



Análise e optimização do consumo energético numa unidade de produção de tintas em pó

ROGÉRIO PORTELA AMORIM

Outubro de 2020

Análise e optimização do consumo energético numa unidade de produção de tintas em pó

Dissertação Submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química



Rogério Portela Amorim

Outubro de 2020

ORIENTAÇÃO

Diana Valdoleiros – *CIN Industrial Coatings*

Paula Cristina – ISEP

Madalena Freitas – ISEP

Agradecimentos

A conclusão deste trabalho coincide com o fim do meu percurso académico e aproveito para agradecer a todas as pessoas que me acompanharam nesta longa caminhada e contribuíram para a sua conclusão.

Agradeço à CIN, em particular à unidade produtiva Megadur pela oportunidade de realizar a presente dissertação nas suas instalações.

À Eng.^a Diana Valdoleiros um especial obrigado por toda a preocupação e amizade demonstrada.

Às Engenheiras Paula Cristina e Madalena Freitas agradeço por toda a orientação e acompanhamento durante todo o trabalho.

À minha família agradeço por tornarem este longo percurso possível e pelo apoio incondicional.

A todos os meus amigos um enorme obrigado por todas os momentos partilhados ao longo desta longa caminhada.

Resumo

Nos últimos anos, o elevado impacto económico do sector energético nas organizações promoveu uma procura de alternativas mais eficientes e rentáveis. Por conseguinte, o objectivo desta dissertação foi analisar os consumos energéticos numa unidade de produção de tinta em pó e sugerir alterações que permitam um aumento da eficiência energética. Para cumprir os objectivos propostos foram analisadas as facturas energéticas do ano de 2019 e comparadas com os valores obtidos na auditoria energética em 2016. Foram colocados registadores de potência nos principais consumidores de energia eléctrica presentes na unidade, realizados ensaios de detecção de fugas na rede de ar comprimido e analisados os consumos no sector da iluminação.

No ano de 2019, a unidade apresentou valores de consumo inferiores aos obtidos na última auditoria energética tendo, no entanto, os custos associados aumentado. As parcelas das facturas que apresentaram um acréscimo superior correspondem aos “restantes custos” e à “energia activa”. Em função destes consumos foram calculados os três indicadores energéticos (Intensidade Energética, Consumo Específico de Energia e Intensidade Carbónica) e conclui-se que apenas o consumo específico de energia não apresenta os valores dentro das metas estabelecidas pela auditoria.

Na unidade produtiva em estudo são anualmente consumidos 141 MWh no sector da iluminação que representa um custo de 15 mil euros. Na presente dissertação foi apresentada uma proposta de substituição das lâmpadas existentes por novas com consumos inferiores, representando uma diminuição de 61%. O investimento a realizar é de aproximadamente 8 mil euros e apresenta um *payback* de 1 ano.

As duas zonas de arrefecimento da empresa representam 23% do consumo total de energia activa. A análise dos valores obtidos permitiu concluir que a zona de arrefecimento **B** é a mais eficiente porque necessita de menos energia para entregar a mesma quantidade de frio aos consumidores. Foi realizada uma proposta de substituição dos dois *chillers* presentes na zona de arrefecimento **A** por equipamentos mais eficientes que representará uma redução de consumo de 44%, sendo o investimento amortizado ao fim de 5 anos.

A central de ar comprimido da empresa contém dois compressores com um consumo anual de 360 MWh. Durante os ensaios de detecção de fugas não só foram identificados os locais onde existem perdas, como também se determinou que são consumidos 77 MWh por ano. A eliminação das fugas corresponde a uma poupança de aproximadamente 8 mil euros por ano para a unidade produtiva.

Palavras-chave: Energia, Eficiência energética, Consumos energéticos

Abstract

In the last few years, the high economic impact of the energy sector on organizations has promoted a demand for more efficient and cost-effective alternatives. Therefore, the aim of this dissertation was to analyze energy consumption in a powder coating production unit and consequently to suggest changes that would allow an increase in energy efficiency.

To meet the proposed objectives, the energy bills of 2019 were analyzed and compared with the values obtained in the last energy audit, carried out on the unit. In addition, power loggers have been placed for periods of time in the main electricity consumers present at the unit, particular in the cooling zones and in the compressed air plant. During the dissertation, leak detection tests were performed in the compressed air network and consumption in the lighting sector was analyzed.

In 2019, the unit had lower consumption values than those obtained in the last energy audit, however the associated costs increased. The parameters of the invoices that showed a higher increase correspond to the “remaining costs” and the “active energy”. Depending on the consumptions, the three energy indicators (Energy Intensity, Specific Energy Consumption and Carbon Intensity) were calculated, and it is concluded that only the specific energy consumption does not present the values within the established goals.

In the production unit under study, 141 MWh are consumed annually in the lighting sector, which represents a cost of 15 thousand euros. In this dissertation, a proposal was presented to replace existing lamps with new ones with lower consumption, representing a decrease in consumption of 61%. The investment to be made by the company is approximately 8 thousand euros and has a payback of one year.

The company’s two cooling zones represent 23% of total active energy consumption. The analysis of the obtained values allowed us to conclude that cooling zone **B** is the most efficient because it requires less energy to produce the same quantity. Therefore, a proposal was made to replace the two chillers presents in cooling zone **A** with two more efficient equipment. This way, the company will have a consumption reduction of 44%, and the investment is amortized after 5 years.

The company’s compressed air plant contains two compressors with an annual consumption of 360 MWh. During the leak detection tests, not only were identified the locations where losses exist, but it was also determined that 77 MWh per year are consumed with leaks present in the compressed air network. The elimination of leaks corresponds to savings of approximately 8 thousand euros per year for the production unit.

Keywords: Energy, Energy efficiency, Energy consumption

Índice geral

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE GERAL	VII
ÍNDICE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
NOMENCLATURA	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	1
1.2 ENQUADRAMENTO DO PROJECTO E RESPECTIVOS OBJECTIVOS	2
2 TINTAS EM PÓ	5
2.1 INTRODUÇÃO ÀS TINTAS EM PÓ	5
2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS TINTAS EM PÓ.....	6
2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS TINTAS EM PÓ	6
2.4 DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO DE PRODUÇÃO.....	7
2.5 PRÉ-MISTURA	8
2.6 EXTRUSÃO	10
2.7 MICRONIZAÇÃO	12
3 ENERGIA, ENERGIA ELÉCTRICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	15
3.1 FUNDAMENTOS DE ENERGIA.....	15
3.2 ENERGIA ELÉCTRICA.....	15
3.3 FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉCTRICA.....	16
3.4 AUDITORIAS ENERGÉTICAS	19
3.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	21
3.6 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A SUA IMPORTÂNCIA	22
3.7 PRINCIPAIS MEDIDAS PARA DIMINUIÇÃO DOS CONSUMOS ELÉCTRICOS	22
3.8 SISTEMA DE ARREFECIMENTO	23
3.9 AR COMPRIMIDO	26
3.10 ILUMINAÇÃO	30
4 ANÁLISE ENERGÉTICA À UNIDADE PRODUTIVA	35
4.1 COMPARAÇÃO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS ENTRE 2016 E 2019.....	35
4.2 ESTUDO LUMINOTÉCNICO.....	38
4.3 ANÁLISE DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS NAS ZONAS DE ARREFECIMENTO	42

4.4	ANÁLISE DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS NA CENTRAL DE AR COMPRIMIDO	49
4.5	RESUMO DAS ANÁLISES ENERGÉTICAS.....	52
5	CONCLUSÕES	55
	PROPOSTA PARA TRABALHO FUTURO	56
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	ANEXOS.....	61
A.	PERÍODOS DE CONSUMO	61
B.	CÁLCULO DOS INDICADORES ENERGÉTICOS	66
C.	TABELAS DO SECTOR DE ILUMINAÇÃO	67
D.	ZONA DE ARREFECIMENTO	69
E.	TABELAS DA CENTRAL DE AR COMPRIMIDO	72

Índice figuras

FIGURA 1. 1 DADOS RELATIVOS AO GRUPO CIN [1].	1
FIGURA 1. 2 APLICAÇÕES DE TINTA EM PÓ [1].	2
FIGURA 2. 1 APLICAÇÃO DE TINTA EM PÓ DO TIPO CORONA. ADAPTADO DE [3].	5
FIGURA 2. 2 ESQUEMA GERAL DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE TINTAS EM PÓ. ADAPTADO DE [5].	8
FIGURA 2. 3 ETAPAS DO PROCESSO DE PRÉ-MISTURA. ADAPTADO DE [6].	10
FIGURA 2. 4 ESQUEMA DE UMA EXTRUSORA DE MONOFUSO. ADAPTADO DE [8].	11
FIGURA 2. 5 DIFERENTES COMPORTAMENTOS NO INTERIOR DO FUSO DA EXTRUSORA. ADAPTADO DE [9].	12
FIGURA 2. 6 PRATO DE MICRONIZAÇÃO COM ELEMENTOS DINÂMICOS EM MARTELO. ADAPTADO DE [10].	13
FIGURA 2. 7 PRATO DE MICRONIZAÇÃO COM ELEMENTOS DINÂMICOS EM PINOS. ADAPTADO DE [10].	13
FIGURA 2. 8 VISTA FRONTAL DO SEPARADOR - CLASSIFICADOR AERODINÂMICO. ADAPTADO DE [10].	14
FIGURA 2. 9 VISTA SUPERIOR DO SEPARADOR - CLASSIFICADOR AERODINÂMICO. ADAPTADO DE [10].	14
FIGURA 3. 1 EXEMPLO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA RETIRADO DO MANUAL DE AUDITORIAS ENERGÉTICAS NA INDÚSTRIA - [12].	16
FIGURA 3. 2 ESQUEMA DE UM CHILLER UTILIZADO PARA ARREFECER ÁGUA. ADAPTADO DE [18].	24
FIGURA 3. 3 PRESSÃO VS ENTALPIA DO LÍQUIDO REFRIGERANTE NAS SECÇÕES DO CHILLER [17].	25
FIGURA 3. 4 COMPRESSOR ALTERNATIVO ATLAS COPCO.	28
FIGURA 3. 5 REPRESENTAÇÃO DE UM PARAFUSO MACHO E UM FÊMEA NUM COMPRESSOR DE PARAFUSO.	29
FIGURA 3. 6 COMPRESSOR DE PARAFUSO ATLAS COPCO.	29
FIGURA 3. 7 ESQUEMA COM OS DIFERENTES TIPOS DE ILUMINAÇÃO EXISTENTE.	32
FIGURA 4. 1 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM CHILLER DE ARREFECIMENTO COM ÁGUA UTILIZANDO UMA TORRE DE ARREFECIMENTO [26].	47
TABELA 4. 13 VALOR DO CONSUMO E CUSTO ANUAL PARA OS DOIS PANORAMAS E A RESPECTIVA REDUÇÃO.	48
TABELA 4. 14 CARACTERÍSTICAS DOS COMPRESSORES DA CENTRAL DE AR COMPRIMIDO.	49
TABELA 4. 15 VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS COM O REGISTADOR DE POTÊNCIAS NA SECÇÃO DE AR COMPRIMIDO.	50
TABELA 4. 16 VALORES DE CONSUMO E CUSTO PARA OS DIVERSOS SECTORES.	52
TABELA 4. 17 VALORES DE CONSUMO E CUSTO PARA OS DIVERSOS SECTORES APÓS REALIZAÇÃO DE PROPOSTAS DE ALTERAÇÃO.	53
FIGURA 5. 1 FOLHA DE REGISTO PARA ACOMPANHAMENTO DOS ENSAIOS DE OPTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS.	56

Índice de tabelas

TABELA 3. 1 DISTRIBUIÇÃO DO Nº DE PERÍODOS HORÁRIOS EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO.	18
TABELA 4. 1 RESUMO DOS CONSUMOS ENERGÉTICOS E DO RESPECTIVO CUSTO NO ANO DE 2016.	35
TABELA 4. 2 RESUMO DO CONSUMO ENERGÉTICO E DO RESPECTIVO CUSTO NO ANO DE 2019.	35
TABELA 4. 3 INDICADORES ENERGÉTICOS RELATIVOS AO ANO DE 2016.	36
TABELA 4. 4 COMPARAÇÃO DOS CUSTOS RELATIVOS ÀS VÁRIAS PARCELAS DAS FACTURAS ENERGÉTICAS ENTRE 2016 E 2019.	37
TABELA 4. 5 NÚMERO DE LÂMPADAS POR SECTOR, POTÊNCIA E FLUXO LUMINOSO DE CADA LÂMPADA.	39
TABELA 4. 6 CONSUMOS E CUSTOS DIÁRIOS POR SECTOR NO PANORAMA ACTUAL.	40
TABELA 4. 7 VALORES RELATIVOS ÀS LÂMPADAS DA PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO.	41
TABELA 4. 8 CONSUMOS E CUSTOS DIÁRIOS POR SECTOR APÓS SUBSTITUIÇÃO POR LÂMPADAS LED.	41
TABELA 4. 9 VALOR DO CONSUMO E CUSTO ANUAL PARA OS DOIS CENÁRIOS E A RESPECTIVA REDUÇÃO. ...	42
TABELA 4. 10 VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS COM O REGISTADOR DE POTÊNCIAS NA ZONA DE ARREFECIMENTO A.	43
TABELA 4. 11 VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS COM O REGISTADOR DE POTÊNCIA NA ZONA DE ARREFECIMENTO B.	44
TABELA 4. 12 CONSUMO ANUAL EM CADA UMA DAS ZONAS DE ARREFECIMENTO.	45
TABELA 4. 13 VALOR DO CONSUMO E CUSTO ANUAL PARA OS DOIS PANORAMAS E A RESPECTIVA REDUÇÃO.	48
TABELA 4. 14 CARACTERÍSTICAS DOS COMPRESSORES DA CENTRAL DE AR COMPRIMIDO.	49
TABELA 4. 15 VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS COM O REGISTADOR DE POTÊNCIAS NA SECÇÃO DE AR COMPRIMIDO.	50
TABELA 4. 16 VALORES DE CONSUMO E CUSTO PARA OS DIVERSOS SECTORES.	52
TABELA 4. 17 VALORES DE CONSUMO E CUSTO PARA OS DIVERSOS SECTORES APÓS REALIZAÇÃO DE PROPOSTAS DE ALTERAÇÃO.	53
FIGURA 5. 1 FOLHA DE REGISTO PARA ACOMPANHAMENTO DOS ENSAIOS DE OPTIMIZAÇÃO DE PRODUTOS.	56
TABELA A. 1 HORÁRIOS DE CONSUMO NOS DIFERENTES CICLOS E EM FUNÇÃO DO DIA E DO HORÁRIO LEGAL [15].	61
TABELA A. 2 QUANTIDADE DE HORAS DE CONSUMO POR PERÍODO PARA OS DIFERENTES CICLOS, HORÁRIOS E DIAS [15].	61
TABELA C. 1 VALORES DE CONSUMO E DE CUSTO POR SECTOR EM FUNÇÃO DAS HORAS DE FUNCIONAMENTO DE CADA LÂMPADA PARA A SITUAÇÃO ACTUAL.	67
TABELA C. 2 VALORES DE CONSUMO E DE CUSTO POR SECTOR EM FUNÇÃO DAS HORAS DE FUNCIONAMENTO DE CADA LÂMPADA PARA A SITUAÇÃO ACTUAL.	68
TABELA D. 1 VALORES DE CONSUMO E DE CUSTO NOS 4 PERÍODOS HORÁRIOS NA ZONA DE ARREFECIMENTO A.	69
TABELA D. 2 VALORES DE CONSUMO E DE CUSTO NOS 4 PERÍODOS HORÁRIOS NA ZONA DE ARREFECIMENTO B.	69
TABELA E. 1 VALORES DE CONSUMO E DE CUSTO NOS 4 PERÍODOS HORÁRIOS NA CENTRAL DE AR COMPRIMIDO EM FUNCIONAMENTO NORMAL.	72

TABELA E. 2 VALORES DE CONSUMO E DE CUSTO NOS 4 PERÍODOS HORÁRIOS RELATIVOS ÀS FUGAS DA

CENTRAL DE AR COMPRIMIDO.....72

Nomenclatura

Siglas:

ADENE – Agência para a energia

ARCE – Acordos de racionalização

AT – Alta tensão

BTE – Baixa tensão especial

BTN – Baixa tensão normal

CAV – Contribuição audiovisual

CEE – Consumo específico de energia

CIE – Consumidores intensivos de energia

COP – Coeficiente de performance

COV – Compostos orgânicos voláteis

DGEG – Direcção geral de Energia e Geologia

EDP – Empresa distribuidora de Energia

IC – Intensidade carbónica

IE – Intensidade energética

ISP – Impostos sobre os produtos petrolíferos

LED – Díodo emissor de luz

Lux – Unidade de medida iluminação

MAT – Muito alta tensão

MT – Média tensão

Pastilha – Produto intermédio gerado na extrusora

Payback – Período de retorno de um investimento

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PREn – Plano de Racionalização de Consumos de Energia

R22 – Líquido refrigerante

SGCIE – Sistema de gestão dos consumos intensivos de Energia

Ra – Restituição de cor

UV – ultravioleta

VAB – Valor acrescentado bruto

W – Watts

Símbolos:

VA – volt-ampere

VAr – volt-ampere reactivo

kW – quilowatt

tep – Tonelada equivalente de petróleo

tCO₂e – Tonelada de CO₂ equivalente

1. Introdução

1.1 Apresentação da Empresa

O Grupo CIN é um dos principais intervenientes no mercado das tintas e vernizes, sendo líder nacional e ibérico desde 1992 e 1995, respectivamente. O Grupo CIN no ano de 2019 facturou cerca de 241 milhões de euros encontrando-se no 16º lugar a nível europeu e no 47º a nível mundial. No grupo são produzidos produtos para Decoração, Construção Civil, Protecção Anticorrosiva e Indústria nas dez unidades fabris distribuídas por Portugal, Espanha, França, Angola, Moçambique e China. O Grupo CIN possui no total cerca de 1400 colaboradores. A figura 1.1 representa as características explicitadas anteriormente [1].



Figura 1. 1 Dados relativos ao grupo CIN [1].

