

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

Eficiência e Gestão Energética dos Edifícios Municipais de Matosinhos

Filipe Jorge Ferreira Brandão

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Doutor José Eduardo Roque Neves dos Santos
Coorientadores: Prof. Victor Paulo Barreira Ribeiro e Eng. José Manuel Freitas

Julho de 2012

© Filipe Brandão, 2012

Resumo

A gestão eficiente dos recursos de energia é hoje um dos principais desafios, a nível mundial, que a sociedade moderna enfrenta.

Com o desenvolvimento económico, a necessidade intensa de energia a partir de recursos de origem fóssil, provocou mudanças climáticas que se fazem sentir a nível mundial. A natureza finita desses recursos naturais e o impacto ambiental da sua produção e consumo, alertaram a sociedade para uma mudança de comportamento na utilização da energia.

As administrações locais devem servir de modelo para os cidadãos de boas práticas de eficiência energética. A redução do consumo de energia nos edifícios públicos, e a promoção de comportamentos e escolhas com menor consumo energético, promovem o combate ao desperdício, sendo um bom plano estratégico que conduz a uma redução dos custos operacionais e otimização da prestação de serviços das autarquias.

Partindo deste princípio, nesta dissertação é modelizado soluções que devem ser adotadas, em termos de eficiência energética, no edifício dos Paços de Concelho de Matosinhos.

É de notar que para a concretização desta dissertação existiu um estudo sustentado com base em pesquisas e análises exaustivas a material técnico e científico, tendo sempre em consideração a legislação em vigor, para que no fim sejam apresentadas medidas consistentes com o estudo realizado.

Abstract

The efficient management of energy resources represents today one of the main challenges which the modern society faces worldwide.

With the economic development the intense necessity to obtain energy from resources of fossil origin has caused climatic changes which can be felt worldwide.

The finite nature of those resources, as well as the environmental impact caused both in their production and consumption have alerted society towards a change in behaviour regarding energy use.

Local administrations should represent a model for citizens as far as good practices are concerned. The reduction of energy consumption in public buildings, as well as the promotion of attitudes and choices leading to a lower energetic consumption fight against waste and are a good strategic plan which leads to a reduction in operational costs and to an optimization of the services provided by city halls.

From that principle on, this dissertation creates models which should be adopted in terms of energetic efficiency, in the building of Matosinhos City Hall (Paços do Concelho).

It should be highlighted that this dissertation has been supported by a sustained study based on research and exhaustive analysis to technical and scientific material, always considering the current legislation, so that at the end consistent measures can be presented by the study which has been carried out.

Agradecimentos

Aos meus pais, irmão e avós pela educação que me transmitiram e na qual esteve sempre presente o sentido de responsabilidade e de empenho no trabalho.

À minha namorada Vera, que em momentos difíceis, me apoiou e ajudou a tornar este trabalho possível.

Ao meu orientador, Professor Neves dos Santos, por todo o apoio e disponibilidade manifestada ao longo da elaboração da dissertação.

Ao meu coorientador, professor Victor Ribeiro pela ajuda na escolha da proposta do tema assim como pelo apoio prestado ao longo da dissertação.

Ao meu coorientador, Engenheiro José Manuel Freitas, pelas informações e elementos necessários para a realização desta dissertação, e pela disponibilidade e ajuda prestada ao longo desta.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

A Todos, Muito Obrigado.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xvii
Abreviaturas e Símbolos	xix
Capítulo 1	
Introdução.....	1
1.1 - Objetivos.....	1
1.2 - Organização da Dissertação	2
Capítulo 2	
Perspetivas Futuras	3
2.1 - Introdução	3
2.2 - Consumo de Energia um Desafio Mundial	3
2.3 - Caracterização Energética de Portugal	6
2.4 - A importância do Desenvolvimento Sustentável	10
2.4.1 - Estratégias para um Desenvolvimento Sustentável	11
2.4.1.1 - Eficiência Energética	11
2.4.1.2 - Energias Renováveis	12
2.4.1.3 - Redução das Emissões do CO ₂	13
2.5 - Conclusões	14
Capítulo 3	
Gestão de Energia	15
3.1 - Introdução	15
3.2 - Processo de Gestão de Energia.....	15
3.3 - Auditorias Energéticas.....	16
3.3.1 - Auditoria Preliminar	17
3.3.2 - Auditoria Geral	17
3.3.3 - Auditoria Detalhada	17
3.4 - Gestor de Energia	18
3.5 - <i>Energy Service Companies</i>	19
3.6 - Conclusão	23

