

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



FEUP

Plano de Eficiência Energética numa Unidade Industrial

Cláudio Filipe Vieira Alves

Relatório de Projecto submetido no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major de Energia

Orientador: Prof. Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira

Fevereiro de 2009

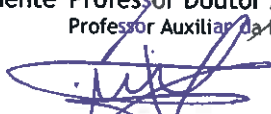
O Projecto intitulado

**“DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM PLANO DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA NA AMORIM & IRMÃOS”**

foi aprovada em provas realizadas em 26/Fevereiro/2009

o júri

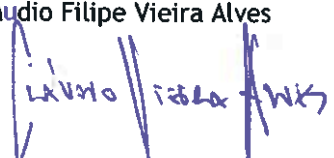
presidente 
Professor Doutor Artur Manuel de Figueiredo Fernandes Costa
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto


Professor Doutor João Paulo da Silva Catalão
Professor Auxiliar da Universidade da Beira Interior


Professor Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados

Autor - Claudio Filipe Vieira Alves


LAVIA 11/02/2009

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

Este documento corresponde ao relatório do *Desenvolvimento e Implementação de um Plano de Eficiência Energética numa Unidade Industrial* da Amorim & Irmãos, S.A., no âmbito do Projecto Final do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Major de Energia, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Na gestão de recursos, a eficiência dos processos produtivos, a qualidade da matéria prima e outros são amplamente discutidos porém, a optimização da utilização energética é muitas vezes, perigosamente, negligenciada. Por eficiência entende-se uma utilização inteligente dos recursos disponíveis e que conduza a benefícios económicos e de desenvolvimento sustentável.

Deste modo, em termos genéricos, este relatório traduz a análise ao estado da arte, o estudo e a implementação de soluções que visem eficiência energética neste ambiente industrial.

Nesta perspectiva aborda-se no presente relatório:

1. Desagregação dos Consumos Energéticos;
2. Iluminação;
3. Sistemas accionados por motores eléctricos de grande potência;
4. Ar Comprimido.

Efectivamente, ao longo do projecto, procurou-se, mais do que um levantamento e estudo exaustivo de informação, a proposta de soluções eficientes: imediatas, ao nível de alterações comportamentais; complexas, com diferentes níveis de investimento para a sua implementação.

Abstract

This document is a report of the *Development and Implementation of a Plan for Energy Efficiency in a Industrial Unit* of *Amorim & Irmãos, S.A.*, under the Final Project of the Integrated Master in Electrical and Computers Engineering, Major Power Systems, Faculty of Engineering, University of Porto.

Within the management of resources, the efficiency of production processes, the quality of raw material, among others, are widely discussed. However, the optimal energy utilization is, most of the times, dangerously, neglected. The idea behind efficiency lies on a smart use of available resources and leads to economic benefits and sustainable development.

This report reflects the analysis of the state of the art and the study and implementation of solutions regarding energy efficiency in industrial environment.

In this perspective, this report considers the following points:

1. Breakdown of energy use;
2. Lighting;
3. Systems driven by powerful electric motors;
4. Compressed Air.

Through the project, more than a comprehensive survey and study of information, there was a constant search for effective solutions: immediate, concerning behavior changes; complex, with different levels of implementation investments.

Agradecimentos

Em qualquer projecto e percurso, como este – ou outro – busca-se aquele que nos habituamos a designar como apoio incondicional. E encontrámo-lo, por vezes sem perder muito tempo a pensar como está, sempre disponível. Escondê-lo é negar as nossas origens: quem somos, até!

É pois, para mim, imperativo agradecer este suporte a meus Pais e meu homónimo Avô.

À Patrícia: obrigado pela bonança em plena tempestade e a compreensão dos dias roubados.

Noutros termos, igualmente importantes, apagamos as dúvidas e partilhamos as dificuldades com os que vivem uma realidade mais próxima: aos Amigos, obrigado, também, por isto. Perguntar francamente, “*como corre a vida?*”, é hoje, subvalorizado.

Na supervisão e orientação, disponível e motivador, obrigado ao Prof. Doutor José Rui Ferreira.

Ao Prof. Doutor Carlos Araújo Sá e ao Prof. Doutor Artur Costa, o sincero agradecimento pela disponibilidade e por me indicarem algumas aproximações ao rendimento de sistemas accionados por motores eléctricos.

Pela troca de idéias, as conversas sobre eficiência, e não só, mas sempre apaixonantes!, o agradecimento ao Director da Unidade Industrial onde estive inserido – Eng. Luís Moreira.

Com paciência em auxiliar, e por alinhar em ideias inventivas, fico grato ao electricista José António Vilela.

*“À dolorosa luz das grandes lâmpadas eléctricas da fábrica
Tenho febre e escrevo.
(...)
Andam por estas correias de transmissão e por estes
êmbolos e por estes volantes,
Rugindo, rangendo, ciciando, estrugindo, ferreando,
Fazendo-me um excesso de carícias ao corpo numa só carícia à alma.
Ah, poder exprimir-me todo como um motor se exprime!
Ser completo como uma máquina!
Poder ir na vida triunfante como um automóvel último-modelo!”*

Álvaro de Campos

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do Projecto	1
1.2	Objectivos do Projecto	2
1.3	Estrutura do Relatório	3
1.4	Metodologia do Trabalho	3
1.4.1	Estado da Arte	3
1.4.2	Estudo de Soluções	4
1.4.3	Proposta e Implementação de Soluções	4
2	Eficiência Energética	5
2.1	Enquadramento histórico da Energia	5
2.2	Energia no presente	7
2.3	Motivações para Eficiência Energética	9
3	Caracterização da Unidade Industrial	11
3.1	Considerações Gerais	11
3.2	Produção	12
3.3	Consumos Energéticos	12
3.3.1	Energia Eléctrica	14
3.3.2	Gás Natural	16
3.3.3	Gasóleo	16
3.4	Desagregação dos Consumos Energéticos	17
3.4.1	Energia Eléctrica	17
3.4.2	Gás Natural	18
3.4.3	Gasóleo	18
3.5	Conclusões	19
4	Iluminação	21
4.1	Estado da Arte	22
4.1.1	Tipo de Iluminação	22
4.1.2	Iluminância por Sector	23
4.1.3	Levantamento de Luminárias	23
4.1.4	Consumos Energéticos	24
4.1.5	Custo da Iluminação	25
4.2	Estudo de Soluções	27
4.2.1	Iluminação Natural	28
4.2.2	Iluminação Artificial	28
4.2.2.1	Balastros Electrónicos	29

4.2.2.2	Lâmpadas T5	29
4.2.3	Comando da Iluminação	31
4.3	Medidas Propostas	32
4.3.1	Iluminação Natural	33
4.3.2	Iluminação Artificial	33
4.3.2.1	Iluminação de Vigília / Emergência	36
4.3.2.2	Solução Proposta	36
4.4	Conclusões	38
5	Sistemas Accionados por Motores Eléctricos	41
5.1	Análise ao Estado da Arte	43
5.1.1	Inventário de Motores	43
5.1.2	Aplicação dos Motores	45
5.2	Estudo de Soluções	48
5.2.1	Motores de Alto Rendimento	50
5.2.1.1	Considerações Gerais	50
5.2.1.2	Substituição de Motores Sobredimensionados	52
5.2.2	Variadores Electrónicos de Velocidade	56
5.3	Medidas Propostas	59
5.4	Conclusões	60
6	Ar Comprimido	63
6.1	Perfil de Consumo	63
6.1.1	Consumo em períodos de laboração	64
6.1.2	Consumo em Vazio	64
6.2	Estudo de Soluções e Medidas Propostas	65
6.3	Conclusões	66
7	Conclusões	69
7.1	Síntese	69
7.2	Trabalhos futuros	71
	Referências	75
A	Registos da Caracterização da DS	77
A.1	Estado da Arte	77
A.1.1	Produção	77
A.1.2	Energia Eléctrica	77
A.1.3	Gás Natural	80
A.1.4	Gasóleo	80
A.2	Desagregação Geral dos Consumos Energéticos	83
B	Medições e Registos da Iluminação Artificial	85
B.1	Estado da Arte	85
B.1.1	Características das Fontes de Iluminação Artificial utilizadas	85
B.1.2	Iluminância por Sector	85
B.1.3	Levantamento de Luminárias por sector	86
B.1.4	Custos da Iluminação	86

C	Medições e registos efectuados aos Motores Eléctricos	91
C.1	Inventário dos Motores	91
C.2	Perfis de Consumo	93
C.2.1	Despoeiramento do Granulado dos Tabuleiros das Moldadoras NT	93
C.2.2	Transporte de Granulado para as Moldadoras 4, 5 e 6 (NT)	93
C.2.3	Transporte de Granulado para os Silos NT e Extrusão	93
C.2.4	Transporte de Granulado para Senfins e Moega NT	93
C.2.5	Transporte de Granulado para Moldadoras TT e Silo 3 (TT)	93
C.2.6	Transporte de Granulado para os Silos 1 e 2, TT	96
C.2.7	Transporte de Granulado para o Senfim, Moega e Secador Rotativo, TT	96
C.2.8	Despoeiramento na Descarga do Pó para o Camião	97
C.2.9	Despoeiramento da Linha de Topejadeiras, dos Acabamentos Mecânicos	97
C.2.10	Despoeiramento das Rectificadoras, dos Acabamentos Mecânicos	99
C.2.11	Transporte Pneumático e Despoeiramento dos Acabamentos Mecânicos da Extrusão	99
C.3	Potência estimada no veio dos Motores Eléctricos.	100
D	Medições e registos efectuados à Central de Ar Comprimido	103
D.1	Perfil de Consumo	103
D.1.1	Em dias de laboração	103
D.1.2	Em vazio	103

Lista de Figuras

3.1	Distribuição dos Custos Energéticos por forma de Energia (ano de 2008) . .	13
3.2	Evolução mensal da Produção de Rolhas (milhões) e Consumo de Energia Primária (<i>tep</i>)	15
5.1	Curvas de Rendimento e Factor de Potência de um Motor, em relação à fracção de carga [1]	49
5.2	Potência activa absorvida pelo método de controlo de velocidade, num MI, por estrangulamento de caudal vs. VEV	57
A.1	Evolução mensal da Factura de Energia Eléctrica	80
A.2	Evolução mensal do Custo do <i>MWh</i>	81
A.3	Distribuição dos custos de cada um dos termos tarifários da factura de energia eléctrica (em média)	81
A.4	Evolução mensal da Factura de Gás Natural	82
A.5	Evolução do Custo do Gás Natural ($\text{€}/\text{m}^3$)	82
C.1	Perfil de funcionamento do Ventilador utilizado para Despoeiramento dos Tabuleiros das Moldadoras <i>Neutrocork</i>	94
C.2	Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para as Moldadoras 4, 5 e 6 - <i>Neutrocork</i>	94
C.3	Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para os Silos <i>Neutrocork</i> e Extrusão	95
C.4	Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para os Senfins e Moega - <i>Neutrocork</i>	95
C.5	Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para Moldadoras e Silo 3 - <i>Twin-Top</i>	96
C.6	Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para os Silos 1 e 2 - <i>Twin-Top</i>	97
C.7	Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para o Senfim e Moega - <i>Twin-Top</i>	98
C.8	Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Despoeiramento na Descarga do Pó	98
C.9	Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Despoeiramento das Topejadeiras - <i>Acabamentos Mecânicos</i>	99
C.10	Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Despoeiramento das Rectificadoras - <i>Acabamentos Mecânicos</i>	100
C.11	Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado e Despoeiramento - <i>Extrusão</i>	101

D.1	Perfil de funcionamento da Central de Ar Comprimido ao longo de um dia útil de laboração	104
D.2	Teste de fugas à rede de distribuição de ar comprimido	104

Lista de Tabelas

3.1	Consumo de Energia Eléctrica e de Gás Natural (SI e <i>tep</i>)	14
3.2	Consumo e custo do Gasóleo anual (valores estimados)	17
3.3	Resumo dos Custos Energéticos, por forma de energia, em média (Mensal e Anual)	19
4.1	Potência Consumida, em média, por fonte de Iluminação Artificial	24
4.2	Características das Fontes de Iluminação Artificial propostas	31
4.3	Custos de Equipamento para Comando Automático	32
4.4	Custo de instalação de placas translúcidas em policarbonato por sector	33
4.5	Iluminação artificial proposta (lâmpadas, comando e horas de funcionamento anuais), por sector	35
4.6	Proposta de Iluminação Artificial, Custo decorrente do Investimento e sua Amortização	37
4.7	Resumo da Poupança gerada com alteração da Iluminação na DS	38
5.1	Rendimento dos Motores Instalados a 100% da Carga Nominal	45
5.2	<i>Payback</i> da Substituição dos Motores	55
5.3	Potência Absorvida para os diferentes períodos de funcionamento, de acordo com controlo de caudal	58
A.1	Vendas da Unidade Industrial De Sousa, em 2007 e 2008	78
A.2	Potência consumida e custo correspondente às facturas de energia eléctrica (mensal)	79
A.3	Movimentos de <i>stock</i> do Gasóleo	83
A.4	Desagregação Geral dos Consumos de Energia Eléctrica (<i>kWh</i>)	84
B.1	Características das Fontes de Iluminação Artificial utilizadas	85
B.2	Níveis de iluminância (<i>lux</i> medidos e recomendados por sector)	87
B.3	Levantamento do número de Luminárias e das Horas em Funcionamento (<i>horas/ano</i>), por sector	88
B.4	Custos (Energéticos e de Exploração) da Iluminação Artificial, por sector . .	89
C.1	Características de cada um dos motores utilizados nos Sistemas de Ventilação, por sector	92
C.2	Potência absorvida medida, rendimento e potência no veio estimada para os MIT (com a respectiva fracção de carga)	102

Abreviaturas

CEMEP	Comité Europeu de Fabricantes de Máquinas Eléctricas e de Equipamentos e sistemas de Electrónica de Potência
DS	Unidade Industrial De Sousa
EDP	Energias de Portugal
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
HC	Horas de Período de Cheias
HP	Horas de Período de Pontas
HSV	Horas de Super Vazio
HVN	Horas de Vazio Normal
IE	Índice de Eficiência
IP	Índice de Protecção contra corpos sólidos
IK	Índice de Protecção contra danos mecânicos
MIT	Motor de Indução Trifásico
NT	Rolhas técnicas do tipo <i>neutrocork</i>
PC	Potência Contratada
PHP	Potência de Horas de Ponta
RGCE	Regulamento de Gestão do Consumo de Energia
SEP	Sistema Electroprodutor
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
TCA	Composto Químico <i>2,4,6-tricloroanisole</i>
tep	Tonelada Equivalente de Petróleo
TT	Rolhas técnicas do tipo <i>twin-top</i>
URE	Utilização Racional de Energia
VEV	Variador Electrónico de Velocidade

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo apresenta-se o esquema do relatório, a sua estrutura, bem como a metodologia do trabalho desenvolvido. Para além da estrutura do relatório este capítulo serve, também, o propósito de esclarecer e ambientar o leitor em relação à realidade da Unidade Industrial onde o projecto foi desenvolvido, bem como justificar a necessidade de um plano de eficiência energética.

Trata-se de um capítulo introdutório onde se pretende que seja apresentada uma vista geral do restante relatório.

1.1 Enquadramento do Projecto

A *Unidade Industrial De Sousa* foi adquirida pela Amorim & Irmãos, S.A. em 1999, porém já existia como fábrica de produção de rolhas, antiga “Manuel Pereira De Sousa” desde 1951. Atendendo à sua antiguidade, facilmente se prevê, que sofreu diversas e severas mutações em termos de equipamento ao longo dos últimos anos, procurando sempre: um compromisso entre actualizar-se, com a tecnologia mais recente; e ultrapassar os obstáculos naturais de uma fábrica que, outrora, produziu rolhas naturais. Se é verdade que essas sucessivas modernizações visaram aquisição ou substituição de equipamentos, nem sempre o foi, no que diz respeito às infraestruturas – por força de diversas circunstâncias. Esta é a realidade nesta e noutras unidades do tecido industrial Português.

Actualmente, a sua actividade é de produção de rolhas de aglomerado de cortiça – habitualmente, designadas de *rolhas técnicas*. Ascenderam nos últimos anos a uma média de vendas anual de 400 milhões de rolhas técnicas.

A *De Sousa* (DS) classifica-se, quanto à sua utilização, como estabelecimento industrial de grande consumo energético. Na realidade, nos últimos dois anos o consumo energético, repartido entre energia eléctrica, gás natural e gasóleo, ultrapassou largamente os 1000 *tep* (tonelada equivalente de petróleo).

Com uma factura energética anual superior a 500 mil euros, tornou-se urgente a necessidade de identificar os consumos energéticos. Identificar a utilização de recursos energéticos associado a uma visão eficiente da utilização da energia, apresenta benefícios para qualquer estrutura empreendedora: industrial, ou não. Os obstáculos em identificar o consumo energético dos processos produtivos é, agora mais que nunca, uma pequena dificuldade face ao benefício de uma utilização eficiente da energia e um aumento directo na margem de lucro.

Eficiência traduz, ainda, uma melhoria na utilização dos recursos actuais dispendidos que poderá corresponder, ou não, a uma redução do consumo energético.

“Note-se que eficiência não é poupança, restrição ou austeridade mas é um exercício de saciedade, de racionalidade tecnológica, de responsabilidade social. Não entendemos, apesar de tudo, já bastante bem o que é a responsabilidade social em relação ao ambiente? Pois bem, incluamos a energia porque energia é ambiente.” [2]

1.2 Objectivos do Projecto

O projecto, que ocorreu na DS, consistiu no desenvolvimento de medidas eficazes, ou atitudes, que traduzam eficiência energética.

Para uma análise, em termos de eficiência, foi necessária uma ambientação à Unidade Industrial que permitisse um conhecimento suficientemente profundo dos fluxos produtivos.

Na óptica de eficiência energética apresentaram-se requeridos os seguintes objectivos:

- Aprendizagem da utilização de um Analisador de Redes e formação da sua utilização à Equipa de Manutenção da Unidade Industrial;
- Identificação e a caracterização, através da sua desagregação, dos Consumos Energéticos;
- Análise da iluminação actual e proposta de soluções luminotécnicas;
- Análise aos Sistemas Accionados por Motores Eléctricos de potência superior a 5,5 kW;

Na avaliação dos diferentes consumos energéticos incluíu-se, ainda, o Ar Comprimido – já que este revelou-se, igualmente, um consumo importante na estrutura industrial.

Os objectivos do projecto revelam uma tentativa de actualizar, de um modo eficiente, as infraestruturas de uma Unidade Industrial que se apresenta, apesar de competitiva, de algum modo, envelhecida.

1.3 Estrutura do Relatório

Este Relatório de Projecto apresenta na sua estrutura, para além deste capítulo introdutório, 6 capítulos.

No Capítulo 2 aborda-se a realidade da eficiência energética e os motivos e impulsos porque hoje existe, numa óptica de gestão e preocupação ambiental, este tipo de abordagem.

No Capítulo 3 caracteriza-se a Unidade Industrial De Sousa, em termos de produção e, essencialmente, na óptica de desagregação dos seus consumos energéticos.

Nos Capítulos 4, 5 e 6 na visão de eficiência energética, abarca-se a iluminação dos diversos sectores da unidade, a abordagem aos motores eléctricos bem como a análise efectuada à rede de ar comprimido, respectivamente.

No Capítulo 7 descrevem-se as conclusões deste relatório, bem como do projecto.

1.4 Metodologia do Trabalho

A metodologia de trabalho adoptada comportou as diversas fases de levantamento de dados, o estudo de soluções, a sua proposta e implementação.

A metodologia de trabalho obedeceu, ainda, aos requisitos propostos pela Direcção Industrial De Sousa, e ao horizonte de desenvolvimento do projecto estendido ao longo de 17 semanas.

1.4.1 Estado da Arte

Considerando, e tendo este como um aspecto importante, o fluxo produtivo da Unidade Industrial, bem como as aplicações de cada um dos sectores, todos os pontos de análise necessitam de um estudo específico e, de alguma forma, uma ambientação.

No desenvolvimento de um plano de eficiência energética, ou de uma auditoria energética, é importante acolher sugestões de melhorias junto dos operadores de cada um dos sectores, técnicos de manutenção e encarregados de produção [3].

Efectivamente, o conceito de eficiência energética está intimamente ligado com a melhoria na alocação de recursos e sua optimização – o que só é possível com uma aproximação menos superficial e um conhecimento específico das necessidades de todos os sectores.

Efectuou-se, para além de uma abordagem específica a cada um dos sectores, relativamente às diferentes perspectivas de análise, um levantamento exaustivo dos consumos energéticos associados. Sempre que possível, este levantamento de dados foi complementado com a aquisição da sua evolução ao longo do tempo.

As medições dos consumos energéticos e avaliação das grandezas foram auxiliadas por diversos equipamentos de medida, posteriormente identificados, como luxímetro, analisador de redes, *etc.*

Para a compreensão das necessidades e realidade da fábrica existiu o auxílio, sempre que as circunstâncias o permitiram, de técnicos de manutenção da unidade fabril e do Director Industrial.

1.4.2 Estudo de Soluções

Mediante o estado da arte e perante diversos cenários efectuou-se uma pesquisa e estudo de soluções possíveis.

Sendo verdade que uma solução eficiente para um sector da Unidade, poderá apresentar elevada ineficiência noutro sector vizinho, facilmente se concluiu que, a sabedoria popular do “*cada caso, é um caso*”, também aqui, se aplica. Assim, justifica-se que algumas soluções aqui mencionadas e desenvolvidas possam ser, noutras realidades, injustificáveis.

Essa pesquisa foi efectuada junto de catálogos de fabricantes, manuais técnicos e bibliografia referente a cada um dos pontos de implementação.

O estudo de diferentes soluções, combinadas com diversos cenários de implementação, e procurando sempre obedecer à realidade e aos pressupostos necessários às actividades produtivas, visaram a escolha de um conjunto de acções a propor e, posteriormente, verificando-se a sua aceitação, a ser implementado.

As soluções, em diversos casos, surgem como de aplicação imediata ou de implementação mais complexa.

1.4.3 Proposta e Implementação de Soluções

Em reuniões frequentes com a Direcção Industrial da Unidade, bem como com Encarregados de Manutenção e Produção, apresentou-se, para cada um dos pontos, o conjunto de acções a implementar. Procurou-se, objectivamente, referir as diferentes soluções tendo em conta o investimento associado e a complexidade da sua implementação, de acordo com o estudo de soluções.

No sentido de partilha e ajuste, algumas das propostas foram, posteriormente, ajustadas de acordo com diferentes necessidades ou novos requisitos. De facto, importa referir que a DS tem uma característica de dinamismo própria onde, frequentemente, o processo produtivo é alterado reformulando, necessariamente, as necessidades energéticas. As alterações são, de tal modo, tão frequentes que no desenrolar do projecto alguns cenários ganharam novos contornos, face a novos requisitos no processo produtivo.

Após o ajuste, e identificados os agentes de mudança, no caso de investimentos associados à implementação, as propostas seguiram o seu curso para a Administração do Grupo Amorim & Irmãos, S.A. e Departamento de Aprovisionamento a fim de se definir, junto dos contratos existentes com os fornecedores de produtos e serviços, a sua implementação.

Capítulo 2

Eficiência Energética

É tema quente da actualidade falar-se em *eficiência*. Numa perspectiva que abrange mais do que energia, eficiência é hoje, inequivocamente, um conceito útil e prático na melhoria de comportamentos produtivos ou, até, humanos.

Apesar de ser um conceito universal, expresso diversas vezes, em publicações, conferências e livros, nunca é demais recordar que era, num passado recente, definido como:

“**eficiência**, *s.f.* força ou virtude de produzir um efeito; poder de efectuar; efeito; eficácia.” [4]

Actualmente, distingue-se eficácia de eficiência. Na minha visão, eficiência é a capacidade, essa “força de produzir um efeito”, apenas com os recursos necessários. Gastando, na medida mais adequada, a força necessária para atingir esse efeito – atenta, pois, aos recursos e meios para atingir um fim.

A eficiência é, em última análise, uma eficácia mais competente e optimizada. A poupança associada à eficácia, e bem-vinda, traduz-se pela redução do desperdício ao atingir a eficácia.

A *Eficiência Energética* não escapa, naturalmente, a esta visão e neste capítulo aborda-se, para além da definição de eficiência energética, as motivações económicas e ambientais para a implementação de planos de eficiência energética.

2.1 Enquadramento histórico da Energia

Energia é, na sua essência, “capacidade de produzir trabalho” [4]. Em diferentes formas, energia surge-nos como: electricidade, gás natural, petróleo, biomassa, *etc.*

A Unidade Industrial em foco, de modo semelhante à realidade industrial neste país, é um consumidor das 3 principais formas de energia: electricidade, gás natural e petróleo.

A origem da *Electricidade*, bem como o termo adoptado para este fenómeno, aponta para a civilização grega. Refere-se que foi Tales de Mileto um dos pioneiros na sua descoberta e experimentação.

Posteriormente, as capacidades de exploração deste fenómeno foram desenvolvidas e demorou imensos séculos até que a electricidade conhecesse o seu efeito útil e revolucionário – como a conhecemos no seu estado actual.

Se numa primeira fase a electricidade viu o seu campo de aplicação como sendo a iluminação pública, a verdade é que, desde aí, a sua importância económica foi impressionante. Note-se que é a electricidade que abre a porta para a Revolução Industrial no século XIX e que contribui de forma impressionante para o desenvolvimento económico e social de diversos Países. Apesar de as primeiras experiências de comercialização fracassarem, é nesse momento que a electricidade assume um papel tão utilitário quanto comercial.

Numa segunda fase, a electricidade integra-se nos designados bens de consumo, essencial ao bem-estar da sociedade. A sua primeira imagem surge como de fornecimento público, da responsabilidade de governos.

Importa sublinhar o carácter único e específico da energia eléctrica no contexto de outras *commodities*: é não armazenável, consumida à medida que é produzida; a sua procura sofre variações ao longo dos dias, estações, meses, *etc*; o seu transporte, bem como suas características, nem sempre podem ser definidos de acordo com estratégias económicas devido a condicionantes técnicas. Por estes motivos, também, o preço apresenta flutuações e variações difíceis de prever [5].

O *Gás Natural* conta com características convidativas como: a ausência de armazenamento no local de consumo e a facilidade de fornecimento directo. A sua produção tem origem na natureza e resulta da decomposição de sedimentos orgânicos de origem vegetal e animal. “É o combustível fóssil de queima mais limpa e da sua combustão resultam menores quantidades de óxidos de enxofre e azoto, bem como de dióxido de carbono, que está na origem do efeito de estufa” [6].

A História conta-nos que a sua descoberta remonta à Pérsia e registos indicam a sua primeira aplicação, também, para iluminação. Na China, ainda antes de Cristo, a invenção de uma rede de distribuição em bambus permitia transportar o gás natural da sua origem até à cidade. Explica-se o atraso, no seu desenvolvimento e introdução, com o fraco desenvolvimento das redes de transporte – que não apresentavam requisitos de segurança mínimos.

Na década de 70, a par do desenvolvimento da tecnologia do ciclo combinado com rendimentos atractivos face às centrais convencionais, o gás natural conhece a sua aplicação, também, para produção de energia eléctrica. Em Portugal, o abastecimento de hidrocarbonetos interessou para aumento da competitividade industrial, para produção de electricidade e para este aceder a uma forma de energia ambientalmente mais limpa. Foi, neste sentido, que a União Europeia apoiou a sua introdução através de financiamento a fundo perdido e empréstimos bonificados [7].

O *Petróleo* tem – apesar de primeiras referências históricas identificarem-no como tão antigo como os restantes – um desenvolvimento num passado recente. A indústria do petróleo, e a corrida a este, iniciou-se a meio do Século XIX. Semelhantemente ao gás natural e electricidade, a sua primeira aplicação reconhece-se como tendo sido para iluminação. Porém, cedo se revelou como uma necessidade em termos de utilização como força propulsora. Em termos económicos e de influência política é o petróleo que ocupa a posição mais preponderante. A distribuição das reservas de petróleo, não sendo uniforme relativamente às massas terrestres, origina conflitos entre países consumidores e países produtores.

As “*Crises do Petróleo*” na década de 1970 foram marcadas quer por uma tentativa dos estados de criar uma regulação, quer por conflitos relativos à produção. Abalaram a Economia pois existe uma elevada dependência a que Portugal não escapa, analogamente à restante tendência Europeia. De facto, a sua Factura Energética tem evoluído revelando esses efeitos.

2.2 Energia no presente

Actualmente, energia é interpretada como um bem de consumo. Numa perspectiva etimológica desperta uma visão de sustentabilidade e entende-se que ultrapassa um bem de consumo. É um bem que, numa perspectiva de *Lavoisier*, não se consome, mas se transforma em trabalho. O Livro Verde da Comissão Europeia, “Para uma estratégia europeia de segurança do aprovisionamento energético” [8] indica que o consumo final total de energia, de toda a União Europeia é, aproximadamente, 20% superior ao justificável, perante considerações económicas. Nestes termos, exibe-se que existe uma grande margem de actuação na área de eficiência energética. Implica que a selecção de equipamentos mais apropriados, associada a boas práticas da sua utilização, reduziria os consumos em 20%. Apresentaria, ainda, benefícios económicos, directos, aos utilizadores, e produziria uma redução substancial de emissões.

Sendo culpa de ninguém, ou de todos, implica que muita da energia produzida é transformada, hoje, em desperdício face a outras opções mais eficientes e rentáveis.

Em gestão de recursos sabe-se que o desconhecimento de todas as grandezas associadas, bem como a sua evolução, é uma limitação. Identificar e conhecer, para efeitos de gestão, as necessidades e consumos energéticos associados a todas as actividades numa unidade industrial, como em qualquer estrutura, permite, também, uma gestão mais eficiente.

“A informação sobre os factos que ocorrem na empresa e a medição para saber se uma variável ficou aquém ou além do que era esperado é absolutamente indispensável para sobreviver em ambiente de competição.” [9]

Efectivamente, se por um lado a gestão de energia poderá constituir uma imposição legal, por outro, é uma visão do presente sobre a gestão de energia na indústria.

Desde 1983 e até um passado recente (Abril de 2008) encontrou-se em vigor o ‘Regulamento de Gestão do Consumo de Energia’, RGCE. Este regulamento era aplicado a qualquer instalação consumidora de energia em que uma das seguintes condições se verificasse:

1. Consumo energético anual superior a 1000 *tep* (tonelada equivalente de petróleo);
2. Equipamentos cuja soma dos consumos energéticos nominais exceda 0,5 *tep*/hora;
3. No mínimo um equipamento cujo consumo energético anual exceda 0,3 *tep*/hora.

Perante estas condições os responsáveis das instalações incorriam nas seguintes obrigações:

- Aplicar uma auditoria energética, examinando as condições em que operam relativamente à utilização de energia;
- Elaborar um Plano de Racionalização¹ do Consumo de Energia, sujeito à aprovação da Direcção Geral de Geologia e Energia;
- Cumprir o Plano de Racionalização produzindo Relatórios de Progresso Anuais.

