



# ESTUDO DE MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO NUMA INDÚSTRIA CONSUMIDORA INTENSIVA DE ENERGIA

**TOMÁS QUESADO MONTEIRO ENES**

novembro de 2019

**ESTUDO DE MEDIDAS DE RACIONALIZAÇÃO NUMA  
INDÚSTRIA CONSUMIDORA INTENSIVA DE ENERGIA**

Tomás Quesado Monteiro Enes

Dissertação submetida para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Mecânica - Ramo de Energia

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica

22 de Novembro de 2019



Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento parcial dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, no ramo de Energia, realizada sob a orientação do Doutor Manuel Carlos Felgueiras.

**Candidato**

Tomás Quesado Monteiro Enes  
1130712

**Orientação Científica**

Doutor Manuel Carlos Felgueiras  
Instituto Superior de Engenharia do Porto

**Empresa**

Ecoinside - Ecoeficiência e Sustentabilidade, Lda

**Orientação**

Joaquim Soares Guedes, Mestre em Engenharia Mecânica

**JÚRI**

**Presidente**

Doutor Manuel Jorge Dores de Castro  
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

**Orientador**

Doutor Manuel Carlos Felgueiras  
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

**Arguente**

Mestre José Rui da Rocha Pinto Ferreira  
Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia do Porto



*”Só o que sonhamos é o que verdadeiramente somos, porque o mais, por estar realizado, pertence ao mundo e aos outros.”*

*Bernardo Soares*



# Agradecimentos

A todas e todos presentes neste caminho, poucas são as palavras que vos deixo e que se apoquentam com os vossos atos.

Aos que mais me ensinaram e guiaram, Sanfins e Joaquim da Ecoinside, Leonardo Ribeiro e Carlos Felgueiras do ISEP, por todo o apoio, todas as lições e pela vossa forma de pensar serena mas irreverente e crítica.

Aos colegas de mestrado e da Ecoinside, pelos momentos de companheirismo e aprendizagem. Também ao pessoal da antiga residência Almeida Valente, por toda a animação, ajuda e paciência.

A todos os camaradas, pelos quais *aquilo que é sentido nem cabe na palavra amigo*. Os consistentes que me acompanham à tantos anos: Américo, Bruninho, Cunha, Grilo, Laura, Leitão, Mendes, Pedro e Ricardo.

À Andreia pelo carinho e amor infinitos.

Por fim, aos pequenos Matilde, Dinis e Clara, aos meus irmãos, às minhas irmãs e aos meus pais, isto é mais vosso do que meu.



# Resumo

Este trabalho teve como objetivo o estudo de Medidas de Racionalização de Energia (MRE) numa indústria de tratamento superficial de alumínio com consumo anual entre 500 e 1000 toneladas equivalentes de petróleo (tep) e, como tal, registada no Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE). Os processos de fabrico deste caso de estudo são a anodização e a lacagem.

Foram abordados conceitos essenciais como a *sustentabilidade* e a *eficiência energética*. Foi feito o enquadramento histórico da gestão de energia na indústria portuguesa e na indústria do alumínio. Foi também analisado o paradigma legal e económico relativo à eficiência energética, pelo que foram abordadas as principais certificações, normativas, protocolos e mecanismos de investimento. Os conceitos fundamentais à compreensão do caso de estudo e das medidas de racionalização foram também abordados.

Depois de apresentada a auditoria realizada sobre o caso de estudo, apresentaram-se as medidas. Para além da melhoria da eficiência dos sistemas de iluminação, sistemas de combustão e isolamentos, considera-se necessária a implementação de um sistema de monitorização e gestão de energia que permita a recolha de dados de consumo mais detalhados dos principais equipamentos e/ou secções fabris. Prevê-se que a implementação destas medidas permitirá a redução do consumo em 60,32 tep anuais, correspondente à poupança anual de 33 399 €. O período de retorno de investimento simples para estas medidas é de dois anos e dois meses. Ainda assim, mediante a auditoria realizada, verifica-se que o potencial de melhoria da eficiência energética na instalação é elevado, principalmente nas áreas de sistemas de combustão e refrigeração, tornando fulcral o estudo de novas medidas nestas áreas, em função de novos dados recolhidos pelo sistema de monitorização e gestão de energia a implementar futuramente.

**Palavras-chave** : Eficiência energética, sustentabilidade, auditoria energética, medidas de racionalização de energia, SGCIE, indústria do alumínio, anodização, lacagem.



# Abstract

This thesis aimed at the study of energy rationalization measures in an aluminum surface treatment industrial installation with annual consumption between 500 and 1000 equivalent tons of oil (toe) and, as such, registered in the portuguese energy intensive consumption management system, SGCIE. The manufacturing processes of this case study are anodizing and powder coating.

Key concepts such as *sustainability* and *energy efficiency* were addressed. The historical framework of energy management system in the Portuguese industry and in the aluminum industry was made. The legal and economic paradigm related to energy efficiency was also analyzed and the main certifications, regulations, protocols and investment mechanisms were addressed. The fundamental concepts for understanding the case study and rationalization measures were also addressed.

After presenting the audit performed on the case study, the measures were presented. In addition to improving the efficiency of lighting equipment, combustion systems and insulation, it is considered necessary to implement a monitoring and energy management system that enables the collection of more detailed consumption data of the main equipment and/or factory sections. The implementation of these measures is expected to reduce consumption by 60,32 toe per year, corresponding to an annual saving of 33 399 €. The simple payback period for these measures is two years and two months. Even so, the audit showed that the potential for improving the energy efficiency of the installation is high, especially in the areas of combustion and cooling systems, making pivotal the study of new measures in these areas, based on the new data collected by the energy monitoring and management system to be implemented in the future.

**Keywords:** Energy efficiency, sustainability, energy audit, energy conservation measures, energy management systems, metal manufacturing industry, aluminium industry, anodizing, powder coating.



# Conteúdo

Resumo . . . . .	i
Abstract . . . . .	iii
Nomenclatura . . . . .	xix
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Sustentabilidade e eficiência energética . . . . .	1
1.2 Enquadramento atual . . . . .	3
1.3 A importância do alumínio . . . . .	6
1.4 Indústria do alumínio em Portugal . . . . .	7
1.5 Melhoria contínua da eficiência energética . . . . .	8
1.6 Conteúdo da tese . . . . .	9
1.6.1 Planeamento de estágio . . . . .	11
<b>2 Paradigma legal e económico</b>	<b>13</b>
2.1 Contexto histórico . . . . .	13
2.2 Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia . . . . .	15
2.2.1 Consumidores intensivos de energia . . . . .	16
2.2.2 Organização e funcionamento . . . . .	16
2.2.3 Auditoria energética . . . . .	17
2.2.4 Indicadores energéticos . . . . .	19
2.2.5 Fatores de conversão de energia . . . . .	22
2.2.6 Benefícios, incentivos e incumprimento . . . . .	23
2.2.7 Alterações futuras . . . . .	23
2.2.8 Auditorias energéticas na UE . . . . .	26
2.3 Modelo do sistema de gestão ISO 50 001 . . . . .	28
2.4 <i>International Performance Measurement &amp; Verification Protocol</i> . . . . .	30
2.5 <i>Investor Confidence Project</i> . . . . .	34

---

2.6	Modelo ESCO . . . . .	36
2.6.1	Serviços das ESCO . . . . .	37
<b>3</b>	<b>Conceitos fundamentais</b>	<b>39</b>
3.1	Transferência de calor . . . . .	39
3.1.1	Condução . . . . .	40
3.1.2	Convecção . . . . .	42
3.1.3	Radiação . . . . .	44
3.2	Processamento de alumínio . . . . .	46
3.2.1	Anodização . . . . .	46
3.2.2	Lacagem . . . . .	50
3.3	Combustão . . . . .	52
3.3.1	Relação ar/combustível . . . . .	52
3.4	Sistemas de iluminação . . . . .	55
3.4.1	Luminotecnia . . . . .	55
3.4.2	Requisitos legais . . . . .	56
3.5	Consumo de energia elétrica . . . . .	57
3.5.1	Períodos horários para ciclos semanais . . . . .	57
3.5.2	Energia reativa . . . . .	57
3.6	Instrumentos de medição . . . . .	59
3.6.1	Auditoria energética . . . . .	59
3.6.2	Sistemas de monitorização . . . . .	62
3.6.3	Obstáculos ao investimento . . . . .	63
<b>4</b>	<b>Caso de estudo</b>	<b>65</b>
4.1	Apresentação da empresa . . . . .	65
4.2	Apresentação da indústria . . . . .	66
4.2.1	Anodização . . . . .	67
4.2.2	Lacagem . . . . .	71
4.2.3	Ar comprimido . . . . .	74
4.3	Dados e indicadores energéticos precedentes . . . . .	74
4.4	Consumo energético . . . . .	76
4.4.1	Energia elétrica . . . . .	76
4.4.2	Gás natural . . . . .	79
4.4.3	Consumo total . . . . .	81

4.5	Custos energéticos . . . . .	82
4.6	Emissões de gases de efeito de estufa . . . . .	85
4.7	Indicadores energéticos em 2018 . . . . .	86
4.7.1	Intensidade Energética . . . . .	88
4.7.2	Consumo Específico e Intensidade Carbónica . . . . .	88
4.8	Auditoria Energética . . . . .	90
4.8.1	Equipamentos . . . . .	90
4.8.2	Transformação da energia . . . . .	91
4.8.3	Caracterização dos principais equipamentos . . . . .	92
4.8.4	Diagramas de carga . . . . .	94
4.8.5	Distribuição do consumo energético . . . . .	101
4.8.6	Energia térmica . . . . .	104
4.8.7	Balanços de massa e energia . . . . .	107
4.8.8	Consumo específico de energia . . . . .	109
4.9	Novas metas . . . . .	112
<b>5</b>	<b>Medidas de racionalização de energia</b>	<b>115</b>
5.1	Sistema de monitorização de energia . . . . .	118
5.1.1	Implementação . . . . .	118
5.1.2	Poupança energética . . . . .	120
5.2	Iluminação . . . . .	120
5.2.1	Substituição e poupança energética . . . . .	121
5.2.2	Sistema de controlo . . . . .	122
5.3	Sistemas acionados por motores elétricos . . . . .	122
5.3.1	Variação eletrónica de velocidade . . . . .	123
5.3.2	Potencial de redução . . . . .	124
5.4	Isolamentos . . . . .	125
5.4.1	Condutas de arrefecimento . . . . .	126
5.4.2	Coberturas dos banhos quentes . . . . .	126
5.4.3	Estufa da lacagem . . . . .	128
5.5	Produção de calor e frio . . . . .	129
5.5.1	Queimadores . . . . .	129
5.5.2	<i>Chillers</i> . . . . .	134
5.5.3	Caldeira de termofluido . . . . .	136

---

5.6	Sumário . . . . .	138
<b>6</b>	<b>Conclusões e trabalho futuro</b>	<b>141</b>
6.1	Conclusões . . . . .	141
6.2	Trabalho futuro . . . . .	143
	<b>Bibliografia</b>	<b>145</b>
	<b>A Informação legislativa</b>	<b>151</b>
	<b>B Informação recolhida</b>	<b>155</b>
	<b>C Procedimentos</b>	<b>161</b>
	<b>D Fichas técnicas</b>	<b>171</b>

# Lista de Tabelas

1.1	Principais Medidas de Racionalização de Energia no setor da produção de alumínio em Portugal. . . . .	8
1.2	Planeamento das tarefas de estágio. . . . .	11
2.1	Resumo sucinto dos sistemas de promoção da eficiência energética na indústria portuguesa, alemã, britânica e espanhola. . . . .	27
3.1	Intervalo de excesso de ar adequado na queima de gás natural e respetivo teor de oxigénio nos gases de combustão secos. . . . .	54
3.2	Eficiência luminosa de diferentes tecnologias. . . . .	56
3.3	Escalões de pagamento da energia reativa. . . . .	58
4.1	Descrição dos banhos de anodização da instalação. . . . .	71
4.2	Descrição dos banhos de pré-tratamento da lacagem. . . . .	72
4.3	Dados relativos ao consumo global de energia, Valor Acrescentado Bruto e respetiva Intensidade Energética do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia 2011-2018. . . . .	74
4.4	Distribuição da utilização de energia em função do tipo de produto considerada no Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia 2011-2018, por fonte de energia. . . . .	75
4.5	Dados relativos à produção de lacado e respetivos indicadores energéticos do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia 2011-2018. . . . .	75
4.6	Dados relativos à produção de anodizado e respetivos indicadores energéticos do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia 2011-2018. . . . .	75
4.7	Fontes da energia elétrica correspondentes ao <i>mix</i> energético de 2017 e 2018. . . . .	77
4.8	Consumo de energia elétrica da instalação, por período horário, em 2018. . . . .	77

4.9	Consumo mensal de gás natural da instalação em energia e volume, no ano de 2018, e o respetivo poder calorífico superior, segundo faturação. . . . .	80
4.10	Consumo de energia total da instalação, em toneladas equivalentes de petróleo, no ano de 2018. . . . .	81
4.11	Custo da energia total da instalação, e respetivo custo específico, no ano de 2018. . . . .	82
4.12	Custo relativos dos principais termos do custo da energia elétrica no ano de 2018. . . . .	85
4.13	Emissões anuais de gases de efeito de estufa da instalação, em toneladas de dióxido de carbono equivalente, no ano de 2018. . . . .	86
4.14	Valor Acrescentado Bruto e produção fabril no ano de 2018. . . . .	86
4.15	Dados de produção fabril de 2018. . . . .	87
4.16	Intensidade Energética em 2018, respetivos dados e comparação com a meta. . . . .	88
4.17	Dados relativos à produção da Lacagem, respetivos indicadores energéticos atuais e comparação com as metas. . . . .	88
4.18	Dados relativos à produção da Anodização, respetivos indicadores energéticos atuais e comparação com as metas esperadas. . . . .	89
4.19	Potência nominal dos principais equipamentos ou grupos de equipamentos. . . . .	92
4.20	Lista dos queimadores de gás natural presentes na instalação. . . . .	93
4.21	Temperatura dos gases de exaustão de alguns dos principais queimadores de gás natural. . . . .	93
4.22	Consumo de energia elétrica dos pontos de medição analisados e comparação com o consumo global da instalação no mesmo período. . . . .	101
4.23	Desagregação do consumo de energia elétrica. . . . .	102
4.24	Estimativa de consumo anual de energia elétrica dos principais equipamentos ou grupos de equipamentos. . . . .	102
4.25	Distribuição do consumo energia pelos processos de fabrico determinada na auditoria energética. . . . .	103
4.26	Balanço mássico dos banhos quentes da Anodização no ano de referência. . . . .	108
4.27	Balanço energético dos banhos quentes da Anodização no ano de referência. . . . .	108
4.28	Dados de produção fabril e consumo energético, para o período de referência. . . . .	109
4.29	Indicadores energéticos atuais e objetivos de redução para 2026. . . . .	113
5.1	Resumo das medidas de racionalização de energia implementadas entre 2010 e 2018. . . . .	116

---

5.2	Lista dos pontos fixos de medição do sistema de monitorização e controlo de energia. . . . .	119
5.3	Resumo dos equipamentos de iluminação por locais da instalação e respetiva estimativa de consumo anual. . . . .	121
5.4	Áreas de iluminação com potencial de melhoria e respetiva poupança anual.	122
5.5	Bombas circuladoras do grupo de arrefecimento da Anodização e respetivo consumo anual. . . . .	125
5.6	Consumo energético anual referente às perdas de evaporação superfície dos banhos quentes e potencial poupança. . . . .	128
5.7	Consumo energético anual referente aos banhos quentes da Anodização e potencial de poupança com a redução da temperatura dos gases de combustão.	133
5.8	Resumo da análise de poupança anual, investimento e <i>payback</i> das Medidas de Racionalização de Energia. . . . .	138
A.1	Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental. . . . .	151
A.2	Poderes Caloríficos Inferiores e Fatores de Emissão para combustíveis do Despacho n.º 17313/2008. . . . .	152
A.3	Tabela de deflatores, de acordo com o ano de referência do Plano de Racionalização dos consumos de Energia. . . . .	153
B.1	Lista de motores elétricos AC com VEV e respetivas potências nominais. . . . .	155
B.2	Lista de motores elétricos AC sem VEV e respetivas potências nominais. . . . .	156
B.3	Lista de equipamentos ou conjunto de equipamento consumidores intensivos de energia e respetivas potências nominais. . . . .	157
C.1	Estimativa de consumo energético dos motores elétricos sem VEV (Parte I).	161
C.2	Estimativa de consumo energético dos motores elétricos sem VEV (Parte II).	162
C.3	Estimativa de consumo energético dos motores elétricos com VEV. . . . .	162
C.4	Estimativa de consumo energético dos principais equipamentos elétricos - valores assinalados representam ajustes através de medição. . . . .	163
C.5	Cálculo da distribuição de consumo de gás natural pelos processos de Anodização e Lacagem. . . . .	163
C.6	Cálculos das perdas de evaporação nos banhos quentes da Anodização. . . . .	163
C.7	Cálculos das perdas de convecção nos banhos quentes da Anodização. . . . .	164

C.8 Cálculos da distribuição do consumo de combustível na Anodização com base nas perdas. . . . .	165
C.9 Cálculo da tarifa de eletricidade relativa aos equipamentos de iluminação. .	166
C.10 Estimativa do consumo de energia anual da iluminação com potencial de melhoria. . . . .	166
C.11 Cálculo da poupança de energia anual da iluminação eficiente LED. . . . .	167
C.12 Plano de implementação das medidas de racionalização de energia. . . . .	170

# Lista de Figuras

1.1	Evolução da concentração média mensal de CO <sub>2</sub> na atmosfera. . . . .	2
1.2	Evolução do consumo de energia primária, entre 1990 e 2006, para os EU-28. . . . .	3
1.3	Evolução da emissão de Gases com Efeito de Estufa, entre 1990 e 2006, para os EU-28. . . . .	4
1.4	Distribuição da energia final consumida em 2016, para os EU-28. . . . .	5
1.5	Distribuição, por setores de atividade económica, da energia final consumida em 2016, em Portugal. . . . .	5
1.6	Exemplos da utilização do alumínio. . . . .	6
2.1	Evolução da dependência energética nacional. . . . .	14
2.2	Figura ilustrativa do logótipo do Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia. . . . .	15
2.3	Linha cronológica da evolução dos sistemas de gestão de energia na indústria portuguesas. . . . .	16
2.4	Evolução do consumo de energia primária e final em Portugal. . . . .	24
2.5	Tipos de sistemas de gestão de energia na indústria implementados nos EU-28. . . . .	28
2.6	Modelo de sistema de gestão de energia para a ISO 50 001. . . . .	30
2.7	Poupança estimada, após uma Medida de Racionalização de Energia, em relação ao período de referência. . . . .	32
2.8	Portfólio de protocolos do <i>Investor Confidence Project</i> . . . . .	36
2.9	Esquema económico do modelo ESCO, traço interrompido para bens e serviços, traço contínuo para transações económicas. . . . .	37
3.1	Mecanismos de transferência de calor. . . . .	40
3.2	Transferência de calor por condução através de uma placa plana. . . . .	41

3.3	transferência de calor por convecção de um bloco quente para um escoamento de ar. . . . .	43
3.4	Transferência de calor entre duas superfícies por radiação. . . . .	46
3.5	Representação simplificada de um processo comum de anodização de alumínio e dos principais equipamentos. . . . .	47
3.6	Representação simplificada de um processo comum de lacagem de alumínio e dos principais equipamentos. . . . .	51
3.7	Custos típicos relacionados com a iluminação na indústria. . . . .	55
3.8	Instrumentos de medição portáteis comuns em auditoria energética - da esquerda para a direita, uma câmara termográfica, um medidor de pressão e um analisador de gases de combustão. . . . .	60
3.9	Instrumentos de medição portáteis comuns em auditoria energética - da esquerda para a direita, um analisador de energia, um anemómetro e um higrómetro. . . . .	61
3.10	Instrumentos de medição portáteis comuns em auditoria energética - da esquerda para a direita, um estroboscópio, um distanciómetro de laser e um luxímetro. . . . .	61
3.11	Instrumentos de medição fixos comuns na indústria - da esquerda para a direita, um analisador de energia, um contador de gás e um contador de entalpia. . . . .	62
4.1	Figura ilustrativa do logótipo da empresa Ecoinside. . . . .	65
4.2	Fluxograma da produção fabril da instalação. . . . .	67
4.3	Pré-tratamento da linha da Anodização. . . . .	68
4.4	Da esquerda para a direita, o quadro de controlo dos banhos químicos, um dos retificadores e repetivo controlador. . . . .	68
4.5	Principais equipamentos do grupo de arrefecimento dos banhos de anodização - da esquerda para a direita, <i>chiller</i> , tanque de permuta e permutador de placas. . . . .	69
4.6	Finalização do processo de Anodização. . . . .	70
4.7	Pré-tratamento da Lacagem, à direita, os banhos de pré-tratamento e, à esquerda, a estufa para secagem dos perfis. . . . .	72
4.8	Transportadora e quadro de controlo da Lacagem. . . . .	73
4.9	Linha da Lacagem: à direita, a câmara de pintura de perfis; ao centro e à esquerda, o forno de polimerização. . . . .	73

---

4.10	Secador, depósito de ar comprimido e compressor de serviço. . . . .	74
4.11	Evolução do consumo mensal de energia elétrica da instalação em 2018 - valores relativos no gráfico de barras. . . . .	78
4.12	Caracterização dos consumos mensais e anuais de energia elétrica por período tarifário, em 2018. . . . .	78
4.13	Evolução do consumo mensal de gás natural da instalação em 2018 - valores relativos no gráfico de barras. . . . .	80
4.14	Caracterização dos consumos mensais e anuais de energia global no ano de 2018. . . . .	82
4.15	Evolução do custo específico da energia da instalação, por fonte, em €/tep, no ano de 2018. . . . .	83
4.16	Custo da energia da instalação, por fonte, em €/MWh, no ano de 2018. . .	83
4.17	Custo final da energia reativa da instalação, por escalão, em 2018. . . . .	84
4.18	Evolução e distribuição da produção de lacado e anodizado no ano de 2018.	87
4.19	Evolução do consumo específico global da instalação durante o ARCE 2011-2018. . . . .	89
4.20	Evolução das vendas anuais durante o ARCE 2010-2018. . . . .	90
4.21	Quadros Gerais de Baixa Tensão 1 e 2 - QGBT 1 à direita e QGBT 2 à esquerda. . . . .	91
4.22	Potências nominais instaladas dos principais equipamentos consumidores de energia elétrica. . . . .	92
4.23	Exemplificação de uma recolha de dados utilizando um analisador de energia.	95
4.24	Diagrama de carga do compressor e respetiva potência média de funcionamento - dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos. . . . .	96
4.25	Diagrama de carga da linha da Lacagem - dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos. . . . .	97
4.26	Diagrama de carga da linha da Anodização - Dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos. . . . .	97
4.27	Diagrama de carga do <i>Chiller</i> 1 e respetiva potência média de funcionamento - dados recolhidos durante 48 horas, com tempo de integração de 15 minutos.	98
4.28	Diagrama de carga do <i>Chiller</i> 2 e respetiva potência média de funcionamento - dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos. .	98

4.29	Comparação da potência de ambos os <i>chillers</i> - dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos. . . . .	99
4.30	Diagrama de carga do Retificador 3 e respetiva potência média de funcionamento - dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos. . . . .	100
4.31	Diagrama de carga da instalação - dados recolhidos durante uma semana, tempo de integração de 15 minutos. . . . .	100
4.32	Comparação entre potência instalada e estimativa de consumo de energia elétrica dos principais equipamentos ou grupos de equipamentos. . . . .	103
4.33	Perdas por evaporação de água numa superfície exposta ao ar ambiente. . .	106
4.34	Distribuição do consumo de gás natural nos banhos quentes da Anodização. . . . .	107
4.35	Evolução do consumo específico de energia global durante o ano de referência. . . . .	110
4.36	Relação entre consumo global de energia e produção fabril total, por mês, para o período de referência. . . . .	111
4.37	Relação entre o consumo específico de energia e a produção. . . . .	112
5.1	Distribuição da poupança energética, para medidas transversais e setoriais, na indústria portuguesa. . . . .	115
5.2	Configuração comum de um variador eletrónico de velocidade. . . . .	124
5.3	Registo termográfico das condutas de água fria dos chillers. . . . .	126
5.4	Exemplo de uma cobertura móvel composta por esferas termoplásticas [58]. . . . .	127
5.5	Registos termográficos da estufa de secagem de perfis da Lacagem. . . . .	129
5.6	Esquema do sistema de queima e permuta dos banhos quentes da Anodização. . . . .	130
5.7	Esquema de funcionamento de um <i>chiller</i> convencional. . . . .	135
5.8	Esquema de funcionamento de um <i>chiller</i> com condensador de recuperação de calor. . . . .	135
5.9	Caldeira de fluido térmico. . . . .	137
B.1	Esquema simplificado do sistema de arrefecimento dos banhos de anodização. . . . .	158
B.2	Registos de potência máxima, média e mínima do compressor durante 48 horas. . . . .	159
C.1	Resultado do estudo luminotécnico para a área da Anodização. . . . .	167
C.2	Resultado do estudo luminotécnico para a área geral da Lacagem. . . . .	168
C.3	Resultado do estudo luminotécnico para a área de pintura da Lacagem. . . . .	169

D.1	Ficha técnica das luminárias LED utilizadas nos estudo luminotécnicos. . .	172
-----	--	-----



# Siglas e abreviaturas

## Caracteres Romanos

J	Joule
t	tonelada
tep	tonelada equivalente de petróleo
kg <sub>ep</sub>	Quilograma equivalente de petróleo
kgCO <sub>2e</sub>	Quilograma de dióxido de carbono equivalente
kgCO <sub>2e</sub> /GJ	Quilograma de dióxido de carbono equivalente por GigaJoule
kgCO <sub>2e</sub> /tep	Quilograma de dióxido de carbono equivalente por tep

## Caracteres Gregos

$\varphi$	Ângulo de desfasamento
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzman
$\varepsilon$	Emissividade

## Operadores

$\overline{(\ )}$	Valor médio
$\dot{(\ )}$	Valor derivado em função do tempo
$\Delta$	Diferença

## Abreviaturas

GEE	Gases com Efeito de Estufa
INE	Instituto Nacional de Estatística
CAE	Classificação da Atividade Económica

---

DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
MRE	Medida de Racionalização de Energia
PREn	Plano de Racionalização do consumo de Energia
ARCE	Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia
VAB	Valor Acrescentado Bruto
CEE	Comunidade Económica Europeia
RGCE	Regulamento Geral de Consumo de Energia
CIE	Consumidor Intensivo de Energia
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
DGAIEC	Direção-Geral das Alfândegas e Impostos sobre o Consumo
ADENE	Agência para a Energia
REP	Relatório de Execução e Progresso
ISP	Imposto Sobre Produtos Petrolíferos e energéticos
IE	Intensidade Energética
CE	Consumo Específico
IC	Intensidade Carbónica
FE	Fator de Emissão
FC	Fator de Conversão
SGE	Sistema de Gestão de Energia
M&V	Medição e Verificação
IPMVP	<i>International Performance Measurement &amp; Verification Protocol</i>
ICP	<i>Investor Confidence Project</i>
ESCO	<i>Energy Service COmpanies</i>
DC	<i>Direct Current</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
PCS	Poder Calorífico Superior
PCI	Poder Calorífico Inferior
PT	Posto de Transformação
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
VEV	Variação Eletrónica de Velocidade

# Capítulo 1

## Introdução

O paradigma socioeconómico e cultural atual é resultado da evolução tecnológica ininterrupta que teve início há mais de dois séculos, desde a 1<sup>a</sup> Revolução Industrial. Vários foram os fatores que provocaram esse brusco avanço tecnológico, sendo que um dos principais foi o da utilização de combustíveis fósseis como principal fonte de energia. Desde então, as diferentes sociedades e os seus estilos de vida foram sendo marcados pela evolução dos recursos tecnológicos disponíveis e, como tal, pelo aumento do consumo energético.

Mais recentemente, desde a década de 70 do século passado, devido ao aumento e à volatilidade do preço dos combustíveis fósseis, o custo dos recursos energéticos passou a representar um considerável, e por vezes imprevisível, encargo nos diversos setores de atividade económica. Deste modo, a otimização da utilização deste recurso tornou-se fulcral para que as organizações pudessem ser economicamente competitivas e também menos prejudiciais ambientalmente, objetivos que têm vindo a revelar-se cada vez mais importantes. Tornou-se, portanto, imprescindível a análise da utilização dos recursos energéticos, assim como o estudo de medidas que permitam a respetiva racionalização [1].

### 1.1 Sustentabilidade e eficiência energética

A utilização eficiente da energia é uma das estratégias-chave das políticas de desenvolvimento sustentável, independentemente da fonte de energia. Entenda-se como *desenvolvimento sustentável* aquele que é capaz de balancear o impacto das atividades humanas e de desenvolvimento socio-económico com os recursos disponíveis e a respetiva capacidade regenerativa da natureza. Sucintamente, o *desenvolvimento sustentável* permite colmatar as necessidades atuais sem comprometer as necessidades de desenvolvimento futuro [2].

Para que esse balanço seja conseguido, o desenvolvimento tem de ser capaz de equilibrar as vertentes sociais, económicas e ambientais [3].

No atual paradigma de desenvolvimento humano e tecnológico, a adoção de estratégias políticas de desenvolvimento sustentável torna-se incontornável devido às nefastas e degradantes consequências ecológicas e ambientais relacionadas com o rápido e descontrolado desenvolvimento não sustentável [2].

A evolução da concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico, em *partes por milhão*, nos últimos 40 anos, de acordo com o *Earth System Research Laboratory*, está ilustrada na Figura 1.1.

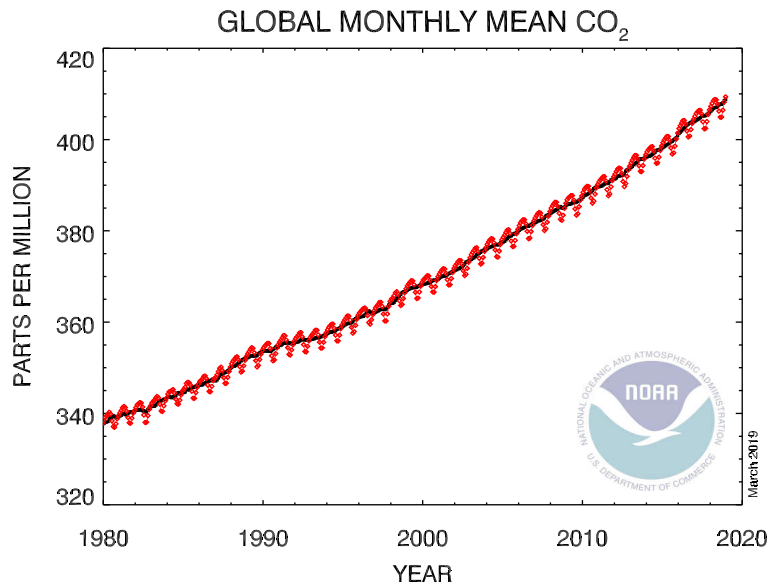


Figura 1.1: Evolução da concentração média mensal de  $\text{CO}_2$  na atmosfera [4].

Como se pode observar, apesar de todos os esforços e medidas tomadas, a *concentração global média* de dióxido de carbono continua a aumentar, o que acentua o efeito de estufa provocado pela emissão de poluentes gasosos na atmosfera [4].

Como já referido, são altamente nefastas as consequências da degradação do meio ambiente causadas pelo recente desenvolvimento insustentável. O aumento da temperatura média terrestre, a subida do nível das águas do mar, a acidificação oceânica ou a alterações dos padrões das chuvas são apenas algumas das alterações diretamente provocadas pela excessiva emissão antropogénica de Gases com Efeito de Estufa (GEE). Estas alterações climáticas têm como consequência o aumento da gravidade e frequência de eventos extremos como cheias, secas, ondas de calor, entre muitos outros. Estas consequências, por sua

vez, têm impactos negativos, diretos ou indiretos, em todos os sistemas naturais, como os ecossistemas terrestres, costeiros e marinhos, ou sistemas humanos, como na produção agrícola, infra-estruturas, saúde e ainda nos sistemas socio-económicos [5].

A racionalização da utilização de energia e o aumento da eficiência energética são dos principais objetivos no compromisso entre as três vertentes de sustentabilidade - social, económica e ambiental. O aumento da eficiência energética global pode ser atingido através da implementação de medidas que racionalizem a utilização de energia. Estas diligências estão relacionadas essencialmente com duas estratégias: a implementação de medidas de conservação de energia ou a promoção do aumento da eficiência energética. Segundo [6], a eficiência pode ser definida como *despender de um recurso tão exatamente necessário para obter um determinado efeito*. Noutra perspetiva, [7] entende que *a eficiência energética consiste na redução do consumo de energia mantendo os mesmos serviços*. Muitas vezes, este propósito só é alcançável através da utilização de equipamentos mais eficientes. Noutra vertente, a conservação de energia está geralmente relacionada com a redução da utilização de energia. Ambas estão relacionadas com a diminuição do desperdício e, como tal, com a racionalização da utilização da energia. [3]

## 1.2 Enquadramento atual

Segundo o EUROSTAT, o consumo líquido de energia nos EU-28 no ano de 2016, em toneladas equivalentes de petróleo (tep), foi de 1 640 Mtep, representando um aumento de cerca de 0,7% em relação ao ano anterior. A evolução da energia primária consumida por estes países, entre 1990 e 2016 e por fonte de energia, pode ser observada na Figura 1.2.

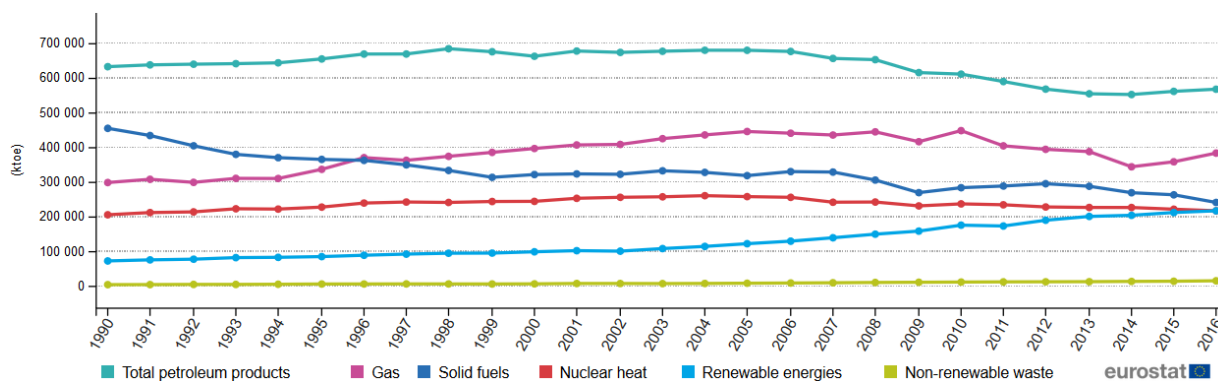


Figura 1.2: Evolução do consumo de energia primária, entre 1990 e 2016, para os EU-28 [8].

Ainda na Figura 1.2, está também ilustrada a diminuição do consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis, motivada pelos graves impactos ambientais inerentes à utilização destas fontes energéticas e também, como já referido, pelo aumento e volatilidade do seu preço. Contrariamente, destaca-se o aumento do consumo de energia proveniente de fontes renováveis desde o início do século XXI [8].

Neste contexto, a Figura 1.3 apresenta a evolução da emissão de GEE, entre 1990 e 2016, também para os EU-28.

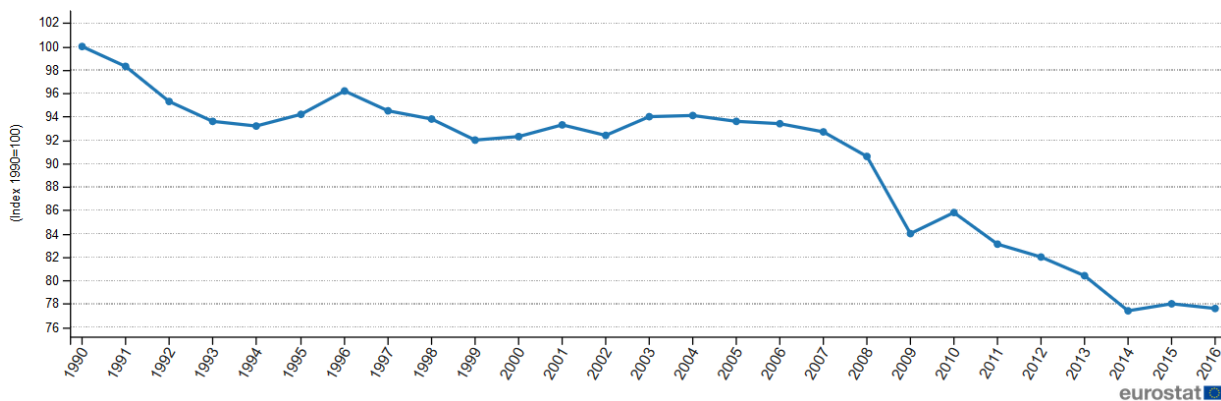


Figura 1.3: Evolução da emissão de Gases com Efeito de Estufa, entre 1990 e 2016, para os EU-28 [8].

Efetivamente, existe uma diminuição significativa da emissão de GEE nos EU-28, cerca de 22% nos últimos 25 anos. Esta significativa redução deve-se, maioritariamente, ao controlo e diminuição da utilização de combustíveis fósseis, ao aumento da utilização de combustíveis fósseis e à implementação de práticas de racionalização da utilização de energia [8]. Como apresentado na Figura 1.3, apesar do consumo de energia total não ter sofrido alterações significativas ao longo deste período, foi possível conciliar esta necessidade com a redução da emissão de GEE. Estes dados demonstram a importância do estudo e implementação de Medidas de Racionalização de Energia (MRE) no aumento da eficiência energética e na redução da emissão de GEE.

Relativamente à distribuição deste consumo energético por setores de atividade económica, é possível desagregar o consumo dos EU-28 em seis principais setores, como ilustrado na Figura 1.4.

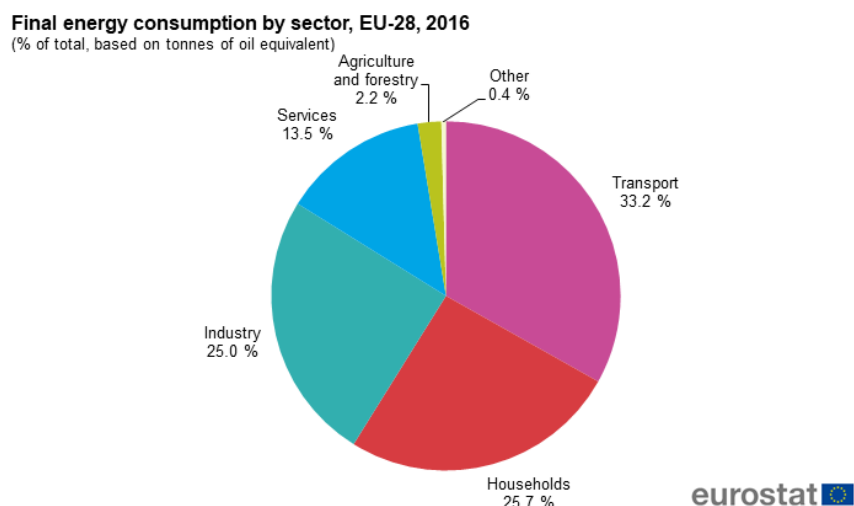


Figura 1.4: Distribuição da energia final consumida em 2016, para os EU-28 [8].

De um modo global, a indústria representou um quarto do consumo de energia final nos EU-28, no ano de 2016 [8].

Com bastante alinhamento com o resto da Europa, o setor industrial em Portugal foi responsável, no ano de 2016, por cerca de 28,5% do consumo final de energia segundo o Instituto Nacional de Estatística (INE). As quotas de consumo em Portugal por setor de atividade económica estão ilustradas na Figura 1.5 [9].

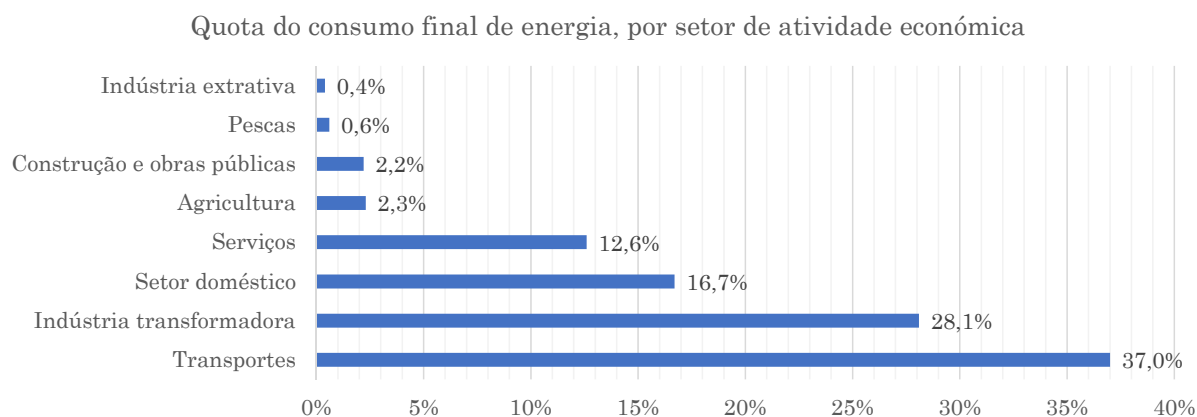


Figura 1.5: Distribuição, por setores de atividade económica, da energia final consumida em 2016, em Portugal (adaptado de [9]).

No setor da *Indústria transformadora* estão inseridos, entre muito outros, os subsectores da *Obtenção e primeira transformação de alumínio* e do *Tratamento e revestimento de*

*metais*. As atividades económicas do caso de estudo desta dissertação inserem-se nestes subsectores.

### 1.3 A importância do alumínio

O alumínio é um metal utilizado na indústria há mais de 150 anos. Este metal é principalmente obtido a partir do minério *bauxite*. Este metal e as suas ligas não ferrosas têm boas características como a baixa densidade, cerca de três vezes menor que a do aço, e elevada resistência mecânica, resultando numa resistência específica entre duas a três vezes superior à dos aços comuns, dependendo do tipo de liga. Outra das características consiste na elevada resistência à corrosão, propriedade que pode ser melhorada através de *tratamentos superficiais*, sendo a lacagem e a anodização os mais comuns. Para além disso, trata-se de um material abrangente em termos de processamento devido ao baixo ponto de fusão, cerca de 660°C para o alumínio puro, quando comparado com outros metais, mas também devido à boa maleabilidade, uma vez que é um metal com elevada ductilidade. Por estas características, é um material muito utilizado nos diversos setores de atividade económica como a construção, decoração ou indústria [10, 11]. A Figura 1.6 apresenta exemplos da utilização do alumínio.



Figura 1.6: Exemplos da utilização do alumínio [10].

Em termos ambientais, este material apresenta boas características uma vez que, para além de ter um tempo de vida útil elevado devido à ótima resistência à corrosão, é um metal facilmente reciclável, resultando numa menor *pegada ecológica*. Neste contexto, a utilização do alumínio em prol de outros materiais, como o aço ou polímeros, pode ajudar na redução do impacto ambiental [10].

Apesar de todas estas vantagens, a produção e o tratamento superficial de produtos de alumínio são ainda atividades particularmente intensivas em termos energéticos e consequentemente onerosas. Estima-se que o custo de energia elétrica corresponda entre 20% a 40% do custo dos produtos finais de alumínio [12].

## 1.4 Indústria do alumínio em Portugal

Este caso de estudo foca-se na auditoria energética a uma indústria especializada na produção de alumínio, nomeadamente nos processos de extrusão, lacagem e anodização. Este tipo de atividades são designadas como *Obtenção e primeira transformação de alumínio* e como *Tratamento e revestimento de metais*, às quais correspondem, respetivamente, a Classificação da Atividade Económica (CAE) 24420 e 25610. Segundo o INE, no ano de 2016 existiam em atividade 33 unidades de produção registadas com o CAE 24420, cujo valor gerado em vendas anual foi superior a 312 milhões de euros. Como subsetor das *Indústrias Metalúrgicas de Base*, este valor de vendas corresponde a 14% do valor total do setor em 2016 [9, 13].

A Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), como responsável pela supervisão e fiscalização do Sistema de Gestão dos Consumos de Energia (SGCIE), analisou os consumos energéticos intensivos neste subsetor e elaborou o *Caderno Subsetorial do CAE 24420*, relatório que incidiu num total de 10 instalações. Segundo este estudo, o consumo total no ano de referência das instalações auditadas foi de 21 400 tep, resultando na emissão de 52 544 toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO<sub>2e</sub>). As fontes de energia mais utilizadas nestas instalações foram a energia elétrica, com 52,6%, e o gás natural, com 38,8%. Excluindo estas, as fontes de energia utilizadas nestas instalações foram, por ordem decrescente, o fuelóleo, o GPL e o gasóleo. Este estudo mostrou que, apenas com a implementação das oito Medidas de Racionalização de Energia (MRE) mais frequentes e com maior potencial de economia do consumo energético neste setor, foi possível reduzir o consumo nestas instalações, entre 2010 e 2017, cerca de 1331 tep anualmente. Esta redução de consumo de energia resultou, também em termos anuais, na não emissão de 3 365 tCO<sub>2e</sub> e na poupança de 593 788 €. É de salientar que, para estas MRE, o período de retorno de investimento ou *payback* foi, em média, um ano e nove meses [13]. Na Tabela 1.1 estão listadas estas MRE, as respetivas reduções energéticas e de emissões de GEE anuais e o correspondente *payback*.

Tabela 1.1: Principais Medidas de Racionalização de Energia no setor da produção de alumínio em Portugal (adaptado de [13]).

<b>Natureza da medida</b>	<b>Redução anual [tep]</b>	<b>Poupança anual [€]</b>	<b>Payback [anos]</b>
Recuperação de calor	391,5	183 266	2,3
Sistemas de combustão	233,3	109 145	0,1
Isolamentos térmicos	182,2	69 529	2,0
Otimização de motores	167,4	69 029	1,0
Iluminação eficiente	99,9	53 438	3,5
Sistemas de compressão	106,0	49 292	1,9
Sistemas de ventilação	91,0	37 808	1,8
Monitorização e controlo	59,7	22 281	1,2
<b>Total</b>	<b>1331,0</b>	<b>593 788</b>	<b>1,7 (médio)</b>

## 1.5 Melhoria contínua da eficiência energética

O SGCIE promove o aumento contínuo da eficiência energética na indústria através de auditorias energéticas e da celebração de acordos entre as autoridades competentes e as instalações consumidoras intensivas de energia. Durante um período de oito anos, as instalações abrangidas por este sistema são obrigadas a implementar as MRE previamente planeadas de modo a alcançar as metas de aumento de eficiência energética e a consequente redução do impacto ambiental. Finalizado esse período, é necessária a realização de uma nova auditoria energética para que se possa definir um novo plano de racionalização de energia, possibilitando dessa forma o aumento constante - melhoria contínua - da eficiência energética na indústria.

É neste contexto que se insere a presente dissertação. Ainda que a instalação tenha já sido auditada no ano de 2010, tendo também sido implementadas as MRE definidas no início do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE) que findou no ano passado, a obrigatoriedade da execução de uma nova auditoria e respetivo plano de racionalização com novas MRE promove a melhoria contínua da eficiência energética nas instalações. A renovação das auditorias e respetivos Planos de Racionalização dos consumos de Energia (PREn) revela-se como ferramenta eficaz na procura incessante pelo aumento da eficiência energética e consequentes diminuições de custo financeiro, consumo energético e impacto ambiental. Diversos são os fatores que justificam essa renovação como:

- A diminuição da eficiência dos equipamentos instalados devido ao desgaste dos componentes e/ou alterações no regime de funcionamento dos mesmo;
- A insuficiente manutenção preventiva;
- O aparecimento de novas tecnologias no mercado e/ou melhor acesso;
- A diminuição do nível de investimento em alguns equipamentos ou tecnologias;
- O insuficiente controlo e monitorização constante do desempenho energético das instalações industriais.