Capítulo 4	
Estratégias para a Melhoria da Eficiência Energética	25
4.1 - Introdução	25
4.2 - Caracterização do Consumo de Energia nos Edifícios do Setor Terciário	26
4.3 - Envolvente do Edifício	27
4.4 - Sistemas de Climatização	27
4.5 - Equipamentos Informáticos	28
4.6 - Iluminação dos Edifícios	30
4.7 - Energia Reativa	30
4.8 - Conclusão	31
Capítulo 5	
Sistemas de Iluminação	33
5.1 - Introdução	33
5.2 - Grandezas Luminotécnicas	33
5.2.1 - Fluxo Luminoso	33
5.2.2 - Intensidade Luminosa	34
5.2.3 - Iluminância ou Nível de Iluminação	34
5.2.4 - Luminância	34
5.3 - Características Gerais das Lâmpadas	35
5.3.1 - Rendimento Luminoso	35
5.3.2 - Temperatura de Cor	35
5.3.3 - Índice de Restituição de Cores	36
5.3.4 - Depreciação do Fluxo Luminoso	36
5.3.5 - Vida Útil	36
5.3.6 - Duração de Vida Média	37
5.4 - Classificação das Lâmpadas	37
5.4.1 - Tipo de Lâmpadas	37
5.4.2 - Lâmpada Incandescente	38
5.4.3 - Lâmpada de Descarga	39
5.4.3.1 - Lâmpada Fluorescente	40
5.4.3.2 - Lâmpada Fluorescente Compacta	43
5.4.4 - Lâmpadas a LEDs	44
5.4.5 - Iluminação Transmitida por Fibra Ótica	45
5.4.6 - Análise Comparativa entre os vários Tipos de Lâmpadas	46
5.5 - Diretiva EuP	47
5.6 - Tipo de Balastros	48
5.7 - Luminárias	51
5.8 - Sistemas de Gestão de Iluminação	52
5.8.1 - Gestão Horária	53
5.8.1.1 - Interruptor Horário	53
5.8.1.2 - Automático de Escada	53
5.8.1.3 - Interruptor Crepuscular	54
5.8.1.4 - Interruptor Astronómico	54
5.8.2 - Detecção de Presença	55
5.8.2.1 - Detetores Volumétricos de Infravermelhos Passivos	55
5.8.2.2 - Detetores Volumétricos de Ultrassons	55
5.8.2.3 - Detetores Bi-volumétricos	55
5.9 - Gestão da Iluminação em Função da Luz Natural	56
5.9.1 - Comando <i>on/off</i> em Função da Iluminação Exterior	56
5.9.2 - Regulação Contínua do Fluxo em Função da Iluminação Interior	57

5.9.3 - Disposição das Armaduras de Iluminação	58
5.10 - Tubo de Luz Solar	58
5.11 - Conclusão.....	59
Capítulo 6	
Compensação do Fator de Potência	61
6.1 - Introdução	61
6.2 - Vantagens de Manter um Fator de Potência Elevado	61
6.2.1 - Melhoria da Tensão	61
6.2.2 - Redução das Perdas.....	62
6.3 - Regras de Faturação da Energia Reativa	63
6.3.1 - Aspectos Gerais na Faturação da Energia Reativa	64
6.3.2 - Regras de Faturação da Energia Reativa.....	64
6.3.2.1 - Faturação da Energia Reativa Capacitiva.....	64
6.3.2.2 - Faturação da Energia Indutiva.....	65
6.3.2.3 - Períodos de Integração.....	66
6.4 - Modos de Compensação em Baixa Tensão.....	66
6.4.1 - Compensação Global	67
6.4.2 - Compensação Setorial.....	67
6.4.3 - Compensação Individual	68
6.5 - Compensação Não Automática e Compensação Automática.....	69
6.5.1 - Bateria de Condensadores de Capacidade Fixa.....	69
6.5.2 - Baterias de Condensadores de Regulação Automática	69
6.6 - Conclusões	70
Capítulo 7	
Caso de Estudo: Auditoria Energética ao Edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos	71
7.1 - Introdução	71
7.2 - Caracterização Geral do Edifício Alvo	71
7.3 - Caracterização Geral da Instalação Elétrica.....	74
7.3.1 - Rede de Distribuição e Quadros Elétricos.....	75
7.3.2 - Desagregação dos Consumos	76
7.3.3 - Sistemas de Iluminação	77
7.3.3.1 - Iluminação da Assembleia Municipal	80
7.3.3.2 - Iluminação dos Gabinetes	80
7.3.3.3 - Iluminação das Áreas de Circulação	80
7.3.3.4 - Iluminação da Loja do Múncipe.....	81
7.3.3.5 - Iluminação das Casas de Banho.....	81
7.3.3.6 - Iluminação do Bar.....	81
7.3.3.7 - Iluminação da Fachada do Edifício.....	82
7.3.4 - Sistemas de Aquecimento	82
7.4 - Metodologia de Intervenção para os Sistemas de Iluminação	83
7.4.1 - Áreas de Circulação.....	84
7.4.1.1 - Área de Circulação 1	84
7.4.1.2 - Área de Circulação 2	86
7.4.1.3 - Área de Circulação 3	87
7.4.1.4 - Área de Circulação 4	90
7.4.1.5 - Área de Circulação 5	91
7.4.2 - Assembleia Municipal.....	92
7.4.3 - Loja do Múncipe	92