Contudo, em Abril de 2008, de acordo com a publicação do Decreto-Lei n.º. 71/2008, instituiu-se o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia’, SGCIE, que reforma o RGCE procurando compatibilizar este com as novas exigências ao nível das emissões de gases de efeitos de estufa, e instituído com o “objectivo de promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos das instalações consumidoras intensivas de energia” [10], com especial enfoque no sector industrial. Este sistema promove, ainda, a inclusão de fontes de energia renováveis nas instalações.

Neste sentido, actualmente, o novo regime aplica-se às instalações consumidoras intensivas de energia que apresentem elevados consumos energéticos e divide os tipos de instalações em dois escalões de acordo com o consumo anual: superior a 500 *tep* mas inferior a 1000 *tep*; e superior a 1000 *tep*.

Ou seja, em relação ao RGCE, o SGCIE alarga o campo de aplicação de medidas obrigatórias que promovem eficiência energética e racionalização do uso de energia para mais instalações consumidoras intensivas de energia.

Relativamente às auditorias energéticas em instalações cujo consumo se apresente igual ou superior a 1000 *tep/ano*, estas apresentam-se como sendo obrigatórias, devendo ser realizadas com uma periodicidade de seis anos. Nas auditorias energéticas deverão ser recolhidas informações em relação às condições de utilização de energia, concepção e estado da instalação, bem como os elementos necessários à elaboração do Plano de Racionalização do

¹Este plano estabelece metas de redução dos consumos específicos de energia por tipo de produto ou instalação e abrange um período de 3 a 5 anos.

Consumo de Energia (PREn). São, também, as auditorias energéticas que, posteriormente, recolhem os dados para a verificação do cumprimento dos PREn.

A meta de redução corresponde, no caso de instalações com consumo superior ou igual a 1000 *tep*, a 6% da Intensidade Energética e Consumo Específico de Energia [11] e associa a este cumprimento uma obtenção de incentivos pelo operador [12].

De facto, com a entrada em vigor da *Directiva N.º 2003/87/CE* da União Europeia que envolve a criação de um regime de comércio de licenças da emissão de gases com efeito de estufa, as empresas que apresentam maiores consumos de energia são abrangidas pelo comércio de emissões e envolvidas num processo de criação e promoção de eficiência energética [13].

2.3 Motivações para Eficiência Energética

A motivação para eficiência energética surge aquando das primeiras crises energéticas dos anos 70, e é verdade que desde aí têm sido obtidos ganhos de eficiência energética, na Europa Ocidental.

Porém, em Portugal, sendo realidade que os consumos de energia *per capita* representam cerca de metade da média europeia, tem-se experimentado um aumento da intensidade energética na economia.

“Portugal, para criar a mesma quantidade de riqueza, necessita de maior quantidade de energia que os seus parceiros comunitários. Esta situação é preocupante dada a nossa elevada dependência externa em energia primária.” [14]

Para além de obrigações legais, como é o caso do actual SGCIE, vivemos um período de recentes aumentos do custo da energia, preocupações de sustentabilidade e um período severo de redução de custos, motivado pelas preocupações económicas.

Perante este cenário, sucintamente aqui descrito, o caminho passará, inevitavelmente, pela eficiência energética.

Capítulo 3

Caracterização da Unidade Industrial

A *Unidade Industrial De Sousa* (DS), na sub-secção 1.1 descrita na generalidade, é neste capítulo caracterizada em relação à sua produção e etapas do processo produtivo.

Este capítulo identifica, ainda, os consumos energéticos desagregados por forma de energia e sectores da unidade.

3.1 Considerações Gerais

Esta unidade foi adquirida pelo Grupo Amorim em 1999 — localiza-se em Paços de Brandão e tem como classificação, quanto à sua utilização, de estabelecimento industrial de consumo intensivo de energia. A sua construção e início de actividade remonta a 1951, altura em que o negócio consistia na produção de rolhas naturais. Hoje, porém, a sua actividade é de produção de rolhas de aglomerado de cortiça — habitualmente designadas de *rolhas técnicas*.

Integrada que está na *Amorim & Irmãos, S.A.*, a sua produção é absorvida por Unidades de Distribuição do mesmo Grupo. As principais Unidades do Grupo, “Amorim Distribuição”, e clientes desta Unidade estão localizados em: Portugal, Chile, Argentina, Estados Unidos da América, França, Alemanha, Itália, Espanha e Áustria.

As designações utilizadas no presente relatório relativas às actividades do sector produtivo, bem como nomenclatura, obedecem ao “Código Internacional das Práticas Rolheiras” [15].

No seu processo de produção é possível identificar diferentes actividades:

- **entrada da matéria-prima**, granulado de cortiça, e processo de lavagem, “*Sistema Rosa*”¹, desta;

¹Sistema desenvolvido e patenteado pelo Grupo para desinfecção do granulado de cortiça e redução dos níveis de TCA (composto químico que em concentração excessiva expressa-se num odor que se sobrepõe ao do vinho).

- **secagem** e **transporte** do granulado para silos de abastecimento das moldadoras e extrusoras;
- o granulado é posteriormente submetido à **moldação**, ou **extrusão** – consoante o tipo de rolha a produzir;
- no caso das rolhas serem destinadas a um produto *twin-top* os corpos, oriundos da moldação, são submetidos à **colagem** de dois discos de cortiça natural no topo e na base, respectivamente;
- todas as rolhas, *neutrocork*, *twin-top* ou remetidas da extrusão, são submetidas a processos de **acabamentos mecânicos**;
- o processo de produção termina com a lavagem das rolhas – denominado de **lavação**;
- na fase final efectua-se a escolha de cada uma das rolhas, por via electrónica e/ou visual, num processo de **controlo de qualidade**;
- finalmente, as rolhas são **embaladas** e remetidas para empresas de distribuição do Grupo ou para clientes finais.

No abastecimento energético é evidente o fornecimento de gás natural e de combustível porém, importa identificar a alimentação de energia eléctrica da DS em termos técnicos. Esta alimentação faz-se por Média Tensão (15 *kV*) e através de um posto de transformação, integrado no edifício fabril em área técnica apropriada, com recurso a duas máquinas trifásicas redutoras de tensão: dois transformadores do tipo a óleo de 1250 *kVA* e 800 *kVA*. A DS tem, portanto, uma potência instalada de 2050 *kVA* e contrato no Sistema Eléctrico Público (SEP), segundo uma contagem em ciclo diário, com uma potência contratada de 1116 *kVA*.

3.2 Produção

As vendas² da DS, durante o ano de 2007 e parcialmente de 2008, encontram-se expressas por cada um dos meses na Tabela A.1.

Nestes termos, e de acordo com restantes registos históricos, esta unidade caracteriza-se por uma média de 400 milhões de rolhas produzidas por ano.

3.3 Consumos Energéticos

Os consumos energéticos ao longo dos últimos dois anos, bem como a sua distribuição por forma de energia, são aqui caracterizados e descritos. A DS consome, actualmente, três formas de energia: energia eléctrica, gás natural e gasóleo.

²Neste relatório considerou-se um registo cruzado de produção e vendas de rolhas.

O diagrama disposto na Figura 3.1 exhibe a distribuição dos custos energéticos por cada uma das formas de energia – respeitante ao ano de 2008. Numa análise de alguns registos desde 2005 conclui-se que a dependência energética de electricidade foi diminuindo ao longo dos últimos anos. Com a substituição do gás propano por gás natural, em 2007, e a alteração do aquecimento de algumas máquinas de electricidade para gás natural, recorrendo a este combustível, a distribuição dos custos energéticos alterou-se. Efectivamente, a energia eléctrica passou de 70% para os 59%, conforme registo actual.

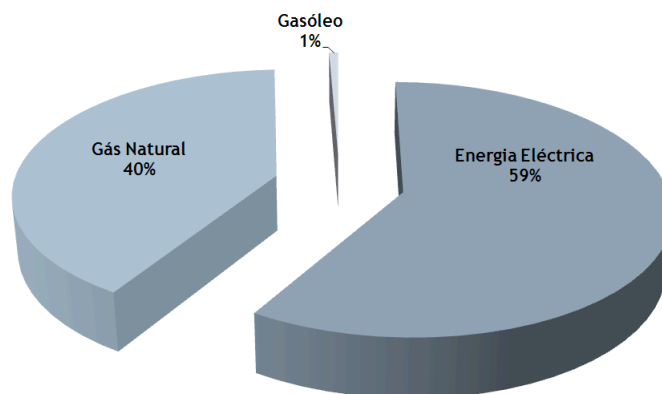


Figura 3.1: Distribuição dos Custos Energéticos por forma de Energia (ano de 2008)

A Tabela 3.1 refere os consumos energéticos de energia eléctrica e gás natural ao longo de 2007 e parcialmente 2008, nas suas unidades habituais, bem como convertidos para *tonelada equivalente de petróleo (tep)*. Nesta tabela verifica-se que a DS é, efectivamente, um consumidor intensivo de energia e em termos legais verifica a condição de um consumo energético anual superior a 1000 *tep*, condição mais que suficiente para ser abrangida pelo SGCIE³.

Em termos de consumos energéticos, apresenta-se na Figura 3.2 a evolução mensal de acordo com a produção e o consumo de energia primária – soma das parcelas respeitantes ao gás natural e energia eléctrica. Estas formas de energia foram convertidas para *tep* de acordo com o RGCE⁴.

A conclusão por análise dos perfis corresponde, praticamente, a uma verdade de *La Palice*⁵: a produção tem uma alta dependência do consumo de energia.

Os mínimos registados nos meses de Agosto explicam-se por corresponderem aos meses em que a unidade trabalha, apenas, com metade do seu potencial – através de dois planos de férias para a mão-de-obra directa.

De um modo geral, o consumo energético acompanha a produção. Note-se, porém, que algumas das excepções explicam-se pelo levantamento de dados ter sido efectuado junto

³Conforme descrito na sub-secção 2.2 do Capítulo 2.

⁴Factores de Conversão são, respectivamente, Gás Natural: $0,9tep/1000m^3$ e Electricidade: $0,290kgep/kWh$ [16].

⁵Expressão utilizada quando se refere o extremamente óbvio.

Tabela 3.1: Consumo de Energia Eléctrica e de Gás Natural (SI e *tep*)

Mês	Produção de Rolhas (milhões)	Gás Natural		Energia Eléctrica		Total
		m^3	<i>tep</i>	<i>kWh</i>	<i>tep</i>	<i>tep</i>
Janeiro 07	27,0	52.646	47,91	353.993	102,66	150,57
Fevereiro 07	35,8	46.465	42,28	409.067	118,63	160,91
Março 07	43,4	56.145	51,09	422.530	122,53	173,63
Abril 07	30,7	46.674	42,47	458.549	132,98	175,45
Mai 07	47,3	53.276	48,48	454.902	131,92	180,40
Junho 07	41,9	31.496	28,66	461.367	133,80	162,46
Julho 07	33,8	68.831	62,64	461.367	133,80	196,43
Agosto 07	33,8	23.361	21,26	257.359	74,63	95,89
Setembro 07	32,3	41.303	37,59	365.199	105,91	143,49
Outubro 07	45,4	56.547	51,46	474.772	137,68	189,14
Novembro 07	42,7	53.257	48,46	445.916	129,32	177,78
Dezembro 07	30,5	31.530	28,69	378.622	109,80	138,49
Janeiro 08	33,4	48.639	44,26	276.009	80,04	124,30
Fevereiro 08	39,0	41.331	37,61	445.473	129,19	166,80
Março 08	32,9	50.506	45,96	454.285	131,74	177,70
Abril 08	35,4	63.254	57,56	323.767	93,89	151,45
Mai 08	35,5	56.310	51,24	323.767	93,89	145,13
Junho 08	35,2	35.130	31,97	275.991	80,04	112,01
Julho 08	33,8	93.566	85,15	285.903	82,91	168,06
Agosto 08	33,8	21.384	19,46	179.486	52,05	71,51
Setembro 08	32,2	61.920	56,35	274.681	79,66	136,00
Outubro 08	32,9	58.440	53,18	276.417	80,16	133,34
Novembro 08	—	—	—	277.485	80,47	80,47

de um registo cruzado de vendas e produção. Efectivamente, este registo que nem sempre coincide com as produções mensais poderá, por vezes, induzir em erro.

As necessidades de consumo energético são estáveis já que o seu período de laboração é de 6 dias por semana, com 3 turnos nos sectores produtivos, totalizando um total de 24 horas por dia, em funcionamento. Assim, os consumos são praticamente constantes e, no caso da energia eléctrica, difíceis de deslocar para períodos em que as tarifas sejam menos onerosas.

3.3.1 Energia Eléctrica

Todos os equipamentos de transporte, despoeiramento, compressão, extrusão, escolha electrónica, partes integrantes das máquinas de produção (moldação e colagem) e dois (dos três) empilhadores consomem energia eléctrica. A iluminação desta unidade apesar de em alguns sectores ser mista, partilhada com a luz natural, é também utilizadora intensiva desta forma de energia.

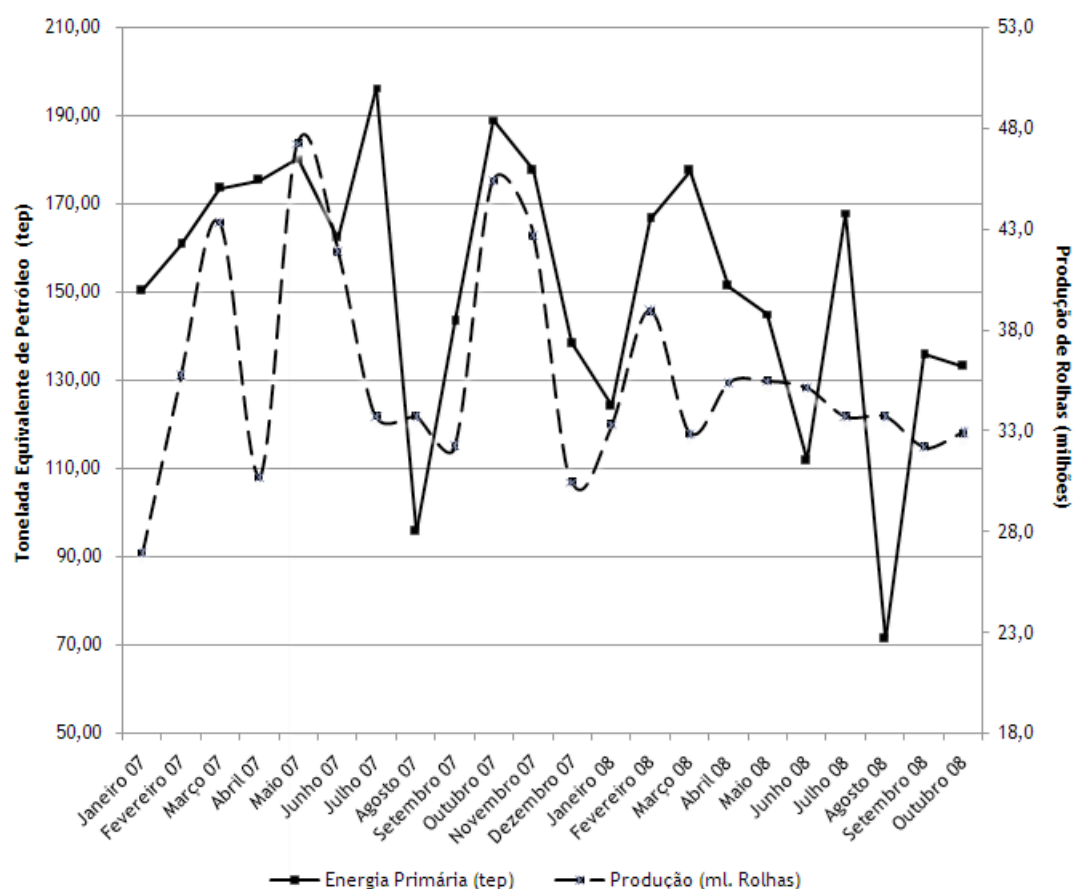


Figura 3.2: Evolução mensal da Produção de Rolhas (milhões) e Consumo de Energia Primária (tep)

Da recolha de facturas emitidas pela EDP, desde Dezembro de 2006 e até Novembro de 2008⁶, resultaram informações respeitantes ao custo mensal e anual relativo à factura, bem como a evolução da factura de energia eléctrica – Figura A.1. Esta informação revelou-se importante no estado da arte e, por exemplo, na constatação da evolução do custo para o sistema de aquecimento das estufas das moldadoras.

Numa abordagem estatística centrada no ano de 2008 revelaram-se, ainda, dados importantes como o custo energético, em média, de cada um dos termos tarifários; bem como o custo médio do *MWh* – útil para análise do *payback* de soluções – disposta, graficamente, a sua evolução na Figura A.2.

O custo médio do *MWh*, de acordo com o ano de 2008 para esta unidade, fixou-se nos €82,19.

A distribuição, por termos tarifários, dos custos médios com a factura de energia eléctrica encontra-se expressa no diagrama da Figura A.3.

⁶O registo destas facturas encontra-se no Anexo A na Tabela A.2.

O contrato eléctrico que a DS detém no SEP, actualmente, corresponde a um ciclo de contagem em ciclo diário. Operando até Fevereiro de 2007 com um ciclo de contagem semanal, o benefício desta alteração traduziu-se num benefício económico directo⁷, porém sem qualquer relevância em termos de eficiência energética. Uma alteração deste tipo não conta com um investimento associado – bastando, pois, apresentar um pedido para esse efeito à EDP Distribuição. Não revelando benefícios de eficiência, apresenta uma poupança considerável e que importa analisar em muitas Unidades Industriais – esta é uma possibilidade tão desconhecida de muitos industriais quanto economicamente benéfica.

Estimou-se que a poupança anual obtida com esta alteração ascende a 25 mil euros.

3.3.2 Gás Natural

O gás natural é utilizado em duas caldeiras de vapor; uma caldeira de termo-fluído, e nas seguintes actividades do processo produtivo: secagem do granulado, moldação, eliminação de TCA por injeção de vapor, colagem, secagem e controlo de qualidade em laboratório.

O gás natural apresenta diversas vantagens e características convidativas, conforme referido na Secção 2.2, porém o seu custo por unidade tem crescido ao longo dos recentes meses. Relativamente à DS podemos confirmar esta subida na Figura A.5.

A utilização de gás natural para o sistema de aquecimento das moldadoras data do primeiro trimestre de 2008 – data em que se efectuou a conversão do sistema utilizado. Efectivamente, recorria-se a um sistema misto, através da utilização de blocos de resistência e gás natural, e o objectivo da conversão consistiu em produzir o aquecimento das moldadoras exclusivamente por termofluido – tendo sido instalada uma caldeira para esse efeito.

Porém, os resultados obtidos junto da qualidade do produto e a dificuldade em parametrizar a temperatura para os níveis exigidos levaram a uma adaptação desta solução e, actualmente, não é possível prescindir dos blocos de resistências que permitem regular com maior precisão a temperatura, apesar do aquecimento por termofluido continuar presente.

A evolução da factura energética respeitante ao gás natural é perceptível pela Figura A.4 sendo que o máximo registado no mês de Julho corresponde a um acerto da contagem do gás natural efectuado num período de facturação diferente dos restantes registos.

3.3.3 Gasóleo

Presentemente, apenas um dos três empilhadores é consumidor de gasóleo. A aquisição deste combustível é efectuada junto do departamento de aprovisionamento, conforme necessidades na DS.

⁷Este benefício calcula-se, simplesmente, pela diferença entre o valor total da factura presente e do futuro contrato – com base na estimacão para um determinado período.

Assim, e de acordo com a saída de *stock* numa aplicação informática de contabilidade, estimou-se o consumo de litros mensal e anualmente. A Tabela A.3 refere, ainda, os custos associados por litro a cada um destes movimentos contabilísticos.

Deste modo, através da média destes registos e assumindo 230 dias de trabalho deste empilhador por ano, obtiveram-se em termos anuais os resultados da Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Consumo e custo do Gasóleo anual (valores estimados)

Custo Gasóleo (€/litro)	1,063
Consumo Anual (litros)	3464
Custo Anual (€)	3.681

3.4 Desagregação dos Consumos Energéticos

A desagregação dos consumos energéticos permite conhecer a evolução dos consumos por cada um dos sectores e atribuir os custos a cada uma das actividades que têm lugar na DS, bem como efectuar intervenções nos pontos críticos que exibem falhas na sua eficiência energética. Os consumos energéticos na DS são na forma de energia eléctrica, gás natural e gasóleo – conforme descrito na secção 3.3.

Em última análise, uma desagregação completa e exaustiva exhibe os custos energéticos envolvidos em cada uma das etapas de todo o processo produtivo.

3.4.1 Energia Eléctrica

Uma das ferramentas recentemente implementadas para monitorização dos consumos de electricidade é o “Gestor de Energia”. Esta é uma aplicação desenvolvida e utilizada, actualmente, por todas as Unidades do Grupo Amorim porém apenas, com informação relativa ao consumo global de energia eléctrica de cada unidade fabril, por telecontagem.

Contudo, encontra-se em vigor um projecto de instalação de contadores parciais de energia eléctrica cujos dados serão monitorizados e importados em tempo real para esta plataforma do “Gestor de Energia”.

A implementação de uma medida desta natureza terá um valor acrescido para a gestão dos recursos permitindo implementar uma contabilidade energética⁸, auxiliar nos planos de racionalização dos consumos de energia, conforme descrito na sub-secção 2.2 e, naturalmente, facilitar a identificação de ineficiência nas actividades produtivas.

Presentemente, os registos da desagregação dos consumos de *Energia Eléctrica* são efectuados junto de alguns contadores parciais que são partilhados por diversas actividades e sectores. Este levantamento é efectuado, diariamente, pelo electricista da DS e cada mês de registos corresponde a um mês civil. Por este motivo poderá parecer incongruente

⁸Por contabilidade energética entende-se a contribuição energética na formação do custo final do produto.

com os meses de facturação da EDP dispostos na sub-secção 3.3.1, já que correspondem a períodos de contagem distintos.

É possível constatar uma redução dos consumos em termos de energia eléctrica em dois sectores onde a implementação de medidas de iluminação foi tomada no início de mês de Dezembro, conforme descrito no Capítulo 4. Esses sectores são, respectivamente, a Escolha/Embalagem *twin-top* e os Acabamentos Mecânicos TT e NT.

A análise à Tabela A.4, do Anexo A, permite verificar os sectores com maior consumo de energia eléctrica e o seu peso relativamente à factura total de energia eléctrica. Os sectores com maior peso face à factura global de energia eléctrica são, por ordem decrescente:

- Pavilhão de Moldação (TT) e Colagem, com um peso de 27%;
- Pavilhão de Moldação (NT), com um peso de 24%;
- Compressor, com um peso de 14%;
- Despoeiramento, com um peso de 11%;
- Pavilhão de Acabamentos Mecânicos, com um peso de 10%.

3.4.2 Gás Natural

O *Gás Natural*, conforme enumerado na sub-secção 3.3.2, é consumido para produção de calor no aquecimento de estufas ou produção de vapor nas seguintes tarefas: produção de rolhas por moldação ou para colagem de discos; e na desinfeção de granulado.

Relativamente à desagregação, por sector e actividade do processo produtivo, do consumo de Gás Natural, implementou-se em Dezembro uma medida visando um registo diário do consumo global da DS – levantamento efectuado todos os dias, à mesma hora, por um administrativo da Unidade – e um registo mensal das contagens dos dois contadores parciais (caldeiras e moldação). Isto permitirá, para além de detectar anomalias, identificar os consumos com maior facilidade.

3.4.3 Gasóleo

Por último, o *Gasóleo*, a outra forma de energia consumida na DS, alimenta apenas um empilhador. Este efectua diversas funções dentro da Unidade Industrial. Em termos de actividades do processo produtivo considera-se: transporte de matéria prima e de produto entre sectores. Sendo que a ligação existente entre alguns dos sectores revela-se com elevada degradação, este é o único capaz de suportar esse trajecto o que justifica a sua utilização intensiva face aos restantes empilhadores eléctricos. Este facto explica o seu consumo anual de, aproximadamente, 3500 litros de gasóleo, cuja factura ascende a cerca de €3500 – conforme referido na sub-secção 3.3.3.

Neste sentido, uma das medidas propostas, e em análise, consiste em alterar o piso entre os pavilhões permitindo a utilização dos restantes veículos eléctricos entre esses sectores e facilitando, ainda, a deslocação de pessoas, material e outros veículos.

3.5 Conclusões

O conhecimento das grandezas eléctricas associadas ao consumo energético, em cada uma das tarefas produtivas, permite a identificação dos custos específicos e conduz, ainda, à aplicação de uma contabilidade energética eficaz.

Na utilização racional de energia, e na preocupação de uma redução de custos, apenas com o conhecimento profundo é possível intervir numa visão de utilização eficiente de energia.

Neste sentido, e com um consumo de energia elevado, conforme os custos revelam em resumo na Tabela 3.3, é fundamental a implementação de sistemas de contagem na utilização da energia eléctrica e do gás natural.

Tabela 3.3: Resumo dos Custos Energéticos, por forma de energia, em média (Mensal e Anual)

Forma de Energia	Custo Médio (€)	
	Mensal	Anual
Energia Eléctrica	27.295,06	336.471,35
Gás Natural	20.798,90	232.387,00
Gasóleo	352,14	3.681,48
Σ	48.446	572.540

Apenas recorrendo à monitorização e registo da evolução dos consumos, por sectores produtivos, é possível identificar comportamentos anómalos bem como pontos críticos que traduzem um custo específico excessivo, em relação ao custo produtivo global.

É, ainda, a medição constante de todos os consumos energéticos desagregados que traduz a definição de perfis de consumo permitindo uma gestão eficiente de toda a estrutura industrial.

Capítulo 4

Iluminação

A *Unidade De Sousa* é, como estabelecimento industrial que funciona em alguns sectores durante 24 horas/dia, um previsível grande utilizador de iluminação. Porém, perante os valores dos consumos energéticos dos sistemas de accionamento por motores eléctricos, blocos de resistências para aquecimento das estufas e outros, este tipo de consumo foi sempre considerado com um peso relativamente reduzido. Assim, neste, tal como na esmagadora maioria de outros casos industriais, no passado nenhum plano foi accionado para reduzir o consumo energético associado à iluminação.

Actualmente, existem já preocupações em torno de *Eficiência Luminosa*, sabendo que um aumento deste tipo de eficiência incorre, para além de qualidade e segurança nos planos de trabalho, também, num aumento de poupança energética contribuindo para maiores margens de lucro. Por eficiência luminosa entende-se a relação entre o fluxo luminoso emitido e a potência eléctrica instalada (lm/W)¹.

Recorda-se que a existência da DS enquanto unidade fabril remonta a meados do século passado e, nesses tempos, existia a crença que a radiação da luz natural poderia danificar a cortiça. Por este facto, a DS caracteriza-se por uma grande dependência em relação à iluminação artificial, bem como por uma iluminação reduzida nas zonas de armazenamento de granulado de cortiça.

Hoje, em termos técnicos, a *iluminação natural* não é um impedimento pois sabe-se que não retira qualidades à matéria prima. Numa vertente de eficiência energética, utilizar a iluminação natural é extremamente vantajoso: corresponde a um equilíbrio de iluminação com redução de encadeamento, restituição de cor adequada – em suma, um melhor conforto visual. Em termos de economia de energia é, ainda para mais, imbatível.

Hoje, recorrendo a sensores de luz, é possível efectuar uma combinação de iluminação natural com a regulação de uma iluminação artificial. Por estes aspectos, e face à boa exposição solar da Unidade, esta possibilidade foi analisada em diversos sectores.

¹A eficiência luminosa é um parâmetro essencial na Utilização Racional de Energia.

Por outro lado, a *iluminação artificial* viu um desenvolvimento crescente relativamente à eficiência luminosa e viu nascer novas tecnologias e sistemas de controlo pelo que é interessante de várias perspectivas actualizar a iluminação presente na unidade.

No âmbito do projecto desenvolvido é requerido um levantamento da iluminação actual e um estudo de soluções possíveis visando renovar a iluminação, melhorando a sua eficiência e criando um benefício económico para esta alteração.

4.1 Estado da Arte

Em Outubro de 2008, data em que se iniciou o levantamento e análise ao estado da arte, a iluminação existente na DS pautava-se por determinadas características, relativamente ao seu tipo, comando e custos associados.

4.1.1 Tipo de Iluminação

A iluminação natural está presente, com resultados vantajosos, apenas nos sectores de Escolha, Moldação TT e Extrusão.

Quanto à iluminação artificial presente na DS existem, essencialmente, dois tipos de iluminação:

1. iluminação normal;
2. iluminação de vigília/emergência².

Em relação aos tipos de aparelhos de iluminação, utilizam-se na DS os seguintes modelos. Com excepção de 4 luminárias com balastro electrónico, utilizadas na plataforma da extrusão, todas utilizam balastros convencionais:

- Armaduras Fluorescentes com lâmpadas de 1 x 18 W, 2 x 36 W e 2 x 58 W;
- Luminárias do tipo reflector com suspensão, com lâmpadas de descarga de vapor de mercúrio com potência de 250 W.

A Tabela B.1 enumera, através das diferentes referências, as características e o preço das fontes de iluminação envolvidas na iluminação artificial utilizada na DS.

O comando da iluminação é, na maioria dos sectores, manual. Apenas o circuito de vigília/emergência, e uma das plataformas de *stock* no pavilhão da Escolha *Neutrocork*, se encontram ligados a um sensor crepuscular. A iluminação encontra-se, em diversos sectores, acesa 24 horas/dia mesmo nos casos em que tal não seria necessário ou previsto.

As luminárias existentes encontram-se, para além de ultrapassadas em termos tecnológicos, com sinais de desgaste profundo. Não existe um plano de manutenção preventiva ou de limpeza das fontes de iluminação. Relativamente à sua distribuição, estas não acompanharam a evolução e a alteração dos pavilhões fabris.

²À data do levantamento de dados, encontrou-se este circuito com a maioria das lâmpadas e baterias ultrapassadas relativamente à sua vida útil. Estava, pois, em termos práticos, fora de funcionamento.

4.1.2 Iluminância por Sector

As medições dos níveis de iluminância efectuaram-se, em todos os sectores, junto dos trabalhadores nos seus postos de trabalho, sobre as superfícies de observação respeitantes às tarefas. Foram efectuadas diversas medições e efectuou-se, ainda, uma estimativa da contribuição da iluminação natural.

As medições³ efectuadas indicaram que em alguns locais – a maioria dos locais de escolha individual das rolhas, embalagem e plataformas de *stock* – existe iluminação excessiva. No entanto, num dos sectores de produção, a Moldação NT, a iluminação é claramente deficitária.

De acordo com a norma *ISO 8995*, [17], e com os níveis de iluminância recomendados por esta, apontaram-se algumas conclusões a esse respeito. Os resultados das diferentes medições, por sector, considerando a pior média⁴, encontram-se expressos na Tabela B.2.

