeiras	\$85.000

**Table 2. Design Cases Ranked by First Cost**

Design Case Name	Design Case Short Name	Total Present Worth (\$)	Annual Operating Cost (\$/yr)	First Cost (\$)
Caldeiras	Caldeira	\$3.006.300	\$146.065	\$85.000
Heat Machine 402	HM 402	\$2.726.569	\$130.694	\$112.689

**Table 3. Incremental Analysis Data**

Challenger	Base Case	Additional First Cost (\$)	Payback Period (yrs)
HM 402 [Winner]	Caldeira	\$27.689	1,8

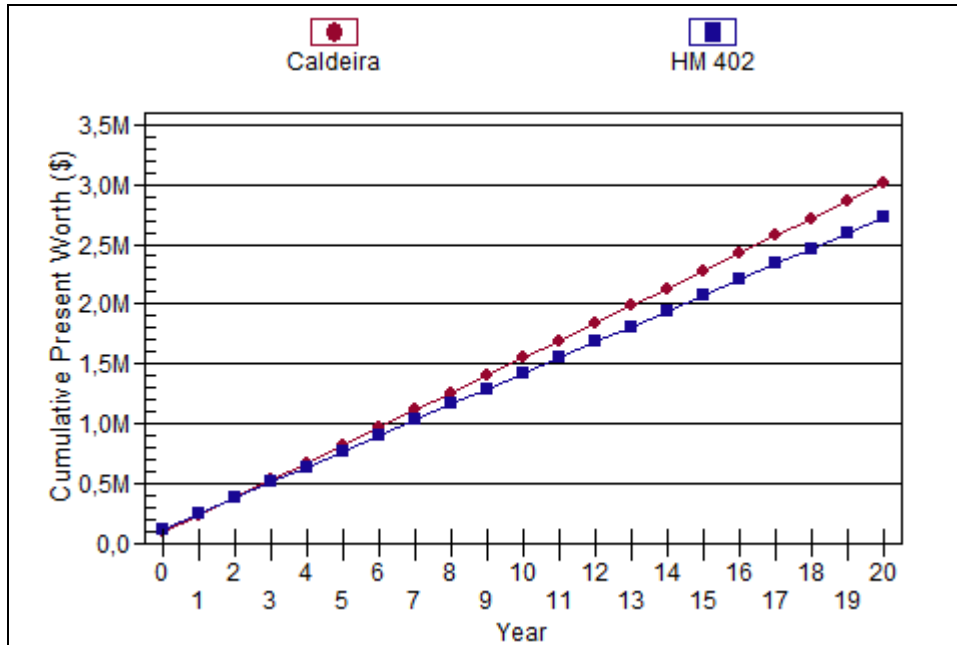
## Total Present Worth Profiles

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
 Prepared By: Acet

18-09-2015  
 20:42:56

### Heat Machine 402 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Mutually Exclusive  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes ..... Not Considered



#### Design Cases Ranked by First Cost

Design Case Name	Design Case Short Name	Total Present Worth (\$)	Annual Operating Cost (\$/yr)	First Cost (\$)
Caldeiras	Caldeira	\$3.006.300	\$146.065	\$85.000
Heat Machine 402	HM 402	\$2.726.569	\$130.694	\$112.689

## Analysis Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:34:43

### Heat Machine 452 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Mutually Exclusive  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes ..... Not Considered

#### 1A. Summary of Results

Base Case	Caldeiras [Caldeira]
Challenger <b>[Winner]</b>	Heat Machine 452 [HM 452]
[Caldeira] Total Present Worth (\$)	\$3.006.300
[HM 452] Total Present Worth (\$)	\$2.727.236
Net Present Worth Savings (\$)	\$279.064
Internal Rate of Return	44,4 %
Payback Period (yrs)	2,3 years

#### 1B. Comparative Analysis Details

Year	Date	Cash Flow (Present Worth \$)			SIR and Payback Calculation (Present Worth \$)				
		[Caldeira] Cash Flow (\$)	[HM 452] Cash Flow (\$)	Net Present Worth Savings (\$)	Operating Cost Savings (\$)	Cumulative Operating Cost Savings (\$)	Additional Investment Cost (\$)	Cumulative Additional Investment Cost (\$)	Year-End SIR
0	Initial	85.000	120.396	-35.396	0	0	35.396	35.396	0,000
1	1	146.065	130.342	15.723	15.723	15.723	0	35.396	0,444
2	2	146.065	130.342	15.723	15.723	31.446	0	35.396	0,888
3	3	146.065	130.342	15.723	15.723	47.169	0	35.396	1,333
4	4	146.065	130.342	15.723	15.723	62.892	0	35.396	1,777
5	5	146.065	130.342	15.723	15.723	78.615	0	35.396	2,221
6	6	146.065	130.342	15.723	15.723	94.338	0	35.396	2,665
7	7	146.065	130.342	15.723	15.723	110.061	0	35.396	3,109
8	8	146.065	130.342	15.723	15.723	125.784	0	35.396	3,554
9	9	146.065	130.342	15.723	15.723	141.507	0	35.396	3,998
10	10	146.065	130.342	15.723	15.723	157.230	0	35.396	4,442
11	11	146.065	130.342	15.723	15.723	172.953	0	35.396	4,886
12	12	146.065	130.342	15.723	15.723	188.676	0	35.396	5,330
13	13	146.065	130.342	15.723	15.723	204.399	0	35.396	5,775
14	14	146.065	130.342	15.723	15.723	220.122	0	35.396	6,219
15	15	146.065	130.342	15.723	15.723	235.845	0	35.396	6,663
16	16	146.065	130.342	15.723	15.723	251.568	0	35.396	7,107
17	17	146.065	130.342	15.723	15.723	267.291	0	35.396	7,551
18	18	146.065	130.342	15.723	15.723	283.014	0	35.396	7,996
19	19	146.065	130.342	15.723	15.723	298.737	0	35.396	8,440
20	20	146.065	130.342	15.723	15.723	314.460	0	35.396	8,884
<b>Totals</b>		<b>3.006.300</b>	<b>2.727.236</b>	<b>279.064</b>	<b>314.460</b>		<b>35.396</b>		

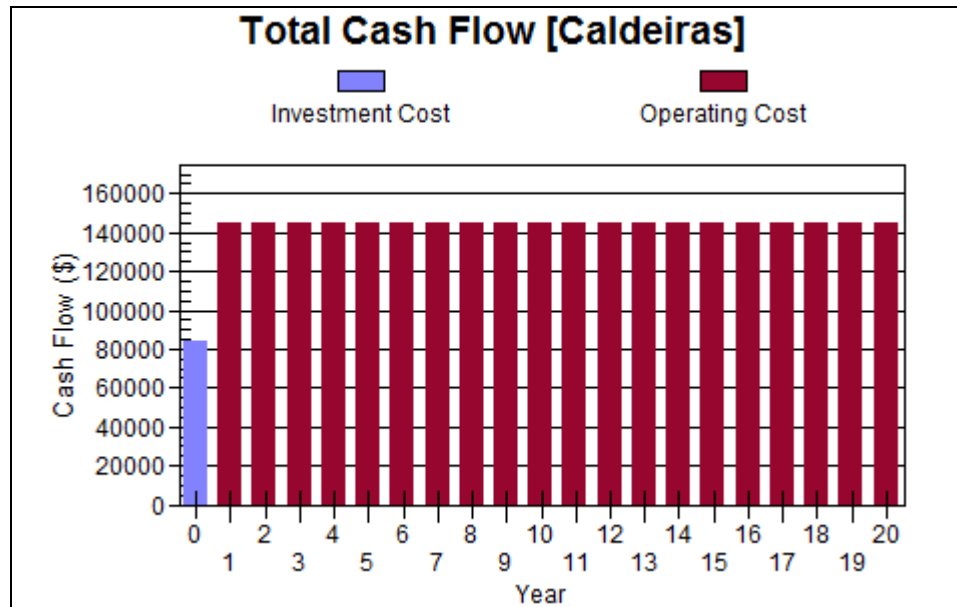
## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:34:44

### Heat Machine 452 vs Caldeiras

Type of Analysis.....Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Mutually Exclusive  
 Length of Analysis..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes .....Not Considered



#### 1A. Component Cash Flows [Caldeiras], Actual Value

Year	Date	Cash Investment (\$)	Loan Principal (\$)	Loan Interest (\$)	Total Investment Cost (\$)	Annual Operating Cost (\$)	Non-Annual Operating Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Cash Flow (\$)
0	Initial	85.000	0	0	85.000	0	0	0	85.000
1	1	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
2	2	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
3	3	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
4	4	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065

## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:34:44

Year	Date	Cash Investment (\$)	Loan Principal (\$)	Loan Interest (\$)	Total Investment Cost (\$)	Annual Operating Cost (\$)	Non-Annual Operating Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Cash Flow (\$)
5	5	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
6	6	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
7	7	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
8	8	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
9	9	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
10	10	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
11	11	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
12	12	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
13	13	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
14	14	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
15	15	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
16	16	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
17	17	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
18	18	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
19	19	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
20	20	0	0	0	0	146.065	0	146.065	146.065
Totals		85.000	0	0	85.000	2.921.300	0	2.921.300	3.006.300

### 1B. Present Worth Cash Flows [Caldeiras]

Year	Date	Total Investment Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Present Worth (\$)
0	Initial	85.000	0	85.000
1	1	0	146.065	146.065
2	2	0	146.065	146.065
3	3	0	146.065	146.065
4	4	0	146.065	146.065
5	5	0	146.065	146.065
6	6	0	146.065	146.065
7	7	0	146.065	146.065
8	8	0	146.065	146.065
9	9	0	146.065	146.065
10	10	0	146.065	146.065
11	11	0	146.065	146.065
12	12	0	146.065	146.065
13	13	0	146.065	146.065
14	14	0	146.065	146.065

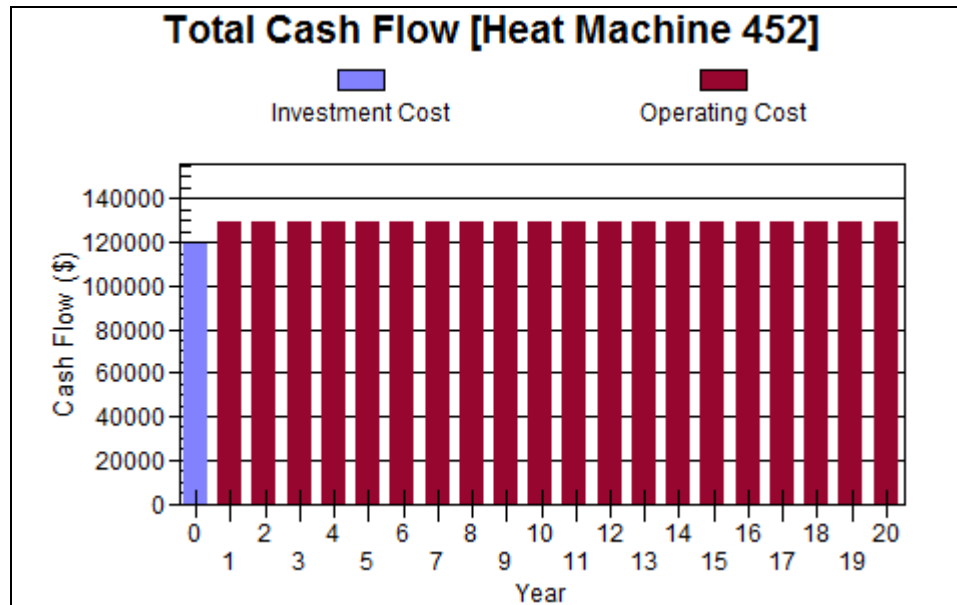
## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:34:44

