

Guilherme João Pinto Medeiros dos Santos

# Plano de Racionalização do Consumo de Energia para a Biblioteca das Ciências da Saúde da Universidade de Coimbra

Tese de mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Setembro 2016



UNIVERSIDADE DE COIMBRA





**Universidade de Coimbra**  
**Faculdade de Ciências e Tecnologia**  
**Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

**Plano de Racionalização do Consumo de Energia para a  
Biblioteca das Ciências da Saúde da Universidade de Coimbra**

Guilherme João Pinto Medeiros dos Santos

**Orientadores:** Professor Doutor António Manuel de Oliveira Gomes Martins  
Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge

**Membros do Júri**

**Presidente:** Professor Doutor António José Ribeiro Ferreira

**Vogal:** Professor Doutor Tony Richard de Oliveira de Almeida

**Vogal:** Professor Doutor António Manuel de Oliveira Gomes Martins

**Coimbra,**  
**Setembro de 2016**



*“We are what we repeatedly do. Excellence then, is not an act, but a habit.”*

*Aristotle*



# Agradecimentos

Tendo chegado ao final de mais uma etapa, esta extraordinária e enriquecedora experiência que foi a vida académica nesta magnífica Universidade, guardo aqui lugar para os últimos agradecimentos a todos os que, de uma maneira ou de outra, contribuíram positivamente para o meu sucesso ao longo deste percurso.

Antes dos demais, começo por agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor António Gomes Martins, por todo o apoio ao longo deste trabalho, pela ajuda e a disponibilidade que sempre demonstrou, assim como a variedade de conhecimentos que me transmitiu.

O meu especial agradecimento também ao meu coorientador, o Professor Doutor Humberto Jorge, que sempre se mostrou interessado neste trabalho e me permitiu conciliar, na perfeição, a parte teórica com a parte prática desta tese de mestrado.

Ao Professor Doutor Rui Barbosa, quer por se ter disponibilizado desde o início para a resolução dos problemas da biblioteca, quer pela sua simpatia e pela liberdade que me deu para realizar o meu trabalho como se fosse um elemento “da casa”, tendo também de agradecer à Doutora Teresa Alcobia e aos restantes funcionários da biblioteca, que me permitiram uma excelente integração e me puseram a par do funcionamento global do edifício.

Além disso, agradeço também ao Engenheiro Bernardo Sousa e ao Engenheiro Mário Carvalhal, pela informação que me foram facultando e que foi essencial à realização das auditorias energéticas e da análise dos resultados.

Agradeço ao Professor Doutor José Costa e ao Professor Doutor Adélio Gaspar, do Departamento de Engenharia Mecânica, pelo conhecimento que me proporcionaram, especialmente na área dos sistemas AVAC, tendo as suas opiniões e sugestões sido fundamentais para a definição de algumas medidas de melhoria propostas neste trabalho.

Ao André Carvalho, da Electroclima, que sempre me esclareceu dúvidas que iam surgindo a nível técnico associadas ao funcionamento de determinados equipamentos utilizados na biblioteca, tendo sido uma grande ajuda no reconhecimento de alguns problemas.

Aos meus colegas Nuno Branco, de Engenharia Mecânica, Bruno Duro, Catarina Monteiro e restantes colegas do laboratório de gestão de energia, pelo apoio e força que deram ao longo deste trabalho.

Por fim e não menos importante, a todos os meus amigos e família, com um especial agradecimento aos meus Pais e Irmão, pelo apoio incondicional e pelo carinho demonstrado ao longo desta etapa da minha vida.



# Resumo

Esta dissertação nasce da decisão conjunta do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (DEEC) e do Serviço de Gestão do Edificado, Segurança e Ambiente da Universidade de Coimbra (UC), com vista à criação de um documento que irá permitir planear a execução de diversas Medidas de Racionalização de Energia (MRE), por parte dos gestores da Biblioteca das Ciências da Saúde (BCS) da UC, conduzindo a boas práticas de utilização racional de energia e permitindo tornar o *campus* da Universidade cada vez mais sustentável.

O Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PRCE) consiste no instrumento que define as MRE que permitirão alcançar metas de redução relativas a indicadores energéticos regulamentados. Este plano foi realizado de acordo com a legislação do Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia, que consta no Decreto-Lei nº 71/2008, de 15 de abril, e foi estruturado com base noutros PRCE promovidos anteriormente pelo DEEC. Cumprindo esta legislação, a elaboração do PRCE iniciou-se com inspeções à instalação, familiarização com os principais equipamentos instalados e fontes de energia utilizadas, passando também pela monitorização de consumos e estudo das possíveis oportunidades de racionalização e melhorias na utilização da energia.

Durante a familiarização com o regime de utilização de alguns equipamentos, foi possível identificar algumas MRE, tendo-se iniciado um levantamento de todos os equipamentos e sistemas instalados na BCS, respetiva potência instalada e área útil de todos os espaços. De seguida, deu-se início ao período de monitorização dos equipamentos que permitiu determinar consumos específicos dos mesmos, e em conjunto com dados de consumo obtidos pelo contador geral da biblioteca permitiu saber o impacto energético de cada equipamento, no consumo global da BCS.

Por fim, após a criação das MRE e estudo da viabilidade técnico-económica de cada medida, elaborou-se uma lista de medidas passíveis de serem implementadas e cujas estimativas de poupança deverão alcançar os valores estabelecidos pelo SGCIE, para este edifício. Além disso, foram realizados planos de implementação com todos os detalhes técnicos associados à implementação das MRE, garantindo, desta maneira, o sucesso deste PRCE.

Este tipo de dissertações tem uma importância extrema para a melhoria de eficiência energética de edifícios, tendo este sido o primeiro estudo dedicado ao edifício da BCS. Espera-se assim que estes trabalhos possam vir a ser adaptados a outros *campus* universitários, e que este PRCE possa servir de exemplo de boas práticas associadas à utilização eficiente de energia.

**Palavras-Chave:** Eficiência Energética, Plano de Racionalização do Consumo de Energia, Medidas de Racionalização, Indicador de Eficiência Energética, Planos de Medição & Verificação



# Abstract

This thesis was brought from the mutual decision of the Department of Electrical and Computer Engineering and the Facilities, Safety and Environment Management Service of the University of Coimbra, in order to create a document that could assure the planning and execution of different Energy Rationalization Measures (ERM) by building managers of the Health Sciences Library, resulting in good practices of rational use of energy and allowing the University campus to become more and more sustainable.

The Energy Consumption Rationalization Plan (PREn) is a tool that defines the ERM which will allow to reach the reduction targets associated with regulated Energy Indicators. This Plan was completed in accordance to legal directives from the Management System of Intensive Energy Consumption, included in the Decree-Law n. 71/2008, of April 15th, and based upon other PREn previously promoted by the Department of Electrical and Computer Engineering. Following this legislation, the execution of the PREn started with the facility's inspection, familiarization with the main systems installed and energy sources, monitoring of energy consumption and study of rationalization opportunities and enhancements in the use of energy.

During the familiarization with the main systems and their operation, it was promptly possible to identify some ERM, as well as to begin the description of every equipment, corresponding nominal power and area of all the rooms in the Library. Afterwards, monitoring actions were started, which led to the determination of specific consumption of different equipment, which together with data of consumption obtained from the building energy meter, allowed to find how much each of these systems represented on the global consumption of Health Sciences Library.

Finally, after the elaboration of the ERM and the economic and technical feasibility of each one, we identified some measures to be carried out, with estimated energy savings that should achieve the values established by the Management System of Intensive Energy Consumption, for this facility. Furthermore, implementation plans were created with all the technical details related to each ERM, this way ensuring the success of this PREn.

This type of thesis has an extreme importance for the improvement of energy efficiency of buildings, thus being the first study dedicated to the Health Sciences Library. It is expected that these dissertations may be applied to other university campus worldwide, and that this specific PREn could become an example of good practices for the efficient use of energy.

**Keywords:** Energy Efficiency, Energy Consumption Rationalization Plan, Rationalization Measures, Energy Performance Indicator, Measurement and Verification Plans



# Índice

<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>xiv</b>
<b>Lista de Abreviaturas .....</b>	<b>xv</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1 - Motivação.....	2
1.2 – Objetivos da dissertação.....	2
1.3 – Estrutura .....	3
<b>2. Enquadramento.....</b>	<b>5</b>
2.1 – Planos de Racionalização .....	6
2.2 – Indicadores de Desempenho Energético.....	6
2.2.1 – Intensidade Energética .....	7
2.2.2 – Consumo Específico de Energia .....	7
2.2.3 – Intensidade Carbónica .....	7
2.2.4 – Indicador de Eficiência Energética .....	8
2.3 – Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético .....	8
2.3.1 - IPMVP .....	8
2.3.2 – Conceção e objetivos de <i>M&amp;V</i> .....	8
2.3.3 - Períodos de medição .....	9
2.3.4 - Fronteiras de medição.....	10
2.3.5 – Cálculo da poupança e respetivos ajustes .....	11
2.3.6 – Opções de IPMVP.....	11
<b>3. Edifício da Biblioteca das Ciências da Saúde .....</b>	<b>15</b>
3.1 – Caracterização geral do edifício.....	16
3.1.1 – Principais salas de estudo .....	17
3.1.2 – Equipamentos consumidores de energia .....	17
3.2 – Contrato de fornecimento de energia .....	19
3.3 – Historial de consumos e de faturação.....	19
<b>4. Plano de Racionalização do Consumo de Energia .....</b>	<b>23</b>
4.1 – Plano de racionalização .....	24
4.2 – Auditorias .....	25
4.2.1 – Planificação das monitorizações .....	25
4.2.2 – Equipamentos utilizados.....	26
4.2.3 – Diagramas de carga.....	27

4.2.4 – Resultados das auditorias .....	29
4.3 – Consumos no período de consumo de referência.....	30
4.4 – Cálculo dos IDE.....	30
4.4.1 – Intensidade Carbónica .....	31
4.4.2 – Indicador de Eficiência Energética .....	31
4.4.3 – Metas mínimas de redução do IEE.....	31
4.5 – Medidas de Racionalização de Energia .....	32
4.5.1 – Ação de sensibilização para a utilização da iluminação nas salas .....	32
4.5.2 – Controlo do <i>chiller</i> por interruptor horário.....	34
4.5.3 – Alteração no funcionamento de eletrobombas.....	37
4.5.4 – Instalação de sensores de temperatura no DIAF .....	39
4.5.5 – Desativação permanente dos desumidificadores dos depósitos, ou substituição por novos aparelhos .....	40
4.5.6 – Painéis solares fotovoltaicos na cobertura, para autoconsumo .....	44
4.6 – Análise técnico-económica .....	44
4.7 – Cronograma de implementação das MRE .....	45
4.8 – Impacto das MRE .....	46
4.9 – Possíveis medidas futuras.....	47
<b>5. Melhorias nos sistemas AVAC.....</b>	<b>49</b>
5.1 – Manutenção geral de equipamentos .....	50
5.2 – Alterações de melhoria.....	50
<b>6. Conclusões e trabalho futuro .....</b>	<b>53</b>
6.1 Conclusões.....	54
6.2 Trabalho Futuro .....	55
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>57</b>
<b>Anexo I .....</b>	<b>59</b>
<b>Apêndice A .....</b>	<b>65</b>
<b>Apêndice B .....</b>	<b>70</b>
<b>Apêndice C .....</b>	<b>73</b>
<b>Apêndice D .....</b>	<b>78</b>
<b>Apêndice E .....</b>	<b>82</b>
<b>Apêndice F .....</b>	<b>86</b>
<b>Apêndice G.....</b>	<b>92</b>

# Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> – Utilização média diária das 6 principais salas de estudo, entre janeiro e novembro de 2015.....	17
<b>Figura 2</b> – Consumo mensal de energia ativa da BCS, em kWh, em 2014 e 2015.....	20
<b>Figura 3</b> – Desagregação do consumo anual de energia ativa da BCS, em kWh, em 2014 e 2015, pelos quatro períodos da tarifa tetra-horária.....	21
<b>Figura 4</b> – Faturação associada ao consumo anual de energia elétrica na BCS, em euros, relativamente a 2014 e 2015.....	22
<b>Figura 5</b> – Analisador trifásico da qualidade de energia e potência da Chauvin Arnoux, modelo C.A 8334B.....	26
<b>Figura 6</b> – Equipamentos de monitorização da temperatura e da humidade relativa .....	27
<b>Figura 7</b> – DDC de uma 2ª feira, dia 9 de março de 2015, em kW.....	27
<b>Figura 8</b> – DDC de uma 2ª feira, dia 7 de setembro de 2015, em kW .....	28
<b>Figura 9</b> – DDC de um sábado, relativo a 4 de julho de 2015, em kW .....	28
<b>Figura 10</b> – DDC de um sábado, 17 de janeiro de 2015, em kW.....	29
<b>Figura 11</b> – Aviso colocado por cima dos interruptores de iluminação, numa sala de estudo da BCS.....	33
<b>Figura 12</b> – DDC relativo ao funcionamento ao <i>chiller</i> , nos dias 24 e 25 de maio de 2016.....	35
<b>Figura 13</b> – DDC relativo ao funcionamento do <i>chiller</i> , num domingo, 29 de maio de 2016.....	35
<b>Figura 14</b> – DDC relativo ao funcionamento do <i>chiller</i> , 2ªfeira, dia 23 de maio de 2016.....	36
<b>Figura 15</b> – Interruptor horário HAGER EH271, com ciclo semanal.....	36
<b>Figura 16</b> – BRE e BDP instaladas na cobertura da BCS.....	38
<b>Figura 17</b> – Programador horário digital HAGER EG20B, com ciclo semanal.....	38
<b>Figura 18</b> – Depósito de Inércia de Água Fria (DIAF), localizado ao ar livre, na cobertura da biblioteca.....	39
<b>Figura 19</b> – Temperatura, humidade relativa e consumo de uma CC, para o Depósito Ativo 1 da biblioteca, entre 16 e 21 de junho de 2016, com o funcionamento atual.....	41
<b>Figura 20</b> – Temperatura e humidade relativa no DA2, com CC desligada.....	42
<b>Figura 21</b> – Temperatura e humidade relativa no DA2, com CC em contínuo.....	42
<b>Figura 22</b> – Cobertura da BCS, com a identificação do espaço para a colocação dos painéis solares fotovoltaicos.....	44
<b>Figura 23</b> – Evolução do IEE, ao longo dos 8 anos do PRCE.....	46
<b>Figura 24</b> – Filtro entupido.....	50

<b>Figura 25</b> – Receção da BCS e local ótimo para colocação das grelhas de ventilação.....	51
<b>Figura 26</b> – Borracha anti vibração do CH, existindo quatro no total.....	51
<b>Figura 27</b> – Planta do piso -1.....	60
<b>Figura 28</b> – Planta do piso 0.....	61
<b>Figura 29</b> – Planta do piso 1.....	62
<b>Figura 30</b> – Planta da cobertura.....	63
<b>Figura 31</b> – Vista aérea do Pólo das Ciências da Saúde, com identificação da BCS.....	64
<b>Figura 32</b> – DDC de 14 de janeiro de 2015.....	74
<b>Figura 33</b> – DDC de 17 de janeiro de 2015.....	74
<b>Figura 34</b> – DDC de 24 de fevereiro de 2015.....	74
<b>Figura 35</b> – DDC de 29 de março de 2015.....	74
<b>Figura 36</b> – DDC de 9 de abril de 2015.....	75
<b>Figura 37</b> – DDC de 18 de abril de 2015.....	75
<b>Figura 38</b> – DDC de 21 de maio de 2015.....	75
<b>Figura 39</b> – DDC de 12 de junho de 2015.....	75
<b>Figura 40</b> – DDC de 27 de junho de 2015.....	76
<b>Figura 41</b> – DDC de 20 de julho de 2015.....	76
<b>Figura 42</b> – DDC de 11 de agosto de 2015.....	76
<b>Figura 43</b> – DDC de 19 de setembro de 2015.....	76
<b>Figura 44</b> – DDC de 1 de outubro de 2015.....	77
<b>Figura 45</b> – DDC de 18 de outubro de 2015.....	77
<b>Figura 46</b> – DDC de 16 de novembro de 2015.....	77
<b>Figura 47</b> – DDC de 20 de dezembro de 2015.....	77
<b>Figura 48</b> – Unidade de desumidificação do tipo <i>Close-Control</i> .....	87
<b>Figura 49</b> – Parâmetros medidos para funcionamento das CC por controlo horário.....	88
<b>Figura 50</b> – Parâmetros medidos para cinco dias com as CC desligadas.....	88
<b>Figura 51</b> – Parâmetros medidos para funcionamento contínuo das CC.....	89
<b>Figura 52</b> – Local previsto para instalação dos painéis fotovoltaicos.....	93
<b>Figura 53</b> – Painel policristalino de 250W.....	94
<b>Figura 54</b> – Inversor de 3kW escolhido.....	94

# Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> – Número total de equipamentos que consomem energia, instalados na BCS, distribuídos por tipo de equipamento e por piso.....	18
<b>Tabela 2</b> – Ciclo semanal definido pela ERSE para todos os fornecimentos de energia em Portugal Continental, aplicável para o fornecimento Média Tensão da BCS.....	19
<b>Tabela 3</b> – Resumo da tabela com a planificação das monitorizações previstas ao longo do trabalho, estando a tabela completa presente no apêndice B.....	25
<b>Tabela 4</b> – Consumo global do edifício em m <sup>3</sup> de gás natural e kWh de eletricidade e a soma do consumo mensal de gás e eletricidade em tep, ao longo do ano de referência.....	30
<b>Tabela 5</b> – Nº de luminárias instaladas em cada uma das salas da biblioteca com maior iluminação natural.....	33
<b>Tabela 6</b> – Período atual de funcionamento das CC.....	40
<b>Tabela 7</b> – MRE, respetivas poupanças e PRI.....	45
<b>Tabela 8</b> – Impacto das MRE no Indicador de Eficiência Energética.....	46
<b>Tabela 9</b> – Equipamentos instalados no piso -1.....	66
<b>Tabela 10</b> – Equipamentos instalados no piso 0.....	67
<b>Tabela 11</b> – Equipamentos instalados no piso 1.....	68
<b>Tabela 12</b> – Equipamentos instalados ao nível da cobertura.....	69
<b>Tabela 13</b> – Planificação das monitorizações realizadas.....	71
<b>Tabela 14</b> – Equipamentos a adquirir para esta MRE e respetivos custos.....	94

# Lista de Abreviaturas

**AVAC** – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

**BCS** – Biblioteca das Ciências da Saúde

**BCAL** – Bomba da Caldeira

**BCH** – Bomba do *Chiller*

**BDP** – Bomba dos Depósitos e Centro de Informática

**BRE** – Bomba dos Restantes Espaços

**CC** – *Close-Control*

**CEE** – Consumo Específico de Energia

**CH** - *Chiller*

**CIE** – Consumidor Intensivo de Energia

**DA1** – Depósito Ativo 1

**DA2** – Depósito Ativo 2

**DDC** – Diagrama Diário de Carga

**DGEG** – Direcção-Geral de Energia e Geologia

**DIAF** – Depósito de Inércia da Água Fria

**DP** – Depósito Passivo

**ERSE** – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

**GEE** – Gases de Efeito de Estufa

**IC** – Intensidade Carbónica

**IDE** – Indicadores de Desempenho Energético

**IE** – Intensidade Energética

**IEE** – Indicador de Eficiência Energética

**IPMVP** – International Performance Measurement and Verification Protocol (*Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético*)

**LGE** – Laboratório de Gestão de Energia

**M&V** – Medição e Verificação

**MRE** - Medidas de Racionalização de Energia

**PRCE** – Plano de Racionalização do Consumo de Energia

**PRI** – Período de Retorno do Investimento

**SEIp** – Sala de Estudo Individual pequena

**SEIg** – Sala de Estudo Individual grande

**SGCIE** – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

**SL** – Sala de Leitura

**STG** – Sala de Trabalhos de Grupo

**SUI** – Sala de Utilizadores de Informática

**UC** – Universidade de Coimbra

**UPS** – Uninterruptible Power Supply (*Fonte de Alimentação Ininterrupta*)

**UTA** – Unidade de Tratamento de Ar

**UTAN** - Unidade de Tratamento de Ar Novo

**UTASL** - Unidade de Tratamento de Ar da Sala de Leitura

**UTASUI** - Unidade de Tratamento de Ar da Sala de Utilizadores de Informática

**VAB** – Valor Acrescentado Bruto



# **1. Introdução**

## **1.1 - Motivação**

O tema de dissertação que me foi atribuído é “*Plano de Racionalização do Consumo de Energia da Biblioteca das Ciências da Saúde*”, edifício localizado no Pólo das Ciências da Saúde, ou Pólo III da Universidade de Coimbra (UC), sob orientação do Professor Doutor António Manuel de Oliveira Gomes Martins e coorientação do Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge, com início em outubro de 2015.

Este trabalho vem na sequência de outros Planos de Racionalização do Consumo de Energia, criados anteriormente por outros colegas do Laboratório de Gestão de Energia (LGE) do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (DEEC), para diferentes edifícios da Universidade de Coimbra.

Assim como os anteriores, visa criar condições para aumentar a eficiência na utilização da energia proveniente de diferentes fontes, reduzir consumos e, por consequência, custos associados ao consumo energético nas instalações da UC, estando este trabalho associado apenas à Biblioteca das Ciências da Saúde (BCS).

De fevereiro a setembro, houve uma entreaajuda para a execução deste trabalho entre o DEEC e o Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), nomeadamente de um colega (Nuno Branco) e de dois Professores, o Professor Doutor Adélio Gaspar e o Professor Doutor José Costa, com o objetivo de uma melhor compreensão dos problemas deste espaço a nível térmico, e não apenas do ponto de vista elétrico, possibilitando, desta forma, melhores decisões e um complemento importante à execução deste documento.

## **1.2 – Objetivos da dissertação**

O principal objetivo desta dissertação é a criação de um Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PRCE) visando a respetiva implementação na Biblioteca das Ciências da Saúde da Universidade de Coimbra, com vista à racionalização da utilização da energia neste edifício, melhorando assim a sua eficiência energética.

Com a elaboração deste plano, este trabalho visa estudar a possibilidade de adoção de melhorias relativamente à utilização da energia, mudança comportamental dos utilizadores desta biblioteca, e manutenção/controlo dos consumos energéticos ao longo dos anos seguintes, durante a implementação deste plano. Neste período, para garantir o acompanhamento da execução do PRCE, é sugerida a elaboração de relatórios de execução e progresso, tal como é estabelecido no Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE).

Este PRCE irá também dotar os responsáveis pela gestão de um documento de apoio a futuras decisões, quer a nível financeiro, quer a nível técnico. [1]

As Medidas de Racionalização de Energia (MRE) têm principal foco na iluminação, AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) e elevadores. As metas são criadas com base em indicadores energéticos, tais como Intensidade Energética (IE), Intensidade Carbónica (IC), Consumo Específico de Energia (CEE) e Indicador de Eficiência Energética (IEE), que irão ser explanados em detalhe no capítulo 2. Este PRCE foi realizado com base nos mesmos critérios seguidos pelos Planos de Racionalização do Consumo de Energia da Faculdade de Farmácia e do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

### **1.3 – Estrutura**

Esta dissertação divide-se em seis capítulos: Introdução, Enquadramento, Edifício da Biblioteca das Ciências da Saúde, Plano de Racionalização do Consumo de Energia, Melhorias nos sistemas AVAC, Conclusão e trabalho futuro, além das Referências Bibliográficas, Índice, Anexos e Apêndices.

O capítulo 1 apresenta uma breve introdução a este trabalho, seguindo-se um resumo dos principais objetivos e, por fim, a estrutura do documento.

O capítulo 2 pretende enquadrar o tema apresentado nesta dissertação, descrevendo alguns conceitos essenciais à compreensão deste trabalho, nomeadamente os objetivos de um PRCE e os passos a realizar para a criação de um plano de Medição e Verificação (Plano M&V), de acordo com as regras estabelecidas pelo Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP<sup>1</sup>).

O capítulo 3 apresenta a caracterização do edifício da Biblioteca das Ciências da Saúde, principais consumidores de energia e principais salas e respetiva ocupação. Além disso, mostra a evolução dos consumos energéticos e a faturação anual dos últimos anos.

O capítulo 4 é o principal capítulo desta dissertação, onde é exposto, de uma forma detalhada, o Plano de Racionalização do Consumo de Energia.

O capítulo 5 complementa o PRCE, com medidas que podem influenciar diretamente o consumo e os custos da BCS, mas propõe melhorias a nível do sistema de AVAC do edifício.

O capítulo 6 mostra as conclusões retiradas deste trabalho e apresenta propostas de trabalho futuro.

Depois do capítulo 6 são apresentadas as Referências Bibliográficas utilizadas ao longo deste trabalho e os Anexos e Apêndices.

<sup>1</sup> A abreviatura é apresentada, em toda a literatura, em inglês, daí apenas se encontrar esta sigla no seguimento do trabalho.



## **2. Enquadramento**

## 2.1 – Planos de Racionalização

Um Plano de Racionalização do Consumo de Energia é um documento criado por uma pessoa ou entidade, associado a uma instalação ou edifício, que deve respeitar um conjunto de regras impostas por entidades reguladoras do setor energético e tendo como principal objetivo **uma melhoria na utilização da energia**. A sua criação e implementação são obrigatórias para consumidores que tenham um consumo, correspondente ao consumo energético do ano civil anterior, que ultrapasse o limite de 500 toneladas equivalentes de petróleo por ano (tep/ano), considerando-se assim a instalação como um Consumidor Intensivo de Energia (CIE), com exceção das instalações de cogeração. No caso do edifício da Biblioteca das Ciências da Saúde do Pólo III, foco principal desta dissertação, o consumo energético não atinge esse limite, mas considera-se, para efeitos de elaboração do PRCE respeitando as obrigatoriedades regulamentares, que o edifício é um CIE.

Este plano é criado com base no Decreto-Lei nº 71/2008, de 15 de abril, que regula o SGCIE e que promove a eficiência energética para instalações industriais e de serviços. Devem também ser assegurados quatro pontos essenciais na sua estrutura:

- Planificação das auditorias energéticas realizadas no edifício/instalação e respetivos relatórios;
- Metas a atingir para alguns Indicadores de Desempenho Energético (IDE), nomeadamente para o Indicador de Eficiência Energética (IEE), Intensidade Carbónica (IC), entre outros;
- Medidas de Racionalização de Energia que permitam a melhoria da eficiência energética do edifício/instalação;
- Possível impacto económico destas medidas, ao longo de um determinado período de tempo. [2]

## 2.2 – Indicadores de Desempenho Energético

Segundo o Artigo 7º do Decreto-Lei 71/2008, de 15 de abril, que regulamenta o SGCIE, a Intensidade Energética é dada pelo quociente mostrado em (1), assim como o Consumo Específico de Energia é dado pelo quociente mostrado em (2) e a Intensidade Carbónica pelo quociente mostrado em (3). De acordo com esta legislação, tem que se verificar uma melhoria nos valores da IE e do CEE e uma melhoria ou manutenção dos valores da IC, tendo estas melhorias diferentes valores de redução percentual de acordo com o tipo de instalações estudadas.

Entre 500 tep/ano e 1000 tep/ano de consumo energético anual para um determinado edifício, teremos de verificar uma redução dos IDE referidos de pelo menos 4% em oito anos.