A CIN produz tintas em pó desde 1988, sendo fabricadas na sede do Grupo até 1999, ano em que se iniciou a construção de uma nova unidade produtiva no Castelo da Maia, designada Megadur com o objectivo de responder às necessidades do mercado das tintas em pó. Em 2007 foi fundada a *CIN Industrial Coatings* com o intuito de otimizar a intervenção no mercado das tintas industriais. Posteriormente em 2012 realizou-se um investimento de 12 milhões de euros, que proporcionou um aumento de 50% na capacidade produtiva, atingindo as 14 mil toneladas por ano [1].

A *CIN Industrial Coatings* apresenta uma vasta gama de produtos, desde tintas em pó, líquidas e produtos de cura UV. Os produtos comercializados destinam-se a ser usados em aplicações industriais, onde estas tintas são usadas como matéria-prima de outros processos, tais como: transportes, embalagens metálicas, mobiliário, sistemas de armazenamento, sistemas eléctricos, telecomunicações, alumínio para arquitectura e

para a indústria em geral. Na figura 1.2 estão alguns exemplos de tinta em pó e das suas respectivas aplicações [1].



Figura 1. 2 Aplicações de tinta em pó [1].

1.2 Enquadramento do projecto e respectivos objectivos

Este trabalho tem como principal objectivo a análise e optimização do consumo energético numa unidade de produção de tinta em pó. Além disso pretende-se analisar alternativas ao processo de fabrico tradicional, podendo sugerir novas tecnologias com o intuito de optimizar o consumo dos equipamentos e ainda, avaliar a influência que as melhorias propostas terão no aumento de produtividade da empresa.

Para atingir os objectivos propostos neste projecto pretendem-se realizar as seguintes acções:

- Análise aos principais consumidores de energia eléctrica presentes na unidade, através da medição do consumo individual de cada equipamento para o cálculo da eficiência.
- Realização de ensaios para detectar fugas de ar comprimido que provocam perdas de eficiência no processo produtivo.
- Análise ao sistema de iluminação presente na unidade, propondo alterações com o intuito de diminuir os consumos, à semelhança dos restantes processos.
- Estudo de alternativas para os equipamentos que são utilizados actualmente na unidade de produção que estão directa ou indirectamente relacionados com o processo produtivo.
- Comparar os consumos energéticos das duas unidades produtivas presentes na CIN Megadur e perceber quais serão as vantagens e consequentes melhorias a aplicar na unidade menos desenvolvida actualmente.
- Estudar o efeito do aumento de produtividade nos consumos eléctricos na etapa de micronização – monitorizar produtos em 3 linhas de produção seleccionadas como linhas piloto com o intuito de aumentar a capacidade produtiva, cumprindo com os parâmetros de qualidade previamente estabelecidos.

- Avaliar os impactos financeiros das melhorias identificadas quer para as várias etapas do processo produtivo como para os equipamentos auxiliares.
- Implementar as acções de melhoria identificadas e propor projectos futuros.

2 Tintas em pó

2.1 Introdução às tintas em pó

O aparecimento das primeiras tintas em pó ocorreu no início da década de 50 do século XX com a aplicação de policloroeteno em pó. Inicialmente eram exclusivamente aplicadas sobre superfícies metálicas previamente aquecidas que eram mergulhadas em leitos fluidizados de tinta. As tintas em pó são 100% sólidas e por isso o seu destaque nos dias de hoje é cada vez maior, devido às várias vantagens a nível ambiental apresentadas, como por exemplo a reduzida emissão de compostos orgânicos voláteis [2].

O principal objectivo das tintas em pó é revestir um objecto. O método mais comum para aplicação de tinta em pó é utilizando uma pistola electrostática com ar comprimido, fenómeno demonstrado na figura 2.1. Neste tipo de aplicação o pó é alimentado à pistola e carregado electrostaticamente enquanto o substrato está ligado à terra. Neste processo de aplicação electrostática, as moléculas de ar são ionizadas pelo eléctrodo e quando o pó libertado entra em contacto é criado um campo eléctrico. Posteriormente as partículas seguem o campo eléctrico até à peça metálica. Este comportamento é muito idêntico ao realizado por um íman, onde as cargas opostas se atraem e as cargas iguais se repelem [2].

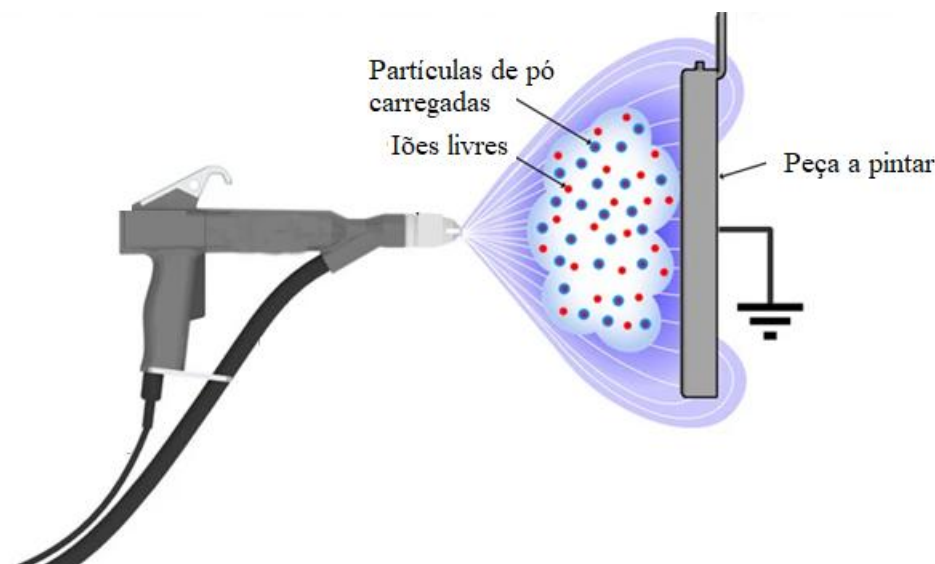


Figura 2. 1 Aplicação de tinta em pó. Adaptado de [3].

2.2 Classificação das tintas em pó

As tintas em pó podem ser classificadas como termoplásticas ou termoendurecíveis. As primeiras apresentam maioritariamente resinas de elevado peso molecular e cadeia linear, que fundem por acção do calor e solidificam por arrefecimento. Nos polímeros termoplásticos não existe reacção química, tornando por isso a o método reversível. Estas tintas são as mais utilizadas para isolamentos porque se pode aplicar espessuras superiores quando comparadas com as termoendurecíveis. Produtos à base de poliaminas, polipropilenos e polietilenos são característicos neste tipo de tinta [1, 3].

As tintas fabricadas na empresa são do tipo termoendurecíveis e apresentam como característica um baixo peso molecular, o contrário das referidas anteriormente. Neste tipo de produto a resina vai sofrer uma reacção de polimerização com o endurecedor presente na sua formulação, formando uma estrutura tridimensional complexa. Esta reacção é activada por acção de calor – temperaturas entre 160°C e 200°C – e é irreversível, sendo uma das grandes vantagens deste tipo de produto. Dada a sua estrutura tridimensional após reacção, este tipo de tinta apresenta uma boa aderência ao material e uma elevada flexibilidade, sendo possível aplicar uma camada mais fina de tinta ao contrário das anteriores [1, 3].

2.3 Vantagens e desvantagens das tintas em pó

As tintas em pó apresentam vantagens e desvantagens quando comparadas com as tintas líquidas. A principal vantagem deste tipo de tinta está na utilização de 100% de produto, ou seja, a utilização de toda a quantidade (porque é permitida uma recuperação do *overspray*). Além disso são tintas 100% sólidas e onde não são utilizados solventes, desta forma o impacto ambiental é muito inferior ao provocado pelas tintas líquidas de base solvente. A não emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) é também uma das grandes vantagens deste tipo de tinta. Relativamente à espessura, as tintas em pó permitem obter uma espessura uniforme ao longo do substrato, apresentando por isso uma eficácia superior às restantes. Os processos a nível industrial de aplicação de tinta em pó apresentam uma maior facilidade de automatização e contêm linhas de aplicação mais compactas e sem áreas de secagem. As tintas em pó apresentam um custo inferior relativamente ao metro quadrado que as tintas líquidas.

Não são só vantagens que as tintas em pó apresentam, também existem constrangimentos. Este tipo de tinta necessita de elevadas temperaturas no processo de

cura (térmica) das peças, exigindo assim uma estrutura capaz de suportar essas mesmas condições, logo nem todos os materiais conseguem ser revestidos. Utilizando a aplicação electrostática (uma das técnicas mais utilizadas) não é possível obter camadas muito espessas de tinta, além disso este tipo de aplicação apresenta dificuldades acrescidas no revestimento de estruturas muito complexas uma vez que não atinge todos os cantos do material. Para estruturas complexas a alternativa é utilizar tinta em pó em leito fluidizado. O “efeito casca de laranja” é uma característica presente em maior grau nas tintas em pó relativamente às tintas líquidas.

2.4 Descrição geral do processo de produção

O processo de produção pode ser dividido em 3 etapas: pré-mistura, extrusão e micronização. A pré-mistura é a única etapa em que o processo é em regime *batch*, as restantes são processos contínuos.

Na pré-mistura pretende-se obter uma massa macroscopicamente homogénea que permitirá alimentação contínua e com correcta proporção de todos os ingredientes na etapa seguinte (extrusão). Para conseguir esta mistura homogénea todos os ingredientes são pesados e introduzidos num tanque, o qual irá a um equipamento designado de pré-misturador onde através de agitação, promovida por uma hélice, toda a mistura dispersa uniformemente pelo tanque. De realçar que todas as matérias-primas são sólidas assim como a mistura [5].

Após a pré-mistura os tanques são alimentados à extrusora através de um doseador. Neste processo de extrusão, a pré-mistura passa através de um fuso com diferentes secções correspondendo a diferentes fases de processo. A resina funde-se para que os pigmentos e as cargas se dispersem totalmente, formando uma mistura homogénea a nível microscópico. Na fase seguinte, a mistura homogénea é estendida numa cinta arrefecida para solidificar o material fundido. O produto solidificado obtido é triturado no final do tapete para formar pastilhas.

As pastilhas formadas na extrusão são alimentadas à última fase do processo de produção, a micronização. Nesta fase as pastilhas são transportadas através de ar para o interior do moinho, onde são moídas até à dimensão especificada. O tamanho das partículas de pó obtidas depende da finalidade do produto, mas geralmente o diâmetro médio é cerca de 40 μm . Conforme as especificações do produto são regulados os modos operatórios do moinho para se obterem as dimensões de partículas de pó

pretendidas. Após moagem da pastilha, o pó é embalado na secção de enchimento e distribuído pelos respectivos clientes.

A figura 2.2 representa o diagrama do processo de produção de tintas em pó, onde se podem distinguir as diferentes secções descritas anteriormente. Neste caso 1 – pesagem; 2 – pré-mistura; 3 – extrusão; 4 – cinta de arrefecimento; 5 – câmara de moagem; 6 – ciclone e 7- enchimento produto (pó).

Nos capítulos seguintes é detalhado o processo de produção de tintas em pó com descrição dos principais equipamentos utilizados nas diferentes secções.

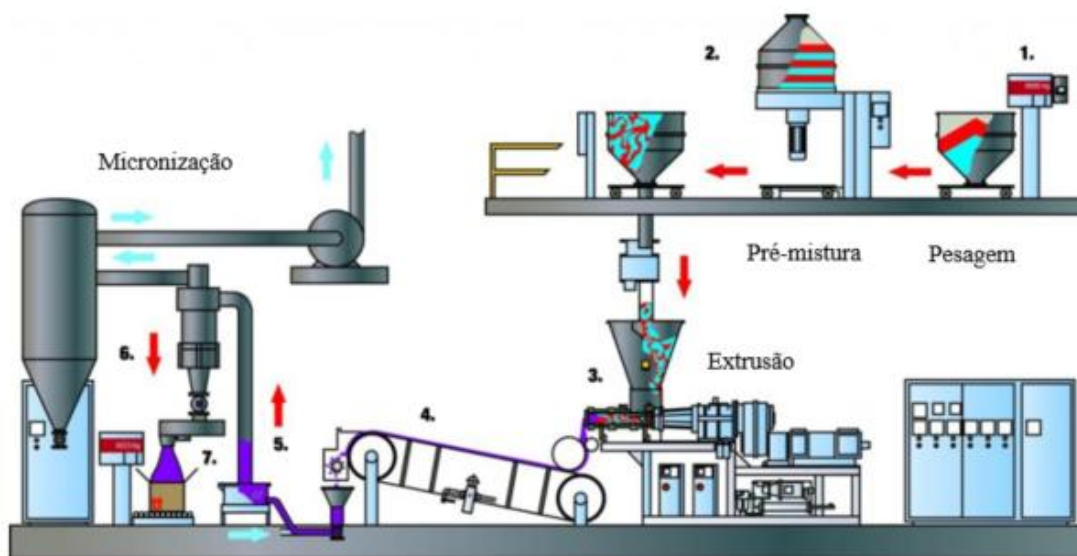


Figura 2. 2 Esquema geral do processo de produção de tintas em pó. Adaptado de [6].

2.5 Pré-mistura

A pesagem e a pré-mistura correspondem à primeira fase do processo de produção de tintas em pó. Por vezes esta etapa tende a ser negligenciada, mas de facto reveste-se de uma importância equivalente às demais. Esta fase é determinante para as características da tinta e para que não ocorram problemas durante o fabrico.

O grande objectivo da pré-mistura é a homogeneização e dispersão das matérias-primas pesadas na etapa da pesagem. Apesar de as matérias-primas serem todas sólidas, as granulometrias são diferentes entre si, o que dificulta o processo de mistura. Uma boa pré-mistura é fundamental para não existirem problemas na dispersão no interior da extrusora, nas propriedades mecânicas e no aspecto visual (principalmente na cor) do produto obtido. Os anos de experiência demonstram que as dimensões das partículas

alimentadas ao pré-misturador devem estar compreendidas entre 2 a 4 mm. Dimensões inferiores a este intervalo contribuem para a fluidização das partículas durante a alimentação à extrusora e dimensões superiores provocam maiores consumos de energia no processo de fusão das partículas no interior da extrusora [1, 3].

Existem vários tipos de pré-misturadores, como: pré-misturadores de tambor, pré-misturadores de duplo cone, pré-misturadores horizontais, pré-misturadores de alta velocidade, pré-misturadores cónicos e *container mixers*. Os pré-misturadores devem ser escolhidos em função das características das linhas de produção assim como do modo de operação do processo (se ocorrem em contínuo ou em *batch*). Se o processo de pré-mistura se realizar em regime *batch*, o mesmo pré-misturador pode ser utilizado para várias linhas em simultâneo [1, 5].

Na empresa são utilizados os pré-misturadores do tipo *container mixers* porque analisando todas as características no processo de produção são os mais rentáveis. Neste equipamento os ciclos de pré-mistura são muito rápidos sendo considerados eficientes para misturas em pó. Outra vantagem destes pré-misturadores corresponde às mudanças, ou seja, a facilidade e a rapidez com que estes equipamentos são limpos. Esta característica torna o processo muito versátil, caso existam inúmeras mudanças de cor entre os vários produtos na sequência de produção [1, 5].

Na figura 2.3 encontram-se representadas as etapas do funcionamento do pré-misturador. Na posição 1 o tanque de pré-mistura encontra-se já com a carga pronta a ser pré-misturada. Para atingir a posição 2 é necessário colocar o tanque por baixo do “cabeçote” do pré-misturador. De seguida, o tanque é preso à parte superior do pré-misturador, e roda, ficando exactamente na posição 2. Na posição 2 é iniciada a pré-mistura do tanque. Na zona do “cabeçote” existem hélices que são accionadas por um motor eléctrico e aplicam um movimento giratório sobre a carga. A pré-mistura encontra-se assente na superfície superior do pré-misturador para facilitar a mistura. As hélices apresentam um formato apropriado ao tipo de material a misturar e servem, essencialmente, para que as partículas se desloquem contra as paredes do tanque, promovendo a máxima homogeneização da mistura. Se a pré-mistura for bem executada é formado um *vortex* no interior do tanque de pré-mistura. Em cada ciclo é definida uma velocidade de rotação das hélices e um tempo de duração, estes modos operatórios são específicos para cada produto. Após conclusão do ciclo de pré-mistura o tanque é separado novamente do “cabeçote” e está pronto para a etapa seguinte. O pré-

misturador é colocado na posição 3 para se proceder à etapa de limpeza, sempre que necessário [1, 5, 6].



Figura 2. 3 Etapas do processo de pré-mistura. Adaptado de [6]

2.6 Extrusão

A extrusão corresponde à etapa central no processo de produção de tintas em pó. Esta etapa do processo produtivo é caracterizada pela presença das extrusoras, equipamentos onde a resina funde e ocorre dispersão microscópica de todos os ingredientes. Além de extrusão esta etapa é conhecida como *compounding* [1, 3].

Neste processo existem dois tipos de extrusoras, mono-fuso e duplo-fuso. Os fusos são concebidos de forma a promover elevada dispersão. No caso da mono-fuso, o veio tem um movimento de rotação e translação em simultâneo, além disso dentro do barrilete existem pinos que ajudam a promover a dispersão. Nas extrusoras de duplo-fuso apenas ocorre rotação dos dois veios em simultâneo. A empresa em que o trabalho esta a ser desenvolvido opera com extrusoras dos dois tipos referidos anteriormente. A partir desta etapa o processo é contínuo [2].

As temperaturas da extrusora são controladas utilizando um sistema de circulação de água. O aumento da temperatura é provocado pela utilização de resistências eléctricas numa fase inicial (arranque do fuso) assim como pelo atrito gerado pela fricção do próprio material contra as paredes quando o equipamento está em contínuo [5].