Year	Date	Total Investment Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Present Worth (\$)
15	15	0	146.065	146.065
16	16	0	146.065	146.065
17	17	0	146.065	146.065
18	18	0	146.065	146.065
19	19	0	146.065	146.065
20	20	0	146.065	146.065
Totals		85.000	2.921.300	3.006.300

## Cash Flow Details



### 2A. Component Cash Flows [Heat Machine 452], Actual Value

Year	Date	Cash Investment (\$)	Loan Principal (\$)	Loan Interest (\$)	Total Investment Cost (\$)	Annual Operating Cost (\$)	Non-Annual Operating Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Cash Flow (\$)
0	Initial	120.396	0	0	120.396	0	0	0	120.396
1	1	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
2	2	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
3	3	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
4	4	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
5	5	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
6	6	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
7	7	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
8	8	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
9	9	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
10	10	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
11	11	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
12	12	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342

## Cash Flow Details

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:34:44

Year	Date	Cash Investment (\$)	Loan Principal (\$)	Loan Interest (\$)	Total Investment Cost (\$)	Annual Operating Cost (\$)	Non-Annual Operating Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Cash Flow (\$)
13	13	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
14	14	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
15	15	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
16	16	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
17	17	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
18	18	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
19	19	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
20	20	0	0	0	0	130.342	0	130.342	130.342
Totals		120.396	0	0	120.396	2.606.840	0	2.606.840	2.727.236

### 2B. Present Worth Cash Flows [Heat Machine 452]

Year	Date	Total Investment Cost (\$)	Total Operating Cost (\$)	Total Present Worth (\$)
0	Initial	120.396	0	120.396
1	1	0	130.342	130.342
2	2	0	130.342	130.342
3	3	0	130.342	130.342
4	4	0	130.342	130.342
5	5	0	130.342	130.342
6	6	0	130.342	130.342
7	7	0	130.342	130.342
8	8	0	130.342	130.342
9	9	0	130.342	130.342
10	10	0	130.342	130.342
11	11	0	130.342	130.342
12	12	0	130.342	130.342
13	13	0	130.342	130.342
14	14	0	130.342	130.342
15	15	0	130.342	130.342
16	16	0	130.342	130.342
17	17	0	130.342	130.342
18	18	0	130.342	130.342
19	19	0	130.342	130.342
20	20	0	130.342	130.342
Totals		120.396	2.606.840	2.727.236

## Design Case Inputs

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
 Prepared By: Acet

18-09-2015  
 20:34:47

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Income Taxes ..... Not Considered

**General Information :**

Design Case Name ..... Caldeiras  
 Design Case Short Name ... Caldeira  
 Description :

**Investment Costs :**

Cost Item	Cost (\$)	Year Incurred	Esc Rate (%/yr)	Salvage Value (\$)	Useful Life (yrs)
Initial Investment Cost	\$ 85.000	0	0,00	\$ 0	20

**Loans :**

Loan Item	Start Year	Investment In Start Year (\$)	Percent Financed	Term Of Loan (Years)	Interest Rate (%/yr)	Payment Method
AV Loan	0	\$ 85.000	0	1	0,00	Equal Payments

**Annual Operating Costs :**

Cost Item	Cost (\$)	Start Year	Number Of Years	Esc Rate (%/yr)
Energy	\$ 146.065	1	20	0,00
Maintenance	\$ 0	1	20	0,00

*There are no non-annual operating cost inputs*

## Design Case Inputs

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
 Prepared By: Acet

18-09-2015  
 20:34:47

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Income Taxes ..... Not Considered

**General Information :**

Design Case Name ..... Heat Machine 452  
 Design Case Short Name ... HM 452  
 Description :

**Investment Costs :**

Cost Item	Cost (\$)	Year Incurred	Esc Rate (%/yr)	Salvage Value (\$)	Useful Life (yrs)
Initial Investment Cost	\$ 120.396	0	0,00	\$ 0	20

**Loans :**

Loan Item	Start Year	Investment In Start Year (\$)	Percent Financed	Term Of Loan (Years)	Interest Rate (%/yr)	Payment Method
AV Loan	0	\$ 120.396	0	1	0,00	Equal Payments

**Annual Operating Costs :**

Cost Item	Cost (\$)	Start Year	Number Of Years	Esc Rate (%/yr)
Energy	\$ 130.342	1	20	0,00
Maintenance	\$ 0	1	20	0,00

*There are no non-annual operating cost inputs*

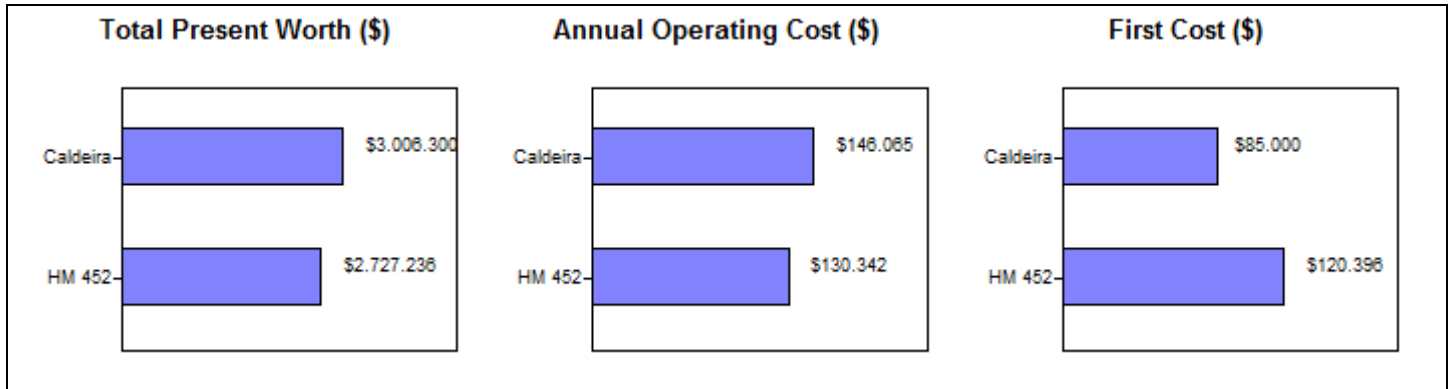
# Lifecycle Summary

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:34:42

## Heat Machine 452 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Mutually Exclusive  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes ..... Not Considered



**Table 1. Executive Summary**

Economic Criteria	Best Design Case for Each Criteria	Value (\$)
Incremental NPW Savings Analysis	Heat Machine 452	-
Lowest Total Present Worth	Heat Machine 452	\$2,727,236
Lowest Annual Operating Cost	Heat Machine 452	\$130,342
Lowest First Cost	Caldeiras	\$85,000

**Table 2. Design Cases Ranked by First Cost**

Design Case Name	Design Case Short Name	Total Present Worth (\$)	Annual Operating Cost (\$/yr)	First Cost (\$)
Caldeiras	Caldeira	\$3,006,300	\$146,065	\$85,000
Heat Machine 452	HM 452	\$2,727,236	\$130,342	\$120,396

**Table 3. Incremental Analysis Data**

Challenger	Base Case	Additional First Cost (\$)	NPW Savings (\$)	IRR (%)	Payback Period (yrs)
HM 452 [Winner]	Caldeira	\$35,396	\$279,064	44,39	2,3

## Lifecycle Summary

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
 Prepared By: Acet

18-09-2015  
 20:32:26

### Heat Machine 452 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Simple Payback Analysis  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Discount Rate ..... 0,00 %

**Table 1. Executive Summary**

Economic Criteria	Best Design Case for Each Criteria	Value (\$)
Payback Analysis	Heat Machine 452	-
Lowest Annual Operating Cost	Heat Machine 452	\$130.342
Lowest First Cost	Caldeiras	\$85.000

**Table 2. Design Cases Ranked by First Cost**

Design Case Name	Design Case Short Name	Total Present Worth (\$)	Annual Operating Cost (\$/yr)	First Cost (\$)
Caldeiras	Caldeira	\$3.006.300	\$146.065	\$85.000
Heat Machine 452	HM 452	\$2.727.236	\$130.342	\$120.396

**Table 3. Incremental Analysis Data**

Challenger	Base Case	Additional First Cost (\$)	Payback Period (yrs)
HM 452 [Winner]	Caldeira	\$35.396	2,3

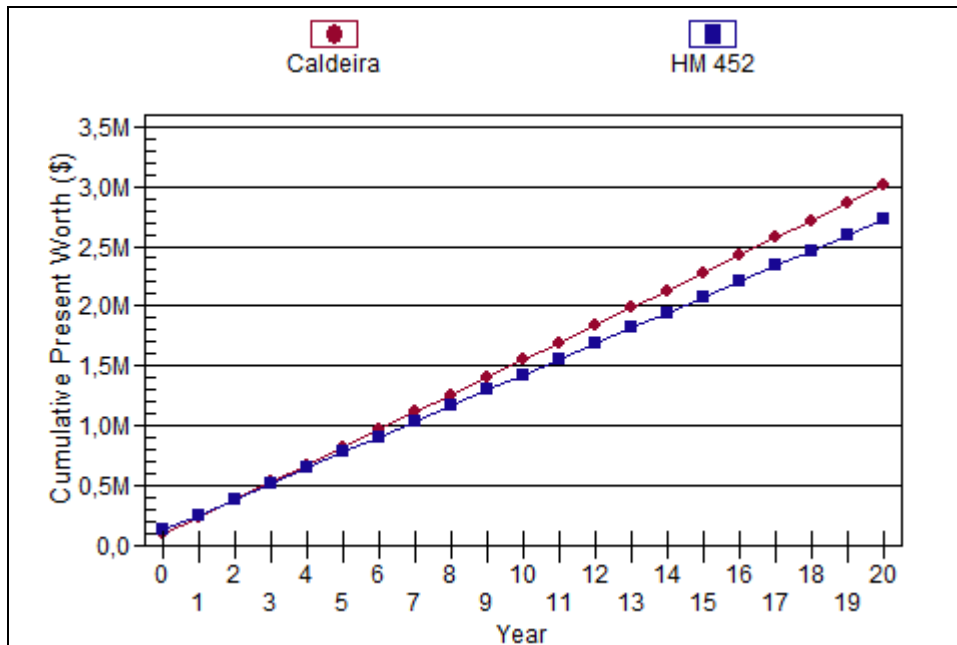
## Total Present Worth Profiles

Project: 31752 - Luis Silva TFM  
Prepared By: Acet

18-09-2015  
20:34:47

### Heat Machine 452 vs Caldeiras

Type of Analysis ..... Private Sector Lifecycle Analysis  
 Type of Design Alternatives ..... Mutually Exclusive  
 Length of Analysis ..... 20 yrs  
 Minimum Attractive Rate of Return ..... 0,00 %  
 Income Taxes ..... Not Considered