Para uma instalação CIE cujo valor de consumo energético anual seja igual ou superior ao limite de 1000 tep/ano, as metas a atingir para o CEE e a IE, quando aplicável, deverão ser no mínimo 6% ao longo de seis anos. [2]

### 2.2.1 – Intensidade Energética

Este indicador é calculado através do quociente entre o consumo total de uma instalação industrial e o respetivo Valor Acrescentado Bruto, ou o consumo total da instalação e o seu volume de produção: [2]

$$\text{Intensidade Energética (IE)} - \frac{\text{Consumo Total de Energia (tep)}}{\text{Valor Acrescentado Bruto (€)}} \quad (1)$$

Como a BCS é um edifício de serviços, não lhe é aplicável este indicador.

### 2.2.2 – Consumo Específico de Energia

Para o cálculo do CEE, utiliza-se o quociente entre o consumo total da instalação e o respetivo volume de produção (por unidade): [2]

$$\text{Consumo Específico de Energia (CEE)} - \frac{\text{Consumo Total de Energia (tep)}}{\text{Produção}} \quad (2)$$

Visto que para o edifício da BCS não se conseguem definir valores de unidade de produção, usa-se alternativamente o IDE que é apresentado no ponto 2.2.4.

### 2.2.3 – Intensidade Carbónica

No que à IC diz respeito, esta é representada pelo quociente das emissões de gases de efeito de estufa (GEE), neste caso CO<sub>2</sub>, resultantes da utilização das diversas fontes de energia da BCS, e o consumo total de energia do edifício, em tep.

$$\text{Intensidade Carbónica (IC)} - \frac{\text{Emissões GEE (kgCO}_2\text{)}}{\text{Consumo Total de Energia (tep)}} \quad (3)$$

De acordo com o decreto-lei em vigor, deverá verificar-se, no mínimo, uma manutenção deste valor ao longo do período associado ao PRCE, sendo qualquer diminuição sempre valorizada. [2]

## 2.2.4 – Indicador de Eficiência Energética

Como verificado anteriormente, os IDE mostrados nas subsecções 2.2.1 e 2.2.2, respetivamente a IE e o CEE, não são fáceis de calcular para um edifício como uma biblioteca, e, por conseguinte, há a necessidade de utilizar um outro indicador, denominado Indicador de Eficiência Energética (IEE), cuja equação pode ser dada por:

$$\text{IEE} = \frac{\text{Consumo Total Anual de Energia (kWh ou tep)}}{\text{Área útil do edifício (m}^2\text{)}} \quad (4)$$

Para este indicador temos, portanto, de saber a área interior útil do pavimento, sendo ele expresso em unidades de energia primária consumida pela instalação em um ano, em kilowatt hora (kWh) ou tep, por metro quadrado. [3]

## 2.3 – Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético

### 2.3.1 - IPMVP

Este protocolo, criado pela Organização Não Governamental denominada *Efficiency Valuation Organization*, tem o intuito de construir um guia para a utilização e consumo eficientes de energia e água, possibilitando assim incentivar empresas e organizações a investir na área da eficiência energética. Através da criação de planos de Medição e Verificação (Planos *M&V*), e de acordo com o IPMVP, é possível determinar para uma instalação a poupança real obtida, não por medição direta, visto ser impossível medir diretamente a energia poupada, mas sim pela diferença do consumo medido antes e depois da implementação de um projeto de eficiência energética, podendo sempre ser realizados alguns ajustes no caso de se verificar a existência de falhas ou alterações não esperadas no consumo energético. O consumo medido antes da implementação de uma Medida de Racionalização de Energia (MRE) é considerado **consumo de energia de referência** e o medido depois denomina-se **consumo de energia de reporte**. [4]

### 2.3.2 – Conceção e objetivos de *M&V*

O processo de conceção de um Plano *M&V* passa pelas seguintes etapas:

1. Considerar as necessidades de medição do utilizador e definir as técnicas de medição a aplicar, tendendo as técnicas de medição isoladas a ser as mais apropriadas no caso particular da aplicação de MRE;

2. No desenvolvimento das MRE, seguir a opção do IPMVP que seja mais coerente com o objetivo da MRE, tendo em conta as necessidades de precisão nas medições em relação ao orçamento previsto no Plano *M&V*;
3. Definir a duração do período do consumo de referência e do período de reporte;
4. Registrar um conjunto de dados importantes sobre a energia e o funcionamento durante o período do consumo de referência para a instalação ou para a parte dela que irá ser abrangida pelas medições;
5. Criar o Plano *M&V* com base na informação retirada dos quatro pontos anteriores, de modo a poder guiar os quatro passos seguintes;
6. Preparar e instalar qualquer tipo de equipamento especial que seja necessário pôr a funcionar, de acordo com o estabelecido no Plano;
7. Após o início de funcionamento da MRE, inspecionar todo o equipamento instalado e garantir que está em conformidade com o previsto na conceção do Plano *M&V*;
8. Registrar dados sobre a energia e funcionamento durante o período de reporte;
9. Calcular poupanças de energia e reportá-las, de acordo com o Plano. [4]

As atividades de *M&V* incluem algumas ou todas as seguintes ações:

1. Instalação, calibração e manutenção de contadores;
2. Recolha e tratamento de dados;
3. Desenvolvimento de um método de cálculo e estimativas aceitáveis;
4. Cálculos com dados medidos;
5. Reporte, garantia de qualidade e verificação de relatórios por terceiros.

Alguns dos objetivos das técnicas de *M&V* passam por:

1. Aumento da poupança energética das instalações estudadas;
2. Maiores financiamentos em projetos de eficiência energética, resultado da transparência dos resultados dos investimentos feitos nesta área;
3. Melhorias em projetos de engenharia, funcionamento e manutenção de instalações, podendo até ser útil para a conceção de projetos futuros;
4. Melhor compreensão do público em geral da importância da gestão eficiente de energia;
5. Ajudar à gestão de topo a gerir a utilização da energia, conseguindo explicar variações orçamentais e até avaliar o impacto de projetos de eficiência. [4]

### **2.3.3 - Períodos de medição**

O período de consumo de referência e o período de consumo de reporte devem ser cuidadosamente selecionados, de acordo com estratégias específicas para cada um deles.

O **Período de Consumo de Referência** é definido como o período de tempo antes da implementação de uma MRE, durante o qual é medido o consumo de energia, e que deve obedecer às seguintes regras:

- Abranger um ciclo de funcionamento completo desde o consumo máximo ao consumo mínimo de energia, de forma a representar todos os modos de funcionamento da instalação (tipicamente um ano inteiro);
- Representar, da melhor forma possível, todas as condições do ciclo de funcionamento normal da instalação, não sendo por isso aceitável que este período seja muito distante da data de implementação da MRE;
- Coincidir com o período imediatamente antes da implementação da ação corretiva, de modo a refletir fidedignamente as condições de funcionamento da instalação. [4]

O **Período de Consumo de Reporte** é definido como o período de tempo após a implementação da MRE e tem de ter, no mínimo, a duração de um ciclo de funcionamento normal da instalação, permitindo caracterizar a efetividade da poupança relativa a todos os modos de funcionamento normais. Além disso, a duração deste período deve ter em consideração a duração da MRE e a probabilidade de “degradação” da poupança ao longo do tempo. Após este período, pode-se também manter o sistema de contagem ativo, de maneira a permitir fornecer informação aos responsáveis pela gestão da instalação. [4]

### **2.3.4 - Fronteiras de medição**

Devem ser estabelecidas fronteiras de medição de acordo com o tipo de objetivos dos relatórios de poupança que se pretendem:

- Para a medição de apenas um equipamento afetado pelo programa de poupança, criam-se fronteiras de medição em torno desse equipamento;
- Se o objetivo for a gestão dos consumos para uma instalação no seu todo, a fronteira deverá englobar toda a instalação;
- Se os dados presentes nos períodos referidos na subsecção 2.3.3 não estiverem disponíveis ou se não forem coerentes, podem-se substituir estes dados por outros provenientes de um programa de simulação calibrado, sendo neste caso a fronteira de medição estabelecida em conformidade com isso. [4]

### 2.3.5 – Cálculo da poupança e respetivos ajustes

A poupança de energia de uma instalação ou de parte dela é calculada pela diferença de consumo medido antes e após a implementação das MRE propostas, ou seja, pela diferença de consumos no Período de Consumo de Referência (CRef) e no Período de Consumo de Reporte (CRep), como mostra a expressão seguinte:

$$Poupança = (Consumo CRef - Consumo CRep) \pm Ajustes \quad (5)$$

Os ajustes referidos na equação 5) podem ser de dois tipos:

- **Ajustes periódicos** – relativos a fatores que regem a energia, ou seja, alterações que já fossem previsíveis para o período de consumo de reporte, como por exemplo o clima, o horário de funcionamento do edifício, o volume de produção, entre outros;
- **Ajustes não-periódicos** – quando os fatores são regidos pela energia, não se estando à espera que se verifiquem determinadas alterações, como por exemplo: o tamanho da instalação, o número semanal de turnos de produção ou o tipo de ocupantes. Estes fatores devem ser monitorizados ao longo do período de consumo de reporte para evitar alterações inesperadas. [4]

### 2.3.6 – Opções de IPMVP

Os consumos referidos na expressão 5) podem ser medidos por diversos métodos:

- Através das faturas energéticas das empresas que fornecem energia elétrica ou algum combustível específico ou através da leitura dos seus contadores;
- Através da leitura de contadores especiais que isolem a MRE ou parte da instalação;
- Medições separadas de parâmetros chave usados no cálculo do consumo energético;
- Simulação calibrada efetuada por um programa de computador, com a utilização de alguns dados sobre o desempenho energético real da instalação. [4]

Para definir a opção de IPMVP que se vai utilizar no plano M&V, têm que se ter em conta diversos fatores: fronteiras e métodos de medição, custos e níveis de precisão necessários.

O IPMVP fornece assim quatro opções para a determinação da poupança:

- Opção A: Medição Isolada da MRE – Medição dos parâmetros chave
- Opção B: Medição Isolada da MRE – Medição de todos os parâmetros
- Opção C: Toda a Instalação
- Opção D: Simulação Calibrada

### Opção A

Nesta opção do IPMVP são medidos, no terreno, parâmetros específicos do desempenho energético para efetuar o cálculo da poupança, permitindo definir o consumo de energia dos sistemas onde foram implementadas MRE e também o sucesso destas intervenções. A frequência das medições depende da duração do período de consumo de reporte e de possíveis variações do parâmetro respetivo.

Nesta opção, os parâmetros que não são medidos serão estimados com base em dados históricos ou especificações dos fabricantes. A opção A é tipicamente utilizada em MRE de iluminação onde o parâmetro chave pode ser a energia requerida pelo sistema de iluminação com medições periódicas e é a opção que acarreta menores custos para determinação da poupança, visto que o custo associado a estimativas de parâmetros é normalmente muito inferior ao custo de medição do próprio parâmetro. [4]

### Opção B

Nesta opção, a poupança é determinada através da medição no terreno do consumo de energia associado à implementação da MRE, sendo fundamental incluir todos os parâmetros necessários ao cálculo do consumo. Quanto maior o número de parâmetros a medir, mais complexa será a medição e, daí, mais dispendiosa. Todavia, para cargas menos constantes, esta opção é mais adequada do que a Opção A e os maiores custos poderão ser justificados perante resultados mais precisos.

A opção B é tipicamente utilizada para situações em que a medição de todos os parâmetros demonstra ser menos dispendiosa do que, por exemplo, na opção D, e quando a poupança ou as operações dentro da fronteira de medição respetiva são variáveis. [4]

### Opção C

Uma medição para toda a instalação é utilizada na opção C, com o objetivo de obter o cálculo da poupança global da instalação. Neste caso apenas se efetuam medições contínuas do consumo de energia de toda a instalação no período de reporte, sendo para tal usados os contadores já instalados das empresas fornecedoras de energia ou instalados contadores da entidade responsável pelo plano M&V da instalação.

Esta opção destina-se a projetos onde a poupança esperada é grande e permite criar uma relação entre a poupança e o conjunto de todas as MRE implementadas. Além disso, ao usar todos os contadores energéticos da instalação, a poupança reportada por esta opção inclui todos os efeitos negativos e positivos das alterações feitas na instalação e que não estão abrangidas pelas MRE.

Para que haja um controlo dos parâmetros que se pretendem analisar, são necessárias inspeções periódicas aos equipamentos utilizados, durante o período de reporte, para garantir um funcionamento eficaz dos métodos incluídos nas MRE. [4]

#### Opção D

A opção D do IPMVP é referente à simulação calibrada, através de um programa informático, para calcular a estimativa de poupança de cada MRE proposta pelo plano M&V e permitir assim avaliar o desempenho energético global da instalação. [4]



### **3. Edifício da Biblioteca das Ciências da Saúde**

### 3.1 – Caracterização geral do edifício

A Biblioteca das Ciências da Saúde da Universidade de Coimbra situa-se no Pólo das Ciências da Saúde. Iniciou a sua atividade em fevereiro de 2009, integrando-se no grupo de Grandes Edifícios de Serviços (GES), visto ter uma área de pavimento superior a 1000 m<sup>2</sup> (área total de 2394 m<sup>2</sup>) e ter sido efetuado o seu licenciamento em fevereiro de 2002. [5]

O edifício está dividido em 4 pisos, nomeadamente o piso -1, piso 0, piso 1 e cobertura, cobrindo uma área total útil de aproximadamente 2400 m<sup>2</sup>.

O **piso -1**, com uma área útil de 920 m<sup>2</sup>, é constituído por arquivos, duas salas de depósitos ativos de livros, uma sala de depósitos passivos, o armazém de consumíveis, três gabinetes, sala de apoio técnico, uma sala para o Quadro Elétrico Parcial deste piso e instalações sanitárias.

O **piso 0**, onde se encontra a entrada principal do edifício, tem uma área útil de 600 m<sup>2</sup> e possui duas salas de estudo, a *Sala de Trabalhos de Grupo* (STG) e a *Sala de Utilizadores de Informática* (SUI), além de uma sala de Audiovisuais, uma sala de reuniões, gabinetes da Direção, sala de atendimento/catálogos, uma sala de arrumos, o centro de informática (*data center* da Biblioteca), uma divisória apenas para o Quadro Elétrico Geral e para um Quadro Parcial do piso 0, a receção, instalações sanitárias e uma área descoberta do edifício, na zona da entrada principal, com máquinas dispensadoras de snacks e de café (habitualmente designadas máquinas de *vending*).

O **piso 1**, com uma área útil de 810 m<sup>2</sup>, abrange diversas salas de estudo, incluindo a sala com maior área de toda a biblioteca, denominada *Sala de Leitura* (SL), assim como duas *Salas de Estudo Individual* (SEI pequena e SEI grande), a *Sala de Revistas* (SR), uma sala de arrumos, dois gabinetes de investigação, a sala de reservados e duas pequenas divisões para dois Quadros Elétricos Parciais do piso 1.

O **piso da Cobertura**, com uma área total de 70 m<sup>2</sup>, apenas é utilizado para espaços técnicos, com uma área reservada ao Quadro Elétrico da Cobertura e a outro quadro que contém um autómato, para o controlo das Unidades de Tratamento de Ar (UTA) e de outros equipamentos, uma área reservada para a Caldeira, uma apenas para tubagens e bombas estando o resto da área da Cobertura ao ar livre onde estão instalados um *chiller* (CH) e três unidades de tratamento de ar: Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN); Unidade de Tratamento de Ar da Sala de Leitura (UTASL); e a Unidade de Tratamento de Ar da Sala de Utilizadores de Informática (UTASUI).

Para uma melhor compreensão do edifício e dos seus espaços, encontram-se no anexo I as plantas de cada piso, com a devida caracterização e legendas, assim como a disposição dos principais equipamentos consumidores de energia instalados na biblioteca. [6]

### 3.1.1 – Principais salas de estudo

Existem na BCS seis salas destinadas principalmente a alunos, distribuídas pelos pisos 0 e 1. Destas seis salas, a STG, com 48 lugares, e a SUI, com 53 lugares e 20 computadores, são as únicas que se encontram no piso 0.

No piso 1 encontram-se as outras quatro salas já mencionadas, a SL com 144 lugares, a SR com 32 lugares, e as duas salas de estudo individuais, a SEI pequena e a SEI grande (SEIp e SEIg), com 24 e 48 lugares, respetivamente.

No total, existem perto de 350 lugares sentados em toda a biblioteca, sendo a utilização média diária de cada sala de estudo, para o ano civil de 2015, representada no gráfico seguinte: [7]

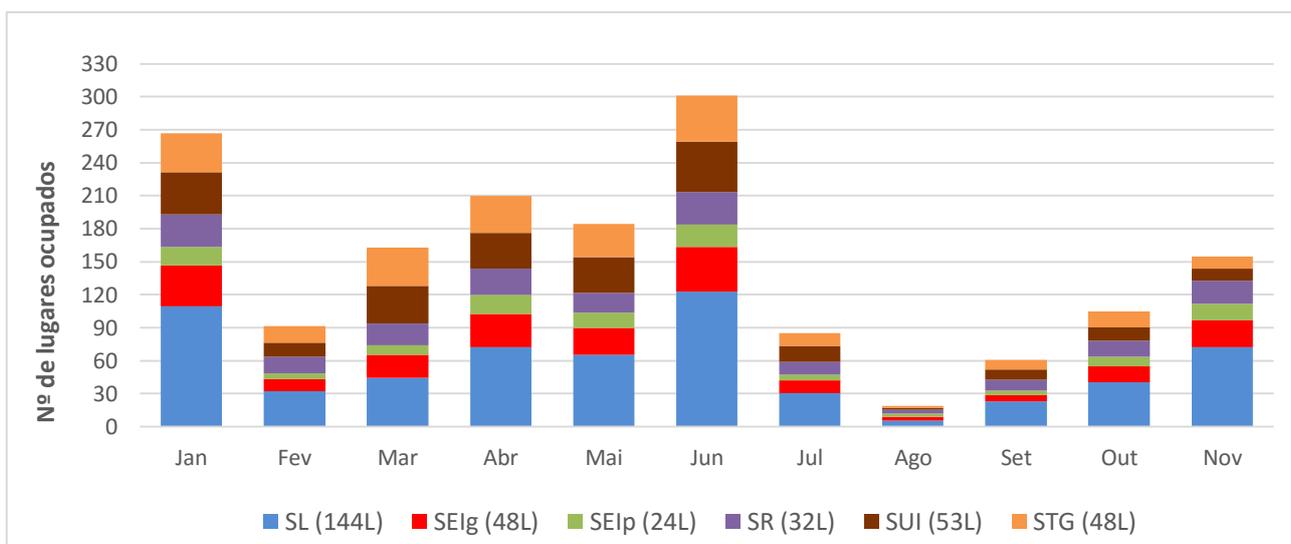


Fig. 1 – Utilização média diária das 6 principais salas de estudo, entre janeiro e novembro de 2015

Em termos percentuais, verificou-se no ano de 2015 uma utilização destas principais salas de estudo da BCS de aproximadamente 85% para o mês de junho, 60-75% para os meses de janeiro e abril, 50-55% para os meses de março e maio, 45% para o mês de novembro e de 20 a 30% para os meses de fevereiro, julho, setembro e outubro. Em agosto a BCS encontra-se encerrada normalmente entre duas a três semanas.

### 3.1.2 – Equipamentos consumidores de energia

Os equipamentos com maior impacto no consumo global do edifício são maioritariamente associados ao sistema de climatização da biblioteca (AVAC), sendo a iluminação presente em toda a BCS pouco relevante relativamente aos elevados valores do consumo energético deste edifício. Além destes dois tipos de equipamentos, há ainda um elevador presente no edifício, normalmente utilizado apenas por funcionários, duas fotocopiadoras na sala de Atendimento/Catálogos, computadores, um frigorífico, máquinas de *vending*, entre outros.

**Tabela 1 – Todos os equipamentos consumidores de energia, distribuídos por piso e tipo**

<b>Tipo de equipamento \ Piso</b>	<b>Piso -1</b>	<b>Piso 0</b>	<b>Piso 1</b>	<b>Cobertura</b>
Ar-Condicionado	-	2	-	-
Caldeira	-	-	-	1
<b>Chiller</b>	-	-	-	1
Computador	5	29	3	-
<b>Desumidificadores</b>	3	-	-	-
<b>Electrobombas</b>	-	-	-	10
Fotocopiadora	-	2	-	-
Frigorífico	1	-	-	-
Luminária	243	223	264	3
UPS	-	1	-	-
<b>UTA</b>	-	-	-	3
<i>Vending</i> Café	-	3	-	-
<i>Vending</i> Snacks	-	2	-	-
Ventilador	7	1	-	-
Ventiloconvector	4	10	6	-

Os equipamentos que se encontram marcados a negrito, na tabela acima, representam, em conjunto, normalmente mais de 50% do consumo total anual de energia elétrica na BCS, tendo sido os sistemas mais pormenorizadamente estudados ao longo deste trabalho. Uma tabela mais detalhada, com informação da potência de cada um dos equipamentos, o local onde cada um está instalado e algumas notas sobre o tipo de funcionamento de uma grande parte deles, é apresentada no apêndice A.

Dos equipamentos referidos na tabela 1, a caldeira e o *chiller* (CH) são os únicos que têm um funcionamento sazonal, sendo a caldeira utilizada nos meses que apresentam temperaturas exteriores mais reduzidas e o CH para meses mais quentes. A UPS é uma unidade que está ligada ininterruptamente na sala do centro de informática, para evitar falhas de alimentação no *data center* presente na biblioteca. As máquinas de *vending* de café e snacks são uma concessão de uma empresa externa à UC, que paga uma renda por usufruir do espaço da biblioteca, de forma a compensar os custos associados aos consumos energéticos destes equipamentos. Os desumidificadores são utilizados nos depósitos de livros, que se encontram no piso -1, e são em forma de armário do tipo *Close-Control* (CC). Os restantes equipamentos têm um número de horas de utilização muito diverso, estando até alguns destes desativados uma parte do ano, como é o caso de ventiladores, luminárias e por vezes alguns computadores.

### 3.2 – Contrato de fornecimento de energia

Em relação ao contrato de fornecimento de energia com a empresa do setor energético que comercializa energia, existe para o Pólo III um contrato único com a Galp Power S.A., tanto para o fornecimento de gás natural, como para o fornecimento de eletricidade, fornecendo este contrato energia às seguintes unidades instaladas no Pólo das Ciências da Saúde: Faculdade de Medicina, Faculdade de Farmácia, Serviços de Ação Social da UC, o Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde (ICNAS), a BCS e a reitoria.

O fornecimento de energia elétrica é em Média Tensão, sendo definida uma tarifa tetra-horária com ciclo semanal, de acordo com os períodos definidos na tabela 2. [8]

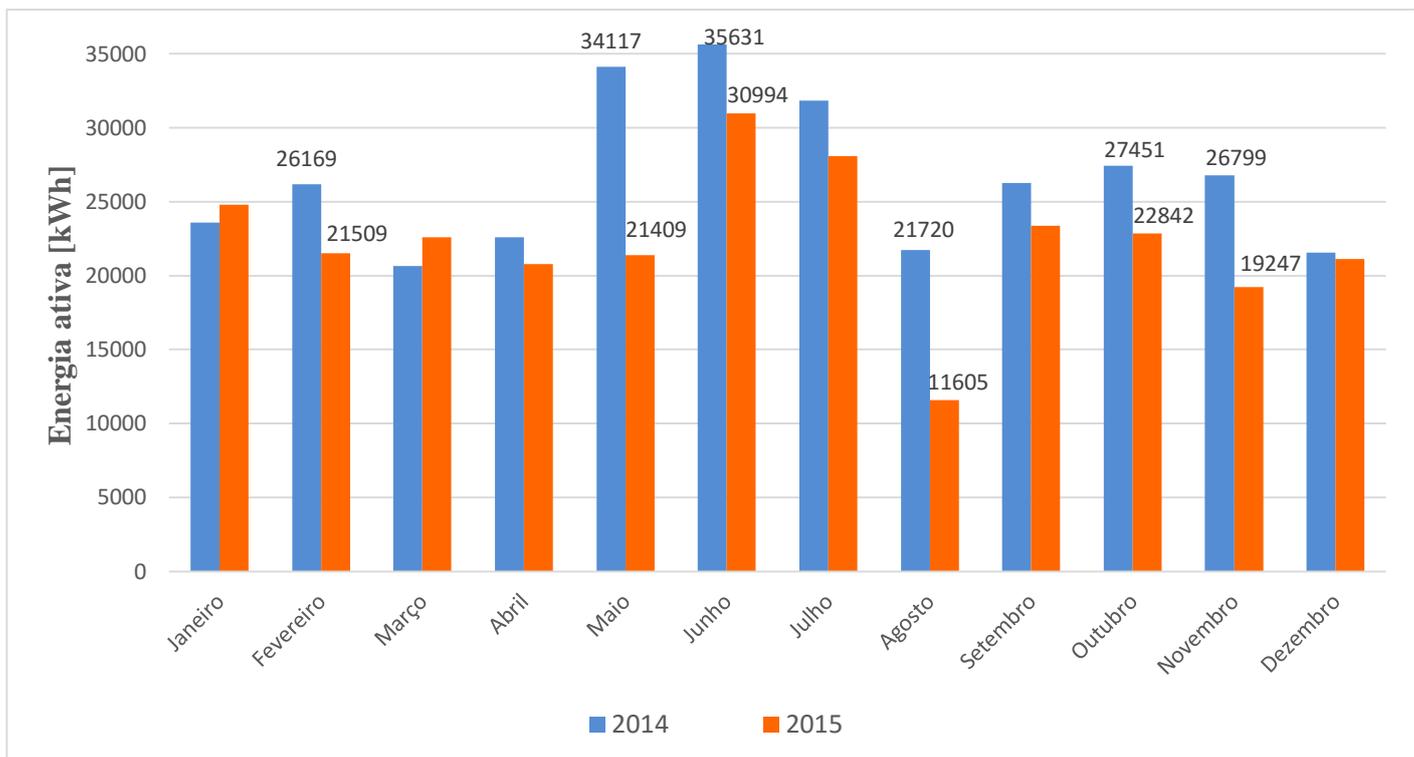
**Tabela 2 – Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental**

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Esta tabela foi retirada do portal da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), que define os períodos representados na figura 3, divididos entre inverno e verão, e desagregados por dia útil, sábado e domingo.