7.4.4 - Gabinetes.....	93
7.4.4.1 - Gabinetes Individuais	94
7.4.4.2 - Gabinetes Partilhados.....	96
7.4.5 - Casas de Banho	98
7.4.6 - Outras Divisões de Ocupação Breve.....	99
7.4.7 - Bar	100
7.4.8 - Estimativa Orçamental e Análise Financeira para os Sistemas de Iluminação	100
7.4.8.1 - Estimativa Orçamental.....	100
7.4.8.2 - Análise Financeira	104
7.4.8.3 - Cálculo e Análise do Mapa de <i>Cash-Flows</i> das Poupanças Obtidas	105
7.5 - Metodologia de Intervenção para os Sistemas de Aquecimento.....	106
7.5.1 - Tipos de Acumuladores de Calor Existentes no Mercado.....	106
7.5.1.1 - Acumulador de Calor Estático	107
7.5.1.2 - Acumulador de Calor Dinâmico.....	107
7.5.2 - Estratégia para a Escolha dos Acumuladores de Calor	108
7.5.3 - Encargos Anuais: Solução Atual versus Acumuladores de Calor.....	108
7.6 - Escolha da Opção Tarifária	110
7.6.1 - Breve Referência aos Sistemas de Faturação da Energia Elétrica	110
7.6.1.1 - Opções de Períodos Tarifários	111
7.6.1.2 - Opção Tarifária.....	112
7.6.1.3 - Grandezas de Faturação	112
7.6.2 - Análise dos Consumos Energéticos	113
7.6.3 - Análise da Opção Tarifária	114
7.7 - Análise do Fator de Potência.....	116
7.7.1 - Dimensionamento da Bateria de Condensadores	117
7.8 - Recomendações de Intervenção na Envolvente do Edifício: Breve Referência.....	119
7.8.1 - Sistemas de Sombreamento	120
7.9 - Conclusão	122
Capítulo 8	
Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro	123
8.1 - Sugestões para Trabalho Futuro	125
.....	126
Referências	127
Anexo A.....	131
Anexo B.....	133
Anexo C.....	135
Anexo D.....	137

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Estimativa e projeção da população por área geográfica [2]	4
Figura 2.2 - Crescimento do PIB mundial, em milhões de dólares [3]	4
Figura 2.3 - Demanda de energia primária mundial [4]	5
Figura 2.4 - Taxa de dependência energética de Portugal [6]	7
Figura 2.5 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal [6]	8
Figura 2.6 - Intensidade energética, em quilograma de petróleo equivalente por mil euros de PIB [7]	8
Figura 2.7 - Repartição da produção de eletricidade nos anos 2010 e 2011 [8]	9
Figura 2.8 - Desagregação dos consumos energéticos portugueses por setor de atividade ano 2010 [6]	9
Figura 2.9 - Os Pilares para um desenvolvimento sustentável [9]	11
Figura 3.1 - Processo de gestão de energia [14]	16
Figura 3.2 - Distribuição das poupanças de energia obtida através das medidas de eficiência energética [17]	19
Figura 3.3 - Fases de um projeto ESCO [16]	20
Figura 4.1 - Consumo de energia por utilização final, no setor terciário da União Europeia [10]	26
Figura 4.2 - Logotipo <i>ENERGY STAR</i> [24]	29
Figura 4.3 - Triângulo das potências	30
Figura 5.1 - Fluxo luminoso [27]	33
Figura 5.2 - Intensidade Luminosa [27]	34
Figura 5.3 - Iluminância [27]	34
Figura 5.4 - Luminância [28]	34