## 1.6 Conteúdo da tese

Esta secção apresenta a estrutura e o conteúdo da tese que está dividida em oito capítulos, incluindo o presente introdutório e os apêndices finais.

Esta dissertação tem como objetivo o estudo de MRE numa indústria de grande dimensão da área metalomecânica, nomeadamente na extrusão e no tratamento superficial de componentes de alumínio. Esta instalação está inserida no SGCIE desde 2010, sendo que o seu consumo anual está entre 500 e 1000 tep. Finalizando o período do ARCE 2010-2018, a análise deste caso de estudo incide:

- Nos resultados finais deste acordo;
- Na determinação dos novos indicadores para o novo PREN;
- Na definição de novas metas e medidas a implementar.

Em conjunto com os membros responsáveis pela instalação, foram previamente definidas como requisitos obrigatórios para a validação da implementação das MRE as seguintes condições:

- Não alteração dos fluxos de produção fabril impostos na instalação;
- Não alteração do edifício a nível estrutural;
- Nível de investimento pequeno/médio;

- Período de retorno reduzido, inferior a três anos, tal como indicado no regulamento do SGCIE para instalações neste escalão de consumos;
- Preservação dos espaços úteis necessários, quer para a atividade laboral, quer para a manutenção dos equipamentos.

Analisando os custos energéticos em relação ao Valor Acrescentado Bruto (VAB), conclui-se que os custos energéticos representam uma porção significativa, cerca de 15,3%. Revela-se então a importância deste estudo, que para além do objetivo de diminuição do impacto ambiental já abordado, possibilita a otimização e redução de custos, aumentando desta forma a competitividade da organização.

O tema foi desenvolvido na empresa Ecoinside durante o ano letivo de 2018/2019, no âmbito da dissertação de estágio do ramo de Energia do Mestrado em Engenharia Mecânica.

No presente capítulo foram abordados conceitos essenciais como a *sustentabilidade* e a *eficiência energética*. Foi também feito o enquadramento histórico da gestão de energia na indústria portuguesa e na indústria do alumínio. Foram ainda apresentados os requisitos que as medidas a estudar devem cumprir de modo a serem aprovadas. Finalmente é ainda apresentado o planeamento das tarefas de estágio.

Uma análise ao paradigma legal e económico relativamente à eficiência energética é efetuada no Capítulo 2. É realizada uma abordagem ao sistema de gestão de energia legalmente imposto para a indústria em Portugal, assim como outros sistemas e protocolos transversalmente aplicados na implementação de medidas de eficiência energética no setor industrial.

Uma revisão aos conteúdos científicos, técnicos e legislativos abordados na tese, alicerces teóricos que a fundamentam, é o objetivo do Capítulo 3. A abordagem de cada tema tenta ser breve, resumida e abrangente de modo a que, de forma sucinta e sem desenvolvimentos minuciosos, se possibilite a compreensão dos temas tratados e se proporcione o conhecimento necessário à compreensão da dissertação. Os principais temas abordados são: a transferência de calor, os processos de fabrico em questão, a combustão, os sistemas de iluminação, alguns aspetos regulamentares da utilização de energia elétrica e os instrumentos de medição mais comuns no contexto de auditoria energética e sistemas de monitorização.

Uma breve apresentação da Ecoinside, assim como a auditoria e a análise dos dados de consumo energético da instalação estudada, são os temas abordados no Capítulo 4. Neste sentido estão estabelecidos como objetivos: a análise dos consumos energéticos no ano de

2018, o cálculo dos índices e das metas legalmente definidas e, ainda, a análise da instalação auditada, dos equipamentos e dos processos de fabrico.

Com base na auditoria energética, no Capítulo 5 são identificadas as possíveis medidas de racionalização de energia, assim como as previsões de redução de consumo energético, investimento, poupança económica e o respetivo período de retorno de investimento.

A sumarização das principais conclusões do trabalho desenvolvido e dos resultados obtidos é feita no capítulo 6. Algumas sugestões para trabalho futuro estão ainda contempladas neste capítulo.

Finalmente, depois da Bibliografia que reúne um conjunto de fontes de informação fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho, constam os Apêndices associados ao estudo desenvolvido.

### 1.6.1 Planeamento de estágio

O plano das tarefas desenvolvidas ao longo do estágio na Ecoinside estão listadas e caracterizadas na Tabela 1.2.

Tabela 1.2: Planeamento das tarefas de estágio.

#### Lista de tarefas - Estágio Curricular

Elaborado por	Tomás Quesado Monteiro Enes
Início do estágio	10-set-18
Final do estágio	10-jun-19

Estágio Ecoinside				
Progresso	Tarefa	Início	Final	Duração
2,6%	Formação em eficiência energética e no SGIE	10-set-18	17-set-18	1 semana/s
5,1%	Estudo da auditoria energética realizada à empresa	17-set-18	24-set-18	1 semana/s
10,3%	Estudo das medidas já implementadas	24-set-18	8-out-18	2 semana/s
15,4%	Realização de relatórios trimestrais	8-out-18	22-out-18	2 semana/s
33,3%	Realização da revisão bibliográfica e conteúdos teóricos da tese	22-out-18	10-dez-18	7 semana/s
35,9%	Visita às instalações e revisão de um pequeno estudo luminotécnico	10-dez-18	17-dez-18	1 semana/s
41,0%	Estudo dos processos e dos principais equipamentos da instalação	17-dez-18	31-dez-18	2 semana/s
48,7%	Realização de relatórios trimestrais e preparação da nova auditoria energética	31-dez-18	21-jan-19	3 semana/s
69,2%	Realização da auditoria energética e tratamento de dados	21-jan-19	18-mar-19	8 semana/s
80,6%	Estudo de medidas de racionalização de energia	18-mar-19	18-abr-19	4 semana/s
100,0%	Finalização da dissertação	18-abr-19	10-jun-19	8 semana/s



# Capítulo 2

## Paradigma legal e económico

O objetivo do presente capítulo é a análise do paradigma legal e económico relativo à eficiência energética na indústria. É realizada uma abordagem ao sistema de gestão de energia legalmente estabelecido em Portugal, assim como outros sistemas e protocolos aplicados na implementação de medidas de eficiência energética no setor industrial.

### 2.1 Contexto histórico

Na década de 70 do século passado, com o aumento excessivo do preço dos produtos petrolíferos devido à crise energética que teve início em 1973, os países-membros da então Comunidade Económica Europeia (CEE) foram alertados para as consequências económicas da dependência energética. De modo a mitigar estas consequências e efeitos, foi publicado em Portugal, a 26 de fevereiro de 1982, o Decreto-Lei n.º 58/1982.

Este documento estabeleceu normas sobre a gestão de energia e refere que a gestão da energia constitui um meio eficaz para a minoração das dificuldades resultantes da crise energética, utilizando técnicas de custo não elevado, de fácil aplicação e de resultados positivos a curto prazo. Foi assim criado um mecanismo para atenuar o aumento do consumo de energia na indústria em Portugal. Este decreto aprovou ainda a emissão do primeiro documento de regulamentação do sector energético, o Regulamento Geral de Consumo de Energia (RGCE) [14].

O RGCE era aplicável a todas as instalações Consumidoras Intensivas de Energia (CIE) que verificassem pelo menos:

- Consumo energético superior a 1000 toneladas equivalentes de petróleo (tep) anuais;

- Equipamentos instalados cuja soma dos consumos energéticos nominais excedesse 0,500 tep/hora;
- A instalação pelo menos um equipamento cujo consumo energético nominal superasse 0,300 tep/hora.

Segundo o RGCE estas instalações teriam de ser sujeitas a um exame que incidiria nas condições da utilização da energia e ainda na conceção e estado dessas instalações. Estes exames deveriam ser renovados, no mínimo, a cada cinco anos [14].

Em termos históricos, Portugal apresenta uma elevada dependência energética, entre 80 e 90%, devido à inexistência de produção de fontes de energia fósseis, o tipo de energia mais consumido. Porém, o investimento nacional na eficiência energética e em fontes de energia renovável permitiu reduzir esse valor para níveis ligeiramente inferiores a 80%, como ilustrado na Figura 2.1 [15].

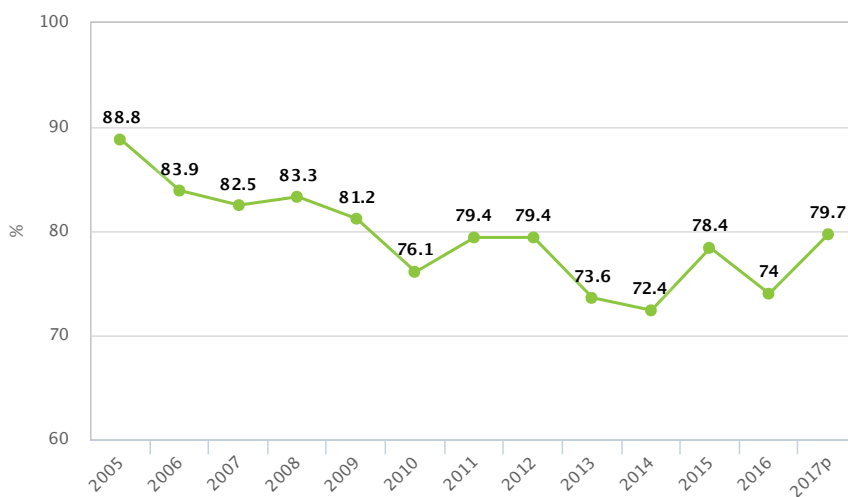


Figura 2.1: Evolução da dependência energética nacional [16].

Fruto das alterações no paradigma energético e sociocultural, agravadas com uma maior preocupação ambiental e sensibilização dos ideais de desenvolvimento sustentável, surgiu a necessidade de criar um sistema de regulamentação de utilização da energia mais rigoroso e abrangente que promovesse, de forma mais eficaz, o aumento da eficiência energética e a redução da emissão de GEE. Assim, em Abril de 2006 foi publicada a Diretiva n.º 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos. Esta determinou que os Estados Membros

procurassem atingir, até 2016, um objetivo global nacional indicativo de economia de energia de 9% através da promoção de serviços energéticos e da adoção de outras medidas de melhoria da eficiência energética [14].

## 2.2 Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia

A Diretiva n.º 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho estabeleceu novas metas relativas à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, incrementando a necessidade de promover a eficiência energética e monitorizar os consumos de energia das atividades CIE. Neste contexto, e como previsto na *Estratégia Nacional para a Energia* referida na Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005 como uma das medidas para a promoção da eficiência energética, na Medida MAi2 do Programa Nacional para as Alterações Climáticas de 2006, e no primeiro Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE), foi criado em 2008, o Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), cujo logótipo está ilustrado na Figura 2.2 [17].



Figura 2.2: Figura ilustrativa do logótipo do Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia [18].

As medidas contempladas neste sistema regulado pelo Decreto-lei n.º 71/2008, publicado a 15 de abril, e que revoga o Decreto-lei n.º 58/82 referente ao RGCE, cuja aplicação foi descrita no ponto 2.1, para além de promoverem uma utilização mais eficiente dos recursos energéticos na indústria, visam também a redução de emissões de GEE e, por conseguinte, um menor impacto ambiental por parte das atividades industriais. Em contrapartida, as instituições que se registem no SGCIE e sejam alvo de posteriores auditorias e possíveis implementações de MRE, beneficiam, entre outras vantagens, de isenções fiscais [17, 19].

Uma visão geral da evolução dos sistemas de gestão de energia na indústria em Portugal, em função dos principais acordos e protocolos internacionais para a diminuição do impacto ambiental, é oferecida na Figura 2.3.

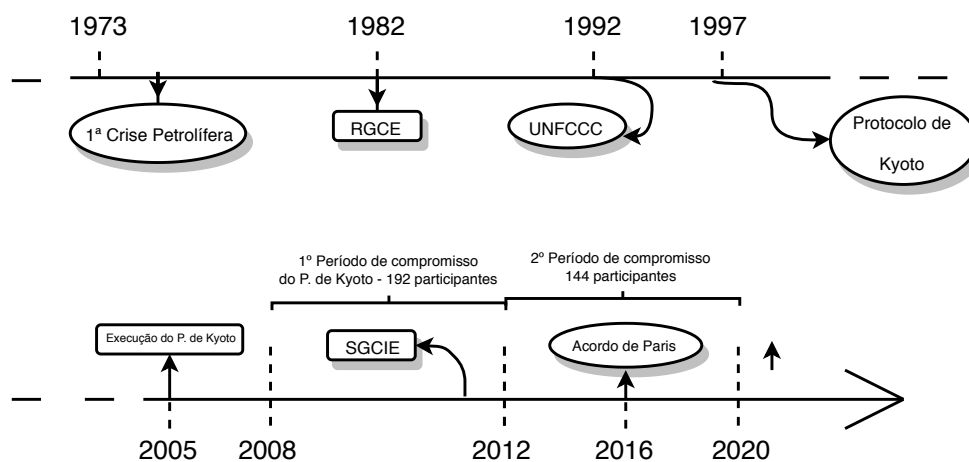


Figura 2.3: Linha cronológica da evolução dos sistemas de gestão de energia na indústria portuguesas.

### 2.2.1 Consumidores intensivos de energia

O Decreto-lei n.º 71/2008 define como CIE todas as atividades que, no período de um ano civil, tenham tido consumos energéticos superiores a 500 tep. Exceções a esta condição são:

- Instalações de cogeração juridicamente autónomas;
- Empresas de transportes ou empresas com frotas próprias CIE;
- Edifícios abrangidos pelos Decretos-leis n.º 78/2006, 79/2006 e 80/2006, de 4 de Abril, excluindo casos em que os mesmos se encontrem integrados na área de uma instalação CIE;
- Instalações CIE sujeitas ao Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão [17].

### 2.2.2 Organização e funcionamento

Os elementos e entidades que intervêm no SGCIE são os seguintes:

- DGEG, a quem compete a supervisão e fiscalização do sistema;
- Direção-Geral das Alfândegas e Impostos sobre o Consumo (DGAIEC), responsável pela concessão e controlo das isenções do ISP;
- Agência para a Energia (ADENE), incumbida de toda a gestão operacional, ou seja:
  1. Garantir o bom-funcionamento do sistema;
  2. Organizar e assegurar o registo das instalações CIE;
  3. Receber os PREn;
  4. Receber e examinar novos pedidos de registo de técnicos ou entidades, estando a DGEG responsável pela sua aprovação;
  5. Fazer o acompanhamento dos operadores e técnicos no que toca ao cumprimento da legislação.
- Operadores que exploram as instalações CIE e os técnicos credenciados ao serviço das mesmas, aos quais compete:
  1. Promover o registo das instalações;
  2. Efetuar auditorias energéticas que avaliem aspetos relativos à promoção do aumento global da eficiência energética, podendo também incluir aspetos relacionados com a instalação de fontes de energia de origem renovável, entre outras medidas, nomeadamente, as de redução dos custos energéticos;
  3. Elaborar os PREn, com base nas auditorias previstas na alínea anterior, visando o aumento global da eficiência energética, apresentando-os posteriormente à ADENE;
  4. Executar e cumprir os PREn aprovados, sob a responsabilidade técnica de um técnico credenciado [17].

### 2.2.3 Auditoria energética

Os elementos a considerar na realização de auditorias energéticas, na elaboração do PREn e na execução dos Relatórios de Execução e Progresso (REP) estão discriminados no Despacho n.º 17449/2008. Segundo este despacho, a auditoria energética consiste num levantamento detalhado de todos os aspetos relacionados com o uso da energia, ou que de

alguma forma contribuam para a caracterização dos fluxos energéticos. Tem por objetivo a caracterização energética dos diferentes equipamentos e sistemas existentes numa instalação CIE, incluindo o estabelecimento de correlações entre consumos de energia e produções fabris, o cálculo correspondente *consumo específico de energia* e de *indicadores de eficiência energética* global da instalação [17, 20].

A execução de uma *auditoria completa* é um processo que deve seguir uma ordem de trabalhos concreta, desde a análise do consumo de energia nos últimos 12 meses, ou durante o ano de referência, inspeção detalhada dos principais equipamentos consumidores de energia elétrica e térmica da instalação, assim como as respetivas condições de controlo e operação. Finalmente, após o tratamento da informação recolhida, é possível elaborar um relatório que indique os resultados da auditoria, áreas com potencial de melhoria e respetivas MRE. De modo geral, a auditoria energética deve ser dividida nas seguintes etapas:

1. *Planeamento ou preparação da auditoria;*
2. *Trabalho de campo;*
3. *Tratamento da informação e elaboração de relatório de auditoria* [21];

A auditoria energética tem como foco a verificação do estado das instalações, para que se possa elaborar posteriormente o relatório de auditoria. De uma forma sucinta, tem como objetivos:

- Medir os consumos energéticos da instalação e determinar a importância de cada processo, equipamento ou secção no custo do produto final;
- Recolher diagramas de carga elétricos dos principais sistemas consumidores de energia elétrica;
- Efetuar balanços de massa e energia dos principais equipamentos consumidores de energia;
- Comparar os valores de consumo específicos de energia determinados durante a realização da auditoria, com os valores médios mensais e anuais e verificar se existem possíveis variações sazonais;
- Calcular a relação entre o consumo total de energia e o valor acrescentado bruto (VAB), em kgep/€, da atividade empresarial relativa à instalação, e também o consumo específico de energia (kgep/unidade de produção);

- Partindo das situações encontradas e de possíveis defeitos identificados e anomalias detetadas nas medições efetuadas, identificar e quantificar possíveis áreas onde são viáveis as economias energéticas;
- Definir intervenções técnico-economicamente viáveis, que levem ao aumento da eficiência energética e/ou à redução do consumo de energia;
- Orientar a implementação ou melhoria de um Sistema de Gestão de Energia [20, 21].

Com base nos relatórios relativos às auditorias energéticas realizadas, é elaborado o PREn. Para as instalações que consumam 1000 ou mais tep por ano, o PREn deve ser elaborado num período até oito meses após a auditoria, e o período retorno de investimento (ou *payback*) das medidas estudadas deve ser igual ou inferior a cinco anos. Para as restantes instalações CIE, o PREn deve ser elaborado num período até 16 meses após a auditoria, pelo que as medidas devem ter um *payback* igual ou inferior a três anos. Independentemente do consumo de energia, a implementação do PREn deve ser efetuada nos primeiros três anos [17].

Em conclusão, a boa execução de uma auditoria energética na indústria exige do auditor um conhecimento prévio dos processos de fabrico e respetivos equipamentos. Esta transversalidade de conhecimento obriga a que, para além do estudo de cada instalação e seus processos e equipamentos específicos, exista um olhar multifacetado e polivalente por parte dos técnicos de auditoria, de modo a compreender a instalação a um nível que permita a identificação de MRE válidas e concretas.

#### 2.2.4 Indicadores energéticos

Os indicadores energéticos são figuras de mérito que servem para caracterizar o desempenho energético de uma instalação. Através da determinação destes indicadores e mediante a sua variação, é conseguida uma avaliação do desempenho energético da instalação ao longo do tempo e/ou após a implementação de MRE [22].

Como base para uma nova auditoria, a legislação vigente impõe a determinação de três indicadores no período de referência, ou seja, o ano civil anterior à auditoria. Esses indicadores são:

- *Intensidade Energética* (IE) – quociente entre o consumo total de energia e o valor acrescentado bruto (VAB) em euros, apenas contabilizando 50% da energia proveni-

ente de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis, conforme expresso na Equação 2.1:

$$IE = \frac{\text{Consumo Total de Energia [kgep]}}{VAB [\text{€}]} ; \quad (2.1)$$

Este indicador não depende apenas do consumo de energia da instalação, mas também do desempenho financeiro da organização. O numerador da Equação 2.1 - *Consumo Total de Energia* - representa o somatório de todas os consumo de energia da instalação, sendo que apenas é contabilizada 50% da energia proveniente de resíduos endógenos e outros combustíveis renováveis.

- *Consumo Específico de Energia* (CE) - quociente entre o consumo total de energia e o volume de produção associado à instalação ou processo, apenas contabilizando 50% da energia proveniente de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis, conforme expresso na Equação 2.2:

$$CE = \frac{\text{Consumo Total de Energia [kgep]}}{\text{Produção Total [un.]}} ; \quad (2.2)$$

Por sua vez, o CE é o indicador que melhor permite conhecer o estado da instalação, uma vez que relaciona o consumo energético com a produção fabril. A unidade de produção depende de cada caso específico, como por exemplo toneladas, litros ou m<sup>2</sup> de produção fabril. Mais uma vez, o *Consumo Total de Energia* representa o somatório dos consumos energéticos anteriormente descrito.

- *Intensidade Carbónica* (IC) - quociente entre a quantidade de GEE emitida e o consumo total de energia, conforme expresso na Equação 2.3:

$$IC = \frac{\text{GEE emitidos [kgCO}_2\text{e]}}{\text{Consumo Total de Energia [kgep]}} . \quad (2.3)$$

Já a IC apenas permite averiguar a evolução do *mix-energético* da instalação. Por exemplo, numa instalação na qual seja substituído um equipamento térmico consumidor de nafta por um equipamento equivalente consumidor de gás natural, essa

alteração irá representar uma redução da IC, uma vez que o Fator de Emissão (FE), do gás natural é, aproximadamente, 13% inferior ao FE da nafta.

Para estes indicadores, os Decretos-leis n.º 71/2008 e 68-A/2015 estabelecem como metas para o aumento da eficiência energética:

- A redução de 4% da IE e do CE para instalações que consumam entre 500 e 1000 tep/ano, num período de oito anos;
- A redução de 6% da IE e do CE para instalações que consumam 1000 ou mais tep/ano, num período de oito anos;
- A manutenção do valor histórico de IC [17, 23].

É ainda importante referir que, segundo o Despacho n.º 17449/2008, para instalações CIE multi-produtos, se deve desagregar, sempre que possível, o CE para cada tipo de produto [20]. Esta desagregação é importante porque o CE depende da unidade de produção de cada processo, uma vez que resulta do quociente entre consumo e produção fabril. Ainda assim, para diferentes processos em que a unidade de produção é a mesma, o CE deve também ser desagregado, porque os processos sendo diferentes, têm também necessidades energéticas específicas. Neste caso de estudo, o processo de anodização é, para a mesma quantidade de produção, significativamente mais intensivo em termos energéticos que o processo de lacagem.

O PREn é então entregue à ADENE dentro do prazo de quatro meses após a data de vencimento da realização da auditoria energética. Se o PREn estiver devidamente elaborado, a ADENE, num prazo de cinco dias, deve proceder à entrega do mesmo para aprovação da DGEG, acompanhando-o com o relatório de auditoria energética que o fundamenta. No caso de aprovação pela DGEG, o PREn passa a designar-se como Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE) [17].

Ao longo do período de vigência de cada ARCE, os operadores de instalações CIE devem:

- a) Manter um registo atualizado pelo qual se possam verificar, periodicamente, os desvios em relação às metas estabelecidas;
- b) Apresentar um REP, a cada biénio de vigência do ARCE, sobre o seu estado de implementação, para o período a que respeita o relatório. Em cada um deles devem

constar as metas e objetivos alcançados, desvios verificados e respetiva justificação, bem como, as medidas tomadas ou a tomar para a sua correção;

- c) Para a avaliação do estado de implementação do ARCE, o REP deverá apresentar informação sobre a eficiência energética da instalação com recurso aos indicadores definidos no PREN. Estes indicadores deverão ser calculados utilizando o valor do VAB a preços constantes relativos ao ano de referência e os valores de produção obtidos;
- d) Apresentar à DGEG, quando lhe forem solicitados, os registos mencionados na alínea a) e prestar-lhe esclarecimentos;
- e) O relatório relativo ao último período de vigência do ARCE deve incluir o balanço final da execução da totalidade do mesmo, denominando-se como REP final [17].

### 2.2.5 Fatores de conversão de energia

Existem várias formas de energia como a energia elétrica, térmica, mecânica ou química. No entanto, por questões de simplicidade de faturação, de um modo geral, a energia não é contabilizada utilizando as mesmas unidades. Por exemplo, para as formas de energia mais comuns na indústria em Portugal, a eletricidade, o gás natural e o gasóleo, são utilizadas para faturação as unidades  $kWh$ ,  $m^3$  e  $l$ , respetivamente. Deste modo, para uniformizar o consumo de energia total de uma instalação CIE, é necessário converter as diferentes unidades numa unidade apenas. Esta conversão permite também contemplar a eficiência dos processos de transformação, transporte e distribuição de energia, como é o caso da energia elétrica, vapor e outros fluidos térmicos. A unidade que uniformiza as diversas formas de energia adotada pelo SGCIE é, como já referido, a tonelada equivalente de petróleo (tep) [22].

No Despacho n.º 17313/2008 é possível encontrar os Fatores de Conversão (FC) para tep de acordo com os principais tipos combustíveis, assim como os Fatores de Emissão (FE) de Gases com Efeito de Estufa. Estes valores encontram-se também presente no Apêndice A. É também referido neste documento o procedimento para a conversão de energia elétrica e energia térmica – utilização de vapor e outros fluidos térmicos - em tep, bem como os fatores de conversão utilizados para tal, entre outros [17, 24].

Constata-se também que o valor do FE para a energia elétrica disponibilizado no Despacho n.º 17314/2008 não foi alterado desde a publicação do documento. O FE para a

energia elétrica corresponde ainda a 0,47 kgCO<sub>2</sub>e/kWh, apesar da redução da utilização de combustíveis fósseis no fornecimento de energia elétrica em Portugal [25].

### 2.2.6 Benefícios, incentivos e incumprimento

As instalações CIE abrangidas por um ARCE, ou seja, cujo acordo tenha sido previamente aprovado pela DGEG e identificadas por declaração à DGAIEC, beneficiam dos seguintes estímulos:

- Isenção do ISP;
- Incentivo financeiro no custo das auditorias energéticas, para instalações com consumos inferiores a 1000 tep anuais, desde que cumpram, no mínimo, metade das medidas estabelecidas no ARCE;
- Apoio financeiro nos investimentos em equipamentos e sistemas de gestão e monitorização dos consumos de energia, mediante a capacidade do Fundo de Eficiência Energética [17].

O incumprimento das metas estabelecidas no ARCE, ou quando as medidas previstas no mesmo não forem implementadas, e em situações em que no ano seguinte ao REP final o operador não recupere os desvios, implica o pagamento de multas cujo valor depende do desvio dos indicadores em relação às metas estabelecidas e do consumo em tep não evitado. No caso de reincidência, o valor da penalização é duplicado.

Para além deste tipo de benefícios e estímulos, o registo das instalações no SGCIE e cumprimento das metas estabelecidas oferecem às organizações, inerentemente, um maior controlo e a redução do consumo de energia e dos respetivos custos. A implementação devida das MRE do ARCE demonstra que existe preocupação ambiental concreta por parte das organizações. Por estas razões, o cumprimento do SGCIE é um dos requisitos necessários a certificações ambientais e energéticas, como é o caso da ISO 14 001 e da ISO 50 001.

### 2.2.7 Alterações futuras

Mais recentemente, de acordo com os objetivos estabelecidos pela Diretiva de Eficiência Energética (EED) 2012/27/EU, os Estados Membros comprometeram-se a, até 2020, reduzir as emissões de gases com efeitos de estufa em 20%, aumentar em igual percentagem

a proporção de fontes de energia renováveis no cabaz energético da União Europeia e alcançar a meta de mais 20% estabelecida para a eficiência energética. De acordo com o terceiro PNAEE de 2017-2020, verifica-se que Portugal cumpre com o objetivo de redução de consumo de energia primária em 20% pelo que, foi definido o novo objetivo de redução para 25%, o que representa um consumo de energia primária inferior a 22,5 Mtep [26]. A Figura 2.4 mostra a evolução do consumo de energia primária e final em Portugal.

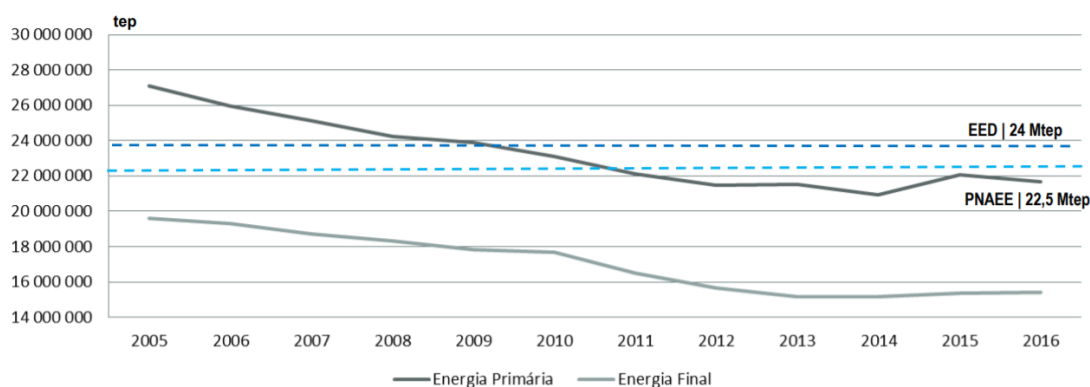


Figura 2.4: Evolução do consumo de energia primária e final em Portugal [26].

Portugal tem como objetivo de consumo de energia para 2020 a redução de 2,5 Mtep de energia primária. Dado que a previsão de redução para 2020 foi de cerca de 0,46 Mtep, foram equacionadas várias medidas alternativas de maneira a promover economias no consumo energético entre os consumidores finais com o objetivo de atingir as metas propostas, sendo uma delas a revisão do Decreto-lei nº 71/2008. Caso, durante a implementação das medidas previstas haja desvios que possam comprometer o objetivo para 2020, serão tomadas medidas adicionais. Estas poderão incluir mais medidas obrigatórias e/ou fiscais ou outras medidas voluntárias ou não voluntárias, o que aumentará a probabilidade de alcançar a poupança energética de 2,5 Mtep em 2020 [26].

No final de 2016 existiam 1100 instalações registadas no SGCIE, das quais 569 apresentaram, no ano de referência do registo, um consumo energético igual ou superior a 1000 tep. As restantes 531 instalações situaram-se abaixo deste limiar. Foram submetidos ao SGCIE até ao final do ano 2016 um total de 1208 PReN [26].

Segundo este documento, foi planeada, de forma a contribuir para o alcance dos objetivos propostos para 2020, a revisão do Decreto-lei nº 71/2008, no sentido de o atualizar e tornar mais abrangente, integrando na área da indústria um maior número de empresas com consumos de energia significativos. O novo regulamento do SGCIE teria como objetivo

a introdução das seguintes alterações:

- De modo a abranger um maior número de instalações, o alargamento do âmbito de aplicação do atual regulamento, através da redução do limiar de abrangência de 500 tep para 400 tep de consumo anual;
- Através da introdução de um mecanismo diferenciador, criar dois regimes de cumprimento do regulamento, sendo que apenas um deles, o mais exigente, permite o acesso a benefícios fiscais e outros, assim estimulando a economia de energia;
- Implementação, quando aplicável, de contadores e de mecanismos de monitorização e controlo e de gestão técnica centralizada como MRE obrigatória;
- Para as instalações com consumo anual inferior a 400 tep, o registo e monitorização dos consumos de energia;
- Integração no SGCIE das instalações abrangidas pelo regime do Comércio Europeu de Licenças de Emissão;
- Redução da periodicidade das auditorias energéticas de oito para quatro anos;
- Alteração da periodicidade de entrega do REP de dois para apenas um ano [26].

No entanto, estas alterações não chegaram a ser introduzidas no SGCIE, uma vez que, tal como referido no documento, a data limite para a alteração da legislação era a 31 de Julho de 2018. Porém, estas medidas de atualização e aprimoramento do SGCIE continuam em fase de análise pela DGE [26].

Propõe-se também que seja alterado o atual regulamento do SGCIE de modo a que promova um maior incentivo ao investimento em MRE. Nas instalações CIE em que exista uma mentalidade de gestão muito conservadora em relação ao investimento e na qual também exista um elevado potencial de poupança de energia, existirá, naturalmente, uma maior dificuldade na conversão desse potencial numa concreta poupança de energia, uma vez que pode existir uma elevada oposição ao investimento integral de um plano de poupança que ultrapasse as metas estabelecidas pelo SGCIE. Neste sentido, a alteração que aqui se propõe visa a oferecer um maior incentivo em MRE para todas as instalações, através de atribuição de um maior leque de benefícios no caso do cumprimento das metas mínimas do SGCIE - 4% ou 6% - ser ultrapassado em 50%, ou seja, com a redução da IE e CE em 6% ou 9%, dependendo da instalação. Assim, em alinhamento com as alterações futuras previamente

mencionadas, seriam criados três regimes de cumprimento do regulamento. Desta forma, seria promovida a conversão de uma maior parte do potencial de aumento da eficiência energética na indústria em poupança de energia e na consequente diminuição da emissão de GEE.

### **2.2.8 Auditorias energéticas na UE**

Uma abordagem sucinta e a comparação dos sistemas que promovem auditorias energéticas e o aumento da eficiência energética na indústria de alguns dos países dos EU-28, nomeadamente Portugal, Alemanha, Reino Unido e Espanha, é efetuada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Abordagem sucinta dos sistemas de promoção da eficiência energética na indústria portuguesa, alemã, britânica e espanhola [27].

Portugal	Alemanha	Reino Unido	Espanha
<ul style="list-style-type: none"> <li>• SGCIÉ, criado em 2008, adaptado do antigo regulamento obrigatório RGCE criado nos anos 80.</li> <li>• Caráter obrigatório.</li> <li>• Objetivo de promover a eficiência energética e monitorizar os consumos das indústrias intensivas que consomem mais de 500 tep anualmente.</li> <li>• Realização obrigatória de auditorias e planos de racionalização de energia periódicos.</li> <li>• Metas estabelecidas através de indicadores energéticos.</li> <li>• Apoios de financiamento nas medidas e isenções fiscais para alguns combustíveis e energia elétrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KfW, Banco Alemão Promocional, teve início em 2008.</li> <li>• Caráter voluntário.</li> <li>• Objetivo de promover auditorias energéticas voluntárias nas PME – empresas com menos de 250 trabalhadores.</li> <li>• Estas auditorias com a duração de dois dias são financiadas em 80%. Já as auditorias extensas, com duração até dez dias, são financiadas em 60%.</li> <li>• <i>Template</i> de auditoria no qual estão listadas detalhadamente as medidas recomendadas.</li> <li>• Existe um plano de apoio no financiamento das medidas aprovadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CCA, Acordos para as Alterações Climáticas, tiveram início em 2001.</li> <li>• Caráter voluntário mas futuramente obrigatório.</li> <li>• Objetivo de promover o aumento da eficiência energética e poupanças de energia nas indústrias intensivas.</li> <li>• Estes acordos são voluntários e contemplam diferentes objetivos de diminuição das emissões de GEE, em função do setor industrial.</li> <li>• As organizações com um CCA podem ter um desconto de até 65% em deduções fiscais referentes às despesas energéticas, se cumprirem com as metas predefinidas. Caso contrário, estão previstas penalizações financeiras em função das tCO<sub>2</sub>e não evitadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A nível nacional não existe um regulamento específico para a promoção de auditorias energéticas na indústria.</li> <li>• Existe, porém, um programa nacional que rege os regulamentos de cada região.</li> <li>• Uma vez que existem 17 principais regiões autónomas, existem também 17 regulamentos energéticos locais.</li> <li>• Os recursos financeiros de cada região podem ser utilizados de forma diferente em cada ano.</li> </ul>

Como constatado, não existe um núcleo de características comuns a todos os sistemas deste tipo nos EU-28. Apesar de estarem traçados objetivos europeus no que toca ao aumento da eficiência energética na indústria, cada estado-membro tem liberdade para definir a sua estratégia e suas medidas. Como tal, na Figura 2.5 estão ilustrados os sistemas

de gestão de energia na indústria, em função do seu carácter voluntário, obrigatório ou até inexistente.

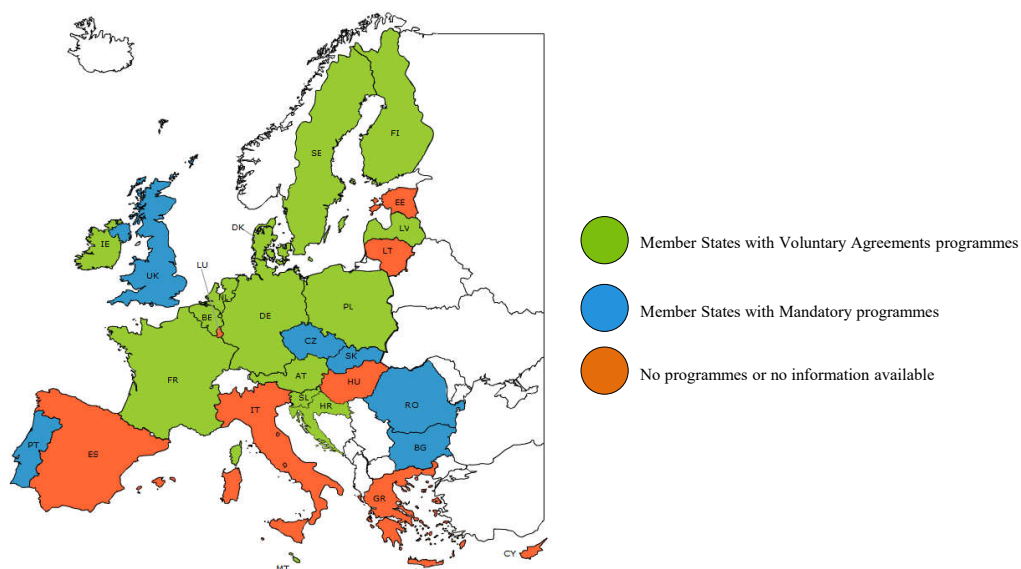


Figura 2.5: Tipos de sistemas de gestão de energia na indústria implementados nos EU-28 [27].

## 2.3 Modelo do sistema de gestão ISO 50 001

Um Sistema de Gestão de Energia (SGE) serve para apoiar as organizações na utilização racional da energia, assim melhorando a sua produtividade. Tem como objetivo final a implementação de tecnologias mais eficientes em termos energéticos, reduzir os desperdício de energia e/ou ainda a melhoria de um processo de modo a diminuir os custos energéticos. A ISO 50 001 é baseada no modelo do sistema de gestão de melhoria contínua, modelo também utilizado noutras normas divulgadas e amplamente utilizadas. Deste modo, é mais fácil para as organizações realizar a integração da gestão da área da energia com a área da qualidade e a área ambiental, respetivamente com a ISO 9 001 e ISO 14 001. Esta norma oferece um esquema dos requisitos que uma organização deve cumprir de modo a:

- Desenvolver uma política mais eficiente do uso da energia;
- Estabelecer metas e objetivos de acordo com a política;

- Utilizar dados para compreender melhor a utilização da energia, podendo assim tomar melhores decisões;
- Medir os resultados;
- Avaliar o bom-funcionamento da política;
- Melhorar continuamente a gestão energética.

Esta norma é baseada no sistema na metodologia "*Plan-Do-Check-Act*" (PDCA), ou seja:

1. *Plan (Planear)* - realizar a auditoria energética e estabelecer a linha de base, os indicadores de desempenho energético, os objetivos, as metas e os planos de ação necessários para produzir resultados que vão melhorar o desempenho energético;
2. *Do (Executar)* - implementação dos planos de ação de energia;
3. *Check (Verificar)* - monitorizar, verificar e relatar o progresso dos resultados;
4. *Act (Atuar)* - Tomar ações que permitam a melhoria contínua do SGE [28].

Esta metodologia incorpora a gestão de energia nas práticas diárias das organizações, como ilustrado na Figura 2.6.

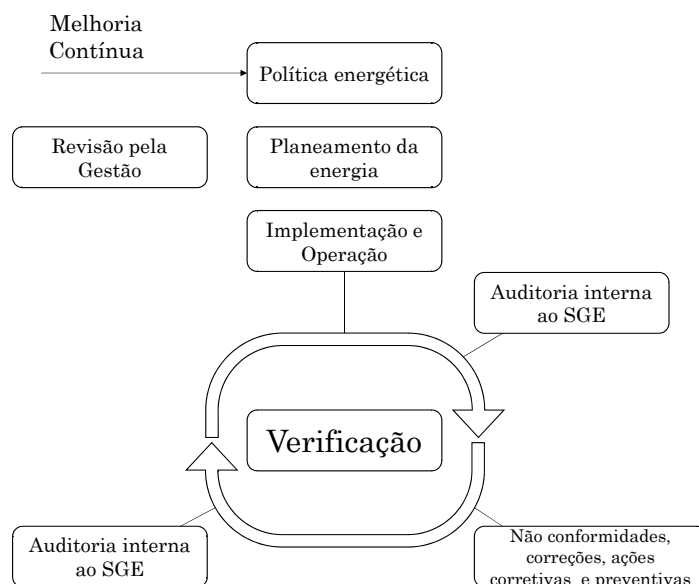


Figura 2.6: Modelo de sistema de gestão de energia para a ISO 50 001 (adaptado de [28]).

Como em grande parte dos sistemas normalizados, a certificação da ISO 50 001 é apenas voluntária. Todavia, há organizações que decidem implementar um SGE simplesmente pelos benefícios inerentes. Outras organizações optam pela implementação devido a requisitos impostos pelos seus *stakeholders* [29].

## 2.4 *International Performance Measurement & Verification Protocol*

As organizações que investem em medidas de eficiência energética pretendem, naturalmente, determinar a poupança gerada, quer antes da implementação dessas medidas, quer após. Neste sentido, o cálculo das poupanças energéticas requer medições precisas, assim como uma metodologia replicável. Porém, o sucesso ao longo dos projetos de gestão de energia é por vezes inibido pela falta de acordo entre os parceiros em estabelecer um plano concreto de Medição e Verificação (M&V).

O *International Performance Measurement & Verification Protocol* (IPMVP) apresenta um conjunto de soluções para esta problemática. Este protocolo descreve os procedimentos que, quando implementados, ajudam os compradores, vendedores e credores de projetos de energia a concordarem num plano de M&V e a quantificar as poupanças geradas pelas

MRE [30].

Sucintamente, a missão do IPMVP é aumentar o investimento em medidas de eficiência energética e em fontes de energia renovável. Para tal, este protocolo utiliza os seguintes mecanismos:

- Aumento da poupança energética;
- Redução do custo de investimento nos projetos;
- Encorajamento de melhores projetos de energia;
- Apoio na demonstração e obtenção do valor das reduções das emissões a partir de investimentos em eficiência energética e energia renovável;
- Aumento do conhecimento público relativamente à gestão de energia como uma ferramenta de política pública;
- Apoio às organizações na promoção e no alcance dos objetivos ambientais e na utilização eficiente de recursos [30].

A poupança energética pode ser determinada pela comparação entre medições anteriores e posteriores à implementação de uma MRE. Segundo a metodologia do IPMVP, de um modo geral, a poupança energética pode ser calculada da seguinte forma:

$$\text{Poupança energética} = \text{consumo no ano de referência} - \text{consumo após implementação} \pm \text{ajustes} . \quad (2.4)$$

Na Equação 2.4, o termo *ajustes* corresponde às alterações de consumo de energia entre os dois períodos temporais analisados. Condições que normalmente afetam o consumo são a meteorologia, a ocupação, fator de carga, fator de utilização, entre outros. Mediante essas alterações, o valor que este termo toma pode ser positivo ou negativo [30]. Neste sentido, a Figura 2.7 ilustra um exemplo típico de aplicação do IPMVP.

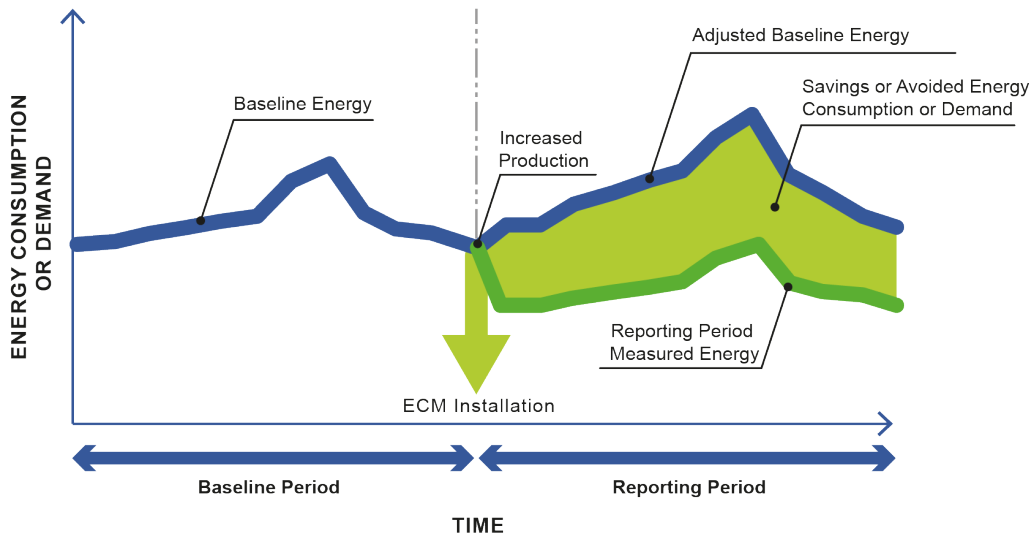


Figura 2.7: Poupança estimada, após uma Medida de Racionalização de Energia, em relação ao período de referência [30].

Dependendo do tipo de MRE, o IPMVP dispõe de quatro modelos de M&V para uma melhor adaptação ao tipo de medidas implementadas. Esses modelos estão categorizados de *A* a *D*:

- *A - Medição Parcial de Melhoria Isolada*: A poupança é determinada através de medição parcial da energia consumida de um sistema ao qual uma MRE foi aplicada, separadamente do consumo de energia do resto da instalação. As medições podem ser de curto-prazo ou contínuas. Medições parciais significam que nem todos os parâmetros possam estar estipulados, caso o impacto total de uma possível estipulação não seja significativo para a poupança resultante. É necessária uma revisão cuidadosa da instalação e das MRE para garantir que as metas estipuladas representam, com algum grau de certeza, o valor real a atingir. Essas metas devem estar presentes no plano de M&V juntamente com a análise da importância da incerteza que pode ser introduzida. A previsão da poupança é feita através de cálculos de engenharia utilizando medições e metas pós-melhoria, contínuas ou a curto-prazo. Aplicações comuns deste modelo são substituições de iluminação nas quais o consumo é medido periodicamente. Assume-se que o intervalo de tempo de utilização da iluminação diário é meia hora a mais do horário de funcionamento da instalação.
- *B - Melhoria Isolada*: A poupança é determinada através de medições no sistema onde uma MRE foi aplicada, separadamente de outros sistemas consumidores de

energia da instalação. São consideradas medições contínuas ou a curto-prazo ao longo do período pós-melhoria. A previsão da poupança é feita através de cálculos de engenharia utilizando medições ou metas contínuas ou a curto-prazo. Exemplos comuns deste modelo são controles para variar a carga numa bomba de velocidade contínua utilizando sistemas de variação eletrônica de velocidade. O consumo de eletricidade é medido utilizando um analisador de energia instalado na alimentação do motor da bomba. Este analisador é instalado durante uma semana, quer no período de referência, quer durante o período de pós-melhoria, de modo a detetar variações no consumo de energia.

- *C - Instalação Completa:* A poupança é determinada através de medições do sistema completo. São consideradas medições contínuas ou a curto-prazo ao longo do período pós-melhoria. A previsão da poupança é feita através da análise dos dados obtidos a partir do contador de energia das instalações, utilizando métodos simples como comparação de dados ou análises de regressões lineares. Aplicações comuns deste modelo são os SGE multifacetados afetos a vários sistemas de uma instalação. O consumo de energia é medido, se aplicável, pelos contadores de eletricidade e gás durante um período de 12 meses e ao longo do período pós-melhoria.
  