### 3.3 – Historial de consumos e de faturação

Tendo sido neste trabalho utilizado como ano de referência o ano civil de 2015, torna-se necessário entender o historial de consumos, para cada mês, dos anos de 2014 e 2015, com o intuito de apresentar as alterações verificadas no consumo energético de eletricidade desta instalação, como se pode ver no gráfico seguinte: [9]



**Fig. 2 – Consumo mensal de energia ativa da BCS, nos anos 2014 e 2015, em kWh**

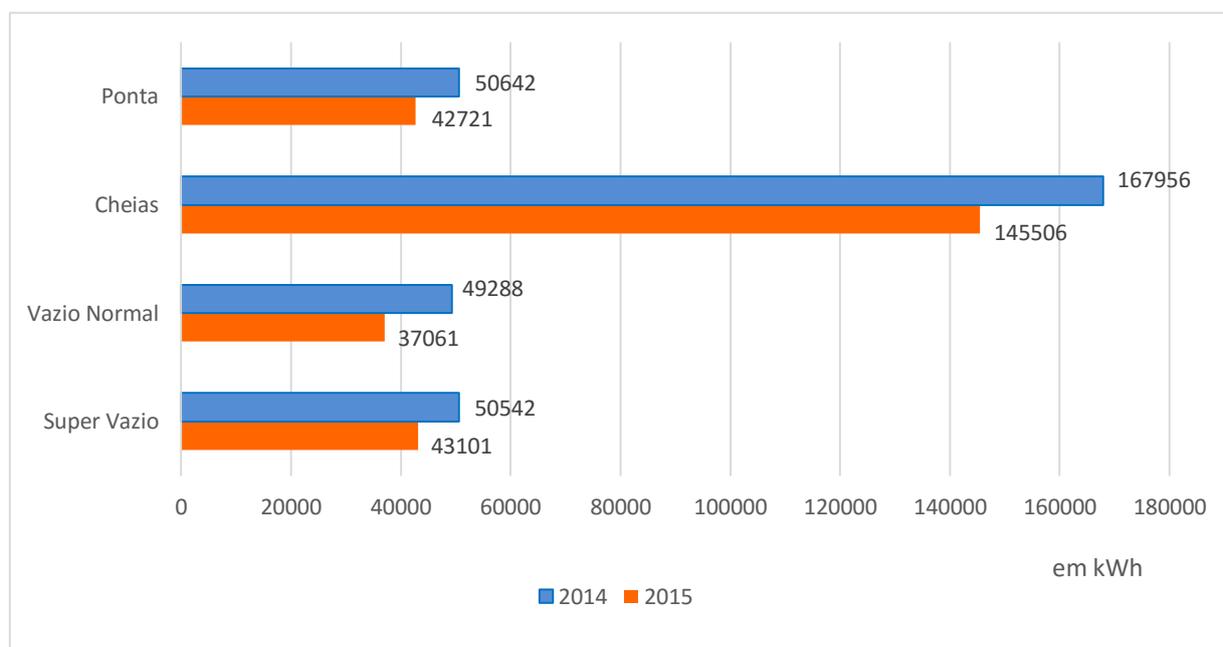
Através do gráfico presente na figura 2, onde se vê a azul o consumo para o ano de 2014 e a laranja o consumo de eletricidade para o ano de 2015, podemos concluir que as barras do gráfico que se encontram rotuladas são os meses onde ocorreram maiores alterações, nomeadamente os meses de fevereiro, maio, junho, agosto, outubro e novembro, tendo-se verificado a maior diferença no mês de maio, com uma diminuição de aproximadamente 12700 kWh de 2014 para 2015. Para o ano de referência, 2015, também é de notar que os meses com maiores consumos de eletricidade foram os meses de junho e julho, quase atingindo os 31000 kWh e 28000 kWh, respetivamente.

Os maiores consumos de eletricidade entre os meses de maio e julho são justificados pela utilização de uma unidade de climatização CH presente na cobertura do edifício, que é o equipamento com maior potência instalada e maior impacto no consumo global da BCS, sendo este ligado quando a caldeira é desligada e vice-versa, com um período de funcionamento de cada equipamento de aproximadamente seis meses.

O CH funciona geralmente entre abril/maio e outubro e a caldeira no restante período do ano. A ação de ligar e desligar este equipamento é atualmente realizada por um técnico da empresa Electroclima, que é chamado ao local quando necessário, sendo o CH desligado no final do mês de julho e religado normalmente na terceira semana de agosto, correspondendo ao período durante o qual a BCS se encontra encerrada.

Os menores consumos verificados nos meses de novembro, dezembro, fevereiro e março, representados na figura 2, são justificados pela não utilização do CH neste período e devido ao facto de o consumo de gás natural da caldeira não estar representado neste gráfico, sendo analisado com mais detalhe no capítulo 4 desta dissertação.

Na figura 3 são apresentados os consumos de energia ativa da biblioteca, desagregados de acordo com os períodos horários associados à tarifa em vigor neste edifício: [9]



**Fig. 3 – Consumo anual de energia ativa, desagregado por período horário, em 2014 e 2015**

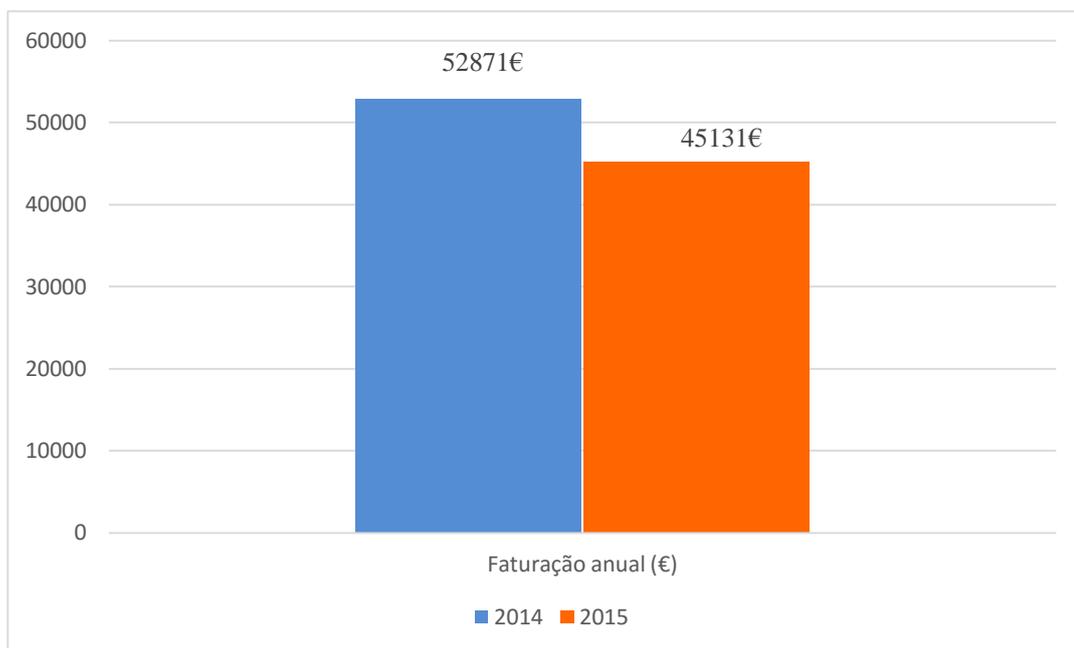
Verifica-se uma diminuição do consumo anual de energia nos quatro períodos horários, representando cerca de 15% de redução para os períodos de horas de ponta e horas de super vazio, de 25% para o período de vazio normal e de pouco mais de 13% para o período de maior consumo, o período de horas cheias. Isto mostra que de 2014 para 2015 houve uma maior preocupação com a poupança nos consumos energéticos desta instalação, esperando-se, com a aplicação deste PRCE, que continue esta tendência nos anos subsequentes ao ano de referência.

O elevado consumo em horas de super vazio no ano de 2014 e 2015, quando comparado com os outros períodos horários, deve-se à utilização das unidades *Close-Control* controladas de forma temporizada, com programação horária para apenas trabalharem entre as 3h e as 6h da manhã (coincidindo com o período de super vazio) e em dias úteis também entre as 15h e as 16:30h. Estas unidades de climatização são utilizadas para desumidificar os depósitos dos livros, no piso -1, sendo o seu funcionamento analisado com maior detalhe no capítulo 4 desta dissertação.

No que diz respeito à faturação da BCS, esta representou 11,4% da fatura do Pólo III, em 2014, e no primeiro semestre de 2015 cerca de 9,5% da faturação global.

No segundo semestre de 2015, não tendo sido possível aceder aos dados de faturação dos outros edifícios do Pólo III, não foi calculada a importância relativa da BCS na fatura global.

A faturação anual da BCS para os anos de 2014 e 2015 é mostrada no gráfico da figura 4: [9]



**Fig. 4 – Faturação de energia elétrica nos anos 2014 e 2015**

Como se pode observar na figura 4, a diminuição dos consumos de 2014 para 2015, presente nos gráficos das figuras 2 e 3, reflete-se numa diminuição de 7740 € nos custos da energia elétrica de 2014 para 2015, representando uma poupança económica de 14,64%.

## **4. Plano de Racionalização do Consumo de Energia**

Neste capítulo são expostos, com o maior detalhe e precisão possíveis, todos os aspetos mais importantes que definem o PRCE, como as auditorias realizadas e caracterização do consumo do edifício, MRE propostas para implementação futura, assim como poupanças e alterações que essas medidas irão proporcionar. Além disso, é sugerido, numa das secções deste trabalho, um cronograma para a implementação destas MRE, e de seguida medidas passíveis de serem exploradas em detalhe, num trabalho futuro.

## **4.1 – Plano de racionalização**

Para a realização eficaz deste plano, foram essenciais diversas ações, tais como:

- O reconhecimento da instalação, do tipo de utilização de cada local e dos equipamentos consumidores de energia;
- O contacto com os funcionários da BCS e membros da direção, de forma a obter aprovação para circular por todos os espaços da biblioteca e esclarecimento de dúvidas que foram surgindo ao longo do trabalho;
- As diversas medições realizadas, de acordo com as regras de segurança conhecidas, tendo os seus resultados sido fundamentais para a caracterização dos consumos associados aos equipamentos utilizados na BCS;
- A realização das auditorias energéticas usando, para isso, valores retirados das medições efetuadas e do tratamento posterior desses dados;
- As visitas ao Serviço de Gestão do Edificado, Segurança e Ambiente da UC, que possibilitaram o acesso a dados de consumo obtidos pelos contadores de energia instalados no Pólo III;
- O trabalho conjunto com o DEM, que garantiu melhor análise de resultados no que diz respeito à qualidade do ar, tendo sido importante para a análise e conclusões relativos a uma das MRE propostas.

O período de consumo de referência definido para este PRCE foi o ano civil de 2015, de janeiro a dezembro. Toda a parte prática deste trabalho foi concluída até julho de 2016, no entanto não foi possível aceder a dados de consumo e faturação de determinados meses de 2016. De qualquer modo, todo o trabalho realizado no primeiro semestre de 2016 e que é aqui demonstrado, é análogo ao que se verificou para os mesmos meses no período de consumo de referência, principalmente no que concerne ao tipo de funcionamento dos principais equipamentos consumidores de energia.

## 4.2 – Auditorias

Tendo já sido realçada, na secção 4.1, a importância da auditoria energética para a execução deste plano, importa agora detalhar a auditoria energética realizada e os objetivos pretendidos. Para este trabalho, a auditoria energética baseou-se principalmente em:

- Visualizar e inspecionar os equipamentos instalados na biblioteca, nomeadamente os que são considerados os principais consumidores de energia;
- Efetuar um estudo acerca do impacto que estes têm sobre o consumo global do edifício e o regime de utilização dos mesmos;
- Quantificar os consumos energéticos destes equipamentos, efetuando as medições necessárias;
- Obter diagramas de carga dos principais sistemas, permitindo facilitar a análise dos consumos energéticos através de gráficos;
- Calcular IDE e prever medidas a implementar com vista à redução da fatura energética e melhoria da eficiência energética da BCS. [10]

### 4.2.1 – Planificação das monitorizações

Após a inspeção dos equipamentos instalados no edifício e a seleção daqueles cujo consumo e modo de utilização seriam passíveis de ser melhorados, foi necessário planificar, logo desde o início, o trabalho de campo que iria ser realizado, tais como os sistemas que iriam ser objeto de monitorizações, que parâmetros iriam ser monitorizados e que tipo de aparelhos iriam ser utilizados para obter essa informação. Além disso, tornou-se essencial complementar esta planificação incluindo a duração prevista para cada medição e a ordem pela qual iriam ser realizadas, com a finalidade de avaliar a influência da sazonalidade na utilização de cada sistema, e conseqüentemente no consumo dos próprios equipamentos.

A tabela completa desta planificação está no apêndice B e na tabela seguinte (tabela 3) é mostrado um resumo:

**Tabela 3 – Planificação das monitorizações realizadas**

Nº	Início	Duração	Piso	Sistema monitorizado
1	3 dezembro 2015	5 dias	Cobertura	UTAN, UTASUI, UTASL
2	3 fevereiro 2016	7 dias	Piso 0	Chiller
3	14 abril 2016	7 dias	Piso 0	UPS do Centro de Informática
4	22 abril 2016	7 dias	Piso -1	3 Close-Controls
5	20 maio 2016	7 dias	Piso 0	Chiller
6	16 junho 2016	5 dias	Piso -1	3 Close-Controls
7	14 julho 2016	5 dias	Piso -1	3 Close-Controls

Nesta tabela pode-se verificar que a duração de cada medição varia entre cinco e sete dias, tendo-se chegado à conclusão que a medição dos consumos deste tipo de equipamentos durante cinco dias era suficiente para a sua caracterização, tendo sido sempre contemplado pelo menos um fim de semana em todas as monitorizações.

Além destas monitorizações, destinadas à caracterização dos consumos energéticos dos sistemas tabelados, foram realizadas, entre 16 de junho e 29 de julho e em conjunto com o colega Nuno Branco de Engenharia Mecânica, monitorizações da humidade relativa e da temperatura nos depósitos de livros, com o intuito de perceber a necessidade do funcionamento das unidades *Close-Control* nos três depósitos de livros que se encontram no piso -1 da BCS, denominados Depósito Ativo 1 (DA1), Depósito Ativo 2 (DA2) e Depósito Passivo (DP).

A justificação das medições dos valores de humidade relativa e de temperatura nestes depósitos, a análise dos dados obtidos e o estudo das possíveis melhorias no funcionamento destes equipamentos, conduziu à sugestão de uma MRE, encontrando-se o estudo detalhado desta medida e as soluções propostas na subsecção 4.5.5.

As motivações que levaram à execução das monitorizações apresentadas na tabela 3 encontram-se logo após a tabela do apêndice B, com as devidas justificações.

#### 4.2.2 – Equipamentos utilizados

Nesta subsecção, são mostrados alguns dos equipamentos utilizados para as monitorizações, tendo os de humidade relativa e temperatura sido disponibilizados pelo DEM e utilizados em conjunto com o colega Nuno Branco.

Para as monitorizações associadas aos consumos energéticos dos equipamentos apresentados na tabela 3 foram utilizados dois equipamentos analisadores da qualidade de energia e potência, da *Chauvin Arnoux*, modelos C.A 8332 e C.A 8334B.



Fig. 5 – Analisador trifásico *Chauvin Arnoux* C.A 8334B

Para as monitorizações da temperatura e da humidade relativa foram utilizados quatro equipamentos de dois tipos diferentes, dois HT-2000 CO<sub>2</sub>/Temp/RH *data logger* e dois Omega OM-NOMAD-RH-32.



HT-2000 CO<sub>2</sub>/Temp/RH *data logger*



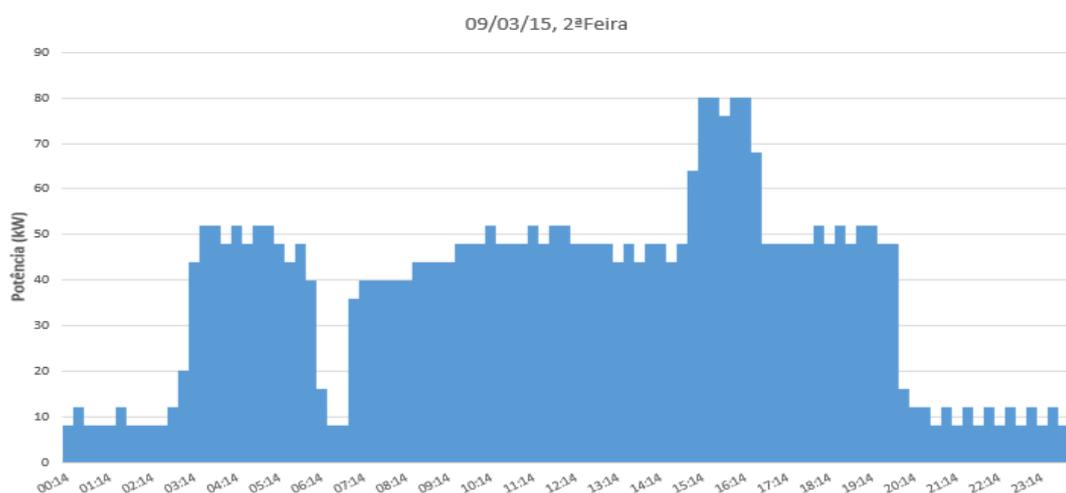
OM-NOMAD-RH-32

**Fig. 6 – Equipamentos para monitorização da temperatura e da humidade relativa**

### 4.2.3 – Diagramas de carga

Como referido na secção 4.2, para facilitar a análise dos consumos energéticos dos principais sistemas, após a análise de contadores de energia e dos resultados das diversas monitorizações realizadas, apresentam-se alguns diagramas de carga diários ou semanais.

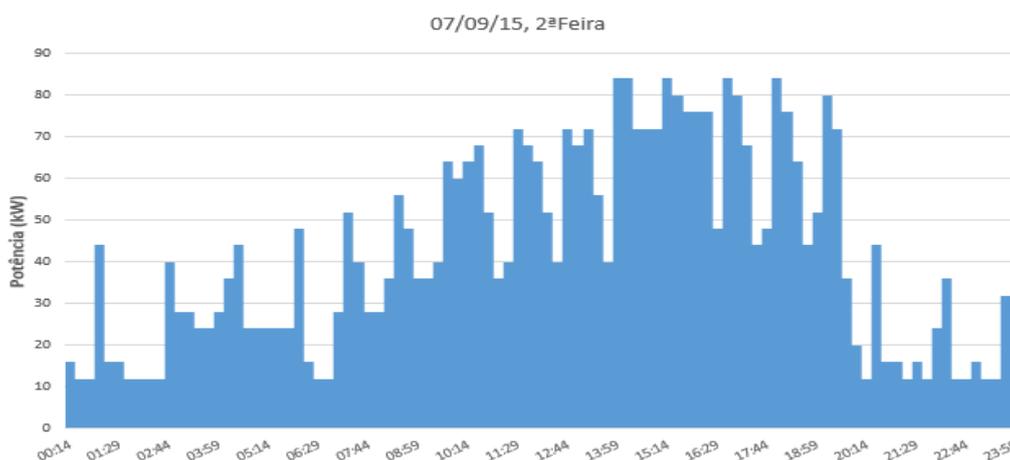
Verificou-se, neste trabalho, que os diagramas diários de carga criados através dos dados retirados do contador geral da BCS apresentavam duas formas distintas para dias úteis, dependendo da altura do ano a que estavam associados. Os diagramas de carga mostrados nas figuras 7 e 8 representam duas segundas-feiras, uma segunda-feira de março e outra de setembro, respetivamente.



**Fig. 7 – Diagrama de carga do dia 9 de março de 2015, em kW**

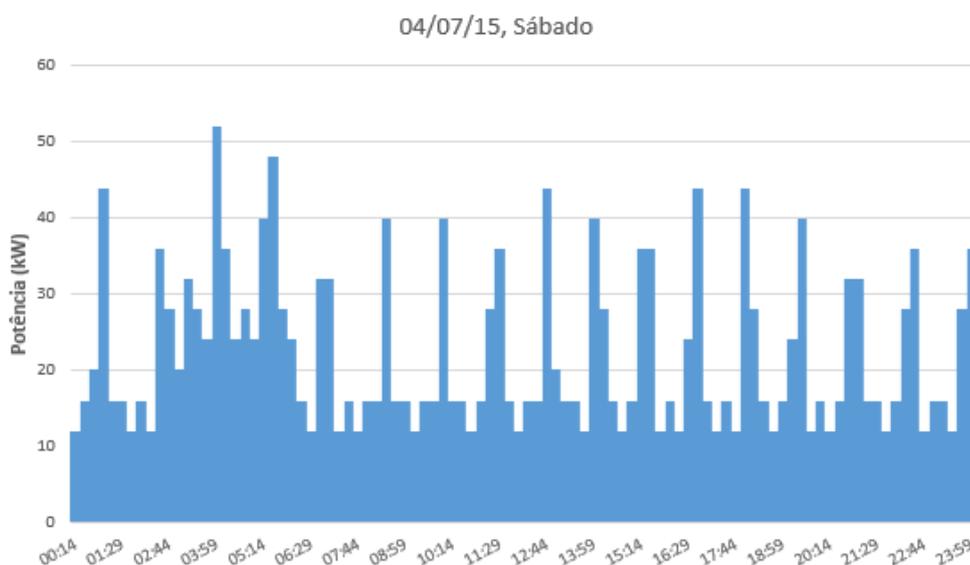
O diagrama diário de carga (DDC) representado na figura 7 é idêntico aos que foram criados para os dias úteis de janeiro a maio, de novembro e de dezembro, podendo assim ser considerado o gráfico típico do consumo relativo a estes meses em 2015. A figura 8 representa um DDC de um dia útil de setembro, exemplificando também um gráfico típico do consumo relativo aos restantes meses de 2015, nomeadamente de junho, julho, agosto, setembro e outubro.

Após uma análise rigorosa, confirmou-se que a grande diferença apresentada nos dois gráficos é consequência do regime de utilização do CH presente na BCS.



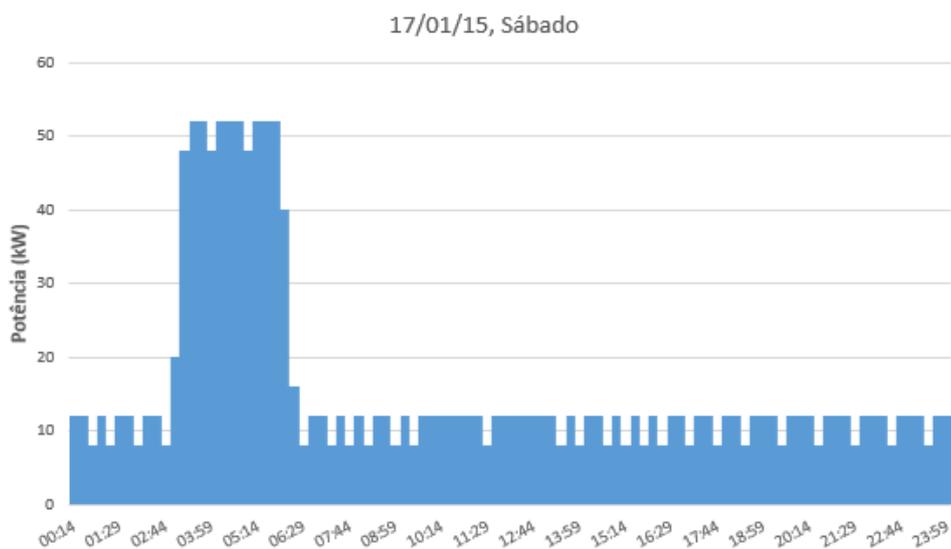
**Fig. 8 – Diagrama diário de carga do dia 7 de setembro de 2015, em kW**

Como é possível observar nestes diagramas, além dos vários picos de consumo mostrados na figura 8, existem consumos ao longo de aproximadamente três horas da madrugada e de uma hora e meia a meio da tarde (entre as 15h e as 16:30h), mais perceptível na figura 7, que foram monitorizados, tendo-se comprovado que não estavam associados ao CH, mas sim às unidades *Close-Control* presentes nos depósitos do piso -1. No que diz respeito aos consumos de fim de semana ao longo de 2015, estes também apresentam formas diferentes, sendo o gráfico da figura 9 o consumo típico de um dia de fim de semana de junho, julho, agosto, setembro e outubro.



**Fig. 9 – DDC de 4 de julho de 2015, em kW**

Para os restantes meses do ano, o consumo típico de fim de semana foi praticamente constante, de acordo com o que é exibido na figura 10:



**Fig. 10 – DDC de 17 de janeiro de 2015, em kW**

Nesta subsecção, fica assim caracterizado graficamente o consumo global de energia elétrica da instalação, sendo mais à frente sugeridas alterações ao nível técnico e comportamental da utilização de alguns sistemas, com a intenção de reduzir estes picos de consumo e corrigir erros na utilização de alguns equipamentos, contribuindo para o aumento dos níveis de eficiência energética. Encontram-se no apêndice C vários DDC extra, confirmando-se que as amostras aqui evidenciadas, da figura 7 até à figura 10, são análogas aos restantes meses referidos.

#### **4.2.4 – Resultados das auditorias**

A partir dos resultados das monitorizações presentes no plano da tabela 3, efetuou-se um estudo exaustivo da informação que é possível retirar desses dados, chegando a conclusões acerca de certos equipamentos e da sua utilização. Conseguiu-se também prever o comportamento de outros sistemas que não foram incluídos nestas monitorizações e que, através de um estudo detalhado de consumos energéticos e de potenciais poupanças, mostrou não ser justificável sugerir alterações ou MRE associadas a estes sistemas.

A principal informação e resultados retirados das auditorias encontram-se incorporados com as respetivas MRE e aprofundadas na secção 4.5.

### 4.3 – Consumos no período de consumo de referência

O Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de abril, define as metas para redução dos IDE aplicáveis a este edifício, enquanto o Despacho nº17313/2008, de 26 de junho, enuncia os fatores de conversão dos dois tipos de energia aqui utilizados, o gás natural e a energia elétrica, em tep.

Sabendo que os dados recolhidos das faturas são exibidos em m<sup>3</sup> de gás natural e kWh de eletricidade, e o gás natural tem um peso específico de 0,8404 kg/m<sup>3</sup>N, os fatores de conversão utilizados para converter kWh em tep são de 0,000215 tep/kWh no caso da eletricidade e de 1,077 tep/t no caso do gás natural. Para converter m<sup>3</sup> em tep, é preciso calcular a massa de gás natural em kg e, posteriormente, transformar esses kg em toneladas, usando a conversão 1,077 tep por tonelada (t). [11]

Como foi explicado na secção 4.1, o período de consumo de referência é o ano civil de 2015 e os meses nos quais se verificaram os maiores consumos de gás natural e eletricidade foram, respetivamente, os meses de frio e de calor. Na tabela seguinte é detalhado o consumo mensal ao longo desse ano, com a última coluna a mostrar a soma do consumo elétrico e do consumo de gás natural, em tep:

**Tabela 4 – Consumo global do edifício, no ano de referência**

Meses	Consumo elétrico (kWh)	Consumo gás natural (m <sup>3</sup> )	Consumo (tep)
<b>Janeiro</b>	24816	4245	9,178
<b>Fevereiro</b>	21509	2100	6,525
<b>Março</b>	22611	5861	9,787
<b>Abril</b>	20800	1380	5,721
<b>Mai</b>	21409	0	4,603
<b>Junho</b>	30994	0	6,664
<b>Julho</b>	28063	0	6,034
<b>Agosto</b>	11605	0	2,495
<b>Setembro</b>	23357	0	5,022
<b>Outubro</b>	22842	0	4,911
<b>Novembro</b>	19247	697	4,769
<b>Dezembro</b>	21136	3752	7,940
<b>Total</b>	<b>268389</b>	<b>18035</b>	<b>73,649</b>

O edifício da BCS apresenta um consumo total de 73,649 tep, como resultado das conversões dos consumos de eletricidade e de gás natural em tep, evidenciando um consumo que está muito longe de atingir o limiar mínimo dos 500 tep/ano para uma instalação ser considerada CIE.