Figura 5.5 - Temperatura de cor [29]	35
Figura 5.6 - Exemplo de depreciação do fluxo luminoso numa lâmpada fluorescente [29] ...	36
Figura 5.7 - Tipos de lâmpadas.....	37
Figura 5.8 - Exemplo de lâmpadas incandescentes [29]	38
Figura 5.9 - Exemplo de lâmpadas fluorescentes [29]	40
Figura 5.10 - Comparação do diâmetro entre uma Lâmpada T8 (26mm) e uma T5 (16mm) [30]	41
Figura 5.11 - Fluxo nominal da lâmpada T5 ou T8 em função da temperatura ambiente [30]	42
Figura 5.12 - eco-Tubo [30].....	42
Figura 5.13 - Ilustração do rendimento da luminária com a variação do diâmetro da lâmpada [29].....	43
Figura 5.14 - Exemplo de lâmpadas fluorescentes compactas [29].....	43
Figura 5.15 - Exemplo de fontes de luz usando LEDs [29].....	44
Figura 5.16 - Iluminação decorativa com fibra ótica [31]	45
Figura 5.17 - Parte da Embalagem de lâmpada Osram de acordo com a diretiva EuP [32] ...	48
Figura 5.18 - Etiqueta da eficiência energética de uma lâmpada fluorescente compacta Osram [32]	48
Figura 5.19 - <i>Phase out</i> dos balastros [34].....	49
Figura 5.20 - Poupanças de energia com a utilização de balastros eletrónicos simples ou associados a outros dispositivos [28]	51
Figura 5.21 - Classificação CIE de luminárias de acordo com o grau de proteção contra poeira e humidade [35]	52
Figura 5.22 - Automático de escada [36].....	54
Figura 5.23 - Interruptor crepuscular [36]	54
Figura 5.24 - Interruptor astronómico [36]	54
Figura 5.25 - Facetas de um detetor de infravermelhos passivo [28]	55
Figura 5.26 - Exemplo de detetores de movimento [29]	56
Figura 5.27 - Exemplificação de uma instalação que possibilita a comutação <i>on/off</i> [28] ...	56
Figura 5.28 - Exemplo para a regulação contínua do fluxo luminoso [28].....	57
Figura 5.29 - Disposição correta das luminárias e do mobiliário [28]	58
Figura 5.30 - Aproveitamento da luz solar [37]	59
Figura 6.1 - Variação da secção do cabo em função do fator de potência [38]	62

Figura 6.2 - Compensação global [42]	67
Figura 6.3 - Compensação setorial [42]	68
Figura 6.4 - Compensação individual [42]	68
Figura 6.5 - Princípio de funcionamento da compensação automática de uma instalação [39]	70
Figura 7.1 - Edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos	72
Figura 7.2 - Envidraçado do edifício.....	74
Figura 7.3 - Resumo da produção dos painéis fotovoltaicos instalados no edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos [43]	75
Figura 7.4 - Infraestrutura de alimentação elétrica	76
Figura 7.5 - Desagregação dos consumos do edifício [46]	77
Figura 7.6 - Armadura com lâmpada fluorescente T8 de 58W	77
Figura 7.7 - Lâmpada Osram LED de casquilho GU10.....	78
Figura 7.8 - Luminária utilizada na Assembleia Municipal	80
Figura 7.9 - Luminária utilizada nos Gabinetes.....	80
Figura 7.10 - Luminárias utilizadas nas Casas de Banho	81
Figura 7.11 - Aquecedor elétrico fixo utilizado no edifício	82
Figura 7.12 - Interruptor horário que regula o sistema de aquecimento	82
Figura 7.13 - Cálculo da Poupança ao final de um ano pela substituição das lâmpadas T8 por eco-Tubos.....	85
Figura 7.14 - Cálculo da Poupança ao final de um ano utilizando Fita LED	86
Figura 7.15 - Fita LED ligada diretamente a 230V [44].....	87
Figura 7.16 - Cálculo da Poupança e período de amortização com utilização de eco-Tubo e Sensores IV	88
Figura 7.17 - <i>Corridor Function</i> [45]	89
Figura 7.18 - Cálculo do tempo de amortização do <i>Corridor Function</i>	90
Figura 7.19 - Poupança anual pela substituição das lâmpadas fluorescentes lineares de 18W T8 por eco-Tubos.....	91
Figura 7.20 - Cálculo da Poupança e período de amortização do investimento	93
Figura 7.21 - Modo correto da disposição das luminárias [28]	93
Figura 7.22 - Balastro eletrónico (1), sensor de luminosidade (2) e comando (3) para a regulação manual do fluxo luminoso. [45].....	94
Figura 7.23 - Funcionamento do sensor [45].....	94