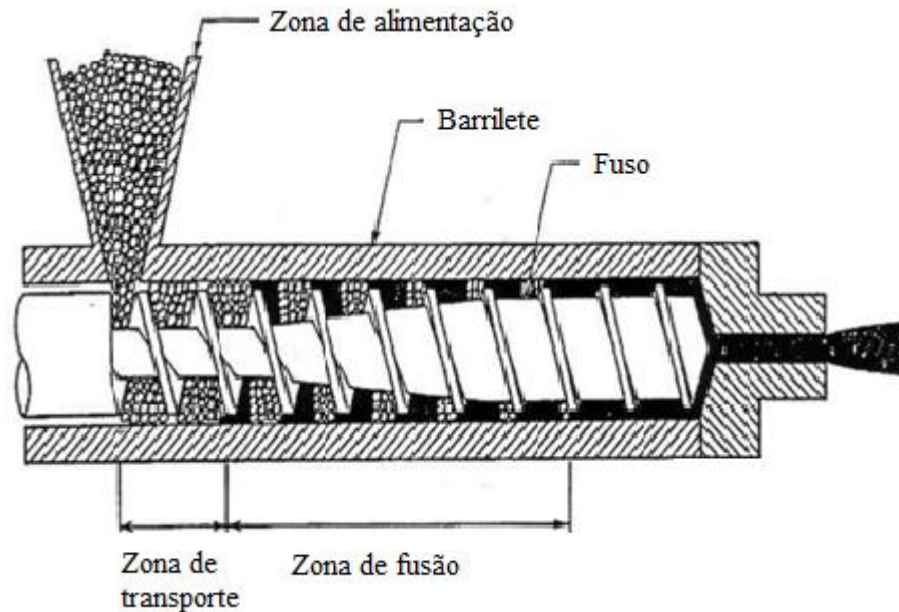


Figura 2. 4 Esquema de uma extrusora de monofuso. Adaptado de [8].

As extrusoras de mono fuso, contrariamente às outras, apresentam rotação do fuso tanto radial como axial. Como se pode ver na figura 2.4, o funcionamento das extrusoras de mono fuso é simples, a alimentação à extrusora é feita por um doseador volumétrico, posteriormente o material é transportado e através da rotação do fuso, o mesmo avança até à saída. Depois da alimentação, ocorre um aumento da temperatura para que o material aqueça e consiga, na fase posterior, atingir a temperatura de fusão. As fases de fusão e homogeneização podem juntar-se numa etapa só, uma vez que assim que o material é fundido, este começa a homogeneizar-se. A última parte do processo de extrusão corresponde à descarga, saída do produto após passar no fuso. Para esta etapa acontecer, é provocado um aumento de pressão pelo estreitamento do orifício, para que o material fundido consiga sair facilmente. Após a descarga o material sofre um arrefecimento rápido e é esticado nos rolos e na cinta de arrefecimento, voltando a formar um material sólido. No final do tapete, o material arrefecido é triturado e partido em porções pequenas, formando a pastilha [5].

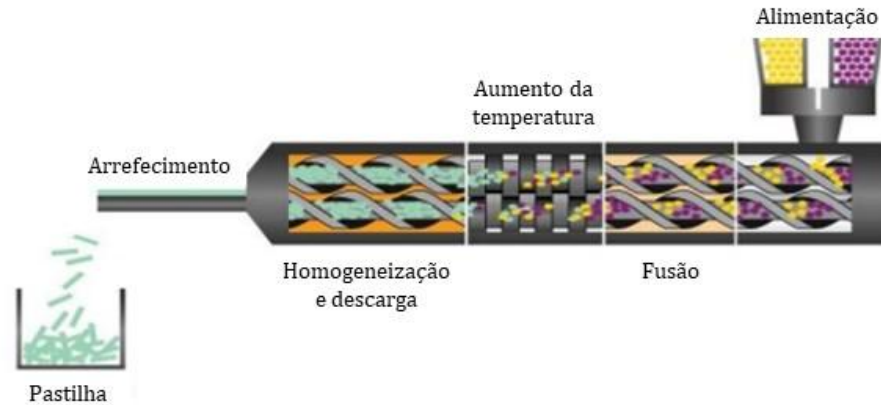


Figura 2. 5 Diferentes comportamentos no interior do fuso da extrusora. Adaptado de [9].

As extrusoras de duplo fuso apresentam características idênticas às de mono fuso, como se vê na figura 2.5. O processo inicia-se igualmente através de um doseador volumétrico que alimenta o fuso da extrusora. Posteriormente o material sofre sucessivos aquecimentos para fundir e homogeneizar. A única diferença entre o esquema de duplo fuso e o anterior é a circulação do material, que acontece ao longo dos dois fusos. As extrusoras com dois fusos permitem que ambos os fusos rodem na mesma direcção ou em direcções opostas. Esta característica permite aumentar o número de opções para os diferentes materiais que são alimentados à extrusora, conseguindo assim adaptar-se a uma maior variedade de produtos [2].

Ambos os tipos de extrusora apresentam vantagens quando comparados entre si, por isso a escolha deve ser realizada após avaliação de todas as características do produto e a nível processual.

2.7 Micronização

A última etapa do processo de produção corresponde à micronização. Esta fase tem como objectivo a redução do tamanho da pastilha proveniente da extrusão, sendo a mesma processada em moinhos classificadores. O tamanho médio ideal das partículas de tinta em pó, como referido anteriormente é cerca de 40 μm [5].

Nos moinhos classificadores a moagem da pastilha é realizada pelo impacto da mesma com o elemento estático e com os elementos dinâmicos presentes. Neste caso o elemento estático corresponde à parede rugosa interna do moinho, já os elementos dinâmicos correspondem aos pinos ou martelos que são colocados nos pratos de moagem. Nas figuras 2.6 e 2.7 é possível ver pratos de micronização em que são

utilizados elementos dinâmicos em martelos ou em pinos. Além dos referidos anteriormente podem existir “*power pins*” que corresponde à junção de martelos e pinos, ou seja, um sistema intermédio [5].

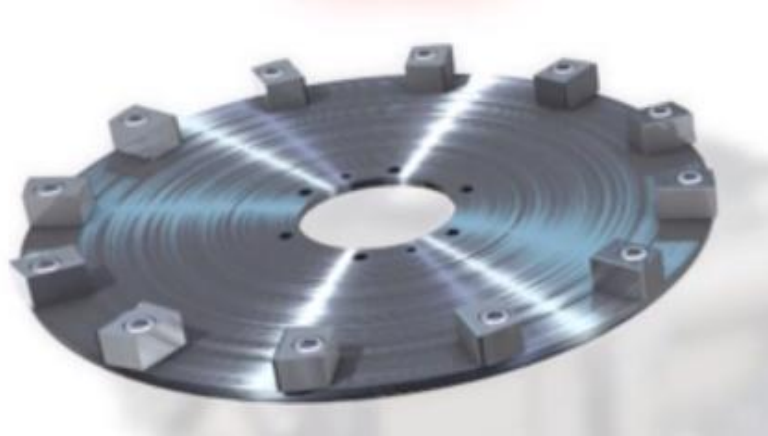


Figura 2. 6 Prato de micronização com elementos dinâmicos em martelo. Adaptado de [10].

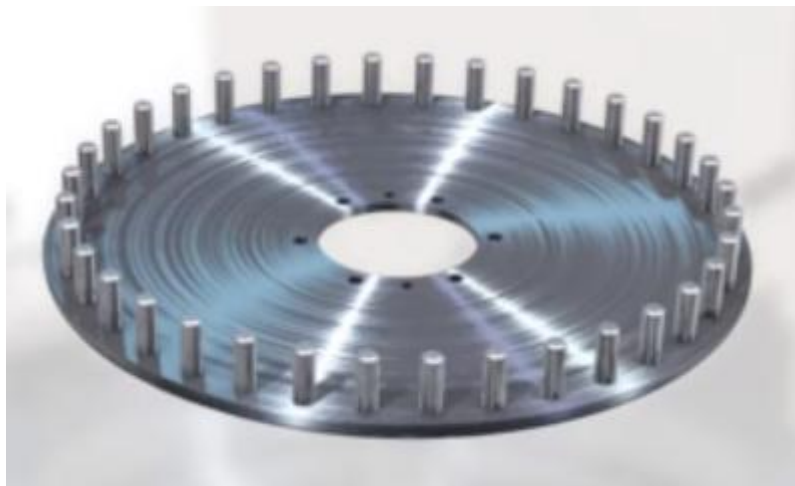


Figura 2. 7 Prato de micronização com elementos dinâmicos em pinos. Adaptado de [10].

As pastilhas são alimentadas ao interior do moinho por sucção de ar. No interior, após o choque com os elementos referidos em cima, a dimensão das partículas diminui. O tamanho de partícula desejado é controlado pelo separador que funciona como classificador aerodinâmico. Nas figuras 2.8 e 2.9 estão representados dois exemplos de separadores. Estes instrumentos encontram-se em constante rotação no interior do moinho, as partículas apenas conseguem passar pelo mesmo se o tamanho for o pretendido. Para a partícula passar pelo separador e sair do moinho para a zona de enchimento é necessário que a força centrífuga da partícula a rodar à mesma velocidade do separador seja inferior à força de arrasto do ar através do mesmo [5].



Figura 2. 8 Vista frontal do separador - classificador aerodinâmico. Adaptado de [10].



Figura 2. 9 Vista superior do separador - classificador aerodinâmico. Adaptado de [10].

A granulometria do pó é definida em função da velocidade de rotação do separador, velocidade do prato de moagem, velocidade de alimentação da pastilha ao moinho e do caudal de ar que é utilizado para circular no moinho. O produto depois de ultrapassar o separador segue até ao ciclone onde é separado do ar. As restantes partículas são recolhidas e alimentadas à secção de enchimento [5].

3 Energia, Energia eléctrica e Eficiência energética

3.1 Fundamentos de Energia

A capacidade de transformar ou colocar algo em movimento é designada por energia. Em termos físicos a energia é a capacidade de realizar trabalho e pode existir em várias formas: potencial, cinética, térmica, eléctrica, química e nuclear, entre outras. A energia pode ser definida em função da forma como foi obtida, ou seja, renovável ou não renovável. Nos dias de hoje a energia renovável é alvo de estudo, uma vez que não é obtida através de fontes esgotáveis, mas sim “infinitas”.

Todas as formas de energia estão associadas ao movimento, ou seja, um corpo tem energia cinética se estiver em movimento ou uma caixa tem energia potencial se estiver estática numa superfície. Outro conceito importante sobre energia corresponde à 1ª lei termodinâmica ou lei da conservação de energia. *Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma, (Lavoisier,1977)*. Em termos práticos esta conclusão pode ser compreendida quando se analisa o movimento descendente de uma caixa ao longo de uma colina. A caixa inicialmente no ponto mais alto apresentava uma determinada energia potencial que foi convertida em energia cinética assim que iniciou o movimento. O atrito que a caixa sofre durante a descida provoca uma diminuição da velocidade (energia cinética) convertendo-a em energia térmica que aquece a caixa [11].

A produção de energia está directamente associada à utilização de combustíveis, que se podem encontrar no estado sólido, líquido ou gasoso. A selecção do combustível mais adequado tem em conta factores, como a disponibilidade, armazenamento, manuseamento, poluição e custo do combustível, sendo por isso necessário um conhecimento das suas propriedades [12].

3.2 Energia eléctrica

No âmbito deste projecto, a energia estudada foi a eléctrica, que corresponde ao movimento de electrões, ou seja, um fluxo de cargas eléctricas. As partículas carregadas com electrões criam campos eléctricos que exercem forças sobre outras partículas dentro do campo. O campo eléctrico aplica uma força à partícula carregada, fazendo com que ela se mova, ou seja realize trabalho. O movimento de partículas carregadas através de um fio ou num meio é designado como corrente ou electricidade. Também existe energia eléctrica que não está associada ao movimento directo que resulta de um

desequilíbrio ou uma separação de cargas positivas e negativas num determinado objecto, electricidade estática. Em 1820, Faraday descobriu uma forma de gerar electricidade através da movimentação de um disco de metal condutor entre os pólos (positivo e negativo) de um íman. Esta experiência permitiu concluir que o campo magnético criado pelo íman criava uma força electromotriz com a aproximação das partículas carregadas presentes no disco metálico (condutor), sendo conhecido como indução electromagnética. Esta descoberta está presente na base de funcionamento de transformadores, alternadores e motores [11].

A energia eléctrica tem um papel importante na sociedade uma vez que pode ser transformada em diferentes tipos de energia (mecânica, térmica e luminosa). A grande vantagem da energia eléctrica é a facilidade de transporte. Em contrapartida, o armazenamento e a necessidade de infra-estruturas para a conversão apresentam-se como constrangimentos, provocando perdas de eficiência no processo. Os aspectos referidos anteriormente encontram-se representados na figura 3.1.

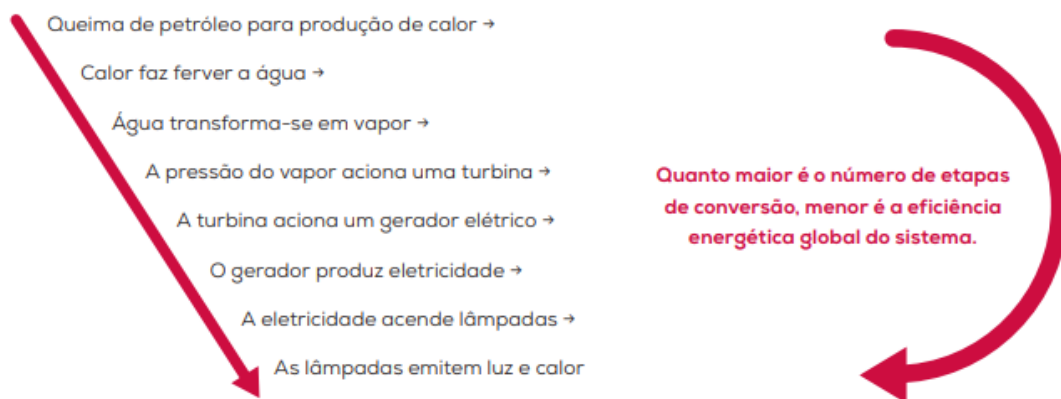


Figura 3. 1 Exemplo de conservação de energia retirado do manual de auditorias energéticas na indústria - [12].

3.3 Fornecimento de energia eléctrica

O fornecimento de energia eléctrica é realizado pelo comercializador da mesma. A contabilização do consumo e a forma como é facturado depende de algumas variáveis que serão descritas no presente capítulo.

A distribuição de energia eléctrica é feita num determinado nível de tensão e por isso são vários os níveis de tensão disponibilizados, nomeadamente:

- Baixa Tensão Normal (BTN)

- Baixa Tensão Especial (BTE)
- Média Tensão (MT)
- Alta Tensão (AT)
- Muito Alta Tensão (MAT)

Além do nível de tensão, a instalação eléctrica é caracterizada por um nível de potência contratada, que é ajustado à necessidade de energia da empresa. Esta parcela está relacionada com o nível de tensão e neste caso para BTN a potência contratada é igual ou inferior a 41,4 kVA. Para valores de tensão superiores, a potência contratada é determinada pelo maior resultado obtido de duas formas distintas:

- Pela máxima potência registada em intervalos de tempo de 15 minutos.
- Pela metade da potência instalada.

Em função dos hábitos dos consumidores de energia, foram designados vários períodos de consumo de energia eléctrica. Estão definidos como horas de ponta, cheias, vazio e super-vazio, sendo as horas de ponta e as de super-vazio os períodos onde ocorrem uma maior e uma menor ocupação da rede de distribuição, respectivamente. O número de períodos horários não é o mesmo para todas as tensões disponíveis, esta situação está descrita na tabela 3.1 [13].

Tabela 3. 1 Distribuição do n° de períodos horários em função do nível de tensão [13].

Níveis de tensão	N° de períodos horários	Horas de ponta	Horas de Cheias	Horas de vazio normal	Horas de super-vazio
MAT	4	✓	✓	✓	✓
AT	4	✓	✓	✓	✓
MT	4	✓	✓	✓	✓
BTE	4	✓	✓	✓	✓
BTN tri-horária	3	✓	✓	✓	
BTN bi-horária	2	✓		✓	
BTN simples	1	✓			

Além dos períodos horários, ainda é possível definir qual a forma como o consumo de electricidade se distribui ao longo das 24 horas e dos 7 dias da semana, ou seja um ciclo horário. São 3 os ciclos horários disponíveis:

- Ciclo diário: Caracteriza-se por uma definição, duração e distribuição, dos períodos horários iguais para todos os dias da semana, não fazendo distinção entre dias úteis e fins-de-semana, nem para períodos de Verão e Inverno.
- Ciclo semanal: Caracteriza-se por uma definição dos períodos horários em três categorias – dias úteis, sábados e domingos. Inclui ainda a distinção dos dois períodos de Hora Legal (Verão e Inverno).
- Ciclo semanal opcional: Semelhante ao ciclo semanal, mas com distribuição diferente do número de horas por período.

Na tabela A.1, presente no anexo A é possível observar a distribuição das 24 horas de um dia nos diversos ciclos descritos anteriormente [13].

3.4 Auditorias energéticas

Durante vários anos os consumos energéticos na indústria apresentaram um papel secundário, sendo ultrapassados pela procura de soluções alternativas dos métodos produtivos e pela optimização dos mesmos. Os encargos financeiros associados à factura de energia eléctrica nem sempre são os mais significativos e por isso não adquirem a atenção necessária.

Após a directiva nº 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, as empresas foram obrigadas a compreender os seus consumos energéticos [14]. Em Portugal para cumprir com a directiva europeia foi criado o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE). Uma das medidas deste plano corresponde à criação de um Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), regulado através do Decreto-Lei nº 71/2008 [15]. A SGCIE tem como objectivo promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos das instalações consumidoras intensivas de energia (CIE) [16].

O SGCIE aplica-se às instalações consumidoras intensivas de energia com consumo anual igual ou superior a 500 tep (tonelada equivalente de petróleo). Nestes casos o sistema prevê que sejam realizadas auditorias energéticas às instalações CIE, que incidam sobre as condições de utilização de energia e promovam o aumento da eficiência energética, incluindo a utilização de fontes de energia renováveis. Além das auditorias são elaborados e executados Planos de Racionalização de Consumos de Energia (PREn), estabelecendo Acordos de Racionalização (ARCE) desses consumos com a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) que, contemplem objectivos mínimos de eficiência energética, associando ao seu cumprimento na obtenção de incentivos pelos operadores (entidades que exploram as instalações CIE) [16].