### 4.4 – Cálculo dos IDE

Através da informação que é apresentada na tabela 4, procedeu-se ao cálculo dos IDE aplicáveis ao edifício da BCS, nomeadamente a Intensidade Carbónica e o Indicador de Eficiência Energética. A definição destes indicadores foi já mencionada no capítulo 2 e o seu cálculo é apresentado nas duas subsecções seguintes.

#### **4.4.1 – Intensidade Carbónica**

Para o cálculo da IC, é considerado o fator de emissão de 0,47 kgCO<sub>2</sub>e/kWh associado ao consumo de eletricidade e para o consumo de gás natural o fator de emissão é de 2683,7 kgCO<sub>2</sub>e/tep. Após efetuar os cálculos, o consumo anual de energia representou 126,143 toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> devido ao consumo de eletricidade e 43,809 toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> relativo ao consumo de gás natural, totalizando cerca de 170 toneladas de emissões de CO<sub>2</sub>, ao longo do ano de 2015. Como exposto na equação 3 presente na subsecção 2.2.3 desta dissertação, com o valor da emissão total de CO<sub>2</sub> do edifício no ano de referência, dividido pelo consumo total da biblioteca, em tep, calcula-se finalmente o valor da IC total que, para este caso específico, é equivalente a aproximadamente 2307,59 kgCO<sub>2</sub>/tep. [11]

Em relação a este IDE, não há imposição para a redução deste valor, apenas deve ser garantido que não ocorre um aumento do mesmo, ao longo do período do PRCE. [2]

#### **4.4.2 – Indicador de Eficiência Energética**

Em relação ao cálculo do IEE, em kgep/m<sup>2</sup>, sendo a área útil do edifício 2394 m<sup>2</sup> e sabendo, com base na tabela 4, que o consumo total foi de 73,649 tep, equivalente a 73649 kgep, resulta assim num IEE de referência igual a 30,764 kgep/m<sup>2</sup>.

A meta de redução para este IDE é de 4% em 8 anos, de acordo com o Decreto-Lei nº71/2008, de 15 de abril. [2]

#### **4.4.3 – Metas mínimas de redução do IEE**

Com o objetivo de redução do IEE em 4%, para o período de implementação do PRCE de 8 anos, e sabendo que o IEE no ano de referência (IEE<sub>ref</sub>) foi de 30,764 kgep/m<sup>2</sup>, chega-se assim à equação seguinte:

$$\mathbf{IEE} = (1 - 0,04) * \mathbf{IEE}_{ref} \quad (6)$$

No final dos 8 anos de implementação do PRCE, o IEE deverá ser inferior ao valor máximo de 29,533 kgep/m<sup>2</sup>, implicando uma redução mínima de 1,231 kgep/m<sup>2</sup> ao fim desse tempo, correspondendo em média a 0,154 kgep/m<sup>2</sup> de redução mínima anual. Será precisa, portanto, uma redução de aproximadamente 13707 kWh/ano ou de 2,947 tep/ano no final do período de vigência deste PRCE.

## **4.5 – Medidas de Racionalização de Energia**

Para o cumprimento das metas definidas anteriormente, é necessária a criação de um conjunto de medidas com o objetivo de redução de consumos, tendo de ser garantido o mesmo ou mais conforto aos utilizadores da biblioteca e, ao mesmo tempo, um funcionamento adequado dos equipamentos que serão incluídos nestas medidas. Para atingir estas metas, é também tida em conta uma cronologia de implementação das mesmas, de acordo com os investimentos que se terão de efetuar e do Período de Retorno do Investimento (PRI) que essas medidas preveem.

Como este PRCE segue o exigido para um CIE entre 500 e 1000 tep/ano, todas as medidas que tiverem um PRI igual ou inferior a três anos deverão ser implementadas nos primeiros três anos de execução do PRCE. [2]

As MRE propostas neste trabalho são as seguintes:

1. *Sensibilização para o desligar da iluminação nas salas;*
2. *Controlo do chiller por interruptor horário;*
3. *Alteração no funcionamento das eletrobombas;*
4. *Instalação de sensores de temperatura no Depósito de Inércia da Água Fria (DIAF);*
5. *5.1 Desativação permanente dos desumidificadores dos depósitos;*  
*5.2 Substituição dos desumidificadores do tipo CC por novos aparelhos;*
6. *Instalação de painéis solares fotovoltaicos na cobertura, para autoconsumo.*

Além destas medidas, serão também abordadas, no capítulo 5, algumas medidas associadas à parte térmica do edifício, que irão também melhorar a eficiência energética de alguns equipamentos e garantir maior conforto aos utilizadores da biblioteca.

### **4.5.1 – Ação de sensibilização para a utilização da iluminação nas salas**

Esta medida de sensibilização para a utilização da iluminação nas salas STG, SR, SEIp e SEIg tem, como objetivo, evitar o desperdício no consumo de energia associado à iluminação de certas salas de estudo da BCS.

Foi notório, no decorrer das visitas ao edifício e ao longo da realização deste trabalho, que os espaços SR, STG, SEIp e SEIg, com exposição solar a sudeste e, por isso, com elevados níveis de iluminância numa boa parte do ano, tinham constantemente toda a iluminação ligada. Isto verificou-se em algumas visitas a estes espaços, normalmente entre as 16h e as 17h, em dias úteis. Além disso, verificou-se que já existiam, numa destas salas, o seguinte aviso:



**Fig. 11 – Aviso colocado numa das salas de estudo da biblioteca**

Assim, propõe-se a colocação de autocolantes semelhantes ao da figura 11, em todas as salas com boa exposição solar. Como há uma funcionária da biblioteca que, para recolha da estatística de ocupação das salas, faz uma vistoria às salas de estudo (diariamente, às 11h e às 15:30h), é sugerido que essa funcionária, nesses horários, também verifique o uso desnecessário desta iluminação e possa corrigir esse comportamento.

Apesar de esta medida estar incluída nas sugestões, é praticamente impossível estimar a poupança que daí advirá. O número de luminárias instaladas em cada sala é apresentado na tabela:

**Tabela 5 – Nº de luminárias instaladas nas quatro salas**

Luminária \ Sala de estudo	STG	SR	SEIp	SEIg	Total
<i>Philips Master TL-D 18W/840</i>	24	32	16	64	136

Como as horas a que se verificaram estes desperdícios coincidem com o período de horas cheias, de acordo com a tabela 2 da secção 3.2, pode-se estimar que cada hora em que estas luminárias estiverem desligadas, com garantia da existência de conforto visual proveniente apenas da iluminação natural, irá corresponder a uma poupança energética de 2,448 kWh, desprezando as perdas nos balastos destas luminárias.

Para uma situação de desligar toda a iluminação nas quatro salas 1h por dia, em 30 semanas do ano (estimando 30 semanas de boa iluminância proveniente do sol), resultaria uma poupança estimada de 367,2 kWh anual e uma poupança monetária de aproximadamente 39,2 €. Foram posteriormente estudadas três outras possibilidades associadas a esta medida, chegando assim às seguintes conclusões:

- Realização de uma maior desagregação dos circuitos de iluminação: não demonstra ser viável, pois o investimento teria um período de retorno muito elevado, além de o sucesso desta medida continuar a depender da atitude dos utilizadores;

- Substituição das luminárias existentes por outras mais eficientes, nomeadamente luminárias tubulares LED: resultaria também num investimento com período de retorno muito elevado, sendo por isso excluída esta opção;
- Automatização do funcionamento da iluminação com base na disponibilidade de luz natural: a poupança esperada não cobriria facilmente o investimento num prazo aceitável.

Para esta MRE, espera-se então que a ação de sensibilização seja suficiente para criar algum impacto a nível de redução de consumos da biblioteca e que, para isso, os alunos que utilizam os espaços deste edifício tenham uma consciência mais focada na poupança de consumos e, conseqüentemente, na eficiência energética.

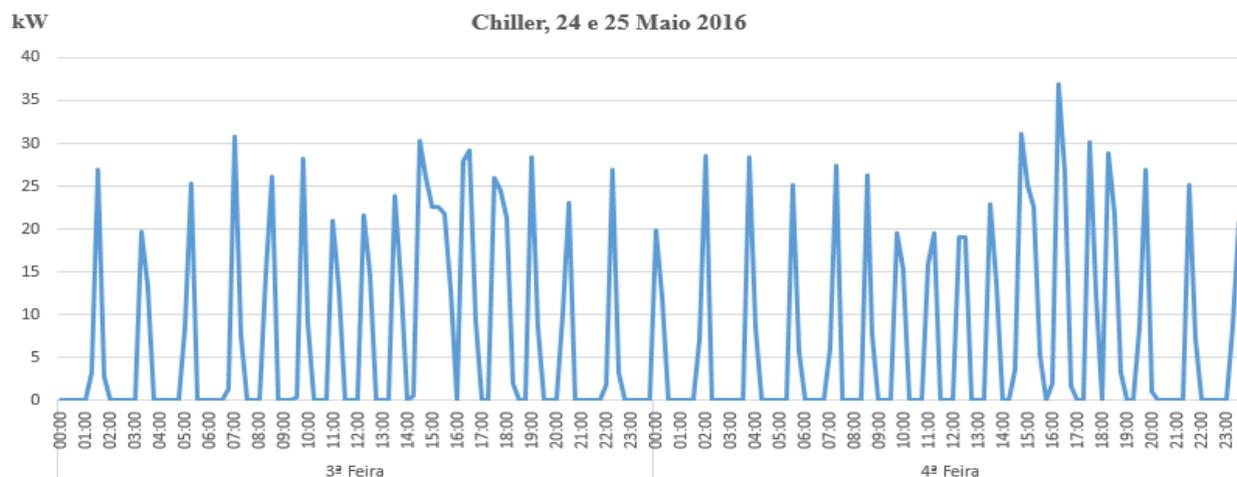
#### **4.5.2 – Controlo do *chiller* por interruptor horário**

Como referido anteriormente, o *chiller* é o equipamento instalado na BCS com maior potência instalada e, no decorrer deste trabalho, constatou-se que o seu funcionamento não é de todo o mais eficiente. Além de funcionar em períodos do dia em que a biblioteca se encontra encerrada, o CH também funciona aos fins de semana, confirmado através de monitorizações realizadas apenas a este equipamento, em maio de 2016.

Este equipamento tem como principal função a refrigeração de água que circula através de eletrobombas instaladas na cobertura, sendo esta água distribuída por diversos equipamentos do sistema de climatização da biblioteca. Este funcionamento depende de dois set-points definidos pelo utilizador: 8°C para o valor do set-point ativo; 2°C para um set-point de margem em torno do valor do set-point ativo. Isto significa que, assim que a água que circula nas tubagens de entrada do CH estiver a 10°C ou mais, este irá arrancar, diminuindo a temperatura da água que volta aos circuitos de saída do CH até aos 6°C e desliga. [12]

Este equipamento contém dois compressores de igual potência e, quando arranca, apenas utiliza um deles, de acordo com a necessidade que o CH tem de arrefecer a água de entrada. Se esse compressor chegar a um certo escalão (próximo dos 80%), entrará em atividade o segundo compressor. Os compressores do CH funcionam alternadamente, ou seja, após um arranque e uma paragem, o compressor que não foi acionado, ou que ligou em segundo lugar no arranque anterior, será agora o primeiro a ligar. Isto permite um equilíbrio na utilização dos compressores, tendo cada um deles aproximadamente o mesmo número de horas de funcionamento (exceto em casos de avaria).

Reparou-se que os valores definidos para set-points deste equipamento, fazem com que este ligue demasiadas vezes, para garantir que se mantém a água circulante próxima dos 8°C. Isto pode ser observado na figura 12:



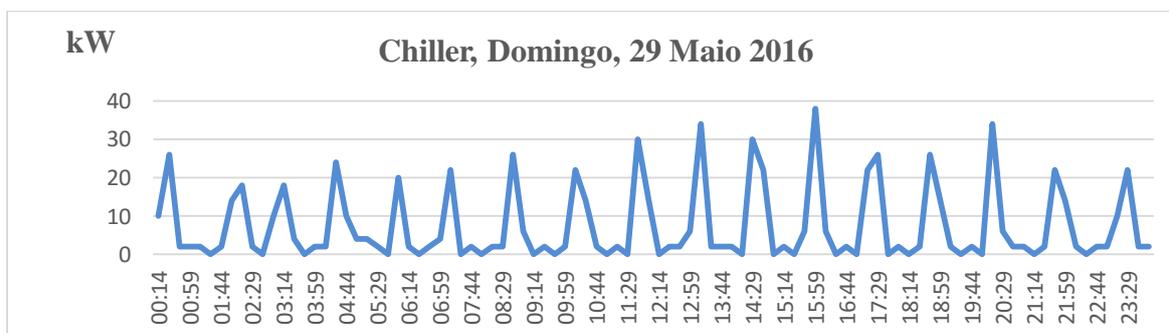
**Fig. 12 – DDC, associado ao *chiller*, dos dias 24 e 25 de maio de 2016**

A informação obtida da figura 12 prova que o CH, ao longo dos dias úteis em que se encontra ligado, arranca regularmente, mesmo de madrugada e após as 20h. Chegou-se assim à conclusão que limitar o seu funcionamento com um interruptor horário seria uma boa MRE.

Será possível, com esta medida, limitar o período de funcionamento do *chiller* ao período entre as 7:30h e as 19:30h nos dias úteis. No início do período o *chiller*, para colocar a água a uma temperatura abaixo dos valores pretendidos, deverá demorar em média 30 minutos e consumirá cerca de 9,25 kWh no arranque.

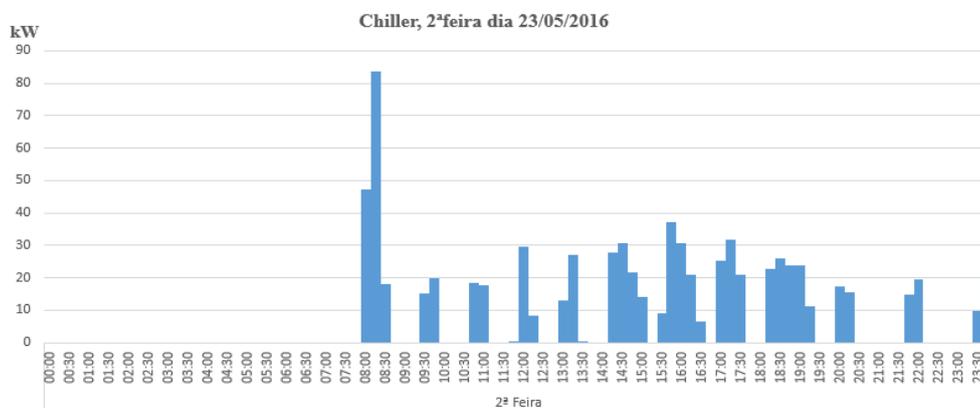
Assim, quando se desliga este equipamento das 19:30h até às 7:30h, estima-se uma poupança diária de 52,5 kWh. Mesmo considerando o consumo adicional do primeiro arranque da manhã prevê-se no mínimo, entre 2ª e 6ª feiras, uma poupança diária de 43,25 kWh e anual de 3979 kWh, equivalente a uma redução anual de 333,30 €, de acordo com os preços atuais do kWh para cada período horário.

Além disto, percebeu-se que esses arranques desnecessários do *chiller*, também se verificavam aos fins de semana, com uma média de 15 arranques/dia, aos sábados e domingos.



**Fig. 13 – DDC do consumo do *chiller* num domingo do mês de maio de 2016**

Assim, estudou-se o comportamento do CH após um fim de semana com temperaturas não muito altas (a rondar os 20-22°C). Desligou-se o equipamento manualmente na 6ª feira, dia 20 de maio, no momento em que se encerrava a BCS, e voltou-se a ligar na 2ª feira seguinte, dia 23 de maio de 2016, às 7:50h, para perceber o consumo do aparelho após um fim de semana desligado e se compensaria o interruptor horário desligá-lo nesse período:



**Fig. 14 – DDC da monitorização do *chiller* na 2ªfeira, 23 de maio de 2016**

Nesta 2ª feira, quando o CH foi ligado, a temperatura da água de entrada encontrava-se a 29,5°C, tendo funcionado continuamente até este valor atingir os 6°C.

Como conclusão, vimos que o primeiro arranque do CH durou menos de 45 minutos, visto o período de amostragem dos DDC aqui expostos refletir sempre 15 minutos, com um consumo do CH a rondar os 37 kWh, para alcançar 6°C de temperatura da água de saída, valor definido pelos set-points anteriormente referidos.

É proposto assim, nesta medida, a instalação de um interruptor horário, com ciclo semanal, associado a este CH, para garantir que este equipamento não liga nem aos fins de semana, nem entre as 20h de um dia útil e as 8h do dia útil seguinte, tendo-se verificado que, ao ligar a esta hora, é suficiente para garantir o conforto térmico no início de ocupação do edifício.



**Fig. 15 – Interruptor horário HAGER**

De acordo com os períodos horários definidos na tabela 2, na secção 3.2, e dos respetivos preços por kWh, praticados pela GALP, verifica-se assim uma poupança anual de 610 €, resultante de uma poupança energética de 7176 kWh anual com a implementação desta MRE, para a poupança estimada aos fins de semana.

Concluindo, o controlo do funcionamento do CH em dias úteis e dias de fim de semana, deverá garantir uma poupança anual de 11155 kWh, correspondente a cerca de 943 €.

O respetivo Plano M&V e os detalhes técnicos para implementação desta medida, encontram-se no apêndice D.

### **4.5.3 – Alteração no funcionamento de eletrobombas**

Após o estudo da MRE associada ao *chiller*, decidiu-se compreender o tipo de utilização de outros sistemas presentes na biblioteca, nomeadamente aqueles com uma potência instalada considerável. Esta medida vem na sequência desse estudo, onde se descobriu uma potência de consumo residual constante de 8 kW para o período do ano onde se verificaram temperaturas mais baixas, e de 12 kW para os meses de verão. Observando esta sazonalidade associado ao consumo residual, foi indispensável tentar perceber se este funcionamento está associado a um ou mais equipamentos, tendo-se esclarecido que o funcionamento ininterrupto das eletrobombas instaladas no edifício contribuía fortemente para este gasto de energia constante ao longo das 24h, todos os dias.

Existem, no total, quatro tipos de circuitos de eletrobombas instaladas no edifício, designadas: bombas dos depósitos e centro de informática (BDP), bombas do CH (BCH), bombas da caldeira (BCAL) e bombas dos restantes espaços (BRE). Para cada tipo de circuito estão instaladas duas bombas, lado a lado (exceto no circuito da BRE em que são quatro), para intercalar o seu funcionamento e garantir que, se uma avariar, não haverá nunca falhas do sistema de circulação de água para os diferentes espaços. Destas, as BCAL apenas funcionam a par com a caldeira e as BCH (3 kW) a par com o CH. As BDP, com uma potência nominal de 1,5 kW, e as BRE, com uma potência nominal de 3 kW cada, são as que funcionam independentes das estações do ano.

Constatou-se que, em períodos de maior calor, existiam na BCS três eletrobombas ininterruptamente ligadas, uma BRE, uma BDP e uma BCH. Ficou confirmado assim que, durante cerca de seis meses em que o CH está ativo, é suficiente as eletrobombas BRE, BDP e BCH ligarem ao mesmo tempo que o CH e desligarem uma hora após este se desligar.



**Fig. 16 – BRE e BDP instaladas na cobertura da BCS**

Esta medida propõe assim a instalação de um programador horário digital, de dois canais e ciclo semanal, para cada circuito com um par de eletrobombas, sendo um canal para ligar uma das bombas três dias úteis por semana e o outro canal para ativar a segunda eletrobomba nos dias úteis restantes.



**Fig. 17 – Programador horário digital HAGER**

O horário programado nestes interruptores será de ligar as eletrobombas às 7:30h e desligar às 20:30h, garantindo assim que, após o CH desligar, ainda circule água fria nas tubagens para climatização de espaços até à hora de encerrar a biblioteca (20h-20:30h). Para além destes períodos, os interruptores horários instalados também vão permitir desligar as eletrobombas aos fins de semana, assegurando uma poupança adicional de 48h (por semana) no funcionamento destes equipamentos. Sabendo que, com esta MRE, se consegue evitar o funcionamento desnecessário das três eletrobombas entre as 20:30h e as 7:30h, durante aproximadamente seis meses, estima-se uma poupança diária de 66 kWh por dia útil e de 144 kWh num dia de fim de semana, correspondendo a uma poupança de 5,41 € e 11,52 €, respetivamente.

Anualmente, estima-se uma poupança de 7590 kWh e 6624 kWh, para dias úteis e dias de fim de semana, resultando numa poupança total de 14214 kWh associada a esta MRE.

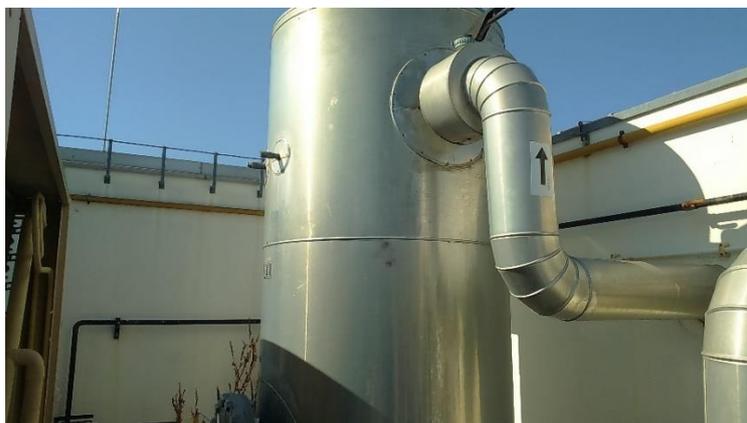
De acordo com os preços atuais do kWh para cada período horário, deverá obter-se uma redução anual de 622,40 € para dias úteis e de 529,90 € aos sábados e domingos, correspondendo a uma redução da fatura de eletricidade de pelo menos 1152,30 €.

O respetivo Plano M&V e os detalhes técnicos para implementação desta medida, encontram-se no apêndice E.

#### **4.5.4 – Instalação de sensores de temperatura no DIAF**

Após uma das visitas à instalação, para apurar os principais problemas de climatização e manutenção dos sistemas AVAC, verificou-se que no Depósito de Inércia de Água Fria (DIAF) não existiam sensores de temperatura que era suposto estarem presentes para um melhor controlo da temperatura da água nele acumulada.

Na figura 18 é identificado este depósito, que tem uma capacidade de 1500 litros de água e cuja função é armazenar e fazer circular a água que entra e sai no CH, passando sempre pelo DIAF.



**Fig. 18 – DIAF, localizado na cobertura**

Verificou-se que as duas saliências presentes na parte da frente são os dois locais onde deveriam estar colocados os sensores. Após discussão com os professores do DEM, esclareceu-se que a instalação desses sensores poderia representar uma medida de racionalização de energia, visto conseguirmos, deste modo, prolongar o intervalo entre dois arranques do CH. Como se notou nos DDC apresentados anteriormente, este equipamento tem um intervalo entre arranques de aproximadamente 1h30, o que, além de desgastar mais rapidamente os compressores e outras componentes do CH, mostra não ser o comportamento mais adequado.

Com a definição atual dos set-points do CH e com a instalação de dois sensores de temperatura do tipo parafuso (com um custo muito reduzido), pode assumir-se uma diminuição do número de arranques diários do CH e, conseqüentemente, do consumo diário deste equipamento.

Porém, não se consegue quantificar uma estimativa de poupança energética após implementação desta medida, sendo impossível criar um plano M&V fiável, pois é muito difícil estimar a incerteza da influência resultante sobre o funcionamento do CH após a instalação destes sensores.

#### **4.5.5 – Desativação permanente dos desumidificadores dos depósitos, ou substituição por novos aparelhos**

Após as diversas monitorizações à qualidade do ar nos três depósitos de livros do piso -1, chegou-se à proposta de implementação desta medida, cujo objetivo é garantir o mesmo ou melhores níveis de conservação dos livros guardados nestas salas, sendo o funcionamento atual das CC bastante ineficiente. É então proposta a desativação destes equipamentos de desumidificação, presentes nos três depósitos, ou a substituição destes por outros mais pequenos e que tenham um regime de utilização mais constante, sendo de seguida justificadas as motivações e especificações da medida em causa.

As áreas do Depósito Ativo 1 (DA1) e do Depósito Ativo 2 (DA2) são aproximadamente iguais, sendo a área do Depósito Passivo (DP) cerca de metade da dos depósitos ativos. Os depósitos ativos contêm, cada um, uma unidade de desumidificação do tipo *Close-Control Rcat Pegasus.CW.O 71.G1*, com uma potência nominal em modo de arrefecimento de 68,8 kW, enquanto o DP tem instalada uma unidade desumidificadora do tipo *Close-Control Rcat Pegasus.CW.O 42.G0*, com uma potência nominal em modo de arrefecimento de 40,5 kW, como apresentado na tabela do apêndice A. Todos estes equipamentos são controlados de forma temporizada, estando definidos três horários para o seu funcionamento:

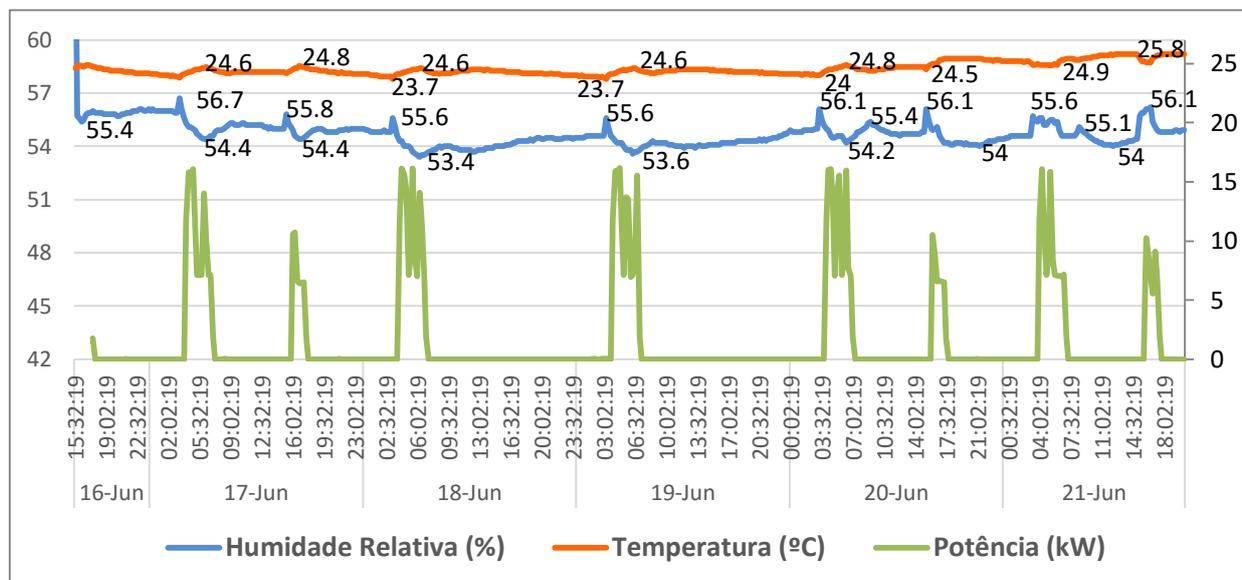
**Tabela 6 – Período atual de funcionamento das CC**

<b>Dia da semana</b>	<b>Horário</b>
<i>Dias úteis</i>	<i>Das 3h às 6h da manhã e das 15h às 16:30h</i>
<i>Sábados e Domingos</i>	<i>Das 3h às 6h da manhã</i>

Estes equipamentos estão assim limitados a ligar nestes períodos, estando também localmente definidos valores de set-points iguais para as três máquinas de 24°C e 50% de humidade relativa. Consequentemente, se a partir das 3h da manhã se verificar em algum dos depósitos uma temperatura acima dos 24°C (com uma tolerância de 0,5°C) e/ou uma humidade relativa acima dos 50% (com uma tolerância de 5%), a CC associada a esse depósito irá funcionar, no máximo, até às 6h da manhã, para repor os níveis adequados à boa conservação dos livros.