Figura 7.24 - Total do investimento e tempo de amortização do sistema para os gabinetes individuais.....	95
Figura 7.25 - Exemplo da disposição das luminárias para os gabinetes individuais.....	96
Figura 7.26 - Exemplo da disposição das luminárias para os gabinetes partilhados.....	97
Figura 7.27 - Total do investimento e período de amortização para os gabinetes partilhados.....	98
Figura 7.28 - Representação do sistema de comando de iluminação das casas de banho.....	99
Figura 7.29 - Representação do sistema de comando de iluminação da zona de cópias.....	100
Figura 7.30 - Taxa de iluminação por horário de funcionamento nos tribunais, ministérios e câmaras [22].....	102
Figura 7.31 - Valores considerados para a simulação da poupança anual.....	102
Figura 7.32 - Poupança em consumo de energia ao final de um ano.....	103
Figura 7.33 - Poupança na troca de lâmpadas e manutenção.....	103
Figura 7.34 - Investimento necessário para a aplicação das medidas.....	104
Figura 7.35 - Constituição de um acumulador de calor [47].....	107
Figura 7.36 - Poupança anual por acumulador de calor.....	109
Figura 7.37 - Tarifas de acesso às redes [49].....	110
Figura 7.38 - Duração dos períodos porários para Portugal Continental [49].....	111
Figura 7.39 - Evolução mensal do consumo de energia elétrica ativa.....	113
Figura 7.40 - Evolução mensal dos consumos de energia elétrica por período horário.....	114
Figura 7.41 - Simulação das opções tarifárias BTE para o ano 2012.....	115
Figura 7.42 - Simulação das opções tarifárias MT para o ano de 2012.....	116
Figura 7.43 - Folha de cálculo para o dimensionamento das baterias de condensadores....	118
Figura 7.44 - Balanço térmico de um edifício [48].....	119
Figura 7.45 - Estado dos vãos envidraçados do edifício.....	120
Figura 7.46 - Comportamento do sol em função da estação do ano [48].....	120
Figura 7.47 - Sistema de estores orientáveis composto por lamelas [28].....	121

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Tipo de contratos entre ESCO e empresa que contrata os seus serviços [19]	21
Tabela 5.1 - Grupos de restituição de cores para cada intervalo de IRC [28].....	36
Tabela 5.2 - Características principais das lâmpadas incandescentes Convencionais [30]	38
Tabela 5.3 - Características principais das lâmpadas de Halogéneo [30]	39
Tabela 5.4 - Características principais das lâmpadas fluorescentes [30]	40
Tabela 5.5 - Tipos de lâmpadas e a sua área de aplicação [32]	46
Tabela 5.6 - Características técnicas e económicas das lâmpadas [32]	47
Tabela 6.1 - Perdas em função do fator de potência.....	63
Tabela 6.2 - Escalões de tensão	64
Tabela 6.3 - Estrutura dos escalões da energia reativa indutiva	65
Tabela 6.4 - Fatores multiplicativos [41]	66
Tabela 7.1 - Horário de Funcionamento do edifício dos Serviços Centrais	72
Tabela 7.2 - Distribuição de áreas por serviço do edifício dos Paços do Concelho.....	73
Tabela 7.3 - Sistema de iluminação artificial do Piso 1	79
Tabela 7.4 - Quantidade de equipamentos a aplicar	101
Tabela 7.5 - Consumo Energético real das lâmpadas com o respetivo equipamento auxiliar	103
Tabela 7.6 - Estimativa da poupança anual	104
Tabela 7.7 - Mapa de Cash-Flows das poupanças obtidas.....	105

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

ADENE	Agência para a Energia
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
CMM	Câmara Municipal de Matosinhos
CO2	Dióxido de Carbono
COP	Coefficiente de performance
DGE	Direção Geral de Energia
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DSI	<i>Digital Serie Interface</i>
EDP	Energias de Portugal
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ESCO	<i>Energy Service Companies</i>
EUA	Estados Unidos da América
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FRE	Fontes renováveis de energia
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IV	Infravermelho
LED	Díodos Emissores de Luz
MAT	Muito Alta Tensão
MT	Média Tensão
Mtep	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PIB	Produto Interno Bruto
PREn	Plano de Racionalização do Consumo de Energia
PT	Posto de Transformação
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
THD	Distorção Harmónica Total
UE	União Europeia
VAL	Valor Atual Líquido
WEO	<i>World Energy Outlook</i>

Lista de símbolos

C	Capacidade
Φ	Fluxo luminoso
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
Cd/m^2	Luminância
$\text{Cos } \varphi$	Fator de potência
f	Frequência
Hz	Hertz
I	Corrente
lux	Iluminância
P	Potência Ativa
Q	Potência Reativa
S	Potência aparente
tep	Tonelada equivalente de petróleo
U	Tensão
W	Watt

Capítulo 1

Introdução

Ao longo da história, o consumo energético a nível mundial tem vindo a aumentar, este consumo crescente tem sido satisfeito principalmente recorrendo aos combustíveis fósseis. Como a energia na sociedade moderna é um elemento essencial e vital para o desenvolvimento económico, este elevado consumo energético é, hoje em dia, apresentado como a principal causa das alterações climáticas que o planeta está a sofrer. O consumo de energia está na origem de 80% das emissões de gases que contribuem para o efeito de estufa na União Europeia (UE). [1]

Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa é uma necessidade urgente, no sentido de mitigar um problema, que se nada em contrário for feito, irá afetar drasticamente o modo de vida e as condições de habitabilidade do nosso planeta.