- *D - Simulação Ajustada:* A poupança é determinada através da simulação do consumo energético de vários elementos ou da instalação completa. As rotinas de simulação têm de representar adequadamente o modelo atual de desempenho energético medido na instalação. Esta opção requer, geralmente, qualidades consideráveis em simulação ajustada. A previsão da poupança é feita através da simulação do consumo energético, ajustado com dados de faturação ou através de medições de contadores em períodos de utilização horários ou mensais. Aplicações comuns deste modelo são SGE multifacetados afetos a vários sistemas numa instalação nos quais os dados do ano de referência não estão disponíveis. O consumo energético do período de pós-melhoria é medido, quando aplicável, pelos contadores de gás e eletricidade. Desta forma, o consumo do ano de referência é determinado pela simulação de um modelo ajustado com os dados de consumo do período pós-melhoria [30].

## 2.5 *Investor Confidence Project*

O *Investor Confidence Project* (ICP) é administrado pela *Green Business Certification Incorporated* e foi criado para lidar com as barreiras do mercado que inibem investimentos de grande escala em projetos de eficiência energética. A metodologia do ICP oferece um plano de referência normalizado para o desenvolvimento de projetos, podendo premiá-los a certificação *Investor Ready Energy Efficiency* (IREE). Esta certificação promove a confiança dos proprietários e investidores relativamente ao desempenho energético, ambiental e financeiro de medidas de eficiência energética, ajudando-os a proceder sem terem de despende mais recursos em análises financeiras desnecessárias [31].

O investimento em projetos de eficiência energética apresenta diversos riscos para os proprietários e investidores. A maioria destes riscos podem ser divididos em:

- *Risco de crédito* – caso o devedor não consiga pagar o empréstimo;
- *Risco de ativos* – caso os capitais ativos não aumentem;
- *Risco de desempenho* – caso o retorno do investimento não seja o esperado [31].

Atualmente, quase todas as garantias de investimento são baseadas na análise do risco associado, o que limita a abrangência dos investidores, focando-os num grupo reduzido de instalações, edifícios ou proprietários que já têm acesso a capital. Isto limita o acesso dos investidores a projetos que são potencialmente muito lucrativos. A indústria já dispunha de várias soluções focadas na análise de risco de crédito e de ativos. No entanto, era difícil ainda analisar com garantia o risco de desempenho. A abordagem desenvolvida pelo ICP minimiza este risco [31].

A avaliação económica e a gestão do risco de desempenho não é só um impulsor das ofertas de investimento, mas é também um precursor para dar garantia a um projeto com base no valor gerado pela poupança, em vez da garantia com base no crédito. Este fator é crítico na potencialização do capital disponível para o investimento em eficiência energética na indústria [31].

Algumas das barreiras ao investimento que a metodologia do ICP tenta ultrapassar são:

- *Incerteza de retorno de investimento* - a metodologia do ICP proporciona um processo normalizado e transparente, aumentando assim a confiança dos investidores e proprietários. Esse objetivo é conseguido através do desenvolvimento projetos de engenharia de validados, de forma independente, por profissionais qualificados. Como tal, existe uma *maior certeza* relativamente ao retorno de investimento;

- *Recursos de análise financeira* - a metodologia do ICP proporciona um pacote de documentação normalizada, posteriormente revista por um assessor técnico independente. Oferece aos *stakeholders* um acesso fácil e eficiente à informação requerida. Assim, uma melhor organização e menores custos no processo de análise financeira são conseguidos;
- *Risco estimado* - a metodologia do ICP proporciona uma base de orientação e métodos de cálculo consistentes. Estabelece ainda a fundação para a implementação, operação e verificação de MRE para que o desempenho ótimo seja conseguido. Deste modo, é possível determinar a poupança ao longo do tempo de forma mais objetiva e mitigar ou minimizar o risco de desempenho;
- *Falta de normalização* - apesar de existir um leque vasto de normas que se podem aplicar a um projeto deste tipo, não existe um consenso na indústria em qual a norma a utilizar ou como a aplicar. A metodologia do ICP proporciona um modelo para a indústria que permite uma maior flexibilidade em acomodar necessidades individuais. Este modelo também apoia na uniformização da abordagem à documentação.
- *Informação limitada ou insuficiente* - a metodologia do ICP proporciona a normalização da informação de um projeto, incluindo os dados de desempenho, concedendo assim uma base para a partilha, publicação, agregação e análise dos dados e informação dos mais variados projetos. Bons dados e boa informação são fatores fulcrais na tomada de decisões técnica e economicamente viáveis.

Para a seleção do protocolo adequado a cada projeto, existem seis protocolos que cobrem a maioria dos projetos de eficiência energética. Estes são divididos nas categorias, *Comercial* e *Multi-familiar*. Dentro destas categorias, os projetos subdividiram-se segundo a sua dimensão, *Grande dimensão*, *Normal* ou *Localizado*, como ilustrado na Figura 2.8 [31].

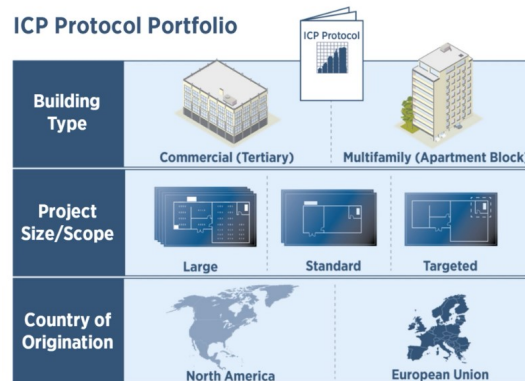


Figura 2.8: Portfólio de protocolos do *Investor Confidence Project* [31].

## 2.6 Modelo ESCO

Energy Service Companies (ESCO) é uma designação utilizada para Empresas de Serviços de Energia (ESE), designação também utilizada em Portugal.

Mais uma vez, sendo a eficiência energética um dos alicerces comuns a todas as estratégias energéticas sustentáveis, o principal desafio das ESCO é a implementação de medidas que promovam a redução de desperdício energético que, simultaneamente, garantam um benefício financeiro suficiente para amortizar o investimento num período de tempo economicamente viável. Neste sentido, o modelo ESCO difere da clássica auditoria energética por se comprometer com os resultados, o que implica a aplicação de soluções do tipo *win/win* [32].

O modelo ESCO representa um método eficaz para fornecer a quantidade máxima de recursos de eficiência energética. As organizações recorrem com regularidade às ESCO quando consideram projetos de reabilitação ou melhoria, uma vez que as ESCO possuem o conhecimento e experiência necessários à:

- Integração das várias medidas de eficiência;
- Diminuição de riscos técnicos e de desempenho;
- Fornecimento de uma garantia financeira da poupança gerada de modo a cobrir o valor investido na implementação das medidas;

Resumidamente, as ESCO são responsáveis por desenvolver MRE, na qual integram o projeto, financiamento, instalação, operação e manutenção. Os termos dos contrato de projeto

ESCO podem, de uma forma geral, variar entre sete a 20 anos, dependendo da natureza das medidas a implementar. A principal diferença entre as ESCO e outras empresas de eficiência energética reside na garantia de poupança que as primeiras estão obrigadas a cumprir pelos termos contratualmente aceites num *contrato de desempenho e poupança de energia* [32].

### 2.6.1 Serviços das ESCO

A interação entre os diversos intervenientes num modelo ESCO está esquematizada na Figura 2.9.

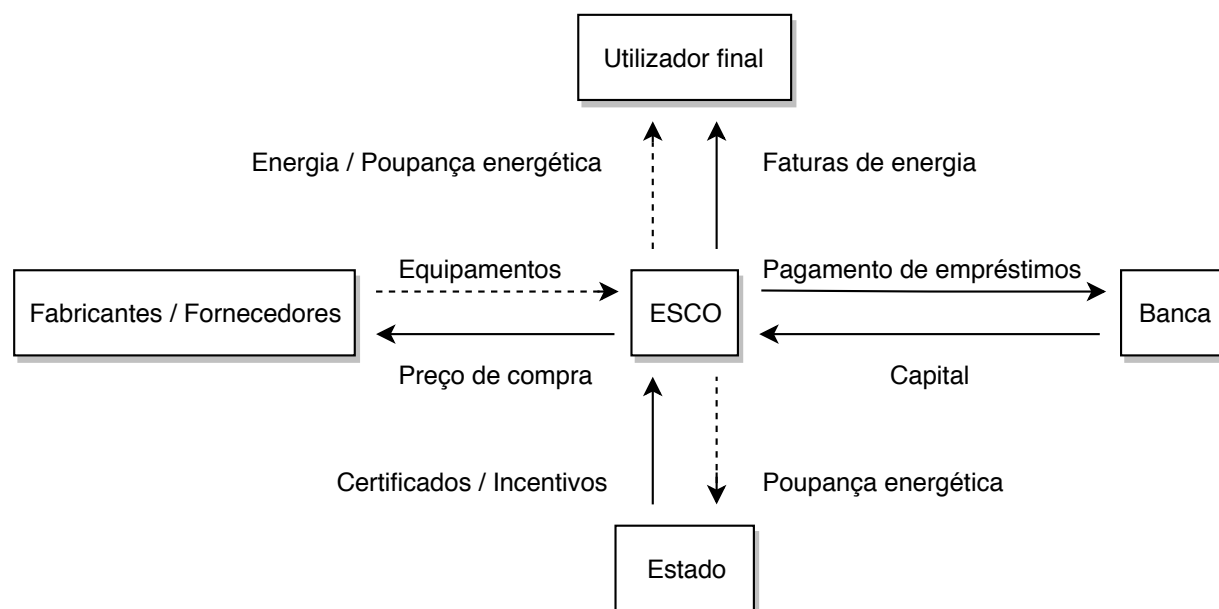


Figura 2.9: Esquema económico do modelo ESCO, traço interrompido para bens e serviços, traço contínuo para transações económicas (adaptado de [33]).

As ESCO fornecem aos seus parceiros todos os serviços necessários à melhoria da eficiência energética, quer de forma direta ou através de serviços subcontratados. Como tal, devem apresentar um plano pormenorizado para a maximização da poupança energética, conciliando as exigências específicas de cada instalação e/ou cliente. Exemplos deste tipo de serviço são:

- A realização de auditorias energéticas;
- A elaboração de projetos de engenharia;

- O fornecimento de opções de financiamento de projetos e apoio às organizações na escolha das mesmas;
- A aquisição e instalação de equipamento;
- A monitorização e verificação das poupanças energéticas;
- A execução de relatórios para o cliente detalhando as poupanças energéticas e um plano de bonificações e penalizações, caso os resultados de poupança sejam, respetivamente, inferiores ou superiores aos objetivos planeados [32].

# Capítulo 3

## Conceitos fundamentais

O presente capítulo tem como objetivo a revisão dos principais conteúdos científicos, técnicos e regulamentares abordados na tese, alicerces teóricos que a fundamentam. Os principais temas abordados são a transferência de calor, os processos de fabrico do caso de estudo, a combustão, os sistemas de iluminação, alguns aspetos da regulamentação da utilização de energia elétrica e os instrumentos de medição normalmente utilizados em auditorias energéticas e em sistemas de monitorização na indústria. A abordagem à transferência de calor neste estudo justifica-se pelos cálculos de perdas de calor efetuados na auditoria energética do presente caso de estudo.

### 3.1 Transferência de calor

A transferência de calor é um fenómeno físico que ocorre sempre que existe uma diferença de temperatura entre pelo menos duas superfícies. A sua compreensão é determinante no estudo e desenvolvimento de máquinas térmicas, máquinas de produção de energia e soluções para a poupança de energia [34].

Existem três mecanismos de transferência de calor. São eles:

- A *condução* de calor, quando há um gradiente de temperatura num meio estacionário, seja esse meio sólido ou um fluido.
- A *convecção*, quando existe um diferencial de temperaturas entre uma superfície e um fluido em movimento.
- A transferência de calor por *radiação*. Todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto, ou seja 0 Kelvin ou  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , emitem energia sob a forma de ondas

eletromagnéticas. Como tal, mesmo na ausência de um meio interventivo, existe sempre transferência entre superfícies que estejam a diferentes temperaturas [34]. Estes mecanismos estão sintetizados na Figura 3.1.

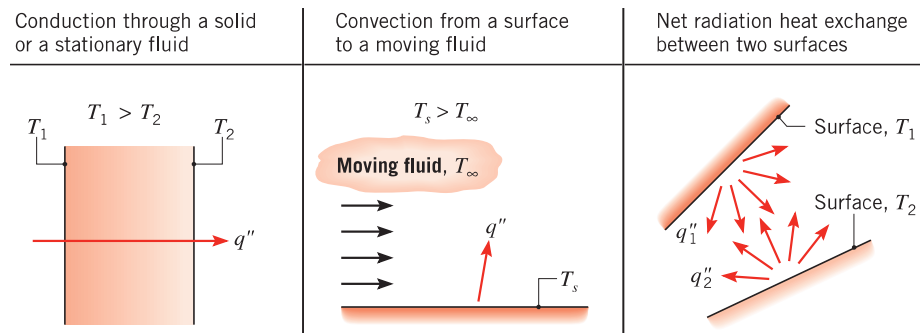


Figura 3.1: Mecanismos de transferência de calor [34].

### 3.1.1 Condução

A condução de calor está diretamente ligada à atividade atômica e molecular porque são os processos a este nível que sustentam este modo de transferência de calor. A condução pode ser vista como a transferência de energia das partículas com maior quantidade de energia para as que contêm menos energia, devido às interações entre as partículas. Temperaturas mais elevadas estão associadas a um maior nível de energia molecular. Quando as partículas vizinhas colidem umas com as outras, o que acontece continuamente, ocorre a transferência de energia das partículas com mais energia para as partículas com menos energia. Portanto, são as colisões entre estas que possibilitam este processo físico [34].

A taxa de calor conduzido através de um meio físico depende da geometria, do tipo de material e também da diferença de temperatura.

Na Figura 3.2 está representado um exemplo típico de transferência de calor por condução, a condução de calor constante (*steady state*) através de uma parede ou placa plana.

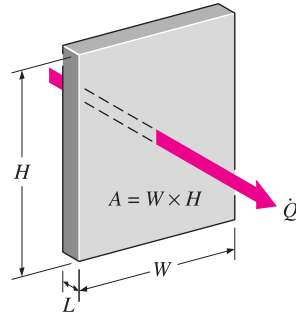


Figura 3.2: Transferência de calor por condução através de uma placa plana [35].

Considere-se que na Figura 3.2 a parede tem uma determinada espessura,  $L$  ou  $\Delta x$ , e uma correspondente área designada como  $A$ . A diferença de temperatura entre dois pontos situados ao longo da espessura da parede,  $T_2$  e  $T_1$ , é dada como  $\Delta T$  [35].

Experimentalmente, deduziu-se que a taxa de condução de calor,  $\dot{Q}$ , através de uma parede duplica quando  $\Delta T$  ou  $A$  aumentam para o dobro. Por outro lado,  $\dot{Q}$  reduz para metade quando a espessura da parede,  $\Delta x$ , também era aumentada nessa proporção. Assim, concluiu-se que a taxa de calor conduzido pela parede é diretamente proporcional a  $\Delta T$  e a  $A$  mas é inversamente proporcional a  $\Delta x$ . Ou seja:

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (3.1)$$

Na Equação 3.1 a condutividade térmica de um material, ou seja, a sua capacidade de conduzir calor, é representada pela constante de proporcionalidade  $k$ . Como tal, é possível exprimir a taxa de calor conduzido como:

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3.2)$$

A Equação 3.2 representa a *Lei da condução de calor de Fourier* [35]. Resumindo, a condução de calor através de um material, por unidade de área, é mais elevada quanto maior for a condutividade térmica e a diferença de temperatura. Inversamente, a condução de calor também aumenta quanto menor for a espessura desse material.

### 3.1.2 Convecção

A convecção é o modo de transferência de energia entre uma superfície sólida e um líquido ou gás adjacente. Esta engloba os efeitos da condução e do movimento dos fluidos, ou seja, difusão e advecção de calor, respetivamente. Quanto maior for a velocidade do fluido, maior será a transferência de calor por convecção. Na ausência de movimento do fluido, o calor é apenas conduzido por advecção [35].

Considerando um objeto a uma temperatura muito mais elevada que a temperatura do ar envolvente como, por exemplo, uma peça em aço incandescente, é possível afirmar que, nos instantes iniciais, a sua energia térmica é transportada por condução para o ar. Assim, é formada uma película de ar quente, normalmente designada como filme, que envolve a peça. Posteriormente, a energia continua a ser transferida da superfície da peça graças à movimentação do ar causada pela diferença de temperatura e, por conseguinte, diferença de massa volúmica entre o ar aquecido pela peça e o restante ar envolvente. A sucessiva substituição do filme de ar quente por ar à temperatura ambiente provoca o arrefecimento da peça, enquanto houver uma diferença de temperatura entre o ar ambiente e a peça. A este processo combinado designamos como convecção e pode ser dividido em:

- *Convecção natural* - quando existe movimento do fluido causado apenas por forças de *Buoyancy*, ou seja, as forças provocadas pelas diferentes temperaturas num fluido;
- *Convecção forçada* - se existir trabalho mecânico exterior a forçar o movimento do fluido, através de, por exemplo, bombas hidráulicas ou ventiladores [34, 35].

Processos de transferência de calor que envolvam *mudança de fase* do fluido também são considerados como convecção devido à movimentação induzida no fluido durante esse processo, tal como acontece na subida de bolhas de vapor ou na queda de gotas formadas por condensação [35]. Independentemente da natureza do processo de convecção, a taxa de calor convectivo é proporcional à diferença de temperatura e é normalmente expressa pela *Lei do arrefecimento de Newton*:

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (3.3)$$

Na Equação 3.3 o termo  $h$  representa o coeficiente de convecção,  $A_s$  representa a área de superfície na qual a transferência de calor acontece,  $T_s$  a temperatura dessa superfície e  $T_\infty$  a temperatura constante do fluido a uma distância suficientemente grande da superfície.

O coeficiente  $h$  não é uma propriedade do fluido mas sim um parâmetro empiricamente determinado cujo valor depende das variáveis que influenciam a convecção como, por exemplo, a geometria da superfície, o tipo e velocidade de movimentação do fluido e as suas propriedades [34, 35]. A Figura 3.3 demonstra a transferência de calor numa superfície por convecção.

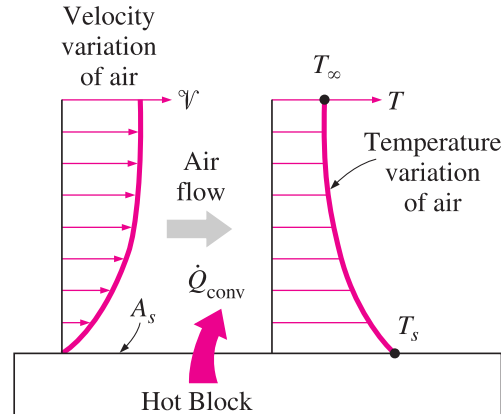


Figura 3.3: Transferência de calor por convecção de um bloco quente para um escoamento de ar [35].

Para a determinação do coeficiente de convecção  $h$  foi definido o valor adimensional  $Nu$ , em homenagem a Wilhelm Nusselt, denominado também como o *coeficiente de transferência de calor de convecção adimensional*. Este número é definido como:

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad (3.4)$$

Na Equação 3.4 os termos  $k$  e  $L_c$  representam, respetivamente, a condutividade térmica do fluido e o comprimento característico. Sendo assim, quanto maior a transferência de calor por convecção, maior é o valor do número de Nusselt [35].

No caso de estudo a ser abordado no Capítulo 4, é necessário calcular o coeficiente de convecção  $h$  para uma placa vertical isotérmica. Para tal, é necessário determinar o valor adimensional  $Ra$ , ou número de Rayleigh, que define se o escoamento é laminar - para  $10^4 < Ra_L < 10^9$  - ou turbulento - para  $10^9 < Ra_L < 10^{13}$  [34]. Este número adimensional, por sua vez, pode ser definido da seguinte forma:

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad (3.5)$$

Na anterior Equação 3.5,  $g$  corresponde à aceleração gravítica,  $\beta$  ao coeficiente de expansão térmica do fluido,  $T_s$  à temperatura da superfície da placa,  $T_\infty$  à temperatura do fluido,  $L$  à altura da placa,  $\nu$  à viscosidade cinemática do fluido e  $\alpha$  à difusibilidade térmica do fluido.

Para o caso da placa vertical isotérmica, o número de Nusselt pode ser obtido através da seguinte expressão, independentemente do regime de escoamento:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (3.6)$$

Conhecendo o valor de Nusselt pode ser obtido o valor do coeficiente de convecção, tal como descrito na Equação 3.4. Finalmente, com a diferença de temperatura entre o fluido e a placa, pode ser determinado o calor de convecção, tal como expresso na Equação 3.3.

### 3.1.3 Radiação

Como referido no ponto 3.1, todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto emitem radiação térmica. A radiação é a energia emitida pela matéria na forma de ondas eletromagnéticas como resultados das alterações das configurações atómicas ou moleculares. Ao contrário da condução e da convecção, a radiação não necessita da presença de um meio interveniente. Neste sentido, a transferência de energia por radiação é a mais rápida, à velocidade da luz, como é o caso da transferência de calor do Sol para a Terra. A transferência de calor depende, essencialmente, da *radiação térmica*, que é o tipo de radiação emitida pelos corpos devido à sua temperatura. Esta radiação difere de outros tipos de radiação, como a radiação  $x$ ,  $gamma$ , *rádio* ou de *micro-ondas*, por não estarem relacionadas com a temperatura dos corpos [35].

A radiação é um fenómeno volumétrico e todos os sólidos, líquidos e gases emitem, absorvem ou transmitem radiação. No entanto, a radiação é geralmente considerada como um fenómeno superficial para sólidos opacos como metais, madeira ou rochas, uma vez que a radiação emitida pelas regiões interiores destes materiais nunca consegue alcançar a superfície. Já a radiação incidente em corpos deste tipo é, de grosso modo, absorvida até apenas poucos  $\mu\text{m}$  da superfície [35].

A taxa máxima de radiação que pode ser emitida por uma superfície de área  $A_s$  a uma temperatura absoluta  $T_s$  é dada pela *Lei de Stefan-Boltzman*:

$$\dot{Q}_{emit,m\acute{a}x} = \sigma A_s T_s^4 \quad (3.7)$$

Na Equação 3.7  $\sigma$  representa a constante de Stefan-Boltzman e  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ . A superfície ideal que emite radiação nesta taxa máxima é designada como *corpo negro* e a radiação emitida neste caso é designada como *radiação de corpo negro*. A radiação emitida por qualquer superfície real é inferior à radiação de corpo negro à mesma temperatura e é expressa da seguinte forma:

$$\dot{Q}_{emit} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (3.8)$$

Na Equação 3.8 o símbolo  $\varepsilon$  representa a *emissividade* da superfície e o seu valor varia entre  $0 \leq \varepsilon \leq 1$ . A emissividade é uma propriedade que determina o quão perto uma superfície se aproxima de um corpo negro, para o qual  $\varepsilon = 1$  [35].

Outra propriedade de uma superfície é a sua *absortividade*  $\alpha$ , que representa a fração de energia radiativa incidente numa superfície que é absorvida pela mesma. Tal como a emissividade, o seu valor varia entre  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Um corpo negro absorve toda a radiação que nele incide. Portanto, um corpo negro é um absorvedor e emissor perfeito e o seu valor de  $\alpha = 1$  [35].

Quando uma superfície de emissividade  $\varepsilon$ , com área superficial  $A_s$ , a uma temperatura absoluta  $T_s$  se encontra completamente envolvida por uma superfície muito superior, a uma temperatura  $T_{env}$  separada por um gás, ou uma mistura de gases, como por exemplo, o ar, que não intervêm com a radiação, a *taxa líquida de calor de radiação* transferido entre essas duas superfícies é dada como:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{env}^4) \quad (3.9)$$

Neste caso específico, a emissividade e a área da superfície envolvente não têm qualquer efeito no calor transferido por radiação, como mostra a Figura 3.4 [35].

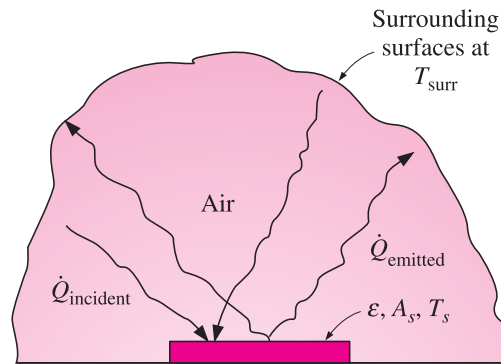


Figura 3.4: Transferência de calor entre duas superfícies por radiação [35].

## 3.2 Processamento de alumínio

Neste sub-capítulo serão abordados os processos de tratamento superficial do alumínio presentes na instalação estudada: a anodização e a lacagem.

### 3.2.1 Anodização

A anodização é um processo de revestimento superficial muito utilizado no fabrico de componentes de alumínio. O alumínio é um metal com grande resistência à corrosão, devido ao facto de este criar, de forma natural, uma barreira protetora eletroquimicamente estável de óxido de alumínio, designada como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ou alumina, que protege o metal contra elementos que provocariam a sua oxidação e, conseqüentemente, a sua degradação. Essa película tem, quer em condições naturais quer artificiais, uma espessura microscópica. Este tratamento proporciona o aumento da dureza superficial, resistência ao desgaste e resistência à corrosão, uma vez que provoca a oxidação forçada do alumínio, resultando na criação da camada cerâmica porosa de óxido de alumínio, ou alumina, com uma estrutura hexagonal. A anodização confere ainda uma boa base para a coloração do alumínio devido à porosidade da camada de alumina, facilitando a aderência da pintura [36].

O processo produtivo da anodização do alumínio divide-se, de modo geral, em cinco etapas essenciais: *preparação do material*, *neutralização*, *anodização*, *coloração* e *colmatagem*, como mostra a Figura 3.5.

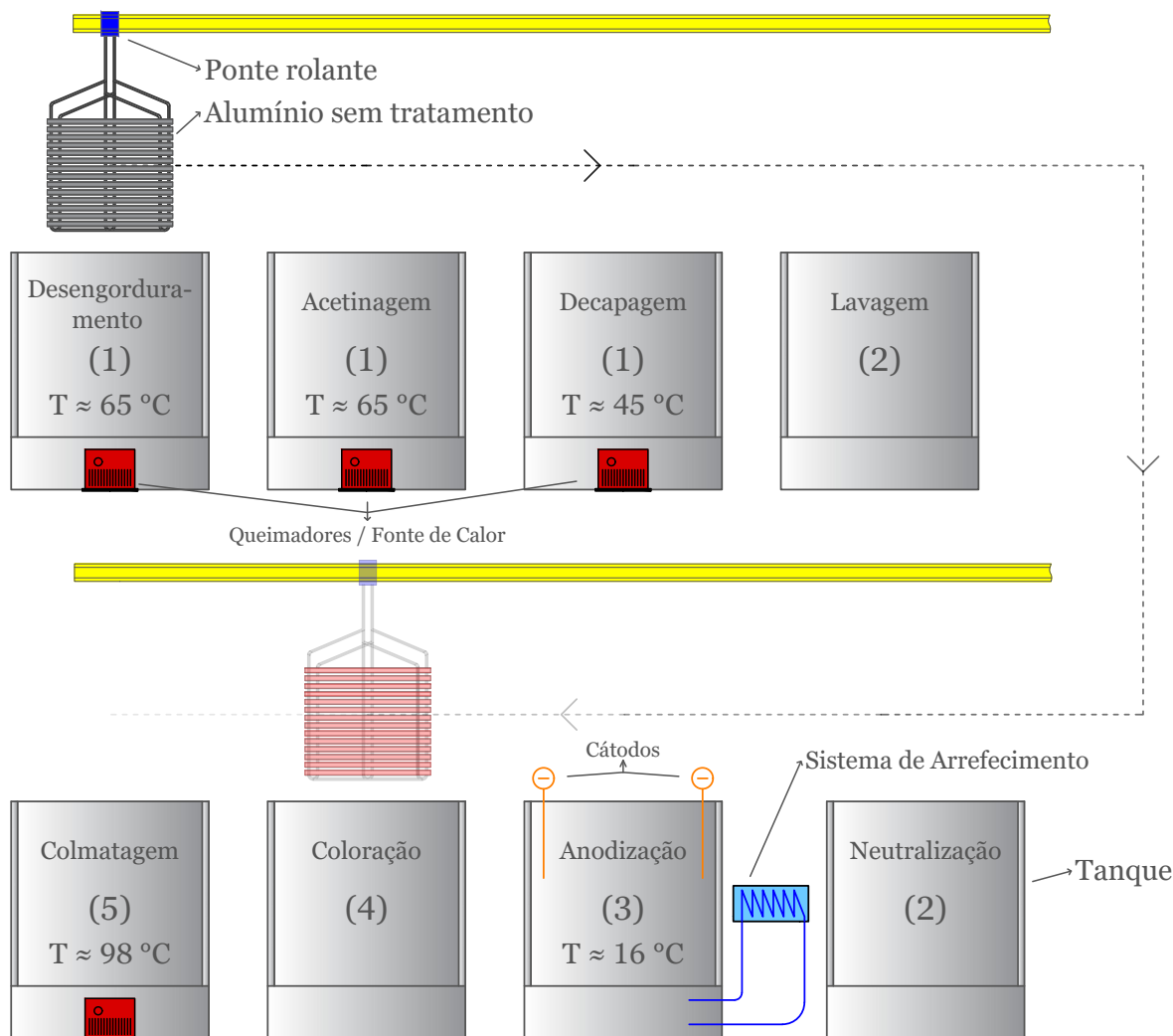


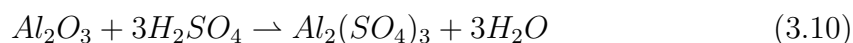
Figura 3.5: Representação simplificada de um processo comum de anodização de alumínio e dos principais equipamentos.

1. *Preparação do material* - Primeiramente, é necessário evitar que existam *arestas vivas* na peça ou componentes a anodizar porque a película protetora apenas se desenvolve no sentido perpendicular à superfície do material. Se não for possível garantir raios de concordância mínimos, essas zonas estarão providas do mesmo nível de proteção, no entanto, a pintura não terá tanta aderência à película cerâmica. Ainda na fase de preparação, é necessário assegurar a limpeza do material, ou seja, que este se encontra livre de gorduras e contaminantes. Para tal, os componentes são submetidos a um banho no qual são imergidos numa solução química desengordurante.

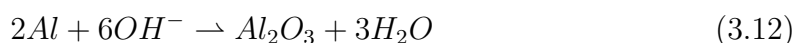
Depois de limpo, o material passa para a próxima etapa, a decapagem. Tal como o nome indica, este passo consiste em remover a *capa superficial*, ou seja, a fina camada de óxido formada naturalmente, de modo a remover imperfeições superficiais que possam existir, homogeneizando a superfície e promovendo um maior controlo de qualidade da anodização. Este tratamento pode ser mais ou menos intenso e profundo, dependendo do nível de uniformização pretendido.

Ainda nesta fase podem existir mais etapas, dependendo do aspecto de superfície pretendido como acetinado, polido ou texturado.

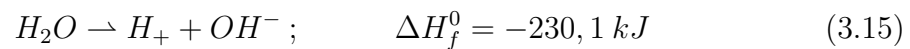
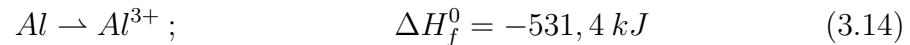
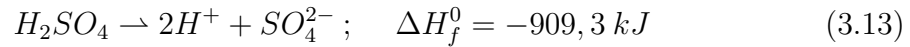
2. Finalizada a fase de preparação, é necessário proceder à *lavagem e neutralização* do alumínio para que não restem elementos químicos provenientes das etapas anteriores, assegurando que a superfície fique limpa e neutra.
3. De seguida procede-se à *oxidação anódica*. Nesta fase mergulha-se o alumínio - o *ânodo* - previamente preparado num banho com o *cátodo* e uma solução aquosa eletrolítica, normalmente de ácido sulfúrico, oxálico, fosfórico, ou crómico. Desta forma, é provocada a oxidação forçada do material, o que significa que se origina a corrosão controlada do alumínio, resultando na formação artificial e acelerada do filme de alumina. A reação química global de dissolução do óxido em meio ácido está representada na Equação 3.10.



Devido à corrente elétrica contínua (DC) imposta no cátodo, ocorre a eletrólise da solução, gerando iões de  $H^+$  e  $OH^-$  que se irão dirigir para o cátodo introduzido no banho e para o ânodo, respetivamente. Pouco tempo depois, a atração dos iões de  $OH^-$  à superfície do alumínio provoca a formação de uma película de  $Al_2O_3$  na mesma. A reação eletroquímica de formação da alumina está representada nas Equações 3.11 e 3.12.



Uma vez que este processo liberta uma quantidade significativa de calor, quer devido ao carácter exotérmico da reação de formação da alumina, quer devido ao aquecimento dos elétrodos por *efeito de Joule*, existe a necessidade de arrefecimento da solução ácida. Este arrefecimento, tal como o *Princípio de Le Chatelier* sugere, é uma alteração das condições que promove a reação química pretendida. Nas seguintes equações químicas está quantificado calor exotérmico libertado num processo de anodização numa solução aquosa de ácido sulfúrico.



O calor gerado da Equação 3.13 pode ser facilmente removido através do arrefecimento da solução. No entanto, o calor exotérmico das Equações 3.14 e 3.15 é libertado junto à superfície do alumínio. Por esta razão, para além do arrefecimento do banho, é fulcral manter um bom nível de agitação do fluido, de modo a dissipar mais rapidamente este calor localizado. Caso contrário, se o alumínio atingir temperaturas demasiado elevadas, a superfície pode manchar ou até formar pequenas fendas [37].

4. Depois de conferida ao material a película de proteção, é possível efetuar, caso seja uma especificação, a *coloração do metal*. Nesta fase, o material é imergido numa solução corante que resulta na impregnação de um pigmento nos poros da camada cerâmica previamente formada. A este tipo de pintura designa-se de coloração por imersão. No entanto existe outro processo designado como autocoloração que ocorre durante a anodização.
5. Para finalizar este processo é necessário *selar a superfície* porosa. Esta etapa, também designada como *colmatagem*, pode ser efetuada de várias formas, no entanto as mais comuns são por hidratação ou por impregnação.

Para selar por hidratação, alumínio é mergulhado num banho de água desmineralizada a cerca de 98 °C, ou então em contacto com vapor de água. Consequentemente, passado algum tempo, a alumina começa a hidratar-se e a expandir, provocando a

união dos poros e a colmatagem hermética do alumínio, formando uma estrutura superficial cristalina estanque.

Alternativamente, no processo de impregnação, os componentes são mergulhados numa mistura de água desmineralizada com sais metálicos, cuja temperatura se situa entre os 25 °C e os 30 °C. Esses sais depositar-se-ão nos poros da película protetora tornando a superfície hermeticamente selada. Este processo de colmatagem por impregnação também é designado por colmatagem a baixa temperatura [38, 39].

Normalmente, num processo de anodização industrial, existe um conjunto de peças agregadas num suporte que é por sua vez carregado por uma *ponte rolante* ao longo das várias etapas. Os principais equipamentos utilizados neste tipo de processo de fabrico são: tanques dos banhos químicos, queimadores, suportes, cátodos, agitadores, fonte de alimentação elétrica (retificador), serpentinas de arrefecimento ou permutadores de calor e os *chillers* [40].

É de salientar que a anodização confere ao alumínio um incremento notável da resistência ao desgaste e à corrosão. O nível de penetração do tratamento permite a adaptação da proteção a cada aplicação específica. A resistência deste revestimento ao desgaste físico é também elevada uma vez que a película de oxidação é intrínseca ao material [36, 38].

### 3.2.2 Lacagem

A lacagem de alumínio é também um processo de tratamento superficial que consiste na aplicação de uma camada protetora, com o objetivo de melhorar as propriedades de resistência à corrosão e, sobretudo, melhorar o aspeto estético dos componentes de alumínio, podendo ser conferida uma cor desejada. De forma resumida, a lacagem de produtos de alumínio consiste na aplicação eletrostática de uma pintura em pó constituído por um polímero termoendurecível, correntemente à base de poliéster ou poliuretano, sobre a superfície do metal. Estes materiais são usados devido à elevada resistência à corrosão e à radiação ultra-violeta [40].

O processo produtivo da lacagem do alumínio divide-se, geralmente, em cinco fases: *preparação da superfície, ataque da superfície, formação da camada de fixação, aplicação da pintura e polimerização*, como demonstrado na Figura 3.6.

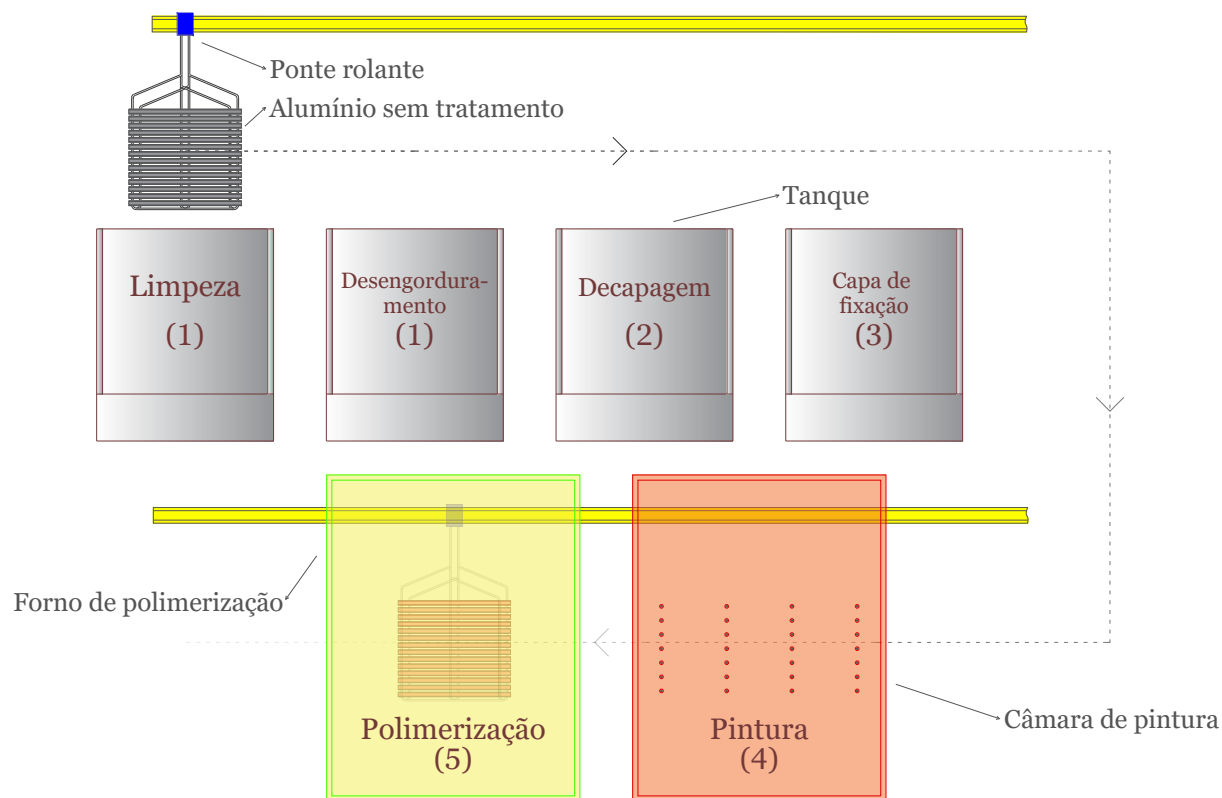


Figura 3.6: Representação simplificada de um processo comum de lacagem de alumínio e dos principais equipamentos.

1. *Preparação da superfície* – limpeza e desengorduramento assegurando a limpeza do material, ou seja, que este se encontra livre de gorduras e de contaminantes. Tal como na anodização, os componentes são mergulhados num banho desengordurante.
2. *Ataque da superfície* – é efetuada a decapagem da película de óxido de alumínio para permitir uma maior aderência da pintura. Pode ser efetuada em meio ácido, alcalino ou misto.
3. *Formação da capa de fixação* – o material é mergulhado numa solução de conversão química ou aderente que promove uma maior penetração e estabilização da pintura a ser aplicada posteriormente. Também pode ser efetuada uma pré-anodização no lugar deste processo. De seguida, o material passa por uma etapa de secagem para que posteriormente esteja em condições de receber a pintura.
4. *Aplicação da pintura* - consiste na aplicação eletrostática da pintura. Este processo é realizado pulverizando, manualmente ou de forma automática, com uma pistola

de pintura eletroestática, os componentes de alumínio com a pintura em pó. Estas partículas de pintura são carregadas positivamente através de um campo elétrico à saída do pulverizador. Uma vez que os componentes de alumínio estão ligados eletricamente à terra com um potencial negativo, o pó é atraído depositando-se sobre a superfície do metal;

5. *Polimerização* – os componentes seguem para dentro de um forno com uma atmosfera controlada cuja temperatura varia normalmente entre 180°C e 200°C, durante um máximo de 20 minutos. Este tratamento térmico confere ao material uma película protetora uniformizada, através da fusão e polimerização das partículas pulverizadas. Esta camada tem uma espessura que varia, geralmente, entre 60 a 80  $\mu\text{m}$  [13, 40].

Entre os diversos processos de revestimento e proteção, a lacagem é o processo que permite a maior gama de variedade de cores e tipos de acabamento, podendo assim adaptar este processo às várias necessidades do cliente ou objetivo final [40].

### 3.3 Combustão

Em termos práticos relacionados com os dispositivos de queima, a combustão pode ser definida como uma oxidação rápida com geração de calor. Esta definição revela a importância intrínseca das reações químicas nos processos de combustão. A energia armazenada nas ligações químicas é transformada em calor, que por sua vez pode ser utilizado das mais diversas formas [41].

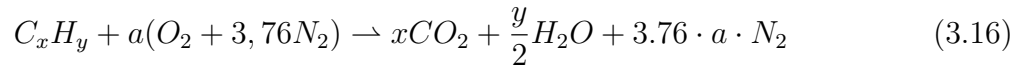
Os principais parâmetros para a avaliação dos sistemas de combustão são a temperatura, a composição e a relação entre os reagentes. Neste caso de estudo, o combustível de queima é o gás natural, cuja composição é maioritariamente metano  $\text{CH}_4$ , com uma pequena porção de etano, entre 2% a 5% (v/v), e uma quantidade ainda mais reduzida de outros hidrocarbonetos [42].

#### 3.3.1 Relação ar/combustível

A quantidade estequiométrica de comburente é a quantidade necessária à queima completa de um dado combustível. Esta é definida pela relação molar entre os reagentes, combustível e comburente. Se for fornecida uma quantidade de comburente superior à estequiométrica, então a mistura é pobre, pelo que existe excesso de ar. Inversamente, se

for fornecida uma quantidade de ar menor que a estequiométrica, a mistura é então rica, todavia incompleta [41].

As relações mássicas entre comburente - ar - e combustível são determinadas pelos balanços atômicos, assumindo que a reação de combustão é ideal. Considerando que a composição volúmica do ar de combustão é de apenas 21% de  $O_2$  e 79% de  $N_2$ , admite-se que para cada mole de oxigênio existem 3,76 mol de azoto. Deste modo, para um hidrocarboneto  $C_xH_y$ , as relações estequiométricas podem ser definidas como:



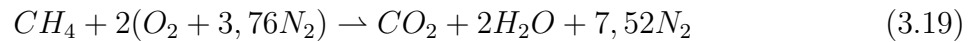
Também para os hidrocarbonetos, as variáveis  $a$ ,  $x$  e  $y$  equacionam-se da seguinte forma:

$$a = x + \frac{y}{4}; \quad (3.17)$$

Em que, considerando que o combustível é o metano  $CH_4$ :

$$a = 1 + \frac{4}{4} = 2 \quad (3.18)$$

Logo, para este combustível, a relação estequiométrica pode ser expressa como:



A relação estequiométrica mássica pode ser obtida associando a massa molar dos reagentes, podendo ser definida como:

$$\left(\frac{A}{C}\right)_{esteq.} = \left(\frac{m_{ar}}{m_{comb}}\right)_{esteq.} = 4,76 \cdot a \cdot \frac{M_{ar}}{M_{comb}} \quad (3.20)$$

Mais uma vez, considerando que o combustível é o metano  $CH_4$ , e as massas molares  $M_{ar} = 28,851$ ;  $M_C = 12,011$  e  $M_H = 1,008$ , da Equação 3.20 resulta que:

$$\left(\frac{A}{C}\right)_{esteq.} = 4,76 * 2 * \frac{28,851}{(12,011 + (4 * 1,008))} = 17,120 \quad (3.21)$$

Neste contexto, a riqueza  $\Phi$  é normalmente utilizada para indicar, quantitativamente, se uma mistura é pobre, estequiométrica ou rica em combustível. É geralmente expressa pela seguinte expressão:

$$\Phi = \frac{(A/C)_{esteq.}}{(A/C)} \quad (3.22)$$

Como tal, para misturas estequiométricas o valor de  $\Phi = 1$ . No caso de mistura ser rica em combustível,  $\Phi > 1$ . Para misturas com maior quantidade de ar que a quantidade estequiométrica,  $\Phi < 1$ . Nesse sentido, o excesso percentual de ar em relação à quantidade estequiométrica é também representado por:

$$e (\%) = \frac{(1 - \Phi)}{\Phi} * 100 \quad (3.23)$$

Em muitos sistemas de queima, a riqueza da mistura ou o excesso de ar são os parâmetros mais importantes na avaliação do desempenho desse sistema [41].

O nível de excesso de ar depende do tipo de sistema de combustão. Em situações práticas, a relação mássica ar/combustível, descrita segundo a Equação 3.20, pode ser determinada através da medição de caudal do ar e do combustível. A medição de oxigénio, dióxido de carbono e monóxido de carbono nos gases de combustão é também utilizada para o mesmo efeito. Por vezes, a combinação das duas metodologias é o ideal [43].

Para sistemas de queima a gás natural, o excesso de ar deve situar-se, tipicamente entre 5% e 10%. Para esta gama de valores de excesso de ar, o rácio entre a massa de ar e combustível para o metano, de acordo com a Equação 3.18, varia entre 18,0 e 18,8 [44]. Na Tabela 3.1 estão resumidas as relações entre os reagentes e os produtos finais, considerando o intervalo de excesso de ar anteriormente referido.

Tabela 3.1: Intervalo de excesso de ar adequado na queima de gás natural e respetivo teor de oxigénio nos gases de combustão secos [44].

Combustível	Excesso de ar	A/C	Teor de O <sub>2</sub>
Gás Natural (CH <sub>4</sub> )	5% - 10%	18,0 - 18,8	1,2% - 2,4%

Esta gama de relações mássicas resulta, para gases de combustão secos, no teor de O<sub>2</sub> entre 1,2% e 2,4%, em termos volúmicos.

Finalmente, é importante mencionar que esta parametrização deve ser efetuada cuidadosamente, uma vez que a diminuição exagerada do excesso de ar poderá delongar o processo de combustão e, porventura, criar perigo de explosão [43].

## 3.4 Sistemas de iluminação

Durante o tempo de vida útil de um dispositivo típico de iluminação, a maior parte dos custos estão relacionados com o consumo de energia. A restante parte está relacionada com o investimento inicial e com a manutenção, como apresentado na Figura 3.7 [7].

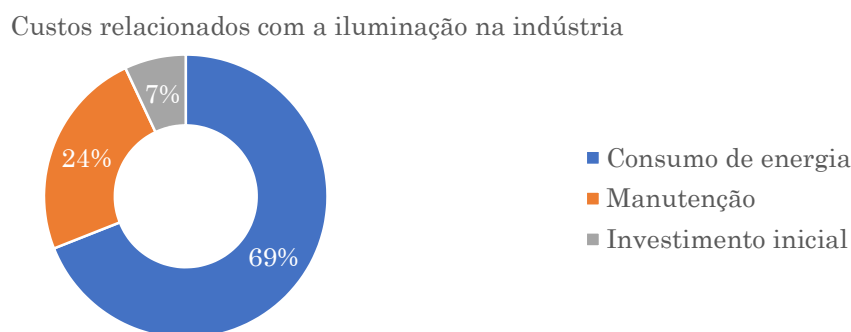


Figura 3.7: Custos típicos relacionados com a iluminação na indústria (adaptado de [7]).