Isto sucede também para os outros períodos apresentados na tabela 6, tendo sido realizadas monitorizações para verificar se os valores de temperatura e humidade relativa associados a este controlo eram os adequados.

As medições de temperatura e humidade relativa, para o atual horário de funcionamento destes equipamentos, foram realizadas em conjunto com uma das medições do consumo energético associado a uma destas CC. Na figura 19, pode-se observar a variação, ao longo de uma semana de junho, destes três parâmetros, para o DA1 da biblioteca, estando a temperatura representada a laranja, a humidade relativa a azul e a potência ativa absorvida pela CC a verde:



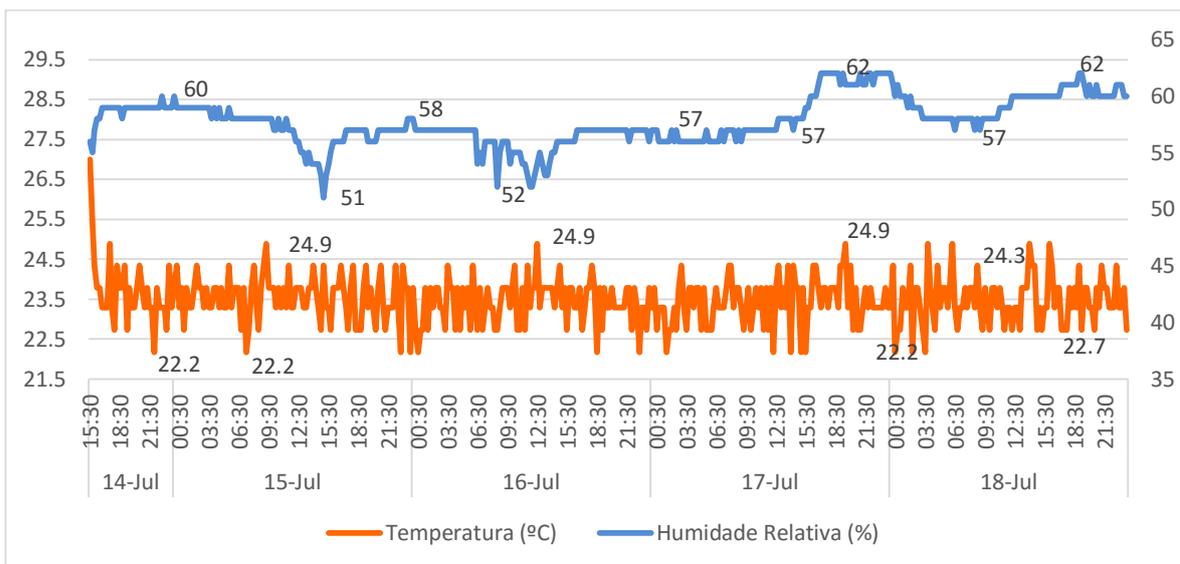
**Fig. 19 – Temperatura, humidade relativa e consumo de uma CC, para o DA1**

A escala da esquerda está associada à % de humidade relativa presente neste espaço, enquanto a escala da direita é utilizada para os valores de temperatura, em °C, e para os valores de potência, em kW. O gráfico mostra que, cada vez que a CC iniciou o seu funcionamento, a humidade relativa do DA1 encontrava-se acima do set-point definido, próxima dos 55-56%, tendo o equipamento funcionado com o intuito de reduzir esse valor.

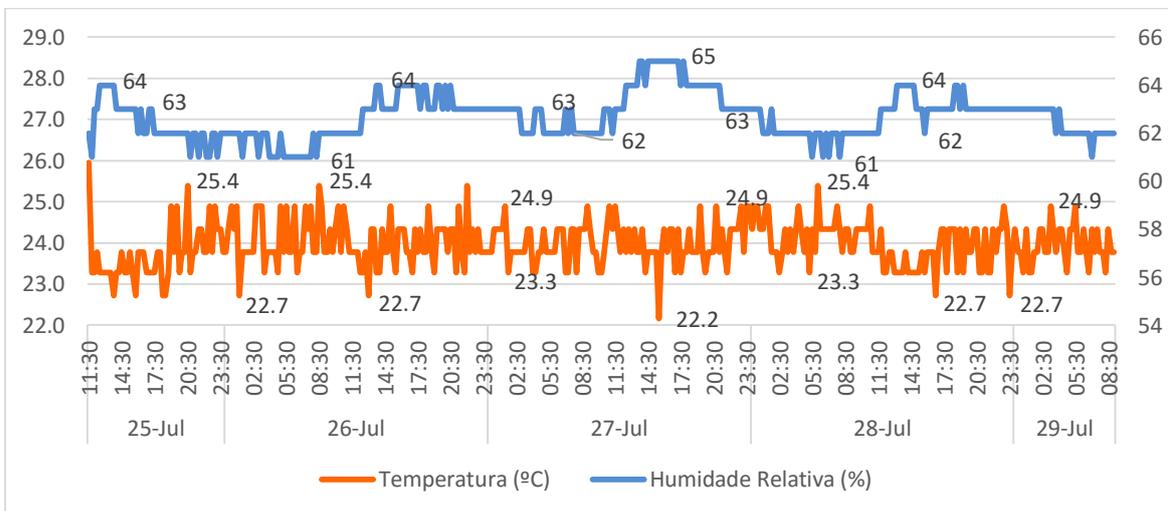
Para a conservação do tipo de livros presente nestes depósitos, não existe um consenso, entre investigadores desta área, sobre quais os valores considerados como ideais para humidade relativa e temperatura destes espaços. Porém, considera-se que temperaturas próximas dos 22-24°C e valores de humidade relativa entre os 50% e os 60%, deverão ser adequados à preservação dos livros que se encontram guardados nestes espaços da BCS. É também mais prejudicial a variação abrupta dos valores destes parâmetros, do que a manutenção destes parâmetros em valores constantes, mesmo fora dos set-points definidos. [13] [14]

Foram então realizadas mais duas monitorizações à qualidade do ar nestes espaços, com duração de cinco dias cada, a primeira com os desumidificadores desligados e a segunda com os interruptores horários desligados, para garantir a disponibilidade permanente das unidades desumidificadoras, com o intuito de verificar se estas estariam a ligar e desligar muitas vezes, com os set-points definidos em cada uma delas de 24°C para a temperatura e 50% para a humidade relativa.

Chegou-se então aos seguintes resultados, exibidos nas figuras 20 e 21, respetivamente:



**Fig. 20 – Temperatura e humidade relativa no DA2, com CC desligada**



**Fig. 21 – Temperatura e humidade relativa no DA2, com CC em contínuo**

As escalas da esquerda representam a temperatura, em °C, e as da direita a % de humidade relativa, para os gráficos das duas figuras acima exibidas.

Da figura 20 é possível observar que, não utilizando as CC para estes depósitos, nunca houve uma variação brusca da temperatura, concluindo existir um bom isolamento térmico destes depósitos, sendo a sua localização (no piso -1), uma ajuda para este resultado. Para a humidade relativa, esta já teve ligeiras alterações, mantendo-se, de qualquer modo, dentro dos valores pretendidos, visto nunca ter descido abaixo dos 51% ou subido muito acima dos 60%.

Da figura 21, consegue-se perceber que as variações de temperatura foram ligeiramente maiores, justificadas pelo facto de as CC aquecerem ligeiramente o ambiente para diminuírem a humidade, observando-se que sempre que a humidade relativa aumenta, a temperatura baixa, ao passo que, para ligeiras diminuições de humidade relativa, a temperatura tende a aumentar.

Propõe-se assim, com esta medida, uma de duas opções:

1. Desativação permanente das CC, visto ter-se observado valores adequados de humidade relativa e temperatura durante as medições realizadas;

2. Instalação de desumidificadores menos potentes, dois por cada depósito ativo e um para o depósito passivo.

**Com a primeira opção**, é estimada uma poupança diária de 174,9 kWh para a soma dos três depósitos num dia útil, e de 122,8 kWh para um dia de fim de semana, resultando numa poupança anual de 51112 kWh (já considerando as três semanas em que a BCS se encontra encerrada e os equipamentos desligados). Esta poupança resultaria numa redução de 3976 € nos custos anuais.

**Com a segunda opção**, instalando no total cinco desumidificadores *Munters* com uma potência nominal de 1,8 kW cada, conseguia-se garantir um funcionamento constante dos aparelhos, aproveitando os interruptores horários já instalados para impedir o arranque destes cinco aparelhos em horas de ponta. Com a montagem de um dreno em cada aparelho para o exterior de cada depósito, sabendo que todos têm janelas para o exterior, evitava-se a manutenção adicional associada a estes equipamentos, de obrigar um funcionário a esvaziar o tanque de água do desumidificador regularmente.

Nesta opção, assumindo que todos os equipamentos funcionam à potência nominal cerca de 12h por dia, quer aos fins de semana quer em dias úteis, o consumo energético anual a eles associado seria de 37152 kWh, sendo a diferença entre o consumo das CC e destes equipamentos de 13960 kWh anual. Este resultado traduz-se numa poupança anual de 1116,80 €.

O respetivo Plano M&V e os detalhes técnicos sobre a implementação desta medida, encontram-se no apêndice F.

#### 4.5.6 – Painéis solares fotovoltaicos na cobertura, para autoconsumo

Os gestores do edifício aludiram, desde o início deste trabalho, à possibilidade de instalação de painéis solares fotovoltaicos ao nível da cobertura, para autoconsumo. Posto isto, foi criada esta medida, que prevê, após implementação, a redução da fatura energética associada ao consumo global da biblioteca, além da utilização de uma fonte de energia renovável e garantindo menores emissões de gases poluentes para a atmosfera.

A instalação de painéis solares fotovoltaicos na cobertura da BCS teria de ser feita no teto da estrutura de acesso à cobertura, assinalada na figura 22 com um círculo a azul:



**Fig. 22 – Local para a colocação dos painéis, na cobertura**

Para uma área disponível de aproximadamente 40 m<sup>2</sup> e para a instalação dos painéis inclinados, propõe-se a utilização de apenas 30 m<sup>2</sup> desta área. Para a área referida, deverão ser instalados 12 painéis AXITEC AC-250P/156-60S, com 60 células e uma potência de 250Wp cada um, virados a sul, com uma inclinação de 33°, valor ótimo para quase todos os pontos geográficos de Portugal Continental. [15] De acordo com o mapa de Portugal retirado do PVGIS (*PhotoVoltaic Geographical Information System*), e da potência máxima de 3 kWp que estes painéis deverão produzir, estima-se uma produção anual de 5000 kWh, resultando numa poupança de 750 €. [16] O respetivo Plano M&V e os detalhes técnicos sobre a implementação desta medida, encontram-se no apêndice G.

#### 4.6 – Análise técnico-económica

Nesta secção, é apresentado um resumo de cada medida, sendo os cálculos de poupanças efetuados com o maior rigor possível, para que a estimativa da poupança final seja o mais próximo da realidade, após a implementação das MRE. São resumidas, na tabela seguinte, as poupanças energéticas e económicas anuais esperadas para cada medida, assim como o PRI esperado:

**Tabela 7 – MRE, respetivas poupanças, custos de implementação e PRI**

Medida	Designação	Poupança energética (kWh)	Poupança (€)	Custo MRE (€)	PRI <sup>2</sup>
1	<i>Iluminação</i>	367	39,2	-	-
2	<i>Chiller</i>	11155	943,3	107,7	42 dias
3	<i>Eletrobombas</i>	14214	1152,3	461,6	4 meses e 25 dias
4	<i>AVAC</i>	-	-	-	-
5	<i>Desumidificadores</i>	13960	1116,8	1750	1 ano, 6 meses e 24 dias
6	<i>Renováveis</i>	5000	750	3903,5	5 anos, 2 meses e 14 dias
<b>Total</b>	-	<b>44696</b>	<b>4001,6</b>	-	-

<sup>2</sup>PRI = (custo de implementação da MRE / poupança estimada). Os PRI das medidas 1 e 4 não são apresentados. Para a medida 1, por não haver um custo de implementação associado. Para a medida 4, por ser muito difícil quantificar a poupança.

Na tabela 7 e referente à medida 5, apenas se apresenta a segunda opção da MRE da subsecção 4.5.5, visto ser a que é tecnicamente mais razoável, pois apresenta melhores resultados a nível de humidade relativa e temperatura nos depósitos de livros. No entanto, antes da implementação desta medida, é aconselhável que se desliguem todas as CC (de acordo a primeira opção da MRE 5). Como verificado pelas medições de temperatura e humidade relativa apresentadas na figura 20, as variações registadas ficaram dentro de um intervalo de valores aceitável para a conservação dos livros.

## 4.7 – Cronograma de implementação das MRE

Nesta secção apresenta-se uma sugestão para o plano de implementação das medidas propostas, havendo a necessidade de seguir o regulamentado no Decreto-Lei nº 71/2008, para a implementação, nos primeiros três anos após início de execução do PRCE, de todas as medidas com um PRI previsto inferior a três anos. [2]

Sabendo que a implementação das medidas elaboradas neste PRCE deverá ter início em finais de 2016 ou janeiro de 2017, a ordem pela qual se sugere a implementação de cada MRE é a seguinte:

- Implementação, nos primeiros meses, da MRE **nº1**, visto apresentar baixo investimento, e da MRE **nº2**, na altura em que se liga o CH (abril/maio), para assim se obter valores da poupança anual logo a partir do primeiro ano;
- Implementação da medida **nº3** no segundo ano, visto apresentar um investimento superior à MRE nº2 e já se ter realizado algum investimento no primeiro ano;
- Implementação da MRE **nº4**, no segundo ano, visto já se ter feito alguns investimentos no primeiro ano e por não vir identificada a poupança estimada;
- Implementação da MRE **nº5**, no terceiro ano, cujo investimento inicial é elevado, tendo um PRI superior às primeiras quatro medidas;

- Implementação da MRE nº6, no quarto ano, devido ao PRI e ao custo inicial bastante elevado, e à indispensável aquisição de diversos equipamentos necessários à sua concretização.

## 4.8 – Impacto das MRE

Após estarem definidas as MRE e o cronograma das suas implementações, resta agora calcular o impacto que estas medidas irão ter no Indicador de Eficiência Energética, para confirmar que as MRE permitirão alcançar as metas estabelecidas pela regulamentação do SGCIE.

Na tabela seguinte são apresentados valores de poupança anual e o somatório de poupança ao longo do período de vigência do plano, assim como o impacto de cada medida na redução do IEE:

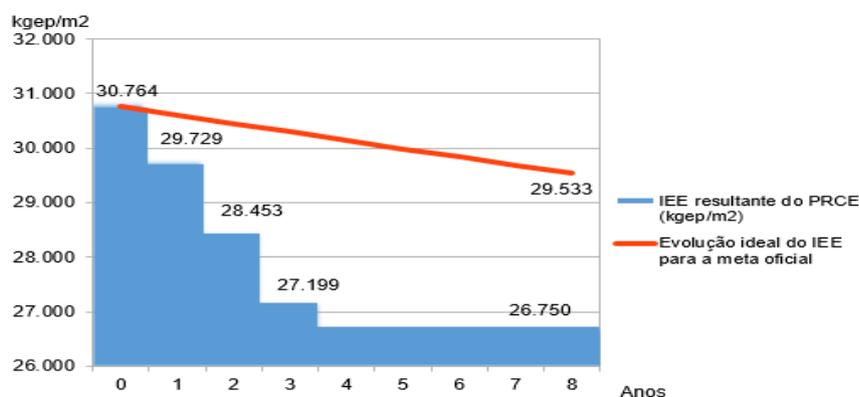
**Tabela 8 – Impacto das MRE no IEE<sup>3</sup>**

Medida	Poupança anual		IEE (kgep/m <sup>2</sup> )
	kWh	kgep	Redução anual
1	367	78,9	0,033
2	11155	2398,2	1,002
3	14214	3055,8	1,276
4	-	-	-
5	13960	3001,2	1,254
6	5000	1074,9	0,449
<b>Total</b>	<b>44696</b>	<b>9609</b>	<b>4,014</b>

<sup>3</sup>Recordando que a área útil do edifício é de 2394 m<sup>2</sup>

<sup>4</sup>Esta medida não apresenta valores, visto já se ter referido a dificuldade de estimar poupanças

Para um IEE de referência igual a 30,764 kgep/m<sup>2</sup>, na figura seguinte é apresentada a comparação, ao longo do período de implementação do PRCE, entre a evolução do IEE de acordo com a meta oficial definida pela legislação e a evolução resultante do PRCE:



**Fig. 23 – Evolução do IEE ao longo dos 8 anos**

Verifica-se, a partir da figura 23, que no final do 8º ano após início do PRCE o IEE deverá atingir os 26,750 kgep/m<sup>2</sup>, valor bastante inferior ao limite imposto pela legislação, garantindo assim a conclusão deste PRCE com sucesso.

## 4.9 – Possíveis medidas futuras

Após elaboração de todas as Medidas de Racionalização de Energia, resta deixar anotadas algumas medidas que se achou também poderem ter algum potencial, embora não tendo tanto impacto como as aqui propostas. É sugerido então aos gestores do edifício que prestem atenção aos consumos associados aos seguintes serviços de energia e sistemas:

- Reduzir o número de computadores utilizados em toda a biblioteca (atualmente 37). Se se efetuar uma breve investigação ao consumo de cada um destes aparelhos, do número de horas que cada um fica ligado desnecessariamente, e da eficiência energética dos mesmos, talvez se consiga chegar a uma outra oportunidade de melhoria dos consumos da BCS;
- Estudar uma possível desagregação de circuitos de iluminação das salas referidas na MRE nº1, assim como possivelmente nos depósitos de livros (locais com maior nº de luminárias instaladas e com possibilidade de desagregação de circuitos);
- Averiguar o funcionamento da caldeira, equipamento que foi excluído desta dissertação por motivo de avaria do mesmo no final do ano de 2015, ficando inoperacional e impossibilitando o estudo detalhado deste sistema;
- Tentar evitar a utilização de aquecedores elétricos individuais, aparelhos que foram sendo adquiridos e usados, quer em 2015, quer em outros anos, para colmatar falhas pontuais em equipamentos associados à climatização.

As MRE já apresentadas, conjugadas com as medidas de melhoria enumeradas no capítulo 5, irão contribuir para evitar as falhas referentes aos sistemas de AVAC, cujos problemas são diretamente sentidos pelos utilizadores da BCS e relatados aos funcionários e diretores.



## **5. Melhorias nos sistemas AVAC**

## 5.1 – Manutenção geral de equipamentos

Ao longo do trabalho conjunto com o colega Nuno Branco do DEM, encontraram-se inúmeras falhas a nível da manutenção de equipamentos, além de algum descuido na limpeza de espaços de áreas técnicas e de aparelhos. Decidiu-se então adicionar duas secções a este trabalho, uma com conselhos e orientações para a manutenção e prevenção eficaz de equipamentos, e a secção 5.2 com propostas de alteração de componentes ou sistemas que têm implicações diretas no conforto dos utilizadores.

No que diz respeito à manutenção geral dos equipamentos, são sugeridas aqui pequenas medidas que garantem o bom funcionamento e o prolongamento da vida útil de alguns sistemas, tais como:

1. Substituição de filtro totalmente entupido, localizado na parede ao lado do *chiller*;

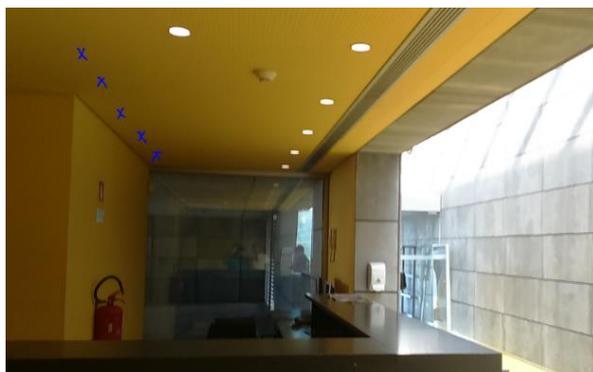


**Fig. 24 – Filtro entupido**

2. Remoção de plantas rasteiras no chão da cobertura, que atraem insetos para esta área exterior;
3. Limpeza do pó em espaços de difícil acesso, como a sala do Quadro Elétrico da cobertura, assim como limpeza de balastos de luminárias presentes, por exemplo, nos depósitos, a fim de lhes aumentar a vida útil;
4. Análise dos caudais de ar de cada UTA, se são os adequados, ou se podem ser reduzidos, permitindo assim evitar que os filtros e as correias destes sistemas tenham um desgaste rápido.

## 5.2 – Alterações de melhoria

Verificou-se também, para determinados sistemas AVAC, outro tipo de falhas, como erros na localização e dimensionamento de grelhas de ventilação, tendo alguns espaços, como a receção e algumas salas de estudo, caudais de ar elevados quando as UTA insuflam ar filtrado do exterior, provocando algum desconforto aos utilizadores. Para este problema, a primeira opção passa pela alteração das grelhas da receção para perto da parede, como sinalizado na figura seguinte:



**Fig. 25 – Receção da BCS e local ótimo para as grelhas de ventilação**

Outra opção, seria a instalação de difusores, apesar de os custos associados a esta opção serem igualmente elevados e haver menos probabilidade de garantir o conforto naquele espaço, sendo a melhoria do conforto dos utilizadores assegurada com a primeira opção sugerida.

Além deste erro de instalação, reparou-se também que uma UTA, a UTAN, que apenas foi projetada para aquecimento, está ligada aos circuitos de água fria e de água quente. Este sistema contém apenas uma bateria de aquecimento, sendo desnecessária a ligação desta UTA ao circuito de frio. Tendo esta correção custos de operação associados, também há a possibilidade de fechar as válvulas que ligam esta UTAN aos circuitos da água fria e da água quente, no verão, deixando a válvula que liga ao circuito de água quente, no inverno. Confirmou-se que esta alteração iria melhorar bastante o conforto térmico, principalmente na SL, ao longo dos meses em que a caldeira se encontra ligada. De outra forma, não se obtém a máxima eficiência possível no funcionamento, quer da UTAN, quer da caldeira, sendo o aquecimento do maior espaço da biblioteca e com maior utilização insuficiente para os meses de inverno.

Outro problema, a nível de conforto sonoro, é o barulho que se verifica em diversos espaços do piso 1 provocado pelo funcionamento do CH. Após verificação, percebeu-se que os dois compressores do CH não estavam bem isolados, além de as borrachas anti vibração onde se apoia este equipamento, já apresentarem algum desgaste.



**Fig. 26 – Borracha anti vibração do CH**

Para resolução deste problema, propõe-se a alteração destas borrachas, visto o ruído provocado por este aparelho ser transmitido apenas ao piso inferior, o piso 1, muito provavelmente através da vibração do solo onde ele se apoia.

Tudo o que foi referido neste capítulo, apesar de não apresentar fundamentação para constituir medidas de racionalização, deverá contribuir para a melhoria da eficiência energética global do edifício, através do aperfeiçoamento na utilização geral de diversos equipamentos.

## **6. Conclusões e trabalho futuro**

## 6.1 Conclusões

Nos dias de hoje, com o crescimento rápido da população mundial e, por consequência, com o aumento de consumo global de energia, cada vez mais as pessoas se consciencializam que é necessária a redução destes consumos, passando também pela redução da emissão de gases poluentes para a atmosfera. Para além da questão ambiental associada à produção de energia com recursos fósseis, a população em geral já está a par do esgotamento deste recurso, tendo sido realizados esforços ao longo das últimas décadas no sentido de criar alternativas à utilização destas fontes finitas de energia primária.

Perante isto, a Universidade de Coimbra tem vindo a desenvolver uma iniciativa que pretende estimular a comunidade universitária a dar mais importância à sustentabilidade – a Iniciativa Energia para a Sustentabilidade (Efs). Os Planos de Racionalização vêm na sequência desse incentivo, permitindo uma utilização mais eficiente da energia em edifícios da UC.

Com o PRCE aqui apresentado, realizou-se assim o primeiro estudo de caracterização de consumos do edifício da Biblioteca das Ciências da Saúde da UC. Como resultado deste PRCE, foram apresentadas seis Medidas de Racionalização de Energia, tendo diferentes impactos no consumo global deste edifício. Foram definidos valores de referência de Indicadores de Desempenho Energético para o ano civil de 2015, nomeadamente do Indicador de Eficiência Energética e da Intensidade Carbónica, de acordo com a legislação presente no Decreto-Lei nº 71/2008, que apresenta as normas definidas pelo Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia. Para o edifício da BCS, realizou-se o plano com base nas normas definidas para instalações CIE com um consumo anual entre os 500 e os 1000 tep/ano, levando assim à criação de um PRCE com um período de vigência de 8 anos. O consumo anual da BCS para 2015, com uma área de 2394 m<sup>2</sup>, foi de 73,649 tep, correspondendo a um IEE de referência de 30,764 kgep/m<sup>2</sup>. As metas impostas pela legislação são de 4% de redução no final do período de execução do plano, os 8 anos, sendo de esperar que, no final desse período, o consumo da BCS seja no mínimo 4% inferior ao relatado no ano de referência.

As MRE propostas neste plano revelam ser bastante promissoras para o sucesso da execução do PRCE, principalmente o controlo horário do *chiller* presente na cobertura da biblioteca, a alteração no controlo da humidade relativa e temperatura dos depósitos de livros e a melhoria na utilização dos circuitos de circulação de água entre equipamentos.

Em função da BCS ser um edifício dedicado à comunidade universitária, sendo os seus espaços ocupados essencialmente para o estudo para exames por parte de estudantes de Farmácia e Medicina, maioritariamente, achou-se adequado, no final deste trabalho, dedicar algum tempo ao estudo e explicação de medidas de melhoria relativas aos sistemas AVAC, que deverão representar, se forem executadas, um aumento de conforto dos utilizadores deste edifício.

Todos os anos se relatam queixas dos utilizadores desta biblioteca, principalmente associadas ao conforto térmico de determinadas salas, garantindo-se com a implementação deste PRCE uma melhoria na eficiência dos sistemas de climatização e, conseqüentemente, uma maior satisfação e qualidade de estudo por parte dos estudantes que frequentam este espaço.

Espera-se assim que o único resultado admissível para este projeto, seja o sucesso deste Plano de Racionalização, e que, dentro de alguns anos, se possa vir a utilizar todos os dados do estudo aqui realizado para manter os níveis de conforto global desta biblioteca e garantir, assim, uma elevada eficiência energética. Como resultado da implementação deste PRCE, deverá ser garantida uma redução nos custos gerais da BCS em pelo menos 4001,6 €/ano, prevendo-se também uma redução nos custos de manutenção geral do edifício.