4.1.3 Levantamento de Luminárias

Estando o desenho técnico da instalação eléctrica, relativa à iluminação, desactualizado e desajustado da realidade na unidade, efectuou-se um levantamento de todas as luminárias instaladas e dos respectivos circuitos de comando e alimentação. Este levantamento permitiu, ainda, identificar: o nível de desgaste das luminárias utilizadas; as avarias no funcionamento da iluminação de emergência; as dificuldades inerentes aos circuitos de alimentação não estarem seccionados; bem como o facto de não existir desfasamento na alimentação de diversas luminárias.

Registaram-se conclusões qualitativas durante este levantamento. Destas, importa referir alguns cenários que se repetem e se verificam em diversos sectores:

- Sectores, ou locais, que apresentam iluminação acesa 24 *horas/dia* apesar de serem locais de visita ocasional como armazéns de matéria prima ou de aprovisionamento;
- Iluminação exterior, circundante aos pavilhões, é acesa para funcionamento durante a noite e esquecida durante o dia. Nem toda a iluminação exterior é comandada por sensor crepuscular;
- Sectores com boa exposição solar têm um número reduzido de placas translúcidas sendo que, essas, apresentam um desgaste excessivo. Estas são opacas, em alguns dos casos;
- As luminárias instaladas não acompanharam a alteração das máquinas instaladas e em alguns casos, os equipamentos escondem, na totalidade, as fontes de iluminação;
- Em sectores com boa iluminação natural, a iluminação artificial encontra-se, na totalidade, acesa sendo a sua contribuição reduzida e desnecessária;

³As condições das medições encontram-se descritas na sub-secção B.1.2 do Anexo B.

⁴Com a contribuição, apenas, de iluminação artificial e com inexistência de iluminação natural.

- Sectores que operam apenas num, ou dois, turnos permanecem durante o restante horário com a iluminação, na totalidade, acesa;
- Luminárias, difusores e lâmpadas apresentam um elevado desgaste;
- Iluminação de vigília/emergência apresenta a maioria das lâmpadas fundidas e as suas baterias não têm capacidade de entrar em funcionamento;
- Circuitos não seccionados impedem comandar as fontes de iluminação de diferentes sectores.

Relativamente ao levantamento quantitativo das luminárias utilizadas por sector produtivo, encontra-se na Tabela B.3 essa descrição.

4.1.4 Consumos Energéticos

As medições de todos os consumos energéticos respeitantes à iluminação por sector foram efectuadas recorrendo a um analisador de redes⁵.

A inexistência de esquemas eléctricos e a dificuldade em identificar os circuitos de comando, bem como a distribuição das diferentes fontes de iluminação foi auxiliada pelo analisador de redes. Através do registo de dados que este suporta, foi possível efectuar alguns testes e identificar toda a iluminação artificial presente, bem como o seu consumo.

Os registos efectuados, relativos às medições em todos os sectores da Unidade permitiram, ainda, identificar os perfis de consumo, bem como as características eléctricas associadas a alguns casos particulares: lâmpadas fluorescentes apagadas, distribuição desequilibrada da iluminação pelas fases, entre outras.

Da análise das medições efectuadas resultaram valores médios de consumo de energia eléctrica para cada uma das fontes de iluminação artificial utilizadas nesta unidade, conforme disposto na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Potência Consumida, em média, por fonte de Iluminação Artificial

Balastro	Lâmpada		
Tipo	Tipo	Potência (W)	Potência Consumida (W)
Ferromagnético	Vapor Mercúrio	250	313
Electromagnético	Fluorescente	2 x 58	145
Electrónico	Fluorescente	2 x 58	116
Electromagnético	Fluorescente	2 x 36	90
Electromagnético	Fluorescente	1 x 18	23

Estes resultados confirmam cerca de 25% de perdas nos balastros ferromagnéticos o que em termos teóricos, nos balastros convencionais com elevados níveis de perdas, é o esperado [18].

⁵O analisador de redes utilizado corresponde ao CIRCUTOR Supply Network Analyzer AR5.

4.1.5 Custo da Iluminação

No cálculo que representa o custo da iluminação em cada um dos sectores, recorreu-se aos valores obtidos, de acordo com os registos e medições efectuados: levantamento das luminárias instaladas, horas de funcionamento anuais, custo de cada lâmpada, valores de potência consumida por fonte de iluminação e o custo médio do *MWh*⁶.

Efectivamente, o custo da iluminação actual por sector corresponde à soma de duas parcelas: custo energético e custo de exploração.

Relativamente ao cálculo do custo energético efectuou-se, primeiramente, o cálculo da potência activa consumida pelos diferentes circuitos de iluminação. A potência activa, em termos anuais, é calculada pela Equação 4.1:

$$P(kWh/ano) = \frac{N^{\circ}_{lumin} \times N^{\circ}_{lâmp/lumin} \times P_{estimada/lâmp}(W) \times H_{funcionamento}(h/ano)}{1000} \quad (4.1)$$

Deste modo, obtida a potência activa absorvida, por ano, efectua-se o cálculo relativo ao seu custo. A Equação 4.2 representa, pois, o cálculo de uma das parcelas do custo da iluminação – o custo energético.

$$Custo_{energético}(euro/ano) = P(kWh/ano) \times Custo_{medkWh}(euro/kWh) \quad (4.2)$$

O custo de exploração reflecte, essencialmente, os custos com a manutenção das lâmpadas das luminárias. A troca de lâmpadas representa um investimento apenas na aquisição das lâmpadas, já que a troca é efectuada por mão-de-obra directa da equipa de manutenção da Unidade Industrial e difícil de quantificar como um custo directo. Assim, a Equação 4.3 reflecte o custo anual relativo à exploração das lâmpadas para cada um dos sectores ou cenários em análise.

$$Custo_{exploração}(euro/ano) = \frac{N^{\circ}_{lumin} \times N^{\circ}_{lâmp/lumin} \times H_{funcion.}(h)}{Vida\ Útil_{lâmpada}(h/ano)} \times Custo_{lâmp}(euro) \quad (4.3)$$

A soma destas parcelas representa, pois, o custo da iluminação em cada um dos sectores.

$$Custo_{iluminação}(euro/ano) = Custo_{energético} + Custo_{exploração} \quad (4.4)$$

A Tabela B.4 enumera os custos relativos à iluminação artificial por sector produtivo da Unidade Industrial.

Em termos globais, a Unidade tem um consumo energético, relativo à iluminação dos sectores, de 259 *MWh/ano*, cuja factura anual ascende, pois, a mais de €20.000 — sensivelmente 6% da factura total anual de energia eléctrica.

⁶Referido na sub-secção 3.3.1 do Capítulo 3

Relativamente ao custo de exploração dos diferentes sectores e, consequentemente, das diversas aplicações luminotécnicas, o custo anual estimou-se em, aproximadamente, €2.600.

Dos diversos sectores, aqueles que revelam, relativamente aos restantes, maior custo anual são, também, os que apresentam piores resultados em termos de eficiência energética.

Destacam-se os seguintes sectores pois, para além de exibirem custos elevados, ilustram, na generalidade, situações ineficientes detectadas na DS:

- *Embalagem do Sector da Escolha TT* – este sector funciona apenas com um turno de laboração por dia. Em termos de iluminação natural, é um dos sectores mais expostos, já que a contribuição da iluminação natural é constituída por placas translúcidas e janelas laterais.

Se a contribuição da iluminação artificial, em média, contribui com cerca de 769 *lux*, medições efectuadas estimaram para a iluminação natural cerca de 2000 *lux*. Assim, em termos práticos, durante a maioria do período de laboração, este sector tem uma iluminância que ascende a 2700 *lux* e que se apresenta tão excessiva quanto ineficiente.

A explicação para este sector representar o custo energético com iluminação mais elevado, representando cerca de 13% da factura total da energia eléctrica dispendida com a iluminação, passa por uma iluminação em funcionamento durante, quase 15 horas, por dia;

- *Moldação TT* – representa um excelente exemplo, em termos de iluminação natural, da aplicação de placas translúcidas – apesar do desgaste profundo destas. Apresenta, em alguns dos seus espaços, bons níveis de iluminância (cerca de 3000 *lux*) provenientes de iluminação natural.

Porém, por apresentar um horário de laboração de 3 turnos, é vital uma eficiência da iluminação artificial. Das 15 armaduras com lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 *W*, apenas 5 produzem iluminação útil, já que as restantes 10, apesar de acesas durante todo o dia, estão parcial ou totalmente ocultas por maquinaria envolvida neste sector. Este sector corresponde a 10% da factura global de energia eléctrica e tal como os restantes, cujo horário de laboração é de 24 *horas/dia*, com 6 dias por semana, poderá gerar um grande benefício económico ao serem operadas medidas de eficiência energética;

- *Escolha Electrónica NT* – a iluminação é obtida através de 35 armaduras equipadas com lâmpadas tubulares fluorescentes, 2 x 58 *W*, porém, a sua distribuição não obedece aos requisitos actuais da actividade. Actualmente, a escolha de rolhas é feita através de máquinas automatizadas que efectuam uma escolha recorrendo apenas à

supervisão humana⁷. Em diversos sectores, sendo que este não escapa a essa questão, as zonas de *stock* apresentam iluminação excessiva face às exigências visuais. O circuito de alimentação da iluminação por pavilhão, não estando seccionado, impede uma utilização mais eficiente das fontes de luz artificial. De facto, neste pavilhão, apesar da actividade principal do sector ser efectuada durante 2 turnos, a iluminação permanece em funcionamento durante todo o dia, contribuindo para que este pavilhão, com um custo relativo de 8,7%, apresente um potencial elevado para a redução do consumo energético;

- *Plataforma Acabamentos Mecânicos* – esta plataforma corresponde a parte integrante do sector de Acabamentos Mecânicos. A separação física entre a produção e o *stock* não é acompanhada por comandos diferentes da iluminação.

Sendo um local de visita ocasional, o facto de constituir 8% da factura total respeitante à iluminação é justificado pela utilização de 24 armaduras, 2 x 58 W, em funcionamento contínuo ao longo dos dias. Com uma iluminação, exclusivamente, artificial, o nível de iluminância, em média, é de 297 lux e excessivo, em relação ao necessário;

- *Moldação NT* – corresponde ao sector com pior iluminação de toda a unidade industrial, em termos de iluminância (179 lux) e de degradação das fontes de luz, apesar de ser o quinto sector com o custo mais elevado relativamente à factura energética da iluminação (6%). Semelhantemente ao ocorrido na Moldação TT muitas das fontes de luz encontram-se, igualmente, encobertas pelos equipamentos.

A iluminação é constituída por 8 luminárias equipadas com lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W e devido às elevadas dimensões das moldadoras utilizam-se, ainda, 4 armaduras, 2 x 58 W, para iluminar os corredores bem como um ponto de medição da humidade de granulado — para efeitos de controlo de qualidade. O seu custo, relativamente elevado face a outros sectores e a ineficácia da iluminação contribuem para uma necessidade urgente de implementar uma nova solução.

4.2 Estudo de Soluções

Perante o estado da arte efectuou-se, posteriormente, uma análise partilhada com a Direcção Industrial e encarregados de manutenção da DS a fim de obter os requisitos e as exigências visuais de cada um dos sectores. Procurou-se, ainda, conhecer as alterações futuras de modo ao estudo de propostas ser, o melhor possível, adaptado à realidade industrial da DS. Efectivamente, soluções eficientes para um sector não o são, necessariamente, para sectores vizinhos e nesta tentativa procurou-se construir uma solução tão sólida quanto possível.

⁷Num passado recente, a escolha de rolas era efectuada de modo humano e através de características visuais. Esta função era desenvolvida em tapetes que estavam distribuídos neste sector.

Construíram-se, nestes termos, um conjunto de acções a implementar. Relativamente a este conjunto de medidas dividiu-se, este, em cenários de implementação. Efectuou-se para cada um destes um estudo dos investimentos associados, retorno (*payback*) e as poupanças obtidas.

Em termos de soluções possíveis para a iluminação recorreu-se a catálogos de fabricantes, para encontrar as características relativas a cada uma das soluções, tendo obtido as potências médias consumidas e especificadas para cada um dos casos. Relativamente aos custos inerentes à implementação e exploração, estes foram obtidos junto do Departamento de Aprovisionamento da *Amorim & Irmãos, S.A.*, e de acordo com contratos obtidos junto de fornecedores.

4.2.1 Iluminação Natural

Em relação à *iluminação natural* e à sua implementação nos sectores, em que tal é possível, estudou-se como solução a colocação e/ou renovação de placas translúcidas. De facto, outras soluções, como recentes tecnologias de iluminação natural (clarabóias de alto rendimento, Sola Tube [19], entre outras), são de tal modo onerosas que, apesar das características apelativas e únicas – devido ao que constitui a luz natural – foram, descartadas, pelo seu *payback* elevado.

Relativamente à instalação de placas translúcidas, escolheu-se como solução: placas translúcidas construídas em policarbonato. Com este tipo de placas translúcidas obtêm-se resultados satisfatórios de contribuição de luz natural⁸ e efectua-se um aproveitamento da boa exposição solar da DS em alguns dos seus sectores.

A construção em policarbonato permite características atractivas como: um bom isolamento térmico; elevada resistência mecânica; facilidade de aplicação e de manutenção com mão-de-obra não especializada; e, finalmente, uma estrutura leve que não coloque em perigo a segurança nas coberturas.

Obteve-se um custo de aquisição e montagem de €40, por cada 2 m², para cada uma destas placas⁹.

4.2.2 Iluminação Artificial

No que diz respeito às diferentes soluções para *iluminação artificial* efectuaram-se pesquisas relativas ao tipo de armaduras, tipo de lâmpadas e tipo de balastros. Estudaram-se, ainda, diferentes soluções para o comando das fontes de luz, em ambos os tipos de iluminação referidos na sub-secção 4.1.1; normal e de vigília/emergência.

⁸Este tipo de placas apresenta taxas de transmissão de luminosidade com rendimentos de, aproximadamente, 85% [20].

⁹Este valor foi obtido face a uma aquisição de um volume significativo de unidades.

4.2.2.1 Balastros Electrónicos

A escolha dos balastros recai sobre a utilização de *balastros electrónicos*. Para além das condições impostas e relativas ao *Protocolo de Quioto*¹⁰, directivas da União Europeia indicam a utilização de balastros electrónicos.

De facto, os balastros electrónicos apresentam inúmeras vantagens face aos convencionais. Através do aumento da frequência de funcionamento obtém-se um aumento de rendimento luminoso que, consequentemente, se traduz em menor potência absorvida para a mesma quantidade de luz; eliminação do *flicker*, já que a emissão de luz é contínua – enquanto a 50 *Hz* a corrente é nula, duas vezes por ciclo, produzindo cansaço visual.

A redução do ruído audível acontece, também, devido ao balastro operar em altas frequências e acima da gama audível de frequências.

O arranque da lâmpada, recorrendo a este tipo de balastros, diminui o seu desgaste permitindo um aumento da duração da vida útil da lâmpada.

O balastro electrónico escolhido para a DS deverá ser, em alguns sectores em que é possível criar um controlo mais eficiente, da classe A1 – balastro electrónico com regulação digital. Nos restantes sectores, os balastros electrónicos a escolher deverão ser A2, com baixas perdas, ou A3, *standard*.

Escolhem-se sistemas de regulação para equipar os balastros electrónicos em locais com contribuição de iluminação natural, de modo que os balastros electrónicos associados a sensores de luz permitam ajustar o fluxo luminoso de acordo com as necessidades.

4.2.2.2 Lâmpadas T5

A escolha de lâmpadas para equipar as armaduras escolhidas recaiu nas *lâmpadas T5*. A sua escolha será efectuada de acordo com a potência e local de instalação podendo ser de alto rendimento ou de elevado fluxo.

Este tipo de lâmpadas fluorescentes constitui como garantia uma iluminação de bom rendimento e económica. Com benefícios expressivos, face às lâmpadas TL-D, em relação às dimensões que apresentam, rendimento e restituição de cores, as lâmpadas T5 associadas aos benefícios do balastro electrónico permitem um controlo do feixe luminoso com resultados significativos em termos de eficiência energética.

Ao longo da sua vida útil, estas lâmpadas sofrem uma reduzida depreciação. Apresentaram-se, ainda, como a solução com menor *payback*. Por todos estes motivos foram a solução escolhida, nas diversas gamas de potência, para a DS.

Se relativamente à substituição das actuais armaduras equipadas com balastro electromagnético e lâmpadas fluorescentes do tipo TL-D a escolha das T5 é imediata, em relação à substituição das armaduras equipadas com lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 *W* existiam diversas soluções.

¹⁰Constitui um compromisso entre Países Industrializados de implementarem medidas para a redução de emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa [21].

Estudou-se, pois, a possibilidade de uma substituição por lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos, cujo rendimento luminoso é assinalável e apresenta, ainda, uma razoável restituição de cor. Porém, como o seu custo é, para já, bastante oneroso – pois as características técnicas da sua fabricação são complexas – esta escolha foi descartada. Em última análise, esta escolha, conforme se confirmou, constituiria um custo de implementação e de exploração elevado face às limitações impostas pela DS.

Em relação a efectuar esta substituição por lâmpadas de descarga de vapor de sódio a baixa pressão, que apresentam os rendimentos luminosos mais assinaláveis, tal não é possível já que se exige uma melhoria na restituição de cores para a laboração nos sectores produtivos.

As lâmpadas de descarga de vapor de sódio a alta pressão apresentam, já, uma melhor restituição de cores. No entanto, apresentam-se com um custo superior. Assim, foram, tal como as lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos, igualmente descartadas por apresentarem um *payback* superior à solução com lâmpadas T5.

Relativamente aos locais que, após alterações estruturais dos sectores, se poderão tornar de difícil acesso, recomenda-se a instalação de lâmpadas de indução electromagnética, cuja duração de vida ascende às 60.000 *horas*. Este tipo de lâmpadas apresenta um bom rendimento luminoso e uma luz confortável sem oscilações. A sua vida útil permite, em locais de difícil acesso, diminuir os custos de manutenção operando, pois, de modo eficiente.

De acordo com alguns catálogos e autores [22], a lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos é utilizada, essencialmente, em iluminação exterior que requer uma boa restituição de cores como, por exemplo, em campos desportivos ou espectáculos com transmissão televisiva. As lâmpadas de descarga de vapor de sódio a baixa pressão são ideais para iluminação pública, devido à sua duração de vida longa, alto rendimento e luz emitida monocromática amarela.

Deste modo, e perante a possibilidade de instalar as lâmpadas fluorescentes T5 numa diversa gama de potências e, apresentando a DS sectores construídos com diferentes pé-direito — as lâmpadas T5 revelaram-se como sendo a solução mais flexível, menos onerosa e mais eficiente.

Actualmente, decorre um projecto de iluminação eficiente, ao abrigo de um programa de eficiência energética da EDP, *eco*, através do qual a EDP Distribuição, nos sectores de comércio e de serviços, devolve a totalidade do custo de aquisição dos conjuntos de lâmpadas T5 e balastros electrónicos. Nestes termos, e de acordo com informações publicadas [23], a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos financia esta medida no âmbito de um plano de promoção da eficiência no consumo de energia eléctrica considerando-a como iluminação eficiente.

O conjunto lâmpadas T5, armadura com balastro electrónico e comando digital apresenta-se pois, como uma solução eficiente face à realidade e tecnologia actual.

A Tabela 4.2 enumera as características, face às potências envolvidas, das luminárias

equipadas com lâmpadas T5, de acordo com o que será a proposta de medidas a implementar.

Tabela 4.2: Características das Fontes de Iluminação Artificial propostas

Luminária	Lâmpada		Fluxo (<i>lm</i>)	Vida útil (<i>h</i>)	IP / IK	Preço (€)
	Tipo	Modelo Utilizado				
2 x 80 W	Fluorescente	Philips TL 5 80 W	6.200	16.000	66/08	60
2 x 49 W	Fluorescente	Philips TL 5 49 W	4.900	16.000	66/08	40
2 x 35 W	Fluorescente	Philips TL 5 35 W	3.400	16.000	66/08	40
2 x 28 W	Fluorescente	Philips TL 5 28 W	2.600	16.000	66/08	40

4.2.3 Comando da Iluminação

Um conjunto que associe a uma luminária, equipada com balastro electrónico e lâmpadas com um bom rendimento luminoso, um comando eficiente permite obter reduções significativas de consumo, e uma solução apresentando bons resultados em termos de eficiência energética.

Neste sentido, e face à análise efectuada junto dos perfis de consumo de cada um dos sectores, estudou-se a implementação de temporizadores, indicadores horários digitais e sensores de luz.

O preço expresso na Tabela 4.2 inclui, em termos médios, o custo de luminárias equipadas com *dimmer* permitindo a *regulação do fluxo luminoso* de acordo com indicação dos sensores de luz. Estas luminárias, incluídas no estudo, serão da Philips ou da OSRAM com tecnologia *Quicktronic*. Este tipo de regulação aplica uma tensão variável entre 1 e 10 V, sendo o fluxo luminoso proporcional a esta tensão. O controlador para este tipo de regulação é instalado na forma de mini-sensores de luz com interface 1-10 V de modo a que a regulação seja efectuada em cada uma das fontes de iluminação. Esta medida a implementar em sectores com contribuição de iluminação natural permitirá aplicar uma utilização mais racional de energia, utilizando apenas a iluminação necessária em cada sector e minimizando o desperdício de energia gerado como iluminação excessiva. Com a contribuição da luz natural as economias de energia poderão ascender aos 70% [18].

Em locais de visita ocasional, como plataformas e armazéns, em situações em que a iluminação natural não baste ou seja inexistente, prevê-se a alteração do existente comando manual para um comando temporizado – através da instalação de *automáticos de escada electrónicos*. Sendo as áreas em causa de grandes dimensões, a colocação de diversos detectores de presença não se justifica, em termos de investimento, face à opção deste tipo de comando temporizado.

A utilização de sensores crepusculares na DS resume-se ao comando de uma plataforma e da iluminação de vigília. A informação desta célula instalada junto ao PT da unidade pode, ainda, ser partilhada para comando de outros circuitos de iluminação. Porém, nos casos em que tal não é tecnicamente possível recomenda-se a utilização de *sensor*

crepuscular combinado com interruptor horário já que este apresenta maior flexibilidade e permite adaptar os sectores a alterações do número ou do horário dos turnos de laboração. No caso de ser inexistente a iluminação natural, como o é em alguns dos sectores, a colocação de *interruptores horários digitais* permite, também, adaptar os circuitos de iluminação e torná-los mais eficientes.

A utilização de comando automático é vantajosa face ao comando manual por apresentar menos desvios ou erros e por incluir, também, no caso dos sensores de luz e sensores crepusculares, conforto visual já que responde automaticamente às alterações de iluminação natural.

Em termos de eficiência, e mesmo de poupança, é extremamente favorável. Os custos relativos a cada um dos equipamentos propostos¹¹ para a alteração do comando encontram-se expressos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Custos de Equipamento para Comando Automático

Ref.	Tipo	Preço (€)
047 02	Automático de Escada Electrónico	32,12
037 21	Interruptor Crepuscular combinado com interruptor horário	241,2
037 05	Interruptor Horário Digital	107,71

4.3 Medidas Propostas

Efectuou-se, posteriormente ao levantamento de dados, a escolha de determinadas soluções, de acordo com:

- Requisitos dos sectores produtivos;
- Alterações previstas, a médio prazo, para cada um dos sectores produtivos, de tal modo que as soluções possam apresentar flexibilidade na alteração da estrutura dos sectores;
- Baixo custo de implementação e de exploração¹² traduzindo-se, pois, num *payback* reduzido;
- Contratos de prestação de serviços externos junto dos fornecedores do Grupo;
- Mão-de-obra directa da DS.

¹¹Equipamento do Fabricante Legrand [24].

¹²A política actual do Grupo Amorim relativamente a medidas que impliquem investimento para 2009 é de severa contenção.

4.3.1 Iluminação Natural

Em termos de *iluminação natural* propõe-se a instalação de placas translúcidas de polycarbonato para os sectores dispostos na Tabela 4.4. O custo, por cada 2 m^2 de placas translúcidas de polycarbonato é de €40, conforme referido na sub-secção 4.2.1.

A Tabela 4.4 refere os custos correspondentes à implementação desta medida, por cada um dos sectores onde tal é possível.

Tabela 4.4: Custo de instalação de placas translúcidas em polycarbonato por sector

Sector	Quant. de Placas Translúcidas ($\times 2\text{m}^2$)	Custo de Implementação (€)
Armazém Granulado I	8	320
Armazém Granulado II	8	320
Extrusão (acabamentos)	6	240
Moldação NT	10	400
Σ	32	1280

Estudou-se a sua distribuição de acordo com as possibilidades dos telhados, de cada um dos sectores. De facto, algumas das telhas encontram-se bastante deterioradas pelo que poderiam representar um risco para a segurança da instalação. Assim, deverá optar-se por efectuar uma distribuição tão uniforme quanto possível sem incorrer em investimentos elevados nem riscos para a segurança.

No caso dos acabamentos mecânicos, no pavilhão da Extrusão, onde estão, actualmente, dispostas 4 placas translúcidas sugeriu-se, se possível, a sua limpeza e recuperação. A montagem das novas de um modo desfasado das actuais permitirá a criação de uma distribuição uniforme para este sector.

4.3.2 Iluminação Artificial

Relativamente à *iluminação artificial* e de acordo com a escolha dos balastros electrónicos, lâmpadas T5 bem como alteração do tipo de comando em alguns dos casos, efectuou-se um estudo adequado para cada um dos sectores. Em termos de iluminância efectuou-se, para alguns casos e recorrendo a *software* luminotécnico¹³ o estudo da distribuição e da quantidade de luminárias necessárias por sector. Esta abordagem permitiu confirmar, superficialmente, a actual má distribuição das fontes de iluminação.

Apesar de não ser necessário efectuar uma “troca por troca” em todos os pontos de iluminação artificial optou-se por, na solução final, apresentar a substituição das fontes de iluminação referidas no estado da arte pelas soluções apresentadas, salvo excepções em que, notoriamente, a luz produzida é gerada como desperdício – como, por exemplo, na plataforma de acabamentos mecânicos. Deste modo, garante-se que a solução apresentada

¹³O *Software* luminotécnico utilizado foi o WineLux.

corresponde, em termos de *payback*, ao pior cenário. Ainda, e de acordo com a implementação, irá ser efectuado um projecto que vise a melhoria dos circuitos eléctricos actuais pelo que será devidamente dimensionado o número necessário de luminárias e a colocação destas.

Igualmente, em relação às horas estimadas de funcionamento anuais, considerou-se o pior cenário. De acordo com a análise das necessidades e os perfis de utilização de cada um dos sectores foi possível estimar resultados extremamente favoráveis relativamente às plataformas dos sectores. Estas são as situações em que, de facto, se apresentam horas estimadas de funcionamento, após a alteração do comando, satisfatórias.

Apesar de se estimar reduções significativas de consumo na utilização de regulação das luminárias com *dimmer*, na análise de *payback* não se considera esta redução. Em suma, reforça-se a ideia que este constitui um cenário pessimista pelo que os resultados obtidos são, francamente, atractivos.

A Tabela 4.5 constitui a proposta de potências de lâmpadas, comando da iluminação e horas de funcionamento anuais, estimadas, para cada um dos sectores.

Tabela 4.5: Iluminação artificial proposta (lâmpadas, comando e horas de funcionamento anuais), por sector

Sector	Fonte de Iluminação		Tipo de Comando	Horas em Funcionamento (<i>h/ano</i>)
	Quantidade	Tipo (W)		
Entrada UI	5	2 x 80	Sensor de Luz	3375
Armazém de Aprovisionamento	4	2 x 35	Automático de Escada	450
Área Administrativa	manter solução actual			2025
Armazém Granulado I	7	2 x 80	Automático de Escada	2700
Armazém Granulado II	7	2 x 80	Automático de Escada	2700
Coberto Armazéns Granulado	4	2 x 80	Sensor Crepuscular	2700
Extrusão (Produção)	6	2 x 49	—	5400
Extrusão (Plataforma)	—	manter	Automático de Escada	900
Extrusão (Acabamentos Mecânicos)	6	2 x 80	Sensor de Luz	5400
Moldação NT	10	2 x 80	Sensor de Luz	5400
Moldação TT	15	2 x 80	Sensor de Luz	5400
Colagem TT	3 + 9	2 x 80 + 2 x 49	Aut. de Escada - p/ plataforma	5400
Acabamentos Mecânicos	16	2 x 49	—	5400
Plataforma Acabamentos Mecânicos	16	2 x 49	Automático de Escada	1350
Lavação	8	2 x 49	Aut. de Escada - p/ reservatório	5400 / 900
Secagem e Corredor do Pavilhão de Acabamentos	7	2 x 80	Sensor de Luz	5400
Escolha NT	17	2 x 49	Sensor de Luz	3600
Plataforma Escolha NT	16	2 x 49	Automático de Escada	1125
Corredor Escolha NT	10	2 x 80	Sensor Crepuscular c/ int. horário	1800
Plataforma Stock NT	20	2 x 49	Automático de Escada	1125
Escolha TT (Embalagem)	36	2 x 49	Sensor Crepuscular c/ int. horário	1800
Escolha TT (Electrónica)	12	2 x 49	Sensor de Luz	2025
Escolha TT (Passagem)	6	2 x 49	Sensor de Luz	2025
Laboratório	8	2 x 28	—	2025
Sala do Café	3	2 x 28	—	2700
Balneários + WC	4	2 x 28	—	1350
Oficina Serralharia	5	2 x 49	—	2475
Oficina Electricidade	2	2 x 49	—	2250

4.3.2.1 Iluminação de Vigília / Emergência

A *iluminação de vigília/emergência*, conforme referido na sub-secção 4.1.1, estava, praticamente na totalidade, desactivada. Constatou-se que as luminárias apresentavam desgaste e as lâmpadas encontravam-se no fim da sua vida útil. Em situações, conforme se verificou, de interrupção de energia eléctrica, as baterias não apresentavam condições para manterem este circuito de iluminação em funcionamento. Neste sentido, propôs-se uma substituição de todas as luminárias deste circuito por material novo e, ainda, em *stock*.

Relativamente ao seu comando, efectuou-se o teste junto do sensor crepuscular, tendo sido confirmado o seu bom funcionamento bem como, em caso de emergência, o circuito de iluminação de vigília/emergência mantém-se, actualmente, em funcionamento. Prevê-se, porém, que na implementação da restante iluminação artificial, este circuito seja adaptado ou reformulado. De facto, é um investimento que se justifica na óptica de todos os circuitos de iluminação, aquando da implementação, serem alterados.

Recomendou-se que o circuito de vigília/emergência fosse verificado semanalmente por um elemento da equipa de manutenção da DS, e que fosse efectuada uma manutenção preventiva a todas as luminárias semestralmente, durante a interrupção do funcionamento da Unidade para férias¹⁴.

4.3.2.2 Solução Proposta

A Tabela 4.6 enumera as soluções a implementar e enumera os custos associados, bem como a amortização em cada um dos sectores.