#### Design Cases Ranked by First Cost

Design Case Name	Design Case Short Name	Total Present Worth (\$)	Annual Operating Cost (\$/yr)	First Cost (\$)
Caldeiras	Caldeira	\$3.006.300	\$146.065	\$85.000
Heat Machine 452	HM 452	\$2.727.236	\$130.342	\$120.396

# Anexo E – Contrato gás natural Recipharm

## ANEXO I

### DEFINIÇÕES

**Ano Contratual** - designa os períodos sucessivos de doze meses a partir do início do período de fornecimento ou da data que venha a ser convencionada no Contrato de Fornecimento de GN;

**Ano Gás** - período compreendido entre as 00:00h de 1 de Julho e as 24:00h de 30 de Junho do ano seguinte;

**CUI** - designa o código universal da instalação

**Custos com a Capacidade de Entrada** - correspondem à parcela devida pelo CLIENTE dos custos incorridos pelo COMERCIALIZADOR na entrada da Rede Nacional de Transporte de Gás Natural;

**Dia ou dia** - designa qualquer dia, seja ou não Dia Útil;

**Dia Útil** - designa qualquer dia que não seja sábado, domingo ou feriado nacional em Portugal;

**Equipamento(s) de Medição** - significa o conjunto de equipamentos e acessórios destinados a determinar o volume de GN fornecido ao CLIENTE em cada período e para cada tarifa contratada, assim como para transmitir os dados obtidos aos sistemas de informação do Operador de Rede;

**ERSE** - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos;

**Estabelecimento do CLIENTE** - designa o estabelecimento industrial do CLIENTE o qual inclui, além das IRG, todos os edifícios, construções e locais onde o CLIENTE exerça a sua atividade industrial;

**GN** - Gás Natural;

**Grupo Empresarial** - conjunto de entidades em relação de domínio ou de grupo nos termos e para os efeitos do artigo 486.º do Código das Sociedades Comerciais.

**Instalações Receptoras de Gás ou IRG** - significa o conjunto de tubagens, acessórios e equipamentos de segurança e controlo compreendidos entre a válvula de seccionamento da Rede utilizada pelo ORD, exclusive, e as válvulas de corte aos aparelhos de gás incluindo estas;

**IVA** - imposto sobre o valor acrescentado;

**kWh** - significa kilowatt-hora; no presente Contrato todas as referências a kWh são consideradas kWh de PCS de referência;

**Metro cúbico normal ou Nm<sup>3</sup>** -designa, quando aplicado ao GN, aquela quantidade de GN que a zero (0) graus Celsius e à pressão absoluta de um vírgula zero um três dois cinco (1,01325) bar, estando o GN isento de vapor de água, ocupa o volume de um (1) metro cúbico;

**Operador(es) de Rede(s)** - significa, conjunta ou individualmente, o Operador de rede de Distribuição ou o Operador de Rede de Transporte;

**Operador da Rede de Distribuição (ORD)** - significa a pessoa singular ou colectiva que exerce a atividade de distribuição e é responsável, numa área específica, pelo desenvolvimento, exploração e manutenção da rede de distribuição e, quando aplicável, das suas interligações com outras redes, bem como por assegurar a capacidade da rede a longo prazo para atender pedidos razoáveis de distribuição de GN;

**Operador da Rede de Transporte** - significa a pessoa singular ou colectiva que exerce a atividade de transporte e é responsável, pelo desenvolvimento, exploração e manutenção da rede de transporte e, quando aplicável, das suas interligações com outras redes, bem como por assegurar a capacidade da rede a longo prazo para atender pedidos razoáveis de transporte de GN;

**Parte** - designa o Comercializador ou o CLIENTE;

**PCS** - poder calorífico superior do GN calculado a 0° C e à pressão normal;

**PCS de Referência** - 11,667 kWh/Nm<sup>3</sup>

**Ponto de Entrega** - designa o local assinalado na Cláusula 7 do presente Contrato correspondente ao ponto imediatamente a jusante da válvula de seccionamento da Rede utilizada pelo Comercializador;

**Quantidade Anual (QA)** - designa a quantidade de GN em kWh contratada para cada Ano Contratual;

**Quantidade Diária (QD)** - designa a quantidade de GN em kWh contratada para cada Dia.

**Rede utilizada pelo COMERCIALIZADOR** - designa a rede de distribuição, propriedade do respectivo Operador de Rede, à qual a instalação do CLIENTE se encontra ligada;

**Regulamento da Qualidade de Serviço ou RQS** - Regulamento da Qualidade de Serviço aprovado e publicado pela ERSE;

**Regulamento das Relações Comerciais ou RRC** - Regulamento das Relações Comerciais aprovado e publicado pela ERSE;

**Regulamento Tarifário ou RT** - Regulamento Tarifário aprovado e publicado pela ERSE;

**Serviço Técnicos** - designa, entre outros, os serviços de agendamento e gestão de inspeções, formações, manutenção de equipamentos, sistemas de monitorização que podem ser prestados caso o Cliente requeira.

**Sistema Nacional de Gás Natural (SNGN)** - o conjunto de princípios, organizações, agentes e infraestruturas relacionados com as atividades abrangidas pelo Decreto-lei n.º 30/2006, de 15 de Fevereiro com as alterações decorrentes do Decreto-lei n.º 77/2011, de 20 de Junho e do Decreto-lei n.º 230/2012, de 16 de Outubro, no território nacional;

**Tarifário** - designa as fórmulas de cálculo dos preços unitários de venda do GN em moeda corrente e os factores de indexação para as diversas modalidades de fornecimento;

**TOS** - Taxa de Ocupação de Subsolo.

**ANEXO II**  
**TARIFÁRIO**

O Preço de Fornecimento de GN é composto por: Preço de Energia, Custos da Capacidade de Entrada, Tarifas de Acesso às Redes, Taxa de Ocupação de Subsolo (TOS) e pelo Imposto sobre Produtos Petrolíferos (ISP), nos termos do abaixo descrito.

O montante a faturar pela totalidade do GN fornecido em cada mês ao CLIENTE, e por cada CUI, será calculado de acordo com a seguinte fórmula:

**I - Período inicial de fornecimento de acordo com a Cláusula 14**

$$\mathbf{P\ GN = Preço\ de\ Energia\ (A) + Custos\ da\ Capacidade\ de\ Entrada\ (B) + Tarifa\ de\ Acesso\ às\ Redes\ (C) + TOS\ (D) + ISP\ (E)}$$

*Ao valor apresentado acresce o IVA à taxa legal em vigor.*

**Preço de Energia (A)**

O Preço de Energia (PE) será faturado mensalmente com base nos kWh consumidos, de acordo com a seguinte fórmula:

$$\mathbf{Preço\ de\ Energia\ (PE)\ (Euro/kWh) = PE}$$

Em que:

<b>Opções Tarifárias</b>	<b>PE (€/kWh)</b>
Preço de Energia Fixo	0.0263

### Custos da Capacidade de Entrada (B)

Os Custos da Capacidade de Entrada atualmente em vigor estão de acordo com o publicado Diretiva N.º 4/2014 da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, de 12 de Junho de 2014, de acordo com o disposto:

Custo da Capacidade de Entrada	
Euro/kWh/dia/mês	euro/kWh/dia/dia
0,015048	0,00049471

Nota: Os custos da Capacidade de Entrada são calculados tendo por base a opção tarifária contratada pelo Cliente.

### Tarifa de Acesso às Redes (C)

As Tarifas de Acesso às Redes correspondem ao somatório do Termo Tarifário Fixo, da capacidade Utilizada e da Energia (Vazio e Fora de Vazio) atualmente em vigor, de acordo com o publicado na Diretiva Nº 6/2014 da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, de 12 de Junho de 2014:

Opção Tarifária	Cap. Utilizada €/kWh/dia/dia	Cap. Base Anual €/kWh/dia/dia	Cap. Mensal Adicional (Abr a Set) €/kWh/dia/dia	Cap. Mensal Adicional (Out a Mar) €/kWh/dia/dia	Termo Tarifário Fixo €/dia	Energia Vazio €/kWh	Energia Fora do Vazio €/kWh
BP Diária -Longas Utilizações	0,00214388	na	na	na	4,9678	0,002469	0,012570
BP mensal (1.000 – 10.000 m3/ano)	na	na	na	na	0.0910	0.035126	

Nota: As Tarifas de Acesso às Redes deverão ser revistas sempre que se verificar qualquer atualização na legislação.

### Taxas de Ocupação de Subsolos (D)

O valor unitário da TOS é definido de acordo com a metodologia aprovada pela ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos), no Regulamento nº 139-E/2013, para a repercussão do valor das taxas de ocupação de subsolo que cada Município, por decisão própria, aplica aos Operadores de Rede de Distribuição.

A Taxa de Ocupação de Subsolo será faturada mensalmente, de acordo com as seguintes componentes:

- Termo Variável - aplicado aos kWh fornecidos;
- Termo Fixo – valor fixo mensal aplicável (EUR/Mês) ou valor dia aplicável ao n.º

de dias de fornecimento do mês/ período em faturação (Eur/dia);

Os valores atualmente em vigor são os apresentados na Tabela seguinte, estando estes associados ao concelho onde se encontra a instalação:

Município	T. Fixo (€/dia) < 10.000 m3	T. Variável (€/kWh) < 10.000 m3	T. Fixo (€/dia) > 10.000 m3	T. Variável (€/kWh) > 10.000 m3
ODIVELAS	0,002561811	0,002200708	1,447967472	0,000271697
OEIRAS	0,005099364	0,004380578	2,882224462	0,000540822

### Imposto Especial do Consumo (E)

De acordo com as alterações introduzidas no Código dos Impostos Especiais de Consumo (CIEC), pela Lei nº 66-B/2012, de 31 Dezembro (Lei do OE/2013) e posteriormente a Lei a Lei n.º 82-D/2014, que procede à reforma da tributação ambiental, a qual prevê, no artigo 8.º, o aditamento ao Código dos Impostos Especiais de Consumo (CIEC), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 73/2010, de 21 de junho, do artigo 92.º-A, relativo ao adicionamento sobre as emissões de CO<sup>2</sup> os valores finais a aplicar a partir de dia 1 de janeiro de 2015 são:

Valores do imposto	CIEC Artº 92º - nº4 (em vigor em 2014)	Taxa Final a aplicar em 2015 (c/Fiscalidade Verde)	Taxa Final a aplicar em 2015 (c/Fiscalidade Verde)
Gás natural combustível	0,30 €/GJ	0,59 €/GJ	0,002124 €/kWh
Gás natural carburante	2,84 €/GJ	3,13 €/GJ	0,011268 €/kWh

### II - Após o período referido no ponto anterior

O preço a aplicar será o resultante do Preço Tabela da Galp Gás Natural que vigorar à data.