Para a manutenção dos padrões de vida das sociedades desenvolvidas, e as justas aspirações dos países em vias de desenvolvimento, sem comprometer o futuro das gerações vindouras, é necessário apostar nas energias renováveis, e no aumento da eficiência energética.

Pretende-se ao longo desta dissertação apresentar uma perspetiva geral da importância da eficiência energética nos edifícios públicos, com enfoque no edifício sede da Câmara Municipal de Matosinhos, conduzindo a uma solução para redução dos custos operacionais, e de um modelo para uma política sustentável.

1.1 - Objetivos

A redução e otimização dos custos operacionais, é hoje em dia, uma das principais preocupações dos gestores públicos. É neste sentido, que esta dissertação pretende caracterizar e analisar de uma forma crítica os consumos energéticos do edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos, propondo soluções para a redução e otimização desses recursos.

Este estudo visa recolher informação que possibilite fundamentar medidas de economia do consumo de energia, numa visão de eficiência energética e de utilização racional de energia, não só numa perspetiva de redução da fatura energética, mas também numa visão de desenvolvimento sustentável.

Através de uma auditoria ao edifício pretende-se conhecer os principais equipamentos consumidores de energia, assim como o seu estado de funcionamento, por forma a planificar

ações para redução de consumos. A análise dos contratos de fornecimento de energia numa perspectiva de redução da fatura energética representa um aspeto relevante, pois hoje em dia, num mercado liberalizado existe a necessidade de verificar se estes satisfazem as necessidades específicas do consumidor.

Esta dissertação pretende mostrar à Câmara Municipal de Matosinhos formas de utilizar a energia de um modo eficiente, assim como apresentar medidas que contribuem para atingir estes mesmos objetivos.

1.2 - Organização da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em oito capítulos. O presente capítulo identifica o contexto do trabalho, caracterizando os principais objetivos desta dissertação, assim como a metodologia utilizada.

O capítulo 2 projeta as perspetivas de evolução da procura de energia a nível mundial, assim como os fatores que a influenciam. Ainda neste capítulo é caracterizado o consumo de energia a nível nacional e a importância de um desenvolvimento sustentável.

O capítulo 3 refere a importância da gestão de energia nas autarquias, dando um enfoque aos processos de gestão de energia, ao tipo de auditorias e o papel do gestor de energia no processo de gestão de energia. Faz-se ainda referência à importância das *Energy Service Companies*.

O capítulo 4 apresenta de uma forma generalista as estratégias para a melhoria da eficiência energética nos edifícios, apresentando os pontos-chave para o aumento da eficiência energética.

O capítulo 5 é dedicado aos sistemas de iluminação, realçando o papel da luz na obtenção de boas condições de visão, segurança e orientação num ambiente de trabalho. Pretende-se dar a conhecer os conceitos base para um projeto luminotécnico, assim como as alternativas e equipamentos disponíveis para o domínio e controlo da luz.

O capítulo 6 apresenta os conceitos relacionados com a compensação do fator de potência, evidenciando as vantagens e modos de compensação. Analisa também o novo regime de faturação da Energia reativa em vigor.

O capítulo 7 é dedicado à apresentação de resultados decorrente da auditoria feita ao edifício dos Paços de Concelho de Matosinhos, com o objetivo de aumentar a eficiência energética do edifício e a utilização racional de energia. Ainda neste capítulo é apresentado as ferramentas utilizadas e desenvolvidas para apoio do estudo em causa.

Finalmente o capítulo 8, mostra as conclusões finais do trabalho realizado e as propostas de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Perspetivas Futuras

2.1 - Introdução

O ritmo de crescimento global dos últimos anos fez com que a procura de energia tenha disparado, tornando a energia essencial para o desenvolvimento económico e social.

A evolução da economia para os próximos anos continua incerta, existe o receio de uma nova recessão, dificultando a predição correta do panorama energético a médio prazo. Os últimos anos ficaram marcados por mudanças das ações políticas, com a negociação de acordos internacionais sobre as alterações climáticas e o desenvolvimento de tecnologias para redução das emissões de gases. Este panorama promete impulsionar a necessária transformação do sistema de energia mundial, apesar de persistirem as dúvidas quanto à execução de recentes compromissos políticos.

2.2 - Consumo de Energia um Desafio Mundial

A demografia de um país, entre outros fatores, afeta diretamente o potencial de crescimento da economia, assim como o potencial da sua economia funcionar como motor de crescimento e desenvolvimento da economia global. As Nações Unidas preveem que a população mundial aumente de 7 bilhões para mais de 9 bilhões em 2050. A figura 2.1 ilustra essa mesma perspectiva de crescimento mundial, nos diversos continentes desde 1950 até 2100.