No setor industrial, a iluminação representa, geralmente, entre 5% a 7% do consumo global de energia elétrica. Como tal, é uma área na qual a utilização de equipamentos mais eficientes se pode traduzir em reduções de consumo energético que não devem ser desprezados [7, 44].

### 3.4.1 Luminotecnia

A quantidade de luz emitida por uma fonte luminosa, designada como *fluxo luminoso*, é expressa pela grandeza *lumen*, expressa em *lm* e cujo símbolo é  $\Phi$ .

Após emitido, esse fluxo luminoso é disperso por uma determinada área. Portanto, a *iluminância* designada como  $E$ , cuja grandeza é o lux, expressa *lx*, representa a taxa de fluxo luminoso por unidade de área. A *iluminância* é definida como:

$$E (lx) = \frac{\Phi (lm)}{\text{Área} (m^2)} \quad (3.24)$$

Se um fluxo luminoso de, por exemplo, 1000 *lm* incidir numa superfície com 10  $m^2$ , então a iluminância nessa superfície será de 100 *lx* [7].

Por sua vez, a *eficiência luminosa* de um equipamento é representada pelo quociente entre o fluxo luminoso e a potência elétrica absorvida pelo mesmo:

$$\eta (lm/W) = \frac{\Phi (lm)}{P (W)} \quad (3.25)$$

Diferentes tecnologias de iluminação apresentam diferentes gamas de eficiência luminosa, como mostra a Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Eficiência luminosa de diferentes tecnologias (adaptado de [45]).

Descrição	P (W)	$\Phi$ (lm)	$\eta$ (lm/W)
Halógeno - 120 W	127,4	2249	17,7
Halógeno - 60 W	59,9	1535	25,6
Fluorescente T5 - 54 W	51,3	4184	81,6
Iodetos Metálicos - 70 W	79,8	7912	99,2
LED, 830 - 35 W	34,2	4739	138,6
LED, 840 - 35 W	34,5	4806	139,3
LED, 750 - 16 W	16,2	2436	150,5

No entanto, a eficiência luminosa não é o único fator a ter em conta na seleção de uma solução luminotécnica. Existem outros parâmetros técnicos relacionados com a qualidade da iluminação a considerar como:

- o índice de restituição cromática (CRI em inglês);
- a temperatura de cor, expressa em Kelvin (K);
- os níveis de encadeamento (UGR em inglês) [7, 45].

### 3.4.2 Requisitos legais

A Portaria n.º 349-D/2013 estabelece os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grande intervenção e dos edifícios existentes. Este documento legislativo estabelece também as regras que os sistemas de iluminação devem cumprir. Segundo esta Portaria, os sistemas de iluminação a instalar em edifícios de comércio e serviços devem cumprir requisitos gerais e específicos para os parâmetros de iluminação, de acordo com

as normas europeias EN 12464-1 e EN 15193, bem como requisitos para a densidade de potência de iluminação (DPI) e requisitos de controlo, de regulação de fluxo luminoso e de monitorização e gestão [46].

Neste contexto, os estudos luminotécnicos efetuados nesta dissertação, com o objetivo de determinar soluções de iluminação mais eficientes, têm por base as normas europeias referidas. O *software* de simulação utilizado é o *DIALux*.

## 3.5 Consumo de energia elétrica

Este sub-capítulo tem como objetivo a abordagem dos conceitos regulamentares relevantes à compreensão da utilização e faturação na energia elétrica. Os dois temas abordados são os períodos horários para ciclos semanais e a energia reativa.

### 3.5.1 Períodos horários para ciclos semanais

Em Portugal continental, tal como previsto nos artigos 24<sup>o</sup> e 31<sup>o</sup> do Regulamento Tarifário, os períodos tarifários de entrega de energia elétrica são diferenciados em ciclo semanal e ciclo diário. No ciclo diário, os períodos horários são iguais em todos os dias do ano. No ciclo semanal, os períodos horários diferem entre dias úteis e fim de semana [47].

Os períodos horários em Portugal Continental e nas Regiões Autónomas são determinados tendo em consideração as especificidades de cada região designadamente no que respeita à evolução do seu diagrama de carga [47].

O ciclo relativo a este caso de estudo é o semanal e os seus períodos estão descritos na Figura A.1 do Apêndice A.

### 3.5.2 Energia reativa

Sucintamente, a energia reativa é a componente da energia elétrica responsável pela criação de campos elétricos e, como tal, todas as máquinas de indução utilizam este tipo de energia, apesar de não ser responsável pela realização direta de trabalho, como é o caso da energia ativa. Exemplos de equipamentos de indução são os motores elétricos, alguns balastos das lâmpadas fluorescentes, fontes de alimentação de equipamentos eletrónicos, entre outros. A energia reativa, apesar de não representar um consumo real nem ser responsável pela realização de trabalho, provoca perdas por efeito de Joule, ou seja, por libertação de calor nos condutores e transformadores. Consequentemente, o seu consumo

excessivo pode ter um custo elevado, pelo que compete aos grandes consumidores, a quem a legislação atual abrange, suprimir essa despesa, visto depender dos equipamentos instalados [21].

Para clientes de baixa tensão normal com potências contratadas até 41,4 kVA, a energia reativa não é faturada logo, também não é medida. Para clientes de baixa tensão normal com potência contratada superior a 41,4 kVA, ou clientes com outros escalões de tensão superiores, a energia reativa tem de ser medida em períodos de integração horários e tem um custo unitário por kvarh [48, 21]. No cálculo da energia reativa a faturar utiliza-se o fator  $\text{tg}(\varphi)$ , que representa o quociente entre a energia reativa e a energia ativa, pelo que se consideram estes sistemas sinusoidais puros, por questões de simplicidade, apesar de não o serem. Logo, quanto maior for  $\text{tg}(\varphi)$ , maior será a taxa de energia reativa consumida [21].

O artigo 276<sup>o</sup> do Regulamento de Relações Comerciais estabelece as regras de faturação e os encargos de energia reativa relativos ao uso da rede de transporte e distribuição. Este artigo estabelece que seja objeto de faturação a energia reativa indutiva medida nas horas fora de vazio em cada integração, desde que exceda 30% da energia ativa consumida no mesmo período. O preço aplicável à energia reativa medida nas horas fora de vazio é dividido em três escalões, em função da energia reativa medida em cada período de integração, considerando os valores de  $\text{tg}(\varphi)$ , para intervalos de integração diários. A Tabela 3.3 demonstra os fatores de multiplicação atribuídos aos escalões previamente enunciados [48].

Tabela 3.3: Escalões de pagamento da energia reativa (adaptado de [48]).

Escalão	Descrição	Fator
Escalão 1	$0,3 \leq \text{tg}(\varphi) < 0,4$	0,33
Escalão 2	$0,4 \leq \text{tg}(\varphi) < 0,5$	1,00
Escalão 3	$\text{tg}(\varphi) \geq 0,5$	3,00

Conclui-se então que a monitorização e a compensação dos níveis de energia reativa não devem ser menosprezadas visto que, dependendo dos escalões e respetivos fatores de multiplicação, poderá representar uma porção significativa dos custos de energia elétrica, custos estes que podem ser facilmente suprimidos através da instalação de equipamentos de compensação, ou seja geração de energia reativa com condensadores. O investimento associado à correção do fator de potência de uma instalação tem, normalmente, um período retorno entre um a dois anos [21, 48].

## 3.6 Instrumentos de medição

Neste sub-capítulo é feita uma abordagem aos instrumentos de medição mais utilizados na indústria, quer em ambiente de auditoria energética, quer em sistemas de monitorização de energia.

### 3.6.1 Auditoria energética

Para analisar os consumos de energia durante uma auditoria energética é necessário recorrer a instrumentos de medição que permitam a recolha de dados referentes aos vários consumos.

Na utilização de instrumentos de medida devem ser tidos em conta alguns cuidados para que as medições sejam as mais corretas possíveis. Alguns desses cuidados são: não ultrapassar os limites de utilização indicados pelos fabricantes, efetuar as calibrações necessárias antes da utilização dos aparelhos, fazer a manutenção adequada dos aparelhos ou até outros cuidados específicos de cada instrumento [21].

As principais grandezas a medir através dos mais comuns aparelhos de medida portáteis são:

- a) *Temperatura*: utilizando termómetros e termopares ou câmaras termográficas que fazem a conversão de calor radiativo num sinal elétrico, criando assim uma imagem detalhada em função da distribuição de temperaturas capturadas. A Figura 3.8.(a) ilustra um desses equipamentos;
- b) *Pressão*: medida com manómetros e/ou células eletrónicas portáteis de pressão diferencial, quando a pressão é baixa, tal como mostra a Figura 3.8.(b). As medições de pressões elevadas podem ser feitas com transdutores de pressão piezoelétricos ou indutivos ou com o transdutores de *Bourdon*, no caso de sistemas de vapor;
- c) *Composição de gases de combustão*: para medir os teores de  $O_2$ ,  $CO$  e  $CO_2$  presentes nos gases de combustão, utilizam-se os analisadores eletrónicos digitais portáteis, como ilustrado na Figura 3.8.(c). Equipados com sondas específicas, incluindo um termopar para a medição da temperatura, são dos instrumentos de medição mais frequentemente utilizados;



Figura 3.8: Instrumentos de medição portáteis comuns em auditoria energética - da esquerda para a direita, uma câmara termográfica, um medidor de pressão e um analisador de gases de combustão. [49, 50].

- d) *Grandezas elétricas*: tais como tensão, intensidade de corrente e fator de potência e  $\cos \varphi$ . Atualmente as medições de todas estas grandezas é possível através de analisadores de energia - Figura 3.9.(a). Estes aparelhos medem e registam as potências ativas e reativas, o fator de potência, potência harmónica e entre outros, permitindo assim a obtenção de diagramas de carga específicos de um equipamento ou até de uma instalação. Podem ainda ser utilizados aparelhos mais simples e específicos como multímetros e pinças amperimétricas;
- e) *Caudal de um fluido*: como é o caso dos anemómetros - Figura 3.9.(b) - ou medidores de caudal utilizados na medição da velocidade do ar ou de um gás confinado, por exemplo numa conduta, ou não confinado, ou seja, ar atmosférico;
- f) *Humidade relativa do ar*: cuja medição é efetuada utilizando higrómetros - Figura 3.9.(c) - do tipo *termómetro de bolbo seco e húmido* ou eletrónicos e digitais, úteis para o estabelecimento de balanços mássicos e energéticos;

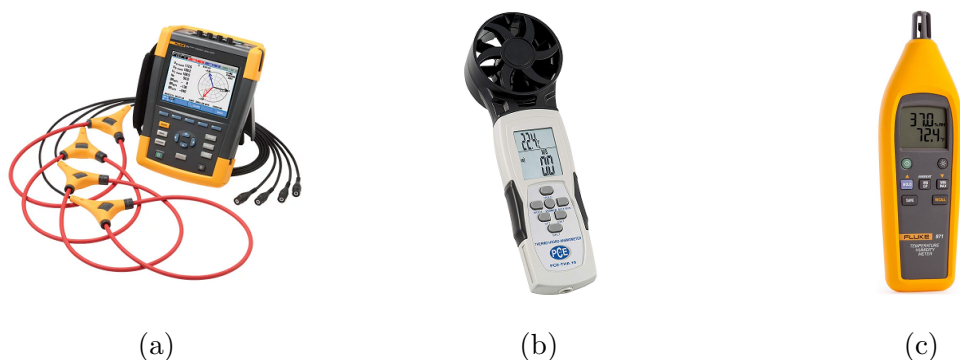


Figura 3.9: Instrumentos de medição portáteis comuns em auditoria energética - da esquerda para a direita, um analisador de energia, um anemómetro e um higrómetro [49, 51].

- g) *Velocidades*: de rotação ou lineares, utilizando, respetivamente, tacómetros - Figura 3.10.(a) - e estroboscópios. Importante quando se pretende, por exemplo, determinar a velocidade de rotação de um motor elétrico;
- h) *Comprimento*: utilizando, por exemplo, fitas métricas ou distanciómetros de laser - Figura 3.10.(b);
- i) *Intensidade luminosa*: para quando se pretende determinar a intensidade luminosa de um espaço antes e depois de uma intervenção na iluminação. Medida através de luxímetros - Figura 3.10.(c) [21, 49, 50, 51].

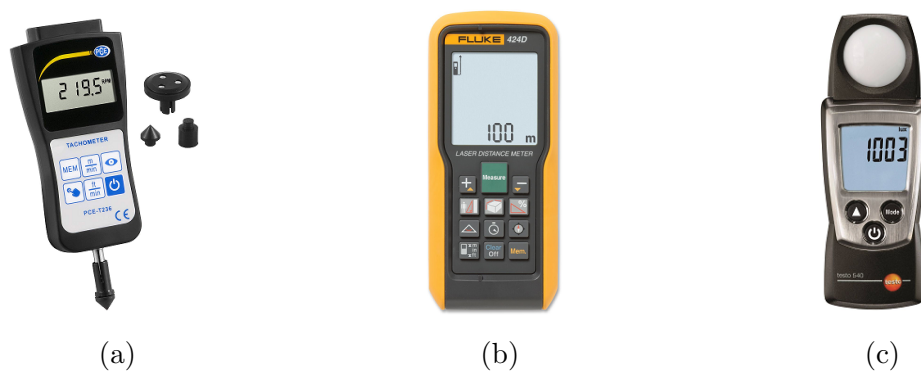


Figura 3.10: Instrumentos de medição portáteis comuns em auditoria energética - da esquerda para a direita, estroboscópio, um distanciómetro a laser e um luxímetro [49, 51].

### 3.6.2 Sistemas de monitorização

Fora do âmbito de auditoria energética, são utilizados equipamentos de medição e monitorização que, instalados de forma permanente na instalação, permitem medir o consumo de uma secção ou então de um equipamento específico. Através da comunicação dos dados recolhidos por estes equipamentos de comunicação - mediante um protocolo de comunicação como, por exemplo, o protocolo RS485 - é possível a conceção de um sistema de monitorização de energia. Dos mais diversos instrumentos de medição que podem ser utilizados na indústria, os equipamentos mais comumente implementados são: os *analísadores de energia elétrica*, os *contadores de gás* e ainda os *contadores de entalpia*, capazes de medir o diferencial de temperatura e caudal de um determinado fluido e efetuar o correspondente cálculo energético. A estas quantificações de energia ou combustível, podem ser associadas outras medições relevantes como de temperatura, humidade, entre outras. Na Figura 3.11 estão ilustrados alguns equipamentos fixos de medição.



Figura 3.11: Instrumentos de medição fixos comuns na indústria - da esquerda para a direita, um analisador de energia, um contador de gás e um contador de entalpia [52, 53].

A instalação destes equipamentos, conjugados com a devida implementação de um sistema de controlo e de tratamento da informação recolhida, oferece às indústrias um nível superior de gestão da energia. Uma vez que se pretende que, idealmete, a relação entre consumo de energia e produção fabril seja direta, estes sistemas estão também inserido na área de gestão da produção. Os sistemas de monitorização descentralizados servem não só a verificação mais adequada da poupança proveniente da implementação de MRE, mas também a identificação e estudo de novas MRE. A deteção agilizada de aumentos de

consumo energético motivados pela insuficiente manutenção ou inadequado funcionamento dos equipamentos é também uma vantagem notável.

A informação fornecida por estes sistemas é de cariz diferenciador e, por vezes de valor elevado, uma vez que permite facilitar a tomada de decisão com provas concretas e, conseqüentemente, risco reduzido. A implementação destes sistemas diferencia uma instalação que apenas fornece um serviço ou produto de valor acrescentado, de outra que também fornece informação, que por sua vez, pode também ser valorizada.

### 3.6.3 Obstáculos ao investimento

São de salientar também as principais dificuldades e entraves ao investimento deste tipo de MRE. A incerteza que, por vezes, existe no valor da informação recolhida é, atualmente, o maior obstáculo ao investimento em sistemas de monitorização de energia. No setor privado, quando esta incerteza não existe, também não existem, naturalmente, implicações na implementação destas medidas. Porém, no setor público, para instalações como hospitais, instituições de ensino e outros edifícios de serviços públicos, onde o potencial de poupança de energia é, muitas vezes, elevado, é necessário uma justificação concreta para que o investimento seja validado pela entidade suprema de controlo e fiscalização de dinheiros e valores públicos de Portugal, o Tribunal de Contas [54].

Por outro lado, de um modo geral, não é possível estimar, concretamente, a poupança que pode ser conseguida com este investimento. O mesmo se passa com as instalações do SGCIÉ. Por estas razões, foram já feitas análises sobre a utilização de sistemas de gestão de energia, pelo que foi possível concluir que, em média, permitem o aumento da eficiência energética 3%. A esta poupança, corresponde um *payback* médio de dois anos. Muitas vezes, é com base em valores empíricos como estes que são feitos investimentos nestes sistemas [44].

Apesar destes estudos comprovarem a importância e a eficácia dos sistemas de monitorização de energia, a falta de autonomia dos gestores públicos no que toca ao investimento numa tecnologia sem garantias concretas de retorno do investimento leva à desistência da implementação por parte dos gestores públicos, uma vez que, no caso de uma fiscalização do Tribunal de Contas, poderão ter que assumir responsabilidade pessoal nestes investimentos. Este obstáculo gera, naturalmente, uma elevada inércia e reticência na implementação destes sistemas nas instalações e edifício públicos.

Neste sentido, propõe-se que, de modo a mitigar esta hesitação e inércia na implementação de sistemas de monitorização de energia, seja criada uma harmonização da le-

gislação de investimento público que permita maior autonomia e até apoio aos gestores no investimento deste tipo de sistemas.

# Capítulo 4

## Caso de estudo

Neste capítulo é apresentada a empresa Ecoinside - organização que possibilitou o estágio curricular e esta dissertação - assim como a apresentação, análise dos consumos energéticos e auditoria energética da instalação estudada. Neste sentido, os temas abordados são: o cálculo dos indicadores e das metas legalmente definidas e a análise da instalação, dos equipamentos e dos processos estudados.

### 4.1 Apresentação da empresa

Como fruto do primeiro curso de empreendedorismo da Universidade do Porto surgiu, no ano de 2006, a Ecoinside, cujo logótipo está ilustrado na Figura 4.1.



Figura 4.1: Figura ilustrativa do logótipo da empresa Ecoinside.

A empresa está atualmente localizada em Vila Nova de Gaia e presta serviços na área da ecoeficiência, sustentabilidade ambiental e valorização económica da biodiversidade a instituições e empresas. Colabora com organizações dos mais diversos ramos como a hotelaria, indústria, ensino, comércio e serviços.

A Ecoinside tem como missão a promoção do *desenvolvimento inteligente* baseado em estratégias suportadas por soluções tecnológicas em parceria com os melhores participantes

do mercado. Foca-se em áreas essenciais ao crescimento sustentável: ecoeficiência, sustentabilidade e biodiversidade. Como tal, também a garantia de investimentos com retorno económico seguro é uma ótica a considerar nos desafios propostos [55].

Ao longo do seu historial a Ecoinside teve como principais atividades, em parceria com organizações públicas ou privadas, a melhoria de desempenho ambiental e energético, a auditoria e certificação energética de edifícios, a auditoria e certificação industrial no âmbito do SGCIE, a instalação de sistemas de iluminação eficiente - tecnologia LED - e mais recentemente, o projeto, instalação e monitorização de centrais fotovoltaicas, promovendo a diminuição da fatura energética e a redução do impacto ambiental associado ao consumo deste tipo de energia. É atualmente uma das seis empresas portuguesas certificadas com o ICP.

## 4.2 Apresentação da indústria

A indústria auditada tem como especialização a extrusão de perfis de alumínio e o posterior tratamento superficial dos mesmos. Nesses processos de tratamento superficial destacam-se a lacagem e a anodização de alumínio. A indústria divide-se em duas instalações. Numa delas, o alumínio é processado por extrusão. Na outra instalação é efetuado o processamento dos produtos extrudidos, designados como perfis, nomeadamente o seu tratamento por lacagem ou anodização.

O foco da auditoria energética realizada incide apenas na instalação dedicada ao tratamento superficial dos perfis de alumínio. A instalação está registada no SGCIE desde 2010 e o consumo anual de energia manteve-se, desde então, superior a 500 tep, porém inferior a 1000 tep. A constituição da instalação remonta ao ano de 1980. Porém, o ano de fabrico dos principais equipamentos - retificadores, *chillers*, forno e estufa da lacagem - está entre 2000 e 2002.

O processamento dos perfis consiste no tratamento superficial mediante lacagem ou anodização. Existem etapas opcionais, a coloração na anodização e o acabamento em imitação de madeira na lacagem.

Existem outras secções, independentes do fluxo de produção, que são o embalamento, a ETAR e os serviços administrativos que, ao contrário dos processos de tratamento superficial, não representam um encargo energético significativo.

Neste sub-capítulo é efetuada uma abordagem simples aos processos da instalação estudada, assim como os principais equipamentos de cada um deles. Estes processos de fabrico

foram já apresentados e descritos mais pormenorizadamente no ponto 3.2.

Na Figura 4.2 está representado o fluxograma de produção do caso de estudo.

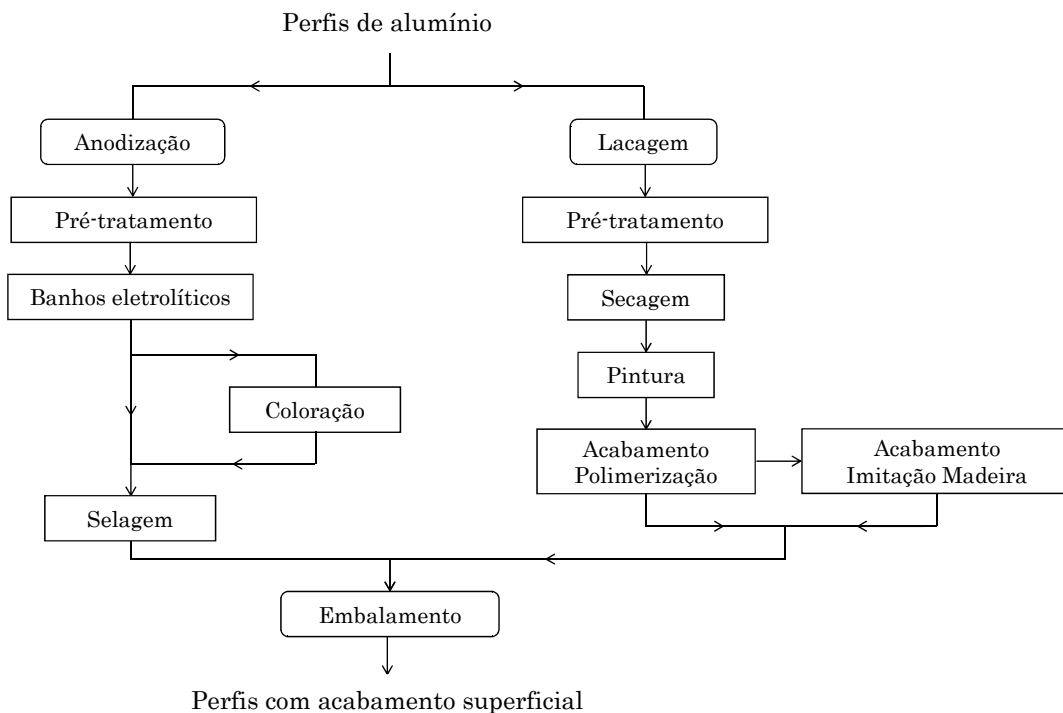


Figura 4.2: Fluxograma da produção fabril da instalação.

Em termos de horas de trabalho, o processo de anodização opera durante dois turnos diários. Por sua vez, a lacagem labora diariamente durante três turnos, ou seja, sem interrupções. Finalmente, a indústria labora durante todo o ano excluindo fins-de-semana - entre as 13 horas de sábado e a manhã de segunda-feira -, alguns feriados e ainda duas semanas de paragem de produção em agosto. Considera-se, para cálculos futuros, que um ano civil de trabalho corresponde a 250 dias de laboração.

### 4.2.1 Anodização

A Anodização inicia com a inspeção visual e polimento dos perfis, garantindo que a superfície do alumínio está lisa e uniforme. De seguida, os perfis são fixados a um suporte. O conjunto de perfis agrupados num suporte é designado como atado. Esse suporte é então elevado por uma das pontes-rolantes controladas por um operário. Seguidamente, os atados são mergulhados nos banhos de desgorduramento, satinagem, decapagem,

lavagem e neutralização, segundo esta sequência. A Figura 4.3 apresenta esta etapa inicial da linha da Anodização.

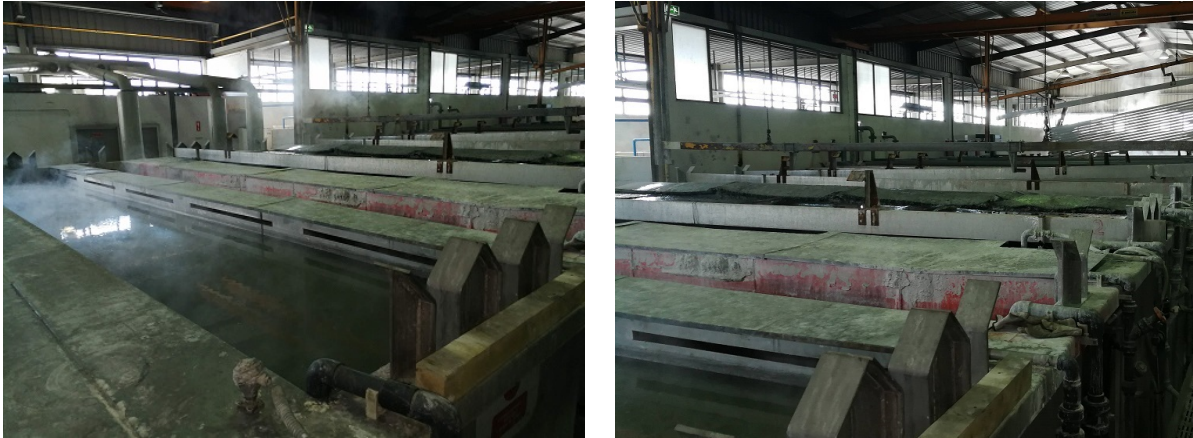


Figura 4.3: Pré-tratamento da linha da Anodização.

Os tanques destes banhos são compostos por uma estrutura exterior em aço inoxidável. Interiormente, são compostos por um reservatório em PVC, excluindo os banhos não corrosivos.

As condições de temperatura necessárias são conseguidas através de cinco queimadores a gás natural. Na Figura 4.3, à esquerda, podem ser observadas condutas de extração dos gases de combustão, assim como o respetivo coletor.

O controlo das condições de trabalho dos banhos - nível, temperatura, concentrações e corrente elétrica - é efetuado através dos quadros que a Figura 4.4 mostra.



Figura 4.4: Da esquerda para a direita, o quadro de controlo dos banhos químicos, um dos retificadores e repetivo controlador.

Posteriormente, os perfis são inseridos no banho eletrolítico de anodização. Sendo a anodização uma reação química exotérmica e existindo também calor libertado pelos eléctrodos dos retificadores para os banhos, a temperatura desejada para que esta ocorra nas condições desejadas é atingida através do arrefecimento da solução ácida, cuja concentração é de ácido sulfúrico é de aproximadamente 15%. Este arrefecimento é efetuado por um grupo de arrefecimento composto por:

- Dois *chillers* ar-água instalados no exterior;
- Quatro permutadores de calor, um para cada banho frio;
- Um tanque de permuta ou depósito de inércia;
- Sete bombas de circulação de caudal pelos diversos circuitos;
- Distribuição através de condutas circulares em PVC rígido, quer nos circuitos dos banhos, quer no circuito dos *chillers*.

Na Figura 4.5 estão representados alguns dos equipamentos do grupo de arrefecimento dos banhos de anodização, concretamente: um dos *chillers*, o tanque de permuta (depósito de inércia) e um dos permutadores de placas água-ácido.

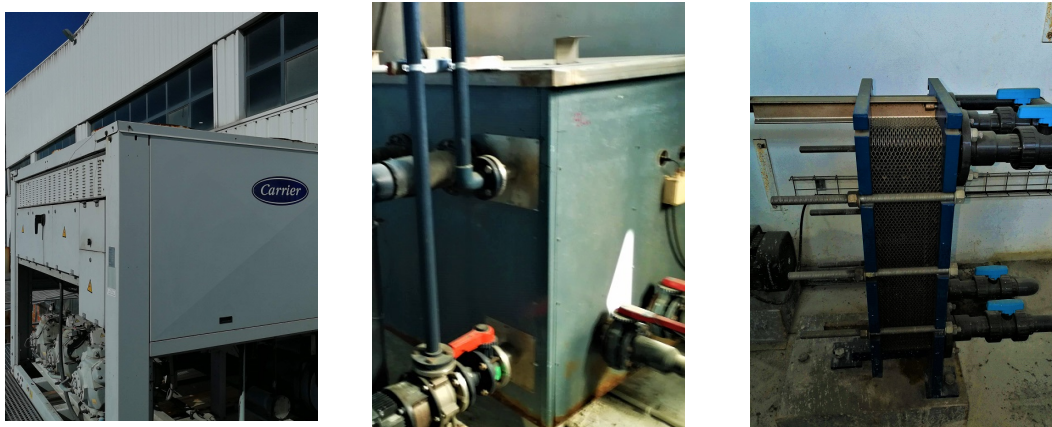


Figura 4.5: Principais equipamentos do grupo de arrefecimento dos banhos de anodização - da esquerda para a direita, *chiller*, tanque de permuta e permutador de placas.

Na Figura B.1 do Apêndice B está esquematizado o circuito de arrefecimento da Anodização.

A etapa final é a selagem que consiste na colmatagem ou vedação da camada de óxido de alumina criada durante a anodização. A Figura 4.6 apresenta a conclusão do processo de Anodização e os perfis prontos para embalagem.



Figura 4.6: Finalização do processo de Anodização.

As etapas que constituem este processo, assim como alguns parâmetros relevantes, estão representadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Descrição dos banhos de anodização da instalação.

Nº	Etapa	Volume [m <sup>3</sup> ]	Temperatura	Tempo
1	Desengordurante alcalino	18	40-65°C	10-15 min.
2	Lavagem	12,5	-	-
3	Acetinagem	18	60-65°C	10-20 min.
4	Decapagem alcalina	18	40-45°C	5-10 min.
5	Lavagem (x3)	12,5	-	-
6	Neutralização	12,5	-	2-10 min.
7	Lavagem	12,5	-	-
8	Anodização 3	18	17-19°C	15-55 min.
9	Anodização 1	18	17-19°C	15-55 min.
10	Anodização 2	18	17-19°C	15-55 min.
11	Lavagem (x2)	12,5	-	-
12	Coloração eletrolítica	18	18-22°C	0,5-20 min.
13	Lavagem (x2)	12,5	-	-
14	Lavagem (água desmineralizada)	12,5	-	-
15	Selagem a quente 1	25	> 98°C	3 min./μm
16	Lavagem (água desmineralizada)	12,5	-	-
17	Selagem a quente 2	35	> 98°C	3 min./μm

### 4.2.2 Lacagem

Tal como na Anodização, a primeira etapa da Lacagem é o pré-tratamento dos perfis. Esta é uma etapa muito semelhante à homóloga na Anodização, uma vez que a imersão é feita com o auxílio de apenas uma ponte-rolante controlada por um operário. O pré-tratamento da linha de produção da Lacagem está ilustrado nas Figuras 4.7.



Figura 4.7: Pré-tratamento da Lacagem, à direita, os banhos de pré-tratamento e, à esquerda, a estufa para secagem dos perfis.

Nesta secção de pré-tratamento existem oito banhos e a etapa final de secagem numa estufa. Na Tabela 4.2 encontram-se listadas as várias etapas do pré-tratamento da Lacagem.

Tabela 4.2: Descrição dos banhos de pré-tratamento da lacagem.

Nº	Etapa	Volume [m <sup>3</sup> ]	Temperatura	Tempo
1	Pré-desengorduramento			10 min.
2	Lavagem			-
3	Desengorduramento			10 min.
4	Lavagem	13,5	Ambiente	-
5	Lavagem			-
6	Lavagem (água desmineralizada)			-
7	Passivação isenta de crómio			5-60 seg.
8	Lavagem (água desmineralizada)	12,5		-
9	Forno secagem (estufa)	35	90°C	20-40 min.

Seguidamente, os perfis são acoplados a um suporte numa plataforma transportadora. O nível de automação nesta parte do processo é elevado. A Figura 4.8 mostra a plataforma transportadora e o quadro de controlo deste processo.



Figura 4.8: Transportadora e quadro de controlo da Lacagem.

Posteriormente, os perfis são introduzidos na câmara de pintura, onde é pulverizada a pintura eletroestática. Finalmente, o revestimento inorgânico é polimerizado no forno de perfis.

Por sua vez, a Figura 4.9 mostra os principais equipamentos deste processo - a câmara de pintura e o forno de polimerização.



Figura 4.9: Linha da Lacagem: à direita, a câmara de pintura de perfis; ao centro e à esquerda, o forno de polimerização.

### 4.2.3 Ar comprimido

Sendo um relevante consumidor de energia e, geralmente, com um potencial de poupança elevado, é relevante a apresentação do sistema de ar comprimido. Este sistema é alimentado por dois compressores, no entanto um deles serve apenas como *backup*. A jusante, a instalação é composta por tubagens em *ferro fundido*. Distribuídos pela instalação estão três secadores e ainda oito depósitos de 120l, a uma pressão de aproximadamente 10 bar. A Figura 4.10 mostra alguns dos componentes deste sistema.



Figura 4.10: Secador, depósito de ar comprimido e compressor de serviço.

## 4.3 Dados e indicadores energéticos precedentes

Como já referido, esta instalação está registada no SGCIE desde o ano de 2010. Os dados relativos à IE no ano de referência, bem como a meta esperada para este indicador em 2018, estão resumidos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Dados relativos ao consumo global de energia, Valor Acrescentado Bruto e respetiva Intensidade Energética do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia 2011-2018.

Dados e Indicadores	Unidades	Referência (2010)	Metas (2018)
Consumo de energia	tep	948,9	-
VAB	€	1 902 206	-
<b>Intensidade Energética</b>	<b>kgep/€</b>	<b>0,499</b>	<b>0,479</b>

Estando perante uma instalação CIE multi-produto, sempre que possível, deve ser

desagregado o indicador CE, tal como descrito no ponto 2.2.4, por cada tipo de produto [20]. Neste caso, essa desagregação é feita pelos processos de Lacagem e Anodização. Aquando da primeira auditoria energética, com base nos níveis de consumo e produção observados, foi determinada a desagregação do consumo energético descrita na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Distribuição da utilização de energia em função do tipo de produto considerada no Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia 2011-2018, por fonte de energia.

<b>Tipo de Energia</b>	<b>Lacagem</b>	<b>Anodização</b>
Energia Elétrica	18,7%	81,3%
Gás Natural	45,6%	54,4%

Nesta sequência, os dados de produção e de consumo de energia desagregada nestes dois processos, assim como os indicadores CE e IC referentes à primeira auditoria, estão resumidos nas Tabelas 4.5 e 4.6.

Tabela 4.5: Dados relativos à produção de lacado e respetivos indicadores energéticos do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia 2011-2018.

<b>Dados e Indicadores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Referência (2010)</b>	<b>Metas (2018)</b>
Consumo de energia	tep	260,5	-
Produção de lacado	m <sup>2</sup>	950 324	-
Emissões de GEE	tCO <sub>2</sub> e	641,7	-
<b>CE Lacagem</b>	<b>kgep/m<sup>2</sup></b>	<b>0,274</b>	<b>0,263</b>
<b>IC Lacagem</b>	<b>tCO<sub>2</sub>e/tep</b>	<b>2,463</b>	<b>2,463</b>

Tabela 4.6: Dados relativos à produção de anodizado e respetivos indicadores energéticos do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia 2011-2018.

<b>Dados e Indicadores</b>	<b>Unidades</b>	<b>Referência (2010)</b>	<b>Metas (2018)</b>
Consumo de energia	tep	688,4	-
Produção de anodizado	m <sup>2</sup>	834 349	-
Emissões de GEE	tCO <sub>2</sub> e	1 595,7	-
<b>CE Anodização</b>	<b>kgep/m<sup>2</sup></b>	<b>0,825</b>	<b>0,792</b>
<b>IC Anodização</b>	<b>tCO<sub>2</sub>e/tep</b>	<b>2,318</b>	<b>2,318</b>

As metas para o ano de 2018 representam a redução de 4% exigida a instalações CIE com consumos entre 500 e 1000 tep, para os indicadores IE e CE. Já para a IC, é apenas exigido, no mínimo, a manutenção do valor, tal como descrito previamente no ponto 2.2.4.

A conversão dos consumos energéticos para tep e o cálculo das emissões de GEE é efetuada de acordo com as indicações disponibilizadas no Despacho n.º 17313/2008, abordadas anteriormente no ponto 2.2.5.

## 4.4 Consumo energético

Neste sub-capítulo é efetuada uma análise do consumo de energia da instalação auditada durante o novo período de referência, o ano de 2018, ou seja, o ano civil que precede a auditoria energética. A contabilização da energia é baseada nas faturas energéticas fornecidas - eletricidade e gás natural. O consumo neste período servirá como base de comparação da evolução dos indicadores ao longo dos próximos oito anos de duração do novo ARCE.

A instalação dispõe de apenas duas fontes de energia: energia elétrica e gás natural, ambas distribuídos diretamente da respetiva rede. Nesta indústria existe consumo de gasóleo relativo à frota de transporte, no entanto, esta contabilização não é afeta à instalação de tratamento superficial.

### 4.4.1 Energia elétrica

Em relação ao fornecimento de energia elétrica efetuado pela *EDP Corporate*:

- O abastecimento é efetuado em regime de Média Tensão (MT) em ciclo semanal com feriados. Logo, os períodos horários regem-se de acordo com a informação disponível na Tabela A.1;
- A potência contratada em 2018 foi de 920 kW;
- O fator de potência variou entre 0,89 e 0,99. O valor mais baixo é referente ao mês de agosto;
- O pagamento da energia ativa é efetuado através do tarifário indexado OMEL, e, segundo análise da faturação deste caso de estudo, o valor médio da tarifa foi de 67,798 €/MWh, em 2018.

O *mix-energético* para a energia elétrica está resumido na Tabela 4.7 e foi obtido através da informação presente nas faturas e dos dados disponíveis *online*, para o setor empresarial [56].

Tabela 4.7: Fontes de energia da energia elétrica correspondentes ao *mix* energético de 2017 e 2018 [56].

<b>Fonte de Energia</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Carvão	31,7%	26,4%
Hídrica	11,3%	22,2%
Eólica	17,4%	18,2%
Gás Natural	19,4%	12,8%
Outras	12,1%	12,3%
Cogeração Fóssil	8,1%	7,9%

De seguida, na Tabela 4.8, estão listados os consumos de energia ativa, por períodos horários, no ano de 2018.

Tabela 4.8: Consumo de energia elétrica da instalação, por período horário, em 2018.

<b>Mês</b>	<b>SV [kWh]</b>	<b>Vazio [kWh]</b>	<b>Cheias [kWh]</b>	<b>Ponta [kWh]</b>	<b>Total [kWh]</b>
Janeiro	13 717	22 040	112 885	56 414	205 056
Fevereiro	13 374	19 065	92 408	45 166	170 013
Março	15 229	23 259	108 359	49 369	196 216
Abril	13 606	22 354	119 249	29 096	184 305
Maio	14 730	21 696	112 262	28 384	177 072
Junho	14 983	23 513	127 748	31 465	197 709
Julho	15 624	23 603	139 631	36 102	214 960
Agosto	7 757	10 147	38 015	9 544	65 463
Setembro	14 663	21 995	109 445	27 298	173 401
Outubro	14 442	21 505	122 938	34 650	193 535
Novembro	15 532	22 483	100 106	46 605	184 726
Dezembro	13 208	19 632	66 695	29 160	128 695
<b>Total</b>	<b>122 448</b>	<b>185 919</b>	<b>954 671</b>	<b>311 368</b>	<b>2 091 151</b>

Já na Figura 4.11 está representada a evolução do consumo de energia elétrica no ano de 2018.

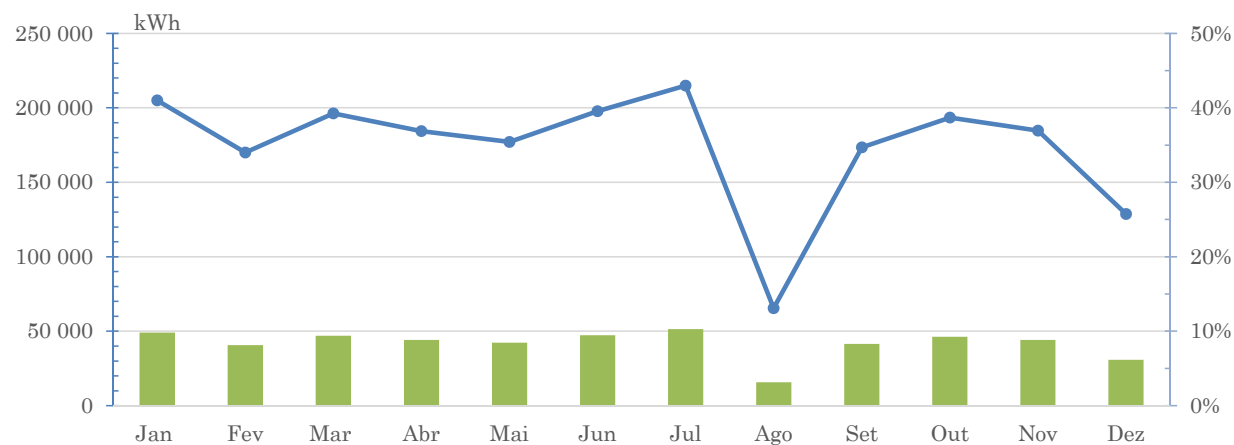


Figura 4.11: Evolução do consumo mensal de energia elétrica da instalação em 2018 - valores relativos no gráfico de barras.

Tal como referido, tratando-se de uma instalação abastecida em MT e em ciclo semanal com feriados, existem quatro períodos horários de pagamento de energia elétrica ao longo do dia, cujos preços variam mediante os níveis de consumo globais da rede elétrica. Esses períodos, por ordem crescente do preço da tarifa correspondente, são designados como: Super Vazio, Vazio, Cheias e Ponta, cujos horários estão ilustrados na Tabela A.1 do Apêndice A. Na Figura 4.12 estão caracterizados, em termos relativos, os consumos de energia elétrica da instalação, por período horário.

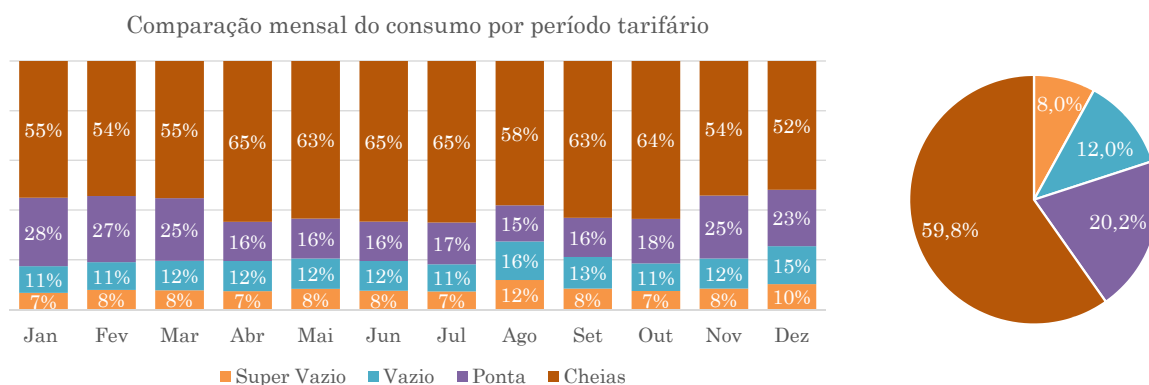


Figura 4.12: Caracterização dos consumos mensais e anuais de energia elétrica por período tarifário, em 2018.

Da análise destes dados conclui-se que:

- O consumo total de energia ativa em 2018 foi de 2 091 151 kWh;
- Para todos os meses, o período de maior consumo de energia ativa foi o de Cheias, correspondente a 1 249 741 kWh. Também em termos anuais, o segundo maior período de consumo foi o de Ponta com 423 253 kWh, seguido do período de Vazio com 251 292 kWh consumidos. Com o menor encargo energético, foi o período de Super Vazio com 166 865 kWh de energia ativa consumida em 2018;
- O consumo de energia elétrica manteve sempre bastante estabilidade excetuando os meses de quebra, agosto e dezembro, diminuições motivadas redução da produção em períodos de férias. Estas diferenças estão bem evidenciadas na Figura 4.11;
- O mês de maior consumo, 214 960 kWh, foi o de julho e o mês de menor consumo foi agosto com 65 463 kWh;
- O aumento de aproximadamente 10% da porção do consumo em Cheias nos meses de Inverno deveu-se à alteração de horário, uma vez que nos meses de verão o período de Cheias é alargado em mais duas horas, como pode ser verificado na Tabela A.1;
- Apesar das ligeiras alterações mensais do consumo, não se observa evolução tendencial ao longo do ano.

#### 4.4.2 Gás natural

Na instalação auditada existe abastecimento direto de gás natural canalizado fornecido a baixa pressão, ou seja, a uma pressão igual ou inferior a 4 bar em relação à pressão atmosférica [57].

Os consumos de gás natural da instalação no ano de 2018, em termos absolutos e relativos, estão resumidos, respetivamente, na Tabela 4.9 e na Figura 4.13.

Tabela 4.9: Consumo mensal de gás natural da instalação em energia e volume, no ano de 2018, e o respetivo poder calorífico superior, segundo faturação.

Mês	kWh	m <sup>3</sup> N	PCS [kWh/m <sup>3</sup> ]
Janeiro	410 743	34 793	11,805
Fevereiro	357 461	30 102	11,875
Março	422 679	35 459	11,920
Abril	359 784	30 391	11,839
Maio	352 684	30 186	11,684
Junho	325 334	28 018	11,612
Julho	394 960	33 218	11,890
Agosto	105 587	8 924	11,832
Setembro	416 157	35 123	11,849
Outubro	425 603	36 134	11,778
Novembro	445 969	37 264	11,968
Dezembro	289 233	24 215	11,944
<b>Total</b>	<b>4 306 194</b>	<b>363 817</b>	<b>11,863</b> (valor médio)

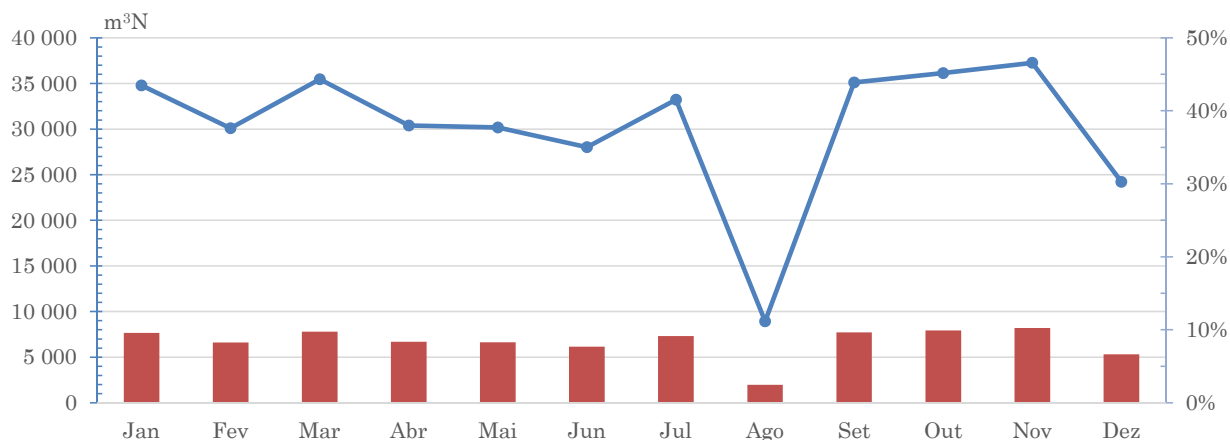


Figura 4.13: Evolução do consumo mensal de gás natural da instalação em 2018 - valores relativos no gráfico de barras.