A Tabela de Preços da Galp Gás Natural será aplicada a cada um dos respetivos CUI's de acordo com o escalão de consumo anual.

# Anexo F – Proposta

# LUSOMEDICAMENTA 1

## NOVA BOMBA DE CALOR PARA ÁGUA AQUECIDA

Proposta nº 1635

### INSTALAÇÕES ESPECIAIS

### LISTA DE QUANTIDADES E PREÇOS

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO DA REVISÃO
P0	11-dez-2012	-
P1	24-jan-2014	Revisão Geral
P2	19-mai-2014	Revisão Geral

POSIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	PREÇO TOTAL
	<p><b>Folha de Resumo</b></p>	
I	Instalação mecânica	91.775,00 €
II	Electricidade Associada à Mecânica	26.423,00 €
III	Fornecimentos e Trabalhos Complementares	2.295,00 €
<p><b>NOTAS:</b></p>	<p><b>Nota 1:</b> Todos os valores são em Euros, sujeitos ao IVA aplicável</p> <p><b>Condições de Pagamento:</b>            40% com a adjudicação, a pronto pagamento            50% com a conclusão da instalação.            10% com a entrega das telas finais e manuais de funcionamento</p> <p><b>Exclusões:</b>            Trabalhos ou instalações não discriminados            Alteração ou demolição de divisórias            Trabalhos de apoio de C. Civil</p> <p><b>Prazos de Entrega:</b>            Equipamentos: 8 a 10 semanas            Redes: 4/5 semanas</p>	
	<b>TOTAL</b>	<b>120.493,00 €</b>

POSIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	QT.	U	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
<b>I</b>	<b>Instalação mecânica</b>				
<b>1.1</b>	<b>Equipamentos</b>				
<b>1.1.1</b>	<b>Desmontagem de um dos Circuladores de Água Quente Existentes</b>				
	Esvaziamento da instalação; desmontagem dos componentes da instalação; remoção do circulador	1	cj	135,66 €	135,66 €
<b>1.1.2</b>	<b>Chiller Bomba de Calor</b>				
	Bomba de calor Carrier 30XWH-354	1	cj	59.176,26 €	59.176,26 €
	Conjunto hidráulico (totalmente isolado e protegido), constituído por: 4 Juntas Anti-Vibráticas; 3 Válvulas de Seccionamento do Tipo de Borboleta; 4 Tomadas de Pressão, equipadas com Torneiras de Corte.	1	cj	4.152,26 €	4.152,26 €
<b>1.1.3</b>	<b>Bomba Circuladora de Água Arrefecida</b>				
	Nova bomba de circulação de água arrefecida	1	cj	2.091,60 €	2.091,60 €
	Fornecimento e montagem de novo conjunto hidráulico (totalmente isolado e protegido), constituído por: 1 Filtro do Tipo "Y"; 2 Juntas Anti-Vibráticas; 2 Válvulas de Seccionamento do Tipo de Borboleta; 2 Tomadas de Pressão, equipadas com Torneiras de Corte.	1	cj	1.742,30 €	1.742,30 €
<b>1.1.4</b>	<b>Bomba Circuladora de Água Aquecida</b>				
	Nova bomba de circulação de água aquecida	1	cj	2.692,20 €	2.692,20 €
	Verificação e Benificação do conjunto hidráulico existente (totalmente isolado e protegido), constituído por: 1 Filtro do Tipo "Y"; 2 Juntas Anti-Vibráticas; 1 Válvula de Retenção; 2 Válvulas de Seccionamento do Tipo de Borboleta; 2 Tomadas de Pressão, equipadas com Torneiras de Corte.	1	cj	1.981,70 €	1.981,70 €

POSIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	QT.	U	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
<b>1.2</b>	<b>Rede de Água Aquecida</b>				
<b>1.2.1</b>	<b>Rede de Tubagem</b> Em aço ao carbono, com ligações soldadas ou de pressão, isolado com espuma elastomérica				
	DN100	30	ml	107,73 €	3.231,90 €
<b>1.2.2</b>	<b>UTA.01</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN25.	1	cj	124,82 €	124,82 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN25.	1	cj	32,59 €	32,59 €
<b>1.2.3</b>	<b>UTA.02</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN25, repondo o isolamento e a protecção mecânica.	1	cj	124,82 €	124,82 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN25.	1	cj	32,59 €	32,59 €
<b>1.2.4</b>	<b>UTA.03</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN40, repondo o isolamento e a protecção mecânica.	1	cj	283,88 €	283,88 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN40.	1	cj	65,62 €	65,62 €
<b>1.2.5</b>	<b>UTA.03.1</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN25, repondo o isolamento e a protecção mecânica.	1	cj	124,82 €	124,82 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN25.	1	cj	32,59 €	32,59 €
<b>1.2.6</b>	<b>UTA.04</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN40, repondo o isolamento e a protecção mecânica.	1	cj	283,88 €	283,88 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN40.	1	cj	65,62 €	65,62 €

POSIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	QT.	U	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
<b>1.2.7</b>	<b>UTA.05</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN40.	1	cj	283,88 €	283,88 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN40.	1	cj	65,62 €	65,62 €
<b>1.2.8</b>	<b>UTA.06</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN40.	1	cj	283,88 €	283,88 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN40.	1	cj	65,62 €	65,62 €
<b>1.2.9</b>	<b>UTA.07</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN25.	1	cj	124,82 €	124,82 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN25.	1	cj	32,59 €	32,59 €
<b>1.2.10</b>	<b>UTA.08</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN50.	1	cj	324,25 €	324,25 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN50.	1	cj	76,02 €	76,02 €
<b>1.2.11</b>	<b>UTA.09</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN25.	1	cj	124,82 €	124,82 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN25.	1	cj	32,59 €	32,59 €
<b>1.2.12</b>	<b>UTA.10</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN25.	1	cj	137,42 €	137,42 €
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionameto DN25.	1	cj	32,59 €	32,59 €
<b>1.2.13</b>	<b>UTA.11</b>				
	Substituição da Válvula TA por válvula de equilíbrio dinâmico DN40.	1	cj	283,88 €	283,88 €

POSIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	QT.	U	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
	Fornecimento e Montagem de válvula de seccionamento DN40.	1	cj	65,62 €	65,62 €
<b>1.3</b>	<b>Rede de Água Arrefecida</b>				
<b>1.3.1</b>	<b>Rede de Tubagem</b> Em aço ao carbono, com ligações soldadas ou de pressão, isolado com espuma elastomérica				
	DN100	125	ml	107,73 €	13.466,25 €
	<b>TOTAL DOS CAPÍTULOS</b>				<b>91.775,00 €</b>

POSIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	QT.	U	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
<b>II</b>	<b>Electricidade Associada à Mecânica</b>				
<b>2.1</b>	<b>Sistema Eléctrico de Potência e Comando</b>				
2.1.1	Fornecimento e montagem de disjuntor de 250A, 4P no QM1	1	un	1.754,83 €	1.754,83 €
2.1.2	Alteração do QM1 (alteração nos barramentos para a nova ligação)	1	cj	320,93 €	320,93 €
2.1.3	Fornecimento e montagem de protecção para a nova bomba	1	cj	270,40 €	270,40 €
2.1.4	Fornecimentos e montagem de caminho de cabos 300x30mm	20	m	33,39 €	667,75 €
2.1.5	Fornecimento e montagem de caondutor de terra Cu 10mm <sup>2</sup> ao longo do caminho de cabos	20	m	2,53 €	50,50 €
2.1.6	Fornecimento e montagem de ligador de maxila para o caminho de cabos	1	un	27,91 €	27,91 €
2.1.7	Realização de catote de ligação entre os dois pisos	1	cj	249,38 €	249,38 €
2.1.8	Fornecimento e montagem de cabo em caminho de cabos, sendo:				
2.1.8.1	XV 3x95+2G50	25	m	78,26 €	1.956,56 €
2.1.9	Fornecimento e montagem de cabo em abraçadeiras, sendo:				
2.1.9.1	XV 5G2,5	5	m	2,59 €	12,94 €
2.1.10	Fornecimento e montagem de tubo sobre abraçadeiras, sendo:				
2.1.10.1	VD25	5	m	2,34 €	11,69 €
<b>2.2</b>	<b>Sistema de Controlo e Supervisão</b>				
2.2.1	Quadro de Controlo, cablagem e Engenharia	1	cj	8.062,71 €	8.062,71 €
	Este item inclui:				

POSIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	QT.	U	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
2.2.1.1	Quadro metálico equipado com unidades DDC e respectiva eletrificação, incluindo a engenharia de preparação, programação, comissionamento e ensaio do sistema.	1	cj		
2.2.1.2	Controlador Desigo PX com comunicação BacNET em IP para sistema modular, até 52 pontos de controlo.	1	cj		
2.2.1.3	Fonte de alimentação de módulos TXM.	1	cj		
2.2.1.4	Módulo de expansão de BUS TX.	1	cj		
2.2.1.5	Módulo de 8 pts universais (ED, EDp Ni1000, EA 0-10V e 0(4)-20mA ou SA 0-10V e 4-20mA).	2	cj		
2.2.1.6	Módulo de 16 entradas digitais c/ sinalização de estado.	1	cj		
2.2.1.7	Módulo de 6 saídas digitais c/ sinalização de estado.	1	cj		
2.2.1.8	Módulo de interface (ModBUS, MBUS ou SED2) até 100 pontos.	2	cj		
2.2.1.9	Switch 5 portas RJ45 10/100, 24VAC, Montagem DIN.	1	cj		
2.2.1.10	M-Bus Level Converter PW20 Without Optical Interface.	1	cj		
2.2.2	Fornecimento e montagem de cabos de comando e controlo  Este item inclui:	1	cj	2.900,00 €	2.900,00 €
2.2.2.1	Passagem de cabos de sinal, conforme definido na lista de pontos, entre os equipamentos de campo, o QE e o quadro de controlo.	1	cj		
2.2.2.2	Ligação dos pontos definidos na lista de pontos no quadro de controlo e no equipamento de campo.	1	cj		
2.2.2.3	Montagem de controlador existente em localização a definir para leitura da pressão de fim de linha do circuito de água quente; Para permitir a comunicação deste controlador com o sistema de controlo da bomba de calor, o cliente deverá disponibilizar um ponto de ligação IP, junto do ponto de leitura da pressão diferencial do circuito de quente.	1	cj		
2.2.2.4	Fornecimento e passagem de cabos de comunicação M-BUS entre os contadores de entalpia e o quadro de controlo.	1	cj		
2.2.2.5	Fornecimento e passagem de cabos de comunicação ModBUS entre os analisadores de energia do QE e o quadro de controlo.	1	cj		
2.2.3	Quadro para controlador de medição de pressão de fim de linha do circuito de água aquecida	1	un	237,50 €	237,50 €

POSIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	QT.	U	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
2.2.4	Fornecimento de Consola Táctil de 7' de operação gráfica, policromática com comunicação Bacnet / TCP/IP, incluindo a engenharia de programação, desenvolvimento de telas gráficas, comissionamento e ensaio.	1	cj	3.225,00 €	3.225,00 €
2.2.5	Equipamento de Campo				
2.2.5.1	Sensor de pressão diferencial, gama de medição 0...4 bar, saída de 0...10V	2	un	537,96 €	1.075,93 €
2.2.5.2	Sensor de Temperatura de imersão c/ bainha de 100 mm, 4..20mA	3	un	151,03 €	453,08 €
2.2.5.3	Sensor ambiente p/ Temperatura e humidade c/ sinais de transmissão 4..20mA	1	un	308,98 €	308,98 €
2.2.5.4	Acessório p/ Sonda de Exterior	1	un	163,98 €	163,98 €
2.2.5.5	Contadores de entalpia para a Bomba de Calor - Contador de água arrefecida (Evaporador):				
2.2.5.5.1	Contador de Entalpia Sensus, Classe B, para montagem no retorno, flangeado, PN16, DN100, Qn=60m3/h.	1	un	1.001,56 €	1.001,56 €
2.2.5.5.2	Kit de Acessórios PolluTherm DN 100, incluindo sondas de temperatura, bainhas e acessórios de ligação	1	un	93,15 €	93,15 €
2.2.5.5.3	Placa adicional para a ligação M Bus a integrar no Contador de Entalpia Pollutherm	1	un	49,05 €	49,05 €
2.2.5.5.4	Fonte de Alimentação 230V/3,6V para Contadores Pollutherm	1	un	49,04 €	49,04 €
2.2.5.6	Contadores de entalpia para a Bomba de Calor - Contador de água aquecida (Condensador):				
2.2.5.6.1	Contador de Entalpia Sensus, Classe B, para montagem no retorno, flangeado, PN16, DN80, Qn=40m3/h.	1	un	935,81 €	935,81 €
2.2.5.6.2	Kit de Acessórios PolluTherm DN 80, incluindo sondas de temperatura, bainhas e acessórios roscados.	1	un	60,48 €	60,48 €
2.2.5.6.3	Placa adicional para a ligação M Bus a integrar no Contador de Entalpia Pollutherm	1	un	49,05 €	49,05 €
2.2.5.6.4	Fonte de Alimentação 230V/3,6V para Contadores Pollutherm	1	un	49,04 €	49,04 €
2.2.5.7	Contadores de entalpia para os permutadores de calor vapor/água (Permutador 01 e 02):				

<b>POSIÇÃO</b>	<b>DISCRIMINAÇÃO</b>	<b>QT.</b>	<b>U</b>	<b>PREÇO UNITÁRIO</b>	<b>PREÇO TOTAL</b>
<b>2.2.5.7</b>	Contador de Entalpia Sensus, Classe B, para montagem no retorno, flangeado, PN16, DN100, Qn=60m3/h.	2	un	1.001,56 €	2.003,13 €
<b>2.2.5.8</b>	Kit de Acessórios PolluTherm DN 100, incluindo sondas de temperatura, bainhas e acessórios de ligação	2	un	93,15 €	186,30 €
<b>2.2.5.9</b>	Placa adicional para a ligação M Bus a integrar no Contador de Entalpia Pollutherm	2	un	49,05 €	98,10 €
<b>2.2.5.10</b>	Fonte de Alimentação 230V/3,6V para Contadores Pollutherm	2	un	49,04 €	98,08 €
<b>TOTAL DOS CAPÍTULOS</b>					<b>26.423,00 €</b>

POSIÇÃO	DISCRIMINAÇÃO	PREÇO TOTAL
<b>III</b>	<b>Fornecimentos e Trabalhos Complementares</b>	
3.1	Levantamentos e Telas de Arquitectura em CAD	Não se aplica
3.2	Projecto de Detalhe e Preparação	Incluído
3.3	Desmontagens de redes existentes	Incluído em capítulo próprio
3.4	Supervisão / coordenação de especialidades	960,00 €
3.5	Trabalhos e/ou apoios de construção civil	Excluído
3.6	Remoção de materiais/entulho a vazadouro	Incluído
3.7	Verificações e ensaios	855,00 €
3.8	Meios de elevação (empilhador)	480,00 €
3.9	Materiais e Equipamentos Complementares de reserva e instrução (telas finais)	Incluído
	<b>TOTAL DO CAPÍTULO</b>	<b>2.295,00 €</b>

# Anexo G – Ficheiro funcionamento do programa



# HELP – HeatMachine beta 1.0

## 1. EXPORTAÇÃO / IMPORTAÇÃO DE DADOS HAP

- ☒ Os dados necessários devem ser exportados do HAP no formato .TXT no menu “*View Simulation Reports*”
- ☒ Simular o relatório “*Hourly Simulation Results*” para um ano inteiro para as Caldeira / Heat Machine / Chiller

Reports	Table	Graph	TXT	Time Specifications
Monthly Simulation Results	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	From <input type="text" value="Jan, 1"/> To <input type="text" value="Dec, 31"/>
Daily Simulation Results	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Hourly Simulation Results	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Unmet Loads Report	<input type="checkbox"/>	--	--	

- ☒ No HeatMachine importar os ficheiros nos botões de importação pela seguinte ordem:

- 1º
- 2º
- 3º

- ☒ O utilizador deve garantir que a Importação é bem-sucedida confirmando a *check box* à direita

Importações de dados - HAP	
<input type="checkbox"/>	Caldeira
<input type="checkbox"/>	Heat Machine
<input type="checkbox"/>	Chiller

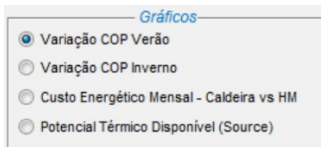
## 2. MENU INPUTS

- ☒ No Menu *Inputs* o utilizador pode configurar os valores de referência específicos para projeto como:
- ☒ Fator de conversão de kWh para m<sup>3</sup> relativo ao consumo de gás natural dos sistemas
- ☒ Investimento da Caldeira em Euros
- ☒ Investimento da Heat Machine em Euros
- ☒ Preço do Gás Natural por m<sup>3</sup> (€/m<sup>3</sup>)
- ☒ Preço da Energia Elétrica por kWh (kWh/€)

### 3. MENU GRÁFICOS

---

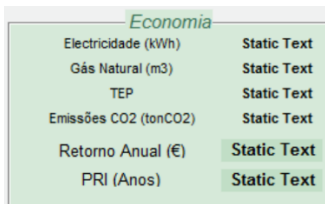
- ☒ No menu Gráficos o utilizador pode avaliar graficamente os seguintes parâmetros:
- ☒ Variação diária do Coeficiente de Performance da Heat Machine para um dia típico de Verão (Dispersão de Valores)
- ☒ Variação diária do Coeficiente de Performance da Heat Machine para um dia típico de Inverno (Dispersão de Valores)
- ☒ Comparação do Custo Energético Mensal entre os dois Sistemas Caldeiras vs Heat Machine
- ☒ Potencial Térmico Disponível Mensal na Heat Machine (*Heat Source*)



### 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

---

- ☒ A análise de resultados apresenta-se no Menu Economia
- ☒ Economia em Energia Elétrica entre os dois sistemas – Caldeira vs Heat Machine
- ☒ Economia em Gás Natural entre os dois sistemas – Caldeira vs Heat Machine
- ☒ Economia em Toneladas Equivalentes de Petróleo entre os dois sistemas – Caldeira vs Heat Machine
- ☒ Redução de Emissões de CO<sub>2</sub>
- ☒ Retorno Financeiro Anual em Euros
- ☒ Período de Recuperação do Investimento (PRI) em Anos



Economia

Electricidade (kWh)	Static Text
Gás Natural (m3)	Static Text
TEP	Static Text
Emissões CO2 (tonCO2)	Static Text
Retorno Anual (€)	Static Text
PRI (Anos)	Static Text

# Anexo H – Código matlab

```
function varargout = heatmachine(varargin)
% HEATMACHINE MATLAB code for heatmachine.fig
% HEATMACHINE, by itself, creates a new HEATMACHINE or raises the
existing
% singleton*.
%
% H = HEATMACHINE returns the handle to a new HEATMACHINE or the
handle to
% the existing singleton*.
%
% HEATMACHINE('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
% function named CALLBACK in HEATMACHINE.M with the given input
arguments.
%
% HEATMACHINE('Property','Value',...) creates a new HEATMACHINE or
raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs
are
% applied to the GUI before heatmachine_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property
application
% stop. All inputs are passed to heatmachine_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help heatmachine

% Last Modified by GUIDE v2.5 09-Aug-2015 06:17:43

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name', mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @heatmachine_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @heatmachine_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before heatmachine is made visible.
function heatmachine_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
```

```

% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to heatmachine (see VARARGIN)

set(handles.inputconversao, 'String', '11.99')

set(handles.inputtxtprecogn, 'String', '0.371')

set(handles.inputprecokwh, 'String', '0.12')

set(handles.inputcaldeirainvest, 'String', '85000')

set(handles.inputhmininvest, 'String', '112689')

set(handles.inputcaudalminimo, 'String', '14.68')

% LOGOTIPOS

ISEL=imread('isel.jpg');
imshow(ISEL, 'parent', handles.logoisel);

ACET=imread('acet.jpg');
imshow(ACET, 'parent', handles.logoacet);

% dados=0;
% setappdata(heatmachine, 'dados', dados)
% Choose default command line output for heatmachine
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes heatmachine wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.HeatMachineGUI);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = heatmachine_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in btnimportCaldeira.
function btnimportCaldeira_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btnimportCaldeira (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```



```

fileID = fopen(strcat(FilePath, '\', FileName), 'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '',
'EmptyValue', NaN, 'HeaderLines', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);

handles.dados.hm.Mes = dataArray(:, 1);
handles.dados.hm.Dia = dataArray(:, 2);
handles.dados.hm.Hora = dataArray(:, 3);
handles.dados.hm.drybulb = dataArray(:, 4);
handles.dados.hm.wetbulb = dataArray(:, 5);
handles.dados.hm.heatingcoilload = dataArray(:, 6);
handles.dados.hm.plantheatingload = dataArray(:, 7);
handles.dados.hm.boileroutput = dataArray(:, 8);
handles.dados.hm.output = dataArray(:, 9);
handles.dados.hm.input = dataArray(:, 10);
handles.dados.hm.boilerinput = dataArray(:, 11);
handles.dados.hm.boilermisc = dataArray(:, 12);
handles.dados.hm.hotpump = dataArray(:, 13);
handles.dados.hm.coldpump = dataArray(:, 14);

% setappdata(heatmachine, 'dados', dados)

set(handles.checkBC, 'Value', true)

% assignin('base', 'handles.dados', handles.dados) (METER OS DADOS NO
WORKSPACE)

set(handles.txtvalconsumohm, 'String', num2str(sum(handles.dados.hm.input)))
set(handles.txtvalconsumohmaf, 'String', num2str(sum(handles.dados.hm.coldpum
p)))
set(handles.txtvalconsumobombavar, 'String', num2str(sum(handles.dados.hm.hot
pump)))
set(handles.txtvalconsumognhm, 'String', num2str(sum(handles.dados.hm.boileri
nput/handles.factconv)))
set(handles.txtvalconsumomischm, 'String', num2str(sum(handles.dados.hm.boile
rmisc)))

guidata(hObject, handles);