As auditorias energéticas realizadas devido ao SGCIE, têm como principal objectivo identificar onde, como e quando se consome energia numa instalação industrial, caracterizando os fluxos energéticos e esclarecendo como é transformada a energia e os respectivos custos associados [12]. Podem também ser definidas como uma caracterização detalhada das condições de utilização de Energia, com vista à identificação de oportunidades de racionalização de consumos energéticos, através da

implementação de medidas, que permitam aumentar a eficiência energética, reduzindo os encargos financeiros.

Segundo o Despacho nº 17449/2008, de 27 de junho, a auditoria deverá apresentar os seguintes objectivos:

- Quantificar os consumos energéticos por instalação e principais secções e/ou equipamentos e a sua importância no custo final do produto.
- Efectuar uma inspecção visual dos equipamentos e/ou sistemas consumidores de energia, complementada pelas medições necessárias.
- Esclarecer como é transformada a energia e quais os seus custos.
- Efectuar um levantamento e caracterização detalhados dos principais equipamentos consumidores de energia, sobretudo com maior peso em termos de potência instalada, quer eléctrica, quer térmica.
- Obter diagramas de carga eléctricos dos sistemas considerados grandes consumidores de electricidade.
- Determinar a eficiência energética de geradores de energia térmica pelos métodos das perdas ou directo.
- Verificar o estado das instalações de transporte e distribuição de energia.
- Verificar o bom funcionamento dos aparelhos de controlo e regulação do equipamento de conversão e utilização de energia.
- Realizar balanços de massa e energia aos principais equipamentos consumidores de energia térmica.
- Determinar consumos específicos de energia durante o período de realização da auditoria, para posterior comparação com os valores médios mensais e anuais e detecção de eventuais variações sazonais.
- Determinar o quociente entre o consumo energético total e o valor acrescentado bruto (kgep/VAB) da actividade empresarial directamente ligada à instalação consumidora intensiva de energia, bem como o consumo específico de energia (kgep/unidade de produção).
- Identificar e quantificar as possíveis áreas onde a economia de energia é viável, como resultado das situações encontradas/anomalias detectadas e medições efectuadas.
- Definir intervenções com viabilidade técnico-económica, conducentes ao aumento da eficiência energética e/ou à redução da factura energética.

- Definir as linhas orientadoras para a implementação ou melhoria de um esquema operacional de Gestão de Energia.

3.5 Eficiência energética

A elevada necessidade do uso de energia eléctrica associada aos gastos necessários para a sua utilização faz com que muitas empresas adoptem metodologias para optimizar os consumos energéticos. Desta forma os termos eficiência energética e energia eléctrica estão directamente relacionados.

Segundo a directiva de eficiência energética da União Europeia, eficiência energética corresponde à razão entre a energia necessária para proporcionar desempenho, serviço, bens ou energia (produção) e a energia total disponível. Um sistema é sempre mais eficiente quanto mais próxima for a energia requerida da energia de entrada [14].

A capacidade de conversão energética associa-se à eficiência energética uma vez que devem ser minimizadas todas as conversões de energia que sejam indesejadas. Estas conversões existem devido às leis termodinâmicas, como perdas de calor que não podem ser aproveitadas. Nestas situações está a ser requerida uma quantidade de energia superior à necessária para o funcionamento de um equipamento. Apesar de estarem associadas, a conversão e eficiência não devem ser confundidas. Por vezes a conversão está relacionada com investimentos em tecnologias mais desenvolvidas, eliminação ou mudanças nas etapas do processo produtivo que posteriormente representarão ganhos energéticos, ou seja, sistemas mais eficientes. A eliminação de uma determinada actividade não melhora a eficiência do sistema, no entanto diminuiu o uso de energia e os respectivos gastos com a mesma [11].

Os picos energéticos característicos da elevada utilização da corrente eléctrica requerem em determinadas situações quantidades de energia elevadas para colmatar as necessidades dos sistemas. Muitas vezes para ultrapassar estes picos são alteradas as horas de funcionamento de alguns equipamentos. Estas alterações têm como principal objectivo a utilização dos equipamentos em momentos com muita energia disponível e por isso mais barata (períodos nocturnos, por exemplo).

3.6 Eficiência energética e a sua importância

A eficiência de uma fábrica é muito importante do ponto de vista económico e por isso muitas empresas apresentam nas suas estruturas departamentos dedicados directamente à energia eléctrica. A factura da energia eléctrica corresponde em muitas empresas à segunda ou terceira maior parcela nas despesas totais e por isso deve ser alvo de estudo e análise. Unidades industriais com uma maquinaria em grande número ou de elevada dimensão apresentam consumos energéticos muito elevados que levam a encargos financeiros muito significativos nos balanços económicos da empresa. Como representam uma fatia importante a nível financeiro na gestão de uma empresa, estas questões devem ser analisadas e avaliadas [11].

Um sistema de gestão energética auxilia na gestão dos gastos económicos da empresa e deve ser capaz de identificar os consumos dos vários equipamentos nos diferentes sectores para posteriormente conseguir elaborar estratégias com o intuito de tornar o ambiente empresarial mais eficiente. Se a empresa não apresentar esta capacidade, não irá conseguir identificar os consumos específicos em cada equipamento. Consequentemente, terá dificuldade em combater as falhas que possam existir nos sistemas eléctricos [11].

A eficiência energética desempenha um papel fundamental para as empresas se manterem sustentáveis e competitivas no mercado. Uma empresa mais eficiente tem a capacidade de poupar mais dinheiro, conseguindo assim investir noutros sectores, podendo ser mais competitiva no mercado.

3.7 Principais medidas para diminuição dos consumos eléctricos

A redução dos encargos financeiros provenientes do consumo de energia eléctrica é importante, como referido anteriormente, no entanto é necessário que estas diminuições não afectem a produção nem a qualidade do produto final. A redução do consumo está relacionada com a diminuição do valor de kWh e do seu respectivo custo [12]. Existem algumas medidas do ponto de vista geral que podem e devem ser analisadas antes de realizar uma análise energética aos principais consumidores, entre as quais:

- Verificar se os contractos energéticos estão actualizados e se os preços que estão a ser cobrados pela distribuidora de energia se enquadram com os padrões presentes no mercado.

- Aumentar o factor de potência nos diversos equipamentos com o intuito de utilizar quase a totalidade da energia que é requerida à rede energética.
- Analisar as facturas energéticas e identificar possíveis erros na contagem dos consumos eléctricos para as diversas tarifas energéticas.
- Instalar baterias de condensadores junto aos quadros eléctricos para compensar o máximo de energia reactiva e não enviar a mesma para rede, que posteriormente será cobrada pela empresa distribuidora de energia.
- Substituição de equipamentos por sistemas mais actualizados e que permitam obter consumos energéticos inferiores. Muitas vezes estas substituições permitem poupanças significativas que ao fim de alguns anos rentabilizam o investimento inicial.
- Aproveitar correntes de sistemas internos para realizar o trabalho da energia eléctrica. Por exemplo, aquecimento de água através da transferência de calor com correntes quentes presentes no sistema e que possam ser utilizadas em detrimento da corrente eléctrica (necessária para aquecer resistências).
- Realizar um estudo luminotécnico com o intuito de identificar possíveis gastos desnecessários. Como por exemplo uma quantidade de lâmpadas superiores às necessárias ou um consumo elevado das próprias lâmpadas em utilização.
- Estudar a possibilidade de colocar equipamentos a funcionar em horários de baixo consumo energético, que posteriormente terão um impacto menor na factura energética a nível financeiro. Horas de baixa necessidade energética apresentam custos inferiores e por isso sempre que possível os equipamentos devem funcionar nestes períodos.

3.8 Sistema de arrefecimento

No processo de fabrico de tinta em pó são necessários equipamentos auxiliares que permitem obter uma produção correcta e eficaz. Os *chillers* e os compressores são dois exemplos destes equipamentos, ambos são estritamente necessários durante a produção e constituem cerca de 23% e 10%, respectivamente, do consumo total de energia da unidade.

Os *chillers* não são utilizados directamente na produção de tintas em pó mas sim como equipamentos auxiliares para as duas últimas etapas do processo produtivo, extrusão e micronização. Na extrusão, o produto necessita de sofrer um arrefecimento rápido para ficar novamente no estado sólido. Este arrefecimento é realizado nas cintas,

onde circula água fria. Como a temperatura da água, disponível na rede, é da ordem dos 15°C é necessário utilizar um *chiller* para proceder ao seu arrefecimento. Na etapa de micronização também é utilizada água fria, neste caso é usada nos permutadores para proceder ao arrefecimento do ar utilizado no interior do moinho.

A impossibilidade de ter água disponível a uma temperatura reduzida faz com que seja necessária a utilização de um *chiller*. O *chiller* funciona através de um ciclo de Carnot invertido, onde é removido calor da corrente de água que se pretende arrefecer.

No interior do *chiller* existem 4 componentes: um compressor, um condensador, um evaporador e uma válvula de expansão. A representação esquemática do ciclo encontra-se representada na figura 3.2. No interior do ciclo circula um líquido refrigerante que irá sofrer mudanças de estado com o intuito de remover calor presente na corrente de água, no evaporador. À saída do evaporador (2) o refrigerante encontra-se na forma de vapor saturado, de seguida é comprimido no compressor (1) aumentando a pressão (diminuição do volume) e aumentando também a temperatura. O vapor sobreaquecido entra no condensador (4) para remover calor através de uma corrente de arrefecimento, que pode ser água ou ar. Após arrefecer no condensador volta ao estado líquido e antes de entrar novamente no evaporador necessita de reduzir a pressão numa válvula de expansão (3). Quando chega ao evaporador encontra-se na forma de líquido e vapor com baixa pressão e temperatura reduzida. No evaporador vai aumentar a temperatura através da transferência de calor entre o líquido e a corrente de água, sofrendo assim mais uma mudança de fase e voltando ao início do ciclo [17].

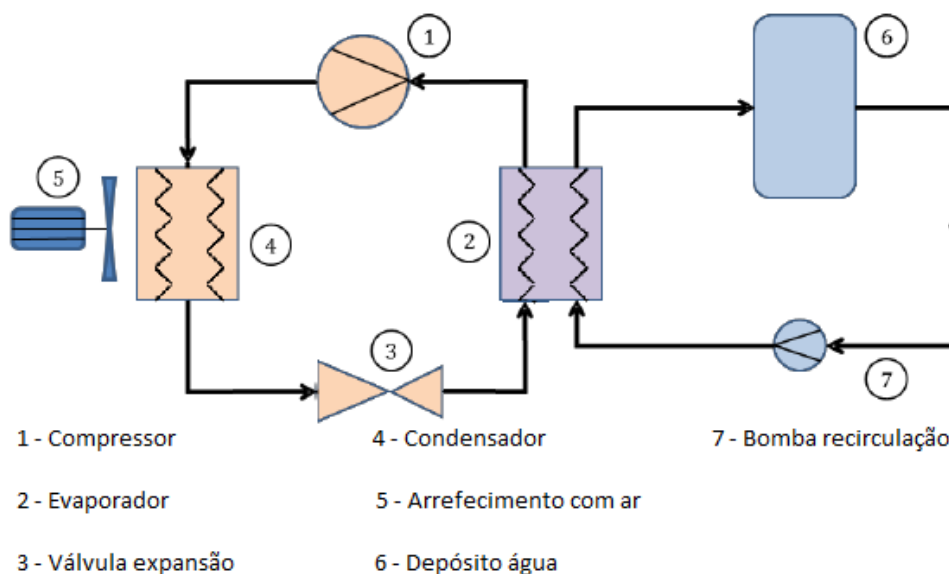


Figura 3. 2 Esquema de um chiller utilizado para arrefecer água. Adaptado de [18].

O ciclo descrito pelo líquido refrigerante em termos termodinâmicos pode ser representado através de um diagrama de pressão-entalpia como o da figura 3.3. No ponto 1 estão representadas as condições à entrada do compressor. A compressão do vapor saturado faz com que a pressão aumente de P_1 para P_2 , além disso o trabalho realizado no compressor é transferido na forma de calor para o refrigerante aumentando a sua temperatura. Após sair do compressor, ponto 2, o refrigerante encontra-se na forma de vapor sobreaquecido e segue para o condensador. No condensador, o gás é arrefecido e reduz a entalpia de h_2 para h_3 . A redução de pressão provocada do ponto 3 para o 4 corresponde ao processo de expansão. Uma pequena percentagem de líquido é evaporada por causa da redução de pressão, por isso a temperatura e a entalpia do líquido resultante diminuem ligeiramente. O ponto 4 representa as condições do refrigerante à entrada do evaporador. Na transição entre o ponto 4 e o 1, o líquido aumenta a entalpia de h_4 para h_1 devido à transferência de calor que ocorre no evaporador entre o refrigerante e o líquido a arrefecer [17].

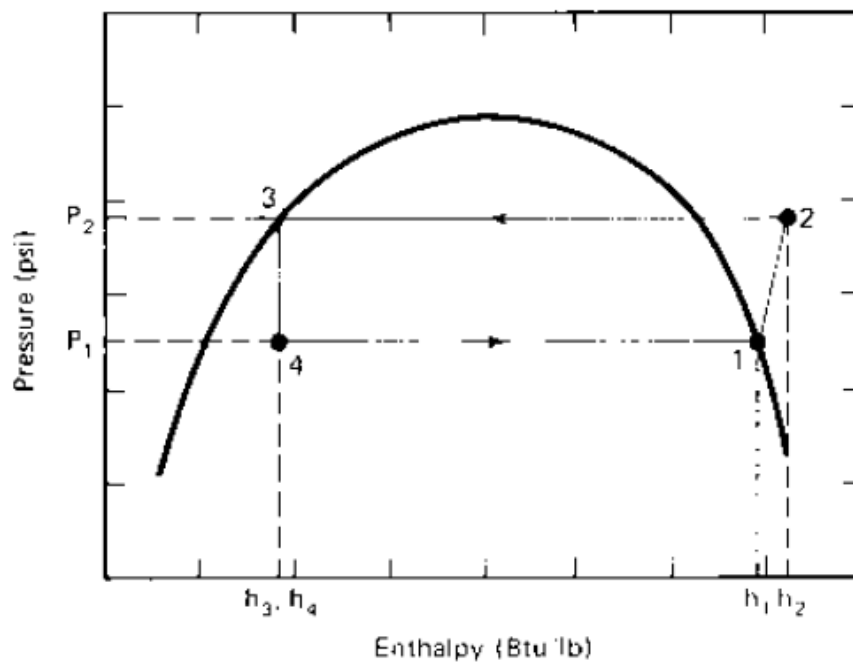


Figura 3. 3 Pressão vs entalpia do líquido refrigerante nas secções do chiller [17].

Nos *chillers* são utilizados dois tipos de compressores, os alternativos e os rotativos. Nos *chillers* em estudo são usados dois compressores rotativos para satisfazer as necessidades do sistema. Os compressores rotativos contêm dois parafusos com dois lóbulos, macho e fêmea. Neste tipo de parafusos a compressão é obtida através da redução direta de volume. Quando os parafusos iniciam o seu movimento é criado um

vácuo entre os lóbulos que permite ao gás refrigerante fluir para o compressor. A rotação dos parafusos faz com que o gás fique preso e seja comprimido. Após redução substancial do volume, a válvula de descarga do compressor é aberta e obriga o gás a sair com uma pressão superior, seguindo para o condensador [19].

O calor transferido para o refrigerante no evaporador por transferência de calor com a água e o calor dissipado pelo compressor quando é realizada a compressão é removido no condensador. Na remoção do calor é utilizado directa ou indirectamente ar atmosférico. Considera-se directamente se for arrefecido com ar e indirectamente se necessitar de uma torre de arrefecimento. O *chiller* em estudo é arrefecido directamente com ar atmosférico através de ventiladores colocados na parte superior do *chiller*. O desempenho dos condensadores depende do caudal de ar e da humidade do ar. Quanto menor for a humidade do ar e maior o fluxo de ar que é utilizado nos condensadores, mais eficientes os *chillers* vão ser no arrefecimento do líquido refrigerante.

O líquido refrigerante é uma característica muito importante num *chiller*. Muitas vezes a eficiência destes equipamentos é afectada de forma significativa se a escolha do líquido não for a mais correta. Qualquer substância que absorva calor pode ser denominada de refrigerante. Nos *chillers*, além de absorverem calor, os refrigerantes têm de ter a capacidade de mudar de fase. São requeridas boas propriedades químicas, físicas e termodinâmicas por parte dos refrigerantes para que durante o ciclo não existam perdas de eficiência nos vários equipamentos [17]. Os refrigerantes devem apresentar três características importantes:

- Quimicamente estáveis, quer no estado líquido quer na forma de vapor.
- Quando utilizados em sistemas de arrefecimento de água não devem ser inflamáveis e devem apresentar uma baixa toxicidade.
- As propriedades termodinâmicas devem estar dentro das gamas de pressão e temperatura necessárias para a aplicação.

3.9 Ar comprimido

Actualmente o ar comprimido está presente numa panóplia de aplicações que vão desde uma simples bola de futebol até aos mais complexos equipamentos industriais. O principal constituinte do ar comprimido é como o próprio nome indica o ar, que é constituído essencialmente por 79% de azoto e 21% de oxigénio. As moléculas

presentes no ar comprimido apresentam entre si energias cinéticas diferentes, que são directamente influenciadas pela temperatura do ar.

Segundo a empresa Atlas Copco, maior produtora de compressores a nível mundial, a compressão do ar faz com que as moléculas se movam mais rapidamente, resultando num conseqüente aumento de temperatura. Referem também que a compressão corresponde ao fenómeno de forçar o ar para um espaço menor, resultando numa aproximação das moléculas presentes no ar. A energia libertada na compressão do ar é a mesma que é necessária para forçar o ar a movimentar-se para um espaço menor, considerando um sistema sem perdas. A possibilidade de conseguir armazenar energia e transmitir é uma das principais características do ar comprimido. Quando comparado com outros meios é mais flexível, versátil e seguro [20].