Da análise deste dados evidencia-se que:

- Existe bastante alinhamento com os consumos de energia elétrica, não se observando grandes variações mensais de consumo de gás natural, excluindo nos meses de paragem já referidos. Também não se verifica qualquer tendência ou sazonalidade;

- O consumo total de gás natural em 2018 foi de 363 827 m<sup>3</sup>N;
- O mês de maior consumo foi novembro com 37 264 m<sup>3</sup>N. O mês de menor consumo foi, mais uma vez, agosto com 8 924 m<sup>3</sup>N;
- O desvio percentual entre o maior e o menor valor mensal de Poder Calorífico Superior (PCS) foi apenas de 3%, 11,968 kWh/m<sup>3</sup>N em novembro e 11,612 kWh/m<sup>3</sup>N em junho.

#### 4.4.3 Consumo total

Com o objetivo de comparar o consumo de diferentes fontes de energia, é necessário efetuar a conversão para uma unidade igual. Essa grandeza é denominada como tep, a unidade utilizada no SGCIE, cujo método de conversão para as fontes de energia deste caso de estudo já foi abordada no ponto 2.2.5. Os FC podem ser consultados na Tabela A.2 do Apêndice A.

Para a conversão da energia elétrica, é considerado que 1 kWh corresponde a  $215 \times 10^{-6}$  tep. No caso do gás natural é necessário considerar o peso específico de 0,8404 kg/m<sup>3</sup>N e o Poder Calorífico Inferior (PCI) de 1,077 tep/t [24].

Os dados de consumo energético global da instalação, em tep, no ano de 2018, e o respetivo *mix-energético* estão contabilizados na Tabela 4.10 e na Figura 4.14.

Tabela 4.10: Consumo de energia total da instalação, em toneladas equivalentes de petróleo, no ano de 2018.

Fonte de Energia	Consumo	Consumo em tep	Porção
Gás Natural	363 817 m <sup>3</sup> N	329,30 tep	42,3%
Energia elétrica	2 091 151 kWh	449,60 tep	57,7%
<b>Energia Total</b>	-	<b>778,90 tep</b>	<b>100,0%</b>

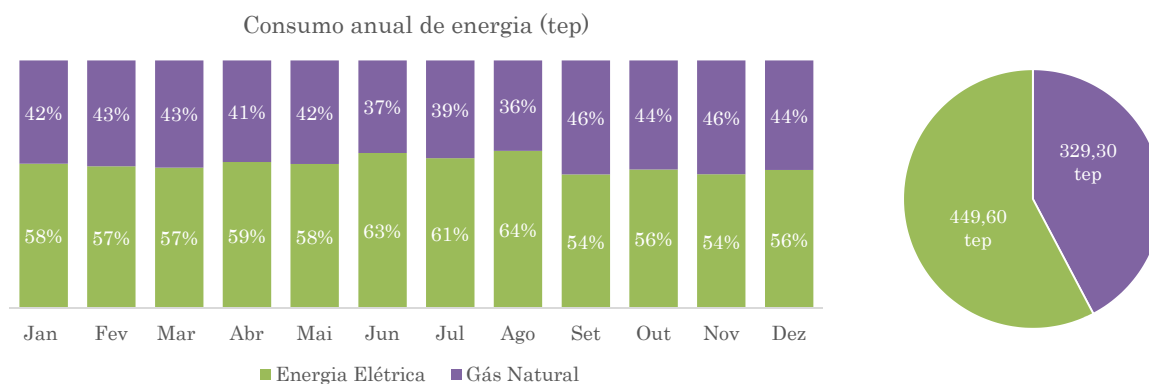


Figura 4.14: Caracterização dos consumos mensais e anuais de energia global no ano de 2018.

Conclui-se então que, uma vez que o consumo de energia total no ano de referência é de 778,90 tep, a instalação permanece no mesmo escalão do SGCIE, entre 500 e 1000 tep anuais.

## 4.5 Custos energéticos

A contabilização dos custos referentes ao consumo energético total está resumida na Tabela 4.11.

Tabela 4.11: Custo da energia total da instalação, e respetivo custo específico, no ano de 2018.

Fonte de Energia	Consumo	Custo Total	Custo Específico
Gás Natural	329,30 tep	159 479,30 €	484,29 €/tep
Energia elétrica	449,60 tep	269 945,24 €	600,42 €/tep
<b>Energia Total</b>	<b>778,90 tep</b>	<b>429 424,54 €</b>	<b>551,32 €/tep</b>

Por sua vez, na Figura 4.15 está ilustrada a evolução desse custo específico ao longo de 2018.

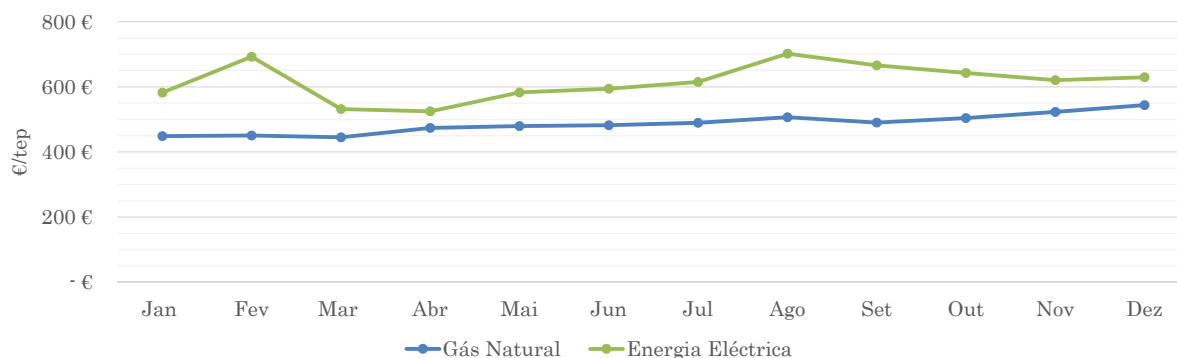


Figura 4.15: Evolução do custo específico da energia da instalação, por fonte, em €/tep, no ano de 2018.

No entanto, a relação €/tep não representa, em termos práticos, o custo da energia final consumida na instalação, uma vez que o valor de consumo de energia elétrica é majorado por via da conversão para tep, dada a consideração do rendimento elétrico médio das centrais termoelétricas que usam combustíveis fósseis e da distribuição e transporte de energia de 40%, tal como de acordo com o Despacho n.º 17313/2008 [24]. Portanto, torna-se também interessante comparar o preço da energia considerando a energia final consumida pela instalação. Através da análise das faturas de eletricidade e gás natural, é possível comparar a evolução do preço destes dois tipos de energia, em €/MWh, como demonstrado na Figura 4.16.

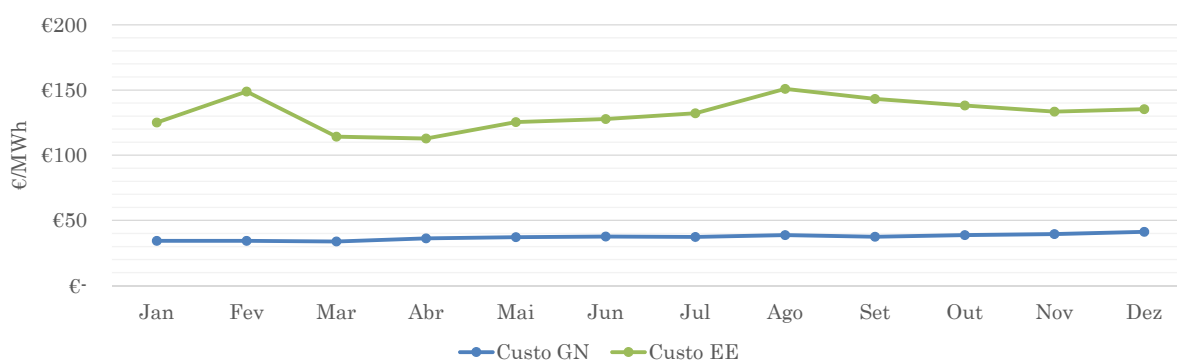


Figura 4.16: Custo da energia da instalação, por fonte, em €/MWh, no ano de 2018.

Em ambas as análises temporais observa-se um aumento do preço da energia elétrica nos meses de agosto e dezembro. Numa análise mais pormenorizada, conclui-se que este

aumento se deveu à maior faturação da energia reativa, o que indica alguma anomalia no controlo das baterias de condensadores da instalação. Já no mês de fevereiro, o aumento do custo específico da eletricidade deve-se ao aumento da tarifa OMEL. Na Figura 4.17 estão ilustrados os custos mensais de energia reativa, por escalão, no ano de 2018.

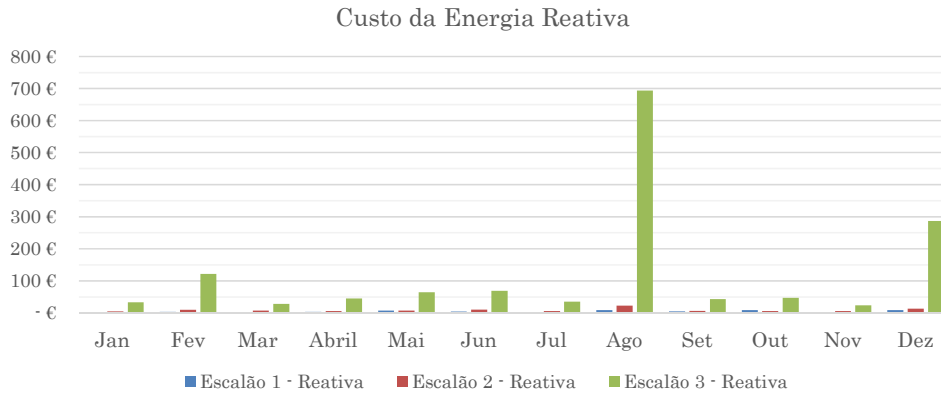


Figura 4.17: Custo final da energia reativa da instalação, por escalão, em 2018.

Como observado na Figura 4.17, apenas nos meses de menor atividade laboral houve um encargo significativo devido à cobrança de energia reativa. Conclui-se que:

- O custo total da energia reativa foi mais significativo nestes meses, pelo que representou, em agosto e dezembro, 7,34% e 1,77%, respetivamente, devido à diminuição da energia ativa consumida, o que implica o aumento de  $\text{tg}(\varphi)$ , caso o consumo de energia reativa não seja reduzido. Os escalões de faturação de energia reativa podem ser consultados na Tabela 3.3.
- O custo total anual de energia reativa foi de 1 651,73 €;
- O pagamento desta energia representou, anualmente, apenas 0,61% do custo total da energia elétrica;

Os custos de energia elétrica pelos principais termos estão desagregados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12: Custo relativos dos principais termos do custo da energia elétrica no ano de 2018.

<b>Energia Ativa</b>	<b>Termo</b>
Comp. Indexada OMEL	52,2%
<b>Redes</b>	
Redes Super Vazio	1,3%
Redes Vazio	2,1%
Redes Cheias	19,0%
Redes Ponta	7,7%
Potência Contratada	4,3%
PHP	12,7 %
Energia Reativa	0,6%

Em relação aos custos no período de referência, conclui-se que:

- O custo da energia elétrica total foi de 269 945,24 €, sendo que o custo da energia ativa apenas representa 52,2% do custo total.
- As redes representam também um custo significativo, representando de 30,1% do custo total.
- O custo do gás natural manteve-se bastante estável ao longo do ano e totaliza a quantia de 159 479,30 €;

## 4.6 Emissões de gases de efeito de estufa

Para o cálculo das emissões de GEE é mais uma vez consultado o Despacho n.º 17313/2008, onde o FE para energia elétrica é 0,47 kgCO<sub>2</sub>/kWh. Para cálculo das emissões de GEE para o gás natural o FE é 2683,7 kgCO<sub>2</sub>/tep [24].

Tabela 4.13: Emissões anuais de gases de efeito de estufa da instalação, em toneladas de dióxido de carbono equivalente, no ano de 2018.

<b>Fonte de Energia</b>	<b>Emissões de GEE</b>	<b>Porção</b>
Gás Natural	883,75 tCO <sub>2</sub> e	47,3 %
Energia elétrica	982,84 tCO <sub>2</sub> e	52,7 %
<b>Energia Total</b>	<b>1866,59 tCO<sub>2</sub>e</b>	<b>100,0 %</b>

## 4.7 Indicadores energéticos em 2018

Nesta secção são apresentados os indicadores energéticos, assim como os dados relevantes para o seu cálculo, em 2018, ou seja, o ano de referência da nova auditoria.

Na Tabela 4.14 estão representados alguns dados relevantes, em termos económicos e de produção, para a determinação dos indicadores energéticos de 2018.

Tabela 4.14: Valor Acrescentado Bruto e produção fabril no ano de 2018.

<b>VAB</b>	<b>VAB*</b>	<b>Prod. Lacagem</b>	<b>Prod. Anodização</b>
2 802 738 €	2 608 946 €	1 861 140 m <sup>2</sup>	379 246 m <sup>2</sup>

De modo a ser determinada a IE no ano de 2018, foi efetuada ao VAB uma correção a preços constantes, termo designado como VAB\* na Tabela 4.14, entre 2010 e 2018, considerando o deflator 1,07428. Este valor pode ser consultado na Tabela A.3. Este deflator tem como utilidade a mitigação da inflação no VAB. Seria incorreto, devido à inflação da moeda, comparar o VAB atual com o VAB de há oito anos atrás.

Em relação à produção, estão listados na Tabela 4.15 os dados de produção mensais de ambos os produtos.

Tabela 4.15: Dados de produção fabril de 2018.

Mês	Lacagem [m <sup>2</sup> ]	Anodização [m <sup>2</sup> ]	Total [m <sup>2</sup> ]
Janeiro	169 498	37 403	206 901
Fevereiro	140 431	32 806	173 237
Março	191 509	31 864	223 373
Abril	157 893	32 119	190 012
Mai	171 581	24 212	195 793
Junho	165 602	25 405	191 007
Julho	181 555	25 370	206 925
Agosto	67 833	5 371	73 204
Setembro	192 054	22 662	214 716
Outubro	134 686	32 658	167 344
Novembro	156 669	94 875	251 544
Dezembro	131 829	14 501	146 330
<b>Total</b>	<b>1 861 140</b>	<b>379 246</b>	<b>2 240 386</b>

Com base nestes dados, a Figura 4.18 mostra a evolução e a distribuição da produção global, em termos mensais, no ano de referência.

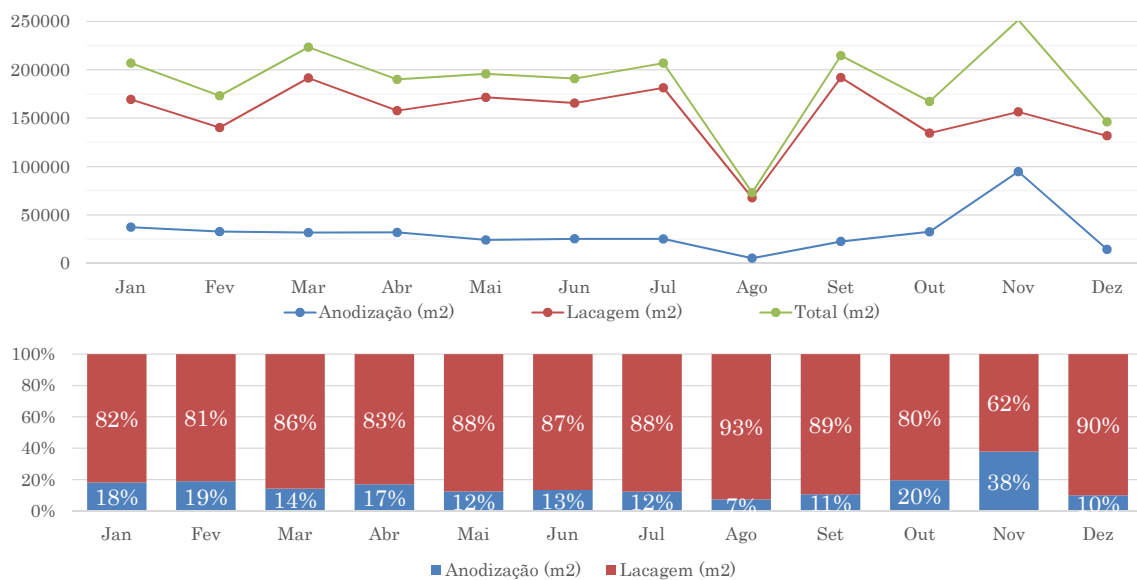


Figura 4.18: Evolução e distribuição da produção de lacado e anodizado no ano de 2018.

### 4.7.1 Intensidade Energética

O valor do indicador IE e a comparação com a meta estabelecida pelo ARCE 2011-2018 estão presentes na Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Intensidade Energética em 2018, respetivos dados e comparação com a meta.

Dados e Indicadores	Unidades	Meta (2018)	Presente (2018)	Desvio
Consumo de energia	tep	-	778,90	-
VAB*	€	-	2 608 946	-
<b>Intensidade Energética</b>	<b>kgep/€</b>	<b>0,479</b>	<b>0,298</b>	<b>-42%</b>

Esta considerável redução da IE deveu-se, não só à diminuição do consumo de energia de aproximadamente 18% desde o ano de referência, mas também ao significativo aumento do VAB, cujo incremento foi de 47% relativamente a 2010, considerando o valor não atualizado pelo deflator anteriormente referenciado. Considerando a deflação do VAB, estas alterações resultaram na redução da IE em 42% no final do ARCE 2011-2018.

### 4.7.2 Consumo Específico e Intensidade Carbónica

Mais uma vez, tal como descrito no ponto 2.2.4, tanto o CE como a IC, são calculados em função do tipo de produto. Como tal, na Tabela 4.17 estão listados os indicadores relativos à Lacagem e quantificados os desvios atuais destes indicadores.

Tabela 4.17: Dados relativos à produção da Lacagem, respetivos indicadores energéticos atuais e comparação com as metas.

Dados e Indicadores	Unidades	Meta (2018)	Presente (2018)	Desvio
Consumo de energia	tep	-	234,24	-
Produção de lacado	m <sup>2</sup>	-	1 861 140	-
Emissões de GEE	tCO <sub>2</sub> e	-	586,78	-
<b>CE Lacagem</b>	<b>kgep/m<sup>2</sup></b>	<b>0,263</b>	<b>0,126</b>	<b>- 52%</b>
<b>IC Lacagem</b>	<b>tCO<sub>2</sub>e/tep</b>	<b>2,463</b>	<b>2,505</b>	<b>+ 2%</b>

Relativamente à Anodização, na Tabela 4.18 estão contabilizados os dados de produção, os indicadores energéticos e também a comparação entre o estado atual e a meta.

Tabela 4.18: Dados relativos à produção da Anodização, respetivos indicadores energéticos atuais e comparação com as metas esperadas.

Dados e Indicadores	Unidades	Meta (2018)	Presente (2018)	Desvio
Consumo de energia	tep	-	544,66	-
Produção de anodizado	m <sup>2</sup>	-	379 246	-
Emissões de GEE	tCO <sub>2</sub> e	-	1 279,81	-
<b>CE Anodização</b>	<b>kgep/m<sup>2</sup></b>	<b>0,792</b>	<b>1,436</b>	<b>+ 81%</b>
<b>IC Anodização</b>	<b>tCO<sub>2</sub>e/tep</b>	<b>2,318</b>	<b>2,350</b>	<b>+ 1%</b>

De acordo com a distribuição processual dos consumos energéticos considerada, e como evidenciado nas Tabelas 4.17 e 4.18, a meta referentes à IC não foi cumprida em ambos os processos. Este incumprimento revela a existência da alteração ligeira do *mix-energético*, tendo aumentado a porção de energia elétrica consumida.

Relativamente ao CE, o objetivo foi cumprido apenas parcialmente. Analisando os largos desvios excessivos do CE, quer positivos no caso da Anodização, quer negativos no caso da Lacagem, torna-se expectável que a proporção dos consumos energéticos determinada na anterior auditoria, já apresentada na Tabela 4.4, não corresponda à atual desagregação de consumos. Como tal, de modo a averiguar o estado global da relação entre a produção e o consumo, foi realizado o cálculo deste indicadores de forma global, como se a produção não fosse multi-produto. A Figura 4.19 evidencia que, caso existisse um indicador global de CE nesta instalação, o seu valor em 2018 seria 13,0% mais baixo que o CE do ano de referência.

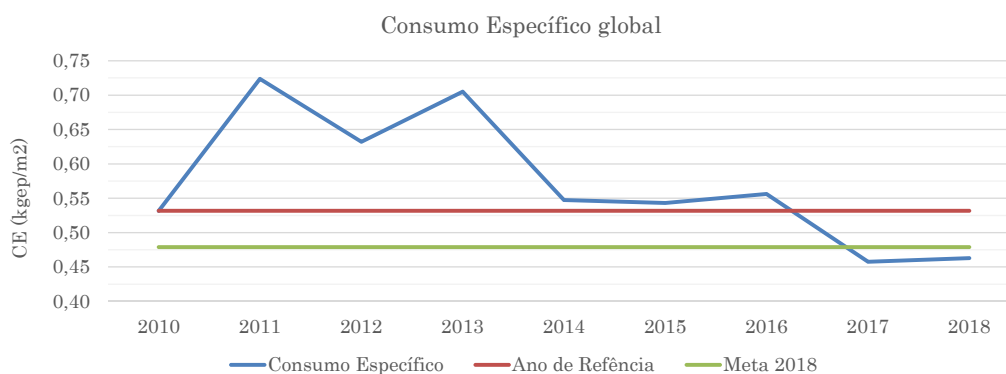


Figura 4.19: Evolução do consumo específico global da instalação durante o ARCE 2011-2018.

Como tal, a correção desta distribuição é um dos objetivos da auditoria deste caso de estudo. Esta discrepância prende-se, essencialmente com a alteração significativa do *mix-produtivo* da instalação. Aquando da primeira auditoria do SGCIE, a área de produção de anodizado era muito semelhante à de produção de lacado, em  $m^2$ . Atualmente, essa proporção alterou-se significativamente. A produção de lacado é bastante superior à de material anodizado, no ano de 2018. Na Figura 4.20 está ilustrada a evolução de vendas anuais de alumínio lacado e anodizado durante o período de vigência do ARCE 2010-2018.

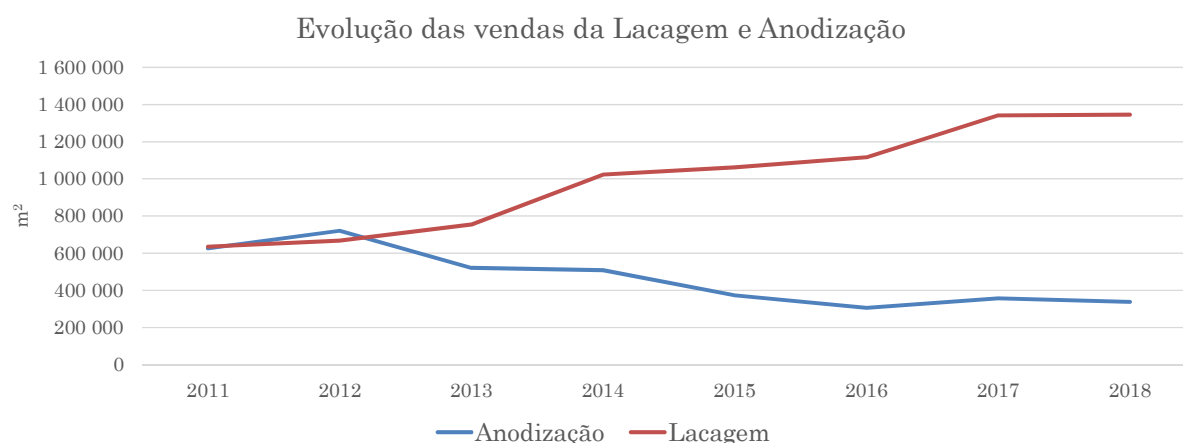


Figura 4.20: Evolução das vendas anuais durante o ARCE 2010-2018.

## 4.8 Auditoria Energética

Nesta secção estão descritas as diferentes etapas da auditoria energética. A estrutura deste sub-capítulo assemelha-se parcialmente à sequência de tarefas que constituem uma auditoria energética [20].

### 4.8.1 Equipamentos

Esta etapa inicial consiste em efetuar uma inspeção visual dos equipamentos e/ou sistemas consumidores de energia, complementada pelas medições necessárias [20]. Deste modo, no Apêndice B estão listados os principais equipamentos identificados na auditoria energética, divididos pelas seguintes secções:

- Motores elétricos AC sem VEV;

- Motores elétricos AC com VEV;
- Equipamentos ou conjunto de equipamentos consumidores intensivos de eletricidade;
- Equipamentos térmicos, consumidores de gás natural, identificados no ponto 4.8.3.

### 4.8.2 Transformação da energia

O fornecimento de energia elétrica é efetuado através de linha aérea para um Posto de Transformação (PT), cuja razão de transformação é de 15000/400-231V, composto por dois transformadores de 630 kVA.

A rede de baixa tensão é constituída por dois Quadros Gerais de Baixa Tensão (QGBT), designados como QGBT1 e QGBT2, ambos situados no PT. Estes distribuem a energia elétrica para os diversos quadros parciais situados na instalação. Na Figuras 4.21 estão presentes os registos fotográficos dos quadros em questão.



Figura 4.21: Quadros Gerais de Baixa Tensão 1 e 2 - QGBT 1 à direita e QGBT 2 à esquerda.

Existe também a conversão de energia potencial química do gás natural em energia térmica, através da combustão do mesmo. Mais uma vez, os equipamentos consumidores de gás natural, designados como queimadores, estão listados posteriormente, no seguinte ponto 4.8.3.

### 4.8.3 Caracterização dos principais equipamentos

Nesta secção consta, de forma detalhada, o levantamento e caracterização dos principais equipamentos consumidores de energia, quer eléctrica, quer a gás natural. Novamente, as listas detalhadas dos equipamentos eléctricos estão presentes no Apêndice B. Na Tabela 4.19 e na Figura 4.22 estão sintetizadas as potências eléctricas nominais da instalação divididas pelos principais grupos de equipamentos. A parcela referente à iluminação não inclui as luminárias presentes no armazém.

Tabela 4.19: Potência nominal dos principais equipamentos ou grupos de equipamentos.

<b>Equipamentos</b>	<b>P. nominal [kW]</b>	<b>Porção</b>
Retificadores	840,0	50,9%
Motores s/ VEV	291,6	17,7%
<i>Chillers</i>	261,9	15,9%
Compressores	132,0	8,0%
Motores c/ VEV	51,3	3,1%
Forno lacado madeira	50,0	3,0%
Iluminação	19,3	1,2%
Secadores	4,7	0,3%
<b>Total</b>	<b>1 675,9</b>	<b>100,0 %</b>

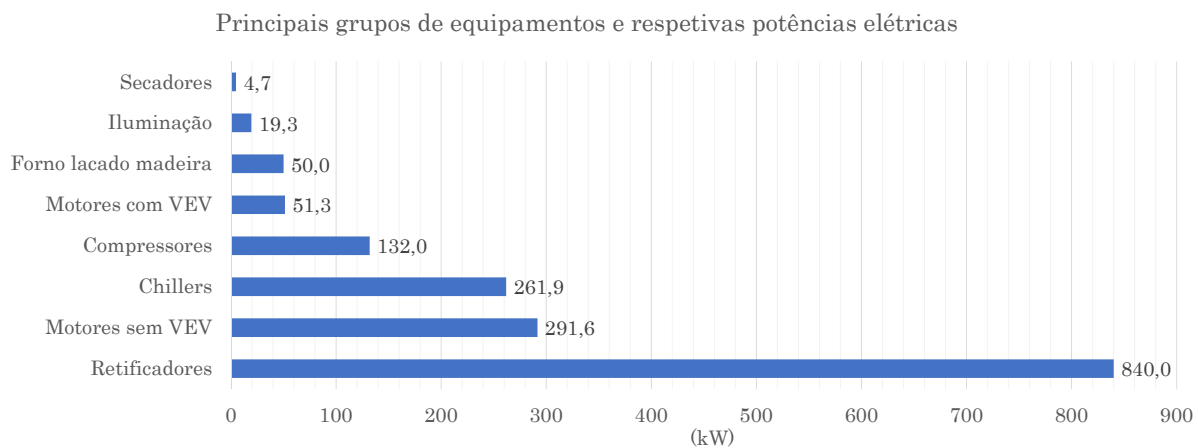


Figura 4.22: Potências nominais instaladas dos principais equipamentos consumidores de energia eléctrica.

Em relação aos equipamentos consumidores de gás natural, na zona da anodização existem cinco queimadores que fornecem calor aos banhos que necessitam de uma temperatura mais elevada e controlada. Destacam-se os banhos de pré-tratamento e os banhos de selagem. Nestes últimos, a temperatura pretendida é superior a 98°C. Por sua vez, na Lacagem, existem mais três queimadores de gás natural, nomeadamente na estufa de perfis, no forno de polimerização e ainda no forno de efeito de madeira. Estes equipamentos estão listados na Tabela 4.20.

Tabela 4.20: Lista dos queimadores de gás natural presentes na instalação.

<b>Queimador</b>	<b>Tipo</b>	<b>Potência</b>	<b>Set-points</b>	<b>Fluido de trabalho</b>
Desengorduramento	-	-	40-65°C	
Acetinagem	-	-	60-65°C	
Decapagem alcalina	-	-	40-45°C	Solução aquosa
Selagem a quente 1	2 estágios	232-522 kW	98-100°C	
Selagem a quente 2	1 estágio	495 kW		
Estufa de secagem	2 estágios	169-278 kW	84-90°C	
Forno polimerização	-	-	180-200°C	Ar
Forno efeito madeira	-	-		

Relativamente a estes queimadores, foi feita a medição, quando tecnicamente possível, da temperatura de exaustão dos gases de combustão. Na Tabela 4.21 estão resumidas as informações recolhidas relativamente às condições de funcionamento.

Tabela 4.21: Temperatura dos gases de exaustão de alguns dos principais queimadores de gás natural.

<b>Queimador</b>	<b>Tipo</b>	<b>Set-points</b>	<b>Fluido de trabalho</b>	<b>T. exaustão</b>
Selagem a quente 1	2 estágios	98-100°C	Solução aquosa	230-240°C
Selagem a quente 2	1 estágio			330-340°C
Estufa de secagem	2 estágios	84-90°C	Ar	190-220°C

Não foi possível, no entanto, até à presente data, elaborar a caracterização detalhada dos efluentes de combustão. Para tal, é necessária a recolha de outras informações importantes como: o caudal e a temperatura dos gases, o teor de oxigénio e teor de monóxido de carbono. Também não foi possível recolher informação relativa às potências nominais de todos estes equipamentos.

#### 4.8.4 Diagramas de carga

Através da utilização de analisadores de energia, como referido no ponto 3.6, é possível a obtenção do perfil de consumo de eletricidade dos principais equipamentos ou secções previamente definidos. Este perfil de consumo também pode ser designado como diagrama de carga.

Consideram-se como principais os seguintes pontos de análise:

1. Compressor responsável pelo fornecimento de ar comprimido na instalação;
2. Linha da Lacagem;
3. Pontes rolantes da Lacagem, incluídas no ponto de medição anterior;
4. Linha da Anodização;
5. Principal *chiller* responsável pelo arrefecimento dos banhos de anodização;
6. *Chiller* secundário que atua, ou quando o principal não atinge a temperatura suficientemente baixa, ou como *backup*;
7. Retificador mais potente e de utilização mais regular, também na Anodização;
8. Desmineralização da Anodização.

São oito os pontos de medição que, através da análise e registo da tensão e da corrente elétrica em períodos de integração de 15 minutos, ao longo de dois dias de laboração regulares completos, ou seja, 48 horas, permitem a definição do perfil de consumo dos principais equipamentos da instalação auditada. A Figura 4.23 mostra uma destas análises, efetuada diretamente no QGBT2.

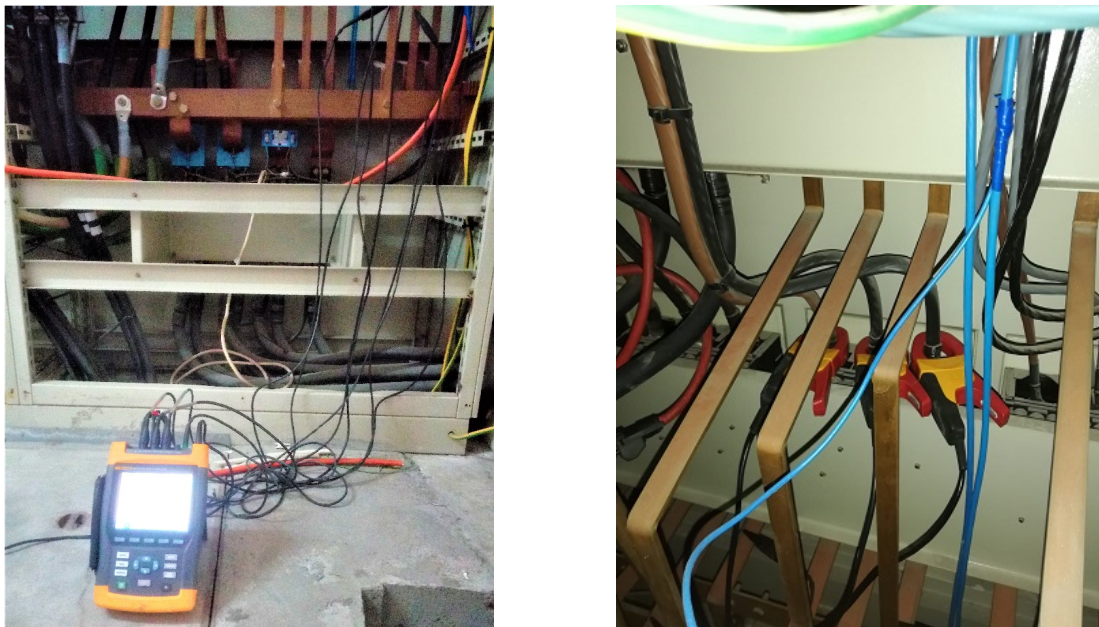


Figura 4.23: Exemplificação de uma recolha de dados utilizando um analisador de energia.

A medição do consumo destes equipamentos ou secções, e a sua comparação com o consumo global de eletricidade, tem como objetivo a definição da importância de cada um no consumo global da instalação. Deste modo, é determinada também a influência de cada processo no consumo global de energia. É ainda importante referir que os dados de consumo global considerados - diagramas de carga da instalação - são as medições registadas pelo fornecedor de eletricidade.

### Compressor

Em relação ao diagrama de carga do compressor, é importante salientar que este equipamento fornece ar comprimido durante três turnos, ou seja, 24 horas diárias, uma vez que existe um elevado consumo desta utilidade no processo de lacagem, nomeadamente nas pistolas de pintura de pó. Na Figura 4.24 estão ilustrados os dados recolhidos.

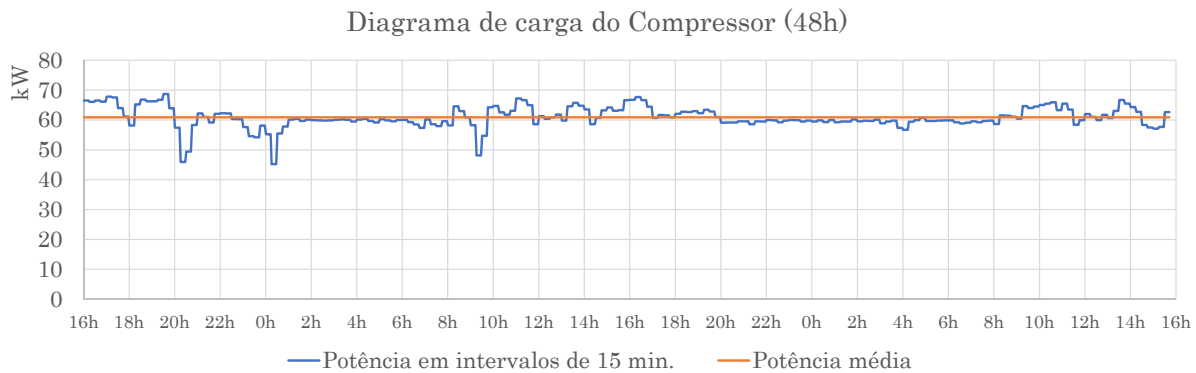


Figura 4.24: Diagrama de carga do compressor e respetiva potência média de funcionamento - dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos.

Na Figura 4.24, a linha designada como potência média de funcionamento corresponde ao valor de 60,9 kW. Estes dados apenas representam a potência média para cada período de integração de 15 minutos. No entanto, para este equipamento, é interessante apresentar os valores de potência mínima e máxima durante esses períodos, podendo assim observar se o compressor esteve continuamente em funcionamento. Na Figura B.2 do Apêndice B está ilustrada essa recolha de dados e, como observável, o compressor esteve funcionamento, efetivamente, sem interrupções, uma vez que o valor de potência mínima o período de análise foi aproximadamente de 20 kW.

### Linha da Lacagem

Uma vez que este ponto de medição engloba alguns equipamentos da outra secção, nomeadamente os ventiladores e as pontes rolantes da Anodização, a recolha dos dados de consumo e potência na Linha da Lacagem implicou também a análise desses consumos adicionais. Deste modo, através da exclusão do consumo desses equipamentos, é possível determinar a energia consumida por este grupo. Na Figura 4.25 estão ilustrados os dados de consumo recolhidos e tratados.

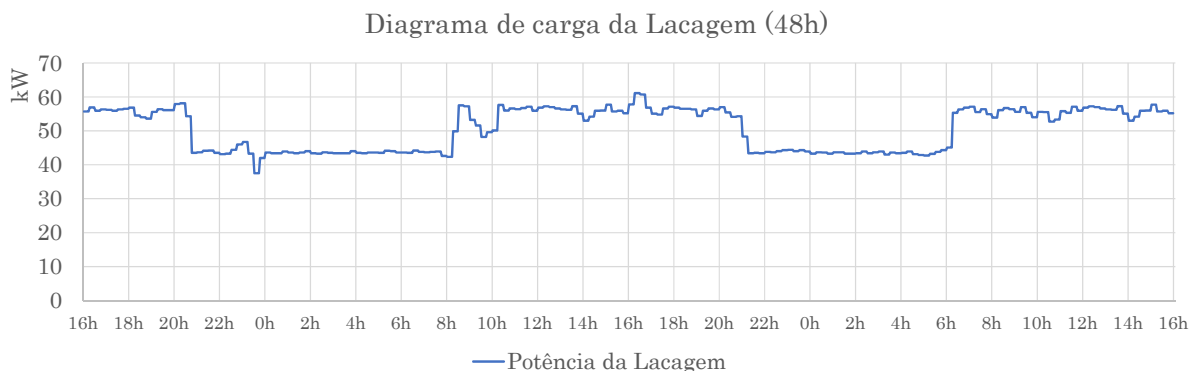


Figura 4.25: Diagrama de carga da linha da Lacagem - dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos.

### Linha da anodização

Os dados de consumo recolhidos dos diversos equipamentos de menor potência da Linha da Anodização estão ilustrados na Figura 4.26.

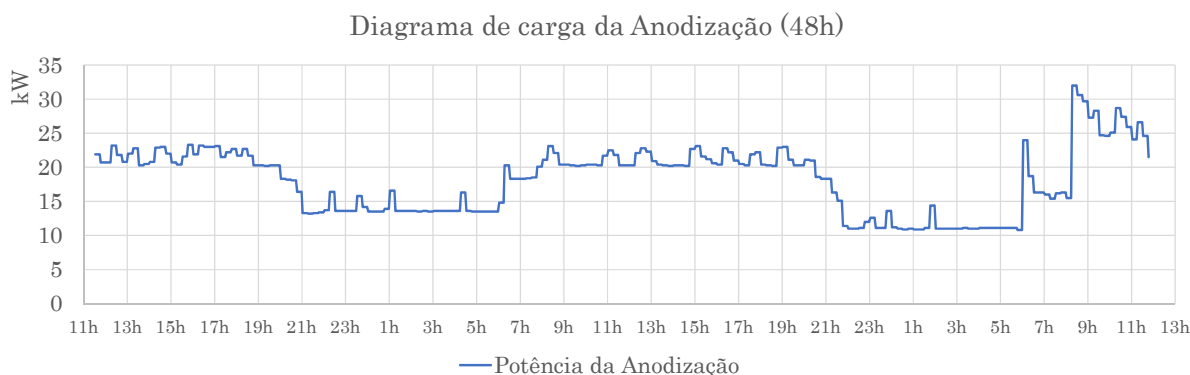


Figura 4.26: Diagrama de carga da linha da Anodização - Dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos.

### Chiller 1 e 2

Através da análise do perfil de consumo de ambos os *chillers*, foi possível determinar a potência média de funcionamento destes equipamentos. Essa consideração pode ser observada nas Figuras 4.27 e 4.28, nas quais estão ilustrados os dados recolhidos.

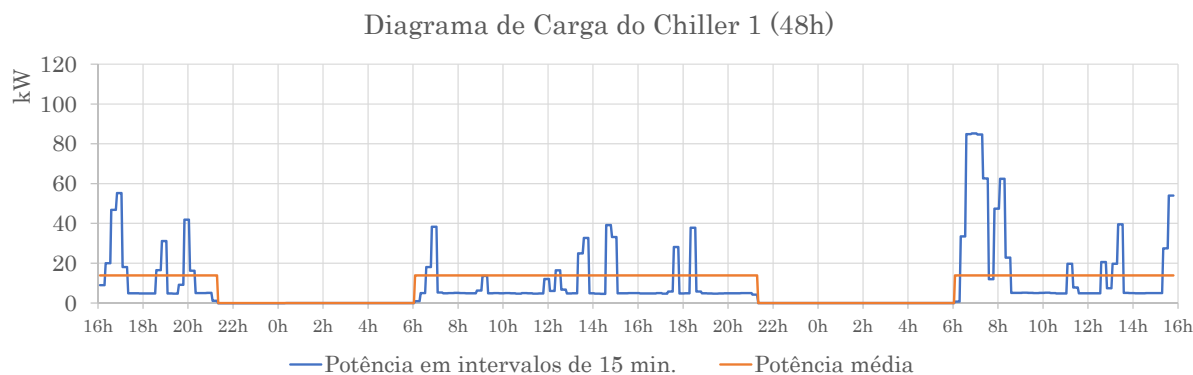


Figura 4.27: Diagrama de carga do *Chiller 1* e respetiva potência média de funcionamento - dados recolhidos durante 48 horas, com tempo de integração de 15 minutos.

As linhas designadas como potência média de funcionamento, para ambos os *chillers*, representam o valor médio de potência para períodos cuja potência é superior a 1000 W. Abaixo desse valor considera-se que o consumo é residual e, como tal, que o equipamento não está em funcionamento.

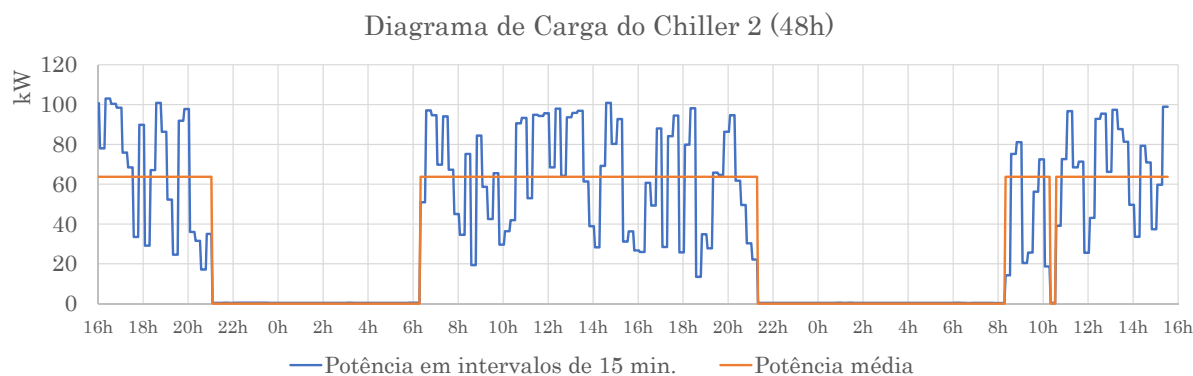


Figura 4.28: Diagrama de carga do *Chiller 2* e respetiva potência média de funcionamento - dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos.

É de salientar que o regime de funcionamento destes equipamentos de frio é suscetível às variações de temperaturas exterior e dos banhos, condição que este cálculo de potência média de funcionamento não contempla.

A Figura 4.29 concilia os dados recolhidos de ambas as unidades de arrefecimento de água.

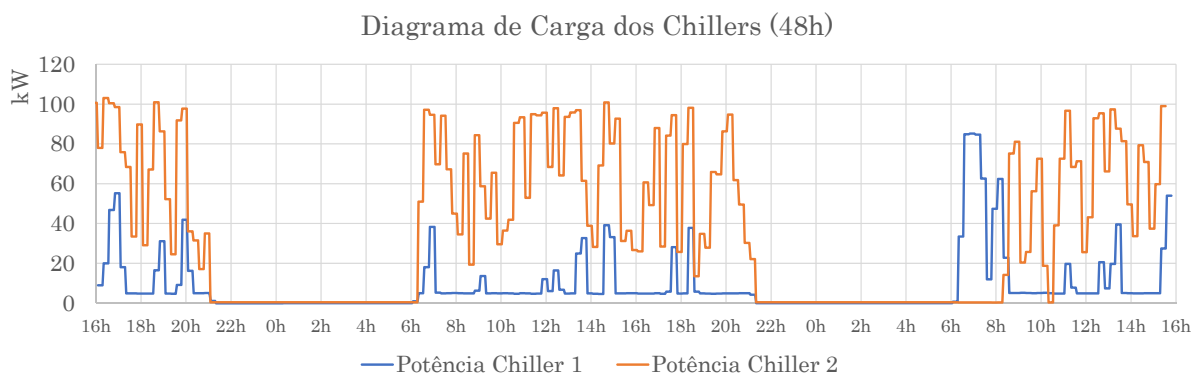


Figura 4.29: Comparação da potência de ambos os *chillers* - dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos.

Nestes gráficos é possível identificar o carácter modulante com que estes equipamentos operam. Apesar de terem praticamente a mesma potência térmica, o *chiller* 1 apenas atua quando necessário, ou seja, quando a outra unidade de arrefecimento não é capaz de arrefecer a água até à temperatura de *set-point* definida. Esta configuração é normalmente designada como *master-slave*.

### Retificador 3

Os retificadores são os equipamentos que convertem a corrente alternada AC fornecida na instalação em corrente contínua DC. Como constatado no ponto 3.2.1, este é o tipo de corrente elétrica fornecida aos elétrodos dos banhos de anodização. Como tal, apresentam perfis de consumo com várias quebras, uma vez que apenas existe consumo quando existe material a ser anodizado. A corrente e tensão DC também são ajustadas pelo controlador do retificador em função da área do atado a anodizar e da profundidade da anodização solicitada. Na Figura 4.30 estão apresentados os dados recolhidos relativos ao consumo de eletricidade do retificador de maior potência.