Em termos de investimento incluem-se, nesta solução, os custos associados à aquisição e instalação das placas translúcidas nos sectores correspondentes, bem como da aquisição e alteração dos comandos de iluminação. Na implementação destas medidas, o fornecedor de equipamento e serviços irá efectuar o projecto luminotécnico actualizando, pois, a realidade actual no que diz respeito, também, às canalizações eléctricas para estes circuitos, seccionando e colocando os circuitos nos quadros eléctricos dos sectores. Neste sentido, considerou-se um custo de instalação e projecto de 15% face ao custo de cada um dos equipamentos a instalar.

Alguns dos investimentos, traduzidos em amortizações superiores a 2 anos justificam-se no âmbito de um projecto de reestruturação da iluminação em todos os sectores. De facto, em termos globais, o *payback* correspondente a esta solução é inferior a 18 meses pelo que esses sectores não pesam muito face às poupanças obtidas.

No cálculo das amortizações considerou-se a razão entre o investimento total acrescido da diferença entre o custo de exploração actual e o proposto, e a poupança anual gerada pelas alterações propostas.

¹⁴Efectua-se em Agosto e Dezembro, durante uma ou mais semanas, a interrupção do funcionamento da DS.

Tabela 4.6: Proposta de Iluminação Artificial, Custo decorrente do Investimento e sua Amortização

Sector	Estimativa (Anual)		Investimento Estimado (€)	Custo Exp. (€)	Amortização (anos)
	Pot. (kWh)	Custo (€)			
Entrada UI	2.160,00	177,53	230	4,05	1,04
Armazém de Aproveitamento	126,00	10,36	220,8	0,54	6,73
Área Administrativa	3.098,00	254,62	0	20,66	0
Armazém Granulado I	3.024,00	248,54	839,8	5,67	1,27
Armazém Granulado II	3.024,00	248,54	839,8	5,67	1,27
Coberto Armazéns Granulado	1.728,00	142,02	276	3,24	1,66
Extrusão (Produção)	3.175,00	260,95	276	9,72	2,41
Extrusão (Plataforma)	208,80	17,16	36,8	2,16	0,55
Extrusão (Acabamentos Mecânicos)	5.184,00	426,07	654	9,72	1,62
Moldação NT	8.640,00	710,12	1090	16,2	1,79
Moldação TT	12.960,00	1065,18	1035	24,3	1,22
Colagem TT	7.355,00	604,51	653	17,82	6,05
Acabamentos Mecânicos	8.467,00	695,90	736	25,92	1,39
Plataforma Acabamentos Mecânicos	2.117,00	174,00	772,8	6,48	0,79
Lavação	2.911,00	239,26	404,8	8,91	1,51
Secagem e Corredor do Pavilhão de Acabamentos	6.048,00	497,09	483	11,34	1,36
Escolha NT	5.998,00	492,98	782	18,36	1,32
Plataforma Escolha NT	1.764,00	144,98	772,8	5,4	0,95
Corredor Escolha NT	2.880,00	236,71	978	5,4	2,28
Plataforma Stock NT	2.205,00	181,23	954,5	6,75	1,05
Escolha TT (Embalagem)	6.350,00	521,91	1943,5	19,44	0,88
Escolha TT (Electrónica)	2.381,00	195,69	720	7,29	2,54
Escolha TT (Passagem)	1.191,00	97,89	276	3,65	2,35
Laboratório	907,00	74,55	322	4,86	7,15
Sala do Café	454,00	37,31	120,75	2,43	2,06
Balneários + WC	302,00	24,82	161	1,62	6,22
Oficina Serralharia	1.213,00	99,70	230	3,71	3,01
Oficina Electricidade	441,00	36,25	92	1,35	5,32
Σ	96.311,80	7.915,87	15.946,35	252,65	1,37

4.4 Conclusões

A solução proposta, constituída por alterações na iluminação natural e artificial traduz-se, para lá da poupança obtida que desta advém, numa solução de utilização racional e eficiente de energia. Em termos de qualidade da iluminação, a estrutura vai colocar-se num patamar superior: maior iluminância e maior contribuição de iluminação natural – que se traduz em conforto visual.

A implementação deste projecto luminotécnico permitirá adaptar a iluminação à actualidade da DS. Efectivamente, a necessidade de seccionar os circuitos de iluminação era urgente em termos de segurança¹⁵ e constitui um modo de adicionar flexibilidade à utilização da iluminação. A alteração do comando da iluminação permitirá, ainda, uma simplificação do ajuste da utilização da iluminação face a potenciais alterações das infra-estruturas ou diferentes requisitos em termos luminotécnicos.

Claramente, face à realidade tecnológica na vertente de fontes de iluminação, a DS encontra-se desactualizada. Apesar de no passado terem sido feitos alguns estudos no âmbito de eficiência energética à unidade, outrora, nenhum projecto se debruçou em termos luminotécnicos. Neste sentido, o potencial de redução do consumo energético, bem como o aumento da sua eficiência, é assinalável.

O projecto de iluminação no âmbito de eficiência energética obteve, num cenário pessimista, um potencial de redução de 63% face ao actual custo energético, conforme expresso na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Resumo da Poupança gerada com alteração da Iluminação na DS

	Consumo Estimado (kW/ano)	Custo (€/ano)	Custo de Exploração (€)	Investimento Estimado (€)
Cenário Actual	259.142	21.299	2.624	—
Cenário Proposto	96.312	7.916	253	15.946

O projecto aqui referido encontra-se, actualmente, viabilizado pela Administração da *Amorim & Irmãos, S.A.* e apresenta um *payback* inferior a 18 meses.

De facto, e de acordo com a relevância que a iluminação – na maioria dos casos esquecida – assume, este projecto encontra-se actualmente estendido às restantes Unidades Industriais do Grupo.

Porém, ainda com a actual iluminação, algumas medidas foram implementadas no início de Novembro de 2008, sendo possível constatar uma redução dos consumos em termos de energia eléctrica em dois sectores. Efectivamente, efectuou-se na Escolha/Embalagem *twin-top* bem como nos Acabamentos Mecânicos TT e NT, a alteração do comando manual para automático recorrendo a um sensor crepuscular e temporizadores, respectivamente. A

¹⁵Nas medições efectuadas constatou-se que os circuitos de iluminação encontravam-se extremamente desequilibrados relativamente às 3 fases.

Tabela A, referente à desagregação dos consumos de energia eléctrica, traduz essa redução de consumo.

Em relação à iluminação de vigília/emergência, conforme referido, efectuou-se a montagem de novos equipamentos estando presentemente a apresentar um normal funcionamento.

Actualmente, a espera para a implementação desta remodelação luminotécnica prende-se, essencialmente, com o resultado de um concurso entre fornecedores de produtos e serviços a fim de estabelecer e negociar o melhor preço.

Capítulo 5

Sistemas Accionados por Motores Eléctricos

Os *sistemas accionados por motores eléctricos* são, na esmagadora maioria das Unidades Industriais, a maior fatia de consumo energético. Na realidade, este tipo de sistemas que transformam energia eléctrica em energia mecânica por meio de motores de indução trifásicos (MIT), representam, e são responsáveis, por 2/3 do consumo de energia eléctrica na União Europeia. Em Portugal, porém, este valor tem sido registado com valores superiores, representando 77% do consumo de energia eléctrica na Indústria [25].

A importância dedicada recentemente aos motores eléctricos tem origem, igualmente, no aumento dos custos de energia. Fruto desta importância, têm sido desenvolvidos *motores de alto rendimento*. Face aos motores *standard* estes apresentam, para além de melhores rendimentos, um factor de potência mais elevado.

A utilização de melhores materiais construtivos e a alteração de algumas características de construção – como o comprimento do circuito magnético e aumento da secção dos condutores – permitiu aumentar a eficiência energética actuando directamente na redução das perdas.

Em 1998, um acordo celebrado pela Comissão Europeia com o CEMEP (Comité Européen de Fabricantes de Máquinas Eléctricas e de Equipamentos e sistemas de Electrónica de Potência) introduziu uma classificação de motores face aos valores declarados para o seu rendimento nominal – entre 1,1 e 90 *kW*. As classes introduzidas de rendimento são, respectivamente, EFF1 e EFF2, sendo que a classificação EFF3 ficou reservada aos motores *standard*.

O resultado de um estudo¹ alargado a todos os escalões normalizados de potência nominal, e abrangidos pelo acordo, pretendeu justificar, numa vertente de consumidor, as

¹Parte de um estudo alargado que o Prof. Doutor Carlos Araújo Sá desenvolveu na óptica de rendimentos nominais e características mecânicas e eléctricas de motores segundo a sua classe de rendimento [26].

vantagens inerentes ao investimento em motores de rendimento melhorado. Numa análise privilegiada aos motores de 4 pólos, 400 V e 50 Hz confirmaram-se as vantagens na aquisição de motores de alto rendimento, classe EFF1, ou de rendimento melhorado, EFF2. Estas são expressivas no caso da utilização dos motores num regime abaixo de 50% da fracção de carga: melhores rendimentos e maior factor de potência.

Apesar de referidas estas classes de rendimento, na realidade para os MIT, os códigos introduzidos pela recente norma *IEC 60034-30* [27], de Outubro de 2008, correspondem a um índice de eficiência (IE) que introduz até agora, 3 classes de rendimento. Estas classes poderão ser, aproximadamente, comparadas com as anteriores classes de rendimento aqui descritas. Ou seja:

- IE1 – corresponde a motores *standard* cuja classe de eficiência se assemelha aos anteriores EFF2;
- IE2 – corresponde a motores do tipo *high*, cujos aspectos construtivos e comportamento são aproximados aos verificados nos anteriores motores do tipo EFF1;
- IE3 – corresponde a motores do tipo *premium*, apresenta-se como uma nova classe de rendimento, superior à anterior EFF1.

Em termos de custo de aquisição sendo verdade que existem diferenças significativas de investimento na aquisição de motores eléctricos, de acordo com as classes de rendimento, é igualmente verdade que a maior e mais expressiva parcela no custo de um motor eléctrico é o consumo de energia eléctrica ao longo da sua vida útil. Ora, deste modo, a aquisição de motores de alto rendimento, da classe IE2 ou IE3 incorre, em cenários de utilização industrial com grande quantidade de horas, em rápidas amortizações. Principalmente, verificando-se a existência de motores *standard* com fracções de carga abaixo dos 50% [28].

Por fracção de carga entende-se a relação entre a potência útil presente no veio e potência útil nominal:

$$f.c. = \frac{P_{mecânica.presente}}{P_{mecânica.nominal}} \quad (5.1)$$

Relativamente ao controlo dos motores eléctricos, generalizou-se a utilização de *variadores electrónicos de velocidade* na Indústria. Efectivamente, a sua utilização permite adaptar a utilização dos motores eléctricos às reais necessidades. Sendo a velocidade dos motores de indução trifásicos determinada pela frequência da tensão de alimentação, pelo seu número de pólos e factor de carga, entende-se que actuar na frequência da tensão de alimentação permitirá ajustar a velocidade dos motores sem depender da utilização de dispositivos mecânicos externos. Recorde-se que, no passado, a utilização de estrangulamento de caudais era generalizada, contudo hoje reconhece-se que a alteração do controlo de caudal para variação da velocidade conduz a reduções de consumo energético.

Apesar dos VEV introduzirem perdas adicionais nos sistemas accionados por motores eléctricos, principalmente no caso de utilização de VEV sobredimensionados face ao motor

para o qual irão efectuar o comando, estudos técnico-económicos apontam como sendo rentável a sua utilização [29].

De grosso modo, uma utilização eficiente de motores deverá procurar:

- utilização de motores de alto rendimento e com dimensionamento correcto;
- utilização de transmissão mecânica de baixas perdas;
- utilização de variadores electrónicos de velocidade que permitam adaptar o regime em função da carga;
- uma manutenção regular.

Na realidade em estudo, os motores eléctricos que representam maiores potências nominais correspondem a *sistemas de ventilação*, sendo que estes sistemas permitem actuar em termos de eficiência energética nas secções das condutas de distribuição, no equilíbrio de pressões da rede, isolamento de partes do circuito quando não utilizados.

No âmbito do plano de eficiência energética, efectuou-se uma análise ao parque de motores instalados na DS de potência superior a 5,5 kW e um estudo de soluções. Nestes termos, este capítulo apresenta a análise ao estado da arte e o estudo e proposta de soluções.

5.1 Análise ao Estado da Arte

Nos sistemas de ventilação instalados nos sectores da DS encontrou-se um denominador comum em termos de aplicações. Ora, todos os ventiladores instalados efectuem uma, ou ambas, as aplicações:

- *despoeiramento de sectores* – captação de pó de cortiça, resultante da produção e junto de sectores que o produzam, e o seu transporte para um filtro a fim de melhorar a qualidade de produção bem como proteger de eventuais contaminações ou combustões o ambiente circundante;
- *transporte pneumático* – transporte de granulado de cortiça entre o “Sistema Rosa”, silos de abastecimento e respectivas máquinas produtivas (moldação e extrusão).

As suas aplicações e perfis de consumo encontram-se descritas na sub-secção 5.1.2.

Estimou-se que o consumo dos motores em análise constitui cerca de 50 mil euros, ou seja, 15% da factura global de energia eléctrica nesta unidade.

5.1.1 Inventário de Motores

Efectuou-se um levantamento dos motores eléctricos de potência útil nominal superior a 5,5 kW relativamente às suas grandezas eléctricas dispostas nas chapas de características – este registo encontra-se na Tabela C.1.

Procurou-se reconhecer e estudar o estado, sempre que possível, de todas as condutas e circuitos pneumáticos.

Nestes circuitos, sempre que acessíveis, estudou-se a disposição bem como a existência, de válvulas desviadoras, de estrangulamento, guilhotinas ou raseiras. Atentou-se no tipo e nas alterações de secção ao longo dos circuitos.

Foi possível, deste modo, apontar circuitos de funcionamento que se encontravam desactivados ou circuitos que poderiam representar perdas de carga ao longo da rede de distribuição.

Depois desta primeira abordagem, efectuou-se a medição dos tempos de funcionamento dos motores, em cada uma das aplicações que são chamados a realizar, bem como o registo das horas de funcionamento anuais. Efectuaram-se, ainda, medições de potência absorvida², corrente absorvida e factor de potência ao longo de um dia de trabalho, para cada um dos ventiladores enumerados na Tabela C.1.

Efectivamente, a potência referida na chapa de características de cada um dos motores corresponde a **potência útil** – potência mecânica que o motor tem disponível no veio em condições nominais. Enquanto a **potência absorvida**, dita geralmente como consumida, corresponde à potência que o motor absorve para fornecer a potência útil no veio do motor.

Relativamente ao *rendimento* de cada um dos motores, utilizou-se a seguinte metodologia de cálculo já que este não se encontrava disposto em nenhuma das chapas de características.

Primeiramente, calculou-se a potência activa absorvida, de acordo com a Equação 5.2, e com os valores dispostos nas chapas de características.

$$Potência_{absorvida}(kW) = \sqrt{3} \times Tensão_{rede}(V) \times I_{absorvida}(A) \times Factor\ Potência \quad (5.2)$$

De seguida, e de acordo com o referido, a relação entre a potência útil no veio do motor e a potência activa absorvida, Equação 5.3, permite obter o valor para o rendimento do motor, quando este se encontra à carga nominal.

$$\eta = \frac{Potência_{veio}(kW)}{Potência_{absorvida}(kW)} \quad (5.3)$$

Os rendimentos dos motores instalados, à carga nominal, encontram-se expressos na Tabela 5.1.

Porém, já que nenhum dos motores opera em condições nominais, interessa, de facto, estimar as fracções de carga e as potências em causa para cada um dos motores. A motivação para este cálculo existe porque se prevê que exista um sobredimensionamento de cada um dos motores. Neste sentido, importa analisar as aplicações de cada um dos motores e os requisitos presentes e futuros, a fim de uma compreensão das necessidades nos processos em que estão envolvidos.

²Com o auxílio do analisador de redes: CIRCUTOR AR-5.

Tabela 5.1: Rendimento dos Motores Instalados a 100% da Carga Nominal

Máquina	Potência útil (kW)	Potência Absorvida (kW)	Rendimento η (%)
Recuperação Gran. Moldadoras	15	16,52	90,8%
Transporte p/ Moldadoras	5,5	6,58	83,5%
Transporte p/ Silos	7,5	9,04	83,0%
Transp. Gran. Senfim e Moega	15	16,52	90,8%
Transporte p/ Mold. e Silo 3	7,5	9,35	80,2%
Transporte p/ Silo 1, 2	18,5	21,08	87,8%
Transporte para Secador (SR)	5,5	6,60	83,4%
Despoeiramento Descarga do Pó	5,5	6,40	86,0%
Despoeiramento Topejadeiras	37	42,55	87,0%
Despoeiramento Rectificadoras	22	24,73	89,0%
Transporte Pneumático	22	24,15	91,1%

5.1.2 Aplicação dos Motores

Nesta sub-secção descrevem-se as utilidades e aplicações de cada um dos sistemas de ventilação utilizados na DS.

Estes sistemas, conforme descrito na Secção 5.1, efectuam duas aplicações: despoeiramento e transporte pneumático.

A gestão da sua utilização e parametrização é adaptada e, encontra-se, na generalidade, automatizada com o restante fluxo produtivo. Os perfis de funcionamento e os gráficos resultantes das medições encontram-se no Anexo C. Efectuou-se um estudo detalhado relativo aos perfis de funcionamento e à utilização de cada um dos sistemas, bem como, sempre que possível visualmente, a recolha dos circuitos e dos tempos das tarefas de cada um dos sistemas.

A *Recuperação de Granulado do Tabuleiro das Moldadoras NT*, como sistema de ventilação, corresponde a uma tarefa de despoeiramento, realizada durante o horário de funcionamento do sector: 24 horas/dia.

A captação de granulado em excesso nos tabuleiros das 3 moldadoras do sector *Neutrocork* é realizada constante e simultaneamente.

A potência média absorvida é de 9,6 kW e o desvio padrão corresponde a 60 W confirmando-se, pois, uma potência constante ao longo do tempo. Graficamente, este perfil de funcionamento encontra-se representado na Figura C.1.

O *Transporte de Granulado para Moldadoras NT* encontra-se automatizado e é efectuado através da gestão de pedidos de cada uma das moldadoras.

O pedido é processado e o granulado é enviado de um dos silos, consoante a classe de granulado³ requerido, para a balança. Após pesado, é transportado por um circuito que

³Existem dois tipos de granulado: fino, de 3 mm , ou grosso, de 7 mm .

abastece os ciclones dos misturadores das moldadoras 4, 5 e 6. Os tempos de transferência deste produto dependem, naturalmente, do deslocamento efectuado, correspondendo sensivelmente a 2 minutos o transporte dos 13 *kg* de granulado por pedido⁴.

Após o transporte de granulado, o circuito permanece aberto para limpeza das condutas e, não existindo outro pedido de abastecimento de granulado em fila de espera, o ventilador inicia um trabalho inútil. A topologia deste circuito, quando não existe pedido de transporte, corresponde à abertura da válvula desviadora na cabeça do ciclone da moldadora 6 – correspondente a um circuito de “transporte” de ar, longo e oneroso. O seu perfil de funcionamento, Figura C.2, indicou, em diferentes medições, uma potência absorvida de cerca de 2,3 *kW* neste caso, superior à média de 1,3 *kW* identificada durante o transporte para cada uma das 3 moldadoras.

Das duas medições efectuadas, em diferentes situações produtivas, resultou que metade do seu tempo corresponde a transporte e limpeza de condutas, enquanto o restante período corresponde a desperdício.

O *Transporte para Silos NT e Silo Extrusão* ocorre, igualmente, ao longo de todo o dia. À saída da secagem do granulado, este é transportado para os Silos 1, 2, 3 e para um Silo colocado no pavilhão de abastecimento à Extrusão.

Ao longo da medição efectuada, conforme Figura C.3, constatou-se que este motor gera, igualmente, pedidos de abastecimento, num modo de fila de espera tendo, constantemente, pedidos em espera. Os Silos estão equipados com dois níveis, máximo e mínimo, e a programação do autómato está implementada de tal modo que: verificando-se a quantidade de granulado abaixo do nível máximo, é efectuado um pedido de abastecimento e, ao ser oportuno, efectua-se o transporte de granulado para o Silo que emite essa informação.

Em termos de potência absorvida constatou-se uma potência média de 6,2 *kW* e a ocorrência de potência máxima absorvida durante o transporte para o Silo da Extrusão. Na realidade, o facto de existir uma abertura presente no circuito de transporte para o Silo da Extrusão contribui com um aumento de potência, mesmo na ocorrência de transporte de granulado para os restantes Silos – verificou-se este facto mediante a experimentação de uma raseira na derivação para este circuito.

O sistema utilizado no *Transporte de Granulado para Senfins e Moega NT* corresponde, igualmente, a um transporte contínuo da saída do “Sistema Rosa” para aqueles que constituem os senfins e as respectivas moegas. Neste sentido, a potência absorvida constante que ascende a uma média de 10,9 *kW* não é uma surpresa. A Figura C.4 traduz, graficamente, o seu perfil de funcionamento.

Relativamente ao *Transporte para as Moldadoras TT e Silo 3* deste pavilhão, registou-se que o motor eléctrico responsável por esta tarefa encontra-se rebobinado incorrendo, pois, num decréscimo de cerca de 1% [1], relativamente ao rendimento nominal do motor.

⁴As massas a transportar são ajustadas, frequentemente, de acordo com os requisitos produtivos e condicionantes técnicas e externas (como a humidade).

O funcionamento deste sistema de transporte pneumático encontra-se numa topologia semelhante à referida no transporte para as Moldadoras NT. Porém, durante os períodos em que este não realiza trabalho útil, o motor regista uma potência absorvida inferior à observada aquando do transporte de granulado para as moldadoras e para o silo. Efectivamente, o transporte de ar ocorre, neste caso, num percurso mais curto.

O granulado é depositado na balança e a massa especificada é transportada para a moldadora que emitiu o pedido, numa acção que decorre em períodos de 2 *minutos*. Simultaneamente ao transporte para a moldadora ocorre o transporte para o Silo 3, com uma potência absorvida média de 4,6 *kW*. No caso de não existir nenhum pedido pendente, e por abertura de uma válvula desviadora, o sistema de ventilação é colocado em “modo de espera”, situação que corresponde a ventilar ar da atmosfera – ocorrência que se traduz numa potência absorvida média de 4,3 *kW*, conforme Figura C.5. Das diversas medições registou-se que este sistema de ventilação realiza trabalho útil em cerca de 58% do seu tempo total de funcionamento.

O motor eléctrico associado à função de *Transporte para Silos 1 e 2, TT* realiza, na verdade, outras funções cumulativas. É responsável por transportar ar, para a combustão, do queimador (instalado para secar o granulado à saída do “Sistema Rosa”) bem como contribuir no transporte do moinho de granulado, instalado neste sector. A potência absorvida por este motor não é, pois, exclusiva e da responsabilidade do transporte efectuado para os Silos 1 e 2 do sector *twin-top*.

O circuito de transporte efectuado por este motor corresponde, ainda, ao transporte para o ciclone rotex e para a moega de carga. Nestes termos, e sendo um ventilador que realiza constantemente trabalho útil, a sua potência absorvida, conforme diversas medições, aponta para um valor praticamente constante de 18,5 *kW* – a Figura C.6 exhibe este perfil de funcionamento.

O circuito do sistema de ventilação de *Transporte para Senfim, Moega e Secador Rotativo*, instalado no sector TT tem um funcionamento semelhante ao sistema de ventilação utilizado da mesma forma no sector da Moldação NT e atrás referido. De facto, conforme Figura C.7, já que se trata de um transporte constante, a potência absorvida é praticamente constante nos 4,3 *kW*.

O pó captado na DS é armazenado num silo que é descarregado, sensivelmente, duas vezes por dia para um camião de transporte⁵. Na descarga do pó para o camião recorre-se a um ventilador para efectuar o *despoeiramento da descarga do pó* e retirar algum do pó que seria, de outro modo, lançado para a atmosfera. Este circuito é constituído por um ventilador que conduz a 3 tubos que efectuam essa captação.

O funcionamento deste sistema é de ocorrência pontual: duas vezes por dia, com tempos aproximados de 30 *minutos*. O seu comando é manual e efectuado durante a descarga do pó. Na Figura C.8 podemos confirmar uma potência absorvida constante de 6,6 *kW*.

⁵Este pó de cortiça é utilizado como Biomassa, dentro do Grupo Amorim, numa Unidade Industrial equipada com co-geração.

No sector de acabamentos mecânicos que, recorda-se, funciona ao longo das 24 *horas/dia*, verificaram-se diferentes tubagens para as duas linhas existentes de acabamentos mecânicos: rectificadoras e topejadeiras.

O *Despoeiramento das Topejadeiras* é composto por um circuito de tubagens que parte do ventilador e que efectua, através de derivações, captações do pó libertado, em cada uma das 19 máquinas topejadeiras instaladas. Constatou-se que o despoeiramento é efectuado com deficiência na última máquina disposta nesta linha de acabamentos mecânicos, possivelmente por uma reduzida secção – e por conseguinte, baixo caudal – face às necessidades. Em termos de potência útil, o motor encontra-se, ainda, abaixo da suas capacidades. Efectivamente, a potência absorvida corresponde a uma média de 21 *kW* face a uma potência útil nominal de 37 *kW*. A Figura C.9 revela o, previsível, perfil de funcionamento deste motor.

Analogamente, o *Despoeiramento das Rectificadoras* que ocorre junto das 10 máquinas rectificadoras instaladas de modo paralelo à linha de topejadeiras registou uma potência absorvida de 19,6 *kW* e um perfil de funcionamento expresso na Figura C.10.

Finalmente, relativamente ao *Transporte Pneumático e Despoeiramento dos Acabamentos Mecânicos da Extrusão* encontraram-se, perfeitamente definidas, as duas aplicações: transporte e despoeiramento ao longo das 24 *horas/dia* de funcionamento deste sector. O sistema de ventilação efectua o transporte de granulado do Silo para o misturador da Extrusão conforme os pedidos vão sendo efectuados. Entretanto, efectua-se, constantemente, o despoeiramento do sector de acabamentos mecânicos deste pavilhão. Se, por um lado, a produção de bastões provenientes da extrusão é operada em 3 turnos de laboração, por outro, os acabamentos mecânicos funcionam, apenas, durante um turno produtivo⁶. Este funcionamento e necessidades são conhecidos, apesar do despoeiramento, desnecessário, ocorrer ao longo de todas as horas do dia.

Constatou-se que os pedidos de transporte de granulado são efectuados, com frequência, porém, por vezes ocorrem alguns minutos em que o ventilador se ocupa, apenas, com o despoeiramento e a limpeza das condutas de pesagem e transporte do granulado – trabalho esse, que é constante. Alguns mínimos locais, evidentes na Figura C.11, indicam que a potência absorvida correspondente, exclusivamente, a essa tarefa corresponde a cerca de 8 *kW*. Porém, na existência das duas aplicações, esta potência absorvida ascende a uma média de 8,5 *kW*.

5.2 Estudo de Soluções

Em estudos de eficiência energética, de Unidades Industriais, a utilização de motores eléctricos apresenta pontos onde se identifica uma baixa eficiência energética.

Apesar dos motores de indução trifásicos com rotor em gaiola de esquilo serem máquinas eléctricas de boa eficiência, em algumas situações, a sua utilização pratica-se de

⁶Das 7 horas às 15 horas.

modo ineficiente. De facto, a generalidade dos motores instalados na DS apresenta um *sobredimensionamento*. Ora, um motor *standard* sobredimensionado apresenta, nas suas curvas de rendimento, um baixo rendimento para fracções de carga inferiores a 50%. A Figura 5.1 exhibe, com clareza, este baixo rendimento para potências inferiores à nominal.

Para além deste motivo, o factor de potência é, igualmente, dependente da carga. Assim, a utilização de motores que operam longe da faixa recomendável de funcionamento (entre 75% e 100%) deve ser analisada face a um dimensionamento adequado [30].

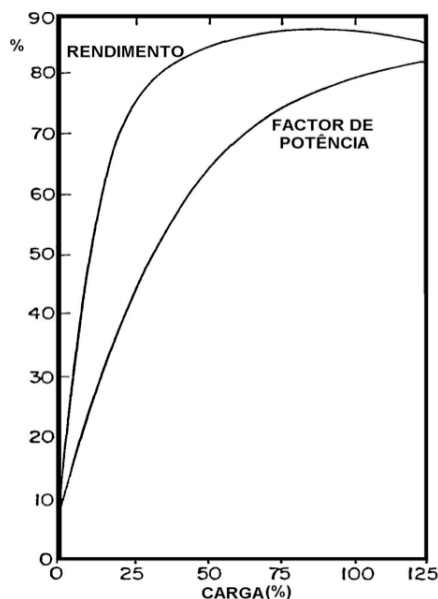


Figura 5.1: Curvas de Rendimento e Factor de Potência de um Motor, em relação à fracção de carga [1]

Nem sempre sendo fácil identificar a carga mecânica que será accionada pelo motor ou se esta sofrerá aumentos, fruto de expansão industrial, e sabendo que um motor sobredimensionado conduz à extensão de uma vida útil, a opção tomada é, na maioria dos casos, a aquisição de motores com uma potência mecânica nominal bastante superior à necessária.

Esta opção mantém-se ao longo de muitos anos, como é o caso na DS, já que quando se dá a substituição de um novo motor, adquire-se um novo com a mesma potência útil nominal a fim de facilitar a sua instalação (alinhamento, fixação, etc) e com o receio que um motor de menor potência útil nominal não produza os mesmos resultados. Em suma, existe uma dificuldade, no terreno, que condiciona a escolha de motores: a quantificação da carga mecânica ou o desconhecimento prático de que a fracção de carga⁷ influencia, em grande parte, o rendimento deste tipo de máquinas eléctricas.

A existência de *motores rebobinados*⁸, ou seja, reparação de motores quando há perda de isolamento entre espiras de uma mesma bobina, retirando as bobinas e isolamento

⁷Calculada de acordo com a Equação 5.1.

⁸O motor de Transporte de Granulado para Moldadoras e Silo 3 encontra-se rebobinado.

danificado e substituindo-as, poderá conduzir a perdas de rendimento. Efectivamente, na maioria dos casos, esta reparação não leva em conta os aspectos construtivos da máquina e depois de operada poderá conduzir a um aumento das perdas no ferro e no cobre.

A *transmissão* foi, igualmente, campo de análise. Na realidade, se a potência mecânica transmitida é já reduzida num motor que esteja a actuar com pouco rendimento, importa que o sistema de transmissão não seja responsável por aumentar mais ainda, essa ineficiência. A utilização de correias dentadas, ou sendo possível, accionamento directo, bem como o cuidado no alinhamento e paralelismo⁹, apresenta rendimentos elevados na transmissão mecânica.

A falta de rotina de *manutenção preventiva* e limpeza, introduz reduções de eficiência nos motores. De facto, a falta de lubrificação, sujidade, más ligações à alimentação eléctrica e um ambiente sujo podem conduzir a atrito, má ventilação e aquecimento excessivo.