O ar comprimido, a nível industrial, pode ser utilizado como energia ou como parte de um processo. Quando é utilizado como energia, tem como objectivo o armazenamento e transmissão da mesma para a realização essencialmente de trabalhos mecânicos. Destacam-se como principais aplicações o accionamento de ferramentas pneumáticas e o accionamento de válvulas em sistemas de controlo. Se for utilizado como parte de um processo vai entrar em contacto com o produto. Neste tipo de aplicações a qualidade do ar representa um papel muito significativo [19].

Quase todos os produtos que são comercializados, durante a sua produção ou na própria constituição do produto, apresentam ar comprimido. Em termos globais, as principais indústrias onde o ar comprimido é utilizado são as seguintes:

- Automóvel
- Química
- Aeroespacial
- Electrónica
- Alimentar
- Hospitalar
- Farmacêutica
- Produção energia

A produção de ar comprimido é efectuada numa central de produção de ar comprimido. Estas centrais de produção são constituídas, normalmente, por um

compressor, um reservatório de ar comprimido, um secador, dois filtros (óleo e água) e uma zona de admissão de ar [19].

A escolha do compressor (tipo e tamanho) a utilizar numa instalação industrial depende do caudal de ar comprimido e da respectiva pressão mínima de funcionamento nos vários utilizadores. Para produções de ar comprimido em elevadas quantidades são utilizados dois tipos de compressores, os alternativos e os de parafuso.

Nos compressores alternativos a produção de ar comprimido é obtida através do movimento de um pistão que empurra o ar presente para a secção oposta fazendo com que diminua o seu volume e conseqüentemente aumente a temperatura. Enquanto o pistão se desloca para “trás” é admitido ar dentro da secção, quando o pistão “avança” o ar é comprimido. Após esta compressão o ar é libertado através das válvulas de saída e é alimentado à rede de ar comprimido [21]. Na figura 3.4 está representado um exemplo de um compressor do tipo alternador.



Figura 3. 4 Compressor alternativo Atlas Copco.

Na unidade de produção em estudo são utilizados 2 compressores do tipo parafuso. Estes parafusos apresentam um funcionamento idêntico ao dos *chillers*, no entanto com uma dimensão superior. Estes compressores caracterizam-se pela presença de dois parafusos, o macho com perfil convexo e o fêmea com perfil côncavo. Na figura 3.5 é possível observar ambos os parafusos. O ar atmosférico é admitido quando os lóbulos se afastam um do outro. Quando os lóbulos se encostam novamente o ar admitido fica preso num espaço fechado. Com a rotação dos parafusos o ar é comprimido através da

diminuição do volume. Após compressão o ar é libertado e alimentado à rede de ar comprimido que alimenta os utilizadores [21]. Na figura 3.6 está representado um compressor de parafuso da empresa Atlas Copco idêntico ao utilizado nas instalações da *CIN Megadur*.



Figura 3. 5 Representação de um parafuso macho e um fêmea num compressor de parafuso.



Figura 3. 6 Compressor de parafuso Atlas Copco.

Quando comparados, o compressor de parafuso é mais utilizado do que o alternativo. De seguida são apresentadas as principais razões para esta diferença:

- O ar comprimido à saída de um compressor de parafuso apresenta cerca de dez vezes menos óleo que no alternativo.
- A manutenção dos compressores de parafuso é mais rápida e económica porque são mecanicamente mais simples que os alternativos.

- Para a mesma pressão os compressores alternativos apresentam temperaturas superiores quando comparados com os de parafuso.
- Nos compressores alternativos o caudal é mais irregular e por isso necessitam de tanques de amortecimento ao contrário dos compressores de parafuso.

Durante a construção das redes de ar comprimido devem ser considerados os seguintes factores para melhorar a eficiência do sistema [22], nomeadamente:

- A rede deve ser o menos extensa possível e a sua disposição deve ser em anel e com inclinação para que a humidade condensada descaia num dos sentidos (nos pontos mais baixos devem existir purgadores).
- Os compressores devem ficar localizados o mais próximo possível dos consumidores de ar.
- Os diâmetros da tubagem devem ser maximizados enquanto os comprimentos, as curvas e tudo o que origine perdas de carga deve ser minimizado.
- Devem ser instalados reservatórios extra junto aos grandes consumidores.
- Devem ser instaladas válvulas de corte durante o percurso da rede de ar comprimido para poder isolar zonas desactivadas ou em manutenção.
- Devem utilizar-se tubagens em materiais com baixo atrito e resistentes à oxidação, como aço inoxidável, alumínio ou plástico.

3.10 Iluminação

Os sistemas de iluminação representam uma parcela significativa na factura de energia eléctrica de uma empresa e por isso são alvo de estudos na tentativa de diminuir os consumos. São realizados ensaios luminotécnicos para optimizar o consumo de energia eléctrica e compreender as necessidades luminosas das instalações. A iluminação está directamente relacionada com a visão humana e por isso na ausência de uma luz natural é importante existir luz artificial adequada para laborar. A iluminação representa um papel fundamental no local de trabalho. No caso de ser reduzida pode causar fadiga ocular, dores de cabeça e acidentes. Por outro lado se a quantidade de luz for superior à necessária pode causar problemas de saúde, dores de cabeça e *stress*. Em ambas as situações a qualidade e a produtividade dos colaboradores é reduzida e por isso estudos luminotécnicos são muitas vezes realizados em ambientes empresariais [23].

Nestes sistemas o nível de iluminação é uma característica importantíssima, sendo função das tarefas a desempenhar e do tipo de utilizadores. O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lúmens, na tensão nominal de funcionamento. O nível de iluminação corresponde ao fluxo luminoso recebido no plano de trabalho por unidade de superfície, sendo a sua unidade de medida o “Lux”. Os valores de iluminação em Lux variam conforme a actividade a realizar. Os Lux para uma sala de trabalho num escritório são cerca de 500, enquanto para uma sala de operações, de um hospital, são aproximadamente 1000 Lux. No tipo de indústria em que se enquadra a *CIN Megadur* a quantidade de Lux adequada é cerca de 300. A qualidade da luz em muitos sectores é um parâmetro importante e que deve ser avaliado durante um ensaio luminotécnico. A luz que é colocada numa zona fabril não pode ser a mesma que é colocada num laboratório onde é controlada a cor. A restituição de cor (Ra) é a propriedade responsável por identificar uma diferenciação entre a cor natural dos objectos quando são iluminados. Quanto maior for o valor de Ra melhor é o rendimento, ou seja, menor é a alteração da cor com a fonte de luz em questão. As lâmpadas utilizadas no laboratório para avaliar a cor de um determinado produto devem apresentar valores de restituição elevados [23].

Actualmente existe uma ampla oferta de iluminação, desde lâmpadas incandescentes, de descarga e LED's. Na figura 3.7 está representado um esquema com os diversos tipos de iluminação disponíveis.

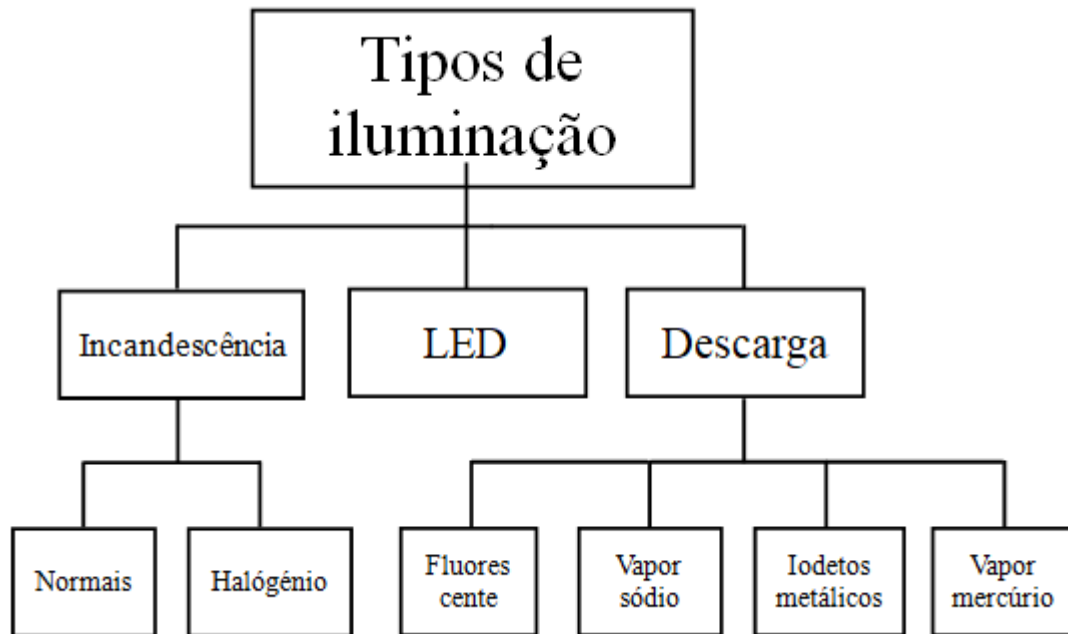


Figura 3. 7 Esquema com os diferentes tipos de iluminação existente.

Apresentam-se de seguida as principais características de cada um dos tipos de iluminação:

- Incandescência
 - Normais
 - Dimensões reduzidas
 - Funcionamento imediato
 - Baixa eficiência luminosa
 - Possibilidade de ofuscar
 - Vida útil reduzida (1000 horas)
 - Halógeno
 - Elevada eficiência energética (30% redução em relação às normais)
 - Dimensões reduzidas
 - Elevada restituição de cor
 - Vida útil reduzida (2000 a 4000 horas)
- Descarga
 - Fluorescente
 - Tubulares
 - Nível médio de restituição de cor

- Elevada eficiência luminosa (5x superior às incandescentes)
- Vida útil intermédia
- Compactas
 - Elevada restituição de cor
 - Média eficiência luminosa
 - Vida útil elevada (8000 horas)
- Vapor sódio
 - Longo tempo de acendimento (7 a 15 min)
 - Elevada eficiência luminosa
 - Vida útil elevada (9000 horas)
- Iodetos metálicos
 - Elevada eficiência energética
 - Elevada restituição de cor
 - Necessitam de equipamento auxiliar
- Vapor mercúrio
 - Intermédia eficiência luminosa
 - Reduzida restituição de cor
 - Vida útil elevada (9000 horas)
- LED
 - Elevada eficiência energética
 - Resistência superior
 - Vida útil elevada (superior a 10000 horas)

As lâmpadas do tipo LED, díodos emissores de luz, emitem luz devido ao aquecimento pela passagem de uma corrente eléctrica através de semicondutores. Os electrões presentes no semicondutor interagem com os espaços livres libertando energia na forma de fotões. A radiação infravermelha produzida pelas lâmpadas faz com que sejam utilizados muitos watts para arrefecer as lâmpadas, em média apenas cerca de 20-30% da energia eléctrica é emitida na forma de luz. Ao contrário das fontes de luz tradicionais, os LEDs normalmente não emitem radiação infravermelha e por isso apresentam consumos inferiores tornando os sistemas luminosos mais eficientes [24].

O tipo de iluminação deve ser escolhido em função da zona onde vão ser colocadas as lâmpadas, como referido anteriormente. A elevada diversidade de escolha pelo tipo

de iluminação leva à existência de lâmpadas com características idênticas e capazes de satisfazer os objectivos pretendidos. Nestas situações devem ser escolhidos sistemas luminosos com um carácter mais eficiente, ou seja, que permitam satisfazer as necessidades requeridas com um consumo energético inferior.

4 Análise energética à unidade produtiva

4.1 Comparação dos consumos energéticos entre 2016 e 2019

Em 2016, a unidade em estudo foi alvo de uma auditoria energética no âmbito do sistema de gestão de consumos intensivos de energia uma vez que o consumo anual de energia era superior a 500 tep. Foi realizado o cálculo dos principais indicadores energéticos assim como a monitorização dos consumos energéticos em toda a unidade. Através desta caracterização foi possível identificar os principais consumidores de energia e quais os respectivos consumos.

Com o objectivo de se avaliar a evolução dos resultados energéticos obtidos no ano de 2016, foi realizada, no contexto da presente dissertação, uma análise às facturas energéticas dos doze meses do ano de 2019 com o intuito de quantificar os consumos e os custos energéticos atuais da empresa. Através desta análise foi possível calcular novamente os indicadores energéticos apresentados na auditoria energética de 2016, para perceber em que ponto se encontra a empresa. Os valores globais de consumo, e do respectivo custo associado, para os anos de 2016 e 2019, encontram-se representados nas tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente. Os consumos estão representados em duas unidades diferentes, kWh e tep. Além disso, foram também calculadas as toneladas de CO₂ emitidas em função da quantidade de energia consumida.

Tabela 4.1 *Resumo dos consumos energéticos e do respectivo custo no ano de 2016.*

Tipo Energia	Consumo/Emissão Total Anual 2016				
	Quantidade	[tep]	[t CO ₂]	Custo (€)	
Energia Eléctrica	kWh	3942385	847,6	1852,9	474610
Gasóleo	t	1	0,8	2,48	807
Total	-		848,4	1855,4	475417

Tabela 4.2 *Resumo do consumo energético e do respectivo custo no ano de 2019.*

Tipo Energia	Consumo Total Anual 2019			
	[kWh]	[tep]	[t CO ₂]	Custo (€)
Energia Eléctrica	3795944	816,1	1784,1	608589

Analisando os valores obtidos é possível concluir que a empresa, no ano de 2019, não obteve qualquer consumo energético utilizando gasóleo, tendo consumido exclusivamente energia eléctrica em toda a unidade. Os valores do consumo de energia

eléctrica diminuíram cerca de 4% entre 2016 e 2019. No sentido inverso, a empresa aumentou as suas despesas energéticas em aproximadamente 22%.

Com os valores das tabelas 4.1 e 4.2 determinaram-se os indicadores energéticos da empresa para o ano de 2016 e 2019. Foram calculados os valores da Intensidade Energética (IE), do Consumo Específico de Energia (CEE) e da Intensidade Carbónica (IC). Para o cálculo destes indicadores foram utilizadas as equações 1,2 e 3.

$$\text{Intensidade Energética (IE)} = \frac{\text{Consumo total de energia (tep)}}{\text{Valor acrescentado bruto (€)}} [12]$$

$$\text{Consumo Específico de Energia (CEE)} = \frac{\text{Consumo total de energia (tep)}}{\text{Produção}} [12]$$

$$\text{Intensidade Carbónica (IC)} = \frac{\text{Emissões de GEE (kgCO}_2\text{)}}{\text{Consumo total de energia (tep)}} [12]$$

Os indicadores energéticos referidos anteriormente e calculados segundo as equações 1,2 e 3 para o ano de 2016 e 2019, encontram-se representados na tabela 4.3

Tabela 4.3 Indicadores energéticos relativos ao ano de 2016.

Indicadores	2016	2019
IE	0,085	0,079
CEE	107,8	106,7
IC	2,19	2,19

Um dos objectivos das auditorias energéticas é a criação de um plano de racionalização do consumo de energia (PREn), onde são estabelecidas as metas de redução para os indicadores energéticos relativamente ao ano de referência. Considerando o ano de 2016 como o ano de referência, a empresa deve atingir as seguintes metas na redução dos indicadores energéticos ao fim de 8 anos:

- Uma melhoria, no mínimo de 4% da Intensidade Energética.
- Uma melhoria, no mínimo de 4% do Consumo Específico de Energia.
- A manutenção dos valores históricos de Intensidade Carbónica, no mínimo.

Com os valores de 2019 é possível posicionar a empresa e perceber se as metas de redução dos indicadores energéticos estão a ser cumpridas e a que distância estão de ser atingidas. Sabendo que a redução do IE e do CEE deve ser de 4%, pretende-se que em 2024 os valores sejam de 0,082 e 103,5 respectivamente. Os valores obtidos com a análise dos consumos e custos do ano de 2019 indicam que a unidade industrial já se

encontra dentro dos objectivos estabelecidos em relação à intensidade energética. No entanto em relação ao consumo específico de energia já ocorreu uma ligeira diminuição mas não a suficiente para atingir as metas propostas. O valor de intensidade carbónica mantém-se no ano de 2019, encontrando-se dentro dos objectivos estabelecidos.

No ano de 2016 a unidade em estudo apresentou um consumo de cerca 3,94 MWh. Após 3 anos, em 2019, o consumo apresentado foi de 3,80 MWh representando uma redução de 4%. Por outro lado os gastos energéticos passaram de aproximadamente 475 para 608 mil euros, sofrendo um aumento de 22% entre 2016 e 2019.

Devido ao aumento significativo dos gastos financeiros em relação à componente energética da empresa foi realizada uma análise às facturas energéticas mensais relativas a 2016 e 2019. Esta análise teve como principal objectivo identificar quais as parcelas que sofreram mais alterações entre os 2 anos em questão. As facturas foram divididas em 5 parcelas:

- Potência contratada
- Potência horas de ponta
- Energia activa
- Energia reactiva
- Restantes custos (Imposto sobre os produtos petrolíferos (ISP), contribuição audiovisual (CAV), etc.)

As tarifas de acesso das redes energéticas também representam um custo nas facturas energéticas. No entanto durante esta análise as mesmas foram adicionadas às parcelas relativas da energia activa e energia reactiva. Na tabela 4.4 estão apresentados os valores de cada parcela, as diferenças e o respectivo aumento percentual entre 2016 e 2019.

Tabela 4. 4 Comparação dos custos relativos às várias parcelas das facturas energéticas entre 2016 e 2019.

Parcelas	2016 (€)	2019 (€)	Dif. (€)	% Aum.
Potência Contratada	1452,00	1804,00	352,00	19%
Potência Horas de Ponta	6148,00	6363,00	215,00	3%
Energia Activa	31942,00	42544,00	10602,00	25%
Energia Reactiva	5,16	5,93	0,77	13%
Restantes custos	2,82	389,40	386,58	99%

Analisando os valores que se encontram na tabela 4.4 é possível identificar que o parâmetro que sofreu um menor aumento corresponde à potência das horas de ponta. Por outro lado, a parcela com o aumento mais significativo foi a dos restantes custos, apresentando um aumento de quase 100%. Esta subida é maioritariamente consequência do aparecimento de novos impostos sobre os consumos energéticos. O parâmetro com o segundo maior aumento é a energia activa, cerca de 25%, que está essencialmente relacionado com o aumento das tarifas energéticas e com o aumento das tarifas de acesso à rede. Os valores da potência contratada e da energia reactiva também apresentaram um acréscimo de 19 e 13% respectivamente.