% setappdata(heatmachine, 'dados', dados)

% --- Executes on button press in btnImportchiller.
function btnImportchiller_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btnImportchiller (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% dados=getappdata(heatmachine, 'dados');

[FileName, FilePath]=uigetfile('*.txt');

startRow = 11;
formatSpec = '%10s%12f%12f%12f%12f%12f%12f%12f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(strcat(FilePath, '\', FileName), 'r');

```

```

dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '',
'EmptyValue', NaN, 'HeaderLines', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);

handles.dados.chiller.Mes = dataArray(:, 1);
handles.dados.chiller.Dia = dataArray(:, 2);
handles.dados.chiller.Hora = dataArray(:, 3);
handles.dados.chiller.drybulb = dataArray(:, 4);
handles.dados.chiller.wetbulb = dataArray(:, 5);
handles.dados.chiller.coolingcoilload = dataArray(:, 6);
handles.dados.chiller.plantcoolingload = dataArray(:, 7);
handles.dados.chiller.output = dataArray(:, 8);
handles.dados.chiller.input = dataArray(:, 9);
handles.dados.chiller.coldpump = dataArray(:, 10);

set(handles.checkChiller, 'Value', true)

% Consumo Electrico do Chiller

n=length(handles.dados.chiller.Mes);
handles.eer=zeros(n,1);
handles.chillerce=zeros(n,1);

for i=1:length(handles.dados.chiller.Mes);
    if handles.dados.chiller.input(i,1) == 0;
        handles.eer(i,1)=0;
    else
        handles.eer(i,1)=(handles.dados.chiller.output(i,1))./(handles.dados.chiller.input(i,1));
        handles.chillerce(i)=(handles.dados.chiller.output(i,1))./handles.eer(i,1);
    end
end

% Consumo Electrico do Chiller com a correcção do EER'

% Consumo do Chiller com a correcção do EER'

% Calculo da temperatura de entrada no chiller

handles.cpagua=4.1855; %(@15°C)
handles.roagua=999.2; %(@15°C)
handles.cbc=0.01468*handles.roagua; %Caudal da bomba de calor
handles.tbp=12; %Temperatura de bypass
handles.cch(:,1)=handles.dados.chiller.output(:,1)/(5*handles.cpagua);%
Calculo da Temperatura à saída da HM

n=length(handles.cch);
handles.cbp=zeros(n,1);

caudalmin=str2double(get(handles.inputcaudalminimo, 'String'));

for i=1:n;
    if handles.cch(i,1)==0;

```

```

        handles.cbp(i,1)=0;

elseif handles.cch(i,1)<= caudalmin;
    handles.cbp(i,1)=0;
    handles.cch(i,1)= caudalmin;

elseif handles.cch(i,1)> caudalmin;
    handles.cbp(i,1)=handles.cch(i,1)-handles.cbc;
end
end

handles.tbc(:,1)=12-
((handles.dados.hm.output(:,1))/(handles.cbc*handles.cpagua));

n=length(handles.cch);
handles.tr=zeros(n,1);

for i=1:n;
    if handles.cch(i,1)==0;
        handles.tr(i,1)=0;
    elseif handles.cch(i,1)<= caudalmin;
        handles.tr(i,1)=handles.tbp;
    else
        handles.tr(i,1)= (handles.tbc(i,1)*handles.cbc +
handles.tbp*handles.cbp(i,1))/handles.cch(i,1);
    end
end

% Correção do EER'-----
handles.EERc(:,1)=handles.eer(:,1).*(1-0.0025);

% handles.delta=5;
% handles.tmin=7;
%
% n=length(handles.cch);
% handles.reducao=zeros(n,1);
%
%
% for i=1:n;
%     if handles.tr(i,1)==0;
%         handles.reducao(i,1)=0;
%     else
%         handles.reducao(i,1)=(12-handles.tr(i,1))./12;
%     end
% end
%
% handles.EERc(:,1)=handles.eer(:,1)-
handles.eer(:,1).*handles.reducao(:,1);

```

```

% for i=1:n;
%     if handles.tr(i,1)==12;
%         handles.EERc(i,1)=handles.eer(i,1);
%     else
%         handles.EERc(i,1)=(handles.tr(i,1)-
handles.tmin)./handles.delta).*handles.eer(i,1);
%     end
% end

%Consumo de energia elétrica Chiller corrigido (Solução HM)-----

handles.hminputtermico=handles.dados.hm.output-handles.dados.hm.input;

n=length(handles.cch);
handles.chillercecorr=zeros(n,1);

for i=1:n;
    if handles.EERc(i,1)==0;
        handles.chillercecorr(i,1)=0;
    else
        handles.chillercecorr(i,1) = (handles.dados.chiller.output(i,1)-
handles.hminputtermico(i,1))./handles.EERc(i,1);
    end
end

for i=1:n;
    if handles.chillercecorr(i,1) <0;
        handles.chillercecorr(i,1)=0;
    end
end

set(handles.txtvalconsumochillerb, 'String', num2str(sum(handles.chillerce)))
set(handles.txtvalconsumochillerhm, 'String', num2str(sum(handles.chillercecorr)))

handles.boilercetotal = handles.dados.boiler.misc +
handles.dados.boiler.hotpump + handles.chillerce;
handles.hmctotal=handles.dados.hm.input + handles.dados.hm.boilermisc +
handles.dados.hm.coldpump + handles.dados.hm.hotpump +
handles.chillercecorr;

set(handles.txtvalconsumototalcaldeira, 'String', num2str(sum(handles.boilercetotal)))
set(handles.txtvalconsumototalhm, 'String', num2str(sum(handles.hmctotal)))

set(handles.txtvalsolgnhm, 'String', num2str(sum(handles.dados.hm.boilerinput
/handles.factconv)))

% Custo Sistemas Caldeiras e Heat Machine -----

handles.precoGN=str2double(get(handles.inputtxtprecogn, 'String'));

```

```

set(handles.inputtxtprecogn, 'String', num2str(handles.precogn))

handles.precokwh=str2double(get(handles.inputprecokwh, 'String'));

set(handles.inputprecokwh, 'String', num2str(handles.precokwh))

handles.custoboiler=sum(handles.inputgas)*handles.precogn+sum(handles.boile
rcetotal)*handles.precokwh;
handles.custohm=sum(handles.dados.hm.boilerinput/handles.factconv)*handles.
precogn+(sum(handles.hmcetotal))*handles.precokwh;

set(handles.txtvalcustototalcaldeira, 'String', num2str(handles.custoboiler))
set(handles.txtvalcustototalhm, 'String', num2str(handles.custohm))

% Economias Tep, CO2 -----

handles.ecokwh=sum(handles.boilercetotal)-sum(handles.hmcetotal);
set(handles.txtvalecoele, 'String', num2str(handles.ecokwh))

handles.ecoGN=sum(handles.inputgas)-
sum(handles.dados.hm.boilerinput/handles.factconv);
set(handles.txtvalecogn, 'String', num2str(handles.ecoGN))

handles.tep=handles.ecokwh*0.000215+handles.ecoGN*0.8404*1.077/1000
set(handles.txtvalecotep, 'String', num2str(handles.tep))

handles.co2=handles.ecokwh*0.47/1000+0.8404*handles.ecoGN*1.077/1000*2683.7
/1000
set(handles.txtvalecoemissoes, 'String', num2str(handles.co2))

% Retorno Financeiro e PRI -----

handles.retorno=handles.custoboiler-handles.custohm;
set(handles.txtvalretorno, 'String', num2str(handles.retorno))

handles.investcaldeira=str2double(get(handles.inputcaldeirainvest, 'String')
);
set(handles.inputcaldeirainvest, 'String', num2str(handles.investcaldeira))

handles.investhm=str2double(get(handles.inputhminvest, 'String'));
set(handles.inputhminvest, 'String', num2str(handles.investhm))

handles.pri=(handles.investhm-handles.investcaldeira)/handles.retorno;
set(handles.txtvalpri, 'String', num2str(handles.pri))

% Cálculo do COP Médio -----

n=length(handles.cch);
handles.cop=zeros(n,1);

for i=1:n;
    if handles.dados.hm.input(i,1)==0;
        handles.cop(i,1)=0;
    else

```

```

handles.cop(i,1)=(handles.dados.hm.output(i,1))./(handles.dados.hm.input(i,
1));
    end
end

% cop INVERNO -----

handles.copinverno=[handles.cop(1:2880);handles.cop(6553:8760)];

handles.copIcompleto=reshape(handles.copinverno,[],24);

handles.copV=[handles.copIcompleto(:,8:11),handles.copIcompleto(:,14:20)];
handles.copImedio=mean(handles.copinverno(handles.copinverno(:,1)~=0));
set(handles.txtvalcophmi,'String',num2str(handles.copImedio))

% cop VERÃO -----

handles.copverao=[handles.cop(2881:5088);handles.cop(5833:6552)];

handles.copVcompleto=reshape(handles.copverao,[],24);

handles.copV=[handles.copVcompleto(:,8:11),handles.copVcompleto(:,14:20)];

handles.copVmedio=mean(handles.copV(handles.copV(:,1)~=0));
set(handles.txtvalcophmv,'String',num2str(handles.copVmedio))

% Cálculo do EERc Médio -----

% EERc INVERNO -----

handles.EERcinverno=[handles.EERc(1:2880);handles.EERc(6553:8760)];
handles.EERIcompleto=reshape(handles.EERcinverno,[],24);
handles.EERcI=[handles.EERIcompleto(:,8:11),handles.EERIcompleto(:,14:20)];
handles.EERcImedio=mean(handles.EERcI(handles.EERcI(:,1)~=0));
set(handles.txtvaleervi,'String',num2str(handles.EERcImedio))

% EERc VERÃO -----

handles.EERcverao=[handles.EERc(2881:5088);handles.EERc(5833:6552)];

handles.EERVcompleto=reshape(handles.EERcverao,[],24);

handles.EERcV=[handles.EERVcompleto(:,8:11),handles.EERVcompleto(:,14:20)];

handles.EERcVmedio=mean(handles.EERcV(handles.EERcV(:,1)~=0));
set(handles.txtvaleerv,'String',num2str(handles.EERcVmedio))

guidata(hObject, handles);

% setappdata(heatmachine,'dados',dados)
% dados=getappdata(heatmachine,'dados');

```