A manutenção preventiva deverá contemplar a redução de perdas na *rede de condutas*. Não obstante a DS apresente, em todas as suas condutas, condutas tubulares – de maior eficiência energética em relação às secções rectangulares – as secções das condutas afectam, naturalmente, a potência absorvida nos sistemas de ventilação. As secções das condutas deverão, pois, ser adequadas em relação às necessidades das actividades produtivas que ocorrem nestas. Alterações da secção de passagem e cotovelos na rede são, igualmente, fonte de ineficiência em sistemas de ventilação.

Relativamente à adaptação do motor à carga, controlo de caudais nos ventiladores e arranques suaves do motor, a utilização de *variadores electrónicos de velocidade* apresenta-se vantajosa em relação aos métodos convencionais de controlo de caudais, baseados no uso de dispositivos de estrangulamento que ao restringir o caudal introduzem perdas.

Face a estas considerações, relativamente à eficiência energética em motores, estudaram-se, em termos gerais, as seguintes soluções:

1. viabilidade de substituição de motores sobredimensionados por motores de alto rendimento com dimensionamento de potência adequado;
2. utilização de VEV para adaptar os perfis de funcionamento às necessidades.

5.2.1 Motores de Alto Rendimento

5.2.1.1 Considerações Gerais

Os motores de alto rendimento surgiram no âmbito de preocupações com eficiência energética e consideram-se motores com uma melhoria e optimização do seu desempenho já que recorrem a: chapas magnéticas de melhor qualidade e maior volume de cobre, reduzindo as perdas no ferro e por efeito de Joule, respectivamente; enrolamentos especiais que diminuem as perdas no estator; melhor desenho da ventilação, reduzindo as perdas

⁹Para além de perda de rendimento, situações de desalinhamento danificam os rolamentos.

por ventilação; melhores aspectos construtivos como redução do entreferro e desenho das ranhuras que permitem maior dissipação de calor, *etc* [31].

O rendimento deste tipo de motores cresceu em toda a sua gama de potências, porém é assinalável a melhoria implementada, no caso de o motor estar em funcionamento abaixo de 75% da sua potência nominal – gama onde a curva do rendimento deste tipo de motores subiu consideravelmente, relativamente a motores *standard*. Isto permite uma maior flexibilidade a este tipo de motores face às cargas a utilizar. É ainda relevante referir que apesar da DS – como a maioria das unidades industriais – dispôr de correcção de factor de potência através de bancos de condensadores, a utilização de motores de alto rendimento apresenta a vantagem de, perante uma expansão ou necessidade, não sobrecarregar a actual aparelhagem instalada para efeito de compensação da energia reactiva.

Ou seja, para além das melhorias introduzidas no rendimento – e que motivam o desenvolvimento de melhorias nos MIT – os motores de alto rendimento apresentam, também, melhorias no factor de potência.

Estes motores de alto rendimento incluem, porém, alguns aspectos menos positivos como: problemas no arranque de cargas com elevada inércia já que existe uma diminuição do binário de arranque; o aumento da corrente de arranque poderá obrigar a dimensionamentos da alimentação e accionamento do motor mais cuidadosos; e, por fim, um aumento da velocidade do motor gerado pela diminuição do deslizamento¹⁰. De facto, a velocidade do motor ao aumentar irá aumentar a carga e o consumo dos ventiladores¹¹ – o que é possível de evitar através do recurso aos VEV ou a um ajuste na transmissão. É, pois, importante analisar este fenómeno no caso da instalação de motores de alto rendimento na DS.

São, precisamente, os aspectos técnicos que explicam o custo superior¹² deste tipo de solução (entre 20% a 30%).

Constatou-se que actualmente, a aquisição de motores de alto rendimento é abordada, num contexto economicamente rentável, essencialmente em dois cenários:

1. Instalação de um motor para um novo sector;
2. Substituição ou reparação de um motor avariado.

Relativamente a estes dois cenários, e com uma quantidade de horas anuais significativas, é expressiva a vantagem em optar por motores de alto rendimento – já que a diferença de investimento, é apenas entre o custo de aquisição dos dois motores – e permitirá, para além da maior flexibilidade na utilização dos motores em toda a gama de potências, obter melhores rendimentos. Ainda que, eventualmente, perante o cenário da substituição, ou reparação, de um motor avariado acresça o custo da instalação e eventuais mudanças nos

¹⁰Deslizamento é um termo que tem origem na literatura anglo-saxónica como *slip*, *s*, e corresponde à diferença entre a velocidade de sincronismo do motor e a velocidade presente de rotação do motor.

¹¹A carga dos bombas centrífugas e ventiladores cresce, aproximadamente, com o cubo da velocidade [1].

¹²Custos consultados em catálogo da WEG.

circuitos de alimentação, a opção dos motores de alto rendimento revela-se, na maioria dos cenários, como vantajosa já que a economia decorrente da sua utilização amortiza, a curto prazo, o investimento.

De facto, em motores cujo funcionamento corresponda a várias horas por ano, um pequeno incremento no rendimento é significativo. Senão, tome-se como exemplo¹³ o motor encarregue do transporte de granulado para o silo 1 e 2. De acordo com as Tabelas C.1 e 5.1 tem-se que a potência útil nominal corresponde a 18,5 kW enquanto a potência absorvida, calculada pela Equação 5.2, é de 21,08 kW.

Traduzem-se estes registos por um rendimento, calculado pela Equação 5.3, de 87,8%. Considere-se, pois, que este motor opera nas características nominais e confrontemos a sua *performance* com um motor cujo rendimento correspondesse a 91% para fornecer a mesma potência útil – neste caso, a potência activa absorvida corresponderia a 20,33 kW. Representaria, pois, uma poupança por cada hora de trabalho de 0,75 kW. Ora, sabendo que este motor, tomado apenas como um exemplo demonstrativo, encontra-se em funcionamento 5400 horas e que o custo do kW/h corresponde a €0,082¹⁴ esta diminuição de consumo motivada pelo aumento do rendimento corresponderia a:

$$Poupanca(anual) = \left[P_{absorvida}^{actual} (kW) - P_{absorvida}^{proposta} (kW) \right] \times Custo_{(kW/h)} (\text{€})$$

$$Poupanca(anual) = \text{€}332,1$$

Neste sentido, no estudo de soluções de eficiência energética para a DS procurou-se estudar a *substituição de motores sobredimensionados por motores de alto rendimento*. Atente-se, porém, que apesar dos motores de alto rendimento apresentarem um grande aumento do rendimento em todas as fracções de carga¹⁵ os melhores resultados obtêm-se de motores de alto rendimento operando num regime de carga superior a 75%. Ou seja, é fundamental, para obter os melhores resultados de eficiência energética, um dimensionamento ajustado.

5.2.1.2 Substituição de Motores Sobredimensionados

O estudo da substituição de motores sobredimensionados por motores de alto rendimento para as potências mecânicas necessárias é, habitualmente, preterido. Efectivamente, compreende-se que cause alguma estranheza efectuar uma troca, com um investimento representativo, quando o motor actual dispõe, ainda, de vida útil que não será utilizada. No entanto, note-se que a maioria dos motores existentes na DS apresentam já uma longa vida e, por esse motivo, antecipar a substituição do final da sua vida é tão útil quanto razoável. Um estudo prévio que prepare as instalações, de tal modo que seja possível conduzir a um

¹³Trata-se, apenas, de um exemplo ilustrativo do impacto do rendimento em motores com muitas horas de funcionamento.

¹⁴Conforme referido no Capítulo 3 na Sub-secção 3.3.1.

¹⁵Sendo que a melhoria deste rendimento encontra-se de modo mais expressivo, essencialmente, nas fracções de carga mais baixas.

aumento de eficiência energética a curto-prazo é, pois, atractivo pelas poupanças que daí poderão advir.

Ainda, na realidade industrial, perante uma avaria de um motor, o prejuízo que acarreta uma linha produtiva interrompida, não permite efectuar uma análise nem um projecto de dimensionamento adequado do motor a utilizar.

Este tipo de análise consistiu, numa primeira fase, em estimar a potência mecânica fornecida pelo motor no actual regime, através de uma estimativa da fracção de carga e do rendimento do motor para esse regime. O rendimento que o motor apresenta varia em relação à fracção de carga, e na impossibilidade de dispôr das curvas de rendimento para cada um dos motores específicos recorreu-se a características de motores eléctricos semelhantes.

Para tal, obteve-se uma previsão de características através de um “algoritmo ultra-refinado”¹⁶ que através da razão entre a corrente absorvida e corrente nominal permite estimar o rendimento em situações de cargas parciais, com base na previsão de características de motores de indução trifásicos.

Efectivamente, o problema de estimar o rendimento de motores de indução trifásicos com cargas parciais tem sido fruto de análise ao longo dos anos. No caso da DS foi impossível suspender a operação das máquinas a fim de efectuar medições da resistência entre par de terminais estatóricos ou recorrer a um tacómetro para aplicar uma metodologia com base na velocidade de deslizamento, conforme referem autores em [31], [32] e [33].

O algoritmo baseado em características de diversos motores analisados foi, na realidade, o que conduziu a resultados mais satisfatórios. Não se considerou a degradação de motores ao longo da sua vida útil, embora alguns autores indiquem uma degradação de 5% ao longo da vida útil de motores *standard* [34].

A classificação de motores de acordo com a classe de eficiência foi introduzida em 1998, contudo muitos fabricantes produziam já motores que cumpriam os requisitos necessários para classificações de alto ou de rendimento melhorado, o que explica alguns dos rendimentos estimados como bastante razoáveis. A Tabela C.2 enumera os resultados obtidos em relação aos rendimentos estimados face a fracção de carga, bem como a potência absorvida medida e a potência no veio estimada.

Posteriormente, na óptica de substituição de motores sobredimensionados, confirmou-se a potência mecânica necessária, com base na potência mecânica estimada. Verificou-se, ainda, de acordo com os perfis de funcionamento, que as potências úteis nominais dos motores escolhidos serviam todas as funções descritas, anteriormente, na sub-secção 5.1.2. Finalmente, efectuou-se uma consulta do rendimento prestado, nestas condições, pelo motor de alto rendimento¹⁷.

¹⁶Baseado nas características dos motores de indução trifásicos o “algoritmo ultra-refinado” foi desenvolvido e cedido pelo Prof. Doutor Carlos Araújo Sá.

¹⁷Relativamente à classe dos motores a utilizar utilizaram-se motores do fabricante WEG e de classe IE3.

Neste sentido, em termos de rentabilidade desta substituição, efectuou-se o cálculo da poupança anual proveniente da utilização de um motor de alto rendimento (Equação 5.4). Este cálculo é originado pela redução de energia decorrente da substituição e permite estimar o *payback* face ao custo de aquisição e instalação de um motor novo, (Equação 5.5). Considerou-se o custo de aquisição bem como o custo de instalação – representando 75% do valor da aquisição do motor. A soma do custo de aquisição e de instalação encontra-se expressa na parcela *Custo*.

$$Poupanca_{anual} = \left[\frac{1}{\eta_{actual}} - \frac{1}{\eta_{proposta}} \right] \times P_{\acute{u}til}(kW) \times N^{\circ} Horas_{func}(horas) \times Custo\ M\acute{e}dio_{kWh} \quad (5.4)$$

$$Payback(anos) = \frac{Custo\ Motor_{proposta}(euro)}{Poupanca_{anual}(euro/ano)} \quad (5.5)$$

A escolha de classe IE3 como proposta de motores a instalar justifica-se na medida em que, apesar do investimento ser superior, estes motores correspondem a melhores rendimentos e, igualmente – já que esta unidade utiliza os motores com um número elevado de horas anuais – menor *payback* face aos motores de rendimento melhorado, IE1 e IE2.

A Tabela 5.2 enumera os resultados obtidos relativamente à substituição dos motores actuais por motores ajustados às necessidades tanto actuais como de expansão da DS.

Tabela 5.2: *Payback* da Substituição dos Motores

Máquina	Potência Útil Estimada	Proposta de Substituição dos Motores					Poupança Anual (€)	<i>Payback</i> (anos)
		Pot. Útil Nominal kW	Pot. Absorvida (kW)	Rendimento (%)	f.c. (%)	Custo Motor (€)		
Recuperação Gran. Moldadoras (NT)	8,71	11	9,63	90,50%	79,22%	-	.	-
Transporte p/ Moldadoras (NT)	2,08	3	2,42	86,00%	69,50%	262,5	77,96	3,37
Transporte p/ Silos (NT)	5,14	7,5	5,75	89,48%	68,57%	437,5	200,73	2,18
Transporte Gran. Senfim e Moega (NT)	9,82	11	10,85	90,50%	89,24%	-	-	-
Transporte p/ Mold. e Silo 3 (TT)	3,56	4,5	4,05	88,02%	79,22%	218,75	197,92	1,11
Transporte p/ Silo 1, 2 (TT)	16,24	18,5	17,65	92,00%	87,78%	1088,48	379,49	2,87
Transporte para Secador Rot. (TT)	3,61	4,5	4,10	88,02%	80,17%	218,75	109,36	2,00
Despoeiramento Descarga do Pó	5,67	7,5	6,24	91,00%	75,65%	-	-	-
Despoeiramento Topejadeiras	17,97	18,5	19,40	92,60%	97,12%	1088,48	722,3	1,51
Despoeiramento Rectificadoras	17,44	18,5	18,83	92,60%	94,26%	1088,48	340,8	3,19
Transporte Pneumático + Despoeiramento (Extrusão)	7,63	9,2	8,38	91,00%	82,92%	-	-	-

Esta é uma aproximação pessimista à substituição de motores já que, efectivamente, o custo dos motores está inflacionado em relação ao custo real e a instalação dos motores poderá, no caso da DS, ser instalada por mão-de-obra directa, através da equipa de manutenção.

Em adição, o rendimento dos motores actuais apresenta valores estimados certamente superiores aos que se verificariam numa aproximação ao rendimento por metodologias laboratoriais.

Confirma-se, ainda assim, que em alguns dos casos é rentável efectuar uma substituição dos motores sobredimensionados por motores de alto rendimento devidamente dimensionados para as potências mecânicas necessárias.

5.2.2 Variadores Electrónicos de Velocidade

A utilização de *Variadores Electrónicos de Velocidade* justifica-se, claramente, junto de sistemas accionados por motores eléctricos actuando como sistemas de ventilação.

De facto, confirmou-se no Estado da Arte, na sub-secção 5.1.2, que os motores que alimentam os sistemas de transporte pneumático apresentam, com bastante frequência, um trabalho inútil.

Alguns registos e depoimentos indicaram, ainda, que seria possível efectuar funções de transporte, e mesmo de despoeiramento, com um caudal reduzido face à solução actual. Através da regulação da velocidade de rotação dos motores, os VEV proporcionam um ajuste e um aumento de flexibilidade nas actividades produtivas. Contribuem, ainda, com um menor desgaste dos componentes mecânicos e um aumento de eficiência energética que se traduz, naturalmente, em poupanças de energia eléctrica.

Os VEV, cuja utilização se generalizou, são constituídos por um inversor por fonte de tensão e modulação por largura de impulso¹⁸ e recorrendo a estes, actuam sobre a amplitude e a frequência da tensão que alimenta o motor de indução. Deste modo, exercem o comando sobre a velocidade angular e consequentemente o binário.

Os VEV permitem efectuar um arranque suave do motor eléctrico e implementam protecções contra curto-circuitos, sobreintensidades e sobretensão aos motores que comandam. Neste sentido, adquirir este tipo de equipamento de comando, juntamente com novos motores eléctricos, permite prescindir de protecções reduzindo em termos económicos o custo de aquisição relativamente à aquisição de protecções, separadamente.

Porém, a utilização de VEV pode implicar efeitos indesejáveis: redução do tempo de vida útil do motor, devido ao aquecimento deste, introdução de interferências electromagnéticas, injeção de harmónicos de corrente na rede e circulação de correntes nos seus rolamentos.

A DS dispõe, actualmente, de um controlo automático dos parâmetros e do funcionamento dos circuitos de transporte pneumático. Neste sentido, é possível otimizar a

¹⁸Correntemente estes termos são utilizados como: “Voltage Source Inverters” e “Pulse Width Modulation”.

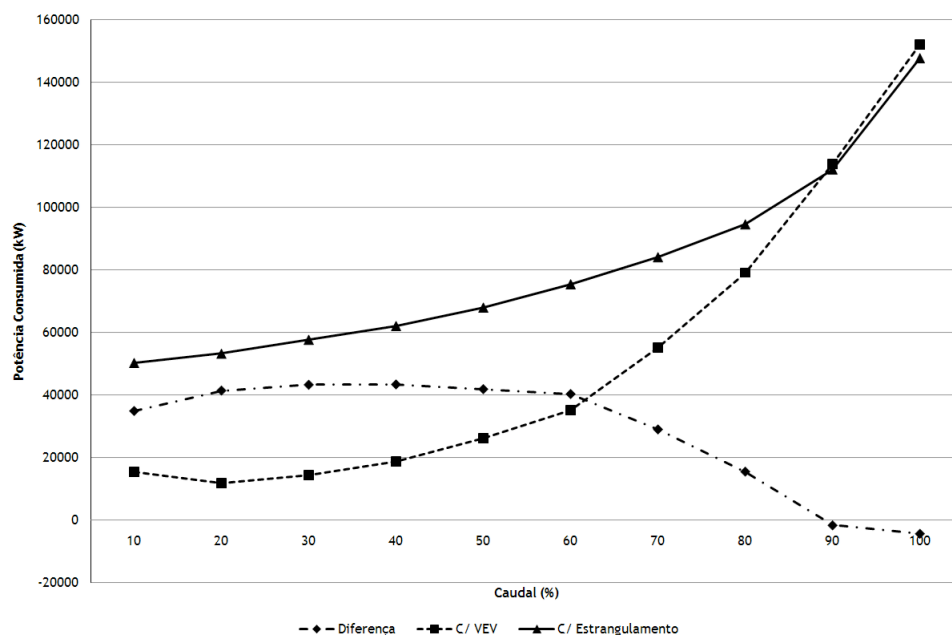


Figura 5.2: Potência activa absorvida pelo método de controlo de velocidade, num MI, por estrangulamento de caudal vs. VEV

utilização do VEV, recorrendo à utilização dos sensores disponíveis. Ora, por exemplo, quando o motor é colocado em modo de espera, é possível uma redução do caudal – onde anteriormente era enviada, apenas, instrução de abertura da válvula desviadora para admissão de ar.

Actualmente, os VEV permitem um ajuste automático, através de modos de poupança de energia e o seu ajuste e optimização é facilmente apercebido por quem o opera.

Considerou-se, como exemplo, para a sua aplicação a utilização de um VEV no transporte de granulado para as moldadoras 4, 5 e 6 (NT), conforme perfil de funcionamento da Figura C.2 ao invés da utilização da válvula de estrangulamento do caudal.

Estimou-se que durante a realização de trabalho não-útil, cerca de 12 *horas/dia*, o caudal poderá ser de 10% enquanto durante a limpeza das condutas, aproximadamente 5 *horas/dia*, o caudal poderá ser reduzido para 60%. Durante a realização do transporte do granulado, 7 *horas/dia* utiliza-se 90% do caudal máximo.

Através das tabelas, que graficamente se expõem na Figura 5.2, obtidas junto de um fabricante destes inversores, *Fuji Electric*, é possível estimar a potência consumida para os diferentes períodos de funcionamento recorrendo a válvulas de estrangulamento ou à variação electrónica de velocidade.

A Tabela 5.3 traduz os resultados no controlo do caudal, por válvula de estrangulamento ou com recurso a um VEV. Em termos de poupança energética, e na análise de viabilidade económica da sua implantação, utilizou-se a diferença entre o controlo com e sem a utilização do variador.

Tabela 5.3: Potência Absorvida para os diferentes períodos de funcionamento, de acordo com controlo de caudal

Caudal (%)	Horas	Potência Activa Consumida (<i>kW</i>)		
		Sem Variador	Com Variador	Diferença
10	12	13,31	7,68	5,63
60	4,8	27,32	7,03	20,29
90	7,2	45,21	34,27	10,94
Σ	24	85,84	48,98	36,86

Deste modo, e com uma poupança de 36,86 *kW* face à utilização de um método convencional de controlo de caudal por estrangulamento, estimou-se a poupança de utilização do VEV, neste cenário – recorde-se que o custo do *kWh* é de €0,082 e que os dias de laboração por ano são 225. Esta poupança anual representa, neste caso, €717.

$$s = (5,63 + 20,29 + 10,94) \times 0,082 \times 225 = \text{€}717$$

De acordo com o fabricante, um VEV para esta aplicação, tem um custo médio de €900. Considerando como metade do equipamento o custo inerente à instalação, o payback corresponderá a:

$$\text{Payback} = \frac{900 \times 1.5}{717} = 1,88 \text{ anos}$$

Uma análise económica rigorosa de implementação de um VEV como comando de um motor de indução trifásico, deverá contemplar, para lá das poupanças energéticas decorridas do controlo da velocidade, as perdas que o VEV introduz no sistema.

Porém, as poupanças energéticas que advêm da utilização deste tipo de controle de velocidade compensam as perdas introduzidas e, deste modo, tornam a sua utilização recomendável em termos de eficiência energética [29].

A metodologia de cálculo para esta análise económica em situações em que, relativamente à situação presente, se introduz um controlo de velocidade, ocorre do seguinte cálculo da poupança anual, para *i* regimes de carga.

$$s = \sum_i \left[\left(\frac{P_{MI}^i}{\eta_{MI}^i} - \frac{P_{VEV-MI}^i}{\eta_{VEV-MI}^i} \right) \times h^i \times C^i \right] \quad (5.6)$$

Onde as variáveis significam, respectivamente:

s, poupanças anuais (€/ano);

η_{MI} , rendimento do motor de indução (decimal);

η_{VEV-MI} , rendimento do sistema MI-VEV (decimal);

P_{MI} , potência mecânica ou útil do MI sem VEV (*kW*);

P_{VEV-MI} , potência mecânica ou útil do MI com VEV (*kW*);

h, período de funcionamento (*horas/ano*);

C, custo médio do *kWh* para o período *h* (€/kWh);

i, regime de carga.

5.3 Medidas Propostas

De acordo com o estado da arte e o estudo de soluções possíveis, bem como a sua adequação aos requisitos e planos futuros da DS enumera-se, aqui, o conjunto de medidas propostas, relativamente a sistemas de ventilação.

Genericamente, recomendou-se um plano de manutenção preventiva que permita a monitorização das condições dos motores. Esta permitirá prever relativamente às substituições, bem como contribuir para melhores rendimentos e um aumento da vida útil destas máquinas. Igualmente recomendou-se, uma verificação dos diferentes circuitos a fim de reduzir o número de potenciais fugas que aumentem o consumo energético derivado da existência de pontos de fuga. Os cotovelos e alterações da secção das condutas, bem como os circuitos fora de serviço deverão ser evitados.

Relativamente aos sistemas de ventilação de transporte, tal como nos ventiladores responsáveis pelo despoeiramento onde tal seja possível, recomendou-se a instalação de variadores electrónicos de velocidade cuja parametrização, facilmente poderá e deverá ser ajustada de acordo com as necessidades. Neste sentido, todas as válvulas de estrangulamento deverão ser retiradas e o controlo da velocidade passará a ser responsabilidade dos VEV. Esta aquisição, conforme sub-secção 5.2.2, apresenta-se, na generalidade, rentável. Porém, cada uma das situações e suas necessidades deverão ser estudadas, em termos de caudais necessários, pela coordenação da produção. Contudo, em situações como a que ocorre no transporte de granulado para as moldadoras, no pavilhão NT¹⁹, na impossibilidade de efectuar um circuito de transporte de ar menos oneroso, é perfeitamente justificável, e facilmente amortizado, um investimento que permita que metade do seu tempo de funcionamento se faça com um caudal expressivamente inferior.

Relativamente aos motores sobredimensionados, e de acordo com a Tabela 5.2, apresenta-se rentável a substituição dos motores que apresentam *payback*. Efectivamente, a análise foi efectuada num cenário pessimista pelo que se prevêem resultados interessantes desta substituição.

Referem-se, ainda, algumas das medidas que foram propostas e que se encontram já implementadas:

- Transporte para os Silos NT e Extrusão – conforme descrito na sub-secção 5.1.2, o circuito de abastecimento do silo da extrusão contribui com um aumento de consumo no transporte ocorrido para os restantes silos.

Experimentou-se, pois, a colocação de uma raseira que isolou os dois circuitos de transporte: silos 1, 2 e 3 do pavilhão NT do silo da extrusão. Esta alteração permite uma redução de 1 *kW* no transporte para os silos 1, 2 e 3. Nestes termos, e com a utilização de mão-de-obra da DS efectuou-se a colocação de uma guilhotina que comandada pelo autómato, permite esta redução. Estimou-se, com base nas medições, que o transporte para os silos 1, 2 e 3 ocorre durante 18 *horas/dia*. Em termos anuais,

¹⁹Conforme referido na sub-secção 5.1.2 e graficamente expresso na Figura C.2.

corresponde a uma redução de 4 *MWh*, ou seja, $Poupança_{anual} = 4MWh \times \text{€}82,19, \text{€}329$;

- Transporte Pneumático e Despoeiramento dos Acabamentos Mecânicos – sendo que o sector de Acabamentos Mecânicos da Extrusão funciona, apenas, durante 8 *horas/dia*, propôs-se, semelhantemente ao ponto anterior, uma guilhotina comandada automaticamente. Esta permitirá que, durante as restantes 16 horas do dia, o ventilador se encarregue, apenas, do transporte de granulado. Medições efectuadas estimaram uma redução de 2,5 *kW*. Ora, em termos anuais, isso representa uma poupança de, sensivelmente, $\text{€}750$. Sendo que o custo de implementação corresponderá à subcontratação de um programador para efectuar o comando automático da guilhotina, cujo custo corresponderá a $\text{€}40$, esta medida permite incorrer em poupança a partir do primeiro mês da sua implementação.

5.4 Conclusões

Neste capítulo abordaram-se as soluções actuais que recorrem à utilização de motores de indução trifásicos com potência superior a 5,5 *kW*. Através de um levantamento exaustivo dos consumos, comportamentos e necessidades de cada um dos sectores e sistemas foi possível apontar algumas soluções que contribuem para um aumento de eficiência energética.

Efectivamente, os sistemas accionados por motores eléctricos em análise, representam um custo energético de, aproximadamente, $\text{€}50.000$, ou seja, 15% da factura total de energia eléctrica pelo que a importância de actuar de modo eficiente se apresenta como elevada.

Os perfis de funcionamento dos sistemas de ventilação accionados por motores eléctricos apresentaram-se entre si, semelhantes. Efectivamente, o despoeiramento ocorre com potência constante, enquanto o transporte apresenta variações de acordo com a gestão de pedidos automatizada. Apesar das diversas aplicações apresentarem consumos distintos, a maioria dos sistemas apresentou potenciais elevados de aumento da eficiência energética, ou seja, directamente, uma redução de custos com a energia eléctrica.

A aquisição de motores de alto rendimento, associada a um dimensionamento dos motores face às necessidades, traduz-se em poupanças anuais que reflectem um retorno interessante, na maioria das realidades industriais. Adicionando a este tipo de motores, nos casos que necessitem – ou permitam – um ajuste do caudal, de acordo com as necessidades produtivas, obtêm-se, igualmente, poupanças na utilização de um controlo de velocidade por meio de variadores electrónicos de velocidade ao invés das actuais soluções de estrangulamento do caudal.

Em termos de investimento e poupança anual, a Tabela 5.2 resume os resultados obtidos na *substituição de motores sobredimensionados*. Com esta substituição estimou-se, no pior

cenário, uma poupança anual de 25 *MWh*, o que representa uma redução de €2000 – 6% de economia de energia, em relação à solução actual utilizada nestes sistemas de ventilação.

Constatou-se que a solução actual, em termos de rendimento dos motores utilizados era bastante razoável já que alguns motores, apesar de anteriores à classificação de motores em termos de eficiência, dispõem já de aspectos construtivos que os dispõem de um bom rendimento com fracções de carga entre 50% e 75%.

Em relação à *utilização de variadores electrónicos de velocidade* para controlo do caudal, em função das necessidades, estima-se uma economia de energia de mais de 30%, [25]. A sua utilização e parametrização deverá ser alvo de um estudo que permita identificar as necessidades em termos de caudal em cada um dos sistemas utilizados e que será levada a cabo pela coordenação industrial.

Por fim, as medidas implementadas, e descritas na sub-secção 5.3, contribuíram para uma redução da factura energética em, cerca de, €1000 correspondentes a 13 *MWh/ano*.

Conclui-se, na generalidade, que na utilização de sistemas accionados por motores eléctricos existem igualmente, excelentes oportunidades para os tornar mais eficientes.

Na realidade, se os motores de indução trifásicos são soluções de elevada eficiência – que os fabricantes esforçam-se por melhorar cada vez mais – os consumos desnecessários ou trabalho inútil dirão respeito, apenas, a uma má utilização ou a um dimensionamento errado.

“Motors Don’t Waste Energy, People Do.” [32]

Capítulo 6

Ar Comprimido

O estudo relativo à utilização do *ar comprimido* na DS não estava previsto no projecto inicial. Porém, perante as necessidades de ar comprimido que foram sendo observadas ao longo do projecto, tornou-se imperativo efectuar uma observação a este sistema.

O ar comprimido é, na DS, como na restante realidade industrial, um dos consumos mais importantes. Representa, em termos de consumo industrial global, mais de 10% da energia eléctrica [35]. É, porém, uma fonte de energia cara, já que os custos de compressão do ar são elevados. Efectivamente, para além dos custos de exploração, o investimento em compressor, secador de ar e rede de distribuição contribui para engrossar a factura respeitante ao consumo de ar comprimido.

Não obstante a existência do ar comprimido desde há diversos anos, a sua utilização cresceu juntamente com a utilização de autómatos nas linhas de produção. O ar comprimido permite rápidos movimentos, com velocidade e precisão controlada, facilidade e segurança no seu transporte, e por este motivo tem visto a sua utilização crescer – face a sistemas electrónicos mais complexos que, para já, representam soluções mais onerosas e menos versáteis.

Face a um consumo significativo de ar comprimido na indústria é possível implementar algumas medidas de eficiência energética que se traduzam, também, por economias de energia.

Neste capítulo efectua-se o levantamento da produção de ar comprimido e, posteriormente, apresentam-se algumas soluções.

6.1 Perfil de Consumo

A produção de ar comprimido é efectuada através de um compressor *Atlas Copco*, modelo GA90C, de 90 *kW* de potência. O compressor está regulado para valores de pressão entre 6,2 *bar* e 6,9 *bar*.

O ar comprimido é distribuído por todos os sectores para ser utilizado em diferentes aplicações. A maior fatia de consumo do ar comprimido está na sua utilização nas máquinas produtivas como as moldadoras. Estas recorrem à utilização de ar comprimido para moverem diversos dispositivos e é por este motivo que a pressão do ar comprimido deste sistema não permite uma regulação para valores inferiores. O “Sistema Rosa” é, igualmente, um grande consumidor de ar comprimido.

Relativamente a outros sectores, é um pequeno sopro de ar comprimido que permite colaborar na rejeição ou selecção de uma rolha, no caso da escolha electrónica; ou na escolha de qual das faces a utilizar de um disco de cortiça, no caso da colagem.