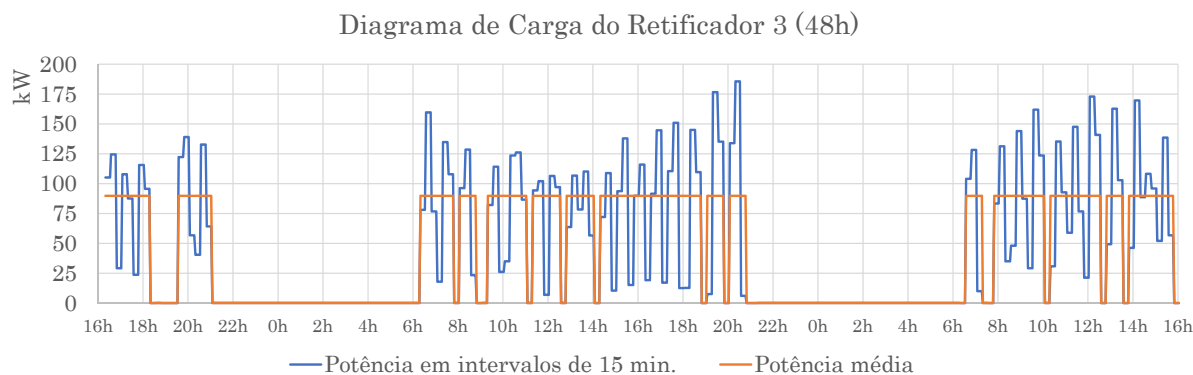


Figura 4.30: Diagrama de carga do Retificador 3 e respetiva potência média de funcionamento - dados recolhidos durante 48 horas, tempo de integração de 15 minutos.

## Geral

Finalmente, através do acesso aos diagramas de carga do fornecedor de energia, foi possível definir o perfil de consumo da instalação durante a auditoria energética. Na Figura 4.31 está representado o DDC da instalação ao longo de uma semana de trabalho regular.

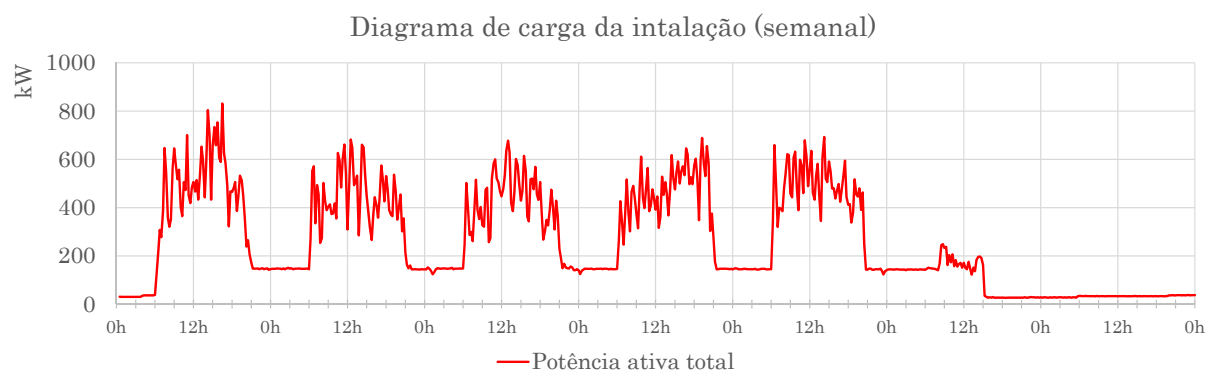


Figura 4.31: Diagrama de carga da instalação - dados recolhidos durante uma semana, tempo de integração de 15 minutos.

Como se pode observar, o consumo noturno, de cerca de 180 kW, é bastante estável. Este consumo corresponde ao funcionamento do processo de lacagem, que funciona durante três turnos diários, e do compressor. Por outro lado, no processo de anodização

que opera durante dois turnos diários, entre as seis da manhã e as dez da noite, a mesma estabilidade não se observa, observando-se grandes flutuações no consumo. Na Figura 4.31 destacam-se os picos de potência, sendo que o valor mais elevado é de aproximadamente 800 kW. Como já referido, a potência contratada da instalação, no ano de referência, foi de 920 kW. Este valor tão elevado poderia ser evitado se não houvesse tanta simultaneidade nas cargas. De salientar que estes picos de consumo se devem, essencialmente, ao funcionamento simultâneo dos equipamentos mais potentes da instalação, os retificadores e os *chillers*. Estas bruscas variações de potência do diagrama de cargas da instalação são concordantes com as variações de potência também observadas nos diagramas de carga dos *chillers*, presentes na Figura 4.28, e do Retificador 3, presente na Figura 4.30.

#### 4.8.5 Distribuição do consumo energético

Para determinar a distribuição do consumo de energia elétrica, os dados de consumo energético medidos nos vários pontos foram comparados com o consumo global da instalação durante o mesmo período. A Tabela 4.22 apresenta essa informação.

Tabela 4.22: Consumo de energia elétrica dos pontos de medição analisados e comparação com o consumo global da instalação no mesmo período.

Ensaio	Equipamento/Secção	Medição [kWh]	Total [kWh]	Porção
1	Chiller 1	399	16 015	2,5 %
	Chiller 2	1 737		10,8 %
2	Retificador 3	2 156	16 731	12,9 %
	Compressor	2 911		17,4 %
3	Linha da Lacagem	2 757	18 302	15,1 %
	Vent. e pontes da Anod.	104		0,6 %
4	Linha da Anodização	1 073	15 516	6,9 %
	Desmineralização	755		4,9 %
-	<b>Total das medições</b>	-	-	<b>71,1%</b>

De salientar que, assumindo que o regime de funcionamento e carga dos retificadores é semelhante, a porção de consumo medido em relação ao consumo total é de 93,8%. Considera-se, portanto, que a restante parcela corresponda aos consumos não medidos dos escritórios e outros consumos residuais. Como tal, ajustando os anteriores dados de modo a que incluam o consumo dos restantes retificadores e outros equipamentos e/ou secções de

consumo não residual, é efectuada a desagregação processual do consumo de electricidade. A Tabela 4.23 descreve essa distribuição.

Tabela 4.23: Desagregação do consumo de energia eléctrica.

<b>Secção</b>	<b>Distribuição</b>
Anodização	61,3 %
Lacagem	21,3 %
Compressor	17,4 %

Durante a auditoria foram também determinados os fatores de utilização - ou seja, a fração de tempo em que determinado equipamento está a funcionar - de vários equipamentos, através da observação direta, mas também com o auxílio da sensibilidade da equipa responsável pelos processos. Esta informação conjugada com as medições de potência e energia efetuadas permite estimar, mais detalhadamente, a distribuição do consumo em função dos principais equipamentos ou processos. Os fatores de utilização considerados e os consumos de energia estimados estão presentes nas Tabelas C.1, C.2, C.3 e C.4 do Apêndice C. Os valores de consumo estimados e medidos foram extrapolados para um ano de consumo, quantificando 250 dias de laboração, e comparados com o consumo do ano de referência. A Tabela 4.24 resume essa informação e a Figura 4.32 compara as distribuições de potência nominal instalada e de consumo de energia eléctrica.

Tabela 4.24: Estimativa de consumo anual de energia eléctrica dos principais equipamentos ou grupos de equipamentos.

<b>Equipamentos</b>	<b>Consumo anual [kWh]</b>	<b>Porção</b>
Retificadores	731 903	35,0%
Motores s/ VEV	501 517	24,0%
<i>Chillers</i>	278 123	13,3%
Compressores	396 860	19,0%
Motores c/ VEV	69 865	3,3%
Forno lacado madeira	9 492	0,5%
Iluminação	86 940	4,1%
Secadores	14 418	0,7%
<b>Total</b>	<b>2 091 151</b>	<b>100,0 %</b>

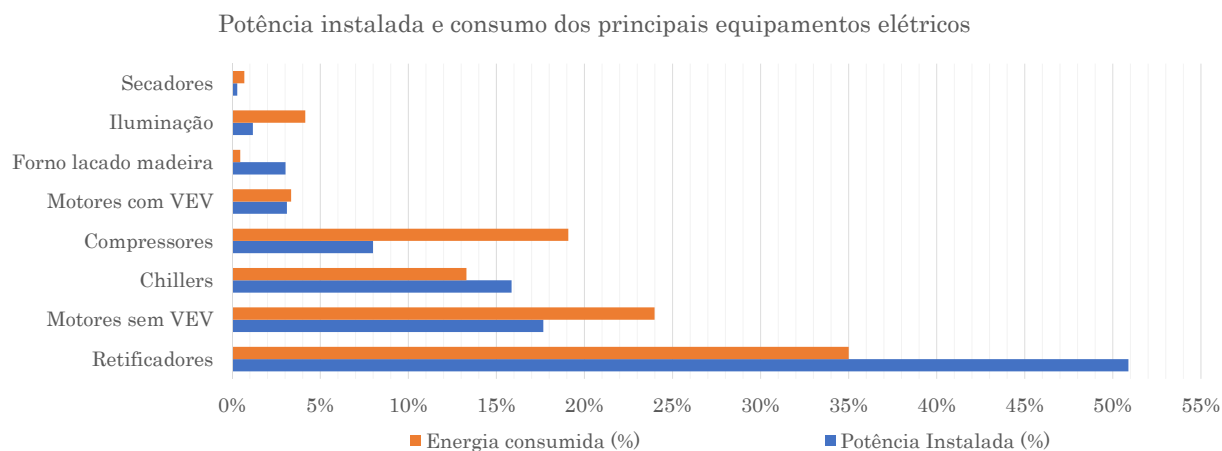


Figura 4.32: Comparação entre potência instalada e estimativa de consumo de energia elétrica dos principais equipamentos ou grupos de equipamentos.

Sendo um dos objetivos da auditoria a determinação da distribuição dos consumos de energia, é também necessária a determinação desta distribuição relativamente ao consumo de gás natural. Com esse propósito, foram efetuados ensaios durante uma semana completa nos quais, através do registo do consumo de gás natural no contador geral da instalação, em períodos em que a produção de um dos processos esteve interrompida, foi conseguida a desagregação deste consumo pelos dois processos de fabrico. Finalmente, já com a distribuição efetuada, foi possível extrapolar esse consumo para um ano de trabalho. Na Tabela C.5 do Apêndice C estão presentes os cálculos efetuados.

Finalmente, a desagregação dos consumos energéticos doravante a considerar está resumizada na Tabela 4.25.

Tabela 4.25: Distribuição do consumo energia pelos processos de fabrico determinada na auditoria energética.

<b>Tipo de Energia</b>	<b>Lacagem</b>	<b>Anodização</b>
Energia Elétrica	33,5%	66,5%
Gás Natural	54,3%	45,7%

É importante referir que para a determinação desta distribuição foi considerado que, com base nas tomadas e equipamentos consumidores de ar comprimido e nas horas de

laboração de cada processo, o consumo desta utilidade é realizado maioritariamente na Lacagem. Considera-se então que 70% do consumo desta utilidade é realizado nesta secção.

Esta distribuição dos consumos de energia é dependente do *mix-energético* vigente na instalação. Como tal, para que esta proporção possa ser validada é essencial que haja uma contabilização correta de toda a produção, quer apenas em termos de área, para o caso da Lacagem, quer também em termos mássicos, para a Anodização. Esta informação, conjugada com a desagregação do consumo energético por cada processo, permitirá não só a validação da proporção na Tabela 4.25, mas também a correta determinação do CE pelos dois processos instalados. Conclui-se então que uma correta desagregação dos consumos energéticos pelos processos de fabrico só é válida com a implementação de um sistema de monitorização e gestão de energia que permita aferir concretamente e em tempo real o consumo das duas secções. Como tal, uma vez que a distribuição determinada não foi ainda validada, a determinação de CE doravante neste caso de estudo apenas será efetuada em termos globais.

#### 4.8.6 Energia térmica

Tendo sido determinada a porção de consumo de gás natural na Anodização, tal como resumido na Tabela 4.25, é possível estabelecer o consumo deste processo durante o ano de referência. Neste sentido, através do balanço térmico dos banhos da Anodização, pode assim ser definido o consumo de cada um. Esse balanço é conseguido através do cálculo das perdas dos banhos quentes, assim relacionando a energia disponível através da combustão com a energia gasta nas principais perdas processuais, nomeadamente nas perdas por evaporação à superfície dos banhos, convecção nas paredes do tanque, radiação, calor não aproveitado dos gases de combustão extraídos e ainda o calor fornecido aos atados de alumínio. Neste cálculo energético, numa abordagem conservadora, tomam-se os seguintes pressupostos:

- PCI do combustível de acordo com o Despacho 17313/2008 e eficiência de queima de 90%;
- Excesso de ar de apenas 5%, a que corresponde, para gás natural, a relação A/C de 18,0;
- Considerada, para cada banho, a temperatura média de trabalho entre set-points;

- Propriedades físicas das soluções aquosas iguais às da água, uma vez que a concentração aquosa das mesmas é superior a 85%.

*Calor específico de vaporização:*  $h_v = 2575 \text{ kJ/kg}$ ;

*Calor específico:*  $c = 4,180 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ ;

*Massa volúmica:*  $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ ;

*Emissividade:*  $\varepsilon = 0,93$ .

- Temperatura do alumínio à entrada dos banhos de pré-tratamento de 25°C. Na Decapagem é considerado que o alumínio cede calor ao fluido de trabalho, uma vez que é mergulhado no banho logo após a Acetinagem. Nos banhos de selagem considera-se a temperatura de entrada do alumínio de 30°C;
- Apenas 40% das perdas por evaporação e radiação à superfície nos banhos da Selagem, devido à existência de uma cobertura móvel de esferas, cujo objetivo é de reduzir este tipo de perdas [58];
- Reposição do fluido de trabalho à temperatura de 20°C. Massa de reposição correspondente à quantia perdida por evaporação e a duas reposições completas dos banhos por ano. Apesar de existir uma considerável inércia térmica, considera-se ainda que é fornecida, semanalmente, a energia correspondente às perdas temperatura durante o final da semana.
- Temperatura de entrada do ar de combustão de 25°C. Temperatura dos gases de combustão à saída de acordo com os dados recolhido e apresentados na Tabela 4.21. No caso dos restantes queimadores, cuja temperatura não foi medida, considera-se um valor igual à temperatura medida no queimador da Selagem 2, ou seja, de 340°C, uma vez que estes também são de um estágio apenas.
- Por serem reduzidas nesta gama de temperaturas, desprezam-se as perdas por radiação nas paredes dos tanques, mas não na superfície;
- Seis horas de funcionamento por turno durante 250 dias de laboração. Mais uma vez se refere que este processo opera durante dois turnos diários;
- Reposições completas dos banhos a cada quatro semanas e uma elevação da temperatura dos banho por semana.

Assim, mediante estes pressupostos e com os dados processuais recolhidos, podem ser calculadas para cada banho quente as perdas energéticas por evaporação à superfície e por convecção nas paredes dos tanques.

Com base na bibliografia disponível, é possível determinar as perdas por evaporação, em função da temperatura, admitindo que a velocidade do ar é nula [59]. Na Figura 4.33 pode ser consultada a evolução das perdas à superfície de um banho em função da temperatura do fluido. Para cada banho, este valor foi calculado por interpolação linear.

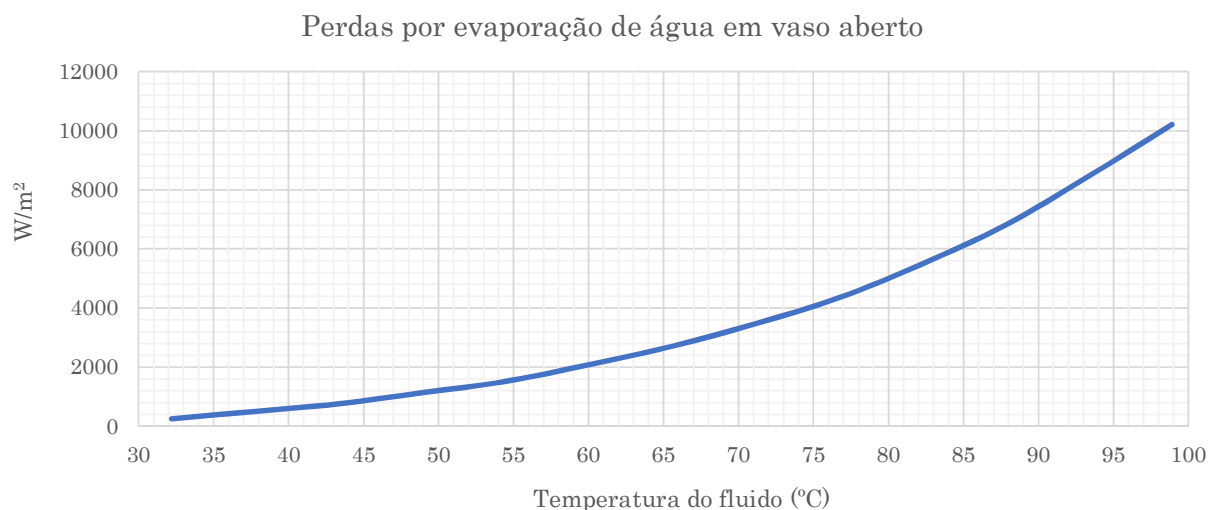


Figura 4.33: Perdas por evaporação de água numa superfície exposta ao ar ambiente (adaptado de [59]).

Já as perdas por convecção nas paredes dos tanques são determinadas considerando que estas se tratam de paredes verticais isotérmicas. O método de cálculo destas perdas por convecção foi já abordado no ponto 3.1.2. Na instalação em estudo, os tanques dos vários banho estão agrupados ao longo da linha de produção. Deste modo, existem perdas convectivas nas paredes das extremidades de todos os tanques, uma vez que existe contacto direto com o ar ambiente. No caso das paredes laterais, apenas existe contacto com o ar ambiente no primeiro e último tanque, Desengorduramento e Selagem a quente 2, respetivamente. Deste modo, nas paredes onde não existe contacto direto com o ar, as perdas por convecção são desprezadas, incluindo também as bases dos tanques. Os resultados dos cálculos das perdas de convecção estão presentes na Tabela C.7 do Apêndice C.

Por fim, podem ser conjugados os cálculos de perdas de modo a estimar o consumo de cada banho e respetivo queimador. Com esta *distribuição iterativa* do consumo de gás

natural na Anodização, pode ser feita uma desagregação do consumo de combustível de modo a calcular as perdas de calor nos gases de combustão à saída e assim, mais uma vez, determinando uma *distribuição final* do consumo de combustível neste processo. Na Tabela C.8 do Apêndice C estão presentes os cálculos desta distribuição. A Figura 4.34 ilustra a distribuição obtida.

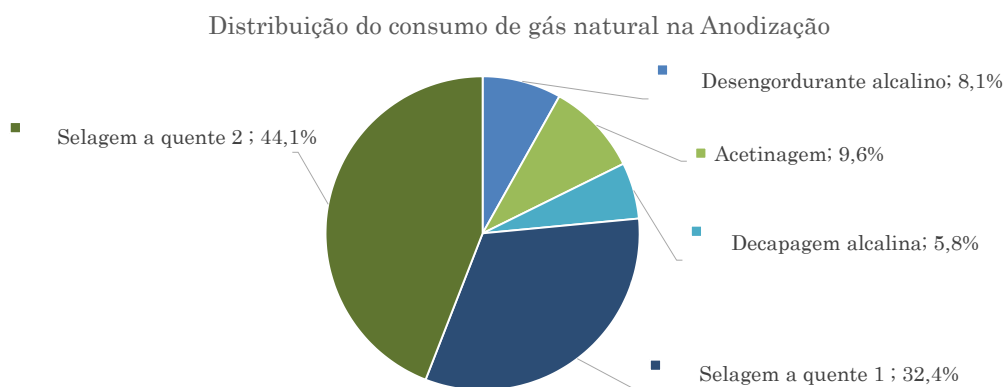


Figura 4.34: Distribuição do consumo de gás natural nos banhos quentes da Anodização.

Como expectável, o consumo de energia é muito mais elevado nos banhos com temperaturas de trabalho mais altas. No caso da Selagem 2, como o volume de fluido e a área superficial são maiores, também o consumo de combustível é superior. De salientar que os cálculos efetuados, apesar de conservadores, são inferiores ao consumo anual da Anodização considerado, com uma diferença de 19,30 tep, considerando que a eficiência de queima é de 90%. Este desvio de cerca de 14,25% é significativo. E indica que existem outras perdas de calor que não foram consideradas. Essas perdas podem representar um potencial de melhoria da eficiência energética deste processo.

#### 4.8.7 Balanços de massa e energia

Para determinar o rendimento e as perdas dos principais equipamentos consumidores de energia térmica é necessário realizar balanços de massa e energia aos mesmos. Para tal, é necessário proceder a medições que permitam conhecer o estado da eficácia da utilização da energia. Os balanços de energia tem o seu fundamento no princípio da conservação da energia. Este indica que, de toda a energia fornecida a um sistema, parte é armazenada no

seu interior e a restante é dissipada para o exterior. O mesmo conceito também se aplica à conservação da massa [21].

Como tal, com base nos cálculos energéticos efetuados para a anodização, apresentados na Tabela C.8 do Apêndice C, foram efetuados os balanços mássicos e energéticos deste processo. De salientar que este é o processo energeticamente mais intensivo neste caso de estudo. Nas Tabelas 4.26 e 4.27 estão apresentados os balanços mássicos e energéticos, respetivamente, para o ano de referência.

Tabela 4.26: Balanço mássico dos banhos quentes da Anodização no ano de referência.

<b>Entrada</b>	<b>Massa [t]</b>	<b>Saída</b>	<b>Massa [t]</b>
Gás natural	140	Gases combustão	2 655
Ar combustão	2 515	Alumínio	896
Água reposição evaporação	705	Água reposição	932
Água reposição manutenção	228		
Alumínio	896		
<b>Total</b>	<b>4 483</b>	<b>Total</b>	<b>4 483</b>

Tabela 4.27: Balanço energético dos banhos quentes da Anodização no ano de referência.

<b>Entrada</b>	<b>Energia [GJ]</b>	<b>Saída</b>	<b>Energia [GJ]</b>
Gás natural e combustão	6 309	Gases combustão	895
Ar combustão	63	Fluido de trabalho	37
Água rep. evaporação	59	Alumínio	316
Água rep. manutenção	19	Ineficiência da queima	630
Alumínio	20	Perdas vapor e calor	1 980
		Reposição de fluido e temp.	1 913
		Outras (diferença)	699
<b>Total</b>	<b>6 470</b>	<b>Total</b>	<b>6 470</b>
<b>Total [tep]</b>	<b>154,53</b>	<b>Total [tep]</b>	<b>154,53</b>

As maiores saídas de energia deste processo são as perdas por evaporação, convecção e radiação mas também a energia de elevação da temperatura do fluido no início da semana e nas reposições de quatro em quatro semanas. Da energia à saída destes banhos, destaca-se ainda a dos gases de combustão que, devido à temperatura relativamente elevada de extração - entre 240 a 340°C - representa cerca de 13,8% da energia à saída deste processo.

### 4.8.8 Consumo específico de energia

Em termos de determinação do desempenho energético de uma instalação, o CE é o indicador mais adequado. Em instalações cuja produção englobe mais do que um tipo de produto, os consumos de energia devem ser desagregados em função desses produtos [21]. No entanto, como já justificado no ponto 4.8.5, essa desagregação não será considerada nas seguintes determinações. Neste sentido, a determinação do CE em função do consumo global, em tep, e à produção total fabril, está resumida na Tabela 4.28.

Tabela 4.28: Dados de produção fabril e consumo energético, para o período de referência.

Mês	Prod. Total [ $m^2$ ]	Consumo Total [tep]	CE [kgep/ $m^2$ ]
Janeiro	206 901	75,58	0,365
Fevereiro	173 237	63,80	0,368
Março	223 373	74,28	0,333
Abril	190 012	67,13	0,353
Maio	195 793	65,39	0,334
Junho	191 007	67,87	0,355
Julho	206 925	76,28	0,369
Agosto	73 204	22,15	0,303
Setembro	214 716	69,07	0,322
Outubro	167 344	74,32	0,444
Novembro	251 544	73,44	0,292
Dezembro	146 330	49,59	0,339
<b>Total</b>	<b>2 240 386</b>	<b>778,90</b>	<b>0,348</b>

Por sua vez, a evolução do CE durante o ano de referência está ilustrada na Figura 4.35.

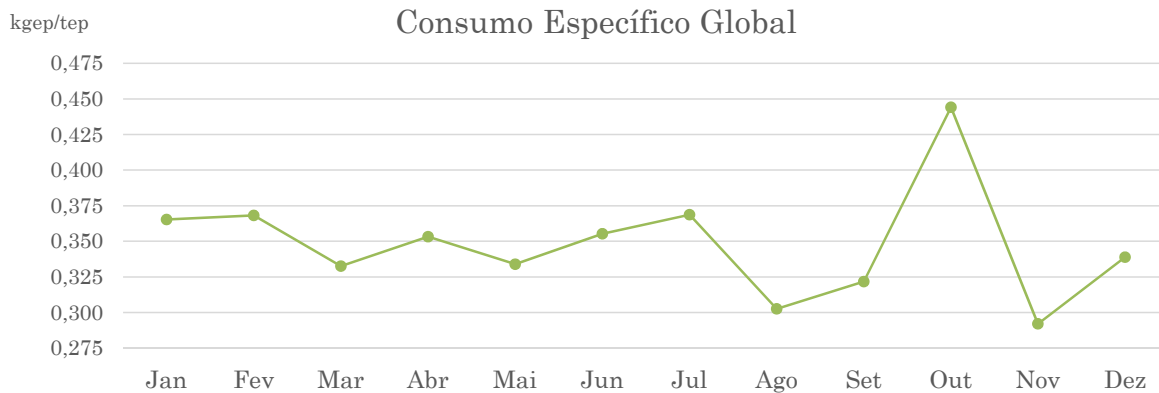


Figura 4.35: Evolução do consumo específico de energia global durante o ano de referência.

Através destes dados pode ser estabelecida uma correlação gráfica, pelo método dos mínimos quadráticos, entre a produção, neste caso em  $m^2$  - abscissa - e a quantidade de energia consumida - ordenada - para cada período. Deste método resulta uma equação linear do tipo:

$$E = E_0 + c \cdot P ; \quad (4.1)$$

Na Equação 4.1:

- A ordenada na origem,  $E_0$ , que representa a energia consumida para produção nula, ou seja, tipicamente a energia gasta e que não esteja diretamente associada com a produção (serviços auxiliares ou outras perdas);
- O declive,  $c$ , traduz a energia necessária para a produção. Um valor de  $c$  mais elevado para a mesma produção significa uma maior necessidade de energia para essa determinada quantia;
- Em termos de potencial de melhoria de produção e economia de energia, o coeficiente de correlação,  $R^2$ , pode ser o indicador mais relevante desta análise. A construção do gráfico é possível através da dispersão dos pontos em questão. Ou seja, um valor de  $R^2$  mais elevado, próximo da unidade, significa que existe uma boa correlação entre a produção e o consumo energético e, como tal, uma elevada previsibilidade e controlo na instalação. Por outro lado, valores mais baixos de  $R^2$  traduzem-se num

maior potencial de economia de energia devido à menor correlação entre energia e produção, ou seja, menor controlo produtivo [21].

Tomadas estas considerações, está na Figura 4.36 ilustrada a relação entre o consumo energético e a produção da instalação estudada, em termos globais, ou seja, consumo total e produção de lacado e anodizado, para o período de referência, o ano de 2018.

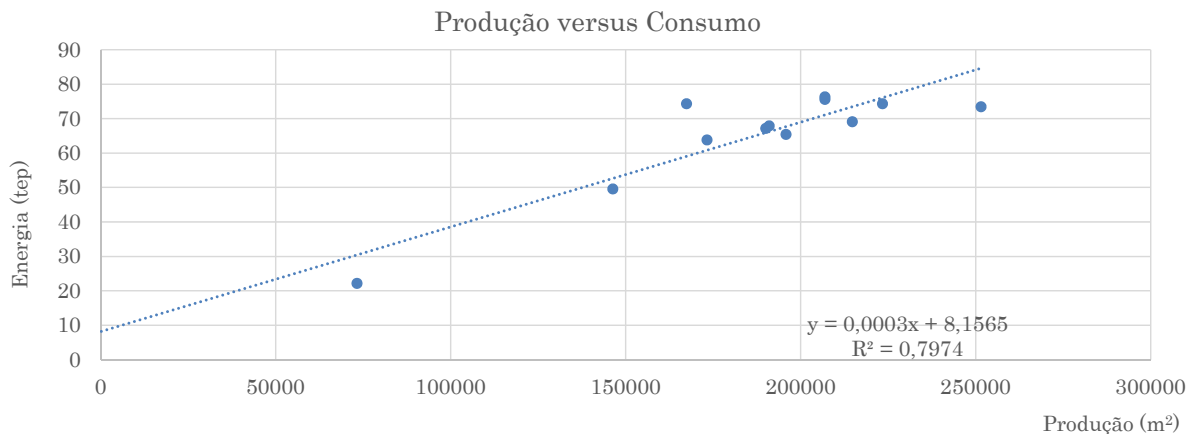


Figura 4.36: Relação entre consumo global de energia e produção fabril total, por mês, para o período de referência.

Como se pode observar na Figura 4.36, o coeficiente de correlação  $R^2$  obtido é de 0,7974 o que, em contexto de auditoria e tratando-se de uma análise global, é um valor aceitável, porém pouco otimista. No entanto, destacam-se os meses de outubro e novembro, apesar do consumo ser semelhante e situar entre 70 e 80 tep, a produção total varia entre  $167\ 344m^2$  para o mês de outubro e  $251\ 544m^2$  em novembro. Estas variações significativas da produção comprometem significativamente o coeficiente de correlação.

Outra correlação importante na avaliação da relação entre o consumo de energia e a produção é a variação gráfica do CE com a produção. Como mostra a Equação 4.1, pode ser obtida a relação seguinte:

$$CE = \frac{C}{P} = \frac{E_0 + c \cdot P}{P} = \frac{E_0}{P} + c. \quad (4.2)$$

A curva que resulta da relação entre CE e produção está ilustrada na Figura 4.37.

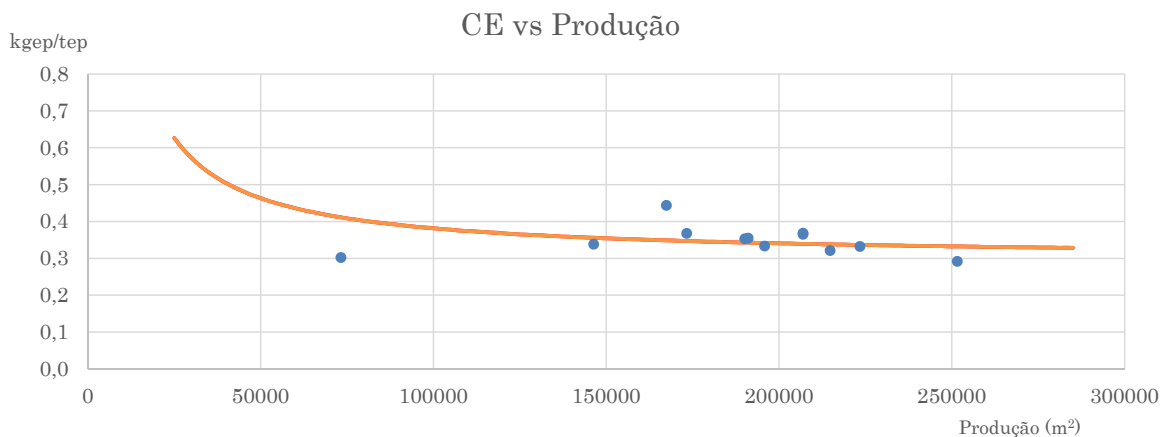


Figura 4.37: Relação entre o consumo específico de energia e a produção.

Também na Figura 4.37 é possível verificar que existem, efetivamente, variações significativas do CE, mais uma vez, devido às variações de produção dos meses de outubro e novembro. Destaca-se também o mês de agosto, período com a produção mais baixa devido a férias, mas também o mês com o CE mais baixo, excluindo novembro. De modo geral, nos meses de menor consumo e produção, o CE deverá ser tendencialmente superior, como mostra a curva desenhada na Figura 4.37. Esta redução no mês de agosto não é concordante com essa tendência. A evolução do CE pode também ser observada na Figura 4.35. Mediante o valor da assíntota da curva ilustrada na Figura 4.37, o objetivo de CE global deve ser aproximadamente 0,32 kgep/tep, valor que apenas foi conseguido nos meses de agosto, setembro e novembro.

## 4.9 Novas metas

As metas para o novo PREn, já abordadas mais detalhadamente no ponto 2.2.4, para instalações CIE cujo consumo energético no ano de referência foi, no ano de referência, entre 500 e 1000 tep são:

- A redução de 4% do valor da IE;
- A redução de 4% do valor do CE;
- A manutenção, no mínimo, do valor da IC.

Considerando estes objetivos futuros, na Tabela 4.29 estão sumarizados os valores atuais dos indicadores energéticos e as respectivas metas para o ano de 2026. No cálculo destes indicadores foi considerada a desagregação do consumo determinada na auditoria energética, já apresentada na Tabela 4.25.

Tabela 4.29: Indicadores energéticos atuais e objetivos de redução para 2026.

<b>Indicador Energético</b>	<b>Unidades</b>	<b>Referência (2018)</b>	<b>Meta (2026)</b>
<b>Global</b>			
Intensidade Energética	kgep/€	0,278	0,267
<b>Lacagem</b>			
Consumo Específico	kgep/m <sup>2</sup>	0,177	0,170
Intensidade Carbónica	tCO <sub>2</sub> e/tep	2,46	2,46
<b>Anodização</b>			
Consumo Específico	kgep/m <sup>2</sup>	1,185	1,138
Intensidade Carbónica	tCO <sub>2</sub> e/tep	2,35	2,35

A determinação dos novos indicadores para cada processo foi resultado do trabalho de auditoria, nomeadamente na retificação da desagregação da energia pelos processos de lacagem e anodização. Salienta-se novamente a importância da validação desta distribuição após da implementação de um sistema de monitorização do consumo de gás natural e eletricidade, capaz de desagregar estes recursos pelas duas secções em função da produção fabril.



## Capítulo 5

# Medidas de racionalização de energia

As Medidas de Racionalização de Energia (MRE) na indústria podem ser divididas em duas categorias: transversais e setoriais. As medidas setoriais, tal como o nome indica, são específicas a cada setor. As medidas transversais são as que podem ser aplicadas na maioria dos setores industriais. Este tipo de medidas representam um grande potencial de aumento de eficiência energética e, por conseguinte, maior importância na redução de consumo, como mostra a Figura 5.1 [44].

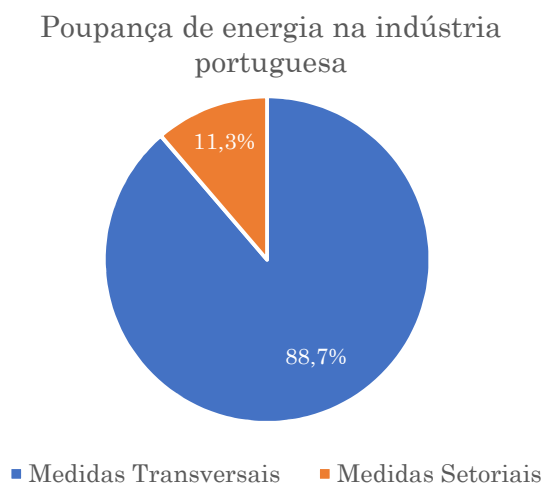


Figura 5.1: Distribuição da poupança energética para medidas transversais e setoriais, na indústria portuguesa (adaptado de [44]).

Estas medidas transversais podem ser divididas de acordo com as principais áreas de aplicação:

- Sistemas acionados por motores elétricos: otimização de sistemas de bombagem, ventilação, compressão, entre outros sistemas motrizes;
- Iluminação: substituição por equipamentos mais eficientes e implementação de sistemas de controlo dinâmico e adaptativo do fluxo luminoso em função das condições de luminosidade e/ou utilização;
- Produção de calor e frio: cogeração, sistemas de combustão, recuperação de calor e frio industrial;
- Eficiência do processo industrial: manutenção de equipamentos, isolamentos térmicos, monitorização e controlo, formação e sensibilização de recursos humanos, tratamento de efluentes, redução da energia reactiva, transportes, integração de processos, alteração de *layout* fabril, entre outros. [44]

Relativamente ao trabalho de melhoria da eficiência energética durante o já findo ARCE 2010-2018, as medidas implementadas foram:

1. A eliminação de fugas no sistema de ar comprimido, resultando na instalação dos depósitos de ar comprimido, como ilustra a Figura 4.10. Estes equipamentos oferecem inércia e maior estabilidade ao sistema.
2. Instalação de equipamento de filtragem e regulação da tensão no quadro geral.

Estas MRE foram implementadas nos dois primeiros anos do acordo, ou seja, em 2011 e 2012. A Tabela 5.1 resume o impacto económico, energético e ambiental destas medidas.

Tabela 5.1: Resumo das medidas de racionalização de energia implementadas entre 2010 e 2018.

Medida	Poupança anual [€]	tep/ano	tCO <sub>2</sub> e/ano
Ar comprimido	9 443	24	52,5
Regulação no transformador	9 809	21	45,9
<b>Total</b>	<b>19 252</b>	<b>45</b>	<b>98,4</b>

No âmbito da anterior auditoria foi também estudada a hipótese de implementar uma recuperação de calor na Lacagem, da extração do forno de polimerização para a estufa de secagem dos perfis. No entanto, esta medida não foi implementada devido a questões

de espaço e de inviabilidade técnica que fazem com que esta medida tenha um nível de investimento elevado e, por conseguinte, um *payback* desinteressante.

Para o novo PREn, fruto da recolha de dados, dos trabalhos da nova auditoria energética, identificam-se as seguintes MRE:

1. Implementação de um sistema de monitorização de energia descentralizado que, ainda que não ofereça um nível de caracterização dos consumos detalhada, permita a desagregação dos consumos pelas duas secções;
2. Iluminação: substituição por equipamentos mais eficientes e sistema de controlo dinâmico;
3. Sistemas acionados por motores elétricos: substituição por equipamentos mais eficientes, nomeadamente as bombas de circulação do sistema de arrefecimento dos banhos de anodização, cuja eficiência não é adequada ao regime de funcionamento;
4. Isolamento: substituição ou melhoria de isolamentos térmicos e redução das perdas por evaporação nos banhos quentes de anodização.
5. Produção de calor e frio:
  - (a) Queimadores: retificação, manutenção e/ou substituição por equipamentos mais eficientes; plano de manutenção e análise dos gases de combustão; otimização das condições de permuta dos *tubos de fumo*.
  - (b) Recuperação de calor: instalação de sistema de permuta para aproveitamento de calor dos gases de escape dos queimadores;
  - (c) *Chillers*: substituição por equipamentos mais eficientes e estudo de incorporação de sistema de recuperação de calor;
  - (d) Caldeira de fluido térmico: substituição dos cinco queimadores da Anodização por uma caldeira de fluido térmico, caso a melhoria da permuta não seja tecnicamente viável.

No final deste capítulo estão sumarizadas as MRE identificadas como intervenções com viabilidade técnico-económica, conducentes ao aumento da eficiência energética e/ou à redução da fatura energética. Todas estas cumprem com os requisitos inicialmente apresentados no ponto 1.6

## 5.1 Sistema de monitorização de energia

A implementação de um sistema de monitorização da energia consumida engloba várias etapas como o planeamento, a validação, a monitorização ou a implementação de estratégias de controlo optimizadas. Devido ao seu domínio transversal, a implementação dos sistemas modernos de controlo de processo não é exclusiva ao aumento da eficiência energética, mas também para a optimização da produção, da qualidade do produto e da segurança dos operadores dos equipamentos. Por estas razões, a aplicação destes sistemas é essencial em todas as áreas industriais. A monitorização e optimização dos sistemas de energia e produção trata-se de um trabalho contínuo que promove, quando devidamente efetuado, a redução dos custos de manutenção, tempos de produção e de paragem, e principalmente, uma maior eficiência energética [44].

### 5.1.1 Implementação

Durante a auditoria energética foram identificados os principais grupos de consumo para a definição do sistema de monitorização e controlo de energia e, desta forma, foram definidos os pontos de análise e contabilização de energia. Na Tabela 5.2 estão listados os pontos de medição considerados na implementação deste sistema.

Tabela 5.2: Lista dos pontos fixos de medição do sistema de monitorização e controlo de energia.

Local/Processo	Ponto	Energia	Tipo de contador	Un.
Geral	PT	Elétrica	Analisador de energia trifásico	2
	-	Gás natural	Emissão de impulsos DN100	1
	Compressores	Elétrica	Analisador de energia trifásico	1
Anodização	Retificadores	Elétrica	Analisador de energia trifásico	4
	Chillers	Elétrica	Analisador de energia trifásico	2
	Linha	Gás natural	Emissão de impulsos DN40	1
Lacagem	Forno	Elétrica	Analisador de energia trifásico	1
	Linha	Elétrica	Analisador de energia trifásico	1
	Pré-tratamento	Gás natural	Emissão de impulsos DN40	1
	Estufa efeito madeira	Elétrica	Analisador de energia trifásico	1
	Estufa pré-tratamento	Elétrica	Analisador de energia trifásico	1
	Estufa de perfis (forno)	Gás natural	Emissão de impulsos DN40	1
	Estufa de perfis (efeito madeira)	Gás natural	Emissão de impulsos DN40	1
ETAR	-	Elétrica	Analisador de energia trifásico	1
Polimento	Máquinas e aspiração	Elétrica	Analisador de energia trifásico	2
Total contadores de eletricidade				16
Total contadores de gás natural				5

Nesta listagem não estão contemplados os equipamentos de medição necessários à avaliação do desempenho dos equipamentos de frio, nomeadamente os dois *chillers*. Para a correta avaliação do desempenho destes equipamentos é necessária a implementação de:

- Contadores de entalpia, um para cada *chiller*, responsáveis pela medição e registo do caudal, temperaturas inicial e temperatura final do fluido de trabalho, ou seja, à entrada e à saída de cada *chiller*;
- Equipamento de medição e registo da temperatura ambiente.

A adição destes equipamentos de monitorização, conjugada com a medição de consumo de energia elétrica, permite averiguar instantaneamente o desempenho de ambos os equipamentos. A *performance* destes equipamentos de frio é avaliada segundo o quociente entre produção de energia térmica e consumo de energia elétrica, também conhecido como

*Energy Efficiency Ratio* (EER), para equipamentos de frio. A medição da temperatura ambiente permite comparar o estado do EER com os dados presentes em ficha técnica e, por ventura, comparar este valor com o de equipamentos mais recentes, tecnologicamente mais desenvolvidos e mais eficientes. Desta forma, pode ser apreciada a viabilidade económica da substituição destes equipamentos.

### 5.1.2 Poupança energética

Visto que os principais benefícios da utilização destes sistemas não estão diretamente relacionados com o consumo de energia, o cálculo da estimativa do *payback* não é simples. No entanto, a utilização destes sistemas já foi alvo de diversos estudos, pelo que foi estimado, em termos médios, um aumento da eficiência energética de 3%, tempo de vida útil de 10 anos e *payback* entre um e quatro anos [44].

Neste caso de estudo, como o potencial de melhoria do controlo e gestão de energia é elevado, quer para a eletricidade mas ainda mais para o gás natural, considera-se que a implementação de um sistema desta natureza resultará na *redução de 3% do consumo global de energia*. Portanto, esta redução do consumo traduz-se na poupança de 23,37 tep/ano.

## 5.2 Iluminação

Como representado na Figura 4.22, a potência correspondente à iluminação, excluindo uma parcela pequena de iluminação *Light Emitting Diode* (LED) já instalada e a iluminação do armazém, perfaz a quantia de 19,32 kW, o que em termos globais representa apenas 1,2% de toda a potência instalada. No entanto, os horários de utilização da iluminação são extensos, já que grande parte desta é utilizada ao longo de dois ou três turnos. Tal como apresentado na Tabela 4.24, o consumo estimado da iluminação representa cerca de 4,2% do consumo de eletricidade.

Como tal, para determinar se a substituição dos dispositivos de iluminação existentes por equipamentos mais eficientes é viável, é necessário, primeiramente, calcular o consumo atual estimado assim como o respetivo custo, de modo a identificar os equipamentos com potencial de melhoria. Com esse propósito, foi efetuado o levantamento dos dispositivos de iluminação com potencial de melhoria e as respetivas potências nominais.

Relativamente ao cálculo desta estimativa consideram-se:

- Sete horas de utilização por turno, de segunda-feira a sábado e para 50 semanas anuais;
- Perdas nos balastros e arrancadores atuais de 25%.

Para posterior estimativa de poupança económica, a tarifa de 131,15 €/MWh foi calculada com base nas tarifas do ano de referência, considerando o consumo constante durante 24 horas, de segunda-feira a sábado. O cálculo desta tarifa está representado na Tabela C.9 e o da estimativa anual deste consumo está demonstrado na Tabela C.10, ambas presentes no Apêndice C. No anexo não estão contabilizadas, porém, as 21 campânulas industriais de 400W presentes no Armazém. Na Tabela 5.3 está resumida a informação recolhida e tratada.

Tabela 5.3: Resumo dos equipamentos de iluminação por locais da instalação e respetiva estimativa de consumo anual.

<b>Local</b>	<b>Potência [W]</b>	<b>Consumo anual [kWh]</b>	<b>tep/ano</b>
Lacagem	4 410	30 109	6,47
Anodização	9 600	42 000	9,03
Polimento	1 952	4 270	0,92
Armazém	13 322	65 402	14,06
Outros	2 358	5 473	1,18
<b>Total</b>	<b>31 642</b>	<b>147 254</b>	<b>31,66</b>

### 5.2.1 Substituição e poupança energética

Analisando as luminárias existentes e as horas de funcionamento diárias, conclui-se que os equipamentos com o potencial de melhoria mais relevante são as campânulas existentes nas naves da Lacagem e Anodização. A potência atual de cada uma dessas luminárias é de 400W enquanto que a potência individual da solução de última tecnologia LED equivalente é de apenas 150W, correspondendo a uma redução da potência nominal de 62,5%, excluindo as perdas nos balastros e também nos drivers. Nesta análise considera-se o mesmo regime de funcionamento e ainda, 2,5% de ineficiência dos drivers LED.

Relativamente à solução de luminária LED selecionada, na Figura D.1 está representada a respetiva ficha técnica.

O cálculo da poupança e investimento está presente na Tabela C.11 do Apêndice C e a seguinte Tabela 5.4 resume a estimativa de poupança energética desta MRE.

Tabela 5.4: Áreas de iluminação com potencial de melhoria e respetiva poupança anual.

Local	Pn atual [W]	Pn LED [W]	Poupança anual [kWh]	[tep/ano]
Lacagem	4 000	2 100	14 942	3,21
Anodização	9 600	3 600	29 077	6,25
Armazém	8 400	3 150	41 871	9,00
<b>Total</b>	<b>22 000</b>	<b>8 850</b>	<b>85 890</b>	<b>18,46</b>

Nas Figuras C.1, C.2 e C.3 do Apêndice C estão presentes os resultados dos estudos luminotécnicos para a nave de produção, zona da anodização e lacagem. O nível de iluminação pretendido para esta atividade foi de 300  $lx$ , à exceção da zona da pintura da lacagem, na qual foi efetuada uma melhoria em termos de fluxo luminoso, tendo como objetivo 500  $lx$ . Fruto desta melhoria, passam a ser consideradas mais quatro luminárias na lacagem, adição já contemplada na poupança mencionada na Tabela 5.4.

### 5.2.2 Sistema de controlo

De uma forma sucinta, este sistema tem como função o controlo dinâmico do fluxo luminoso, através de sensores de luminosidade, tendo como objetivo final a redução do consumo de energia, sem comprometer o nível de luminância pré-definido.

Apesar de ser difícil estimar a poupança energética, a implementação de um sistema de controlo simples e de custo reduzido apresenta-se como uma melhoria atrativa, principalmente em zonas com boa iluminação natural, como é o caso da zona da anodização do caso de estudo.

Atualmente, o investimento deste sistema de controlo é facilmente diluído, representado apenas um acréscimo de cerca de 3,4% do custo das luminárias LED controladas.

No entanto, por se considerar uma aplicação de manutenção e limpeza considerável, este sistema de controlo não cumpre com os requisitos apresentados no ponto 1.6.