```

function inputconversao_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputconversao (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of inputconversao as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
inputconversao as a double
% dados=getappdata(heatmachine,'dados');

handles.factconv=str2double(get(handles.inputconversao,'String'))

handles.inputgas=handles.dados.boiler.input(:,1)/handles.factconv;
set(handles.txtvalconsumogn,'String',num2str(sum(handles.inputgas)))

handles.boilercetotal = handles.dados.boiler.misc +
handles.dados.boiler.hotpump + handles.chillerce;

handles.custoboiler=sum(handles.inputgas)*handles.precoGN+sum(handles.boile
rcetotal)*handles.precokwh;
set(handles.txtvalcustototalcaldeira,'String',num2str(handles.custoboiler))

handles.ecoGN=sum(handles.inputgas)-
sum(handles.dados.hm.boilerinput/handles.factconv);
set(handles.txtvalecogn,'String',num2str(handles.ecoGN))

handles.retorno=handles.custoboiler-handles.custohm;
set(handles.txtvalretorno,'String',num2str(handles.retorno))

handles.investcaldeira=str2double(get(handles.inputcaldeirainvest,'String')
);
set(handles.inputcaldeirainvest,'String',num2str(handles.investcaldeira))

handles.investhm=str2double(get(handles.inputhminvest,'String'));
set(handles.inputhminvest,'String',num2str(handles.investhm))

handles.pri=(handles.investhm-handles.investcaldeira)/handles.retorno;
set(handles.txtvalpri,'String',num2str(handles.pri))

guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function inputconversao_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputconversao (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function inputcaldeirainvest_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputcaldeirainvest (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of inputcaldeirainvest as
text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
inputcaldeirainvest as a double

handles.precokwh=str2double(get(handles.inputprecokwh,'String'));
set(handles.inputprecokwh,'String',num2str(handles.precokwh))

handles.precogn=str2double(get(handles.inputtxtprecogn,'String'));
set(handles.inputtxtprecogn,'String',num2str(handles.precogn))

handles.hm cetotal=handles.dados.hm.input + handles.dados.hm.boilermisc +
handles.dados.hm.coldpump + handles.dados.hm.hotpump +
handles.chillercorr;
handles.custoboiler=sum(handles.inputgas)*handles.precogn+sum(handles.boile
rcetotal)*handles.precokwh;

handles.custoboiler=sum(handles.inputgas)*handles.precogn+sum(handles.boile
rcetotal)*handles.precokwh;
set(handles.txtvalcustototalcaldeira,'String',num2str(handles.custoboiler))

handles.custohm=sum(handles.dados.hm.boilerinput/handles.factconv)*handles.
precogn+(sum(handles.hm cetotal))*handles.precokwh;
set(handles.txtvalcustototalhm,'String',num2str(handles.custohm))

handles.retorno=handles.custoboiler-handles.custohm;
set(handles.txtvalretorno,'String',num2str(handles.retorno))

handles.investcaldeira=str2double(get(handles.inputcaldeirainvest,'String')
);
set(handles.inputcaldeirainvest,'String',num2str(handles.investcaldeira))

handles.investhm=str2double(get(handles.inputhminvest,'String'));
set(handles.inputhminvest,'String',num2str(handles.investhm))

handles.pri=(handles.investhm-handles.investcaldeira)/handles.retorno;
set(handles.txtvalpri,'String',num2str(handles.pri))

guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function inputcaldeirainvest_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputcaldeirainvest (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function inpuhminvest_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inpuhminvest (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of inpuhminvest as text
%     str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
inpuhminvest as a double

handles.precokwh=str2double(get(handles.inputprecokwh,'String'));
set(handles.inputprecokwh,'String',num2str(handles.precokwh))

handles.precogn=str2double(get(handles.inputtxtprecogn,'String'));
set(handles.inputtxtprecogn,'String',num2str(handles.precogn))

handles.hmcetotal=handles.dados.hm.input + handles.dados.hm.boilermisc +
handles.dados.hm.coldpump + handles.dados.hm.hotpump +
handles.chillercecorr;
handles.custoboiler=sum(handles.inputgas)*handles.precogn+sum(handles.boile
rcetotal)*handles.precokwh;

handles.custoboiler=sum(handles.inputgas)*handles.precogn+sum(handles.boile
rcetotal)*handles.precokwh;
set(handles.txtvalcustototalcaldeira,'String',num2str(handles.custoboiler))

handles.custohm=sum(handles.dados.hm.boilerinput/handles.factconv)*handles.
precogn+(sum(handles.hmcetotal))*handles.precokwh;
set(handles.txtvalcustototalhm,'String',num2str(handles.custohm))

handles.retorno=handles.custoboiler-handles.custohm;
set(handles.txtvalretorno,'String',num2str(handles.retorno))

handles.investcaldeira=str2double(get(handles.inputcaldeirainvest,'String')
);
set(handles.inputcaldeirainvest,'String',num2str(handles.investcaldeira))

handles.investhm=str2double(get(handles.inpuhminvest,'String'));
set(handles.inpuhminvest,'String',num2str(handles.investhm))

handles.pri=(handles.investhm-handles.investcaldeira)/handles.retorno;
set(handles.txtvalpri,'String',num2str(handles.pri))

guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

function inputhminvest_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputhminvest (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function inputtxtprecogn_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputtxtprecogn (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of inputtxtprecogn as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
inputtxtprecogn as a double

handles.precogn=str2double(get(handles.inputtxtprecogn,'String'));
set(handles.inputtxtprecogn,'String',num2str(handles.precogn))

handles.hmcetotal=handles.dados.hm.input + handles.dados.hm.boilermisc +
handles.dados.hm.coldpump + handles.dados.hm.hotpump +
handles.chillercecorr;
handles.boilercetotal = handles.dados.boiler.misc +
handles.dados.boiler.hotpump + handles.chillerce;

handles.custoboiler=sum(handles.inputgas)*handles.precogn+sum(handles.boile
rcetotal)*handles.precokwh;
set(handles.txtvalcustototalcaldeira,'String',num2str(handles.custoboiler))

handles.custohm=sum(handles.dados.hm.boilerinput/handles.factconv)*handles.
precogn+(sum(handles.hmcetotal))*handles.precokwh;
set(handles.txtvalcustototalhm,'String',num2str(handles.custohm))

handles.retorno=handles.custoboiler-handles.custohm;
set(handles.txtvalretorno,'String',num2str(handles.retorno))

handles.investcaldeira=str2double(get(handles.inputcaldeirainvest,'String')
);
set(handles.inputcaldeirainvest,'String',num2str(handles.investcaldeira))

handles.investhm=str2double(get(handles.inputhminvest,'String'));
set(handles.inputhminvest,'String',num2str(handles.investhm))

handles.pri=(handles.investhm-handles.investcaldeira)/handles.retorno;
set(handles.txtvalpri,'String',num2str(handles.pri))

```

```

guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function inputtxtprecogn_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputtxtprecogn (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function inputprecokwh_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputprecokwh (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of inputprecokwh as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
inputprecokwh as a double

handles.precokwh=str2double(get(handles.inputprecokwh,'String'));
set(handles.inputprecokwh,'String',num2str(handles.precokwh))

handles.hm cetotal=handles.dados.hm.input + handles.dados.hm.boilermisc +
handles.dados.hm.coldpump + handles.dados.hm.hotpump +
handles.chillercecorr;
handles.custoboiler=sum(handles.inputgas)*handles.precogn+sum(handles.boile
rcetotal)*handles.precokwh;

handles.custoboiler=sum(handles.inputgas)*handles.precogn+sum(handles.boile
rcetotal)*handles.precokwh;
set(handles.txtvalcustototalcaldeira,'String',num2str(handles.custoboiler))

handles.custohm=sum(handles.dados.hm.boilerinput/handles.factconv)*handles.
precogn+(sum(handles.hm cetotal))*handles.precokwh;
set(handles.txtvalcustototalhm,'String',num2str(handles.custohm))

handles.retorno=handles.custoboiler-handles.custohm;
set(handles.txtvalretorno,'String',num2str(handles.retorno))

handles.investcaldeira=str2double(get(handles.inputcaldeirainvest,'String')
);
set(handles.inputcaldeirainvest,'String',num2str(handles.investcaldeira))

handles.investhm=str2double(get(handles.inputhminvest,'String'));

```

```

set(handles.inputhminvest, 'String', num2str(handles.investhm))

handles.pri=(handles.investhm-handles.investcaldeira)/handles.retorno;
set(handles.txtvalpri, 'String', num2str(handles.pri))

guidata(hObject, handles);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function inputprecokwh_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputprecokwh (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes on button press in btnexit.
function btnexit_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btnexit (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

close(handles.HeatMachineGUI)

% --- Executes on button press in checkCaldeira.
function checkCaldeira_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkCaldeira (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject, 'Value') returns toggle state of checkCaldeira

% --- Executes on button press in checkBC.
function checkBC_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkBC (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject, 'Value') returns toggle state of checkBC

% --- Executes on button press in checkChiller.
function checkChiller_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkChiller (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hint: get(hObject, 'Value') returns toggle state of checkChiller

```

```

% --- Executes when selected object is changed in panelplots.
function panelplots_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to the selected object in panelplots
% eventdata  structure with the following fields (see UIBUTTONGROUP)
%   EventName: string 'SelectionChanged' (read only)
%   OldValue: handle of the previously selected object or empty if none was
selected
%   NewValue: handle of the currently selected object
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Gráfico 1 - COP INVERNO

cla(handles.plots, 'reset')

switch get(get(handles.panelplots, 'selectedobject'), 'tag')
    case 'COPINVERNO'

        handles.copinverno=[handles.cop(1:2880);handles.cop(6553:8760)]; %
vetor do COP meses Inverno
        [handles.copinverno]=conZero2NaN(handles.copinverno);

        handles.copI=reshape(handles.copinverno, [], 24);

        handles.copI=[handles.copI(:, 8:22)];

        handles.mediaCOPI=nanmean(handles.copI);

        hold(handles.plots, 'on')
        plot(handles.plots, handles.mediaCOPI, '*-.k', 'MarkerSize', 8)
        boxplot(handles.plots, handles.copI, 8:22)

        set(handles.plots, 'XTick', 8:22)

        xlabel(handles.plots, 'Tempo
(Horas)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 8)
        ylabel(handles.plots, 'Coeficiente de Performance Médio
(COP)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 8)
        %title(handles.plots, 'Coeficiente de Performance Durante a Estação
de Inverno - Valores Médios e
Distribuição', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 8)
        legend(handles.plots, 'COP Médio Inverno')
        hold(handles.plots, 'off')

    case 'COPVERAO'

        handles.copverao=[handles.cop(2881:5088);handles.cop(5833:6552)]; %
vetor do COP meses Verão
        [handles.copverao]=conZero2NaN(handles.copverao);
        handles.copV=reshape(handles.copverao, [], 24);
        handles.copV=[handles.copV(:, 8:22)];

```

```

handles.mediaCOPV=nanmean(handles.copV);