O ar comprimido é ainda utilizado para despoeiramento dos filtros de mangas. De facto, a limpeza dos filtros de mangas é realizada através de sopros de ar comprimido previamente programados, quanto à duração e período (*timers*).

Por último, o ar comprimido é utilizado para limpeza de máquinas e de vestuário dos operários, através de diversas mangueiras e pistolas de ar comprimido dispostas pela fábrica.

6.1.1 Consumo em períodos de laboração

Efectuaram-se medições relativamente ao seu funcionamento em dias úteis de laboração, conforme Figura D.1. De acordo com a necessidade de utilização constante de ar comprimido, a central de ar comprimido opera, também, nas 24 horas dos dias de laboração. A potência média registada, e que apresenta uma constância ao longo do tempo, é de 83 kW. Em termos de custo energético, este consumo constante representa 11% da factura global de energia eléctrica, ou seja, sensivelmente, €37.000¹.

Constatou-se, ainda, que o maior peso de consumo de ar comprimido é representado pelas máquinas de moldação bem como pelo “Sistema Rosa”.

6.1.2 Consumo em Vazio

Efectuaram-se, ainda, medições relativamente ao perfil de funcionamento da central de ar comprimido num dia com a rede de ar comprimido em carga mas sem consumo, nem de equipamento produtivo, nem de despoeiramento do filtro de mangas. Ou seja, procurou-se identificar a existência de perdas e fugas na rede de distribuição de ar comprimido bem como a potência que essas fugas representam.

A medição efectuada no dia 20 de Janeiro de 2009, representa o perfil de funcionamento ao longo do teste de fugas na rede de distribuição de ar comprimido, conforme Figura D.2. Efectivamente, e de acordo com visitas decorridas aos sectores durante períodos em que a fábrica suspendeu a sua actividade, identificaram-se, apenas, pequenas fugas de ar na tubagem dos ramais de ligação aos equipamentos consumidores, bem como uma fuga na moldadora 1 que se encontrava, efectivamente, em manutenção. Realmente, a medição

¹ $Custo = 24horas \times 225dias \times 0,083MW \times 82,19€/MWh = €36.838.$

efectuada e expressa na sub-secção D.1.2, traduz uma potência constante de 28 *kW*, ou seja, praticamente a potência absorvida pelo compressor no funcionamento em vazio (27 *kW*), conforme especificações do fabricante [36].

Ora, a implementação de um plano de manutenção eficaz para redução das fugas na rede, revelou-se frutífero. Um estudo da eficiência energética [37] deste sistema, desenvolvido em 2007, revelou perdas na rede de distribuição quantificadas como 14 *kW* de potência absorvida. Este estudo motivou, desde então, a implementação de uma manutenção preventiva e criteriosa que permitiu uma economia de energia significativa – conforme revelaram as medições efectuadas.

6.2 Estudo de Soluções e Medidas Propostas

A pressão do ar comprimido do sistema, se reduzida, contribui para uma redução do consumo de electricidade.

“Por outras palavras, produzir 1 m^3 de ar, a 7 *bar*, consome bastante mais energia eléctrica, do que produzi-lo a 4 ou 5 *bar*.” [14].

Porém, os requisitos produtivos da DS, no que diz respeito às máquinas de moldação, bem como a sua utilização no “Sistema Rosa”, não permitem que o sistema utilize uma pressão mais baixa. Assim, considerar *sistemas de implementação de variação electrónica* ou de outro tipo, que reduzindo a pressão reduz o consumo não é, neste caso, solução.

Nestes termos, e de acordo com o perfil de funcionamento da medição do compressor em vazio, na Figura D.2, constatou-se que as acções operadas nas *redes de distribuição de ar comprimido*, reduzindo as fugas, permitiram obter poupanças energéticas expressivas. As fugas de ar comprimido localizam-se, geralmente, nas ligações entre as condutas metálicas de ar comprimido e as mangueiras de borracha, bem como ao longo das mangueiras de borracha.

Apesar de, no passado, descrito em estudos anteriores [37], estas fugas apresentarem-se como flagrantes, actualmente, este tipo de fugas é bastante reduzido. Contudo, recomendou-se a colocação de válvulas solenóides que permitam o corte da rede e do abastecimento de máquinas quando estas se encontram fora de serviço. Deste modo, é possível utilizar, apenas, os circuitos isolados que se encontram em funcionamento – por exemplo, nos dias de fim-de-semana em que apenas os sectores de moldação, extrusão e acabamentos mecânicos funcionam.

Relativamente à utilização das mangueiras, cujos diâmetros são superiores a 6 *mm*, de ar comprimido para limpeza de máquinas e vestuário, registou-se que: cada orifício de 1 *mm* corresponde a 1 *l/s* a 7 *bar* – sensivelmente a pressão utilizada na DS, conforme sub-secção 6.1. Para produzir este ar comprimido um compressor consome, em média, 0,35 *kW*, [38]. Ora, nestes termos, propôs-se a colocação de pistolas de ar comprimido nas mangueiras, onde tal não se verifica, o que permite uma utilização mais eficiente do ar

comprimido. As pistolas além de evitarem as fugas, por esquecimento, reduzem o diâmetro de saída para o ar comprimido e, directamente, representam menores consumos.

Recomendou-se, ainda, que as pistolas de ar comprimido actuais, cujo accionamento permite que sejam esquecidas em funcionamento, sejam substituídas por pistolas de ar comprimido cujo sopro seja, apenas, accionado na utilização. Deste modo, será possível reduzir as fugas de ar comprimido por esquecimento.

Assim, a solução indicada para limpeza de vestuário corresponde à utilização de aspiradores eléctricos que, além de corresponderem a uma limpeza mais eficaz para os sectores, traduzem consumos energéticos inferiores [25].

No que diz respeito à utilização de pistolas ou mangueiras de ar comprimido para limpeza de vestuário, recomenda-se o abandono desta prática. Claramente, esta prática traduz-se por ser insegura e colocar em perigo o corpo humano – já que o ar comprimido poderá, além de transportar pequenos objectos com velocidades consideráveis e que poderão ferir, penetrar os poros da epiderme e colocar resíduos das tubagens no interior da corrente sanguínea. Porém, para além das questões de segurança de trabalho, a utilização de ar comprimido para limpeza de vestuário reflecte, ainda, uma utilização ineficiente de ar comprimido – cujo custo de produção é elevado.

6.3 Conclusões

No âmbito da acção de caracterização da rede de ar comprimido as medições efectuadas permitiram quantificar a produção deste tipo de energia como 11% da factura global de energia eléctrica – constituindo, pois, um peso considerável em termos energéticos².

Permitiram, ainda, constatar que as acções levadas a cabo na rede de distribuição de ar comprimido conduziram a uma economia de energia significativa. De facto, a redução de cerca de 13 *kW* de potência absorvida na produção de ar comprimido corresponde à redução do custo energético em, aproximadamente, 6.000 €/ano. É, pois, uma medida interessante a adoptar em realidades industriais e, neste sentido, propôs-se uma monitorização constante e uma reparação célere perante fugas na rede de distribuição de ar comprimido.

A substituição das pistolas actuais de ar comprimido por pistolas que permitam um accionamento mecânico que as desligue quando não são utilizadas permite reduzir as perdas de ar comprimido, por esquecimento.

Por fim, a prática de utilização das mangueiras de ar comprimido para limpeza de vestuário deverá ser abandonada por representar simultaneamente um perigo, em termos de segurança de trabalho, bem como corresponder a uma utilização ineficiente da energia eléctrica.

Apesar de algumas situações menos eficientes na utilização do ar comprimido, constatou-se que, na generalidade, a Unidade Industrial não apresenta pontos críticos significativos

²Contabilizando apenas a produção de ar comprimido. Note-se que o secador de ar introduz, ainda, mais custos que deverão ser agregados à central de ar comprimido.

para intervenção, ou seja, a DS apresenta, actualmente, uma utilização energeticamente eficiente na produção e distribuição de ar comprimido.

Capítulo 7

Conclusões

O projecto desenvolvido na Unidade Industrial De Sousa consistiu em actuar de modo eficiente na utilização actual da energia em consumidores como a iluminação, sistemas accionados por motores eléctricos de potência nominal superior a $5,5\text{ kW}$ e a produção e distribuição de ar comprimido.

Para tal, efectuou-se um levantamento das necessidades e do equipamento actual, um estudo de soluções e procedeu-se, também, à elaboração de medidas que traduzam um plano de eficiência energética para esta unidade industrial.

Na generalidade, verificou-se a existência de um potencial elevado de redução do consumo de energia eléctrica, na DS. Prevê-se, igualmente, que os conjuntos de medidas a implementar nesta Unidade correspondam, noutras realidades industriais, a ganhos de eficiência energética.

7.1 Síntese

A *desagregação dos consumos energéticos* revelou a DS como um consumidor intensivo de energia, cujo consumo ultrapassa os 1000 tep/ano . A distribuição dos consumos energéticos é repartida entre energia eléctrica, gás natural e gasóleo – sendo que a energia eléctrica e o gás natural apresentam um papel central, como fontes de energia.

Sectores como os acabamentos mecânicos e pavilhões de moldação apresentam um forte consumo de energia eléctrica, enquanto actividades de aquecimento de estufas apresentam dependências do gás natural. Uma desagregação efectiva de todos os sectores permitirá atribuir os custos energéticos respectivos a cada uma das actividades produtivas e identificar, por adição, qual o custo energético dos produtos desenvolvidos. Para tal, recomendou-se a monitorização das grandezas energéticas associados aos fluxos produtivos. Assim, encontra-se em fase de implementação um sistema de contadores parciais de energia eléctrica, que serão integrados numa plataforma informática – o que permitirá uma análise e

recolha de dados.

A utilização de um *analizador de redes* revelou-se de extrema utilidade em todas as medições e permite, através do conhecimento das grandezas eléctricas em cada uma das actividades, ajustar as soluções de acordo com todos os sectores. É, também, através dos dados a que o analisador de redes permite aceder, que as soluções de expansão ou de reestruturação da unidade poderão ser avaliadas – através de perfis e evoluções do consumo. Neste sentido, como parte integrante do projecto, efectuou-se a formação da utilização do analisador de redes junto da equipa de manutenção da fábrica.

A abordagem à *iluminação* da DS revelou esta como envelhecida e desajustada, na esmagadora maioria dos sectores. Em termos de segurança, a iluminação de emergência encontrava-se, igualmente, inoperante – tendo-se procedido à sua substituição.

A proposta de iluminação baseou-se na utilização de iluminação natural, nos sectores em que tal é possível, e numa remodelação das fontes de luz artificiais. O conjunto de medidas elaboradas consiste na colocação de placas translúcidas de polycarbonato e na instalação de lâmpadas T5 cujo comando, na generalidade, passará a regular a iluminação bem como a operar, esta, de modo automático. O projecto encontra-se em fase de implementação. Este projecto de remodelação da iluminação incorre num investimento de €16.000 e permitirá uma poupança anual de mais de €15.000 em relação à actual iluminação – uma redução de utilização de energia de 63%.

Os *sistemas accionados por motores eléctricos* que foram alvo de atenção neste projecto representam potências úteis nominais superiores a 5,5 *kW* e desempenham funções de transporte e de despoeiramento. Após um levantamento das suas características nominais, estimou-se a potência mecânica necessária para cada uma das aplicações e efectuou-se o estudo da substituição dos motores sobredimensionados por motores de alto rendimento dimensionados para as aplicações em causa. Esta substituição de alguns dos motores em análise, cujo investimento corresponde a €4.400, incorre numa redução de 6% do consumo de energia eléctrica, no pior cenário e em relação à solução actual.

Efectuou-se, ainda, uma abordagem à implementação de VEV cuja implementação, na substituição do controlo de caudais dos sistemas que desempenham funções de transporte de granulado, face ao estrangulamento actualmente utilizado, estima-se que corresponderá a economias de energia superiores a 30%. A implementação deste conjunto de medidas é, actualmente, analisada pela Direcção Industrial.

Implementaram-se, porém, algumas alterações, de investimento extremamente reduzido, em dois dos sistemas de transporte de granulado – na Moldação NT e Acabamentos Mecânicos. A alteração dos circuitos de transporte, isolando-os de acordo com as necessidades do transporte, incorre numa poupança anual de 13 *MWh/ano*, sensivelmente, €1000.

A análise da *produção e distribuição de ar comprimido* permitiu identificar um perfil de funcionamento constante e de acordo com as necessidades actuais. A recolha de dados confirmou que a implementação de medidas para a redução das perdas na rede de distribuição de ar comprimido contribuiu para uma economia de 70 *MWh/ano*, ou seja, uma redução de 16% no consumo de energia na produção de ar comprimido. Ao eliminar o desperdício na utilização de ar comprimido que se revela nas fugas da rede bem como numa utilização indevida do ar comprimido obtêm-se, comprovadamente, resultados expressivos em termos de eficiência e poupança energética.

Hoje, mais do que nunca, as motivações para a eficiência energética são tão imperativas quanto rentáveis. Apresentam-se ainda como gestão criteriosa bem como responsabilidade social, de tal modo que é inegável a sua importância. É urgente implementar eficiência energética em Unidades Industriais pois, a sua implementação, traduz potenciais de aumento de margem de lucro que, a par de outras soluções na gestão de produção, deverá ser considerada.

7.2 Trabalhos futuros

A duração do projecto desenvolvido na DS, bem como os objectivos requeridos, não permitiram uma análise em diversos aspectos que se prevê que apresentem ineficiência energética.

Efectivamente, em termos globais, este projecto refere medidas relativas apenas a 32% da factura global de energia eléctrica.

Deste modo, revelam-se alguns sistemas actuais onde estudos de eficiência energética poderão ser equacionados, com um potencial de redução significativo:

- Sistemas Accionados por Motores Eléctricos – para além dos sistemas de ventilação, os restantes sistemas accionados por motores eléctricos como força motriz e sistemas de bombagem deverão ser objecto de estudo;
- Empilhador a gasóleo – a alteração do piso entre sectores, permitindo a utilização dos empilhadores eléctricos bem como facilitando a deslocação de pessoas e material, poderá eliminar a utilização do empilhador a gasóleo responsável por esta tarefa. Efectivamente, este representa o único consumidor desta forma de energia da DS;
- Aquecimento das Moldadoras – a conversão das moldadoras para aquecimento por termofluido revelou-se como sendo insusiciente para gerar a qualidade necessária na cozedura do granulado. Assim, actualmente, recorre-se à utilização de um sistema misto: blocos de resistências eléctricas e termofluido. Esta solução deverá ser analisada face a outras soluções de aquecimento já que o sistema de aquecimento dependente de energia eléctrica revela-se mais oneroso que sistemas de aquecimento dependentes, exclusivamente, de gás natural;

- Aquecimento de água e climatização ambiente – apesar da distância entre os sectores que utilizam soluções de aquecimento nos processos produtivos, e o sector de balneários e administrativo, a oportunidade do aquecimento da água dos balneários e dos escritórios ser efectuado com recurso às perdas caloríficas poderá ser estudada e equacionada, face aos resultados obtidos do estudo. Outra solução para o aquecimento da água dos balneários poderá passar pela utilização de colectores solares térmicos.

Na realidade, as possibilidades de economia de energia e de um aumento de eficiência energética nos pontos enumerados poderão revelar-se, de tal modo, expressivas que – apesar de não terem sido abordadas no presente relatório de projecto – não devem, de modo algum, ser descartadas.

Em última análise, um projecto de eficiência energética é algo que nunca termina. Existem constantemente novas soluções e potenciais pontos da estrutura industrial onde é possível intervir, de modo eficiente.

Referências

- [1] Humberto Jorge. *Utilização Eficiente de Energia em Motores*. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, 2004.
- [2] Eduardo de Oliveira Fernandes. *A Eficiência Energética: simples no conceito e complexa na aplicação*. esquerda.net, Setembro 2007.
- [3] Areal Editores. *Economia de Energia, Vol. 1-19*. SPIRAX SARCO, LDA - UK & Direcção Geral de Energia e Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e ao Investimento, First edition, 1991.
- [4] J. Almeida Costa e A. Sampaio e Melo. *Dicionário da Língua Portuguesa*. Porto Editora, Lda., Seventh edition, 1997.
- [5] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. *A Electricidade*. <http://www.erse.pt/vpt/entrada/electricidade>, September 2007.
- [6] Galp Energia. *Gás Natural: o que é?* <http://gasnatural.galpenergia.pt> acedido a 1/Jan/09.
- [7] ERSE. *Gás Natural*. <http://www.erse.pt/vpt/entrada/gasnatural> acedido a 1/Jan/09.
- [8] Comission Of The European Communities. *Green Paper - Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply*. European Comission, First edition, November 2000.
- [9] José Maria Pedro. O que posso gerir? *Know Capital*, 2002.
- [10] Ministério da Economia e da Inovação. *Decreto Lei n.º 71/2008*. Diário da República, 1.ª Série - N.º 74, April 2008.
- [11] AREAM. *SGCIE - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia*, 2009. <http://www.aream.pt>.
- [12] ADENE. *SGCIE - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia*, 2009. <http://www.adene.pt>.
- [13] Paulo Calau. *RGCE - Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia*, October 2007.
- [14] A. de Almeida, C. Patrão, P. Fonseca e P. Moura. *Manual de Boas Práticas de Eficiência Energética*. BSCD Portugal & Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, First edition, November 2005.

- [15] Confédération Européenne Du Liège. *Código Internacional das Práticas Rolheiras*. APCOR - Associação Portuguesa de Cortiça, Third edition, September 1999.
- [16] Direcção Geral de Energia e Geologia. Despacho da DGCE, D.R. nº98 - II Série. *DGCE*, Abril 1983.
- [17] International Organization for Standardization. *ISO 8995 Lighting of indoor work places*, July 2002.
- [18] Armínio Teixeira. *Iluminação Fluorescente – Balastros*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002.
- [19] Teclusol – Tecnologia Luminarias Solares. *Funcionamento de SolaTube*. <http://www.teclusol.com/>, 2009.
- [20] Onduline Groupe. *Soluções para Telhados*, 2009. <http://www.onduline.pt>.
- [21] União Europeia. *Protocolo de Quioto relativo às alterações climáticas*. <http://europa.eu/scadplus/>, 2009.
- [22] Armínio Teixeira. *Fontes de Iluminação - Tipos de Lâmpadas*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.
- [23] ECO – Programa de Eficiência Energética EDP. *Iluminação Eficiente*. <http://www.eco.edp.pt>, 2007.
- [24] Legrand. *Produtos e Sistemas para Instalações Eléctricas e Redes de Informação*, 2009.
- [25] MOTOR CHALLENGE – Economias de Energia em sistemas de motores. *Guia Técnico*, 2008.
- [26] Carlos Araújo Sá. *Motores Eléctricos de Rendimento Melhorado: Uma boa aposta!* Ordem dos Engenheiros, 2007.
- [27] IEC. *IEC 60034-30*, First edition, October 2008.
- [28] Conrad U. Brunner. *Efficient Electric Motor Systems in Industry*. A+B International, Sustainable Energy Advisors, October 2007.
- [29] Aníbal T. de Almeida, Fernando J. T. E. Ferreira, Paula Fonseca e Fernando Oliveira. *Considerações Técnico-Económicas sobre Variadores Electrónicos de Velocidade*. DEEC-UC e ADENE, Setembro 2005.
- [30] Aníbal T. de Almeida e Fernando J. T. E. Ferreira. *Motores eléctricos e Variadores Electrónicos de Velocidade*. ADENE, Setembro 2007.
- [31] Agenor Gomes Pinto Garcia. *Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Eléctricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria*, Dezembro 2003.
- [32] Wayne C. Turner. *Energy Management Handbook*. The Fairmont Press, Inc, First edition, 2001.
- [33] João Dutra. *Adequação do motor de indução trifásico à carga*. Curso Web Eficiência Energética no MIT, 2009. <http://webeficienciaenergetica.kit.net>.

- [34] M. A. P. Delgado. *Alternativas para o Aumento da Eficiência Energética no Brasil: uma análise técnica-económica para viabilização de motores de alto rendimento e o caso das empresas de serviços de energia*. Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1996.
- [35] E. Radgen, P.; Blaustein. *Compressed Air systems in the European Union. Energy, emissions, savings potential and policy actions*. Stuttgart: LOGUL, 2001.
- [36] Atlas Copco Compressors, Inc. *Compressor Data Sheet - GA90C*. Atlas Copco, November 2008.
- [37] Assessoria Energética IBERDROLA. *Relatório de Optimização Energética RT-06*. Technical report, IBERDROLA, 2006.
- [38] Rui Botelho. *Ar Comprimido na Indústria*. In *Curso de Gestão de Energia na Indústria*. ADENE, Setembro 2007.
- [39] Philips. *Catálogo Alumbrado Interior y Decorativo Profesional*, 2001.
- [40] Motor Challenge. *Determining Electric Motor Load and Efficiency*. U.S. Department of Energy, 2008. <http://www.eere.energy.gov/>.

Anexo A

Registos da Caracterização da DS

Este anexo inclui os registos efectuados na caracterização e análise da Unidade Industrial De Sousa. Os seguintes registos foram, ainda, utilizados no desenvolvimento da desagregação dos consumos energéticos – de acordo com o expresso no Capítulo 3.

A.1 Estado da Arte

A.1.1 Produção

A Tabela A.1 enumera o registo obtido, junto de registos cruzados de produção e vendas, durante o ano de 2007 e, parcialmente, 2008.

Historicamente esta unidade industrial caracteriza-se, em média, por uma produção anual de 400 milhões de rolhas.

A.1.2 Energia Eléctrica

A Tabela A.2 enumera os registos obtidos junto das facturas emitidas pela EDP. Ou seja, traduz as quantidades, e respectivos custos, de potência consumida por cada um dos termos tarifários, mensalmente, desde Janeiro de 2007 e até Novembro de 2008.

Tabela A.1: Vendas da Unidade Industrial De Sousa, em 2007 e 2008

Mês	Vendas de Rolhas (milhões)	
	Ano 2007	Ano 2008
Janeiro	27,0	33,4
Fevereiro	35,8	39,0
Março	43,4	32,9
Abril	30,7	35,4
Maio	47,3	35,5
Junho	41,9	35,2
Julho / Agosto	67,5	67,5
Setembro	32,3	32,2
Outubro	45,4	—
Novembro	42,7	—
Dezembro	30,5	—
Total	444,4	344,0

Tabela A.2: Potência consumida e custo correspondente às facturas de energia eléctrica (mensal)

Mês	Potência (<i>kW</i>)		Consumo (<i>kWh</i>)					Termo Fixo (€/mês)	Potência (€)		Consumo (€)			
	PC	PHP	HP	HC	HVN	HSV	TOTAL		PC	PHP	HP	HC	HVN	HSV
Jan-07	1.090	668	80.120	198.149	118.159	78.344	474.772	44	1.300	4.400	7.833	13.431	5.062	3.140
Nov-07	1.090	607	75.302	185.860	110.346	74.408	445.916	44	1.300	4.002	7.304	12.490	4.690	2.961
Dez-07	1.090	603	65.128	162.350	91.096	60.048	378.622	44	1.300	3.974	6.317	10.910	3.872	2.390
Jan-08	1.090	392	48.579	121.046	64.674	41.710	276.009	48	1.313	2.740	4.834	8.643	2.920	1.762
Fev-08	1.116	611	75.724	188.027	110.460	71.262	445.473	48	1.345	4.272	7.625	13.801	5.125	3.093
Mar-08	1.116	651	75.531	189.650	112.492	76.612	454.285	48	1.345	4.555	7.606	13.920	5.220	3.325
Abr-08	1.116	439	54.491	135.098	80.855	53.323	323.767	48	1.345	3.074	5.624	10.108	3.856	2.368
Mai-08	1.116	371	45.963	113.493	69.756	46.779	275.991	48	1.345	2.593	4.799	8.569	3.369	2.100
Jun-08	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Jul-08	1.116	402	48.234	120.377	71.195	46.097	285.903	48	1.345	2.812	5.036	9.088	3.439	2.070
Ago-08	1.116	264	32.765	80.482	42.308	23.931	179.486	48	1.345	1.848	3.421	6.076	2.043	1.075
Set-08	1.116	375	46.553	115.183	69.194	43.751	274.681	48	1.345	2.626	4.860	8.696	3.342	1.964
Out-08	1.116	394	47.273	118.591	68.105	42.428	276.397	48	1.345	2.756	4.813	8.779	3.200	1.860
Nov-08	1.116	386	47.892	118.756	67.535	43.302	277.485	48	1.345	2.702	4.823	8.717	3.134	1.879

A Figura A.1 representa, graficamente, a evolução mensal das facturas de energia eléctrica emitidas pela EDP.

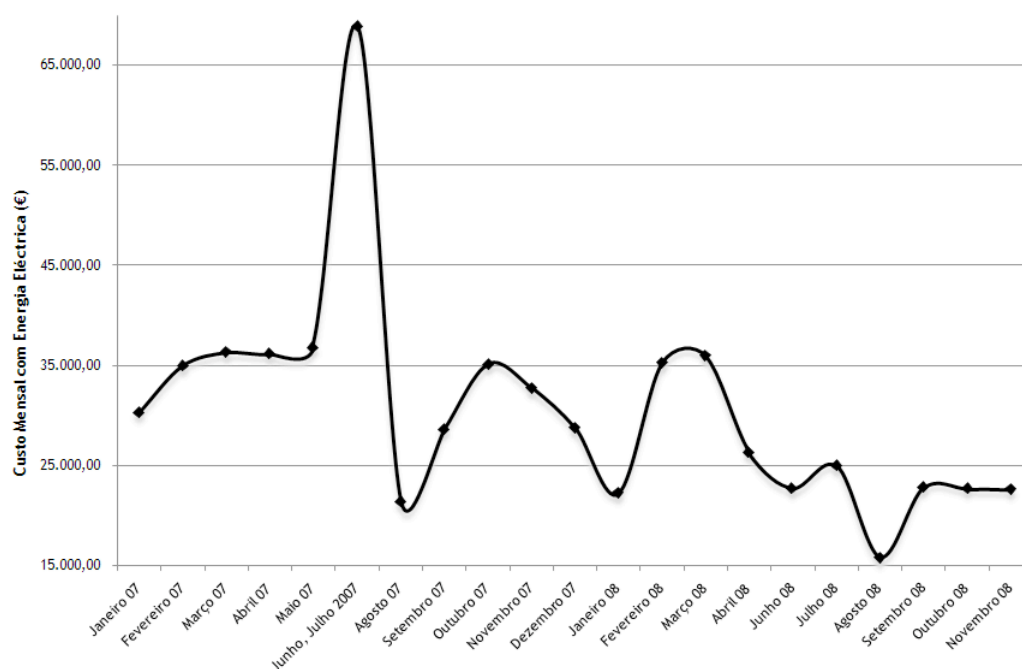


Figura A.1: Evolução mensal da Factura de Energia Eléctrica

De acordo com os registos de 2008 foi possível conhecer a evolução do custo do *MWh*. Esta evolução encontra-se representada na Figura A.2.

Revela-se, ainda, a distribuição de cada um dos termos – Horas em Período de Cheias (HC), Horas em Período de Ponta (HP), Potência em períodos de horas de ponta (PHP), Potência Contratada (PC), Horas de Super Vazio (HSV) e Horas de Vazio Normal (HVN) – na Figura A.3. Uma análise a esta diagrama permite reafirmar que o consumo de energia eléctrica apresenta-se, de facto, constante ao longo dos diferentes períodos do dia.

A.1.3 Gás Natural

A factura de gás natural apresentou uma evolução mensal que a Figura A.4 representa. Os registos do consumo mensal de gás natural foram obtidos através dos dados da contabilidade.

A evolução do custo do gás natural, por metro cúbico, encontra-se disposta na Figura A.5.

A.1.4 Gasóleo

A Tabela A.3 enumera os custos associados, por litro, de cada uma das transacções envolvidas no *software* relativo à movimentação de *stock*.