As tarifas energéticas para a energia activa propostas pelos diversos comercializadores de energia eléctrica tem por base o mercado ibérico de electricidade. Este baseia-se, essencialmente, no custo dos combustíveis fósseis. Com a actual situação económica, altamente afectada pela pandemia do vírus SARS-CoV2, ocorreu uma diminuição do consumo de combustíveis fósseis e por consequência, uma diminuição dos preços praticados no mercado de electricidade. Desta forma entende-se que esta seja a altura ideal para negociar o contrato energético da empresa, nomeadamente pelo elevado consumo que a unidade apresenta, sendo sempre um factor importante e cativante para qualquer distribuidora de energia. Os aumentos significativos que as várias parcelas da factura energética apresentam são um indicador de que a empresa necessita de rever o contrato estabelecido com a distribuidora de energia ou procurar alternativas mais económicas dentro das várias opções existentes actualmente no mercado.

4.2 Estudo luminotécnico

No ano transacto, a unidade produtiva em análise ainda não atingiu os valores de indicadores energéticos pretendidos, como explicitado no capítulo anterior. O principal factor para esta diferença é o elevado consumo energético que a empresa apresenta. Por conseguinte, uma diminuição deste parâmetro permitirá atingir os valores pretendidos para os indicadores energéticos da unidade.

Com o intuito de identificar possíveis melhorias nos consumos energéticos da unidade fabril em questão foi realizado um estudo luminotécnico. O principal objectivo deste estudo foi identificar os locais da unidade de produção que necessitavam de uma intervenção, proporcionando uma diminuição do consumo energético.

Inicialmente realizou-se um levantamento sobre o número total de lâmpadas por sector, a potência em watts de cada lâmpada assim como a sua respectiva capacidade luminosa. Na tabela 4.5 estão identificados os valores das características referidas anteriormente.

Tabela 4.5 Número de lâmpadas por sector, potência e fluxo luminoso de cada lâmpada.

Sector	Número de Lâmpadas	Potência por lâmpada (W)	Fluxo luminoso por lâmpada
A	54	58	5000
B	13	58	5000
C	101	58	5000
D	71	58	5000
E	95	58	5000
F	51	58	5000
G	80	49	4375
H	78	49	4375
I	18	58	5000
J	81	18	1350
K	24	36	3250
Total	666	558	-

Posteriormente, com os dados recolhidos calculou-se o consumo energético diário e anual em função da quantidade de horas que as lâmpadas se encontram ligadas na unidade produtiva. Além do consumo foram calculados os respectivos custos. Para efeito de cálculo foram consideradas as tarifas energéticas do ano de 2019, no período horário de inverno. O tempo de funcionamento das lâmpadas não é o mesmo para todos os sectores. No sector B, por exemplo, as lâmpadas só se encontram ligadas durante 9 horas, enquanto no sector A considerou-se que as lâmpadas permanecem em funcionamento no período entre as 07h30 até às 02h00 do dia seguinte, ou seja, durante 18 horas e 30 minutos. No Anexo C, na tabela C.1 encontram-se os valores relativos às horas em que as lâmpadas se encontram em funcionamento, o consumo, as tarifas associadas em função do período e o correspondente custo para cada um dos sectores. A tabela 4.6 é um resumo da tabela referida anteriormente, onde estão representados os valores do consumo e custo diário para cada um dos sectores e ainda os valores totais (consumo e custo) para a unidade produtiva em estudo.

Tabela 4. 6 Consumos e custos diários por sector no panorama actual.

Sector	Número de Lâmpadas	Potência por lâmpada (W)	Consumo diário (kWh)	Custo diário (€)
A	54	58	58	6,03
B	13	58	7	0,79
C	101	58	108	11,28
D	71	58	76	7,93
E	95	58	102	10,61
F	51	58	27	3,08
G	80	49	73	7,55
H	78	49	71	7,36
I	18	58	19	2,01
J	81	18	16	1,87
K	24	36	10	1,11
Total	666	558	566	59,60

Utilizando os valores da tabela 4.6 calculou-se o consumo anual de iluminação que a empresa apresenta, assim como os custos associados ao sector. Para efeitos de cálculo, considerou-se que as lâmpadas se encontram em funcionamento 5 dias por semana durante 50 semanas, uma vez que a unidade produtiva encerra aos fins-de-semana e durante 2 semanas num ano (considerou-se que em média existem 52 semanas num ano). A iluminação da empresa consome cerca de 141 mil kWh durante 1 ano de laboração, representando por isso um gasto financeiro de aproximadamente 14 mil e 900 euros. O consumo referido anteriormente corresponde a 4% da totalidade do consumo de energia activa apresentado pela empresa durante 1 ano.

Com o objectivo de diminuir o consumo energético apresentado no sector da iluminação solicitou-se um orçamento para a substituição directa das lâmpadas existentes por lâmpadas LED's, com consumos menores e garantindo a mesma capacidade luminosa. Neste momento, todas as lâmpadas em estudo encontram-se em luminárias. Estas apenas emitem numa direcção e, por conseguinte, o fluxo luminoso não é totalmente aproveitado, ou seja, para efeitos de cálculo, considerou-se que as lâmpadas existentes apenas irradiam 1/3 da luz, uma vez que se encontram acopladas no tecto e a capacidade de emitir luz em 360° não é rentabilizada. As lâmpadas do tipo LED, além do baixo consumo, apenas irradiam numa única direcção e por isso apresentam fluxos luminosos inferiores aos das lâmpadas existentes. Na unidade industrial, as lâmpadas actuais estão posicionadas junto ao topo e, desta forma, apenas é utilizado 1/3 do seu fluxo luminoso. A potência em watts, o fluxo luminoso e o custo de cada lâmpada estão identificadas na tabela 4.7 para cada um dos sectores da unidade

produtiva. A aquisição da totalidade das lâmpadas representa um investimento na ordem dos 7 mil e 500 euros para a empresa.

Tabela 4. 7 Valores relativos às lâmpadas da proposta de substituição.

Sector	Quantidade de Lâmpadas	Potência por lâmpada (W)	Fluxo luminoso por lâmpada	Preço por lâmpada (€)
A	54	22	2000	12,77
B	13	22	2000	12,77
C	101	22	2000	12,77
D	71	22	2000	12,77
E	95	22	2000	12,77
F	51	22	2000	12,77
G	80	20	2000	11,50
H	78	20	2000	11,50
I	18	22	2000	12,77
J	81	10	850	4,50
K	24	18	1600	6,32
Total	666	558	-	-

Em função dos valores referidos anteriormente calculou-se o novo consumo energético diário e anual assim como o respectivo custo se fosse realizada uma substituição das lâmpadas existentes. Para efeito de cálculo foram considerados os mesmos pressupostos do cálculo relativo à situação actual. Os valores referidos anteriormente estão representados na tabela 4.8

Tabela 4. 8 Consumos e custos diários por sector após substituição por lâmpadas LED.

Sector	Quantidade de Lâmpadas	Potência por lâmpada (W)	Consumo diário (kWh)	Custo diário (€)
A	54	22	22	2,29
B	13	22	3	0,30
C	101	22	41	4,28
D	71	22	29	3,01
E	95	22	39	4,02
F	51	22	10	1,17
G	80	20	30	3,08
H	78	20	29	3,00
I	18	22	7	0,76
J	81	10	9	1,04
K	24	18	5	0,55
Total	666	558	223	23,50

À semelhança do que foi realizado para a situação actual, com os valores da tabela 4.8 calculou-se o consumo anual em iluminação após a substituição e o valor monetário

que a empresa pagaria se efectuasse a troca. Para efeito de cálculo, considerou-se que a empresa labora 5 dias por semana durante 50 semanas num ano. Segundo este cenário, a empresa passaria a consumir perto de 56 mil kWh durante um ano com um custo de aproximadamente 6 mil euros. Os valores do consumo eléctrico, do custo e a redução verificada após a substituição das lâmpadas por LED's, encontram-se na tabela 4.9.

Tabela 4.9 Valor do consumo e custo anual para os dois cenários e a respectiva redução.

Cenários	Consumo anual (kWh)	Custo anual (€)
Actual	141481	14900
Subst. LED	55692	5993
Redução	85789	8907

Analisando os valores da situação actual, do investimento necessário para realizar a substituição (excluindo mão-de-obra) e dos consumos estimados após substituição, é possível verificar que a empresa consegue amortizar o investimento realizado ao final de 1 ano, uma vez que a redução financeira anual é cerca de 9 mil euros. Além disso a empresa reduz perto de 86 mil kWh num ano, ou seja, uma redução de 61% do consumo no sector da iluminação. Esta diminuição permite que a empresa reduza a percentagem de consumo que o sector representa na totalidade da unidade produtiva. A diminuição do consumo energético permite à empresa reduzir os valores dos indicadores energéticos (IE, CEE e IC) ficando mais próxima de atingir os valores pretendidos após a auditoria realizada no ano de 2016.

4.3 Análise dos consumos energéticos nas zonas de arrefecimento

A unidade produtiva em estudo apresenta duas zonas de arrefecimento que contêm equipamentos com um elevado consumo de energia eléctrica, nomeadamente *chillers* para arrefecimento de água. Com o intuito de posicionar este sector no consumo eléctrico total da empresa foram realizadas análises aos consumos energéticos de ambas as zonas de arrefecimento.

Para facilitar a compreensão foram consideradas as seguintes designações:

- A zona de arrefecimento **A** é a mais antiga e engloba dois *chillers* e um conjunto de bombas que alimentam cerca de 60% da capacidade produtiva da fábrica, designada por fábrica 1.

- A zona de arrefecimento **B** contém um *chiller* e um menor número de bombas que alimentam aproximadamente 40% da capacidade produtiva da fábrica, designada por fábrica 2.

Na determinação do consumo energético relativo à fábrica 1, realizou-se um ensaio com um registador de consumos durante 70 horas (perto de 3 dias). Durante este ensaio monitorizou-se o valor da potência média em kW, as horas de funcionamento dos equipamentos e a temperatura ambiente. Em função dos valores referidos anteriormente foi possível calcular o consumo e o custo anual que está associado à zona de arrefecimento A. Para facilitar a interpretação dos dados, o ensaio foi dividido em 7 secções de 9 horas e 1 secção com as restantes 7 horas. Na tabela 4.10 estão representadas as horas de medição do ensaio, as horas em que a zona de arrefecimento esteve em funcionamento, a potência média apresentada, a energia consumida e a temperatura do ar ambiente para as diversas secções do ensaio.

Tabela 4. 10 Valores obtidos nos ensaios com o registador de potências na zona de arrefecimento A.

Dias de registo	Horas de medição	Horas de funcionamento	Potência média (kW)	Energia cons. (kWh)	Temp. Ambiente (°C)
30/06 - 12h45 e 21h45	9	9,00	156	1402	31
01/07 - 21h45 e 06h45	9	4,25	118	503	-
01/07 - 06h45 e 15h45	9	8,25	165	1364	29
01/07 - 15h45 e 00h45	9	9,00	131	1175	29
02/07 - 00h45 e 09h45	9	3,50	117	411	-
02/07 - 09h45 e 18h45	9	9,00	139	1248	24
02/07 - 18h45 e 03h45	9	7,25	105	763	24
03/07 - 03h45 e 10h45	7	3,25	100	324	22

Através do valor médio da potência e em função das horas de funcionamento da zona de arrefecimento **A** foram calculados os consumos diários assim como os respectivos impactos financeiros para a unidade produtiva desta secção. Para efeito de cálculo, à semelhança do que foi realizado para o sector da iluminação, foram consideradas as tarifas energéticas do ano de 2019 no período horário de inverno e que a empresa labora 5 dias por semana durante 50 semanas. Apesar do funcionamento da zona de arrefecimento **A** não ser constante considerou-se que a mesma permanecia ligada, apresentando algum consumo, entre as 07h30 até às 02h00 do dia seguinte (período de laboração da unidade produtiva). Os valores relativos ao consumo e custo

em cada um dos períodos horários encontram-se representados no anexo D, nomeadamente na tabela D.1

A na zona de arrefecimento **A** apresenta um consumo energético anual de aproximadamente 600 mil kWh que representa um custo perto de 62 mil euros num ano de laboração. Este sector corresponde a cerca de 16% do consumo total apresentado pela unidade produtiva em estudo.

No mesmo período de tempo do ensaio anterior, monitorizou-se o consumo eléctrico relativo à zona de arrefecimento **B** que alimenta a fábrica 2. Neste ensaio foi utilizado um registador de potência que já se encontrava instalado na empresa, nomeadamente no quadro eléctrico geral da zona de arrefecimento **B**. Ao contrário do registador colocado na zona de arrefecimento anterior, neste caso são apenas retirados os valores da energia consumida, e em função do tempo de funcionamento foi calculada a potência média. Encontram-se representados na tabela 4.1 os valores obtidos durante os ensaios na zona de arrefecimento **B**.

Tabela 4. 11 Valores obtidos nos ensaios com o registador de potência na zona de arrefecimento B.

Dias de registo	Horas de medição	Horas de funcionamento	Potência média (kW)	Energia a cons. (kWh)	Temp. Ambiente (°C)
30/06 - 12h45 e 01/07 - 18h00	29,25	23,75	65	1532	31
01/07 - 18h00 e 02/07 - 18h30	24,50	19,00	58	1107	29
02/07 - 18h30 e 03/07 - 15h45	24,00	18,50	54	991	24

O consumo energético e o custo anual representativos da zona de arrefecimento **B** foram determinados de forma idêntica e assumindo os pressupostos referidos anteriormente. Nesta zona de arrefecimento o consumo energético anual corresponde a 272 mil kWh, representando um custo de aproximadamente 28 mil euros num ano de laboração para a unidade produtiva. O consumo da zona de arrefecimento **B** representa cerca de 7% do consumo energético total da empresa.

Em função da capacidade produtiva de cada uma das fábricas, foram comparados os valores dos consumos energéticos de cada uma das zonas de arrefecimento com o objectivo de perceber qual a mais eficiente em termos práticos. Na tabela 4.12 encontram-se representados os consumos totais anuais de cada uma das zonas de arrefecimento e a respectiva percentagem de consumo que cada um representa.

Tabela 4. 12 Consumo anual em cada uma das zonas de arrefecimento.

Sector	Consumo (kWh)
Zona de arrefecimento A	596050
Zona de arrefecimento B	271852
Total	867902

Os valores anteriores indicam que a zona de arrefecimento **A** apresenta um consumo superior quando comparada com a zona de arrefecimento **B**. Em termos produtivos, a fábrica 1 apresenta uma capacidade de 60%, enquanto na fábrica 2 os valores rondam os 40%. Em função destes parâmetros, espera-se que o consumo de energia eléctrica seja proporcional, ou seja, perto de 60% no caso da zona de arrefecimento **A** e aproximadamente 40% na zona de arrefecimento **B**. Os valores obtidos durante os ensaios não demonstraram esta correspondência. Neste parâmetro a primeira representa cerca de 70% dos consumos e os restantes 30% são relativos à segunda. Analisando estes valores, conclui-se que a zona de arrefecimento **B** é mais eficiente que a zona de arrefecimento **A** uma vez que necessita de menos energia para entregar a mesma quantidade de frio aos consumidores.

O parâmetro que define a eficiência dos *chillers* é o COP (coeficiente de desempenho) e corresponde ao quociente entre a potência útil (utilizada no arrefecimento) e a potência eléctrica necessária (consumida). Quanto maior for o COP menos energia eléctrica é necessária para arrefecer a mesma quantidade de água [25]. Na zona de arrefecimento **A** existem dois *chillers* com um COP individual de 2,80 enquanto na zona de arrefecimento **B** existe apenas um que apresenta um COP de 2,56. Os valores referidos anteriormente foram consultados considerando que a temperatura de saída da água do *chiller* é de 5°C. Em função dos valores teóricos seria de esperar que a zona de arrefecimento **A** apresentasse uma eficiência superior, devido ao COP superior, no entanto em termos práticos o mesmo não se verificou. Os *chillers* da zona de arrefecimento **A** apresentam um desgaste superior ao verificado no que se encontra na zona de arrefecimento **B**, visto que são equipamentos mais antigos. Além disso houve necessidade, por parte da empresa, de cumprir os requisitos legais e assim proceder à substituição do líquido refrigerante presente nos *chillers* da fábrica 1, tornando-os menos eficientes. O líquido refrigerante inicial, R22, é um hidroclorofluorcarboneto que tem uma capacidade de arrefecimento superior quando comparado com os mais recentes. Contudo, este fluido apresenta um impacto significativo na redução da camada de ozono e por isso houve necessidade de proceder

à sua substituição. Em função destas alterações é de esperar que o valor do COP teórico apresente uma diminuição, ficando inclusive menor que o COP do *chiller* presente na zona de arrefecimento **B**, como demonstram os resultados experimentais obtidos.

Analisando os valores elevados de consumo energético obtidos nesta secção realizou-se um estudo da possibilidade de substituir os *chillers* presentes na zona de arrefecimento **A** por *chillers* com coeficientes de performance (COP) superiores, ou seja, mais eficientes. Neste momento os *chillers* que apresentam o COP superior têm como principal diferença a forma como é realizado o arrefecimento do líquido refrigerante. Nos *chillers* actuais é utilizado ar ambiente nos condensadores para diminuir a temperatura do refrigerante. Quanto mais elevada for a temperatura do ar, maior será o fluxo de ar nos condensadores, aumentando o consumo de energia. Nesta nova proposta o condensador funciona como um permutador de água onde no interior de tubos circula água fria que arrefece o líquido refrigerante que se movimenta dentro do condensador. Por sua vez a água que se move dentro dos tubos após transferência de calor com o refrigerante aquece e segue para uma torre de arrefecimento onde vai ser arrefecida com o auxílio de ar ambiente. Na figura 4.1 encontra-se representado o esquema de um *chiller* com torre de arrefecimento. Neste tipo de equipamento a eficiência é superior porque a condensação da água acontece num ambiente húmido onde a temperatura é menor do que nos *chillers* com arrefecimento a ar seco [26].