## **6.2 Trabalho Futuro**

Como trabalho futuro, é proposta a criação de um Sistema de Gestão Técnica Centralizada, através da utilização do autómato da Johnson Controls já instalado na biblioteca, devido ao facto de este autómato apenas estar a ser utilizado para controlar alguns equipamentos, tendo um potencial de controlo enorme e que está a ser desperdiçado. Para isso, sugere-se uma análise exaustiva e detalhada das ligações já utilizadas pelo controlador, dos sistemas passíveis de serem controlados por este equipamento, e dos consumos que se poderão monitorizar. Será também necessário transmitir conhecimentos a funcionários da BCS, ou até mesmo a algum membro da direção, relativos à utilização deste Sistema de Gestão Técnica, de maneira a proporcionar-lhes acesso ao controlo dos consumos de equipamentos que por eles são geridos. Isto irá conduzir a uma maior familiarização com o funcionamento global de certos equipamentos, por parte dos diretores e funcionários, elucidando-os para a utilização eficiente de diversos sistemas.

Outra possibilidade de trabalho futuro, passa pela análise das medidas não estudadas ao longo desta dissertação, e que são expostas na secção 4.9, como possíveis medidas de racionalização adicionais.



# Referências Bibliográficas

- [1] Filipe A. S. Silva, “Plano de Racionalização do Consumo de Energia do Edifício da Faculdade de Farmácia,” DEEC, Fevereiro 2016.
- [2] Ministério da Economia e da Inovação, *Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de abril*.
- [3] Ministério da Economia e do Emprego, *Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto*.
- [4] Efficiency Valuation Organization, *Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético, Conceitos e Opções para a Determinação da Poupança de Energia e de Água, vol. 1, 2009*.
- [5] Rui Prata Ribeiro e Ricardo Caldeira, *Gestão da Manutenção, Relatório Anual nº 2, Biblioteca das Ciências da Saúde, Dezembro 2011*.
- [6] Climacer, *Memória Descritiva do Edifício da Biblioteca das Ciências da Saúde, Março 2009*.
- [7] Biblioteca das Ciências da Saúde, *Estatísticas de ocupação das salas, 2015*.
- [8] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CicloSemanaITodosFornecPtCont.aspx>.
- [9] Serviço de Gestão do Edifício Segurança e Ambiente, *Documentação Técnica, Universidade de Coimbra*.
- [10] Direção-Geral de Energia e Geologia, *Despacho n.º 17449/2008, de 27 de junho*.
- [11] Ministério da Economia e da Inovação, *Despacho n.º 17313/2008, de 26 de junho*.
- [12] Climacer, *Documentação Técnica da Biblioteca das Ciências da Saúde, Abril 2009*.
- [13] Alexandra C. F. Pinto, *Análise das Condições Higrotérmicas em espaços da Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra, DEM, Dezembro 2009*.
- [14] Jane Henderson, *Managing the library and archive environment, British Library, February 2007*.
- [15] Ricardo J. C. Lopes, *Efeito do Sombreamento nos Painéis Fotovoltaicos, ISEL, Dezembro 2013*.
- [16] Institute for Energy and Transport - European Commission. [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm#PT>.
- [17] GSEP Energy Management Working Group M&V Task Force, *Energy Performance Measurement and Verification, August 2014*.



**Anexo I**

**Plantas de cada piso da biblioteca e localização  
dos principais consumidores de energia**

Neste anexo, são apresentadas as plantas dos quatro pisos da biblioteca, com todos os espaços numerados e devidamente legendados, além da identificação dos principais equipamentos consumidores de energia.

**Legenda piso -1:**

1 – Depósito Ativo 1

2 – Depósito Ativo 2

3 – Depósito Passivo

4 – Sala do Quadro Elétrico

5 – Arrumos

6 – Armazém de Consumíveis

7 - Gabinetes

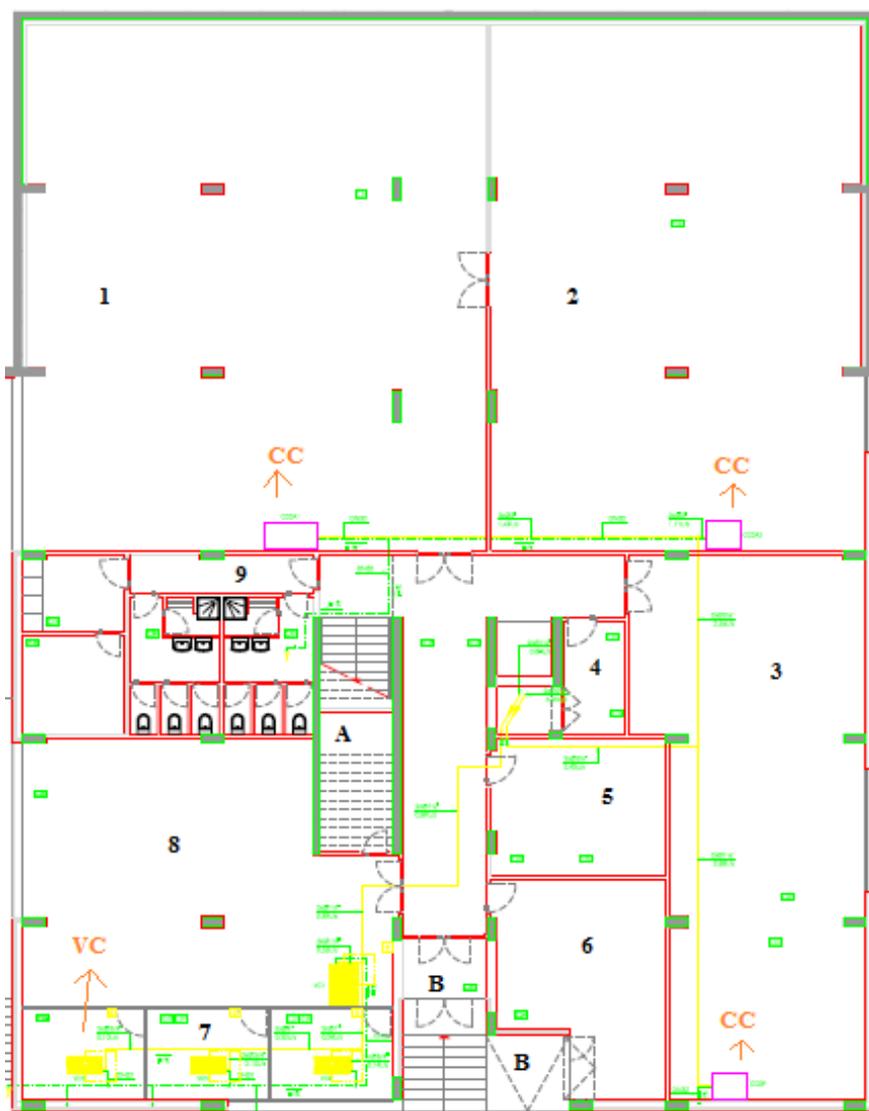
8 – Sala de apoio técnico

9 – Instalações sanitárias

A – Escadas de acesso piso 0

B – Entrada pelo piso -1

VC é a abreviatura de Ventiloinconvector. Todos os aparelhos representados por um retângulo amarelo estão associados a um VC instalado na biblioteca. Os retângulos cor de rosa, identificados como CC, são representativos das *Close-Control* que se encontram em cada um dos depósitos.

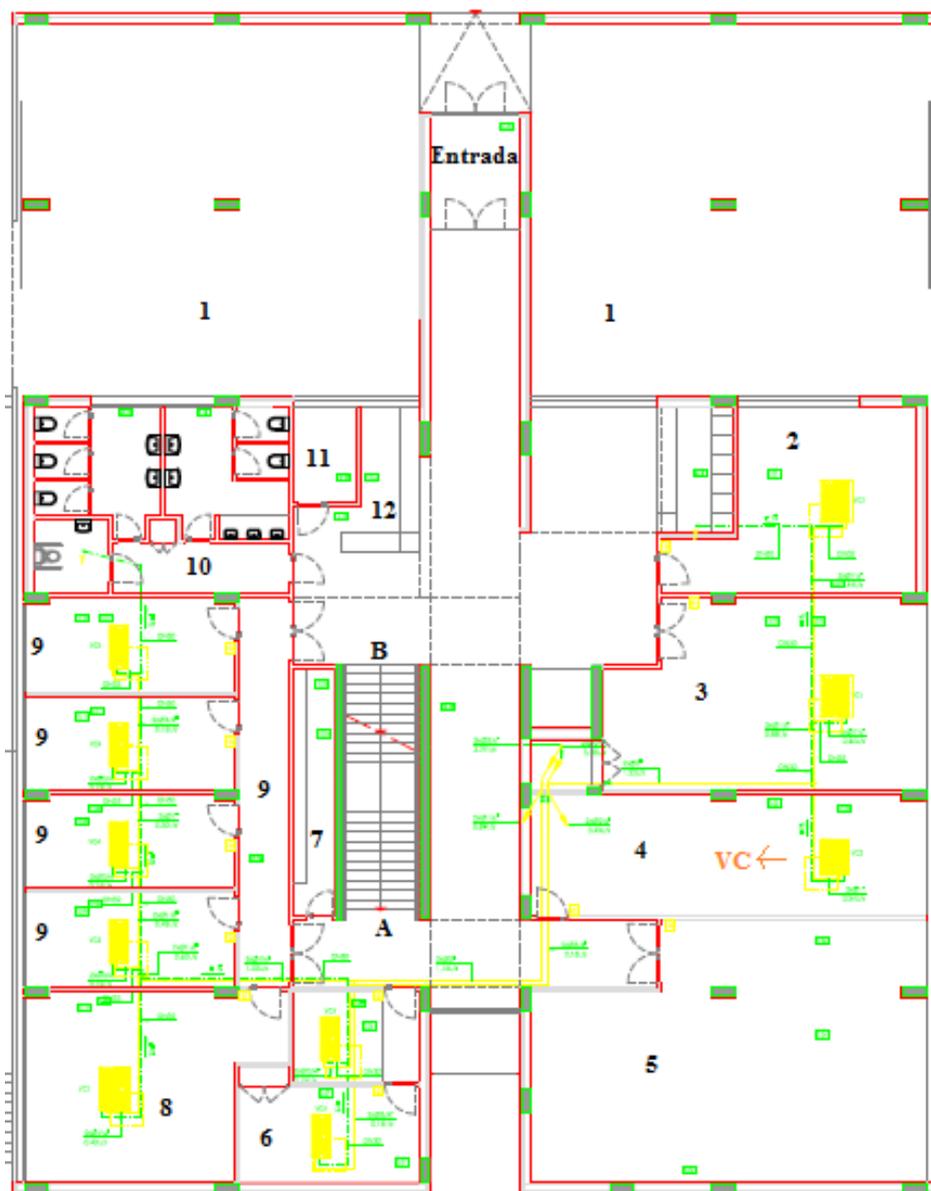


**Fig. 27 – Planta do piso -1**

**Legenda piso da entrada da biblioteca, piso 0:**

- |                                |                                    |
|--------------------------------|------------------------------------|
| 1 – Espaços exteriores         | 8 – Sala de reuniões               |
| 2 – Sala atendimento/catálogos | 9 – Gabinetes da direção           |
| 3 – STG                        | 10 – Instalações sanitárias        |
| 4 – Sala de Audiovisuais       | 11 – Sala do Quadro Elétrico Geral |
| 5 – SUI                        | 12 – Recepção e hall de entrada    |
| 6 – Centro de informática      | A – Escadas de acesso ao piso -1   |
| 7 – Arrumos                    | B – Escadas de acesso ao piso 1    |

VC é a abreviatura de Ventiloinconvector. Todos os aparelhos representados por um retângulo amarelo estão associados a um VC instalado na biblioteca. Neste piso, os principais equipamentos consumidores de energia são apenas estes.



**Fig. 28 – Planta do piso 0**

### Legenda piso 1:

1 – SL

2 – Sala Quadro Elétrico Parcial Q.1.E

3 – SEI<sub>g</sub>

4 – SR

5 – Arrumos

6 – Gabinetes de Investigação

7 - SEI<sub>p</sub>

8 – Sala de reservados

9 – Sala Quadro Parcial Q.1.D

A – Escadas de acesso à cobertura

B – Escadas de acesso ao piso 0

VC é a abreviatura de Ventiloinconvector. Todos os aparelhos representados por um retângulo amarelo estão associados a um VC instalado na biblioteca. Neste piso, os principais equipamentos consumidores de energia são apenas estes.

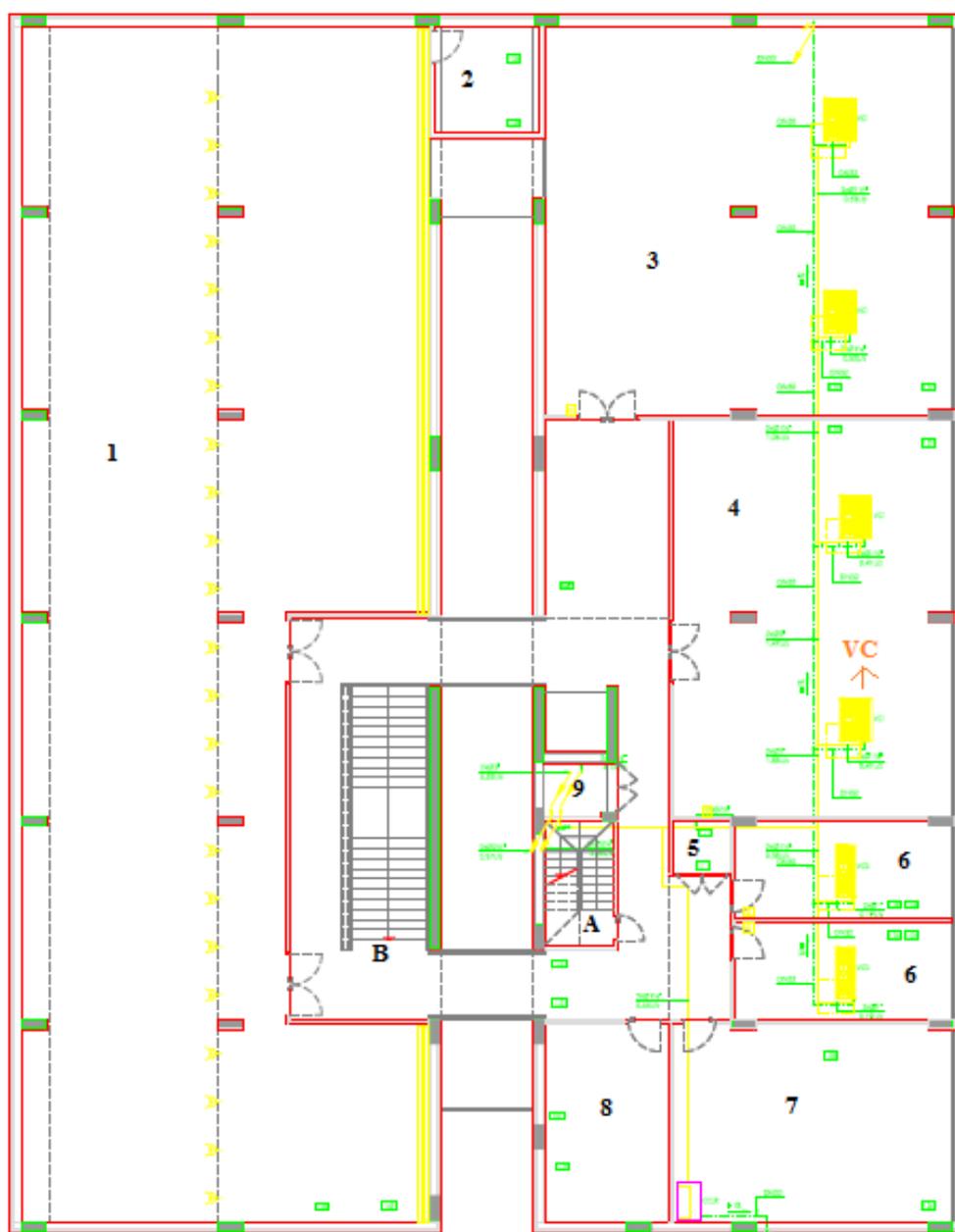


Fig. 29 – Planta do piso 1

**Legenda do piso da cobertura:**

1 – Sala Quadro Elétrico e Autómato

2 – Área para a Caldeira

3 – Área para tubagens e eletrobombas

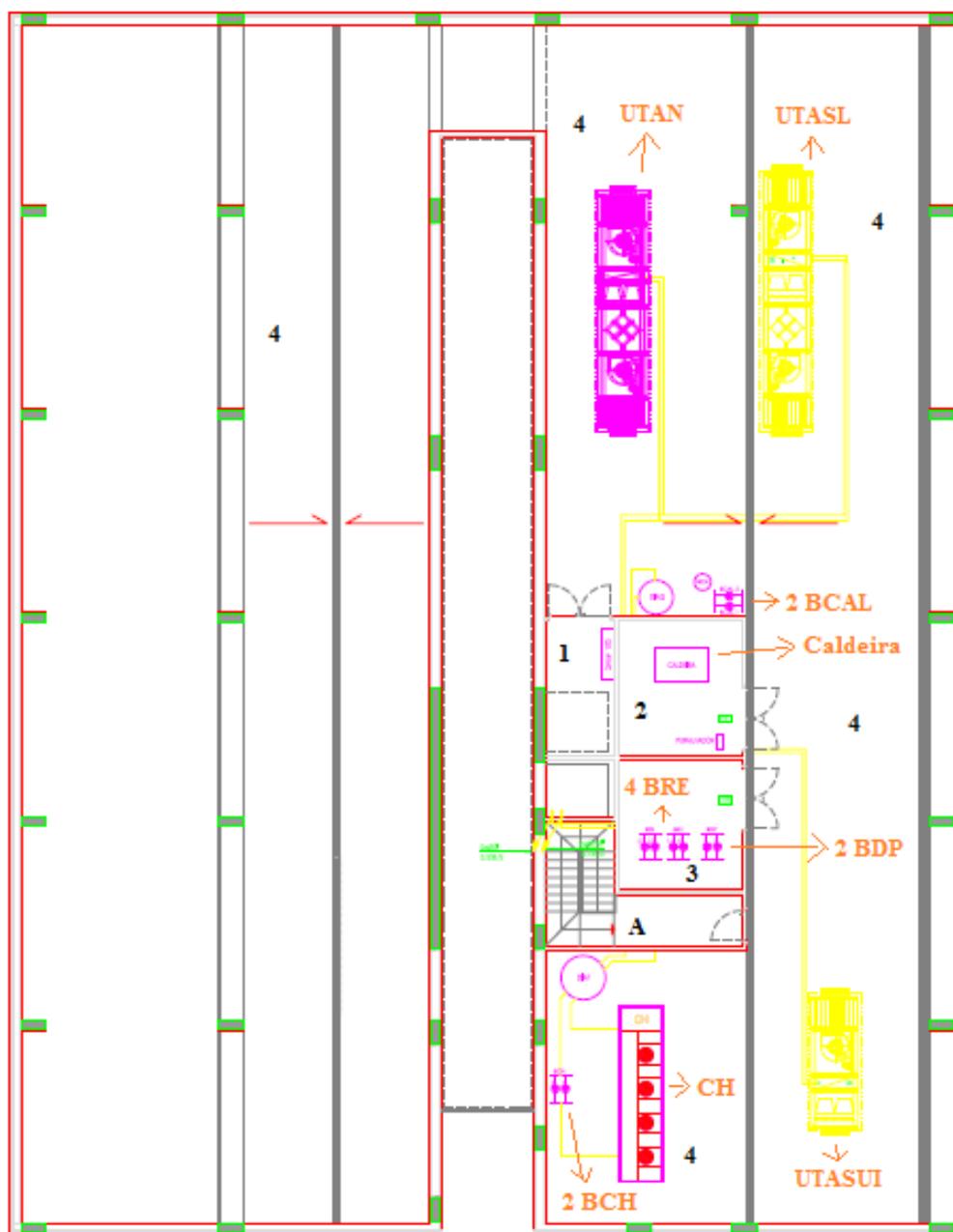
4 – Área exterior

A – Escadas de acesso ao piso 1

UTAN, UTASL e UTASUI designam as respetivas Unidades de Tratamento de Ar.

BCAL, BCH, BDP e BRE são os quatro tipos de eletrobombas presentes no edifício.

Todas as siglas aqui identificadas estão descritas na Lista de Abreviaturas.



**Fig. 30 – Planta da cobertura**



**Fig. 31 – Vista aérea do Pólo das Ciências da Saúde, com identificação da BCS**

## **Apêndice A**

**Tabela com informação de todos os  
equipamentos instalados na biblioteca**

Neste apêndice são apresentados, em forma de tabelas, todos os equipamentos consumidores de energia presentes na biblioteca, por piso, se são equipamentos de AVAC, Iluminação, Computadores, ou Outros, a marca e modelo de cada um, o local onde estão e a quantidade de aparelhos presentes nesse local, assim como algumas notas sobre alguns destes equipamentos. O símbolo \* simboliza os principais consumidores de energia, já descritos na tabela 1 da subsecção 3.1.2.

**Tabela 9 – Equipamentos instalados no piso -1**

Piso	Tipo	Equipamento	Local	Marca e Modelo	Quant.	Notas
Piso -1	AVA C	Close- Control	DA2	Rcat Pegasus.CW.O 71.G1	1	* <b>Pcooling = 68,8kW   Pheating = 13,5kW</b>
	ILU M.	Luminárias	DA2	Philips Master TL-D 58W/840	45	
	AVA C	Ventilador	DA2	FRANCE AIR AXALU 2-450	1	Ventilador Axial de Extração, VEXDA1, <b>Pnom=3 a 4kW</b>
	AVA C	Ventilador	DA2	FRANCE AIR AXALU 2-400	1	Ventilador Axial de Insuflação, VINDA1, <b>Pnom=3 a 4kW</b>
	AVA C	Close- Control	DA1	Rcat Pegasus.CW.O 71.G1	1	* <b>Pcooling = 68,8kW   Pheating = 13,5kW</b>
	ILU M.	Luminárias	DA1	Philips Master TL-D 58W/840	58	
	AVA C	Ventilador	DA1	FRANCE AIR AXALU 2-500	1	Ventilador Axial de Extração, VEXDA2, <b>Pnom=3 a 4kW</b>
	AVA C	Ventilador	DA1	FRANCE AIR AXALU 2-450	1	Ventilador Axial de Insuflação, VINDA2, <b>Pnom=3 a 4kW</b>
	AVA C	Close- Control	DP	Rcat Pegasus.CW.O 42.G0	1	* <b>Pcooling = 40,5kW   Pheating = 4,5kW</b>
	ILU M.	Luminárias	DP	Philips Master TL-D 58W/840	26	
	AVA C	Ventilador	DP	FRANCE AIR AXALU 2-350	1	Ventilador Axial de Extração, VEXDP, <b>Pnom=3 a 4kW</b>
	AVA C	Ventilador	DP	FRANCE AIR AXALU 2-350	1	Ventilador Axial de Insuflação, VINDP, <b>Pnom=3 a 4kW</b>
	ILU M.	Luminárias	Armazém de Consumíveis	Philips Master TL5 HO 54W/840	4	
	ILU M.	Luminárias	Z1 a Z5	Philips Master TL-D 58W/840	6	
	ILU M.	Luminárias	WC	OSRAM Dulux D 26W/840	17	5 permanentemente desligadas
	AVA C	Ventilador	WC	FRANCE AIR Silens'Air C 250 C	1	Ventilador Centrífugo de Extração VIS-1, <b>Pnom=300W</b>
	Outro	Frigorífico	Cozinha	Worten...	1	
	ILU M.	Luminárias	Cozinha	Philips Master TL-D 58W/840	2	
	ILU M.	Luminárias	Cozinha	Philips Master TL5 HO 54W/840	2	
	Outro	Computadores	Sala de Apoio Técnico	...	5	80-100W, utilização 10h/dia, cada PC gastaria no máx 1kWh/dia
	ILU M.	Luminárias	Sala de Apoio Técnico	Philips Master TL-D 58W/840	1	
	ILU M.	Luminárias	Sala de Apoio Técnico	Philips Master TL-D 18W/840	68	
	AVA C	Ventiloconv ector	Sala de Apoio Técnico	Trane FHK04	3	um VC4 e dois VC5, <b>Pnom=300 e 250W,</b> <b>respetivamente</b>
	AVA C	Ventiloconv ector	Sala de Apoio Técnico	Trane FWD20	1	um VC1, <b>Pnom=700W</b>
	ILU M.	Luminárias	Sala Q.0.1	Philips Master TL-D 18W/840	1	
	ILU M.	Luminárias	Sala Q.0.1	Philips Master TL-D 58W/840	1	
	ILU M.	Luminárias	Corredores	OSRAM Dulux D 26W/840	7	3 permanentemente desligadas
	ILU M.	Luminárias	Escadas para Piso 0	LED's	5	LED's constantemente ligados, iluminação insuficiente

**Tabela 10 – Equipamentos instalados no piso 0**

Piso	Tipo	Equipamento	Local	Marca e Modelo	Quant.	Notas
Piso 0	ILU M.	Luminárias	Atendimento/Catálogos	Philips Master TL-D 18W/840	16	
	Outro	Fotocopiadoras	Atendimento/Catálogos	Konica Minolta bizhub C552	2	<b>P = 2kW (máx)</b>
	Outro	Computadores	Atendimento/Catálogos	...	5	80-100W, utilização 10h/dia, cada PC gastaria no máx 1kWh/dia
	AVA C	Ventiloconvector	Atendimento/Catálogos	Trane FWD20	1	um VC1, <b>Pnom=700W</b>
	ILU M.	Luminárias	STG	Philips Master TL-D 18W/840	24	
	AVA C	Ventiloconvector	STG	Trane FHK04	1	um VC4, <b>Pnom=300W</b>
	ILU M.	Luminárias	SUI	Philips Master TL-D 18W/840	44	
	Outro	Computadores	SUI	...	20	80-100W, utilização 10h/dia, cada PC gastaria no máx 1kWh/dia
	ILU M.	Luminárias	Gabinetes da Direção	Philips Master TL-D 18W/840	4	Engloba todos os gabinetes (4), corredores entre eles, e uma sala utilizada para reuniões entre os membros da Direção
	ILU M.	Luminárias	Gabinetes da Direção	Philips Master TL-D 18W/840	48	
	ILU M.	Luminárias	Gabinetes da Direção	LED's	6	
	ILU M.	Luminárias	Corredor Gab. Direção	Philips Master TL-D 18W/840	4	
	Outro	Computadores	Gabinetes da Direção	...	4	80-100W, utilização 10h/dia, cada PC gastaria no máx 1kWh/dia
	AVA C	Ventiloconvector	Gabinetes da Direção	Trane FHK04	4	quatro VC4, <b>Pnom=300W</b>
	AVA C	Ventiloconvector	Gabinetes da Direção	Trane FWD20	1	um VC1, <b>Pnom=700W</b>
	ILU M.	Luminárias	Sala de Audiovisuais	Philips Master TL-D 18W/840	16	
	AVA C	Ventiloconvector	Sala de Audiovisuais	Trane FWD12	1	um VC2, <b>Pnom=515W</b>
	AVA C	Ar-Condicionado	Centro de Informática	...	2	
	ILU M.	Luminárias	Centro de Informática	Philips Master TL5 HO 54W/840	3	
	AVA C	UPS	Centro de Informática	Masterys BC 108	1	<b>Pnom = 5.6kW</b>
	AVA C	Ventiloconvector	Centro de Informática	Trane FHK04	2	dois VC4, <b>Pnom=300W</b>
	ILU M.	Luminárias	Arrumos	Philips Master TL5 HO 54W/840	2	
	ILU M.	Luminárias	Sala Q.0.E e QGBT	OSRAM Dulux D 26W/840	1	
	ILU M.	Luminárias	Sala Q.0.D	Philips Master TL-D 18W/840	1	
	ILU M.	Luminárias	WC	OSRAM Dulux D 26W/840	20	
	AVA C	Ventilador	WC	FRANCE AIR Silens'Air C 250 C	1	Ventilador Centrífugo de Extração VIS0, <b>Pnom=300W</b>
	ILU M.	Luminárias	Corredores	Philips Master TL-D 18W/840	6	
	ILU M.	Luminárias	Corredores	LED's	3	LED's em várias zonas do hall de entrada
	ILU M.	Luminárias	Corredores	OSRAM Dulux D 26W/840	2	
	ILU M.	Luminárias	Corredores	Philips Master TL5 HO 54W/840	5	Na vertical, distribuídas pelo piso
	ILU M.	Luminárias	Recepção	LED's	9	Colocados no teto, na zona da recepção
	ILU M.	Luminárias	Bar (exterior)	Projetores	2	Verificou-se que estas estão sempre desligadas
ILU M.	Luminárias	Bar (exterior)	Halogéneo	2	Verificou-se que estas estão sempre desligadas	