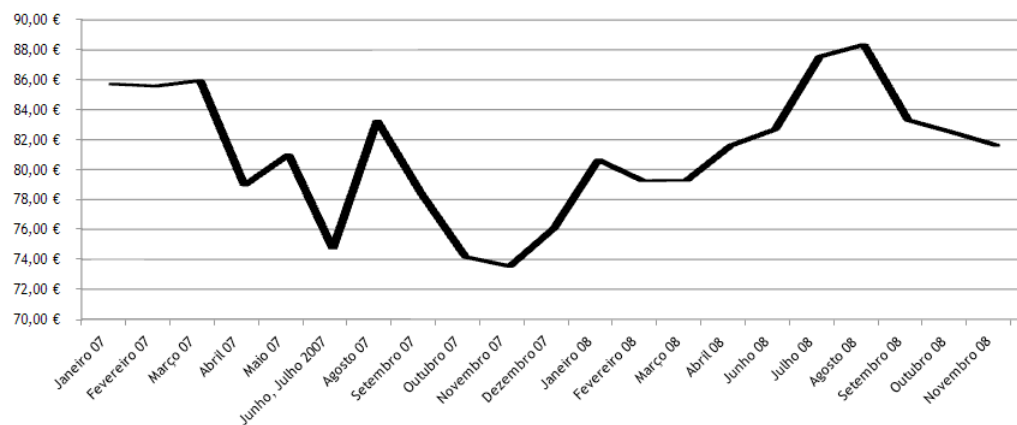
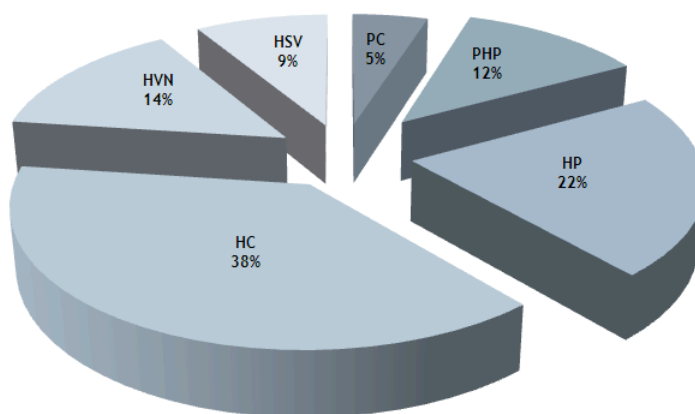
Figura A.2: Evolução mensal do Custo do MWh 

Figura A.3: Distribuição dos custos de cada um dos termos tarifários da factura de energia eléctrica (em média)

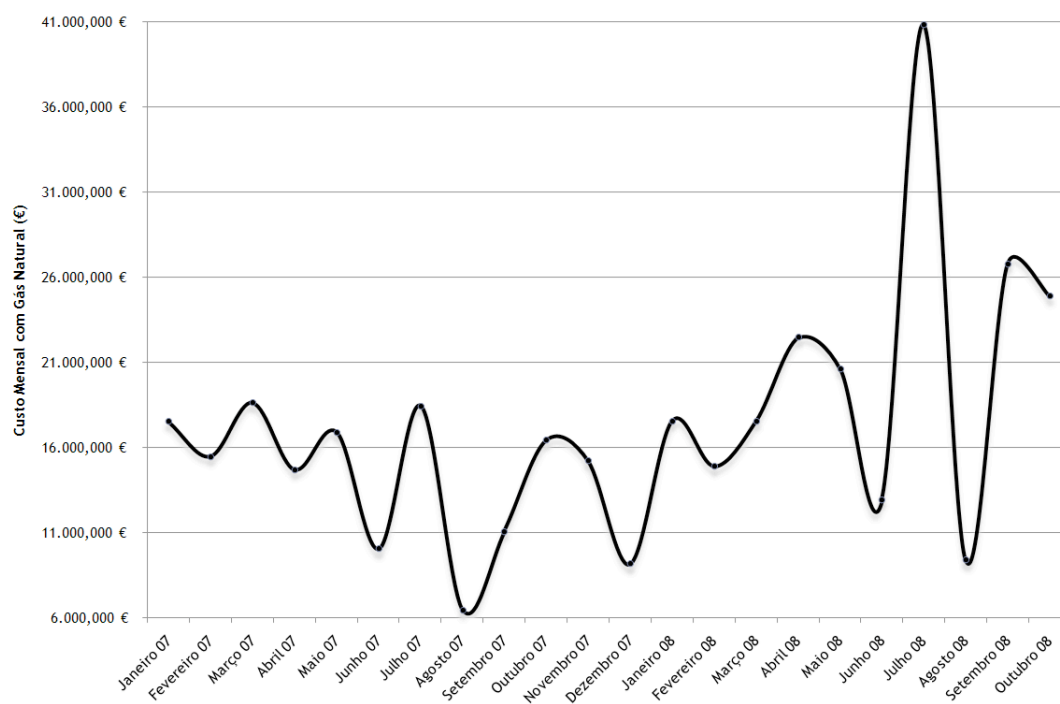


Figura A.4: Evolução mensal da Factura de Gás Natural

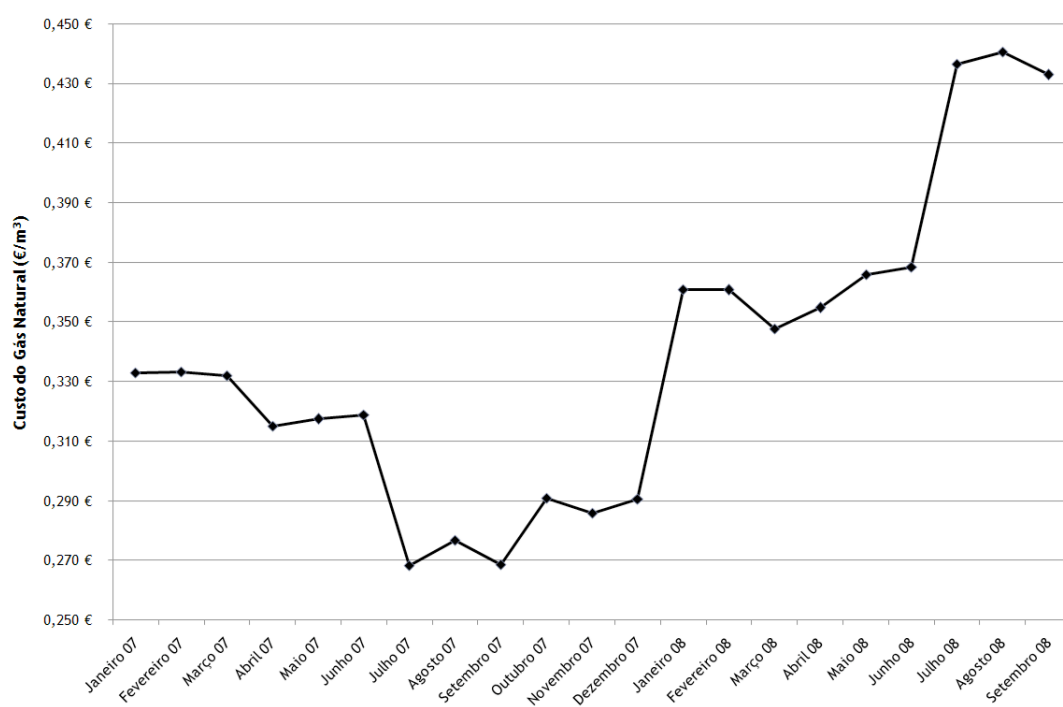


Figura A.5: Evolução do Custo do Gás Natural (€/m³)

Tabela A.3: Movimentos de *stock* do Gasóleo

Data de Movimento	Saída de <i>stock</i> (litros)	Consumo (l/dia)	Preço (€/l)
09-10-2007	2.950	-	0,882
15-01-2008	1.000	10,20	0,971
16-05-2008	2.000	16,39	1,020
09-07-2008	900	16,70	1,103
31-08-2008	900	1,157	16,98

A.2 Desagregação Geral dos Consumos Energéticos

A Tabela A.4 permite identificar e consultar os consumos energéticos, e a sua evolução, nos diversos sectores produtivos.

Esta tabela resultou de um tratamento efectuado à recolha dos registos diários efectuados pelo electricista da Unidade Industrial.

Com a instalação de um sistema de contadores parciais, e através da plataforma do “Gestor de Energia”, será possível efectuar uma desagregação por cada uma das actividades produtivas e por cada um dos sectores.

Permitirá, ainda, estudar o custo de cada uma das actividades no produto final – num processo de contabilidade energética.

Tabela A.4: Desagregação Geral dos Consumos de Energia Eléctrica (kWh)

Tipo	Jan-08	Fev-08	Mar-08	Abr-08	Mai-08	Jun-08	Jul-08	Ago-08	Set-08	Out-08	Nov-08	Dez-08
Estufas Estabilização Máq. Esc. Elect. e de Tapetes NT	2.631	1.897	1.540	1.446	1.119	1.573	1.868	751	1.859	1.586	1.541	1.217
Escritório	545	498	416	408	389	369	438	214	340	420	522	657
Balneários Iluminação Vigia Iluminação Escolha NT	1.131	2.469	2.401	2.483	2.005	2.184	2.671	1.645	2.554	2.568	2.137	1.504
Iluminação NT Tomadas NT Exaustores NT	3.678	3.525	3.212	3.513	2.840	3.504	4.562	1.761	3.785	3.665	2.821	1.913
Compressores	59.035	44.786	47.259	47.099	40.252	46.297	51.967	27.175	48.986	47.695	40.324	30.108
Acabamentos TT Acabamentos NT	38.088	36.745	37.345	38.590	31.379	34.860	11.015	13.226	38.510	32.974	31.122	21.931
Escolha TT Embalagem TT Laboratório	1.750	1.060	1.031	874	808	799	964	634	1.106	1.336	978	228
Lavação Estufa Secagem Oficina Manutenção Portaria	39.838	16.503	15.654	17.165	14.338	15.180	49.555	7.034	17.408	17.256	15.671	12.171
Moldação TT (1,2 e 3) Colagem Sistema Rosa TT Iluminação	146.405	143.713	148.795	91.762	60.195	48.160	59.313	43.142	59.830	39.406	38.343	52.651
Sistema Rosa NT	703	582	636	678	566	1.140	1.402	939	885	849	716	475
Caldeiras	1.704	1.590	3.883	5.700	4.759	5.218	6.459	3.564	5.841	8.036	7.459	5.015
Despoeiramento	29.317	27.647	29.544	34.313	28.086	29.668	80.383	12.579	34.458	32.977	28.847	20.724
Moldadora 4 Moldadora 5 Sistema de Pesagem	82.059	66.422	51.085	91.762	34.963	46.164	55.396	10.164	66.433	37.260	49.878	35.159
Moldadora 6	35.521	30.485	26.711	14.088	5.100	4.652	5.797	2.236	23.250	11.523	10.138	8.400
Sistema de Bombagem de Água	2.838	2.692	2.698	1.978	1.139	1.403	8.704	26.239	2.456	1.253	1.036	783
Total (MWh)	445	381	372	352	228	241	340	151	308	239	232	193

Anexo B

Medições e Registos da Iluminação Artificial

B.1 Estado da Arte

B.1.1 Características das Fontes de Iluminação Artificial utilizadas

Encontram-se descritas, na Tabela B.1, as características das fontes de iluminação artificial.

Ou seja, a referência do fabricante, tipo e modelo de lâmpada utilizado e os respectivos fluxos luminosos, a vida útil, índice de protecção da luminária e, finalmente, o preço unitário¹ por lâmpada.

Tabela B.1: Características das Fontes de Iluminação Artificial utilizadas

Ref.	Lâmpada		Fluxo (<i>lm</i>)	Vida útil (<i>h</i>)	IP	Preço (€)
	Tipo	Modelo Utilizado				
GW 84 883	Vap. Mercúrio	Philips HPL-N 250 W E40	12.700	16.000	44	25
GW 80 006	Tub. Fluorescente	Philips TL-D 58 W	5.200	10.000	65	3
GW 80 001	Tub. Fluorescente	Philips TL-D 18 W	1.350	10.000	-	3
FBS 932	Tub. Fluorescente	Philips Master PL-L 36W	2.900	10.000	20	3

B.1.2 Iluminância por Sector

As medições efectuadas relativamente aos níveis de iluminância foram efectuadas com recurso a um luxímetro “DELTA-OHM HD 8366” – equipamento calibrado de leitura directa, que permite realizar uma análise quantitativa, indicando directamente num mostrador, os valores do local avaliado.

As medições foram efectuadas durante as manhãs de dias claros: 6 e 8 de Outubro e durante o fim de tarde de 13 de Outubro de 2008.

¹Custo das lâmpadas obtido junto do Departamento de Aprovisionamento do Grupo Amorim.

Os piores resultados relativos aos níveis de iluminância, bem como os níveis recomendados pela norma *ISO 8995*, [17], encontram-se na Tabela B.2.

B.1.3 Levantamento de Luminárias por sector

A Tabela B.3 dispõe os registos efectuados relativamente ao número de luminárias e das respectivas horas em funcionamento, por sector.

De facto, o desenho técnico da instalação não se encontra actualizado pelo que optou-se por efectuar um levantamento exaustivo presencial, e por sector, de modo a conhecer e identificar as características de cada um dos sectores.

B.1.4 Custos da Iluminação

Os custos da iluminação, por sector, são obtidos com a soma de duas parcelas: custo energético e custo da exploração. A metodologia de cálculo encontra-se descrita na subsecção 4.1.5.

A Tabela B.4 traduz estes resultados, relativamente, à iluminação encontrada na DS, em cada um dos seus sectores.

Tabela B.2: Níveis de iluminância (*lux* medidos e recomendados por sector)

Sector	Iluminância (<i>lux</i>)	Nível Recomendado (<i>lux</i>)
Entrada	150,0	150
Armazém de Aprovisionamento	130,0	100
Área Administrativa	337,5	300
Armazém Granulado	126,3	150
Armazém Granulado II	236,7	150
Coberto dos Armazéns de Granulado	153,0	50
Extrusão (Produção)	148,6	200
Extrusão (Plataforma)	164,3	150
Extrusão (Acabamentos Mecânicos)	147,9	300
Moldação NT	179,4	300
Moldação TT	1101,3	300
Colagem TT	795,5	500
Acabamentos Mecânicos	292,2	200
Plataforma Acabamentos Mecânicos	297,0	150
Lavação	390,4	200
Secagem e Corredor do Pavilhão de Acabamentos	223,2	150
Escolha NT	695,0	500
Plataforma Escolha NT	496,0	200
Corredor Escolha NT	433,0	150
Plataforma Stock NT	546,0	150
Escolha TT(Embalagem)	769,0	200
Escolha TT (Electrónica)	692,9	500
Escolha TT (Passagem)	1130,0	750
Laboratório	1140,0	500
Sala do Café	301,1	150
Balneários + WC	120,0	150
Oficina Serralharia	450,0	500
Oficina Electricidade	300,0	500
Exterior fabril	70,0	50

Tabela B.3: Levantamento do número de Luminárias e das Horas em Funcionamento (*horas/ano*), por sector

Sector	Tipo	Quant.	Em Funcionamento (horas/ano)
Entrada UI	Campânula 1 x 250 W	5	3.375
Armazém de Aprovisionamento	Armaduras 2 x 58 W	4	900
Área Administrativa	Armaduras encastradas 2 x 36 W	17	2.025
Armazém Granulado I	Campânula 1 x 250 W	7	5.400
Armazém Granulado II	Campânula 1 x 250 W	7	5.400
Coberto Armazéns Granulado	Campânula 1 x 250 W	4	3.150
Extrusão (Produção)	Armaduras 2 x 58 W	6	5.400
Extrusão (Plataforma)	Armaduras 2 x 58 W	4	5.400
Extrusão (Acabamentos Mecânicos)	Campânula 1 x 250 W	6	5.400
Moldação NT	Campânula 1 x 250 W + Armaduras 2 x 58 W	8+4	5.400
Moldação TT	Campânula 1 x 250 W	15	5.400
Colagem TT	Campânula 1 x 250 W + Armaduras 2 x 58 W + Armaduras 1 x 18 W	3+5+1	5.400
Acabamentos Mecânicos	Armaduras 2 x 58 W	19	5.400
Plataforma Acabamentos Mecânicos	Armaduras 2 x 58 W	24	5.400
Lavação	Armaduras 2 x 58 W	9	5.400
Lavação (Secagem + Corredor)	Campânula 1 x 250 W	8	5.400
Escolha Electrónica NT	Armaduras 2 x 58 W	35	3.600
Plataforma Escolha NT	Armaduras 2 x 58 W	24	3.375
Corredor Escolha NT	Campânula 1 x 250 W	10	2.700
Stock Escolha NT	Armaduras 2 x 58 W	42	2.250
Escolha TT (Embalagem)	Armaduras 2 x 58 W	71	3.375
Escolha TT (Electrónica)	Armaduras 2 x 58 W	20	2.025
Escolha TT (Passagem)	Armaduras 2 x 58 W	9	2.025
Laboratório	Armaduras 2 x 58 W	8	2.025
Sala do Café	Armaduras 2 x 58 W	3	2.700
Balneários + WC	Armaduras 2 x 58 W	3+1	1.350
Oficina Serralharia	Armaduras 2 x 58 W	6	2.475
Oficina Electricidade	Armaduras 2 x 58 W	2	2.250

Tabela B.4: Custos (Energéticos e de Exploração) da Iluminação Artificial, por sector

Sector	Consumo estimado (<i>kW/ano</i>)	Custo Energético (€/ano)	Custo de exploração (€/ano)	Custo Anual (€)
Entrada UI	5.273,44	433,42	26,37	459,79
Armazém de Aprovisionamento	522,00	42,90	2,16	45,06
Área Administrativa	3.098,25	254,65	20,66	275,31
Armazém Granulado I	11.812,50	970,87	94,50	1.065,37
Armazém Granulado II	11.812,50	970,87	94,50	1.065,37
Coberto Armazéns Granulado	3.937,50	323,62	31,50	355,12
Extrusão (Produção)	4.698,00	386,13	19,44	405,57
Extrusão (Plataforma)	1.252,80	102,97	12,96	115,93
Extrusão (Acabamentos Mecânicos)	10.125,00	832,17	81,00	913,17
Moldação NT	16.632,00	1.366,98	116,10	1.483,08
Moldação TT	25.312,50	2.080,43	202,50	2.282,93
Colagem TT	8.977,50	737,86	172,22	910,08
Acabamentos Mecânicos	14.877,00	1.222,74	61,56	1.284,30
Plataforma Acabamentos Mecânicos	18.792,00	1.544,51	324,00	1.868,51
Lavação	7.047,00	579,19	29,16	608,35
Lavação (Secagem + Corredor)	13.500,00	1.109,57	370,37	1.479,94
Escolha Electrónica NT	18.270,00	1.501,61	583,33	2.084,94
Plataforma Escolha NT	11.745,00	965,32	48,60	1.013,92
Corredor Escolha NT	8.437,50	693,48	67,50	760,98
Stock Escolha NT	13.702,50	1.126,21	56,70	1.182,91
Escolha TT (Embalagem)	34.745,63	2.855,74	143,78	2.999,52
Escolha TT (Electrónica)	5.872,50	482,66	24,30	506,96
Escolha TT (Passagem)	2.642,63	217,20	10,94	228,13
Laboratório	1.458,00	119,83	9,72	129,55
Sala do Café	1.174,50	96,53	4,86	101,39
Balneários + WC	617,63	50,76	3,24	54,00
Oficina Serralharia	2.153,25	176,98	8,91	185,89
Oficina Electricidade	652,50	53,63	2,70	56,33
Σ	259.141,61	21.298,85	2.623,57	23.922,42

Anexo C

Medições e registos efectuados aos Motores Eléctricos

C.1 Inventário dos Motores

Na Tabela [C.1](#) encontra-se descrito o levantamento das características nominais dos motores que constituem os diferentes sistemas de ventilação da DS.

O levantamento destes dados foi obtido junto das chapas de características de cada um dos motores. Deste modo, enumera-se para além da identificação do sector e da tarefa de cada um destes MIT, a sua potência útil nominal, corrente nominal e factor de potência. Efectuou-se, igualmente, o registo de número de horas anuais em funcionamento de cada uma destas máquinas eléctricas.

Tabela C.1: Características de cada um dos motores utilizados nos Sistemas de Ventilação, por sector

Designação / Localização Motor		Características do Motor					Marca	Horas Func. Ano	Arranque	Acoplamento
Sector	Máquina	Pot. (kW)	Int. (A)	Cos ϕ	Tensão (V)	rpm				
Moldação NT	Recuperação Gran. Moldadoras	15	26,5	0,9	400	2940	SIEMENS	5400	<i>Soft-Starter</i>	D
	Transporte p/ Moldadoras	5,5	10,8	0,88	3400	2880	EFACEC	5400	Y- Δ	D
	Transporte p/ Silos	7,5	14,5	0,9	400	2920	ABB	5400	Y- Δ	D
	Aspiração Gran. Senfim e Moega	15	26,5	0,9	400	2920	ABB	5400	Y- Δ	Correia
Moldação TT	Transporte p/ Mold. e Silo 3	7,5	15	0,9	400	2880	Electroada	5400	Y- Δ	D
	Transporte p/ Silo 1, 2	18,5	33,8	0,9	400	2920	EFACEC	5400	Y- Δ	D
	Transporte para Secador (SR)	5,5	10,7	0,89	400	2915	EFACEC	5400	Y- Δ	D
Despoeiramento Pó	Despoeiramento Descarga do Pó	5,5	11,4	0,81	400	1455	SIEMENS	225	Y- Δ	D
Acab. Mecânicos	Despoeiramento Topejadeiras	37	69	0,89	400	1470	MEZFRENSTAT	5400	Y- Δ	Correia
	Despoeiramento Rectificadoras	22	43		400	1470	OLIJU	5400	Y- Δ	Correia
Extrusão	Transporte Pneumático	22	42	0,83	400	1460	FIMET	5400	Y- Δ	Correia

C.2 Perfis de Consumo

Nesta secção dispõem-se os perfis de consumo de cada um dos sistemas accionados por motores eléctricos e cuja aplicação corresponde a sistemas de ventilação – resultado de medições efectuadas.

C.2.1 Despoeiramento do Granulado dos Tabuleiros das Moldadoras NT

Na Figura C.1 exhibe-se o perfil de funcionamento do motor aplicado para este sistema de ventilação. Esta medição foi efectuada no dia 30 de Outubro de 2008, com uma periodicidade de 1 minuto e com as 3 Moldadoras, do sector, em funcionamento regular. Nesta medição verificou-se uma potência absorvida média de 9,6 *kW* com um desvio padrão de 60 *W* – revelando-se, pois, um consumo constante.

C.2.2 Transporte de Granulado para as Moldadoras 4, 5 e 6 (NT)

O transporte de granulado para as moldadoras 4, 5 e 6 – do sector NT – corresponde ao perfil de funcionamento exemplificado na Figura C.2.

Esta Figura exhibe parte de uma das duas medições, efectuadas a este motor – de modo a traduzir, da forma mais clara, o transporte para as moldadoras 5, 4 e 6, respectivamente, seguido da potência absorvida, estável, pelo motor enquanto este aguarda por um pedido de transporte de granulado para uma moldadora. Após o consumo estável de 2,2 *kW*, o sistema de ventilação retoma a sua função de transporte de granulado para as moldadoras. Este perfil repete-se ao longo das horas do dia.

Esta amostra diz respeito à medição efectuada no dia 22 de Janeiro de 2009, com uma periodicidade de 10 *segundos*.

C.2.3 Transporte de Granulado para os Silos NT e Extrusão

Na Figura C.3 exhibe-se o perfil de funcionamento deste sistema de transporte. Esta medição foi efectuada no dia 9 de Janeiro de 2009, com uma periodicidade de 5 *minutos*. Nesta medição verificou-se uma potência absorvida média de 6,2 *kW*.

C.2.4 Transporte de Granulado para Senfins e Moega NT

O perfil de funcionamento correspondente a este transporte encontra-se na Figura C.4. Verifica-se uma potência absorvida média de 10,9 *kW*. Esta medição foi efectuada no dia 22 de Outubro de 2008 com uma periodicidade de 20 *segundos*.

C.2.5 Transporte de Granulado para Moldadoras TT e Silo 3 (TT)

Verifica-se uma potência absorvida média de 4,5 *kW*, porém, com duas tarefas bem definidas, conforme amostra de uma das medições efectuadas da Figura C.5.

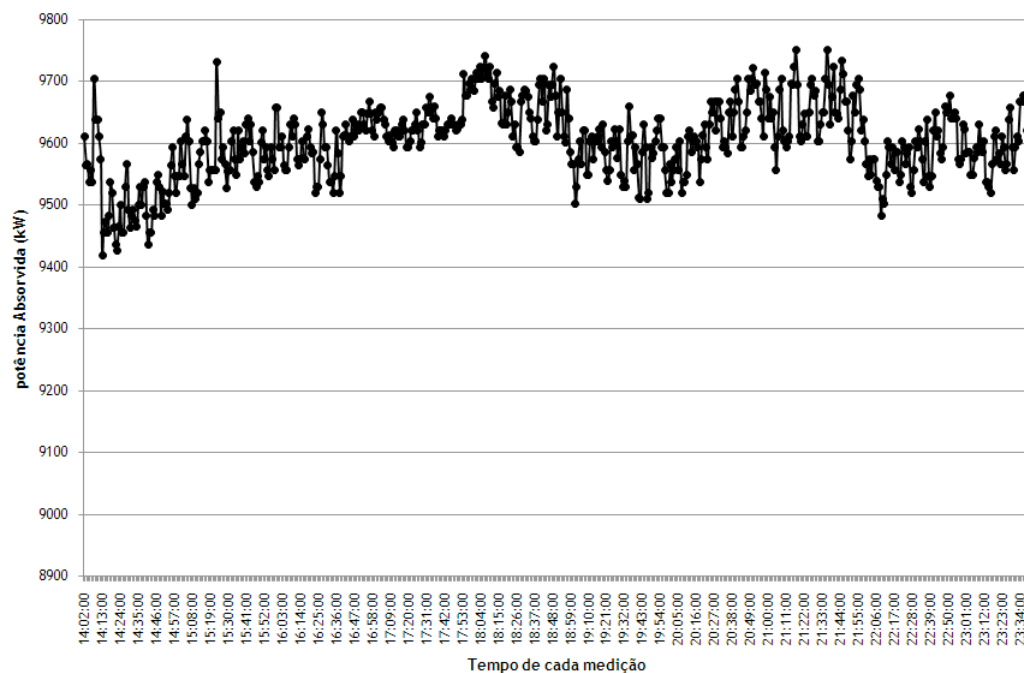


Figura C.1: Perfil de funcionamento do Ventilador utilizado para Despoeiramento dos Tabuleiros das Moldadoras *Neutrocork*

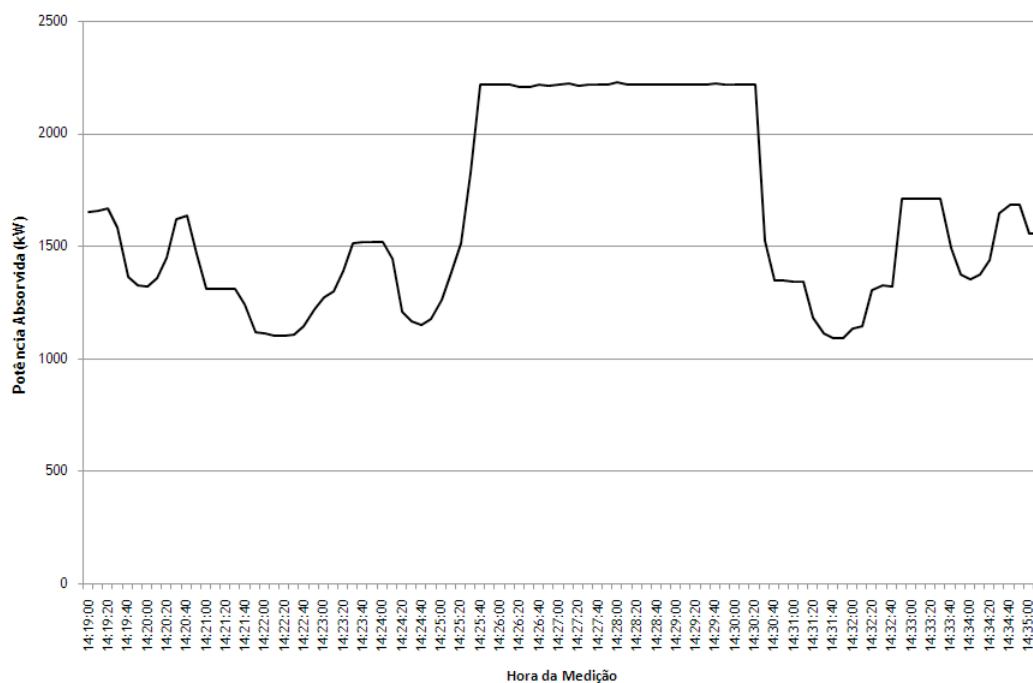


Figura C.2: Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para as Moldadoras 4, 5 e 6 - *Neutrocork*

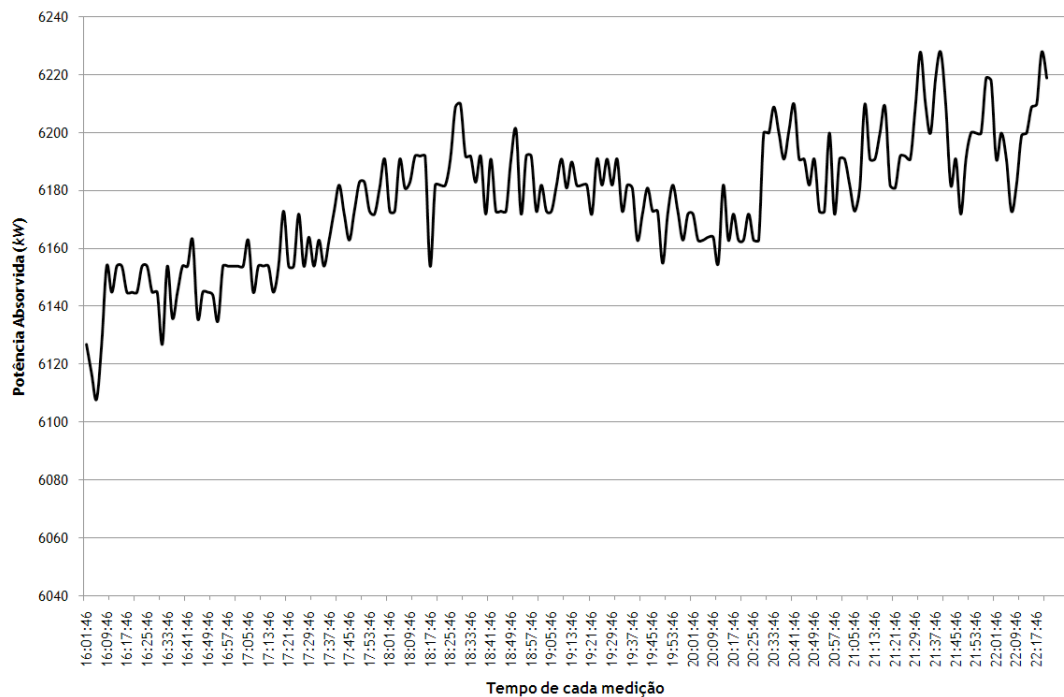


Figura C.3: Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para os Silos *Neutrocork* e Extrusão

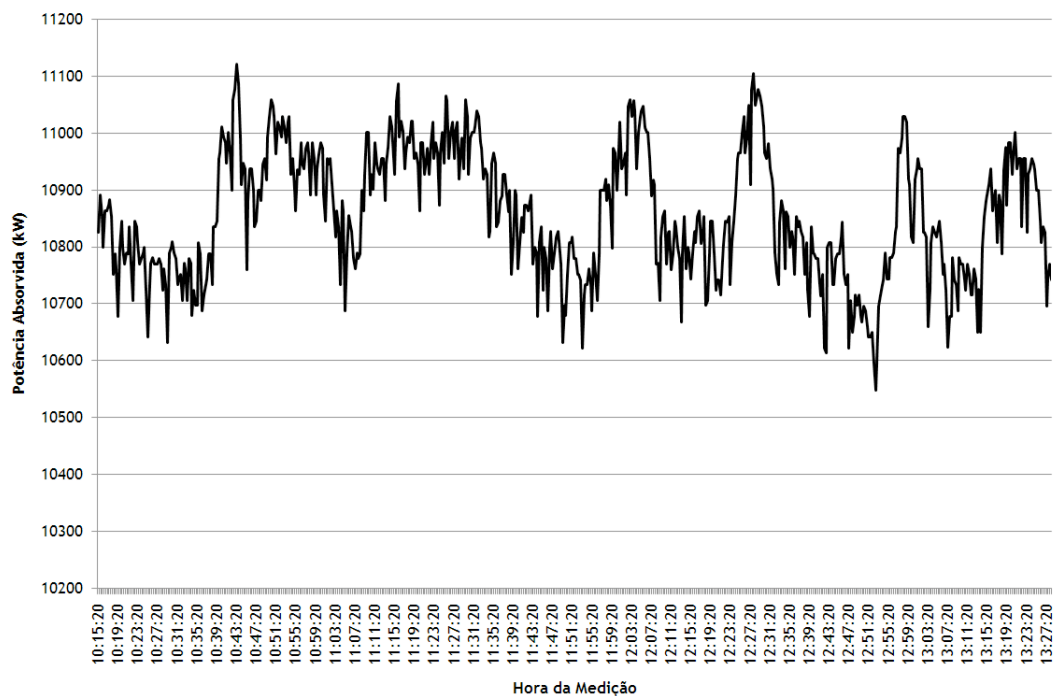


Figura C.4: Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para os Senfins e Moega – *Neutrocork*

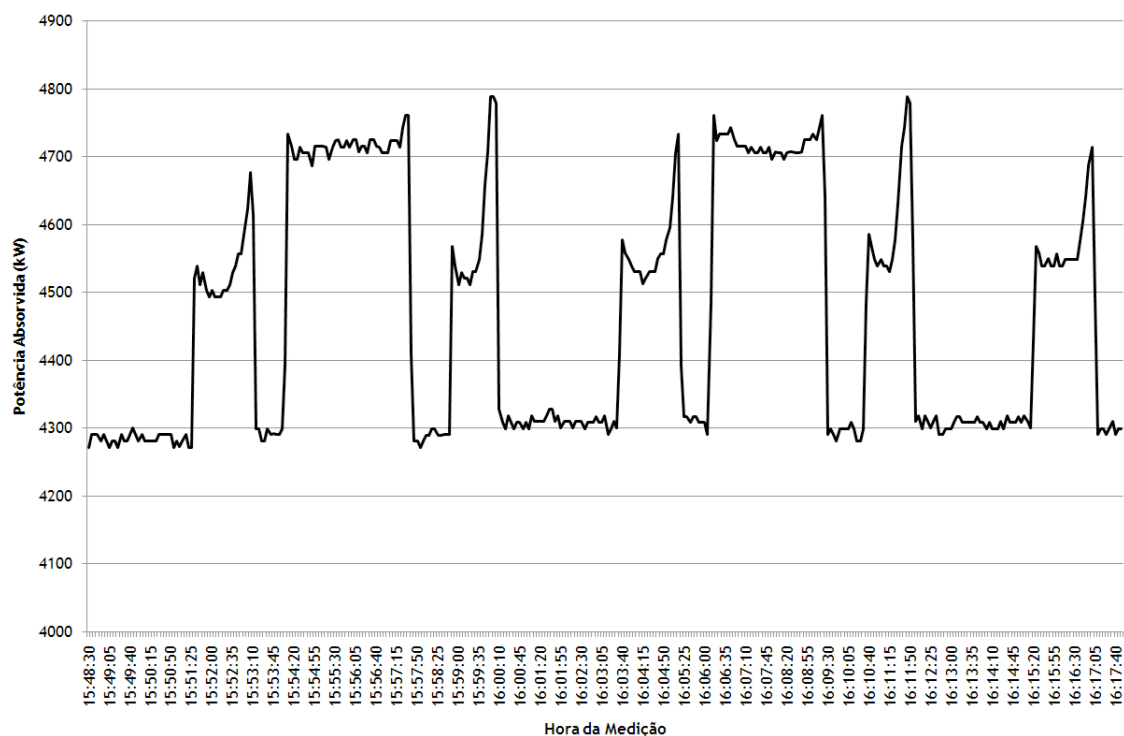


Figura C.5: Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para Moldadoras e Silo 3 – *Twin-Top*

O transporte de granulado é efectuado, em simultâneo para as Moldadoras e Silo 3, com uma potência absorvida média de $4,6 \text{ kW}$. Durante o seu modo de espera por um pedido de granulado, o ventilador efectua, apenas, transporte de ar que corresponde a uma potência absorvida cuja média é de $4,3 \text{ kW}$.