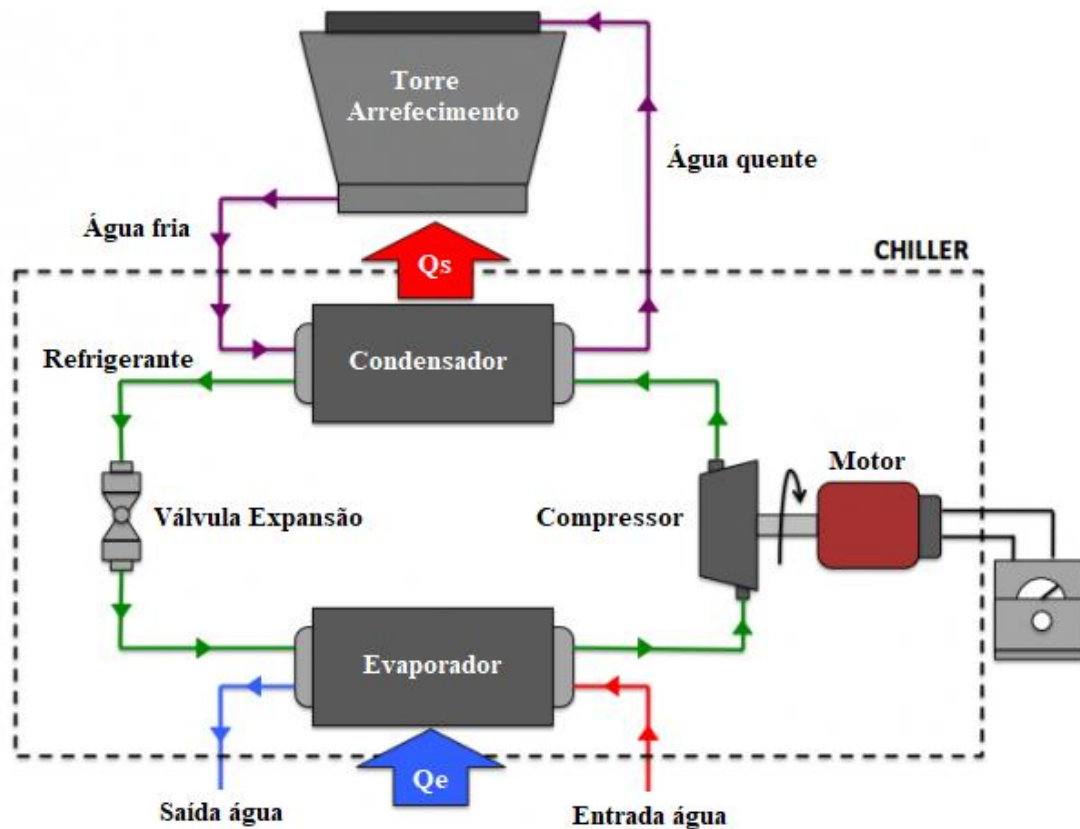


Figura 4. 1 Representação esquemática de um chiller de arrefecimento com água utilizando uma torre de arrefecimento [27].

Considerando as características referidas anteriormente foi solicitado um orçamento para a substituição dos dois *chillers* presentes na zona de arrefecimento A. Posteriormente foi realizado um estudo para determinar os impactos energéticos e financeiros obtidos com a substituição.

Em termos práticos pretende-se que os dois *chillers* de arrefecimento com ar presentes na zona de arrefecimento A sejam substituídos por dois *chillers* novos de arrefecimento com água. Os *chillers* foram seleccionados garantindo uma potência de arrefecimento e uma temperatura de saída da água do evaporador iguais aos verificados nos da unidade actual. Considerou-se que o COP do *chiller* novo seria 5, um valor estimado de acordo com as várias fichas técnicas de *chillers* dos maiores produtores mundiais. Foi considerado como valor base que um *chiller* de arrefecimento com água representa um investimento de 52 mil euros. A torre de arrefecimento que deve ser adquirida em conjunto representa um custo de 15 mil euros. Em função do valor de consumo total anual calculado anteriormente e do valor do COP teórico dos *chillers* presentes na zona de arrefecimento A, calculou-se qual a potência de arrefecimento

necessária. Posteriormente, com o valor referido e considerando que o COP do novo *chiller* é 5 calculou-se o respectivo consumo energético. No anexo D estão apresentados estes cálculos.

Os resultados obtidos indicam que após a substituição dos *chillers* da zona de arrefecimento A, o consumo anual desta secção apresentará uma redução de 44%, sendo o valor total do consumo de aproximadamente 334 mil kWh por ano. Esta diminuição de consumo permite à empresa uma poupança anual na ordem dos 27 mil euros. Para proceder à substituição dos dois *chillers* presentes na zona de arrefecimento A, a empresa necessita de realizar um investimento de 134 mil euros (52 mil euros por *chiller* e 15 mil euros por torre de arrefecimento). Em função dos valores referidos anteriormente, o investimento realizado pela empresa é amortizado ao fim de 5 anos, considerando apenas o custo de aquisição dos equipamentos. Na tabela 4.13 estão representados os consumos e os respectivos custos para cada uma das situações (actual e após substituição dos *chillers*), assim como a redução obtida após mudança dos equipamentos.

Tabela 4.13 Valor do consumo e custo anual para os dois panoramas e a respectiva redução.

Panorama	Consumo anual (kWh)	Custo anual (€)
Actual	596050	62020
Subst. 2 <i>chillers</i>	333788	34731
Redução	262262	27289

Apesar da eficiência energética ser superior para os *chillers* de arrefecimento com água existem outras características que devem ser analisadas antes de se efectuar o investimento e que não foram consideradas nos cálculos anteriores [28]. De seguida são apresentadas as principais vantagens e desvantagens deste tipo de equipamento.

- Vantagens:
 - Vida útil superior – Maior resistência a factores externos como chuva, neve, gelo e calor.
 - Apresenta um funcionamento mais silencioso.
 - Não necessitam de estar ao ar livre, excepto a torre de arrefecimento. Adequados para empresas com pouco espaço exterior.
- Desvantagens:

- Investimento superior - Apesar dos *chillers* serem equipamentos mais baratos normalmente são necessários mais equipamentos, como torres de arrefecimento ou as próprias bombas que são necessárias para enviar água para as torres.
- Elevada manutenção – Estes sistemas apresentam mais equipamentos e por isso uma maior probabilidade de necessitarem de reparação.
- Tratamento de água – A utilização de torres de arrefecimento requer cuidados extras com a água que é evaporada. Um dos principais é com as bactérias do tipo *legionella*. Estas provocam uma infecção que é causada pela inalação de gotículas de vapor de água contaminada ou aerossóis de pequenas dimensões que veiculam a bactéria para os pulmões) [29].
- Elevado consumo de água.

4.4 Análise dos consumos energéticos na central de ar comprimido

A central de ar comprimido da unidade produtiva em estudo corresponde a um dos sectores com maior consumo de energia eléctrica. À semelhança dos capítulos anteriores e com o intuito de aumentar a eficiência energética na empresa, foi realizada uma análise à rede de ar comprimido.

Para suprir todas as necessidades da rede de ar comprimido a empresa possui dois compressores e um reservatório de um metro cúbico. A potência nominal, a pressão da rede, a capacidade máxima, o ano e o tipo de controlo dos compressores estão apresentados na tabela 4.14.

Tabela 4. 14 Características dos compressores da central de ar comprimido.

Compressor	Ano	Potência nominal (kW)	Pressão da rede (bar)	Capacidade máxima (L/s)	Tipo de controlo
1	1996	45	6,7	125	Carga-Vazio
2	2004	37	6,7	113	Variador de frequência

Foi colocado um registador de consumos eléctricos durante 82 horas com o intuito de determinar o consumo eléctrico total que a secção apresenta. No final do ensaio

recolheu-se o valor da energia total consumida e determinada qual a potência média em função do número de horas de funcionamento dos compressores. Através da monitorização do consumo de energia e do período de laboração da empresa considerou-se que os compressores se encontravam em funcionamento entre as 07h30 e as 02h00 do dia seguinte, durante 5 dias por semana. Na tabela 4.15 está representado o valor da potência média, do número de horas de funcionamento e da respectiva energia consumida durante todo o ensaio.

Tabela 4. 15 Valores obtidos nos ensaios com o registador de potências na secção de ar comprimido.

Data do ensaio	Horas de medição	Horas de funcionamento	Potência média (kW)	Energia cons. (kWh)
03/03 - 16h a 07/03 - 02h	82	65,5	78,0	5109,0

Posteriormente calculou-se o valor do consumo total diário e do respectivo custo utilizando o mesmo método que na secção das zonas de arrefecimento. As tarifas energéticas utilizadas no cálculo do custo, como nos capítulos anteriores, são referentes ao ano de 2019, além disso foram considerados os períodos horários relativos ao horário de inverno. As tabelas com os valores de consumo e custo em função dos quatro períodos de horários estabelecidos pela distribuidora de energia eléctrica encontram-se no anexo D.

Na secção de ar comprimido a empresa apresenta um consumo anual de aproximadamente 360 mil kWh, ou seja, cerca de 10% do consumo total de energia activa. Do ponto vista financeiro a empresa desembolsa perto de 38 mil euros por ano com a central de ar comprimido.

Um dos compressores presentes na empresa não apresenta variador de frequência e por isso labora em 3 ciclos distintos:

- Em carga – A admissão de ar do compressor encontra-se aberta e o motor do compressor está em operação. A unidade produz ar e consome energia eléctrica.
- Em vazio – A admissão de ar do compressor está fechada mas o motor do compressor está em operação. A unidade não está a produzir ar mas consome energia eléctrica.
- Parado – A admissão de ar do compressor está fechado e o motor do compressor está parado.

Como referido nos pontos anteriores, o compressor quando se encontra no ciclo de vazio não produz ar comprimido, no entanto como o motor está em funcionamento é consumida energia eléctrica que não é rentabilizada do ponto de vista produtivo. Durante a realização dos ensaios anteriores determinou-se o número de horas que o compressor se encontra no ciclo “em vazio” e o respectivo valor do consumo eléctrico. Anualmente são consumidos aproximadamente 32 mil kWh durante o ciclo “em vazio”, representando um custo anual perto de 3 mil euros. A aquisição de um novo compressor com variador de frequência permitiria à empresa eliminar estes custos.

Um dos principais problemas das redes de ar comprimido reside nas várias fugas existentes ao longo de toda a extensão do circuito. Com o intuito de avaliar as fugas presentes na unidade em estudo foram realizados dois ensaios. O primeiro teve como principal objectivo qualificar as fugas presentes na empresa, ou seja, foram identificados os locais onde o ar comprimido não está a ser totalmente utilizado. Posteriormente realizou-se um ensaio com o intuito de quantificar as fugas existentes, quer do ponto de vista energético quer da quantificação do caudal de ar médio perdido.

Na realização dos ensaios de detecção de fugas foi utilizada a tecnologia de medição por ultra-sons. Quando o ar comprimido sai por uma fuga são causadas turbulências que por sua vez geram ultra-sons. Os sinais ultra-sónicos são inicialmente inaudíveis para o ouvido humano, principalmente numa zona fabril com vários equipamentos em funcionamento, no entanto o equipamento de medida converte os sinais em informações visuais que são disponibilizadas no ecrã do medidor. Com a identificação do local das fugas de ar comprimido a empresa consegue corrigir as falhas presentes e evitar desperdícios de ar e energia eléctrica.

No segundo ensaio foram monitorizados os valores relativos ao consumo de energia eléctrica e de ar comprimido durante o fim-de-semana, período no qual a unidade produtiva interrompe a laboração. O teste decorreu excepcionalmente durante este intervalo de tempo porque neste período os equipamentos utilizadores de ar comprimido presentes na empresa se encontram desligados, logo todo o consumo apresentado pelo compressor neste período corresponde a fugas na rede de ar comprimido. O medidor colocado na central de ar comprimido determinou que durante o intervalo de tempo do ensaio a potência eléctrica média é de aproximadamente 16,6 kW enquanto o consumo médio de ar comprimido é cerca de 37,6 litros por segundo. Em função dos valores anteriores foi calculado o consumo e o respectivo custo diário das fugas de ar

comprimido presentes. Para efeito de cálculo, à semelhança do efectuado nos capítulos anteriores, foram considerados os seguintes pressupostos:

- Tarifas energéticas relativas ao ano de 2019 no período horário de inverno
- A empresa labora 5 dias por semana durante 50 semanas no ano.
- O horário de laboração da empresa é entre as 07h30 até às 02h00 do dia seguinte.
- Os compressores são desligados todos os dias às 02h00 e durante o fim-de-semana.

Os valores relativos ao consumo e custo em cada um dos períodos horários encontram-se representados no anexo E, na tabela E.1. Em função destes valores foram calculados os impactos energéticos e económicos anuais que as fugas representam na unidade produtiva. A central de ar comprimido da empresa apresenta um consumo anual de fugas de aproximadamente 77 mil kWh, representando cerca de 20% do consumo total de energia activa da zona em análise.

Analisando os valores anteriores conclui-se que a empresa anualmente gasta perto de 8 mil euros que não apresentam qualquer utilidade. Por conseguinte, quer energética como financeiramente, a eliminação das fugas permite à empresa uma poupança significativa, podendo, os custos associados, serem alocados à remoção das fugas existentes na presente rede ou utilizados para investir noutros sectores da empresa.

4.5 Resumo das análises energéticas

Neste capítulo pretende-se resumir todas as propostas e análises descritas nos 3 sectores referidos anteriormente, iluminação, zonas de arrefecimento e central de ar comprimido. Na tabela 4.16 estão representados os valores de consumo diário e anual e o respectivo custo diário e anual para os diversos sectores.

Tabela 4. 16 Valores de consumo e custo para os diversos sectores.

Secção	Consumo (kWh)			Custo (€)	
	Diário	Anual	%	Diário	Anual
Iluminação	566	141481	4	60	14900
Zona de arrefecimento A	2384	596050	16	248	62020
Zona de arrefecimento B	1087	271852	7	113	28287
Compressores	1443	360750	10	150	37537
Total	5481	1370133	36	571	142744

Para cada um dos sectores referidos anteriormente, excepto para a zona de arrefecimento B, foram consideradas alterações que do ponto de vista energético seriam mais eficientes para a empresa. Desta forma, encontram-se representados na tabela 4.17 os potenciais valores de consumo e custo para os 3 sectores em função das propostas referidas nos capítulos anteriores.

Tabela 4.17 Valores de consumo e custo para os diversos sectores após realização de propostas de alteração.

Secção	Consumo (kWh)			Custo (€)	
	Diário	Anual	%	Diário	Anual
Iluminação	223	55692	1	24	5875
Zona de arrefecimento A	1335	333788	9	139	34731
Zona de arrefecimento B	1087	271852	7	113	28287
Compressores	1136	284068	7	118	29558
Total	3782	945399	25	394	98451

Se a empresa pretender realizar as propostas explicitadas anteriormente, e em função dos valores de consumo presentes nas tabelas 4.16 e 4.17, a unidade produtiva em estudo terá uma redução de consumo de aproximadamente 30%. Esta diminuição permitirá uma poupança financeira de 44 mil euros por ano, que podem ser investidos noutros sectores garantindo melhores práticas na utilização de energia e uma melhoria dos indicadores anteriormente apresentados.

5 Conclusões

A dissertação realizada permitiu avaliar quais os consumos energéticos apresentados pela unidade produtiva em estudo. Em função dos resultados obtidos ao longo do presente trabalho, nos diversos sectores, foi possível retirar conclusões relativas ao desempenho energético da empresa.

A comparação entre os valores das facturas energéticas nos anos de 2016 e 2019 permitiu concluir que a diminuição do consumo de energia não promoveu, ao contrário do esperado, uma diminuição dos custos energéticos. Desta forma foi possível identificar e quantificar as parcelas que sofreram um acréscimo financeiro, sendo que os “restantes custos” e a “energia activa” aumentaram aproximadamente 100% e 25% respectivamente. Além disso foram calculados os indicadores energéticos – intensidade energética, consumo específico de energia e intensidade carbónica – actuais e foi possível concluir que os valores apresentados se encontram dentro das metas estabelecidas pela auditoria energética para o ano de 2024, excepto o consumo específico de energia.

Com a realização do estudo luminotécnico conclui-se que o consumo actual da unidade produtiva neste sector é elevado visto que existem lâmpadas com características mais eficientes no mercado. Em função disso foi apresentada uma proposta de substituição da iluminação presente permitindo uma redução de 61% no consumo de energia activa. O investimento necessário para a alteração será amortizado após um ano de utilização das novas lâmpadas.

Relativamente às zonas de arrefecimento presentes na unidade produtiva foi possível concluir que a zona de arrefecimento **B** é a mais eficiente porque necessita de menos energia para entregar a mesma quantidade de frio aos consumidores. Foi realizada uma proposta de substituição dos *chillers* presentes na zona de arrefecimento A por dois equipamentos mais eficientes energeticamente. A alteração permite à empresa uma redução no consumo energético de 263 MWh por ano, sendo o *payback* do investimento aproximadamente 5 anos.

Na presente dissertação foi possível posicionar o sector do ar comprimido em função dos consumos energéticos estimados ao longo de um ano. Além disso foram realizados ensaios qualitativos e quantitativos de detecção de fugas. O presente trabalho permitiu concluir que são consumidos aproximadamente 77 MWh de energia nas fugas

presentes na rede de ar comprimido. A análise individual aos compressores demonstrou que são consumidos anualmente 32 MWh, num dos compressores, no ciclo “em vazio”, representando um custo de 3 mil euros.

Por fim, com a realização das propostas sugeridas no presente trabalho conclui-se que a empresa irá obter uma redução de consumo de aproximadamente 30%, ou seja, uma poupança de 44 mil euros por ano. Durante a dissertação foi desenvolvido um procedimento para avaliar o comportamento do consumo energético em função da capacidade produtiva para um equipamento do processo produtivo.