	Outro	Máquinas Café	Bar (exterior)	FAS Winning SK E8 750 (Silver GCD)	3	
	Outro	Máquinas Snack	Bar (exterior)	FAS Skudo Max 1050 6 50 2PET GCD	2	
	ILUM.	Luminárias	Escadas para Piso 1	LED's	5	LED's constantemente ligados, iluminação insuficiente

**Tabela 11 – Equipamentos instalados no piso 1**

Piso	Tipo	Equipamento	Local	Marca e Modelo	Quant.	Notas
Piso 1	ILUM.	Luminárias	SL	Exporlux OPTICAL/MT8 LED T8-G13	74	Luminárias do tipo Task Lighting, em todas as mesas da SL
	ILUM.	Luminárias	SL	LED's pequenos	2	Colocados na parede, perto do chão
	ILUM.	Luminárias	SL	Projetores	24	Colocados na parede 4 a 4, a cerca de 3-4m de altura
	ILUM.	Luminárias	SL	Philips Master TL5 HO 54W/840	12	Luminárias SANCA, colocadas apenas numa zona da SL
	Outros	Computadores	SL	...	1	80-100W, utilização 10h/dia, cada PC gastaria no máx 1kWh/dia
	ILUM.	Luminárias	Gabinetes de Investigação	Philips Master TL-D 18W/840	16	
	Outros	Computadores	Gabinetes de Investigação	...	2	80-100W, utilização 10h/dia, cada PC gastaria no máx 1kWh/dia
	AVA	Ventiloconvectores	Gabinetes de Investigação	Trane FHK08	2	um em cada Gab. de Investigação, do tipo VC3, <b>Pnom=350W</b>
	ILUM.	Luminárias	Arrumos	Philips Master TL-D 18W/840	1	
	ILUM.	Luminárias	SEI pequena	Philips Master TL-D 18W/840	16	
	ILUM.	Luminárias	SEI grande	Philips Master TL-D 18W/840	64	
	AVA	Ventiloconvectores	SEI grande	Trane FWD20	2	dois VC1, <b>Pnom=700W</b>
	ILUM.	Luminárias	Sala de Revistas	Philips Master TL-D 18W/840	32	
	AVA	Ventiloconvectores	Sala de Revistas	Trane FWD20	2	dois VC1, <b>Pnom=700W</b>
	ILUM.	Luminárias	Sala de Reservados	Philips Master TL5 HO 54W/840	2	
	ILUM.	Luminárias	Sala Q.I.E	Philips Master TL5 HO 54W/840	1	
	ILUM.	Luminárias	Sala Q.I.D	Philips Master TL-D 18W/840	1	
	ILUM.	Luminárias	Corredores	OSRAM Dulux D 26W/840	1	
	ILUM.	Luminárias	Corredores	Philips Master TL5 HO 54W/840	16	Luminárias SANCA, por cima das portas da SL
	ILUM.	Luminárias	Escadas para Cobertura	Philips TL-D 58W/54	2	

**Tabela 12 – Equipamentos instalados ao nível da cobertura**

Piso	Tipo	Equipamento	Local	Marca e Modelo	Quant.		Notas
Cobertura	AVAC	UTASUI	Cobertura	TRANE CCTA 023	1	*	cooling capacity = 38,9kW
	AVAC	UTAN	Cobertura	TRANE CCTA 040/01	1	*	heating capacity = 110,6kW
	AVAC	UTASL	Cobertura	TRANE CCTA 040/02	1	*	Pabsorvida = 5,5kW
	AVAC	CHILLER	Cobertura	TRANE RTAD 100	1	*	Pmax=160kW , Pcooling=350kW
	AVAC	CALDEIRA	Cobertura	BUDERUS GE 315-200	1	*	$\eta$ de combustão = 183 a 215kW. ( $\eta$ - rendimento calorífico)
	AVAC	BCH	Cobertura	GRUNDFOS TP80-150/4	2	*	P = 3kW cada
	AVAC	BCAL	Cobertura	GRUNDFOS TP50-180/2	2	*	P = 0,75kW cada
	AVAC	BDP	Cobertura	GRUNDFOS TP65-180/2	2	*	P = 1,5kW cada
	AVAC	BRE	Cobertura	GRUNDFOS TP80-180/2	4	*	P = 3kW cada
	ILUM.	Luminárias	Sala BDP e BRE	Philips TL-D 58W/54	1		
	ILUM.	Luminárias	Sala Caldeira	Philips TL-D 58W/54	1		
	ILUM.	Luminárias	Sala Q.2	Philips TL-D 18W/54-765	1		

**Apêndice B**

**Planificação completa das monitorizações  
efetuadas e respetivas justificações**

**Tabela 13 – Planificação das monitorizações realizadas**

Nº	Data	Duração da medição	Piso	Equipamento Utilizado	Quadro em que foi instalado	Parâmetros a medir	Objetos da medição
1	3 dezembro 2015	5 dias	Cobertura	Chauvin Arnoux C.A.8334B	Q2	Urms,Arms Vrms,W,WSumVAR,VA RSumVA,VASum,FP	UTAN, UTASUI, UTASL
2	3 fevereiro 2016	7 dias	Piso 0	Chauvin Arnoux C.A.8332	QG	Urms,Arms Vrms,W,WSumVAR,VA RSumVA,VASum,FP	Chiller
3	14 abril 2016	7 dias	Piso 0	Chauvin Arnoux C.A.8332	QI	Urms,Arms Vrms,W,WSumVAR,VA RSumVA,VASum,FP	UPS do Centro de Informática
4	22 abril 2016	7 dias	Piso -1	Chauvin Arnoux C.A.8334B	Q01	Urms,Arms Vrms,W,WSumVAR,VA RSumVA,VASum,FP	3 Close- Controls
5	20 maio 2016	7 dias	Piso 0	Chauvin Arnoux C.A.8334B	QG	Urms,Arms Vrms,W,WSumVAR,VA RSumVA,VASum,FP	Chiller
6	16 junho 2016	5 dias	Piso -1	Chauvin Arnoux C.A.8334B	Q01	Urms,Arms Vrms,W,WSumVAR,VA RSumVA,VASum,FP	3 Close- Controls
7	14 julho 2016	5 dias	Piso -1	Chauvin Arnoux C.A.8332	Q01	Urms,Arms Vrms,W,WSumVAR,VA RSumVA,VASum,FP	3 Close- Controls

*Legenda:*

**Q2** – Quadro Elétrico da cobertura;

**QG** – Quadro Elétrico Geral do edifício;

**QI** – Quadro Elétrico do centro de informática;

**Q01** – Quadro Elétrico do piso -1.

### ***Justificações das medições realizadas***

1. As Unidades de Tratamento de Ar instaladas no edifício da Biblioteca, denominadas *UTAN*, *UTASUI* e *UTASL*, representam três dos equipamentos com maior utilização ao longo do ano e com uma potência razoável, sendo por isso um dos principais focos da auditoria energética a ser realizada, apesar de não parecer corresponder a uma oportunidade de racionalização de energia considerável.

2. O *Chiller*, presente na cobertura da BCS, é o equipamento de AVAC com maiores dimensões e consumo, sendo por isso necessária a sua monitorização, quer a nível de consumos quer de horários de funcionamento, se possível em diferentes períodos do ano letivo, sabendo que a sua utilização depende muito da ocupação e das condições climatéricas.

Além disso, a maior causa de reclamações nesta Biblioteca é referente ao mau funcionamento deste *Chiller*, pois em períodos de maior calor não se consegue obter um ambiente termicamente confortável, em algumas salas.

3. Através da observação dos DDC do contador geral da BCS, observámos uma potência de consumo residual de aproximadamente 4kW, 24h por dia, ao longo de todo o ano, além dos picos de 8kW ou 12kW verificados no mesmo período, o que parecia ser associado à UPS que trabalha de forma isolada e ininterruptamente no Centro de Informática, para alimentar 2 unidades de ar condicionado utilizadas para a climatização do *datacenter*.

4. Após confirmação do Sr. André da Electroclima, descobrimos que o consumo de energia verificado entre as 3h e as 6h da manhã (com ligeiras variações), está relacionado com os *Close-Control* presentes nas divisões *Depósito Ativo 1* e *Depósito Ativo 2* (DA1 e DA2) e no *Depósito Passivo* (DP), logo a necessidade de monitorizar o quadro elétrico respetivo do piso -1, com o intuito de clarificar qualquer dúvida acerca do tipo de funcionamento destes equipamentos.

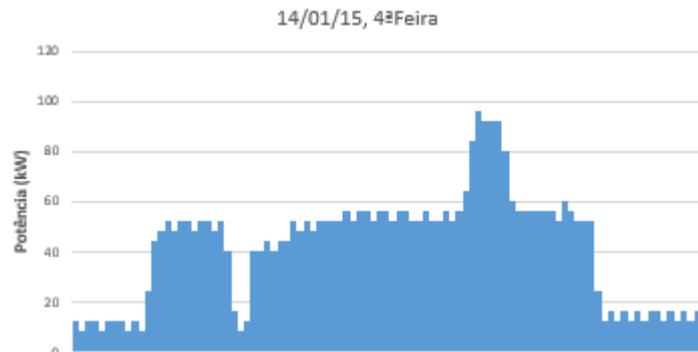
5. Esta medição justifica-se, tendo em conta a variação das condições climatéricas e da ocupação do edifício ao longo do ano, como descrito no ponto 2.

6. As monitorizações 6 e 7 justificam-se pelo facto de estes equipamentos estarem a funcionar com um controlo horário, entre as 3h e 6h da manhã e em dias úteis também das 15h às 16h30. Justificou-se então monitorizar, ao mesmo tempo, a variação de temperatura e humidade relativa nos depósitos para o funcionamento contínuo das CC's e para o desligar destes equipamentos, ambas durante 5 dias.

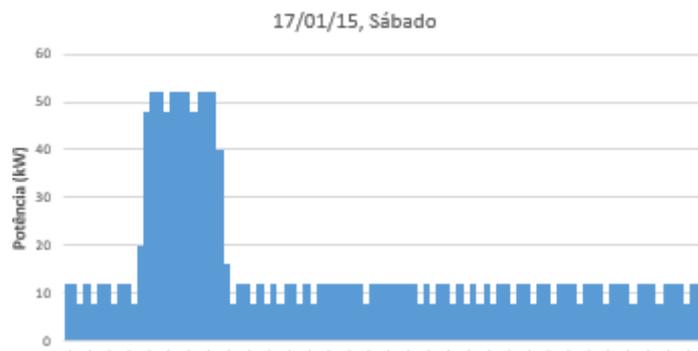
# **Apêndice C**

## **Diagramas de Carga**

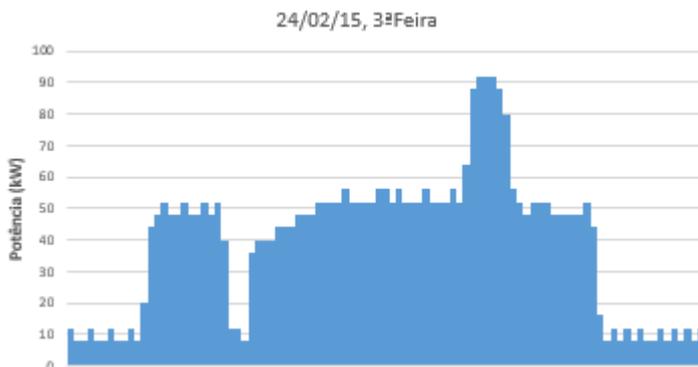
Neste apêndice são apresentados Diagramas Diários de Carga adicionais, para mostrar a tendência de diagramas de carga apresentarem formas sazonais semelhantes, para regimes de utilização de meses de verão e de meses de inverno.



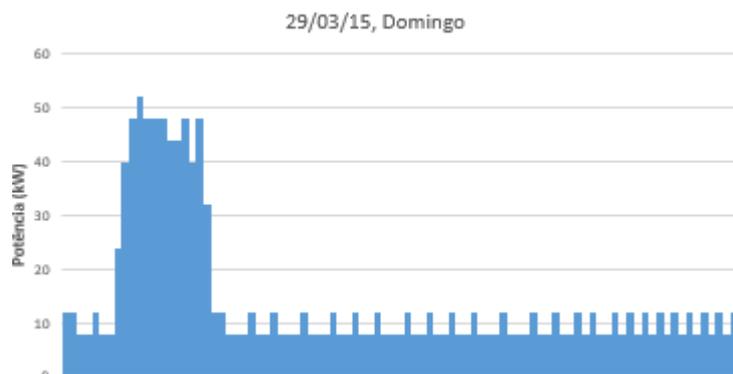
**Fig. 32 – DDC de 14 janeiro 2015**



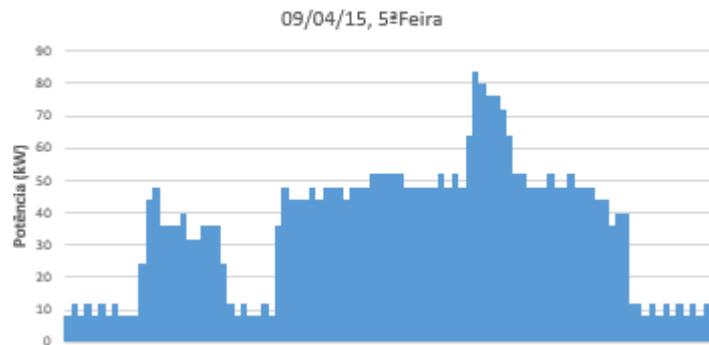
**Fig. 33 – DDC de 17 janeiro 2015**



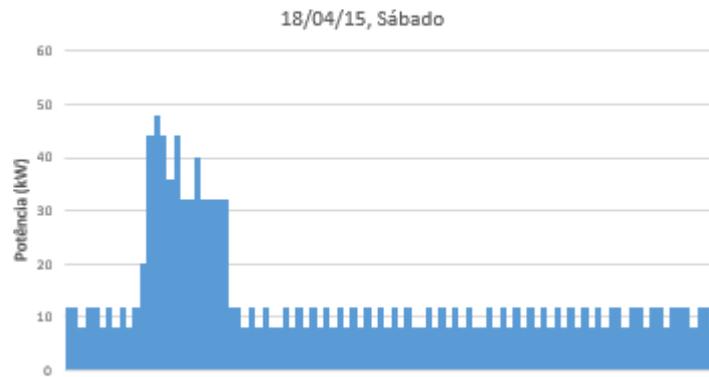
**Fig. 34 – DDC de 24 fevereiro 2015**



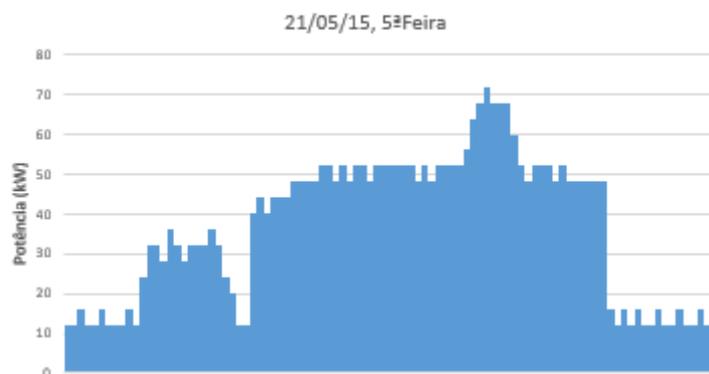
**Fig. 35 – DDC de 29 março 2015**



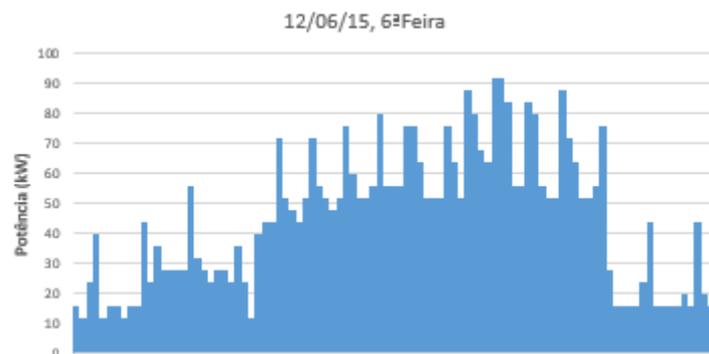
**Fig. 36 – DDC de 9 abril 2015**



**Fig. 37 – DDC de 18 abril 2015**

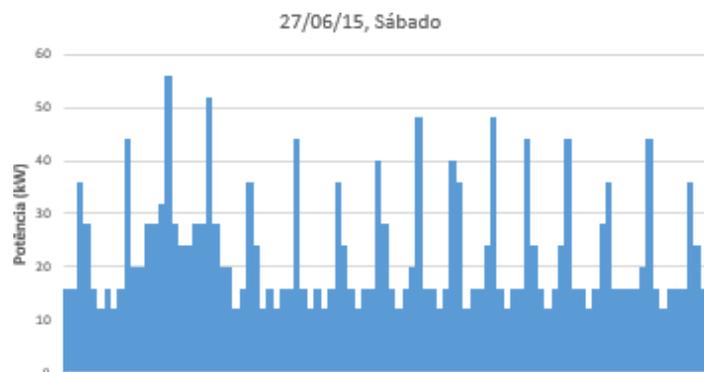


**Fig. 38 – DDC de 21 maio 2015**



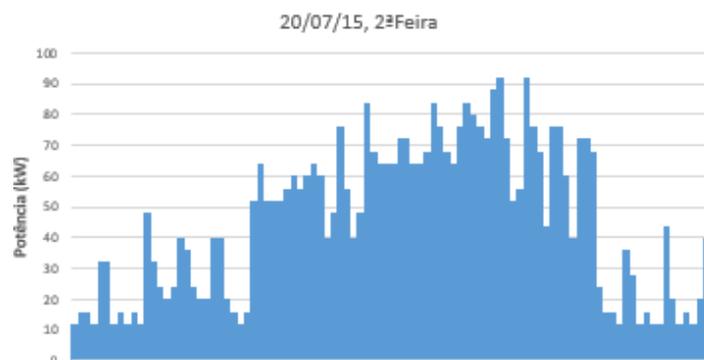
**Fig. 39 – DDC de 12 junho 2015**

Este tipo de DDC é justificado pelo funcionamento do *chiller*, que foi ligado, em 2015, no dia 3 de junho.

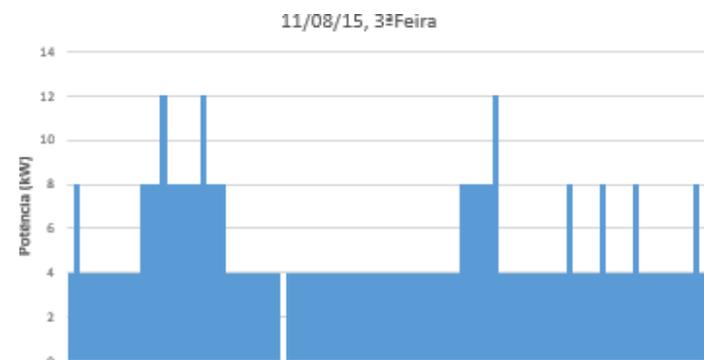


**Fig. 40 – DDC de 27 junho 2015**

Este DDC é característico do funcionamento do *chiller* ao fim de semana, estando associado a uma medida de melhoria apresentada na subsecção 4.5.2.

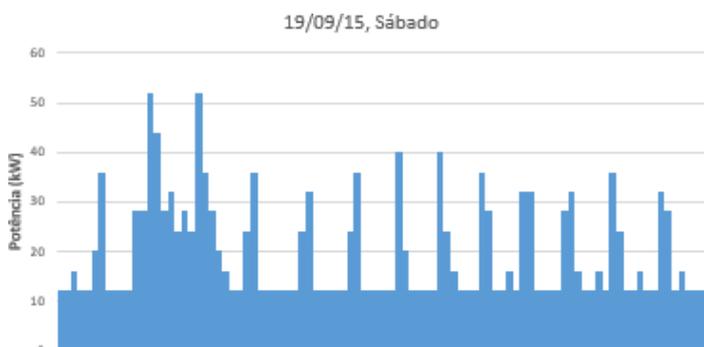


**Fig. 41 – DDC de 20 julho 2015**

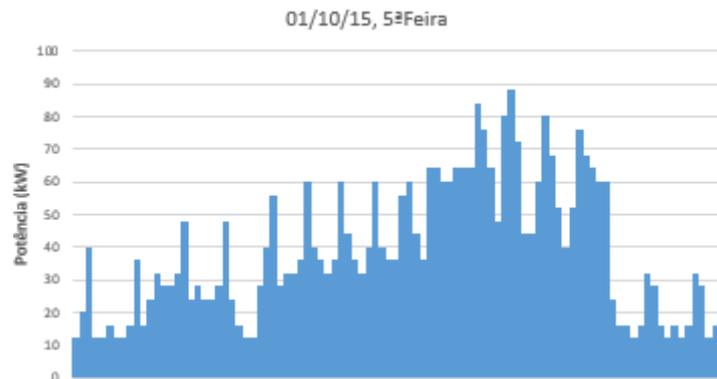


**Fig. 42 – DDC de 11 agosto 2015**

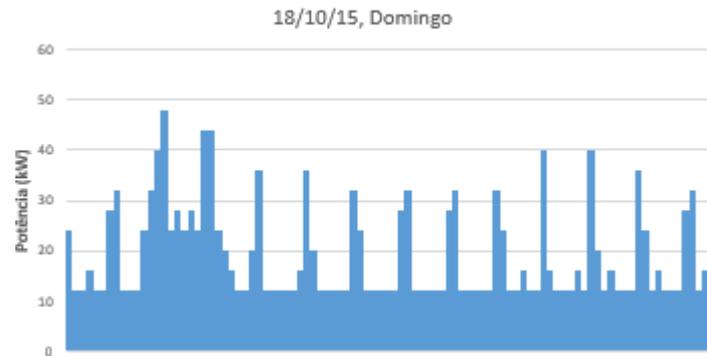
Este diagrama mostra o consumo de um dia útil associado a um dia em que a BCS se encontrou fechada. Para o ano de 2015, esta esteve encerrada nas duas primeiras semanas do mês de agosto.



**Fig. 43 – DDC de 19 setembro 2015**

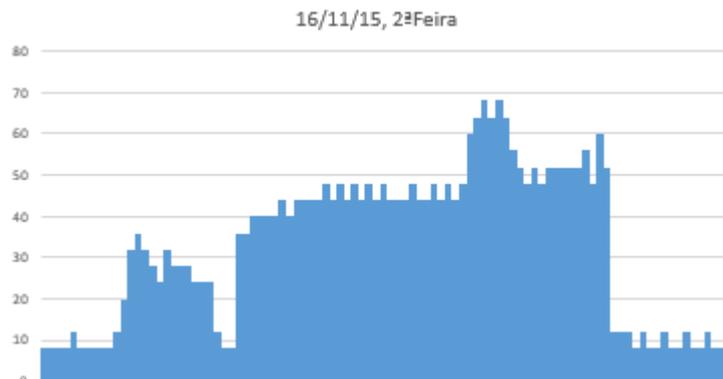


**Fig. 44 – DDC de 1 outubro 2015**

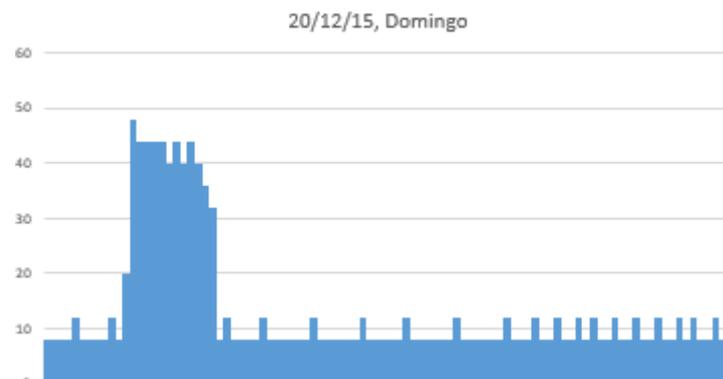


**Fig. 45 – DDC de 18 outubro 2015**

Como o *chiller*, em 2015, foi desligado a 28 de outubro de 2015, é aqui realçada a mudança no tipo de DDC, justificado pelo ligar e desligar deste equipamento.



**Fig. 46 – DDC de 16 novembro 2015**



**Fig. 47 – DDC de 20 dezembro 2015**

**Apêndice D**  
**Controlo do *chiller* por interruptor horário**

**Medida:** Controlo do *chiller* por interruptor horário

**Promotor:** Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

**Tipo de medida:** Climatização

## Objetivos

Esta medida tem como principais objetivos reduzir o número de horas de utilização do *chiller*, principalmente aos fins de semana e em horas em que a biblioteca se encontra encerrada, assim como limitar o funcionamento deste equipamento para evitar desperdícios associados à sua utilização.

## Benefícios

Os benefícios desta medida serão:

- Diminuição do número de horas de funcionamento do *chiller*;
- Redução da fatura energética global da biblioteca;
- Limitação do número de arranques dos compressores do *chiller*, garantindo menores custos de manutenção e prolongamento da vida útil de vários componentes;
- Redução de custos associados aos consumos energéticos.

## Barreiras que a medida tenta contornar

A única barreira à implementação desta medida seria a falta de pessoal técnico na biblioteca, mas, sendo a Electroclima a empresa contratada para a manutenção do edifício, esta tem funcionários com capacidade técnica para a instalação do equipamento em questão nesta MRE.