%COP médio de VERÃO

hold (handles.plots,'on')

plot(handles.plots,handles.mediaCOPV,'*-.k','MarkerSize',10)
boxplot(handles.plots,handles.copV,8:22)

set(handles.plots,'XTick',8:22)
xlabel(handles.plots,'Tempo
(Horas)','fontweight','bold','fontsize',8)
ylabel(handles.plots,'Coeficiente de Performance Médio
(COP)','fontweight','bold','fontsize',8)
%title('Coeficiente de Performance Durante a Estação de Verão -
Valores Médios e Distribuição','fontweight','bold','fontsize',8)
legend(handles.plots,'COP Médio Verão')
hold (handles.plots,'off')

case 'boilervshm'

load('data');

handles.custo354=(handles.dados.hm.boilerinput/11.99)*0.371+(handles.dados.
hm.input + handles.dados.hm.boilermisc + handles.dados.hm.coldpump +
handles.dados.hm.hotpump)*0.120;
handles.dt=data(:,1);
handles.hist_custoHM354=zeros(12,1);
for i=1:12

handles.hist_custoHM354(i)=sum(handles.custo354(handles.dt==i));
end

handles.custob=handles.inputgas*0.371 +
(handles.dados.boiler.misc+handles.dados.boiler.hotpump)*0.120;
handles.dt=data(:,1);
handles.hist_custob=zeros(12,1);
for i=1:12
handles.hist_custob(i)=sum(handles.custob(handles.dt==i));
end

handles.mes={'Jan','Fev','Mar','Abr','Mai','Jun','Jul','Ago','Set','Out','N
ov','Dez'};

hold (handles.plots,'on')
plot(handles.plots,[handles.hist_custoHM354,handles.hist_custob]);
%xlim([1 12])
handles.yt=get(gca,'YTick');
set(gca,'YTickLabel',sprintf('%f|',handles.yt));
set(gca,'XTickLabel',handles.mes);

```

```

        %           ylabel('Custo Energético
(€)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 16)
        %           %title('COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA FINAL PARA
AQUECIMENTO AVAC', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 20)
        %           legend('Custo Sistema com HM - 354 (€)', 'Custo Sistema
com Caldeiras (€)')
        hold (handles.plots, 'off')

    case 'graf4'

        load('data');
        handles.consumoHM=handles.dados.hm.input +
handles.dados.hm.boilermisc + handles.dados.hm.coldpump +
handles.dados.hm.hotpump;
        handles.dt=data(:,1);
        handles.histconsumoHM=zeros(12,1);
        for i=1:12
            handles.histconsumoHM(i)=sum(handles.consumoHM(handles.dt==i));
        end

handles.consumoBC=handles.dados.boiler.input+handles.dados.boiler.misc+hand
les.dados.boiler.hotpump;
        handles.dt=data(:,1);
        handles.histconsumoBC=zeros(12,1);
        for i=1:12
            handles.histconsumoBC(i)=sum(handles.consumoBC(handles.dt==i));
        end

handles.mes={'Jan', 'Fev', 'Mar', 'Abr', 'Mai', 'Jun', 'Jul', 'Ago', 'Set', 'Out', 'N
ov', 'Dez'};

        bar(handles.plots, [handles.histconsumoHM, handles.histconsumoBC]);
        handles.yt=get(handles.plots, 'YTick');
        set(handles.plots, 'YTickLabel', sprintf('%f|', handles.yt));
        set(handles.plots, 'XTickLabel', handles.mes);

        ylabel(handles.plots, 'CONSUMO ENERGÉTICO
(kWh)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 16)
        title(handles.plots, 'COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA FINAL PARA
AQUECIMENTO AVAC', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 20)
        legend(handles.plots, 'SISTEMA COM HEAT MACHINE (kWh)', 'SISTEMA COM
CALDEIRAS (kWh)')
    end

%set(handles.plots, 'String', num2str(boxplot(handles.copIcompleto)))

% --- Executes on button press in btnhelp.
function btnhelp_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to btnhelp (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
winopen('help.pdf')

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit10 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function inputcaudalminimo_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputcaudalminimo (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Calculo da temperatura de entrada no chiller

handles.cpagua=4.1855;  %(@15°C)
handles.roagua=999.2; %(@15°C)
handles.cbc=0.01468*handles.roagua; %Caudal da bomba de calor
handles.tbp=12; %Temperatura de bypass

handles.cch(:,1)=handles.dados.chiller.output(:,1)/(5*handles.cpagua);%
Calculo da Temperatura à saída da HM

n=length(handles.cch);
handles.cbp=zeros(n,1);

caudalmin=str2double(get(handles.inputcaudalminimo,'String'));

for i=1:n;
    if handles.cch(i,1)==0;
        handles.cbp(i,1)=0;

        elseif handles.cch(i,1)<= caudalmin;
            handles.cbp(i,1)=0;
            handles.cch(i,1)= caudalmin;

        elseif handles.cch(i,1)> caudalmin;
            handles.cbp(i,1)=handles.cch(i,1)-handles.cbc;
        end
end

handles.tbc(:,1)=12-
((handles.dados.hm.output(:,1))/(handles.cbc*handles.cpagua));

n=length(handles.cch);
handles.tr=zeros(n,1);

for i=1:n;
    if handles.cch(i,1)==0;
        handles.tr(i,1)=0;
    elseif handles.cch(i,1)<= caudalmin;
        handles.tr(i,1)=handles.tbp;
    else
        handles.tr(i,1)= (handles.tbc(i,1)*handles.cbc +
handles.tbp*handles.cbp(i,1))/handles.cch(i,1);
    end
end

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of inputcaudalminimo as
text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
inputcaudalminimo as a double

```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function inputcaudalminimo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to inputcaudalminimo (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

# Anexo I – Algoritmo de cálculo

1. [Importação de dados do HAP]

```
filename <- strcat('\\psf\Dropbox\TFM - 31752
LuisSilva\04.Calculo\00.Exportação Dados HAP\',ficheiro);
startRow <- 11;
fileID <- fopen(filename,'r');
dataArray <- textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace',
',', 'EmptyValue', NaN, 'HeaderLines', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
```

```
boiler.drybulb <- dataArray(:, 4);
boiler.wetbulb <- dataArray(:, 5);
boiler.heatingcoil <- dataArray(:, 6);
boiler.plantheating <- dataArray(:, 7);
boiler.output <- dataArray(:, 8);
boiler.input <- dataArray(:, 9);
boiler.misc <- dataArray(:, 10);
boiler.hotpump <- dataArray(:, 11);
```

```
Read (dados.boiler.drybulb)
```

```
Read (dados.boiler.wetbulb)
```

```
Read (dados.boiler.heatingcoil)
```

```
Read (dados.boiler.plantheating)
```

```
Read (dados.boiler.output)
```

```
Read (dados.boiler.input)
```

```
Read (dados.boiler.misc)
```

```
Read (dados.boiler.hotpump)
```

```
hm.drybulb <- dataArray(:, 4);
hm.wetbulb <- dataArray(:, 5);
hm.heatingcoil <- dataArray(:, 6);
hm.plantheating v dataArray(:, 7);
hm.boileroutput <- dataArray(:, 8);
hm.output <- dataArray(:, 9);
hm.input <- dataArray(:, 10);
hm.boilerinput <- dataArray(:, 11);
hm.boilermisc <- dataArray(:, 12);
hm.hotpump <- dataArray(:, 13);
```

```
hm.coldpump <- dataArray{:, 14};
```

```
Read (dados.hm.heatingcoil)  
Read (dados.hm.plantheating)  
Read (dados.hm.boileroutput)  
Read (dados.hm.output)  
Read (dados.hm.input)  
Read (dados.hm.boilerinput)  
Read (dados.hm.boilermisc)  
Read (dados.hm.hotpump)  
Read (dados.hm.coldpump)
```

```
chiller.drybulb <- dataArray{:, 4};  
chiller.wetbulb <- dataArray{:, 5};  
chiller.coolingcoil <- dataArray{:, 6};  
chiller.plantcooling <- dataArray{:, 7};  
chiller.output <- dataArray{:, 8};  
chiller.input <- dataArray{:, 9};  
chiller.coldpump <- dataArray{:, 10};
```

```
Read (dados.chiller.coolingcoil)  
Read (dados.chiller.plantcooling)  
Read (dados.chiller.output)  
Read (dados.chiller.input)  
Read (dados.chiller.coldpump)
```

## 2. [Avaliação do potencial térmico disponível]

```
r.pdisponivel(:,1)<-dados.chiller.output(:,1)-
dados.boiler.plantheating(:,1)
```

```
Write (r.pdisponivel)
```

## 3. [Produção de água aquecida para AVAC solução Caldeiras]

[Consumo de energia elétrica no Chiller]

```
for i=1:n;
  if dados.chiller.input(i,1)==0;
    r.eer(i,1)=0;
  else
    r.eer(i,1)=(dados.chiller.output(i,1))./(dados.chiller.input(i,1));
    r.chillerce(i,1)=(dados.chiller.output(i,1))./r.eer(i,1);
  end
end
```

```
end
```

```
Write (r.eer)
```

```
Write (r.chillerce)
```

[Consumo elétrico total da caldeira, input, miscellaneous, bomba e chiller]

```
r.boilercetotal <- dados.boiler.misc + dados.boiler.hotpump + r.chillerce;
```

```
Write (r.boilercetotal)
```

## 4. [Produção de água aquecida para AVAC solução Heat Machine]

[Cálculo da temperatura de entrada na água no chiller]

```
cte.cpagua <- 4.1855;
```

```
cte.roagua <- 999.2;
```

```
cte.tbp <- 12;
```

```
r.cch(:,1) <- dados.chiller.output(:,1)/(5*cte.cpagua)
```

```

for i=1:n;
  if r.cch(i,1)==0;
    r.cbp(i,1)=0;

    elseif r.cch(i,1)<= caudalmin;
      r.cbp(i,1)=0;
      r.cch(i,1)=caudalmin;

    elseif r.cch(i,1)> caudalmin;
      r.cbp(i,1)=r.cch(i,1)-cte.cbc;
    end
end

r.tbc(:,1) <- 12-((dados.hm.output(:,1))/(cte.cbc*cte.cpagua))

for i=1:n;
  if r.cch(i,1)==0;
    r.tr(i,1)=0;
  elseif r.cch(i,1)<= caudalmin;
    r.tr(i,1)=cte.tbp;
  else
    r.tr(i,1)= (r.tbc(i,1)*cte.cbc + cte.tbp*r.cbp(i,1))/r.cch(i,1);
  end
end

Write (r.cch)

Write (r.cch)

Write (r.tbc)

Write (r.tr)

[Correção do EER]

r.EERc(:,1) <- r.eer(:,1).*(1-0.0025);

r.hminputtermico <- dados.hm.output-dados.hm.input;

for i=1:n;
  if r.eer(i,1)==0;
    r.chillercecorr(i,1)=0;
  else
    r.chillercecorr(i,1) = (dados.chiller.output(i,1)-
r.hminputtermico(i,1))./r.EERc(i,1);
  end
end

Write (r.EERc)

Write (r.chillercecorr)

```

```
r.hmccetotal <- dados.hm.input + dados.hm.boilermisc + dados.hm.coldpump +  
dados.hm.hotpump + r.chillercorr;
```

```
Write (r.hmccetotal)
```

5. [Análise do custo energético]

```
precoGN <- 0.371;
```

```
precokwh <- 0.120
```

[Solução Caldeiras para aquecimento AVAC]

```
custoboiler <- sum(r.inputgas)*precoGN+sum(r.boilercetotal)*precokwh
```

```
Write (custoboiler)
```

[Solução Heat Machine para aquecimento AVAC]

```
Custoheatmachine <-sum(dados.hm.boilerinput/11.99)*precoGN+  
(sum(r.hmccetotal))*precokwh;
```

```
Write (Custoheatmachine)
```