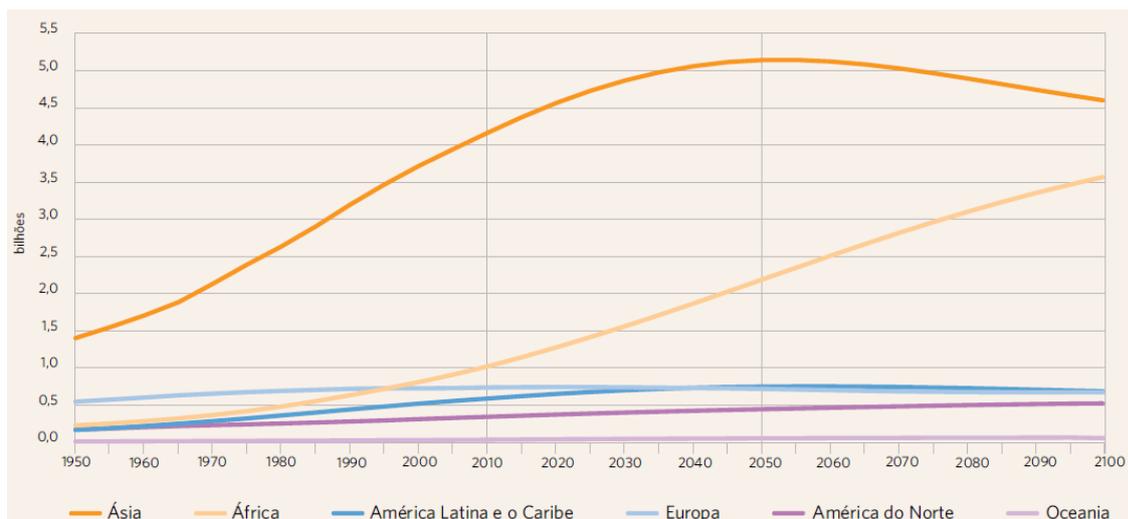


Figura 2.1 - Estimativa e projeção da população por área geográfica [2]

A Ásia continuará a ser a mais populosa das principais áreas geográficas mundiais durante o século XXI, mas a África avançará, sendo que, a sua população passa de 1 bilião, em 2011, para 3,6 biliões em 2100. Em 2011, 60% da população mundial vivia na Ásia e 15% na África, mas este último continente, tem uma taxa de crescimento demográfico de 2,3% ao ano, mais que o dobro da população asiática (1% ao ano). Prevê-se que nas restantes áreas demográficas (Américas, Europa e Oceânia) o somatório das populações chegue a 1,7 biliões em 2011, podendo alcançar quase 2 biliões em 2060. É de referir também, que a população europeia possa alcançar um pico populacional, por volta de 2025, de 740 milhões de pessoas, existindo um declínio a partir dessa mesma data. Um crescimento populacional significa um aumento do consumo, de energia e de água porque haverá mais e maiores cidades, mais transportes, etc. [2]

Um outro indicador explicativo para o aumento esperado da procura de energia é a taxa de crescimento do PIB mundial, como podemos observar na figura 2.2, o maior crescimento económico ocorrerá nos países não membros da OCDE.

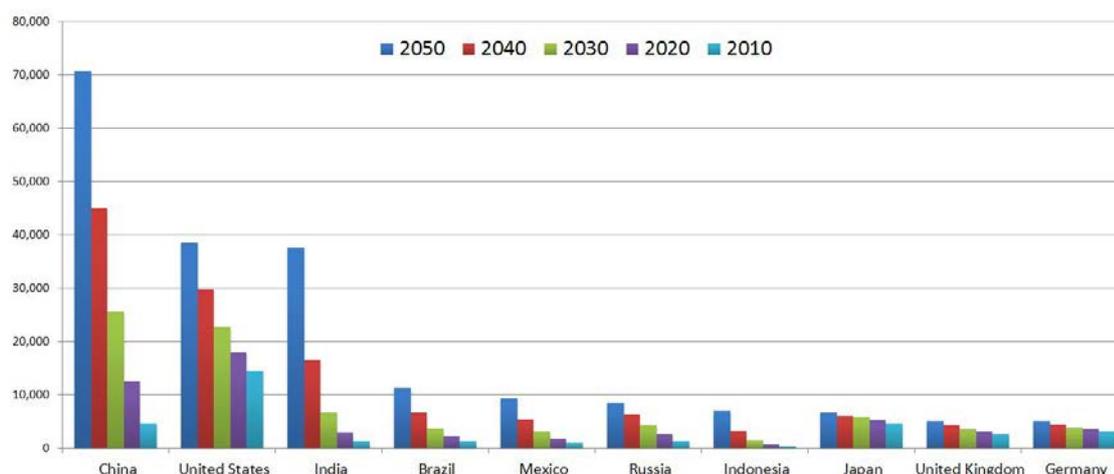


Figura 2.2 - Crescimento do PIB mundial, em milhões de dólares [3]