## Descrição e implementação

O *chiller* é o equipamento com maior potência instalada na BCS, e com maior impacto na fatura energética do edifício, sendo de elevada importância o estudo detalhado deste sistema e equipamentos a ele associados. Sendo este equipamento fundamental, durante os meses de maior calor, para a refrigeração de água que é fornecida às UTA's e aos ventiloconvectores, garantindo desta forma um conforto térmico em diversos espaços da biblioteca, decidiu-se realizar monitorizações a este equipamento, em diversas alturas, com o intuito de permitir uma caracterização precisa do consumo energético relativo ao *chiller*.

Através de uma monitorização realizada na última semana de maio, chegou-se à conclusão que este equipamento consumiu 858,44 kWh nesse período, dos quais 254,31 kWh foram relativos à soma dos consumos de sábado e domingo.

Utiliza-se este consumo como de referência para as outras semanas da duração anual de utilização do CH, assumindo que esse período será de 23 semanas por ano, contando as 26 semanas do semestre em que é utilizado, descontando 3 semanas típicas de encerramento do edifício, em agosto, durante as quais este equipamento é desativado. Dessas 23 semanas, caracterizam-se dois períodos de poupança estimada:

- Entre as 19:30h e as 7:30h de cada dia útil, de 2ª a 5ªfeira (4 intervalos de 12h cada);
- Entre as 19:30h de 6ªfeira e as 7:30h de 2ªfeira (totalizando 60h).

Relativamente ao primeiro período, estimou-se a poupança de 43,25 kWh para cada intervalo de 12h, correspondendo a uma poupança de 3,623 € por dia, e sabendo que anualmente existirão 23 semanas de funcionamento do CH, esta poupança anual chegará aos 3979 kWh, correspondendo a uma redução de 333,30 € anuais.

Relativamente ao segundo período, estimou-se uma poupança total de 312 kWh, correspondente a 7176 kWh anuais, com uma poupança de 26,52 € para este período, correspondendo a uma poupança anual de 610 €.

A poupança económica anual deverá ser, no total, de pelo menos 943,30 €.

Para a implementação desta medida, é proposta a aquisição de um interruptor horário do tipo HAGER EH271, com ciclo semanal, de modo a garantir que ficam programados os diferentes horários, diferentes para dias úteis e dias de fim de semana. O custo associado a este instrumento é de 107,66 €, e como pelo menos um dos funcionários da empresa que realiza a manutenção na biblioteca, a Electroclima, tem aptidão técnica para a instalação deste interruptor, considera-se um custo de operação nulo, podendo essa operação ser realizada no dia em que se ligar o CH, no ano de 2017, evitando chamar ao local um técnico apenas para efetuar esta montagem.

Para o cálculo do Período de Retorno de Investimento (PRI), efetua-se o quociente do investimento inicial pela poupança esperada. Chegou-se assim a um PRI de 1 mês e 11 dias, ou um total de 42 dias.

## **Plano de Medição e Verificação**

**Opção de procedimento:** Opção B, volume 1 do IPMVP, EVO 10000 - 1:2009

**Fronteira de medição:** Medição do consumo do *chiller*, no Quadro Elétrico Geral, 1.9

### **Período de reporte:**

1 semana de monitorização a este equipamento num período em que as temperaturas máximas excedam os 23°C, de forma a comparar o consumo do CH com os valores de referência utilizados para estimar as poupanças.

### **Método**

O Plano M&V deverá ser executado através da instalação de um equipamento de monitorização trifásico no Quadro Elétrico Geral do piso 0, configurando o instrumento para um período de amostragem de 15 em 15 minutos. Os resultados obtidos, serão úteis também à justificação da MRE nº 4, obtendo com esta monitorização conclusões acerca da implementação das duas MRE referidas. O custo da energia consumida pelo CH deverá ser calculado multiplicando a potência ativa média registada pelo número de horas associado a cada período horário, multiplicando este valor de consumo (em kWh) pelo respetivo preço (€/kWh).

### **Orçamento**

Para a implementação do plano M&V, deverá ser contratado um técnico habilitado a este tipo de operação, além do aluguer do equipamento de monitorização. Este também poderá ser emprestado pelo DEEC, evitando assim gastos desnecessários com o aluguer dos instrumentos.

De acordo com a tabela salarial atual, supõe-se que o técnico contratado apenas necessitará de 3h para instalar e, após a monitorização, retirar o equipamento, sendo esse custo de aproximadamente 17 €. O custo de execução dos planos M&V deve atingir, no máximo, 3% a 5% do custo de implementação da MRE associada, e menos de 10% da poupança anual respetiva. [17]

Para este caso, o custo de 17 € associado à execução do plano M&V é superior a 5% do custo de implementação da MRE (107,66 €), mas muito inferior aos 10% da poupança anual esperada (943,30 €). Sendo assim, a decisão da realização do plano M&V para esta medida ficará a cargo dos gestores do edifício.

**Apêndice E**

**Alteração no funcionamento de eletrobombas**

**Medida:** Alteração no funcionamento de eletrobombas

**Promotor:** Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

**Tipo de medida:** Eletrobombas

### **Objetivos**

Esta medida tem como principais objetivos reduzir o número de horas de utilização de eletrobombas presentes na cobertura, principalmente em períodos em que se verificou esta utilização ser desnecessária.

### **Benefícios**

Os benefícios desta medida serão:

- Diminuição do número de horas de funcionamento de três tipos de eletrobombas;
- Redução da fatura energética global da biblioteca;
- Limitação do número de arranques das bombas, garantindo um menor desgaste;
- Redução de custos associados aos consumos energéticos.

### **Barreiras que a medida tenta contornar**

A única barreira à implementação desta medida seria a falta de pessoal técnico presente na biblioteca. Porém, sendo a Electroclima a empresa contratada para a manutenção do edifício, esta tem funcionários com capacidade técnica para o controlo de funcionamento desta eletrobomba.

### **Descrição e implementação**

Estão presentes no edifício diversos tipos de eletrobombas para a circulação de água pelos diversos equipamentos instalados no edifício.

Constatou-se que, em períodos de maior calor, existiam na BCS três eletrobombas ininterruptamente ligadas, uma BRE, uma BDP e uma BCH. Ficou confirmado assim que, durante cerca de seis meses em que o CH está ativo, é suficiente as eletrobombas BRE, BDP e BCH ligarem ao mesmo tempo que o CH e desligarem uma hora após este se desligar.

Esta MRE propõe assim um controlo horário destas bombas, através da instalação de um programador digital horário com ciclo semanal e dois canais, para cada par de eletrobombas. Estes equipamentos deverão ser os três do mesmo tipo, HAGER EG203B, ciclo semanal, 2 canais, com um custo associado de 153,86 € por unidade. Deverá ser definido, para um canal, que uma das eletrobombas ligará durante três dias úteis da semana, enquanto o outro canal permitirá alternar o funcionamento das eletrobombas, ligando a segunda eletrobomba desse par nos dias úteis restantes.

Relativamente à temporização, cada programador horário deve garantir que, em dias úteis, as eletrobombas serão ativadas às 7:30h e desativadas às 20:30h e que a partir de 6ªfeira, às 20:30h, elas sejam desligadas e apenas religadas na 2ªfeira às 7:30h.

Esta MRE irá garantir menor desgaste destes equipamentos, assim como uma melhor eficiência energética, não prejudicando a circulação da água refrigerada nem o conforto dos utilizadores da biblioteca.

Com uma potência instalada de 3 kW para as BRE e BDP e de 1,5 kW para as BCH, e assumindo um período de poupança de meio ano, sendo que em 3 das 26 semanas deste período a BCS se encontra encerrada, estima-se uma poupança diária de 66 kWh em dias úteis e 144 kWh em dias de fim de semana, resultando numa poupança anual de 7590 kWh e 6624 kWh, respetivamente (num total de 163 dias). Para estes valores de poupança energética, corresponderá uma poupança de 622,40 € e 529,90 €, num total de 1152,30 € anualmente, para o período referido.

Para esta MRE, deverá resultar um PRI de 4 meses e 25 dias, sabendo que o custo de implementação da medida será de 461,60 € e a poupança anual prevista de 1152,30 €.

## **Plano de Medição e Verificação**

**Opção de procedimento:** Opção A, volume 1 do IPMVP, EVO 10000 - 1:2009

**Fronteira de medição:** Medição de consumo das BRE, BDP, BCH, Quadro Elétrico da cobertura

### **Período de reporte:**

1 semana de monitorização a este equipamento num período entre os meses de maio e julho, de forma a confirmar que este equipamento tem um consumo constante ao longo do dia, visto ter sido assumida uma potência de consumo constante de 6 kW.

### **Método**

O Plano M&V deverá ser executado através da instalação de um equipamento de monitorização trifásico no Quadro Elétrico da cobertura, configurando o instrumento para um período de amostragem de 15 em 15 minutos. Ao monitorizar o consumo associado às eletrobombas que estarão em funcionamento, será possível retirar, dos dados obtidos, o consumo associado a cada eletrobomba.

## **Orçamento**

Para a implementação do plano M&V, deverá ser contratado um técnico habilitado a este tipo de operação, além do aluguer do equipamento de monitorização. Este também poderá ser emprestado pelo DEEC, evitando assim gastos desnecessários com o aluguer dos instrumentos.

De acordo com a tabela salarial atual, supõe-se que o técnico contratado apenas necessitará de 3h para instalar e, após a monitorização, retirar o equipamento, sendo esse custo de aproximadamente 17 €.

Para este caso, o custo de 17 € associado à execução do plano M&V é inferior a 3% do custo de implementação da MRE (461,60 €), e muito inferior aos 10% da poupança anual esperada (1152,30 €). Posto isto, é recomendada a realização do plano M&V.

## **Apêndice F**

### **Desativação permanente dos desumidificadores dos depósitos, ou substituição por novos aparelhos**

**Medida:** Desativação permanente dos desumidificadores dos depósitos, ou substituição por novos aparelhos

**Promotor:** Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

**Tipo de medida:** Climatização

### Objetivos

Esta medida tem como principais objetivos garantir melhores condições de humidade relativa e temperatura nos depósitos de livros do piso -1, assim como evitar o desperdício de energia associado à utilização de desumidificadores sobredimensionados, para o conteúdo guardado nestes arquivos.

### Benefícios

Os benefícios desta medida serão:

- Redução da fatura energética global da biblioteca;
- Utilização mais eficiente de equipamentos de controlo de humidade;
- Redução de custos associados aos consumos energéticos.

### Barreiras que a medida tenta contornar

A única barreira à implementação desta medida é o custo do investimento associado à segunda opção proposta, que teria de ser efetuado para a aquisição de cinco aparelhos de desumidificação de média potência. Para a primeira opção não existe nenhuma barreira à sua implementação.

### Descrição e implementação

Iniciou-se o estudo do ambiente nestes depósitos, pela familiarização com o regime de utilização dos equipamentos aqui instalados, nomeadamente três unidades do tipo armário *Close-Control*, aparelhos com uma potência instalada elevada.

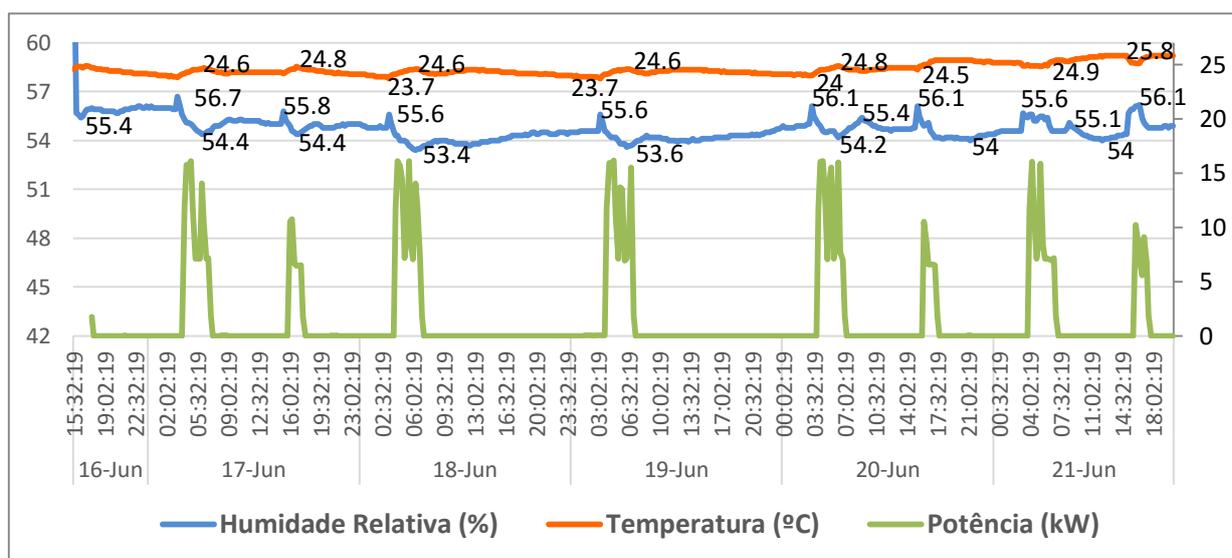


**Fig. 48 – Unidade de desumidificação do tipo *Close-Control***

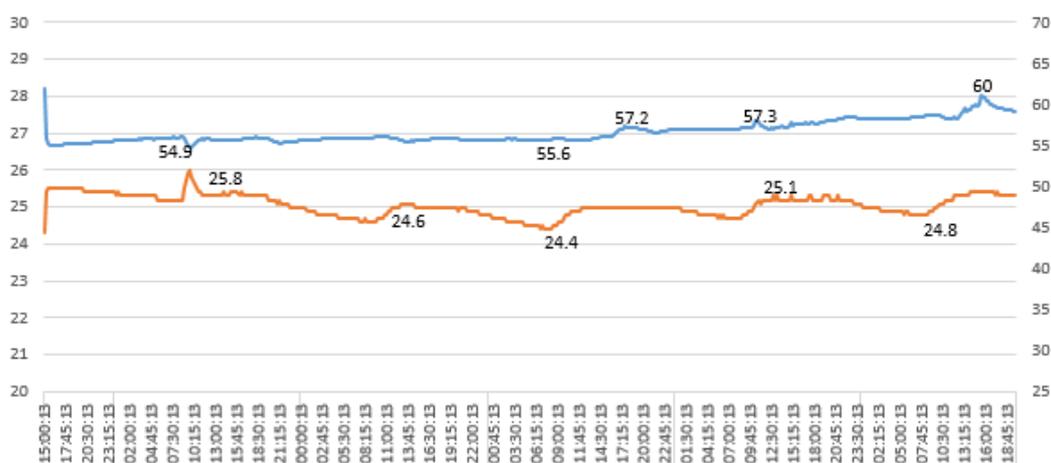
Monitorizou-se a humidade relativa e temperatura nos 3 depósitos de livros, para três modos de funcionamento destes aparelhos:

- Com o funcionamento atual, das 3h às 6h da manhã todos os dias da semana, assim como das 15h às 16:30h durante dias úteis, controlo por temporização horária;
- Com estas unidades desligadas;
- Com as unidades desumidificadoras em modo contínuo, arrancando apenas de acordo com set-points de 24°C e 50% definidos para a temperatura e humidade relativa.

Nos 3 gráficos que se seguem, pode-se observar os resultados obtidos ao longo de 3 períodos de medição distintos, para cada tipo de utilização referido nos três pontos acima mencionados:

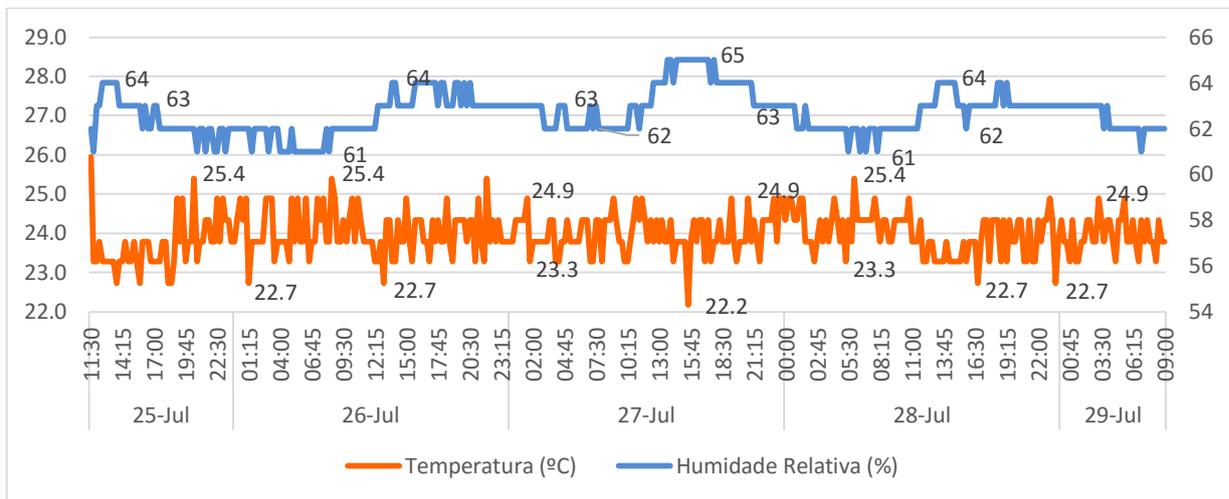


**Fig. 49 – Parâmetros medidos para funcionamento das CC por controlo horário**



**Fig. 50 – Parâmetros medidos para cinco dias com as CC desligadas**

Nos gráficos acima exibidos, assim como no gráfico seguinte, as linhas a laranja representam os valores de temperatura e a azul os valores de humidade relativa.



**Fig. 51 – Parâmetros medidos para funcionamento contínuo das CC**

Pelo que se pode comprovar nos gráficos apresentados, chegou-se à conclusão que o funcionamento atual era o mais prejudicial à boa conservação dos arquivos presentes nestes depósitos. Além disso, verificou-se que, ao desligar as unidades CC, não se verificavam grandes variações nos níveis de temperatura e umidade relativa, que, de acordo com vários peritos, se podem situar entre os 22 e 24°C de temperatura e os 50 e 60% de umidade relativa, para o tipo de livros guardados nestes espaços da biblioteca.

Propõe-se assim, com esta medida, uma de duas opções:

- Desativação permanente das CC;
- Substituição destes equipamentos por desumidificadores de pequena potência.

Relativamente à primeira opção, esta não acarreta investimentos iniciais, sendo a poupança estimada igual ao consumo total de cada aparelho, ao longo do ano de referência. Se esta MRE for a escolhida, e ao mesmo tempo se quiser garantir os níveis de temperatura e umidade necessários à conservação dos livros, é também incluído, no plano M&V, a proposta de monitorização destes parâmetros em dois períodos diferentes do ano de implementação da medida, visto essa monitorização não necessitar de custos adicionais para ser realizada.

Com esta medida, estima-se uma poupança por dia útil de 161,60 kWh, enquanto para um dia de fim de semana essa poupança será de 115,90 kWh. Isto corresponde a uma poupança anual de 51112 kWh, considerando uma média de 246 dias úteis ao longo de um ano, e de 98 sábados e domingos. Esta poupança energética corresponderá a uma redução de custos de aproximadamente 3976 €, com um PRI nulo, visto não estar associado nenhum custo de implementação da medida.

Na segunda opção, propõe-se a aquisição de cinco equipamentos desumidificadores da marca nórdica *Munters*, com uma potência nominal de 1,8 kW cada um, sendo dois instalados em cada um dos Depósitos Ativos e um dos equipamentos instalado no Depósito Passivo.

O custo de cada um destes equipamentos deverá rondar os 350 €, totalizando um investimento inicial de 1750 €, sendo um dos motivos pelo qual, no cronograma de implementação da medida, esta ser proposta apenas para o terceiro ano de vigência do PRCE.

Nesta opção, assumindo que todos os equipamentos funcionam à potência nominal cerca de 12h por dia, quer aos fins de semana quer em dias úteis, o consumo energético anual a eles associado seria de 37152 kWh, sendo a diferença entre o consumo das CC e destes equipamentos de 13960 kWh anual. Este resultado traduz-se numa poupança anual de 1116,80 €.

Não havendo custos associados à instalação dos equipamentos, calcula-se assim um PRI de cerca de um ano, seis meses e vinte e quatro dias, traduzido em 572 dias.

## **Plano de Medição e Verificação**

**Opção de procedimento:** Opção B, volume 1 do IPMVP, EVO 10000 - 1:2009

**Fronteira de medição:** Medição do consumo das novas unidades desumificadoras, no Quadro Elétrico do piso -1

### **Período de reporte:**

1 semana de monitorização a estes equipamentos em dois períodos do ano, nomeadamente um em que se verifique maiores humidades exteriores e um no verão, onde as oscilações de temperatura serão maiores, mas os níveis de humidade menores. Com estas monitorizações obtém-se assim o consumo médio diário dos cinco equipamentos, possibilitando a comparação com os valores de referência usados na MRE. (funcionamento dos aparelhos à potência nominal, 12h/dia)

### **Método**

O Plano M&V deverá ser executado através da instalação de um equipamento de monitorização trifásico no Quadro Elétrico Parcial do piso -1, ligado apenas no disjuntor de tomadas, visto o consumo destes equipamentos representar a maior parcela de consumo deste piso da biblioteca. O instrumento deverá ser configurado para um período de amostragem de 15 em 15 minutos. Os resultados obtidos para um equipamento, deverá ser multiplicado por cinco, sabendo que há apenas ligeiras diferenças no ambiente dentro de cada um dos depósitos, podendo ser assumido o mesmo consumo para os cinco equipamentos. O custo da energia consumida por um dos desumificadores deverá ser calculado multiplicando a potência ativa média registada pelo número de horas associado a cada período horário, multiplicando este valor de consumo (em kWh) pelo respetivo preço (€/kWh).

De igual modo, o consumo associado a estes equipamentos deve ser comparado com os valores referidos na MRE nº 5.

### **Orçamento**

Para a implementação do plano M&V, deverá ser contratado um técnico habilitado a este tipo de operação, além do aluguer do equipamento de monitorização. Este também poderá ser emprestado pelo DEEC, evitando assim gastos desnecessários com o aluguer dos instrumentos.

De acordo com a tabela salarial atual, supõe-se que o técnico contratado apenas necessitará de 3h para instalar e, após a monitorização, retirar o equipamento, sendo esse custo de aproximadamente 17 €. Para esta MRE, o custo do plano M&V não ultrapassa os 3% do custo de implementação da medida (1750 €) e é muito inferior aos 10% da poupança anual esperada (1116,80 €), justificando-se assim a execução deste plano M&V.

É sugerida também a monitorização da humidade relativa e da temperatura nestes espaços, cujos custos associados serão nulos se os equipamentos utilizados forem emprestados pelo Departamento de Engenharia Mecânica. Os equipamentos utilizados ao longo deste trabalho poderão ser os utilizados para estas monitorizações, sendo os resultados extraídos facilmente dos aparelhos para qualquer computador.

Com a realização de gráficos que mostrem os valores de temperatura e humidade presentes nestes espaços, será fácil analisar se os valores ótimos de 22-24°C e de 50-60% de humidade relativa estarão a ser conseguidos, após implementação desta MRE.

**Apêndice G**

**Painéis solares fotovoltaicos na cobertura, para  
autoconsumo**

**Medida:** Instalação de painéis solares fotovoltaicos na cobertura, para autoconsumo

**Promotor:** Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

**Tipo de medida:** Fonte de energia renovável

## Objetivos

Esta medida tem como principais objetivos a instalação de painéis solares fotovoltaicos na cobertura do edifício, em regime de autoconsumo.

## Benefícios

Os benefícios desta medida serão:

- Utilização de fonte de energia renovável;
- Redução de emissões de gases de efeito de estufa;
- Contribuir para um desenvolvimento sustentável do Planeta;
- Redução de custos associados a consumos energéticos.

## Barreiras que a medida tenta contornar

A barreira à implementação desta medida é a falta de pessoal técnico na biblioteca, tendo-se de contratar pessoal habilitado à implementação da medida, assim como um elevado custo inicial de implementação.

## Descrição e implementação

Tendo a cobertura cerca de 40 m<sup>2</sup> disponíveis para a instalação de painéis solares fotovoltaicos, e sabendo que hoje em dia existem cada vez mais incentivos à utilização de energias renováveis, decorrente de as reservas de energias fósseis serem cada vez mais escassas, é proposta assim a produção de uma percentagem da energia elétrica necessária a este edifício, ser proveniente de fontes renováveis.



**Fig. 52 – Local onde se prevê instalar os painéis**

Numa área de aproximadamente 30 m<sup>2</sup> onde se pretende instalar os painéis, consegue-se assim adquirir 12 painéis de 250Wpico cada, obtém-se uma potência máxima de 3 kWp produzida por estes painéis. Propõe-se assim a aquisição de 12 painéis AXITEC AC-250P/156-60S, com uma eficiência de módulo de 15,4%, com uma área necessária de aproximadamente 2,5 m<sup>2</sup>, por painel.



**Fig. 53 – Painel policristalino de 250W**

Terá também de ser instalado um inversor DC/AC, tendo este inversor de ter uma tensão de 24 V, e potência de saída próxima da potência máxima de 3 kW.



**Fig. 54 – Inversor de 3kW escolhido**

É sugerido que estes painéis tenham uma orientação a sul, com uma inclinação de 33°, estimando-se uma produção anual de 5000 kWh, de acordo com o retirado do *PhotoVoltaic Geographical Information System*. Isto resultará numa poupança anual a rondar os 750 €, e os custos associados a esta implementação encontram-se na tabela seguinte:

**Tabela 14 – Equipamentos a adquirir para esta MRE e respetivos custos**

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo (€)</b>
<i>Painel fotovoltaico 250Wp</i>	<i>12</i>	<i>2856</i>
<i>Inversor 3kW</i>	<i>1</i>	<i>282,5</i>
<i>Mão de obra especializada</i>	<i>1 dia</i>	<i>665</i>
<i>Contador trifásico</i>	<i>1</i>	<i>100</i>
<b>Total</b>	-	<i>3903,5</i>

Deverá ser também instalado um contador trifásico simples à saída do inversor, no ponto de entrega de energia produzida pelos painéis.

Esta medida prevê um PRI de 5 anos 2 meses e 14 dias, correspondendo a 1901 dias.

## **Plano de Medição e Verificação**

**Opção de procedimento:** Opção B, volume 1 do IPMVP, EVO 10000 - 1:2009

**Fronteira de medição:** Medição da energia produzida pelos painéis

### **Período de reporte:**

O período de reporte deve ser escolhido para um dia preferencialmente muito ensolarado.

### **Método**

O Plano M&V deverá ser executado através da monitorização do contador trifásico simples instalado no quadro em que foi feita a ligação do sistema fotovoltaico. Deverá ser obtido um diagrama de carga para um dia em que a produção seja máxima, de forma a ser garantido que a potência ativa produzida pelo sistema nunca ultrapassa a consumida, pois o sistema será instalado sem a previsão de injeção de energia na rede.

### **Orçamento**

Para a implementação do plano M&V, deverá ser contratado um técnico habilitado a este tipo de operação, sendo o equipamento de monitorização associado ao contador trifásico já adquirido.

De acordo com a tabela salarial atual, supõe-se que o técnico contratado apenas necessitará de 1h para aquisição dos dados de consumo, resultando num custo de implementação deste plano M&V de 5,70 €.

Este valor é muito inferior a 3% do custo de implementação da MRE (3903,50 €), e é muito menor do que 10% da poupança anual estimada (750 €), sendo viável a realização deste plano M&V.