Proposta para trabalho futuro

Como referido no capítulo 2, na última etapa do processo produtivo são utilizados moinhos classificadores para proceder à micronização da pastilha proveniente da etapa de extrusão. Estes equipamentos apresentam condições de operação que podem ser alteradas com o intuito de aumentar a capacidade produtiva. Desta forma, o objectivo do trabalho é aumentar a produção destes equipamentos em função do menor consumo energético possível. Do ponto de vista experimental devem ser realizados ensaios alterando as condições de operação para avaliar a capacidade produtiva e em simultâneo será necessário monitorizar os valores do consumo energético. O estudo não foi realizado por indisponibilidade do medidor de consumo, no entanto foi desenvolvido o método e identificadas as principais condições operatórias onde se devem realizar as alterações. Na figura 5.1 encontram-se representados os principais parâmetros que devem ser avaliados e posteriormente alterados na procura da melhor capacidade produtiva (Débito - kg/h) em função do menor consumo energético possível, não alterando os parâmetros de qualidade do produto (distribuição granulométrica).


		Optimização de produtos	
Linha: _____		Data: ___/___/___	
Produto: _____			
Ordem fabrico: _____			
Condições atuais		Ensaio 1	
Vel. Alim. (esc): _____		Vel. Alim. (esc): _____	
Separador (rpm): _____		Separador (rpm): _____	
Prato (rpm): _____		Prato (rpm): _____	
Ar (m ³ /h ou %): _____		Ar (m ³ /h ou %): _____	
Rede (µm): _____		Rede (µm): _____	
Consumo (kWh): _____		Consumo (kWh): _____	
Débito (kg/h): _____		Débito (kg/h): _____	

Figura 5. 1 Folha de registo para acompanhamento dos ensaios de optimização de produtos.

Referências bibliográficas

- [1] “Fonte interna da empresa.”
- [2] T. A. Misev, *Powder coatings : chemistry and technology*. Chichester: John Wiley & Sons, 1991.
- [3] “Aplicação eletrostática.” https://www.alibaba.com/product-detail/Hybrid-Epoxy-Polyester-Anti-static-Powder_60453471261.html (acedido no dia 18 de Dezembro de 2019).
- [4] S. Teotónio and N. Oliveira, “Tintas em pó”, 1998.
- [5] V. Coelho, “Memória Descritiva – Produção de Tinta em Pó”, 2008.
- [6] “Processo produtivo.” <https://www.freilacke.de/unternehmen/produktion/> (acedido no dia 18 de Dezembro de 2019).
- [7] “Pré-misturadores.” <https://www.mixaco.com/en/products-mixer/container-mixer-multitool/> (acedido no dia 18 de Dezembro de 2019).
- [8] “Extrusora mono-fuso.” http://www.polydynamics.com/BARCELONA_EUROTEC_2011_presentation.pdf (acedido no dia 18 de Dezembro de 2019).
- [9] “Extrusora duplo-fuso.” <https://www.thermofisher.com/pt/en/home/industrial/pharma-biopharma/drug-formulation-manufacturing/hot-melt-extrusion.html> (acedido no dia 20 de Dezembro de 2019).
- [10] “Elementos de moinhos.” https://www.youtube.com/watch?v=B_wlIfCJ2Gs (acedido no dia 20 de Dezembro de 2019).
- [11] P. Thollander and J. Palm, *Improving Energy Efficiency in Industrial Energy Systems*. Sweden, 2013.
- [12] ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade, *Manual de Auditorias Energeticas na Indústria*, ADENE-Ag. 2019.
- [13] “Períodos horários - Galp.” [15.%09www.galpennergia.com/PT/ProdutosServicos/Eletricidade-Gas_Natural](http://www.galpennergia.com/PT/ProdutosServicos/Eletricidade-Gas_Natural)

- (acedido no dia 19 de Abril de 2020).
- [14] Directiva 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de abril, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 2006.
- [15] “PNAEE.” pnaee.pt/pnaee/ (acedido no dia 19 de Março de 2020).
- [16] Decreto - Lei n.º 71/2008 de 15 de abril, Diário da República, I Série, nº74, 15 de Abril de 2008.
- [17] H. Stanford, *HVAC Water Chillers and Cooling Towers - Fundamentals, Application, and Operation*. North Carolina, U.S.A., 2003.
- [18] “Esquema chiller.” https://www.researchgate.net/figure/Prototype-P-ID-As-visible-in-the-scheme-above-the-system-consists-of-two-circuits-In_fig3_258226003 (acedido no dia 19 de Março de 2020).
- [19] Compressed Air Challenge, *Fundamentals of Compressed Air Systems*. Richmond, 1999.
- [20] “Atlas Copco.” atlascope.com/pt-pt (acedido no dia 19 de Abril de 2020).
- [21] C. Assis, “Produção, Tratamento e Distribuição de Ar Comprimido,” 2017.
- [22] ISQ - Instituto de Soldadura e Qualidade, “Relatório de Auditoria Energética e PReN,” 2016.
- [23] R. J. D. Laires, “Sistema de iluminação eficiente utilizando a tecnologia LED para espaços públicos interiores,” Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- [24] J.-J. Huang, H.-C. Kuo, and S.-C. Shen, *Nitride Semiconductor Light-Emitting Diodes (LEDs)*, 2ª. 2017.
- [25] Trane, “RTAA 213 - 434 Packaged Air Cooled Helical Rotary Liquid Chiller High Ambient (50 & 60 Hz) 125 to 400 Tons,” 1999.
- [26] “Difference between air cooled and water cooled chiller system.” <https://www.araner.com/blog/difference-between-air-cooled-and-water-cooled-chiller/> (acedido no dia 25 de Setembro de 2020).
- [27] “Esquema do chiller com torre de arrefecimento.” <https://engfac.cooper.edu/melody/411> (acedido no dia 25 de Setembro de 2020).

- [28] “Advantages and Disadvantages of Water-Cooled Chillers.”
<https://www.jcyounger.com/advantages-disadvantages-watercooled-chillers/>
(acedido no dia 25 de Setembro de 2020).
- [29] M. J. Benoliel, A. L. A. da C. Fernando, and P. Diegues, *Prevenção e controlo de Legionella nos sistemas de água*, 3^a. 2018.

Anexos

A. Períodos de consumo

Tabela A. 1 Horários de consumo nos diferentes ciclos e em função do dia e do horário legal [15].

Ciclo	Período	Inverno			Verão		
		Dia Útil	Sábado	Domingo	Dia Útil	Sábado	Domingo
Diário	Ponta	09:30-11:30 19:00-21:00	09:30-11:30 19:00-21:00	09:30-11:30 19:00-21:00	10:30-12:00 20:00-22:20	10:30-12:00 20:00-22:20	10:30-12:00 20:00-22:20
	Cheias	08:00-09:30 11:30-19:00 21:00-22:00	08:00-09:30 11:30-19:00 21:00-22:00	08:00-09:30 11:30-19:00 21:00-22:00	09:00-10:30 12:30-20:00 22:00-23:00	09:00-10:30 12:30-20:00 22:00-23:00	09:00-10:30 12:30-20:00 22:00-23:00
	Vazio normal	22:00-02:00 06:00-08:00	22:00-02:00 06:00-08:00	22:00-02:00 06:00-08:00	23:00-02:00 06:00-09:00	23:00-02:00 06:00-09:00	23:00-02:00 06:00-09:00
	Super vazio	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00

Tabela A. 2 Horários de consumo nos diferentes ciclos e em função do dia e do horário legal [15] (continuação).

Semanal	Ponta	09:30-12:00 18:30-21:00	-	-	09:15-12:15	-	-
	Cheias	07:00-09:30 12:00-18:30 21:00-24:00	09:30-13:00 18:30-22:00	-	07:00-09:15 12:15-24:00	09:00-14:00 20:00-22:00	-
	Vazio normal	00:00-02:00 06:00-07:00	00:00-02:00 06:00-09:30 13:00-18:30 22:00-24:00	00:00-02:00 06:00-24:00	00:00-02:00 06:00-07:00	00:00-02:00 06:00-09:00 14:00-20:00 22:00-24:00	00:00-02:00 06:00-24:00
	Super vazio	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00	02:00-06:00

Tabela A. 3 Horários de consumo nos diferentes ciclos e em função do dia e do horário legal [15] (continuação).

Semanal Opcional	Ponta	17:00-22:00	-	-	14:00-17:00	-	-
	Cheias	00:00-00:30 7:30-17:00 22:00-24:00	10:30-12:30 17:30-22:30	-	00:00-00:30 7:30-14:00 17:00-24:00	10:00-13:30 19:30-23:00	-
	Vazio normal	00:30-02:00 06:00-07:30	00:00-3:00 07:00-10:30 12:30-17:30 22:30-24:00	00:00-04:00 08:00-24:00	00:30-02:00 06:00-07:30	00:00-3:30 07:30-10:00 13:30-19:30 23:00-24:00	00:00-04:00 08:00-24:00
	Super vazio	02:00-06:00	03:00-07:00	04:00-08:00	02:00-06:00	03:30-07:30	04:00-08:00

Tabela A. 4 Quantidade de horas de consumo por período para os diferentes ciclos, horários e dias [15].

Ciclo	Período	Inverno			Verão		
		Dia Útil	Sábado	Domingo	Dia Útil	Sábado	Domingo
Diário	Ponta	4	4	4	4	4	4
	Cheias	10	10	10	10	10	10
	Vazio normal	6	6	6	6	6	6
	Super vazio	4	4	4	4	4	4
Semanal	Ponta	5	0	0	3	0	0
	Cheias	12	7	0	14	7	0
	Vazio normal	3	13	20	3	13	20
	Super vazio	4	4	4	4	4	4

Tabela A 2 Quantidade de horas de consumo por período para os diferentes ciclos, horários e dias [15] (continuação).

Semanal Opcional	Ponta	5	0	0	3	0	0
	Cheias	12	7	0	14	7	0
	Vazio normal	3	13	20	3	13	20
	Super vazio	4	4	4	4	4	4

B. Cálculo dos indicadores energéticos

Através do consumo eléctrico expresso em kWh e com os factores de conversão calculou-se o consumo em tep e as quantidades de toneladas de CO₂ emitidas. As expressões seguintes representam um exemplo de cálculo da situação descrita anteriormente.

- Cálculo do consumo energético em tep.

$$[tep] = [kWh] * PCI \frac{[tep]}{[kWh]}$$
$$[tep] = 3795944 * 2,15 * 10^{-4}$$

- Cálculo das toneladas de CO₂ emitidas.

$$[tCO_2e] = [kWh] * FE \frac{[kgCO_2]}{[kWh]} * 10^{-3}$$
$$[tCO_2e] = 3795944 * 0,47 * 10^{-3}$$

C. Tabelas do sector de iluminação

Tabela C. 1 Valores de consumo e de custo por sector em função das horas de funcionamento de cada lâmpada para a situação actual.

Sector	Quantidade de Lâmpadas	Potência por lâmpada (W)	Hora Ponta	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Cheia	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
A	54	58	3,0	9,4	0,1303	1,22	10	31,3	0,1128	3,53
B	13	58	1,5	1,1		0,15	7,5	5,7		0,64
C	101	58	3,0	17,6		2,29	10	58,6		6,61
D	71	58	3,0	12,4		1,61	10	41,2		4,65
E	95	58	3,0	16,5		2,15	10	55,1		6,22
F	51	58	1,5	4,4		0,58	7,5	22,2		2,50
G	80	49	3,0	11,8		1,53	10	39,2		4,42
H	78	49	3,0	11,5		1,49	10	38,2		4,31
I	18	58	3,0	3,1		0,41	10	10,4		1,18
J	81	18	2,5	3,6		0,47	8,5	12,4		1,40
K	24	36	2,5	2,2		0,28	8,5	7,3		0,83
Sector	Quantidade de Lâmpadas	Potência por lâmpada (W)	Hora Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Super Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
A	54	58	5,5	17,2	0,07384	1,27	0	0	0,06833	0
B	13	58	0	0,0		-				
C	101	58	5,5	32,2		2,38				
D	71	58	5,5	22,6		1,67				
E	95	58	5,5	30,3		2,24				
F	51	58	0	0,0		-				
G	80	49	5,5	21,6		1,59				
H	78	49	5,5	21,0		1,55				
I	18	58	5,5	5,7		0,42				
J	81	18	0	0,0		-				
K	24	36	0	0,0		-				

Tabela C. 2 Valores de consumo e de custo por sector em função das horas de funcionamento de cada lâmpada para a situação actual.

Sector	Quantidade de Lâmpadas	Potência por lâmpada (W)	Hora Ponta	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Cheia	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
A	54	22	3,0	3,6	0,1303	0,46	10	11,9	0,1128	1,34
B	13	22	1,5	0,4		0,06	7,5	2,1		0,24
C	101	22	3,0	6,7		0,87	10	22,2		2,51
D	71	22	3,0	4,7		0,61	10	15,6		1,76
E	95	22	3,0	6,3		0,82	10	20,9		2,36
F	51	22	1,5	1,7		0,22	7,5	8,4		0,95
G	80	20	3,0	4,8		0,63	10	16,0		1,80
H	78	20	3,0	4,7		0,61	10	15,6		1,76
I	18	22	3,0	1,2		0,15	10	4,0		0,45
J	81	10	2,5	2,0		0,26	8,5	6,9		0,78
K	24	18	2,5	1,1		0,14	8,5	3,7		0,41
Sector	Quantidade de Lâmpadas	Potência por lâmpada (W)	Hora Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Super Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
A	54	22	5,5	6,5	0,07384	0,48	0	0	0,06833	0
B	13	22	0	0,0		-				
C	101	22	5,5	12,2		0,90				
D	71	22	5,5	8,6		0,63				
E	95	22	5,5	11,5		0,85				
F	51	22	0	0,0		-				
G	80	20	5,5	8,8		0,65				
H	78	20	5,5	8,6		0,63				
I	18	22	5,5	2,2		0,16				
J	81	10	0	0,0		-				
K	24	18	0	0,0		-				

D. Zona de arrefecimento

Tabela D. 1 Valores de consumo e de custo nos 4 períodos horários na zona de arrefecimento A.

Potência média (kW)	Hora Ponta	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Cheia	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
128,9	3,0	386,6	0,1303	50,36	10,0	1288,8	0,1128	145,38
Potência média (kW)	Hora Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Super Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
128,9	5,5	708,8	0,07384	52,34	0	0	0,06833	0

Tabela D. 2 Valores de consumo e de custo nos 4 períodos horários na zona de arrefecimento B.

Potência média (kW)	Hora Ponta	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Cheia	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
58,8	3,0	176,3	0,1303	22,97	10,0	587,8	0,1128	66,31
Potência média (kW)	Hora Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Super Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
58,8	5,5	323,3	0,07384	23,87	0	0	0,06833	0

Para determinar a redução de consumo obtida com a substituição dos dois *chillers* foram realizados os seguintes cálculos:

1. Cálculo da potência de arrefecimento necessária em função do consumo energético anual e do respectivo COP teórico do *chiller*:

$$COP = \frac{\text{Potência de arrefecimento (kWh)}}{\text{Potência consumida (kWh)}}$$

$$2,8 = \frac{\text{Potência de arrefecimento (kWh)}}{\frac{596050}{2}}$$

$$\text{Potência de arrefecimento} = 834471 \text{ kWh}$$

2. Cálculo da potência consumida considerando que o *chiller* novo apresenta um COP de 5:

$$\text{COP} = \frac{\text{Potência de arrefecimento (kWh)}}{\text{Potência consumida (kWh)}}$$

$$5 = \frac{834471}{\text{Potência consumida (kWh)}}$$

$$\text{Potência consumida} = 166894 \text{ kWh}$$

3. Redução de consumo para 1 *chiller*:

$$\text{Redução} = \text{Potência consumida actualmente} - \text{Potência consumida após substituição}$$

$$\text{Redução} = 298025 - 166894 = 131131 \text{ kWh}$$

Para determinar a redução de custo obtida com a substituição dos dois *chillers* foram realizados os seguintes cálculos:

1. No cálculo do novo custo associado em função da nova potência consumida após substituição de 1 *chiller* por um novo:

$$\frac{\text{Potência consumida actualmente (kWh)}}{\text{Potência consumida após substituição (kWh)}} = \frac{\text{Custo anual actual (€)}}{\text{Custo anual após substituição (€)}}$$

$$\frac{298025}{131131} = \frac{31010}{\text{Custo após substituição (€)}}$$

$$\text{Custo anual após substituição} = 17365 \text{ €}$$

2. Redução de custo para 1 *chiller*:

$$\text{Redução} = \text{Custo anual actual} - \text{Custo anual após substituição}$$

$$\text{Redução} = 31010 - 17365 = 13645 \text{ €}$$

Para determinar o período de recuperação do investimento foi realizado o cálculo seguinte em função do investimento em 2 *chillers* novos.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Redução de custo}}$$

$$\text{Payback} = \frac{134000}{13645 \times 2}$$

$$\text{Payback} = 5 \text{ anos}$$

E. Tabelas da central de ar comprimido

Tabela E. 1 Valores de consumo e de custo nos 4 períodos horários na central de ar comprimido em funcionamento normal.

Potência média (kW)	Hora Ponta	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Cheia	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
78,0	3,0	234,0	0,1303	30,48	10,0	780,0	0,1128	87,99
Potência média (kW)	Hora Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Super Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
78,0	5,5	429,0	0,07384	31,68	0	0	0,06833	0

Em função da potência média determinada nos ensaios referidos anteriormente, foram calculados os valores de consumo e custo relativos às perdas presentes na unidade produtiva em análise.

Tabela E. 2 Valores de consumo e de custo nos 4 períodos horários relativos às fugas da central de ar comprimido.

Potência média (kW)	Hora Ponta	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Cheia	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
16,6	3,0	49,7	0,1303	6,48	10,0	165,8	0,1128	18,70
Potência média (kW)	Hora Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)	Hora Super Vazio	Consumo (kWh)	Tarifa + Tarifa acesso (€/kWh)	Custo (€)
16,6	5,5	91,2	0,07384	6,73	0	0	0,06833	0