A amostra da figura corresponde a uma medição efectuada no dia 4 de Dezembro de 2008 com uma periodicidade de 5 *segundos*.

C.2.6 Transporte de Granulado para os Silos 1 e 2, TT

Este sistema de ventilação, correspondente a diversas funções de transporte e responsável pelo transporte de ar para o queimador do secador e para o moinho, apresenta o perfil de funcionamento da Figura C.6.

Esta medição foi efectuada em 16 de Dezembro de 2008 com uma periodicidade de 15 *minutos* e 30 *segundos*.

C.2.7 Transporte de Granulado para o Senfim, Moega e Secador Rotativo, TT

De modo semelhante ao referido em relação ao NT, na Figura C.7 confirma-se o mesmo perfil de funcionamento com uma potência absorvida média de $4,3 \text{ kW}$.

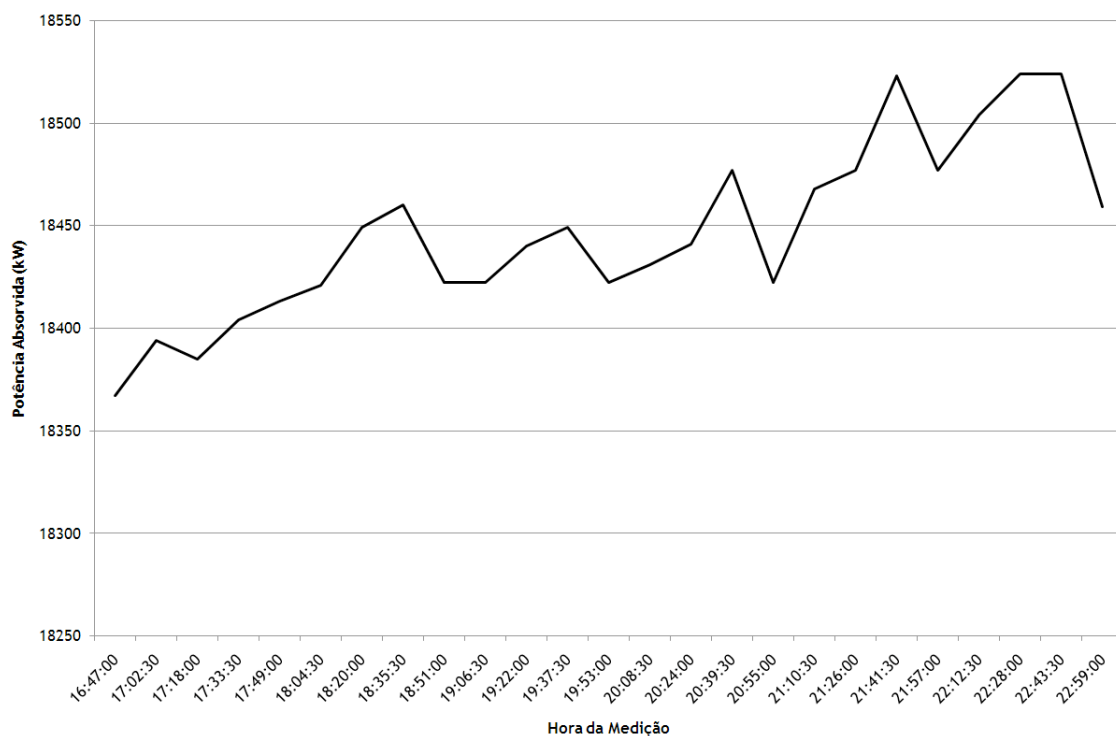


Figura C.6: Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para os Silos 1 e 2 – *Twin-Top*

Esta medição efectuada em 9 de Janeiro de 2009 com uma periodicidade de 10 *minutos*.

C.2.8 Despoeiramento na Descarga do Pó para o Camião

Na descarga do pó, do silo para o camião de transporte, efectua-se o despoeiramento a fim de não contaminar o ar, nem incorrer em perdas de pó – já que este é utilizado, posteriormente, como biomassa.

A potência absorvida é constante, conforme Figura C.8, nos 6,6 *kW*.

Esta medição foi efectuada em 16 de Dezembro de 2008 com uma periodicidade de 15 *segundos*.

C.2.9 Despoeiramento da Linha de Topejadeiras, dos Acabamentos Mecânicos

O despoeiramento ocorre, em todos os cenários aqui presentes, com um perfil de funcionamento semelhante. A linha de 19 topejadeiras, em funcionamento no Pavilhão de Acabamentos Mecânicos, tem uma captação individual de pó cuja alimentação é efectuada por um motor, cujo funcionamento encontra-se expresso na Figura C.9.

A potência absorvida média do motor corresponde a 21 *kW*.

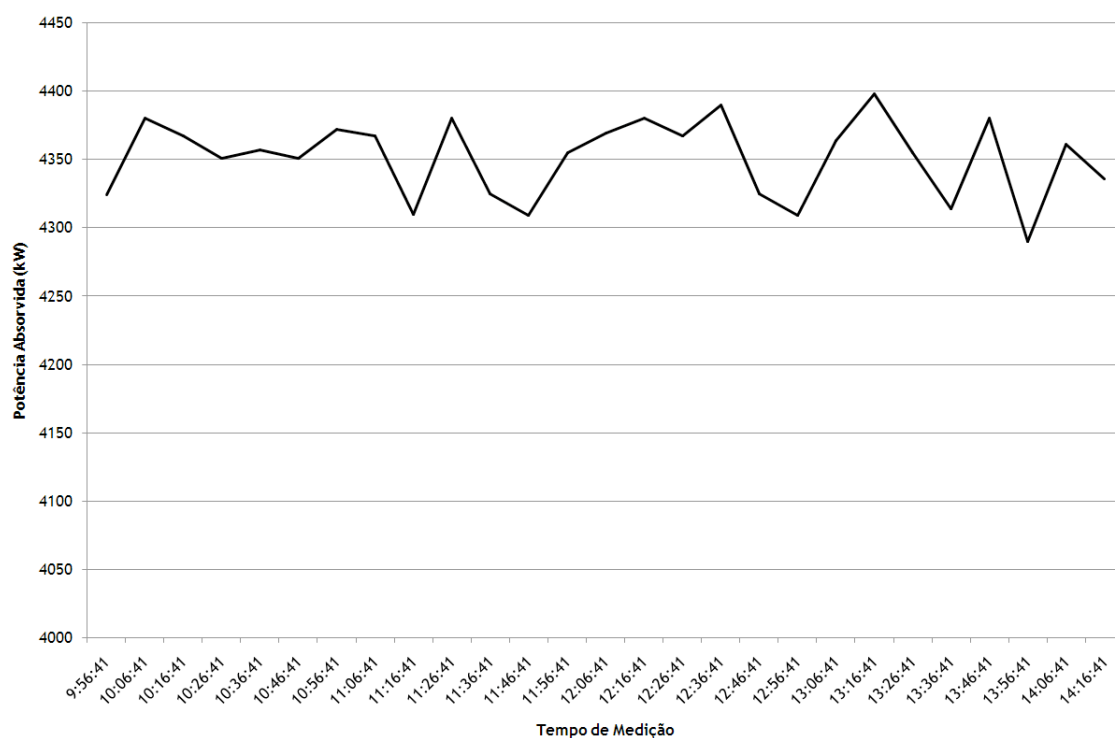


Figura C.7: Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado para o Senfim e Moega – *Twin-Top*

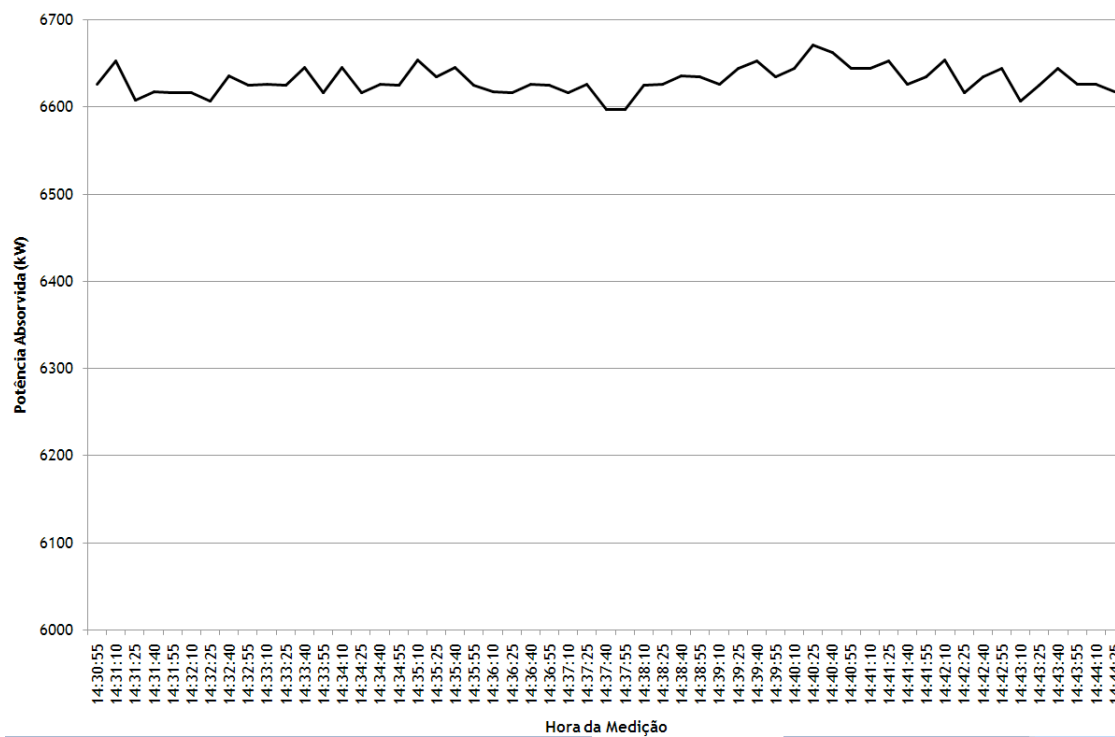


Figura C.8: Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Despoeiramento na Descarga do Pó

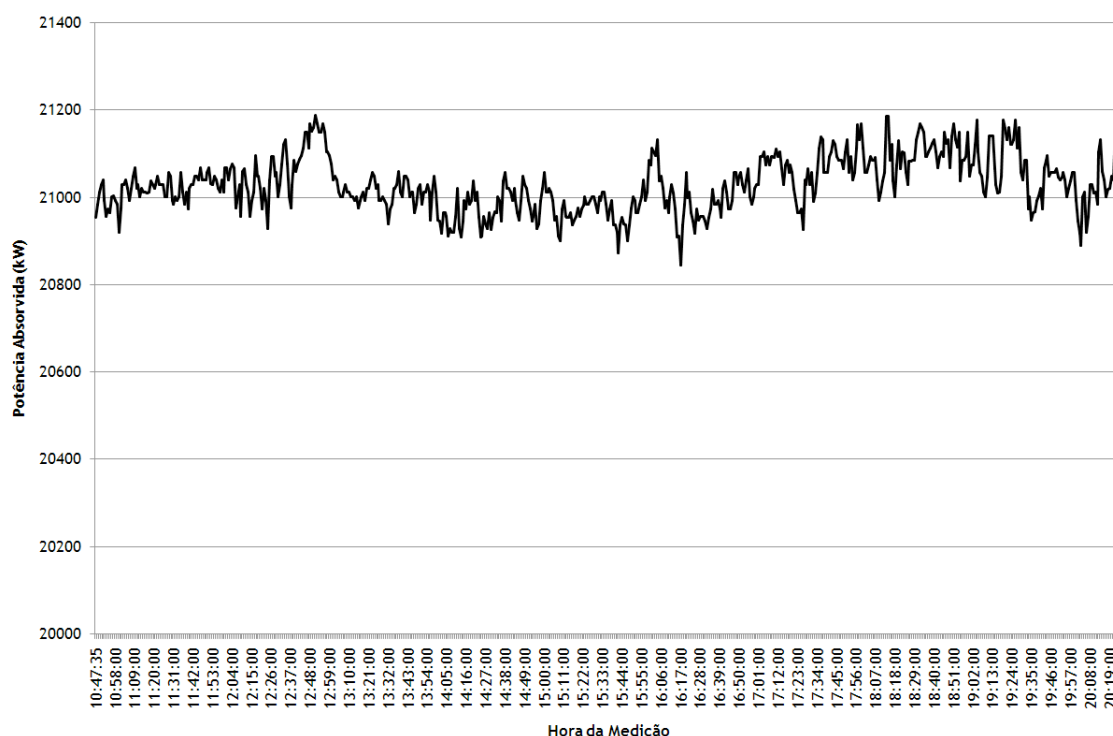


Figura C.9: Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Despoeiramento das Topejadeiras – *Acabamentos Mecânicos*

Esta medição foi efectuada em 24 de Novembro de 2008 com uma periodicidade de 10 *minutos*.

C.2.10 Despoeiramento das Rectificadoras, dos Acabamentos Mecânicos

A rectificação composta por 10 máquinas rectificadoras e em funcionamento no Pavilhão de Acabamentos Mecânicos tem, semelhantemente à linha de topejadeiras, uma captação individual de pó. O perfil de funcionamento do motor reservado a esta tarefa encontra-se expresso na Figura C.10.

A potência média absorvida do motor corresponde a 19,6 *kW* e esta medição foi efectuada em 15 de Novembro de 2008 com uma periodicidade de 5 *segundos*.

C.2.11 Transporte Pneumático e Despoeiramento dos Acabamentos Mecânicos da Extrusão

O sistema de ventilação utilizado constitui duas aplicações simultâneas: despoeiramento dos acabamentos mecânicos, do pavilhão da extrusão e o transporte de granulado do silo da extrusão para o misturador que alimenta as 8 extrusoras.

A potência média absorvida do motor corresponde a 8,4 *kW*. A Figura C.11 traduz o perfil de funcionamento. Os mínimos correspondem a períodos em que não existem

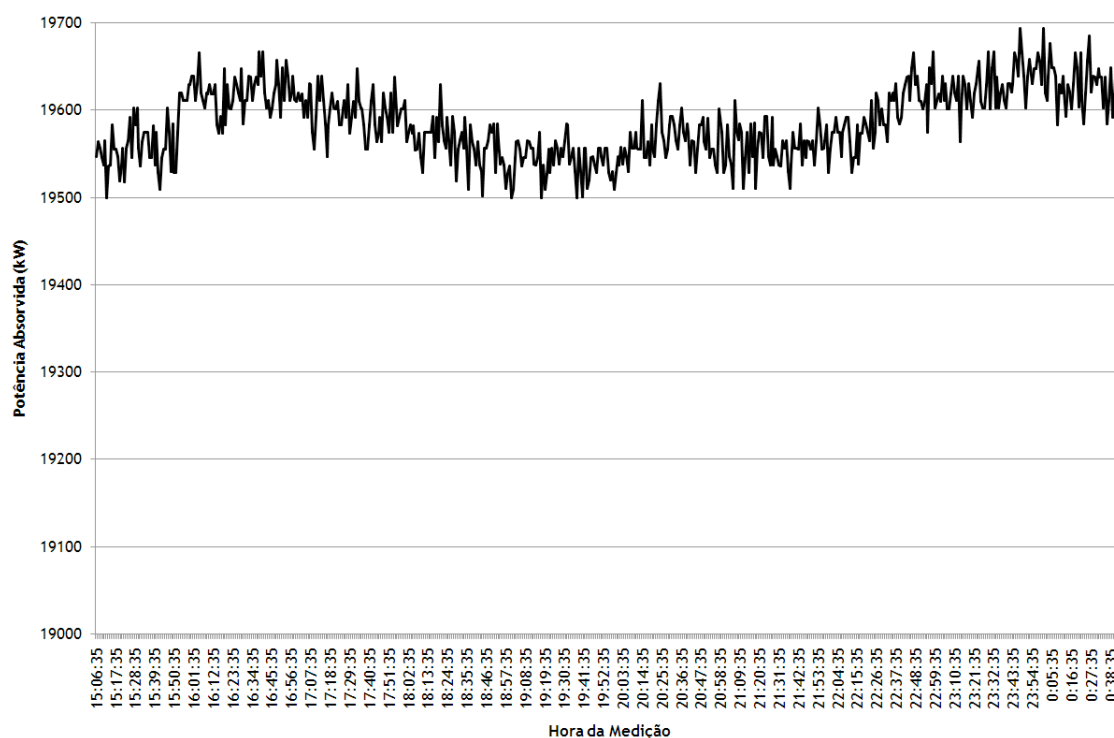


Figura C.10: Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Despoeiramento das Rectificadoras – *Acabamentos Mecânicos*

pedidos de transporte de granulado e o sistema de ventilação efectua, apenas, limpeza das condutas, pesagem e o despoeiramento dos acabamentos mecânicos.

Esta medição foi efectuada em 14 de Novembro de 2008 e com uma periodicidade de 1 *minuto*.

C.3 Potência estimada no veio dos Motores Eléctricos.

Através do cálculo da razão entre a corrente absorvida e corrente nominal, estimou-se o valor da fracção de carga. Deste modo, recorrendo a características semelhantes aos motores em causa¹, foi possível obter o rendimento e a potência útil no veio dos motores eléctricos face às potências absorvidas medidas.

A Tabela C.2 enumera os valores de potência absorvida medida, rendimento, bem como a potência útil no veio dos motores eléctricos analisados.

¹Através do “algoritmo ultra-refinado”, conforme sub-secção 5.2.1.2.

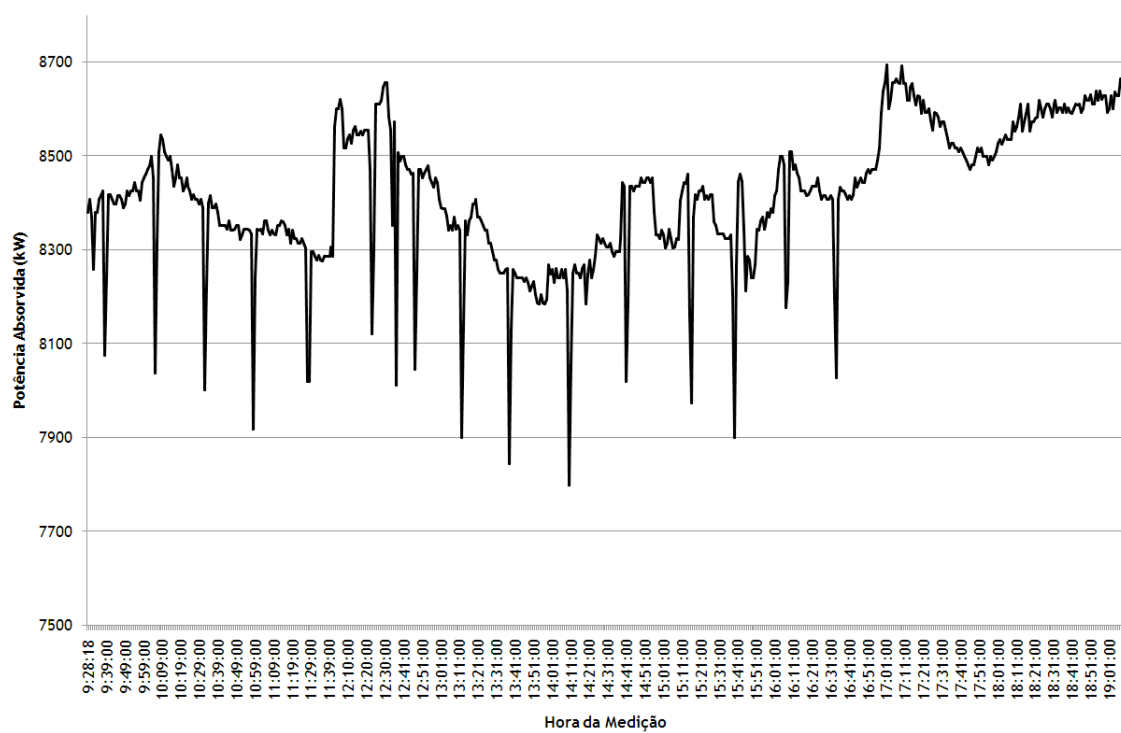


Figura C.11: Perfil de Funcionamento do Ventilador utilizado para Transporte de Granulado e Despoeiramento – *Extrusão*

Tabela C.2: Potência absorvida medida, rendimento e potência no veio estimada para os MIT (com a respectiva fracção de carga)

Motor Eléctrico	Potência útil nominal (<i>kW</i>)	Estimado			
		Potência absorvida medida (<i>kW</i>)	Rendimento	Pot. útil (<i>kW</i>)	Fracção de Carga
Recuperação Gran. Moldadoras (NT)	15	9,60	90,8%	8,71	58%
Transporte p/ Moldadoras (NT)	5,5	2,60	83,5%	2,08	38%
Transporte p/ Silos (NT)	7,5	6,20	83,0%	5,14	69%
Transporte Gran. Senfim e Moega (NT)	15	10,90	90,8%	9,82	65%
Transporte p/ Mold. e Silo 3 (TT)	7,5	4,50	80,2%	3,56	48%
Transporte p/ Silo 1, 2 (TT)	18,5	18,50	87,8%	16,24	88%
Transporte Gran. Senfim e Moega (TT)	5,5	4,30	83,4%	3,61	66%
Despoeiramento Descarga do Pó	5,5	6,60	86,0%	5,67	103%
Despoeiramento Topejadeiras	37	21,03	87,0%	17,97	49%
Despoeiramento Rectificadoras	22	19,60	89,0%	17,44	79%
Transporte Pneumático + Despoeiramento (Extrusão)	22	8,42	91,1%	7,63	35%

Anexo D

Medições e registos efectuados à Central de Ar Comprimido

D.1 Perfil de Consumo

D.1.1 Em dias de laboração

A medição, da Figura [D.1](#), foi efectuada entre os dias 22 e 23 de Janeiro de 2009, com periodicidade de 5 *minutos*, e representa uma amostra do perfil de funcionamento da central de ar comprimido.

De acordo com a utilização constante do ar comprimido a central de ar comprimido opera, também, nas 24 *horas* dos dias de laboração. A potência absorvida média registada, e que apresenta uma constância ao longo do tempo, é de 83 *kW*.

D.1.2 Em vazio

O teste de fugas foi efectuado numa Terça-Feira, dia 20 de Janeiro de 2009, feriado local, a partir das 7 *horas* – hora em que a fábrica suspendeu a sua actividade até ao dia seguinte. A periodicidade especificada para registo no analisador de redes foi de 3 *minutos*.

Apenas em períodos em que a fábrica suspende a sua actividade é possível alimentar a rede de distribuição de ar comprimido, sem consumo, identificando a quantidade de perdas dispostas nesta rede. Efectivamente, confirmou-se a existência de perdas reduzidas já que a potência média absorvida corresponde a 28 *kW* e o fabricante do compressor especifica como sendo 27 *kW* a potência absorvida pelo compressor quando este opera em vazio. A diferença entre estes valores traduz as fugas na rede de ar comprimido que, neste caso, se revelaram como reduzidas. Presencialmente, por análise qualitativa, constatou-se que as fugas na rede de distribuição de ar comprimido são reduzidas.

A Figura [D.2](#) traduz, graficamente, a medição efectuada.

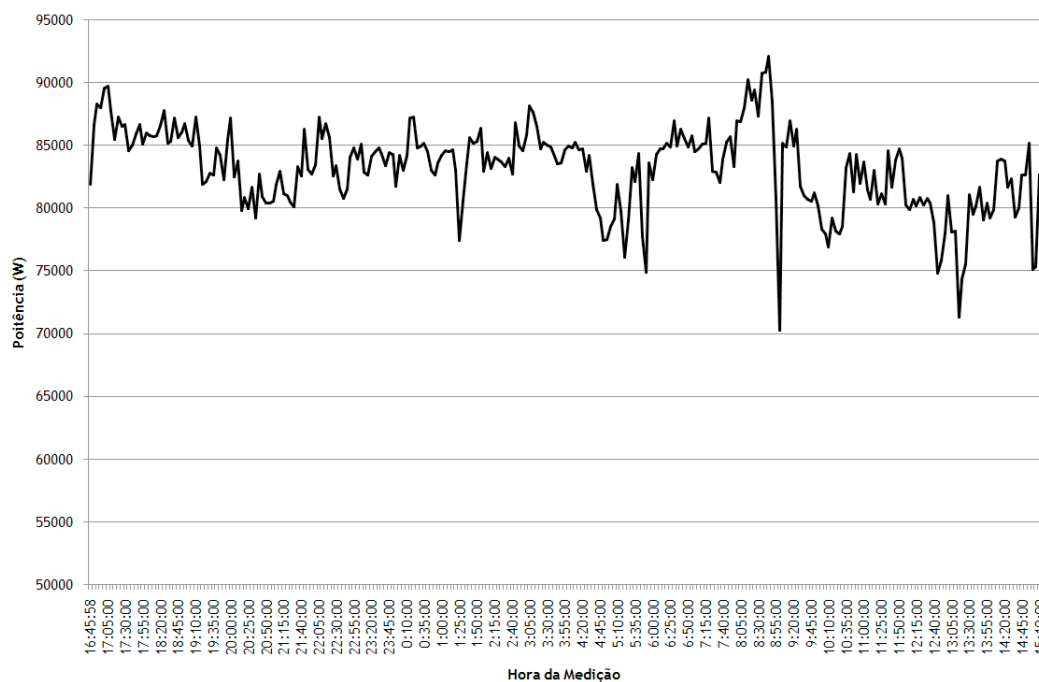


Figura D.1: Perfil de funcionamento da Central de Ar Comprimido ao longo de um dia útil de laboração

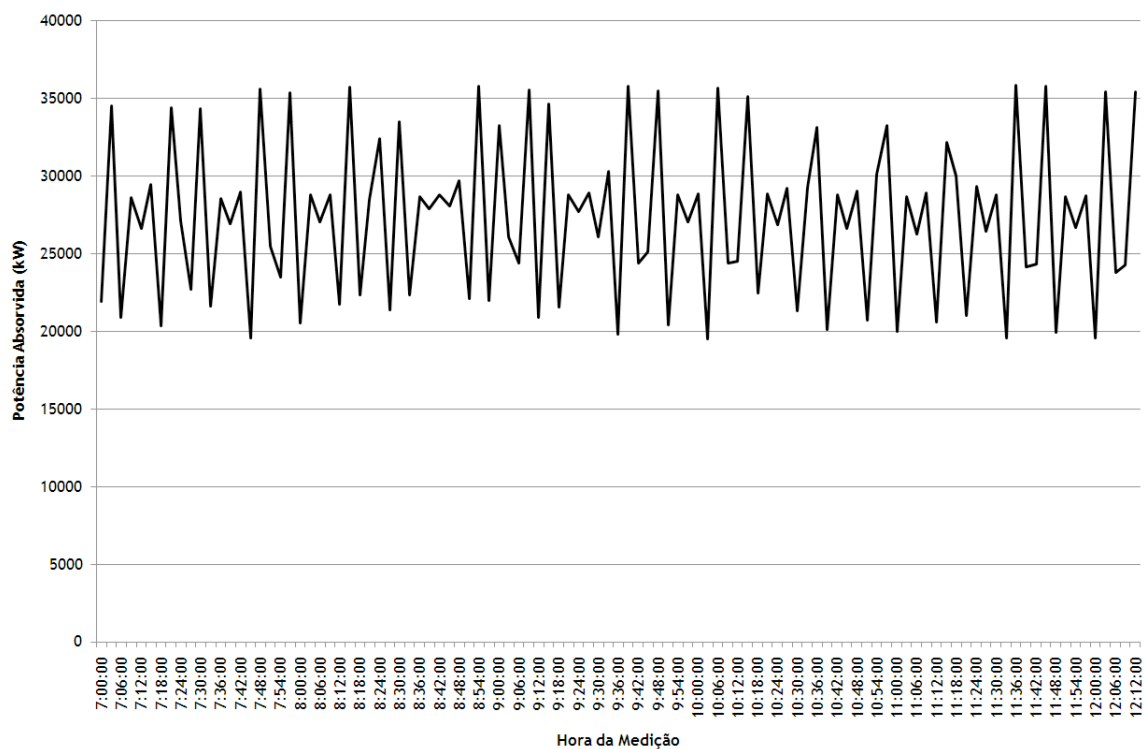


Figura D.2: Teste de fugas à rede de distribuição de ar comprimido