## 5.3 Sistemas acionados por motores elétricos

Entre os vários tipos de motores, devido à sua construção simples e versatilidade, os motores elétricos são os mais utilizados na indústria. Na indústria portuguesa são responsáveis por mais de 70% do consumo de eletricidade. Os motores elétricos podem funcionar em DC ou em AC. Dentro da gama de motores AC, os motores assíncronos ou

de indução são os de utilização mais frequentemente devido à sua simplicidade, robustez, baixo investimento e manutenção reduzida [44].

### 5.3.1 Variação eletrónica de velocidade

De modo geral, as aplicações com um potencial elevado para redução do consumo energético por parte dos motores elétricos são a bombagem, ventilação e compressão, devido ao facto de estes mecanismos transmitirem força motriz a um fluido de caudal normalmente constante, logo com velocidade de rotação e potência fixas, para um determinado ponto da curva característica do conjunto [44].

Porém, em grande parte das aplicações, os caudais necessitam de ser ajustados através de dispositivos de estrangulamento, por exemplo, com válvulas reguladoras de pressão, *dampers* ou registos de caudal. Este ajuste serve para adaptar a perda de carga da instalação à *curva característica* de funcionamento - evolução do caudal fornecido em função da pressão de trabalho - de cada equipamento, de modo a que este possa funcionar num regime de pressão e caudal adequados, quer em termos de eficiência (elétrica, mecânica e hídrica/aeráulica), quer em termos de longevidade dos componentes. Este fenómeno, ainda que eficaz, resulta em perdas de carga consideráveis no sistema e, por conseguinte, em desperdícios de energia [44].

Como agravante deste desperdício energético, o sobredimensionamento dos motores elétricos é uma prática comum devido à utilização consecutiva e/ou excessiva de coeficientes de segurança [44].

Neste contexto, devido à necessidade de adaptar a velocidade do motor às necessidades exigidas, surgiram os dispositivos de Variação Eletrónica de Velocidade (VEV).

Excluindo as propriedades dos próprios motores de indução como, por exemplo, o número de pólos, a velocidade de rotação destas máquina elétricas é determinada pela frequência da tensão de alimentação. Como tal, de modo a controlar a velocidade destes motores sem recurso a dispositivos mecânicos externos, é necessário variar a frequência de tensão de alimentação [44].

Com a VEV é possível alcançar uma redução controlada da potência dos motores como consequência da diminuição e adaptação da velocidade de rotação. A utilização destes variadores pode gerar:

- Economia de energia ativa;

- Incremento do fator de potência, logo uma maior disponibilidade nas redes de distribuição;
- Menor desgaste, logo custos de manutenção inferiores [7].

Normalmente, os VEV convertem a corrente alternada da rede (AC) de 50 Hz em corrente contínua, para posteriormente sintetizar uma frequência variável, entre 0 e 150 Hz, em função da natureza da aplicação. Ainda que existam diversos tipos de configurações eletrônicas, a configuração esquemática presente na Figura 5.2 é a mais comum.

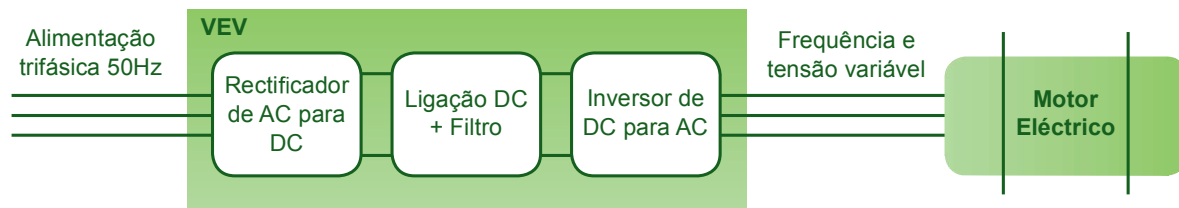


Figura 5.2: Configuração comum de um variador eletrônico de velocidade [44].

Como observável, este tipo de dispositivo VEV é constituído por um rectificador capaz de converter a tensão alternada em contínua e por um inversor que converte a tensão contínua em alternada, à frequência desejada. Sistemas de VEV deste tipo podem, no entanto, provocar picos de corrente na instalação, principalmente no arranque dos motores e quando a velocidade é mais elevada. Como tal, a instalação destes equipamentos não deve ser feita de forma leviana, pelo que deve ser bem estudada a aplicação em questão.

Os mais recentes dispositivos de VEV vieram alargar a gama de aplicações em que é proveitosa a variação da velocidade dos motores AC. De salientar que quanto maior for a variação do regime de carga de um motor, maior é a viabilidade da aplicação da VEV uma vez que existe um potencial de economia superior [7].

### 5.3.2 Potencial de redução

Estando perante uma instalação CIE com horários de laboração extensos, entre dois e três turnos diários, existe um potencial de redução do consumo energético nos motores elétricos AC sem VEV. Como constatável na Figura 4.22, a potência total deste conjunto de equipamentos é de aproximadamente 291 kW, o que representa cerca de 18% de toda a potência elétrica da instalação.

Na Tabela B.2 do Apêndice B estão listados os motores sem VEV identificados na instalação. Para cada equipamento foram recolhidas as respetivas potências nominais, os turnos diários de utilização e o fator de utilização. Como resultado destes dados, é possível determinar a estimativa de consumo diário de cada motor elétrico.

É no entanto necessário identificar as aplicações e/ou equipamentos em que a instalação de VEV ou, por ventura, a substituição por motores mais eficientes é economicamente viável. Da informação recolhida nos trabalhos de auditoria, destacam-se os motores elétricos das bombas de circulação dos banhos de anodização. Estes motores apresentam um potencial de melhoria significativo devido ao elevado fator de utilização, como identificado na Tabela C.2 do Apêndice C. Por sua vez, a estimativa de consumo anual do conjunto das bombas do grupo de arrefecimento da Anodização está resumida na Tabela 5.5. Nesta estimativa foram, mais uma vez, considerados 250 dias de laboração.

Tabela 5.5: Bombas circuladoras do grupo de arrefecimento da Anodização e respetivo consumo anual.

<b>Equipamento</b>	<b>Pn [kW]</b>	<b>Un.</b>	<b>Consumo anual [kWh]</b>	<b>tep/ano</b>
Bomba de ácido	4,0	4	57 600	12,38
Bomba de água 1	2,2	1	7 920	1,70
Bomba de água 2	4,0	1	14 400	3,10
Bomba dos <i>chillers</i>	4,0	1	16 000	3,44
<b>Total</b>	<b>14,2</b>	<b>7</b>	<b>95 920</b>	<b>20,62</b>

## 5.4 Isolamentos

Nesta secção estão presentes as principais melhorias de isolamento identificadas na instalação, em função da auditoria energética realizada. Com este objetivo, foi utilizada uma *câmara termográfica*, permitindo analisar diferenças de temperatura consideráveis - evidências de perdas ou ganhos de calor - de um modo expedito. Destacam-se as condutas de arrefecimento, as perdas por evaporação dos banhos quentes e o isolamento térmico deficiente na estufa da Lacagem.

### 5.4.1 Condutas de arrefecimento

Através da análise termográfica, foi possível verificar que existem ganhos de calor em porções da conduta onde o isolamento é deficiente. Esta condição deve-se não só desgaste do isolamento, mas também à sua inexistência nos acessórios da tubagem de PVC. A Figura 5.3 mostra essa análise.



Figura 5.3: Registo termográfico das condutas de água fria dos chillers.

Como agravante, estas condutas situam-se no exterior, expostas não só a temperaturas altas no verão, mas também à radiação solar. Estas falhas de isolamento representam ganhos de calor nas condutas de água fria que podem ser facilmente mitigados. Apesar da tubagem ser de paredes espessas, é possível observar uma diferença de temperatura de aproximadamente 5°C entre os acessórios não isolados e a tubagem com isolamento. É de salientar que:

- A distância entre os *chillers* e o depósito de inércia é de aproximadamente 30 metros;
- O caudal médio da bomba dos *chillers* é de 550 l/min;
- Para um ganho de temperatura da água fria de apenas 0,5°C ao longo da tubagem, correspondem perdas de 19,2 kW. Considerando o regime contínuo de funcionamento da bomba circuladora, durante dois turnos diários, para este ganho de temperatura, a perda de energia anual é de 76 746 kWh de energia térmica.

### 5.4.2 Coberturas dos banhos quentes

Como se pode observar na anterior Figura 4.6, os dois banhos da selagem encontram-se tapados por uma cobertura móvel e adaptável de esferas termoplásticas e ocas. Estas,

quando utilizadas na devida proporção, formam uma estrutura altamente comprimida, capaz de cobrir até 91% a superfície, reduzindo de forma considerável a área de contacto entre os banhos e os ar envolvente [58]. Desta forma, é possível reduzir de forma considerável as perdas por evaporação nestes sistemas. Na Figura 5.4 está ilustrada uma implementação deste tipo de MRE.

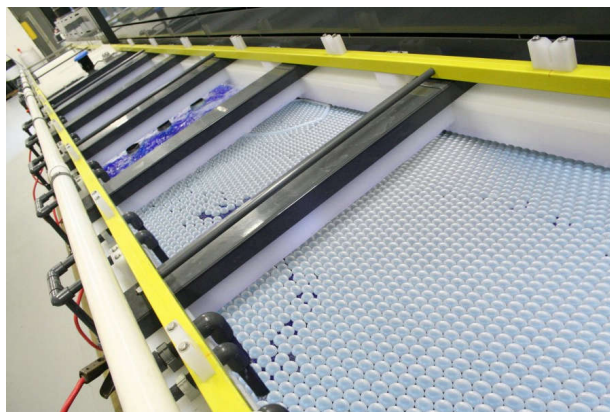


Figura 5.4: Exemplo de uma cobertura móvel composta por esferas termoplásticas [58].

Nos banhos aquecidos, considerando que o fluido é água dentro de um vaso aberto, para além das perdas mássicas por evaporação, existem perdas de calor através das paredes dos tanques mas também perdas por radiação, uma vez que o fluido se encontra a uma temperatura mais elevada que as superfícies que o envolvem.

Com base na bibliografia disponível, é possível determinar as perdas por evaporação, em função da temperatura, admitindo que a velocidade do ar é nula [59]. Este cálculo foi efetuado tanto para os banhos onde esta MRE já foi implementada como para os restantes banhos quentes onde existe potencial de melhoria. Para o cálculo em tep foi considerado o fator de conversão para o gás natural. Os cálculos das perdas de evaporação foram já abordados e estão presentes na Tabela C.6. Na seguinte Tabela 5.6 encontra-se resumida esta informação e a respetiva poupança esperada.

Tabela 5.6: Consumo energético anual referente às perdas de evaporação superfície dos banhos quentes e potencial poupança.

<b>Banho</b>	<b>T. [°C]</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Perdas [W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Q [kW]</b>	<b>Redução anual</b>
Deseng.	52,5	8	1 382	11,06	2,00 tep
Acetinagem	62,5	8	2 362	18,90	3,41 tep
Decapagem	42,5	8	467	3,74	0,68 tep
<b>Total MRE</b>	-	-	-	-	<b>6,09 tep</b>
Selagem 1	98	15	10 214	153,21	27,67 tep
Selagem 2	98	18	10 214	183,85	33,20 tep

Em conclusão, considerando que a implementação de uma camada de esferas permite a poupança de, no mínimo, 70% da energia perdida por evaporação [58], estima-se que a implementação deste tipo de cobertura nos restantes banhos quentes, nomeadamente no desengorduramento, acetinagem e decapagem, permita a poupança de 6,09 tep/ano.

### 5.4.3 Estufa da lacagem

Fruto do trabalho de campo da auditoria energética realizada, identificaram-se perdas de calor consideráveis na estufa de secagem de perfis da secção da Lacagem. Na Figura 5.5 estão ilustrados os registos termográficos recolhidos.

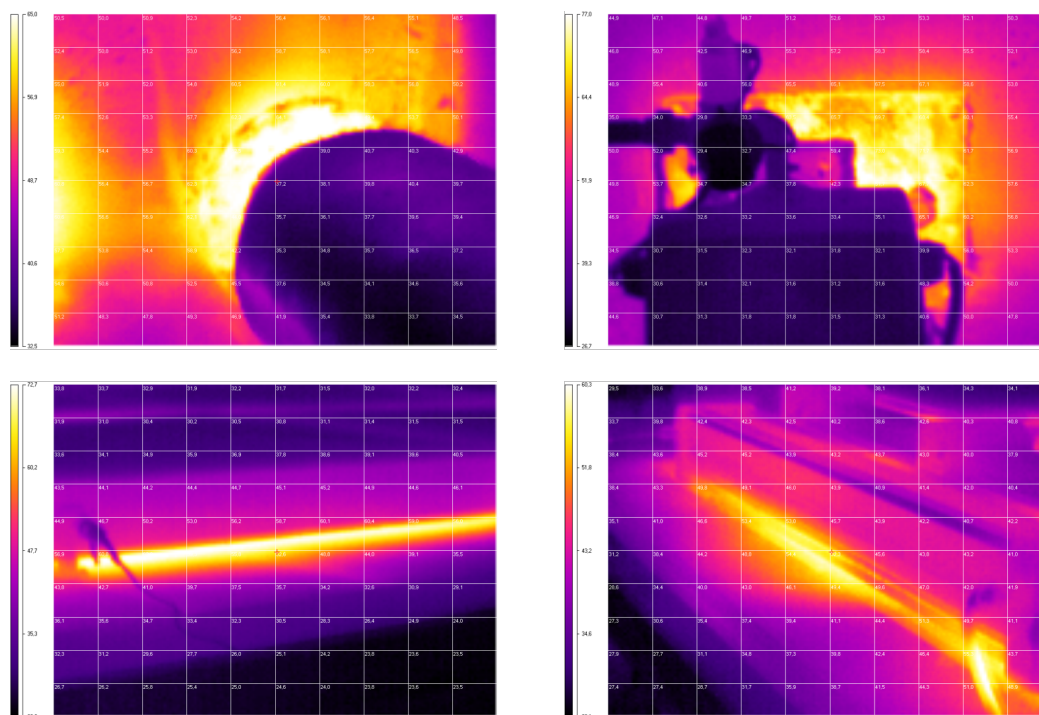


Figura 5.5: Registos termográficos da estufa de secagem de perfis da Lacagem.

Como se pode observar, existem significativas diferenças de temperatura à saída do queimador, na exaustão do ar quente da estufa, e na junta superior da abertura da estufa. A gama de temperaturas destas zonas não isoladas ou com isolamento deficiente está entre os 65 e 77°C.

Conclui-se, portanto, que a aplicação ou melhoria dos isolamentos térmicos neste equipamento resultará na redução do consumo de gás natural e na conducente poupança financeira.

## 5.5 Produção de calor e frio

Nesta secção são abordados os equipamentos de calor e frio com maior potencial de poupança energética. Destacam-se os queimadores e os *chillers* da Anodização.

### 5.5.1 Queimadores

Nos banhos da Anodização o aquecimento das soluções aquosas recorre à técnica de combustão submersa. Desta forma, o aquecimento do banho ocorre com a queima de gás

imersa no próprio banho. Este aquecimento é efectuado com os gases de combustão sem contacto directo com o fluido de trabalho, através de *tubos de fumo*. Esta técnica é das mais recomendadas, em termos de eficiência energética, para este tipo de processo [44].

Na Figura 5.6 está esquematizado o sistema de permuta entre os gases de combustão e os banhos da Anodização.

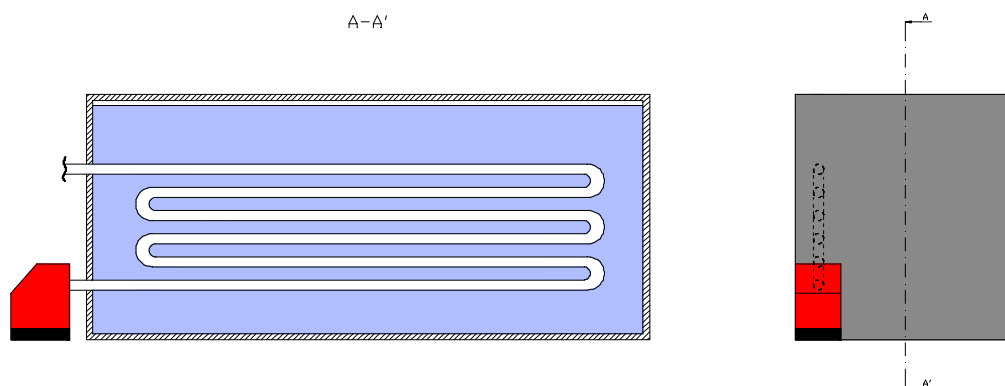


Figura 5.6: Esquema do sistema de queima e permuta dos banhos quentes da Anodização.

O sistema instalado pode ser comparado a um *permutador de calor*. Num dos lados deste permutador fluem os gases de combustão provenientes do queimador. Estes gases, por sua vez, cedem o seu calor de combustão, por convecção e radiação, para as paredes dos *tubos de fumo* ilustrados na Figura 5.6. Finalmente, também por convecção, o calor é transferido da tubagem para o fluido de trabalho. De modo diferente a um permutador convencional, o fluido de trabalho encontra-se aproximadamente à mesma temperatura, pelo que, não pode ser considerada uma diferença de temperatura média logarítmica.

Segundo as recomendações da ADENE, a temperatura de exaustão dos gases de combustão não deve ser 40 a 50°C superior à temperatura do fluido de trabalho [22]. Ou seja, para os banhos de selagem da Anodização, nos quais o fluido de trabalho consiste numa solução maioritariamente aquosa à temperatura de ebulição, os gases à saída deveriam estar a uma temperatura entre 140 a 150°C.

Todavia, como presente na Tabela 4.21, nas análises efetuadas aos efluentes gasosos dos queimadores, não foi constatada essa condição. Verifica-se, efetivamente, que os gases destes queimadores estão a ser libertados a uma temperatura muito superior à ideal, o que significa que existe um elevado desperdício de calor não aproveitado no aquecimento dos banhos. Este desperdício está diretamente relacionado com a insuficiente transferência

de calor nos *tubos de fumo*, já ilustrados na Figura 5.6. Os fatores que motivam esta insuficiência podem ser:

- Excesso de fuligem no interior da tubagem, formando uma camada isolante, ou até de possíveis incrustações no exterior da mesma, diminuindo deste modo a transferência de calor;
- Espessura da tubagem demasiado elevada, o que dificulta a transferência de calor por condução;
- Área de transferência reduzida, apesar da tubagem ser de diâmetro considerável, DN250, apenas existem seis passagens da mesma pelo fluido, de um dos lados do banho;
- Localização deficiente da tubagem, pelo que seria mais indicado, devido ao movimento natural de convecção, que a transferência de calor fosse efetuada à mesma cota e numa zona inferior;
- Falta de agitação dos banhos, o que impede que a temperatura do fluido, em função da largura do tanque, seja homogénea. Na Figura 4.6 verifica-se que apenas existe formação de vapor na zona de permuta.

Tratando-se de um combustível gasoso virtualmente isento de enxofre, não existem constrangimentos em relação à redução da temperatura abaixo do ponto de orvalho. Caso contrário, a formação de condensados de água acidulada poderia criar graves problemas de corrosão nas condutas de exaustão [22]. Portanto, é viável reduzir a temperatura para os já referidos, e recomendados, 140 a 150°C.

Como tal, apesar de não terem sido definidas as alterações de melhoria aos sistemas de permuta destes banhos, a estimativa da poupança de energia recorrendo à diminuição da temperatura dos gases à saída dos *tubos de fumo* foi contemplada neste estudo. Esta determinação teve em consideração os seguintes pressupostos:

- Consumo anual de gás natural da Anodização de 166 264 m<sup>3</sup>N. Este consumo corresponde ao consumo anual deste processo, mediante a proporção determinada nos ensaios realizados na instalação, cujos cálculos estão presentes na Tabela C.5 do Apêndice C;

- Distribuição do consumo anteriormente mencionado em função das perdas por evaporação, convecção, radiação e calor dos gases de extração de cada banho, apresentadas na Tabela C.6 do Apêndice C;
- Fatores de conversão segundo o Despacho 17313/2008, também presentes na Tabela A.2 do Apêndice A;
- Relação ar/combustível de 18,0, à qual corresponde excesso de ar de 5%, tal como resumido na Tabela 3.1;
- *Calor específico* dos gases de combustão de 1100 J/kg·K [22];
- Diminuição da temperatura de saída dos gases de combustão para uma temperatura 40°C superior à do fluido de trabalho [22]. Para os banhos onde não foi medida a temperatura dos efluentes gasosos consideram-se 340°C, uma vez que são de apenas um estágio, tal como o queimador da Selagem 2.

Com os dados recolhidos e estes pressupostos, a quantidade de energia sob a forma de calor que, no fundo, é desperdiçada na exaustão prematura destes gases é determinada através da Equação 5.1:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T ; \quad (5.1)$$

Na Equação 5.1,  $m$  corresponde à massa de gases de combustão, obtida através da relação Ar/Combustível,  $c_p$  corresponde ao calor específico a pressão constante dos gases e, finalmente,  $\Delta T$  corresponde ao objetivo de redução de temperatura dos gases.

De um modo sucinto, na Tabela 5.7 estão resumidos os dados de redução energética desta medida.

Tabela 5.7: Consumo energético anual referente aos banhos quentes da Anodização e potencial de poupança com a redução da temperatura dos gases de combustão.

Banho	Porção	Consumo [m <sup>3</sup> N]	$\Delta T$ [°C]	Redução anual [tep]
Desengorduramento	8,1%	13 517	248	1,34
Acetinagem	9,6%	15 915	238	1,50
Decapagem	5,8%	9 632	258	1,11
Selagem 1	32,4%	53 898	101	2,37
Selagem 2	44,1%	73 302	201	6,08
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>166 264</b>	<b>-</b>	<b>12,40</b>

A esta redução anual de 12,40 tep equivale à poupança económica de 6 050 €. Assim, o consumo de gás natural da instalação pode ser reduzido em 3,8%. De salientar que, como os queimadores dos três primeiros banhos são de apenas um estágio, é expectável e considera-se que a gama de temperatura de saída dos gases seja elevada, tal como se verifica na Selagem 2.

### Afinação e manutenção

Como já referido no ponto 3.3, a adequada regulação do excesso de ar é dos parâmetros mais importantes a ajustar num sistema de combustão. Esta regulação tem como objetivo garantir o máximo rendimento térmico de um gerador de calor.

A combustão incompleta ocorre quando o excesso de ar é inferior ao adequado, ou seja, quando a relação entre combustível e comburente está abaixo do desejado. Nestas condições existe a formação de monóxido de carbono. Também pode ser verificada a existência de elementos por queimar nos gases de combustão tais como o carbono, o hidrogénio e mesmo hidrocarbonetos. Assim, este tipo de queima configura um processo químico pouco eficiente uma vez que estes elementos, como não reagem na totalidade com o comburente, não libertam toda a sua energia potencial química [44]. Contrariamente, se este parâmetro for demasiado elevado, a temperatura dos gases de combustão é inferior ao ideal, já que existe um maior arrefecimento da câmara de combustão devido à perda de calor no aquecimento do ar excedente. É, portanto, necessário equilibrar estas duas vertentes em função do tipo de combustível. Como já referido na Tabela 3.1, o ponto óptimo para a queima de gás natural encontra-se entre 5 a 10% de excesso de ar.

Por estes motivos, a monitorização dos efluentes de combustão de modo a avaliar se o

excesso de ar é o mínimo possível, sem que haja a formação de monóxido de carbono, torna-se indispensável na otimização do consumo de combustível. Mediante a deteção de desvios nos teores de oxigénio, dióxido de carbono, monóxido de carbono e até na temperatura dos gases de exaustão, podem ser tomadas as devidas diligências de manutenção de afinação do queimador. Salienta-se que, sendo uma regra geral, a redução 1% do excesso de ar resulta na diminuição de combustível também em 1% [22].

### 5.5.2 *Chillers*

Como mostrado anteriormente na Tabela 4.24, os equipamentos de produção de água fria são responsáveis por 13,3% do consumo de energia elétrica da instalação, o que corresponde ao consumo anual de 278 123 kWh. Relativamente ao consumo energético global da instalação, esta parcela de consumo é significativa, correspondendo a 7,7%.

Assim, é essencial a recolha de informação sobre estes equipamentos, como o regime de funcionamento, *set-points* e, evidentemente, a aferição e registo do EER de modo a avaliar o desempenho dos equipamentos. Como já referido no ponto 5.1.1, para poder aferir estes dados de um modo instantâneo é necessária a instalação de contadores de entalpia em ambos os equipamentos.

### Recuperação de calor

Um *chiller* tem como objetivo o arrefecimento de um fluido, geralmente água, através de um ciclo de refrigeração. Como tal, muito resumidamente, o fluido que entra no *chiller* cede calor para o fluido frigorígeno, que por sua vez circula no evaporador. Como tal, a água sai do *chiller* a uma temperatura inferior à de entrada. Sendo os equipamentos deste caso de estudo do tipo *ar-água*, o calor absorvido pelo frigorígeno no evaporador é posteriormente rejeitado no condensador para o ar exterior, mas a uma pressão mais elevada. No condensador, tal como o nome indica, sucede outra mudança de fase, de vapor para líquido. Na Figura 5.7 está ilustrado um esquema de funcionamento de um *chiller* convencional.

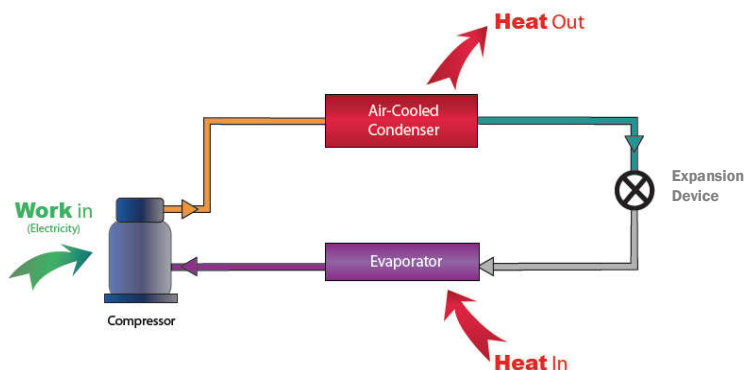


Figura 5.7: Esquema de funcionamento de um *chiller* convencional [60].

De uma forma sucinta, os *chillers ar-água* produzem água fria enquanto rejeitam o calor absorvido para o ar exterior, através do condensador. Porém, se esse calor, em vez de rejeitado, pudesse ser transferido para um condensador a água, o sistema passaria a produzir não só uma quantidade controlada de água fria, mas também uma quantidade significativa de água quente [60]. Na Figura 5.8 está ilustrado um esquema de funcionamento de um *chiller* com recuperação de calor.

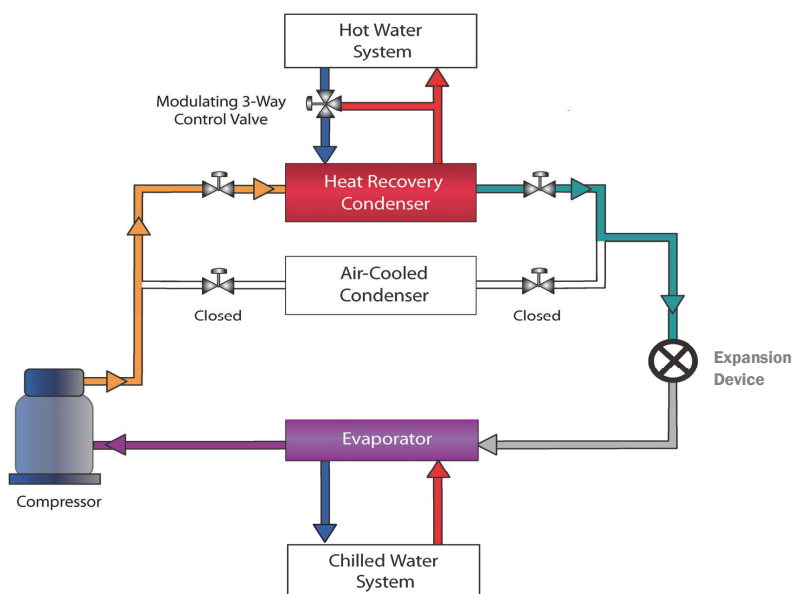


Figura 5.8: Esquema de funcionamento de um *chiller* com condensador de recuperação de calor [60].

Uma vez que na instalação existem vários banhos quentes, o calor rejeitado pelos *chil-*

*lers* poderia ser aproveitado para uma utilidade concreta como o aquecimento da solução aquosa dos banhos com temperaturas mais baixas. Esta medida resultaria numa não só numa poupança de gás natural mas, uma vez que este tipo de equipamentos tem COP ou EER muitas vezes superior a 3,5, também na melhoria significativa da eficiência global do processo [60].

A adaptação destes equipamentos para a recuperação de calor foi estudada com o fabricante porém, devido a questões relacionadas com o sistema de controlo, essa adaptação não é possível para os modelos instalados neste caso de estudo. Apenas com equipamentos preparados para esta tecnologia é possível implementar esta medida, permitindo assim a integração energética dos sub-processos da anodização.

### Substituição por novos equipamentos

Com a implementação da monitorização do consumo elétrico e produção de frio destes equipamentos, pode ser avaliada instantaneamente a *performance* deste equipamentos. Com estes dados, é possível efetuar a comparação do desempenho com a ficha técnica dos mesmos, ou com equipamentos tecnologicamente mais avançados. Desta forma, para além de avaliar o bom funcionamento e adequado desempenho dos *chillers*, pode ser aferida a viabilidade da substituição destes equipamentos por outros mais eficientes e, por conseguinte, com consumo e custo energético menor.

### 5.5.3 Caldeira de termofluido

Uma vez que a gama de temperatura de trabalho dos banhos da anodização está entre 60 e 140°C, considera-se indispensável o estudo de viabilidade da substituição dos cinco queimadores que fornecem calor aos banhos quentes do processo de anodização por apenas uma *caldeira de termofluido*. Uma vista exterior e interior deste tipo de equipamentos está ilustrada na Figura 5.9.

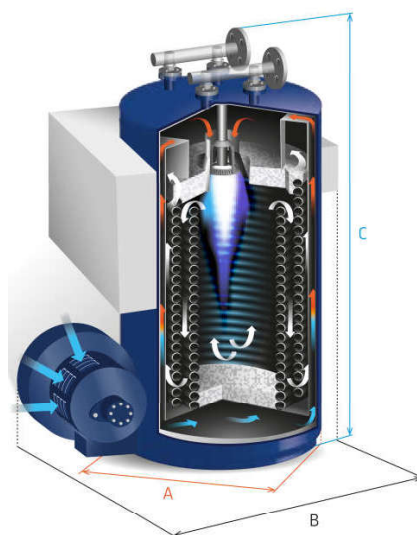


Figura 5.9: Caldeira de fluido térmico [61].

Esta MRE visa as seguintes alterações:

- Uma fonte de calor centralizada, capacitada de monitorização integrada das condições de queima e da composição dos gases de combustão, facilitando e promovendo o controlo da eficiência da combustão;
- A integração das *correntes quentes* em vários banhos, atendendo às diferentes temperaturas que se observam ao longo do processo. Deste modo, a mesma corrente pode transferir calor para diferentes banhos, à medida que a temperatura do fluido é reduzida, até retornar à caldeira;
- O aumento da transferência de calor, com recurso à substituição dos atuais *tubos de fumo* à saída dos queimadores por permutadores de calor imersos nos banhos, sendo que para os banhos com temperatura de *set-point* inferior, estes permutadores poderão ser utilizados também para a rejeição de calor de *chillers* adaptados a este propósito - recuperação de calor, abordada no ponto 5.5.2;
- O pré-aquecimento do fluido de retorno com o calor de rejeição dos *chillers*, quando devidamente adaptados a este efeito;
- A instalação um recuperador de calor na exaustão da caldeira, permitindo o aquecimento prévio do ar de entrada com os gases de combustão à saída.

Estas alterações têm como objetivo a diminuição do esforço de manutenção dos sistemas de queima, mas também a utilização da energia térmica de um modo mais proveitoso e consequentemente mais eficiente. A implementação desta medida torna-se fulcral, caso a melhoria considerável da permuta nos *tubos de fumo* atualmente instalados nestes banhos, devido a razões técnicas ou estruturais relevantes para o processo de fabrico, não seja possível.

## 5.6 Sumário

Neste sub-capítulo são definidas as linhas orientadoras para a implementação das MRE estudadas.

Para o cumprimento das metas de redução dos indicadores energéticos, IE e CE, considera-se que a produção fabril e o VAB não se alteram ao longo dos próximos oito anos, período de vigência do novo ARCE. Consequentemente, para que a redução de 4% destes indicadores seja conseguida, é necessário que o consumo de energia seja reduzido na mesma medida. Para o consumo global do ano de referência de 778,90 tep, tal como resumido na Tabela 4.10, corresponde a redução energética de 31,16 tep.

As medidas identificadas cumprem também os requisitos estabelecidos previamente, já abordados no ponto 1.6. A redução da temperatura de escape dos gases de combustão, através da otimização do sistema de permuta, assume na Tabela 5.8 a designação *Queimadores*. Neste caso, como não foi ainda definida a estratégia de implementação desta medida, foi considerado o *payback* máximo de três anos e, portanto, o investimento correspondente a esse período.

Tabela 5.8: Resumo da análise de poupança anual, investimento e *payback* das Medidas de Racionalização de Energia.

Medida	tep	tCO <sub>2</sub> e	Poupança	Investimento	<i>Payback</i>
Monitorização e SGE	23,37	55,998	12 883 €	36 246 €	2,8
Iluminação	18,46	40,354	11 517 €	13 870 €	1,2
Isolamento (esferas)	6,09	16,366	2 949 €	3 923 €	1,3
Queimadores	12,40	33,323	6 050 €	18 150 €	3,0
<b>Total</b>	<b>60,32</b>	<b>140,040</b>	<b>33 399 €</b>	<b>72 188 €</b>	<b>2,2</b>

A poupança na Iluminação apresentada na Tabela 5.8 é superior à da Tabela C.11 do

Apêndice C, pelo que inclui as luminárias de 400W do Armazém anteriormente referidas.

Mais detalhadamente, consta na Tabela C.12 do Apêndice C o plano de implementação das MRE estudadas. Prevê-se ainda que nos próximos oito anos, considerando os valores de produção e VAB do ano de referência, a implementação destas medidas resulte na:

- Redução do consumo energético em 441 tep e dos indicadores energéticos IE e CE em 7,7%;
- Diminuição da emissão de GEE em 1 063 tCO<sub>2</sub>e;
- Poupança anual de 33 399 €, totalizando a quantia de 245 309 €, ao fim de oito anos, não considerando inflação.

Em termos proporcionais, esta poupança anual corresponde a 1,2% do VAB gerado no ano de referência. Relativamente aos custos energéticos, esta redução de consumo corresponde à diminuição dos encargos energéticos em 7,8%.



# Capítulo 6

## Conclusões e trabalho futuro

Este capítulo reúne as principais conclusões da tese e algumas sugestões para trabalho futuro.

### 6.1 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo o estudo de Medidas de Racionalização de Energia (MRE) numa instalação fabril de tratamento superficial de perfis de alumínio.

Primeiramente, foi efetuado o enquadramento do tema desenvolvido. Foram abordados os principais conceitos, nomeadamente, a sustentabilidade e eficiência energética, o impacto ambiental da utilização da energia, assim como o enquadramento da gestão de energia na indústria do alumínio portuguesa. Foram também estabelecidos os requisitos necessários à aprovação das MRE estudadas.

Posteriormente, foram apresentados os principais sistemas de gestão, protocolos, normas e mecanismos de financiamento utilizados atualmente na eficiência energética na indústria. Relativamente ao SGCIE, foi feita uma análise mais debruçada, tendo sido também apresentadas alterações futuras ao SGCIE já propostas no PNAEE 2017-2020. No entanto, nenhuma destas alterações foi implementada, até à presente data. Considera-se que estas alterações futuras são de elevada importância para o cumprimento de futuros objetivos já traçados pelo governo português para a próxima décadas. Entre estas alterações destaca-se a proposta de obrigatoriedade da implementação, como MRE, de sistemas de monitorização e gestão de energia. Recomenda-se veementemente, a curto/médio prazo, a implementação das propostas de alteração do SGCIE previstas no PNAEE 2017-2020. Foi ainda proposta uma alteração ao SGCIE de modo a potenciar uma maior implementação

de MRE através do aumento de benefícios fiscais nas instalações que excedam em 50% ou objetivos traçados pelo ARCE.

A apresentação do caso de estudo consistiu na descrição da auditoria energética realizada. Foram identificados os principais equipamentos ou grupos de equipamentos, assim como os respetivos consumos de energia. Foram também contabilizados os consumos energéticos da instalação e a produção fabril no ano de referência da auditoria. Com estes dados foi possível determinar os indicadores energéticos que finalizam o ARCE 2010-2018 e também os novos indicadores de referência para o novo PREn 2018-2026. Foram calculados elevados desvios no indicador do CE, quer positivos no caso da Anodização, quer negativos no caso da Lacagem. Estes desvios deveram-se, principalmente, a alterações significativas do *mix-productivo*. Como tal, foi também necessário recalcular a distribuição do consumo energético pelos dois processos produtivos. Concluiu-se que a distribuição previamente calculada, em função das alterações das condições de produção fabril e *mix-productivo*, assim como os indicadores de CE, não correspondiam à realidade. Os dados recolhidos no âmbito de auditoria serviram para retificar esta distribuição.

Posteriormente, mediante a informação recolhida durante os trabalhos de auditoria, foram apresentadas as MRE estudadas. Estas medidas foram contempladas no presente estudo por cumprirem com os requisitos solicitados e apresentados no capítulo introdutório. A implementação da primeira medida, o sistema de monitorização de energia, revela-se essencial, não só na aferição contínua da distribuição de consumo pelos processos de fabrico e principais equipamentos, mas também na validação da redução de consumo derivada da implementação das MRE apresentadas neste estudo. Este sistema será também importante no estudo de futuras medidas. Como se considerou que o potencial de poupança de energia na instalação é elevado, consideraram-se 3% de poupança energética provenientes desta medida, valor em concordância com os dados bibliográficos. As restantes medidas concretas estão relacionadas com a iluminação nas naves e armazém, assim como a manutenção e aplicação de esferas de isolamento nos banhos quentes da Anodização. Foi também abordado o potencial de melhoria da eficiência energética nos motores elétricos de bombas circuladoras com regimes de funcionamento intensivo. No caso dos queimadores da Anodização, foi determinada uma estimativa da poupança energética proveniente do aumento da transferência de calor dos gases de combustão para o fluido de trabalho, assim reduzindo a temperatura dos mesmos à saída dos *tubos de fumo*. Foi também efetuado o estudo prévio da substituição destes queimadores por uma fonte de calor apenas, uma caldeira de termofluido.

Atualmente, o plano de medidas aqui apresentadas já se encontra em execução, tendo sido já implementada a medida de substituição da iluminação por tecnologia LED, substancialmente mais eficiente - potência nominal 60% inferior para o mesmo fluxo luminoso. Em relação ao sistema de monitorização do consumo de energia, a implementação já foi aprovada pelos órgãos responsáveis pela instalação. A implementação deste sistema permitirá avaliar, com dados concretos e mais detalhados, a viabilidade económica de medidas já contempladas neste estudo, como a substituição dos *chillers* por equipamentos mais eficientes, ou outras medidas a serem estudadas em trabalho futuro.

Prevê-se que a implementação integral deste plano resulte na redução do consumo da instalação em 60,32 tep, ou seja, 7,7%. Para os mesmos resultados financeiros e produtivos do ano de referência, corresponde a diminuição dos indicadores IE e CE no mesmo peso percentual. Ainda assim, esta previsão está bastante acima da meta de redução de 4% estipulada pelo SGCIE para esta instalação, dado o elevado potencial de melhoria. A execução faseada deste plano no decurso dos próximos oito anos resultará na não emissão de 1063 tCO<sub>2</sub>e e na poupança energética de 441 tep. O *payback* médio destas MRE é de dois anos e dois meses.

## 6.2 Trabalho futuro

A implementação do sistema de monitorização e a devida execução de um SGE bem estruturado servirão como alicerces para a melhoria contínua da eficiência energética nesta indústria. A informação recolhida pelo sistema de monitorização descentralizado fornecerá os dados essenciais à tomada de decisão no que toca ao investimento em novos equipamentos ou melhoria de equipamentos existentes.

Apesar de ter sido possível determinar, de uma forma bastante conservadora, a poupança energética proveniente da melhoria das condições de transferência de calor nos queimadores da anodização, não foi determinada a estratégia a adotar para este fim. O trabalho a ser desenvolvido no futuro engloba também este estudo.

Nesta dissertação foram abordadas, de um modo preliminar, outras medidas de racionalização a serem estudadas futuramente. São elas:

- A substituição das bombas circuladoras do grupo de arrefecimento, cujo regime de trabalho é intensivo, por bombas de eficiência significativamente superior. A implementação de uma medida deste tipo pode ser feita aquando da reparação ou substituição por avaria de uma das bombas, reduzindo assim o tempo de retorno do

investimento. Porém esta medida não é prioritária, uma vez que o consumo anual destes equipamentos é de cerca de 20,62 tep. Portanto, o potencial de redução do consumo não é o mais significativo;

- A melhoria e/ou manutenção dos isolamentos, quer das condutas de água fria dos *chillers*, quer da estufa de perfis da Lacagem;
- A substituição dos *chillers* do grupo de arrefecimento por equipamentos mais eficientes e com possibilidade de recuperação de calor, de modo a aproveitar algum do calor rejeitado no ciclo de refrigeração;
- A substituição dos cinco queimadores que fornecem calor aos banhos quentes do processo de anodização por apenas uma *caldeira de temofluido*. O estudo detalhado desta medida é fulcral caso não seja possível efetuar a melhoria das condições de permuta dos *tubos de fumo* dos banhos da Anodização.

# Bibliografia

- [1] W. C. Turner and Steve Doty. *Energy Management Handbook*. Fairmont Press, 2006.
- [2] G. H. Brundtland. Our common future: Report of the world commission on environment and development, 1987.
- [3] European Comission. *Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency*, 2009.
- [4] Global Greenhouse Gas Reference Network. *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*, 2019.
- [5] Aassessment report 5 - climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability, 2015.
- [6] C. Felgueiras, A. Fidalgo, R. Costa, G. Alves, C. Pertry, and L. Schlichting. A demonstration circuit to support (e-)learning on control systems engineering. In *2017 4th Experiment@International Conference (exp.at'17)*, pages 292–296, June 2017.
- [7] A. F. Ribeiro de Sá. *Guia de Aplicações de Gestão de Energia e Eficiência Energética*. Publindústria, 2008.
- [8] EUROSTAT. Energy statistics - an overview, url: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/>, acedido em janeiro de 2019.
- [9] Instituto Nacional de Estatística. Consumo final de energia por sector de atividade económica, url: <https://www.ine.pt/>, acedido em fevereiro de 2019.
- [10] Associação Portuguesa do Alumínio. As vantagens do alumínio, url: <http://www.apal.pt/index.php/o-aluminio/as-vantagens-do-aluminio>, acedido em fevereiro de 2019.

- [11] MatWeb. Material property data, url: <http://www.matweb.com/>, acessido em fevereiro de 2019.
- [12] Jorge Fonseca de Almeida. Geoeconomia do alumínio: um metal estratégico. *O Jornal Económico*, 2016.
- [13] Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia. *Cadernos Subsetoriais - Obtenção e primeira transformação de alumínio*, 2018.
- [14] Diário da República n.º 47; 1.ª Série. Decreto-lei n.º 58/1982 de 26 de fevereiro.
- [15] DGEG Direção-Geral de Energia e Geologia. Energia em Portugal - 2016, 2018.
- [16] Relatório do Estado do Ambiente. Produção e consumo de energia, acessido em agosto de 2019.
- [17] Diário da República n.º 74; 1.ª Série. Decreto-lei n.º 71/2008 de 15 de abril.
- [18] Portal do Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia. Url: <http://sgcie.publico.adene.pt/sgcie>, acessido em março de 2019.
- [19] Diário da República n.º 162; 1.ª Série. Resolução do conselho de ministros n.º 104/2006.
- [20] Diário da República n.º 123; 2.ª série. Despacho n.º 17449/2008.
- [21] F. Oliveira. *Curso de Gestão de Energia na Indústria*. ADENE - Agência para a Energia, 2013.
- [22] ISQ Instituto de Soldadura e Qualidade. *Manual de Auditorias Energética na Indústria*. ADENE - Agência para a Energia, 2019.
- [23] Diário da República n.º 84; 1.ª Série. Decreto-lei n.º 68-a/2015 de 30 de abril.
- [24] Diário da República n.º 122; 2.ª série. Despacho n.º 17313/2008.
- [25] Associação das Energias Renováveis. Url: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>, acessido em março de 2019.
- [26] Direção-Geral da Energia e Geologia. *Terceiro Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética — 2017-2020*, 2017.

- 
- [27] T. R. Serrenho, P. Bertoldi, and Caiman C. *Survey of energy audits and energy management systems in the Member States*. Publications Office of the European Union, 2015.
- [28] Instituto Português da Qualidade. *Sistemas de gestão de energia: Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização (ISO 50001:2011)*, 2012.
- [29] International Organization for Standardization. Iso 50001 - energy management, url: <https://www.iso.org/iso-50001-energy-management.html>, acessado em novembro de 2018.
- [30] Office of Energy Efficiency and Renewable Energy - U.S. Department of Energy. *International Performance Measurement & Verification Protocol - Volume 1*, 2001.
- [31] Investor Confidence Project. Url: [www.eepperformance.org/how-does-icp-work.html](http://www.eepperformance.org/how-does-icp-work.html), acessado em novembro de 2018.
- [32] NAESCO. Url: <https://www.naesco.org/what-is-an-esco>, acessado em novembro de 2018.
- [33] M. Calderoni, M. Aprilea, S. Moretta, A. Aidonisa, and M. Motta. Solar thermal plants for industrial process heat in tunisia: Economic feasibility analysis and ideas for a new policy, 2012.
- [34] T.L. Bergman, F.P. Incropera, D.P. DeWitt, and A.S. Lavine. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley, 2011.
- [35] Y.A. Cengel. *Heat Transfer*. McGraw-Hill, Inc., 2003.
- [36] R.H. Probert. *Aluminum how to: The Chromatizing, Anodizing, Hard Coating Handbook*. Tailored Text, 2005.
- [37] J. S. Lin, S. H Chen, K. J. Huang, C. W. Hun, and C. C. Chen. Challenges to fabricate large size-controllable submicronstructured anodic-aluminum-oxide film, 2015.
- [38] J.M. Runge. *The Metallurgy of Anodizing Aluminum*. Springer International Publishing, 2018.
- [39] Laboratório Nacional de Engenharia Civil. *Comportamento do alumínio anodizado à corrosão atmosférica*, 2004.

- [40] Society of Manufacturing Engineers. *Anodizing, Plating and Other Inorganic Coating Processes*, 1985.
- [41] S.R. Turns. *An Introduction to Combustion*. McGraw-Hill, Inc., 1996.
- [42] I. Classman and R.A. Yetter. *Combustion*. Elsevier Inc, 2008.
- [43] Industrial Technologies Program Energy Efficiency and Renewable Energy - U.S. Department of Energy. *Energy Tips - Process Heating - Check Burner Air to Fuel Ratios*, 2007.
- [44] V. Magueiro. *Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto*. ADENE, 2010.
- [45] DIAL. Url: <https://www.dial.de/en/blog/article/efficiency-of-ledsthe-highest-luminous-efficacy-of-a-white-led/>, acedido em janeiro de 2019.
- [46] Diário da República n.º 233; 1.ª Série. Portaria n.º 349-d/2013 de 2 de dezembro.
- [47] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. *Regulamento Tarifário do setor elétrico*, outubro de 2017.
- [48] V. Santos, J. Braz, and A. Simões. *Informação sobre Faturação de Energia Reativa*. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, julho de 2010.
- [49] Fluke Corporation. Url: <http://www.fluke.com/>, acedido em março de 2019.
- [50] Instrumentos Testo S.A. Url: <http://www.testo.com/pt-pt>, acedido em março de 2019.
- [51] PCE Instruments. Url: <https://www.pce-instruments.com>, acedido em março de 2019.
- [52] Grupo Contimetra. Contimetra, url: <https://www.contimetra.com/>, acedido em setembro de 2019.
- [53] Energy efficiency technology CIRCUITOR. Circuitur, url: <http://circuitur.com/en>, acedido em setembro de 2019.
- [54] Tribunal de Contas. Url: <https://www.tcontas.pt>, acedido em outubro de 2019.
- [55] Ecoinside. Sustainability partners, url: <http://www.ecoinside.pt>, acedido em janeiro de 2019.

- [56] EDP. Conheça a origem da energia, url: <https://www.edp.pt/corporate/apoio-cliente/origem-energia>, acessado em março de 2019.
- [57] ERSE. Portal erse - glossário, url: <http://www.erse.pt/pt/glossario/paginas/glossario.aspx?folder=85b33536-bb3c-4bda-bed0-80a221a9a504>, acessado em janeiro de 2019.
- [58] EURO-MATIC UK LTD. Croffles, url: <https://www.euro-matic.co.uk/croffles/>, acessado em junho de 2019.
- [59] The Engineering Toolbox. Url: [https://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-open-water-tanks-d\\_286.html](https://www.engineeringtoolbox.com/heat-loss-open-water-tanks-d_286.html), acessado em junho de 2019.
- [60] Carrier. *Heat recovery from air-cooled chillers - Applications for Heat Reclaim Chillers*, 2009.
- [61] Babcock Wanson. Tpc-b: Caldeira de fluido térmico, março de 2017.
- [62] ERSE. Url: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/paginas/ciclosemanaltodosforneceptcont.aspx>, acessado em janeiro de 2019.



# Apêndice A

## Informação legislativa

Tabela A.1: Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental [62].

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental	
Período de hora legal de Inverno	Período de hora legal de Verão
<b>De segunda-feira a sexta-feira</b>	<b>De segunda-feira a sexta-feira</b>
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
<b>Sábado</b>	<b>Sábado</b>
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
<b>Domingo</b>	<b>Domingo</b>
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

Tabela A.2: Poderes Caloríficos Inferiores e Fatores de Emissão para combustíveis do Despacho n.º 17313/2008 [24].

Combustível	PCI (MJ/kg)	PCI (tep/t)	FE (kgCO <sub>2</sub> e/GJ)	FE (kgCO <sub>2</sub> e/tep)
Antracite . . . . .	26,7	0,638	98,2	4111,4
Betume / Alcatrão . . . . .	40,2	0,96	80,6	3374,6
Biogasolina e Biodiesel . . . . .	27	0,645	0	0,0
Briquetes de lignite . . . . .	20	0,478	101,1	4232,9
Briquetes de turfa . . . . .	16 — 16,8	0,382 — 0,401	105,9	4433,8
Carvão betuminoso . . . . .	25,8	0,616	94,5	3956,5
Carvão sub-betuminoso . . . . .	18,9	0,451	96,0	4019,3
Carvão vegetal . . . . .	29,5	0,705	0	0,0
Combustível para motor (gasolina) . . . . .	44 — 45	1,051 — 1,075	69,2	2897,3
Coque de Carvão . . . . .	28,2	0,674	94,5	3956,5
Coque de forno / lignite ou gás . . . . .	28,2 — 28,5	0,674 — 0,681	107	4479,9
Coque de Petróleo . . . . .	31 — 32,5	0,740 — 0,776	97,5	4082,1
Etano . . . . .	46,4	1,108	61,6	2579,1
Fuelóleo pesado . . . . .	40 — 40,4	0,955 — 0,965	77,3	3236,4
Fuelóleo . . . . .	41,2	0,984	77,3	3236,4
Gás de Alto Forno . . . . .	2,5	0,060	259,4	10860,6
Gás de coqueria e de fábricas de Gás. . . . .	38,7	0,924	44,7	1871,5
Gás de forno de acearia a oxigénio . . . . .	7,1	0,170	171,8	7192,9
Gás de petróleo liquefeito . . . . .	46 — 47,3	1,099 — 1,130	63,0	2637,7
Gás de Refinaria . . . . .	49,5	1,182	51,3	2147,8
Gás natural (superior a 93 % de metano) . . . . .	47,2 — 48	1,127 — 1,146	56,1	2348,8
Gás natural liquefeito . . . . .	44,2 — 45,2	1,056 — 1,080	64,1	2683,7
Gás natural (l) . . . . .	45,1	1,077	64,1	2683,7
Gases de aterro/ lamas de depuração e outros biogases . . . . .	50,4	1,204	0	0,0
Gasóleo / Diesel . . . . .	42,3 — 43,3	1,010 — 1,034	74,0	3098,2
Hulha . . . . .	17,2 — 30,7	0,411 — 0,733	97,5	4082,1
Lignite castanha . . . . .	5,6 — 10,5	0,134 — 0,251	101,1	4232,9
Lignite negra . . . . .	10,0 — 21	0,239 — 0,502	101,1	4232,9
Lubrificantes, ceras parafínicas e outros produtos Petrolíferos . . . . .	40,2	0,960	73,3	3068,9
Madeira / resíduos de Madeira . . . . .	13,8 — 15,6	0,330 — 0,373	0	0,0
Matérias-primas para refinaria . . . . .	43	1,027	73,3	3068,9
Metano . . . . .	50	1,194	54,9	2298,6
Monóxido de Carbono . . . . .	10,1	0,241	155,2	6497,9
Nafta química / Condensados de gasolina . . . . .	44,5	1,063	73,3	3068,9
Óleo de xisto . . . . .	38,1	0,910	73,3	3068,9
Óleos usados . . . . .	40,2	0,960	73,3	3068,9
Orimulsão . . . . .	27,5	0,657	76,9	3219,6
Outra biomassa primária sólida . . . . .	11,6	0,277	0	0,0
Outros biocombustíveis Líquidos . . . . .	27,4	0,654	0	0,0
Peletes / briquetes de madeira . . . . .	16,8	0,401	0	0,0
Petróleo Bruto . . . . .	42,3	1,01	73,3	3068,9
Querosene . . . . .	43,8	1,046	71,8	3006,1
Resíduos Industriais . . . . .	7,4 — 10,7	0,177 — 0,256	142,9	5982,9
Turfa . . . . .	7,8 — 13,8	0,186 — 0,330	105,9	4433,8
Xisto betuminoso . . . . .	8 — 9	0,191 — 0,215	106,6	4463,1

Tabela A.3: Tabela de Deflatores, de acordo com o ano de referência do Plano de Racionalização dos consumos de Energia (adaptado de [18]) .

Ano de referência, X	Deflatores de VAB $_{YX}$			
2006	Defl. 2008/2006 = 1,04626	Defl. 2010/2006 = 1,06856	Defl. 2012/2006 = 1,05180	Defl. 2014/2006 = 1,07781
2007	Defl. 2009/2007 = 1,04124	Defl. 2011/2007 = 1,03827	Defl. 2013/2007 = 1,03795	Defl. 2015/2007 = 1,06371
2008	Defl. 2010/2008 = 1,02974	Defl. 2012/2008 = 1,00530	Defl. 2014/2008 = 1,02563	Defl. 2016/2008 = 1,06701
2009	Defl. 2011/2009 = 1,00219	Defl. 2013/2009 = 1,00178	Defl. 2015/2009 = 1,02023	Defl. 2017/2009 = 1,05202
2010	Defl. 2012/2010 = 0,98714	Defl. 2014/2010 = 1,00318	Defl. 2016/2010 = 1,04365	Defl. 2018/2010 = 1,07428
2011	Defl. 2013/2011 = 1,01005	Defl. 2015/2011 = 1,03547	Defl. 2017/2011 = 1,06773	
2012	Defl. 2014/2012 = 1,02953	Defl. 2016/2012 = 1,07271	Defl. 2018/2012 = 1,10419	
2013	Defl. 2015/2013 = 1,02410	Defl. 2017/2013 = 1,05601		
2014	Defl. 2016/2014 = 1,04084	Defl. 2018/2014 = 1,07138		
2015	Defl. 2017/2015 = 1,02947			
2016	Defl. 2018/2016 = 1,03259			



# Apêndice B

## Informação recolhida

Tabela B.1: Lista de motores elétricos AC com VEV e respetivas potências nominais.

Motores com VEV					
Processo/Local	Equipamento	Componente	Un.	Pn [kW]	Pn total [kW]
Lacagem efeito madeira	Forno lacado madeira	Ventilador 1	1	11,5	11,5
		Ventilador 2	1	11,5	11,5
		Mesa delocação	1	0,75	0,75
		Turbina vácuo	1	1,5	1,5
Lacagem	Cabine pintura cores	Plataforma	2	0,75	1,5
		Pistolas de pó	1	2,5	2,5
		Pistolas de pó	1	2,5	2,5
	Cabine pintura branco	Plataforma	2	0,75	1,5
		Pistolas de pó	1	3,1	3,1
		Pistolas de pó	1	3,1	3,1
Anodização	Ponte grua 1	Translação	2	0,95	1,9
	Ponte grua 2	Translação	2	0,95	1,9
Embalamento	Máquina embalar velha	-	1	0,37	0,37
		-	1	2,2	2,2
	Máquina embalar nova	-	1	1,5	1,5
		-	1	0,25	0,25
Polimento	Máquina polir velha	Elevação das cabeças	2	0,75	1,5
		Carro	1	2,2	2,2

Total	51,270 kW
-------	-----------

Tabela B.2: Lista de motores elétricos AC sem VEV e respetivas potências nominais.

Motores sem VEV						
Processo / Local	Equipamento	Componente	Un.	Pn [kW]	Pn total [kW]	
Armazém	Ponte-grua 1	Traslação	2	0,7	1,4	
		Carrinho	1	0,09	0,09	
		Elevação	1	4,8	4,8	
	Ponte-grua 2	Traslação	2	0,7	1,4	
		Carrinho	1	0,09	0,09	
		Elevação	1	4,8	4,8	
Lacagem efeito madeira	Empaquetadora horizontal	-	1	5	5	
	Serra de corte do filme	-	1	1,2	1,2	
Lacagem	Ponte grua pré-tratamento	Traslação	2	0,3	0,6	
		Elevação	2	1,7	3,4	
	Bomba doseamento	-	3	0,017	0,051	
	Bomba depósito	-	1	0,5	0,5	
	Bomba tanque	-	1	0,5	0,5	
	Forno pré-tratamento	Ventilador	2	7,5	15	
	"Cadeia"	-	1	1,1	1,1	
	Cabine pintura cores	Ventilador	1	5,5	5,5	
		Raspador	1	0,18	0,18	
		Vibrador	1	0,18	0,18	
		Ventilador	1	5,5	5,5	
		Cabine pintura branco	Raspador	1	0,18	0,18
			Vibrador	1	0,18	0,18
	Forno lacagem	Ventilador entrada/saída	2	4	8	
		Ventilador queimador	1	2,2	2,2	
		Turbina saída gases	1	3	3	
		Cortina ar	4	7,5	30	
		Desmineralizador	Bomba	3	1,5	4,5
	Ventilador de teto	-	3	2	6	
	Aspirador	-	2	2,2	4,4	
Anodização	Ponte grua 1	Elevação	2	1,7	3,4	
	Ponte grua 2	Elevação	2	1,7	3,4	
	Permutador	Bomba de ácido	4	4	16	
		Bomba de água 1	1	2,2	2,2	
		Bomba de água 2	1	4	4	
	Bomba do Chiller	-	1	4	4	
	Bomba do filtro	-	1	3	3	
	"Eletrosoprantes"	-	2	7,5	15	
	Desmineralizador	Bomba	2	4	8	
		Bomba água quente	1	0,75	0,75	
	Bomba doseadora 1	-	1	0,06	0,06	
	Bomba doseadora 2	-	1	0,017	0,017	
	Ventilador de teto	-	4	2	8	
	Embalamento	Máquina embalar velha	-	2	0,37	0,74
Máquina polir velha		-	2	22	44	
Polimento	Máquina polir nova	-	1	15	15	
		Central hidráulica	1	2,2	2,2	
	Esmeril	-	1	2,4	2,4	
	Turbina de aspiração	-	1	10	10	
ETAR	Agitadores	Depósito ácido 1	1	0,75	0,75	
		Depósito ácido 2	1	0,75	0,75	
		Depósito de cal	5	1,5	7,5	
		Depósito de neutralização	5	1,5	7,5	
		Depósito de pré-neutralização	5	1,5	7,5	
		"Cantarinha"	5	1,5	7,5	
	Central hidráulica	-	1	2,2	2,2	
	Bomba saneamento e linha	-	3	2	6	
<b>Total</b>				<b>291,618 kW</b>		

Tabela B.3: Lista de equipamentos ou conjunto de equipamento consumidores intensivos de energia e respectivas potências nominais.

Consumidores intensivos de energia					
Processo/Local	Equipamento	Componente	Un.	Pn [kW]	Pn total [kW]
Lacagem	Forno lacado madeira	-	1	50	50
Geral	Iluminação sem LED	-	1	19,32	19,32
Anodização	Retificador 1	-	1	222	222
	Retificador 2	-	1	222	222
	Retificador 3	-	1	256	256
	Retificador coloração	-	1	140	140
	Chiller 1	-	1	124,9	124,9
	Chiller 2	-	1	137	137
Comum Anodização	Compressor	-	2	55	110
	Secador	-	2	2	4
ETAR	Compressor	-	1	22	22
	Secador	-	1	0,74	0,74

Total	1 307,960 kW
-------	--------------

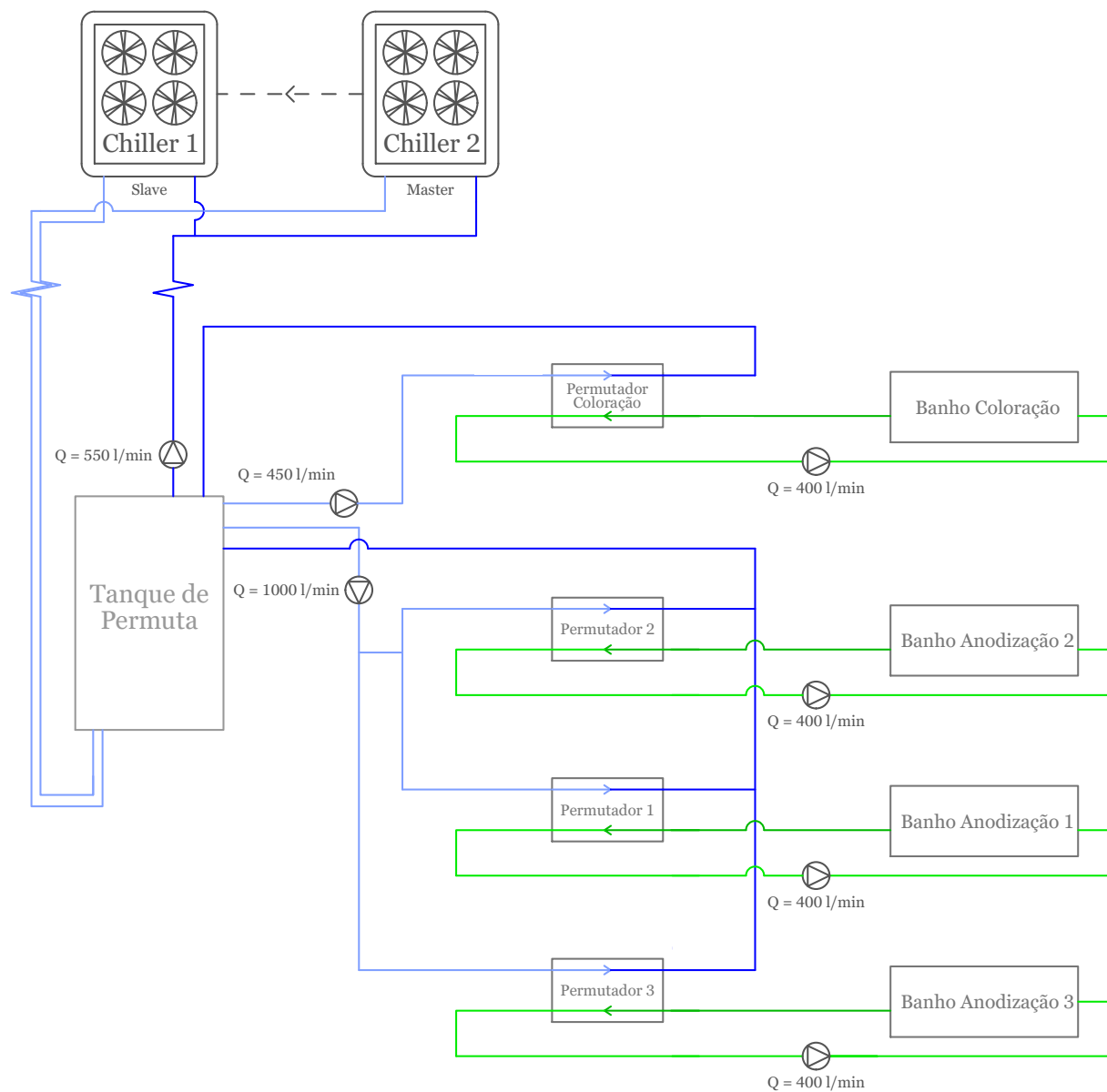


Figura B.1: Esquema simplificado do sistema de arrefecimento dos banhos de anodização.

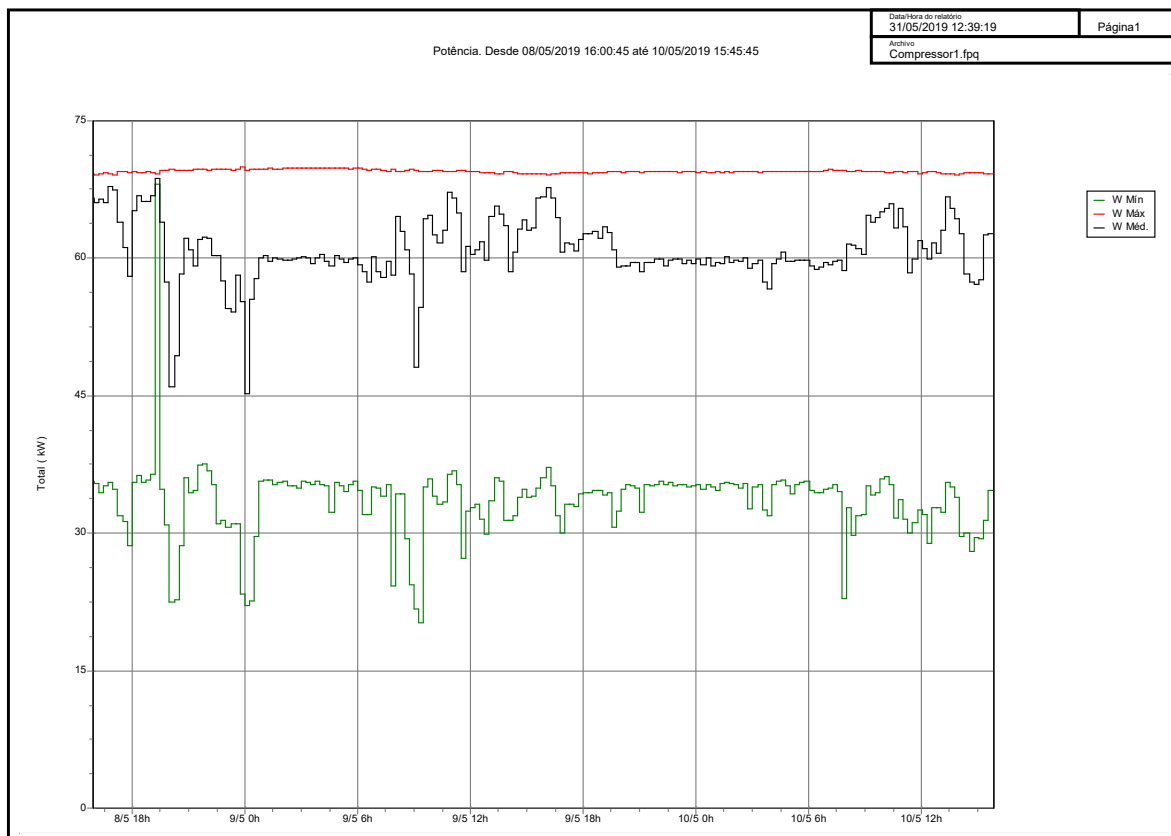


Figura B.2: Registos de potência máxima, média e mínima do compressor durante 48 horas.



# Apêndice C

## Procedimentos

Tabela C.1: Estimativa de consumo energético dos motores elétricos sem VEV (Parte I).

Motores sem VEV (Parte I)									
Processo / Local	Equipamento	Componente	Un.	Pn [kW]	Pn total [kW]	Turnos	Fator de utilização (%)	Horas/dia	kWh/dia
Armazém	Ponte-grua 1	Traslação	2	0,7	1,4	3	25%	6	8,4
		Carrinho	1	0,09	0,09		25%	6	0,5
		Elevação	1	4,8	4,8		25%	6	28,8
	Ponte-grua 2	Traslação	2	0,7	1,4		30%	7,2	10,1
		Carrinho	1	0,09	0,09		30%	7,2	0,6
		Elevação	1	4,8	4,8		30%	7,2	34,6
Lacagem efeito madeira	Empaquetadora horizontal	-	1	5	5	2	40%	6,4	32,0
	Serra de corte do filme	-	1	1,2	1,2		1%	0,16	0,19
Lacagem	Ponte grua pré-tratamento	Traslação	2	0,3	0,6	3	40%	9,6	5,8
		Elevação	2	1,7	3,4		40%	9,6	32,6
	Bomba doseamento	-	3	0,017	0,051		50%	12	0,6
	Bomba depósito	-	1	0,5	0,5		25%	6	3,0
	Bomba tanque	-	1	0,5	0,5		25%	6	3,0
	Forno pré-tratamento "Cadeia"	Ventilador	2	7,5	15		100%	24	360,0
		-	1	1,1	1,1		100%	24	26,4
	Cabine pintura cores	Ventilador	1	5,5	5,5		50%	12	66,0
		Raspador	1	0,18	0,18		50%	12	2,2
		Vibrador	1	0,18	0,18		50%	12	2,2
	Cabine pintura branco	Ventilador	1	5,5	5,5		50%	12	66,0
		Raspador	1	0,18	0,18		50%	12	2,2
		Vibrador	1	0,18	0,18		50%	12	2,2
	Forno lacagem	Ventilador entrada/saída	2	4	8		100%	24	192,0
		Ventilador queimador	1	2,2	2,2		100%	24	52,8
		Turbina saída gases	1	3	3		100%	24	72,0
		Cortina ar	4	7,5	30		100%	24	720,0
Desmineralizador	Bomba	3	1,5	4,5	100%	24	108,0		
Ventilador de teto	-	3	2	6	100%	24	144,0		
Aspirador	-	2	2,2	4,4	10%	2,4	10,6		

Tabela C.2: Estimativa de consumo energético dos motores elétricos sem VEV (Parte II).

Motores sem VEV (Parte II)											
Processo / Local	Equipamento	Componente	Un.	Pn [kW]	Pn total [kW]	Turnos	Fator de utilização (%)	Horas/dia	kWh/dia		
Anodização	Ponte grua 1	Elevação	2	1,7	3,4	2	50%	8	27,2		
		Elevação	2	1,7	3,4		50%	8	27,2		
	Permutador	Bomba de ácido	4	4	16		90%	14,4	230,4		
		Bomba de água 1	1	2,2	2,2		90%	14,4	31,7		
		Bomba de água 2	1	4	4		90%	14,4	57,6		
	Bomba do Chiller	-	1	4	4		100%	16	64,0		
	Bomba do filtro	-	1	3	3		25%	4	12,0		
	"Eletrosoprantes"	-	2	7,5	15		100%	16	240,0		
	Desmineralizador	Bomba	2	4	8		100%	16	128,0		
		Bomba água quente	1	0,75	0,75		0%	0	0,0		
	Bomba doseadora 1	-	1	0,06	0,06		50%	8	0,5		
	Bomba doseadora 2	-	1	0,017	0,017		50%	8	0,1		
	Ventilador de teto	-	4	2	8		100%	16	128,0		
	Embalamento	Máquina embalar velha	-	2	0,37		0,74	3	70%	16,8	12,4
	Polimento	Máquina polir velha	-	2	22		44	1	5%	0,4	17,6
Máquina polir nova		-	1	15	15	10%	0,8		12,0		
		Central hidráulica	1	2,2	2,2	10%	0,8		1,8		
Esmeril		-	1	2,4	2,4	5%	0,4		1,0		
Turbina de aspiração		-	1	10	10	10%	0,8		8,0		
ETAR	Agitadores	Depósito ácido 1	1	0,75	0,75	1	50%	4	3,0		
		Depósito ácido 2	1	0,75	0,75		10%	0,8	0,6		
		Depósito de cal	5	1,5	7,5		10%	0,8	6,0		
		Depósito de neutralização	5	1,5	7,5		100%	8	60,0		
		Depósito de pré-neutralização	5	1,5	7,5		100%	8	60,0		
		"Cantarinha"	5	1,5	7,5		50%	4	30,0		
		Central hidráulica	-	1	2,2		2,2	30%	2,4	5,3	
		Bomba saneamento e linha	-	3	2		6	40%	3,2	19,2	

Tabela C.3: Estimativa de consumo energético dos motores elétricos com VEV.

Motores com VEV									
Processo/Local	Equipamento	Componente	Un.	Pn [kW]	Pn total [kW]	Turnos	Fator de utilização (%)	Horas/dia	kWh/dia
Lacagem efeito madeira	Forno lacado madeira	Ventilador 1	1	11,5	11,5	2	50%	8	92
		Ventilador 2	1	11,5	11,5		50%	8	92
		Mesa delocação	1	0,75	0,75		10%	1,6	1,2
		Turbina vácuo	1	1,5	1,5		50%	8	12
Lacagem	Cabine pintura cores	Plataforma	2	0,75	1,5	3	5%	1,2	1,8
		Pistolas de pó	1	2,5	2,5		50%	12	30
		Pistolas de pó	1	2,5	2,5		50%	12	30
	Cabine pintura branco	Plataforma	2	0,75	1,5		5%	1,2	1,8
		Pistolas de pó	1	3,1	3,1		50%	12	37,2
		Pistolas de pó	1	3,1	3,1		50%	12	37,2
Anodização	Ponte grua 1	Translação	2	0,95	1,9	2	50%	8	15,2
	Ponte grua 2	Translação	2	0,95	1,9		50%	8	15,2
Embalamento	Máquina embalar velha	-	1	0,37	0,37	3	80%	19,2	7,104
		-	1	2,2	2,2		80%	19,2	42,24
	Máquina embalar nova	-	1	1,5	1,5		60%	14,4	21,6
		-	1	0,25	0,25		60%	14,4	3,6
Polimento	Máquina polir velha	Elevação das cabeças	2	0,75	1,5	1	5%	0,4	0,6
		Carro	1	2,2	2,2		5%	0,4	0,88

Tabela C.4: Estimativa de consumo energético dos principais equipamentos elétricos - valores assinalados representam ajustes através de medição.

Consumidores intensivos de energia									
Processo/Local	Equipamento	Componente	Un.	Pn [kW]	P nominal / ajustada [kW]	Turnos	Fator de utilização (%)	Horas/dia	kWh/dia
Lacagem	Forno lacado madeira	-	1	50	50	3	5%	1,2	60
Geral	Iluminação sem LED	-	1	19,32	19,32	3	80%	19,2	371
Anodização	Retificador 1	-	1	222	77,9	2	80%	12,8	997
	Retificador 2	-	1	222	77,9		80%	12,8	997
	Retificador 3	-	1	256	89,8		80%	12,8	1149
	Retificador coloração	-	1	140	49,1		40%	6,4	314
	Chiller 1	-	1	124,9	14,0		-	16	224
	Chiller 2	-	1	137	63,7	-	16	1020	
Comum Anodização	Compressor	-	2	55	60,9	3	-	24	1462
	Secador	-	2	2	4		90%	21,6	86,4
ETAR	Compressor	-	1	22	22	1	80%	6,4	141
	Secador	-	1	0,74	0,74		80%	6,4	5

Tabela C.5: Cálculo da distribuição de consumo de gás natural pelos processos de Anodização e Lacagem.

Consumo médio [m <sup>3</sup> /h]	Turnos	Consumo diário	Consumo anual	Consumo anual ajustado	Distribuição		
Lacagem	41,2	3,0	850,4	212591	197454	54,3%	
Anodização	52,1	2,0	716,5	179117	166363	45,7%	
Ambos	65,3	-	1566,8	Total	391709	363817	100,0%
Ponderação	76,0	-	-	Referência (2018)	363817	-	
		Desvio	0,0%	Desvio	-7,7%	0,0%	

Tabela C.6: Cálculos das perdas de evaporação nos banhos quentes da Anodização.

Etapa	Volume [m <sup>3</sup> ]	T. [°C]	Área [m <sup>2</sup> ]	T. média [°C]	Perdas por evaporação [W/m <sup>2</sup> ]	Q [kW]	Energia [kWh]	[tep]
Desengordurante alcalino	18	40 a 65	8	52,5	1382	11,06	33178	2,9
Acetinagem	18	60 a 65	8	62,5	2362	18,90	56694	4,9
Decapagem alcalina	18	40 a 45	8	42,5	467	3,74	11213	1,0
Selagem a quente 1	25	> 98	15	98	10214	153,21	459630	39,5
Selagem a quente 2	35	> 98	18	98	10214	183,85	551556	47,4

Tabela C.7: Cálculos das perdas de convecção nos banhos quentes da Anodização.

Coeficientes de correlação para transferência de calor por convecção natural (unidades S.I.)

Placa vertical isotérmica

Fluido ar**Dados**

Temp. do Fluido (ar), $T_{\infty} =$	<u>20</u>	$^{\circ}\text{C}$
Temp. da Superfície, $T_w =$	<u>40</u>	$^{\circ}\text{C}$
Temp. de filme, $T_f =$ [ $T_f = (T_{\infty} + T_w)/2$ ]	<u>30</u>	$^{\circ}\text{C}$
L (altura da placa), $H =$	<u>2,0</u>	m
Massa volúmica do fluido, $\rho^* =$	<u>1,1</u>	$\text{kg}/\text{m}^3$
Viscosidade do fluido, $\mu =$	<u>1,90E-05</u>	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
Calor específico (pressão constante), $C_p =$	<u>1</u>	$\text{J}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{K}$
Calor específico (pressão constante), $C_p =$	<u>1000</u>	$\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{K}$
Condutividade térmica do fluido, $k =$	<u>0,027</u>	$\text{J}/\text{s}\cdot\text{m}\cdot\text{K}$
Coefficiente de expansão térmica do fluido, $\beta =$	<u>3,30E-03</u>	$^{\circ}\text{K}^{-1}$
Aceleração, $g =$	<u>9,81</u>	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
Difusibilidade térmica, $a =$	<u>2,45E-05</u>	
Viscosidade cinemática, $\nu =$	<u>1,67E-05</u>	
Comprimento da placa, $B =$	<u>2,2</u>	m

**Cálculos**

Diferença de Temp. $\Delta T =$	<u>20</u>	$^{\circ}\text{C}$
Temp. Abs. Filme, $T_f =$	<u>303</u>	K
Prandtl, $Pr =$	<u>0,700</u>	
Grashof, $Gr =$	<u>1,85E+10</u>	
Rayleigh, $Ra =$	<u>1,29E+10</u>	
Nusselt, $Nu =$	<u>273</u>	<u>174</u>
Coefficiente de convecção, $h =$	<u>3,69</u>	$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$
Perda de calor, $q =$	<u>324,55</u>	W

**Resultados**

Diferença de Temp. $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$ <small>Desengorduramento, Acetinagem e Decapagem</small>	<b>Perda [W]</b>	Placa
	522	8x2,2
	65	1x2,2
Diferença de Temp. $\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$ <small>Selagem a quente 1 e 2.</small>	<b>Perda [W]</b>	Placa
	228	1,8x1,7
	<b>Perda [W]</b>	Placa
	1180	8x2
	325	2,2x2

Tabela C.8: Cálculos da distribuição do consumo de combustível na Anodização com base nas perdas.

Banho	Volume [m <sup>3</sup> ]	Temperatura	Área [m <sup>2</sup> ]	T. média	Perdas evaporação [W]	Perdas convecção [W]	Perdas radiação [W]	Q Perdas [kW]	C alumínio [kg/K]	Massa alumínio [kg]
Desengordurante alcalino	18	40 a 65°C	8	52,5	11059	652	1411	13	900	896154
Acetinagem	18	60 a 65°C	8	62,5	11059	130	2021	13		
Decapagem alcalina	18	40 a 45°C	8	42,5	11059	130	854	12		
Selagem a quente 1	25	98-100°C	15	99	61284	455	3569	65		
Selagem a quente 2	35	98-100°C	18	99	73541	1829	4282	80		
Total	114	-	57	-	168003	3197	12137	183		

Banho	Energia Perdas [kWh]	Reposição evaporação [kg/h]	Energia reposição [kWh]	Energia s/ gases [tep]	T. e. ar	T. s. gases	Distribuição iterativa	Energia gases [tep]	Energia alumínio [tep]	Total [tep]	Distribuição final
Desengordurante alcalino	39366	15,5	44458	7,21		340	7,8%	1,70	0,53	9,44	8,1%
Acetinagem	39632	15,5	58137	8,41		340	9,0%	1,99	1	11,12	9,6%
Decapagem alcalina	36132	15,5	30778	5,75	25	340	6,2%	1,36	0	6,73	5,8%
Selagem a quente 1	195923	85,7	167760	31,28		240	33,6%	5,04	1	37,65	32,4%
Selagem a quente 2	238957	102,8	230148	40,34		340	43,4%	9,53	1	51,20	44,1%
Total	550010	235	531280	92,99	-	-	100%	19,63	3,53	116,14	100%

Energia disponível combustível [tep]	135,44
Diferença [tep]	-19,30

Eficiência de queima 90%	Desvio -14,25%
--------------------------	----------------

Tabela C.9: Cálculo da tarifa de eletricidade relativa aos equipamentos de iluminação.

Tarifário	€/kWh	h/dia					
		Verão			Inverno		
		semana	Sábado	Domingo	semana	Sábado	Domingo
Ponta Energia+ redes + PHP	0,331498	3	0	0	5	0	0
Cheia Energia + redes	0,109098	14	7	0	12	7	0
Vazio Energia + redes	0,089898	3	13	0	3	13	0
S. Vazio Energia + redes	0,089198	4	4	0	4	4	0
	Horas/dia	24	24	0	24	24	0
	Dias / ano	149	31	0	100	21	0
	Custo médio / dia	0,13118 €	0,09538 €	- €	0,14972 €	0,09538 €	- €
	Tarifa média	0,13115 €					

	Tarifa Energia	Tarifa Redes	PHP
Ponta	0,067798 €	0,0490 €	0,2147 €
Cheia	0,067798 €	0,0413 €	
Vazio	0,067798 €	0,0221 €	
Super Vazio	0,067798 €	0,0214 €	

Tabela C.10: Estimativa do consumo de energia anual da iluminação com potencial de melhoria.

SITUAÇÃO ATUAL						
Local	Tipo	Qtd	Pot.	Horas fun	Consumo ano	
		Lamp	W	h/dia	kWh/ano	tep
Lacagem	Luminária Industrial Iodetos Metálicos	10	400	21,00	26 250	5,64
Armazém	Outro	10	75	21,00	4 922	1,06
Gabinete Expedição	Lâmpada T8 36W 1200mm	2	36	21,00	473	0,10
Lacagem Efeito Madeira	Lâmpada T8 36W 1200mm	6	36	14,00	945	0,20
Lacagem	Lâmpada T8 36W 1200mm	4	36	21,00	945	0,20
Lacagem	Outro	2	150	21,00	1 969	0,42
Anodização	Luminária Industrial Iodetos Metálicos	24	400	14,00	42 000	9,03
Polimento	Lâmpada T8 36W 1200mm	32	36	7,00	2 520	0,54
Polimento	Luminária Industrial Iodetos Metálicos	2	400	7,00	1 750	0,38
Laboratório	Outro	24	18	7,00	945	0,20
Outros	Lâmpada T8 36W 1200mm	11	36	7,00	866	0,19
Gabinetes e Outros	Outro	81	18	7,00	3 189	0,69
	Total	208	19320		86 774	18,66

Tabela C.11: Cálculo da poupança de energia anual da iluminação eficiente LED.

							Tarifa [€/MWh]
							131,15
Proposta LED							
Lâmpada		Qtd	Pot	Consumo ano	Poupança anual		
Local	Tipo	W	kWh/ano	tep/ano	kWh/ano	€	
Lacagem	VOYAGER II 150W, CRI>80, 60°, 5500K	14	150	11 308	3,21	14 942	1 959,75 €
Anodização	VOYAGER II 150W, CRI>80, 90°, 5500K	10	150	5 385	2,60	12 115	1 588,98 €
Anodização	VOYAGER II 150W, CRI>80, 60°, 5500K	14	150	7 538	3,65	16 962	2 224,58 €
		<b>TOTAL:</b>		<b>24 231</b>	<b>9,46</b>	<b>44 019</b>	<b>5 773,31 €</b>

## Plano de trabalho / Potência luminosa vertical (adaptivo)



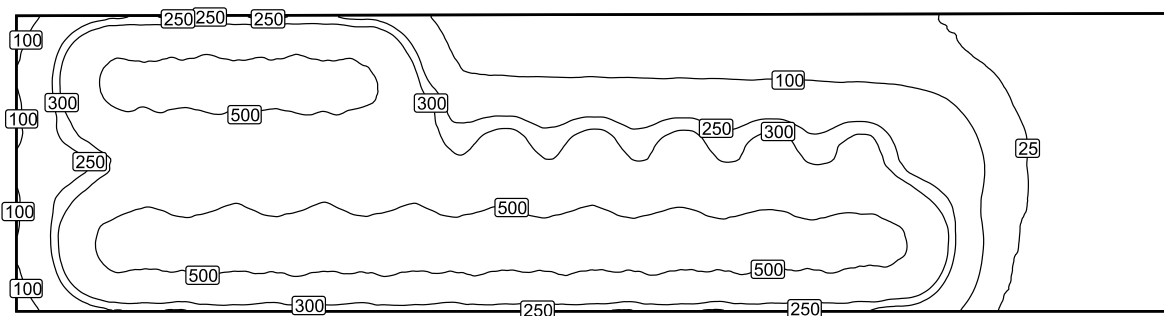
Plano de trabalho: Potência luminosa vertical (adaptivo) (Superfície)

Cenário de Luz: Cenário de Luz 1

Médio: 284 lx (Nominal:  $\geq 500$  lx), Min: 8.39 lx, Máx: 590 lx, Min/Médio: 0.030, Min/ Máx: 0.014

Altura: 1.500 m, Zona marginal: 0.000 m

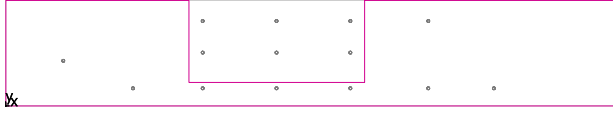
Linhas isográficas [lx]



Escala: 1 : 406

Figura C.1: Resultado do estudo luminotécnico para a área da Anodização.

## Plano de trabalho superior / Potência luminosa vertical (adaptivo)



Considerando 1,5m + 0,65m de altura do fosso

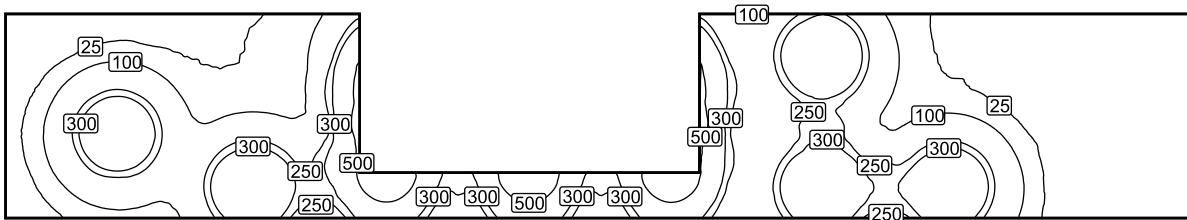
Plano de trabalho superior: Potência luminosa vertical (adaptivo) (Superfície)

Cenário de Luz: Cenário de Luz 1

Médio: 176 lx (Nominal:  $\geq 500$  lx), Min: 4.88 lx, Máx: 626 lx, Min/Médio: 0.028, Mín/ Máx: 0.008

Altura: 2.150 m, Zona marginal: 0.000 m

Linhas isográficas [lx]



Escala: 1 : 407

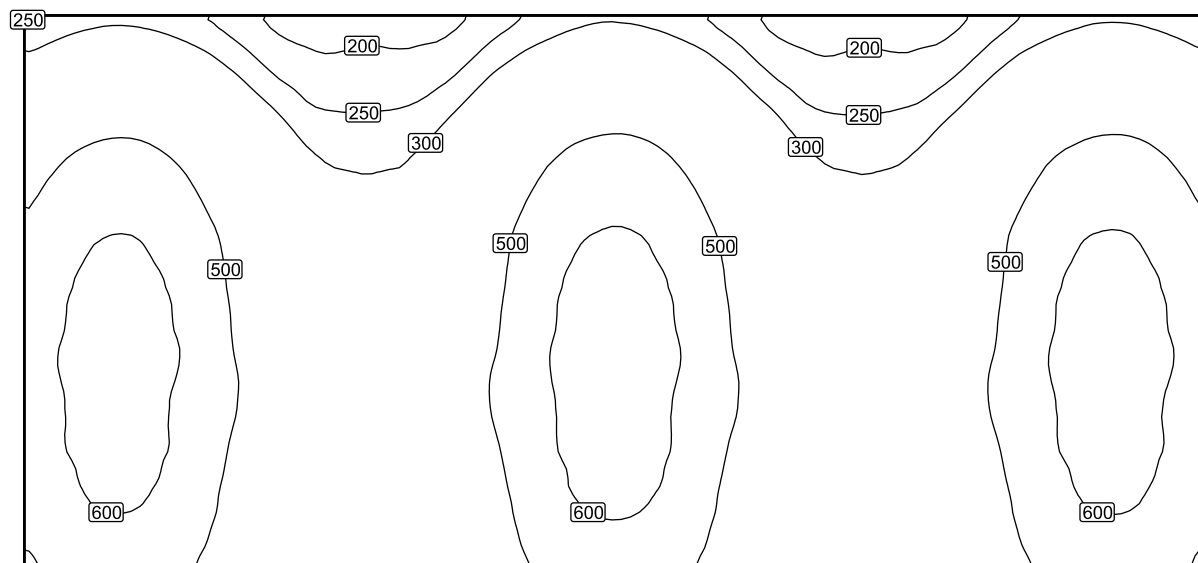
Figura C.2: Resultado do estudo luminotécnico para a área geral da Lacagem.

## Zona de pintura / Potência luminosa vertical (adaptivo)



Zona de pintura: Potência luminosa vertical (adaptivo) (Superfície)  
Cenário de Luz: Cenário de Luz 1  
Médio: 445 lx, Min: 170 lx, Máx: 648 lx, Mín/Médio: 0.38, Mín/ Máx: 0.26

## Linhas isográficas [lx]



Escala: 1 : 117

Figura C.3: Resultado do estudo luminotécnico para a área de pintura da Lacagem.

Tabela C.12: Plano de implementação das medidas de racionalização de energia.

Medida	Un.	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	Total	Un.	Investimento	Poupança anual	Poupança total
<b>Iluminação</b>	tep	18,46	18,46	18,46	18,46	18,46	18,46	18,46	18,46	<b>147,68</b>	tep	13 870 €	11 517 €	92 136 €
	tCO2e	40,354	40,354	40,354	40,354	40,354	40,354	40,354	40,354	<b>322,84</b>	tCO2e			
<b>Monitorização e SGE</b>	tep	-	23,37	23,37	23,37	23,37	23,37	23,37	23,37	<b>163,57</b>	tep	36 246 €	12 883 €	90 179 €
	tCO2e	-	55,998	55,998	55,998	55,998	55,998	55,998	55,998	<b>391,98</b>	tCO2e			
<b>Isolamento (Esferas)</b>	tep	-	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	<b>42,63</b>	tep	3 923 €	2 949 €	20 645 €
	tCO2e	-	16,366	16,366	16,366	16,366	16,366	16,366	16,366	<b>114,56</b>	tCO2e			
<b>Queimadores</b>	tep	-	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	12,40	<b>86,80</b>	tep	18 150 €	6 050 €	42 349 €
	tCO2e	-	33,323	33,323	33,323	33,323	33,323	33,323	33,323	<b>233,26</b>	tCO2e			
<b>Total</b>	tep	<b>18,460</b>	<b>60,317</b>	<b>60,317</b>	<b>60,317</b>	<b>60,317</b>	<b>60,317</b>	<b>60,317</b>	<b>60,317</b>	<b>440,679</b>	tep	72 188 €	33 399 €	245 309 €
	tCO2e	<b>40,354</b>	<b>146,040</b>	<b>146,040</b>	<b>146,040</b>	<b>146,040</b>	<b>146,040</b>	<b>146,040</b>	<b>146,040</b>	<b>1062,636</b>	tCO2e			


# Apêndice D

## Fichas técnicas

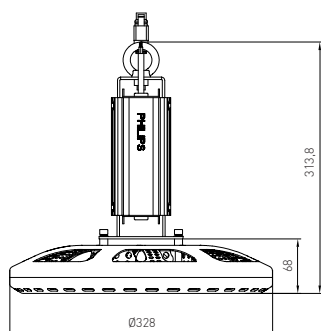
# VOYAGER

POWERED BY PHILIPS

## HIGH BAY LIGHT

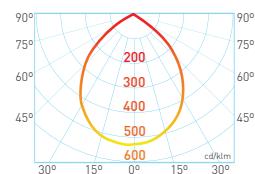


BRILUMEN DATA SHEET



- Luminous efficiency of 138 lumens per watt.
- Excellent lumens / price ratio. Return of the investment 4 to 5 times higher than the remaining high bays on the market with a similar luminous efficiency.
- Unified Glare Rating (UGR) < 19.

- Eficiência luminosa de 138 lúmenes por watt.
- Excelente relação lúmenes / preço. Retorno do investimento 4 a 5 vezes superior relativamente às restantes campânulas no mercado com um rendimento luminoso idêntico.
- Índice de Encandeamento reduzido (UGR) < 19.



1m	Ø1,98m	10.332 lx
2m	Ø3,97m	2.583 lx
3m	Ø5,95m	1.148 lx
4m	Ø7,93m	646 lx
5m	Ø9,92m	413 lx
6m	Ø11,91m	287 lx

### ORDER OPTIONS

OPÇÕES DE ENCOMENDA

PRODUCT CODE	POWER	CRI	BEAM ANGLE	CCT	LED LUMENS	LUMINAIRE LUMENS
717D.80.90.55	150W	>80	90°	5500K	20.700lm	19.500lm

#### NOTES:

1. If you install this high bay, you're promoting the employee's health in their workplace, because the flickering of the Philips driver is undetectable.

2. The luminaire is composed of more than 200 Philips Lumiled SMD 3030 LED chips, allowing a high distribution of the current and the output voltage of the driver. Thus, at low currents, with a range of 50-100mA, the LED achieves a significant efficiency and operates under low stress, reducing the degradation of the luminous flux and increasing its life-time.

#### NOTAS:

1. Ao instalar esta luminária está a promover a saúde dos colaboradores no seu local de trabalho, pois o flickering do driver Philips é impercetível.

2. A Campânula é composta por mais 200 chips LED Philips Lumiled SMD 3030, permitindo uma elevada distribuição da corrente e da tensão de saída do driver. Assim, em correntes baixas com um intervalo de 50-100mA, o LED alcança uma eficiência significativa e opera em stress reduzido, diminuindo a degradação do fluxo luminoso e aumentando a sua vida útil.

**brilumen**  
©2017 BRILUMEN ALL RIGHTS RESERVED

(+351) 220 920 550  
info@brilumen.com  
www.brilumen.com

Lighting emotions!

Figura D.1: Ficha técnica das luminárias LED utilizadas nos estudo luminotécnicos.