Prevê-se que no ano 2050 a China e a Índia ocupem respetivamente o primeiro e terceiro lugar, com o maior PIB mundial. Uma rápida taxa de crescimento económico, esperado pela China e Índia, assim como um aumento da produção industrial, da população e da urbanização farão com que estes países sejam, entre o ano 2008 e 2035, responsáveis por o maior crescimento da procura mundial de energia primária. [4]

Os dados publicados pela *International Energy Agency* (IEA) no *World Energy Outlook* (WEO) 2010, que fornece projeções atualizadas sobre a procura, a produção, o comércio e o investimento no domínio da energia, prevê que a procura de energia primária prevista aumente 36% entre 2008 e 2035, crescendo aproximadamente de 12 300 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) para 16 700 Mtep, como se pode observar na figura 2.3.

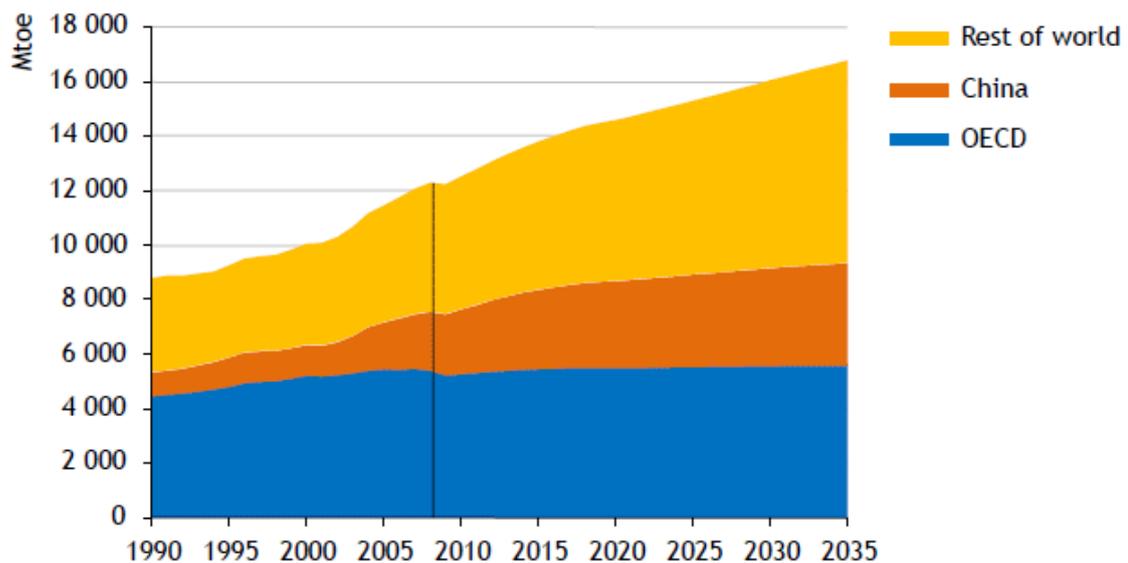


Figura 2.3 - Demanda de energia primária mundial [4]

De acordo com a mesma agência, os países não pertencentes à OCDE representam 93% do crescimento da procura mundial de energia primária, entre 2008 e 2035. A China nos últimos dez anos, é responsável por 36% do crescimento previsto na utilização de energia global e a sua procura aumenta 75% entre 2008 e 2035. Em 2035, a China representará 22% da procura mundial e a Índia será o segundo maior contribuidor, representando 18% dessa procura. Porém, por volta do ano 2035, os Estados Unidos são ainda o segundo maior consumidor de energia do mundo, a seguir à China, estando muito à frente da Índia que ocupa o terceiro lugar. [4]

De um modo geral, estas perspetivas da procura de energia terão uma forte influência das ações políticas dos governos e da maneira como essas ações influenciam o desenvolvimento da tecnologia, assim como, o preço dos serviços energéticos e o comportamento dos utilizadores finais.

2.3 - Caracterização Energética de Portugal

Os combustíveis fósseis são utilizados na generalidade dos países desenvolvidos para assegurar uma parte significativa das suas necessidades energéticas. Portugal como não possui recursos minerais para que este se torne autossuficiente em termos energéticos, recorre a importação de carvão, gás natural e petróleo, para satisfazer as suas necessidades de energia primária, ficando dependente do exterior e da instabilidade dos preços destes combustíveis.

De acordo com ministro da economia no ano de 2010 (Vieira da Silva), o défice energético representa um valor que oscila entre 2,5 e 5% do PIB, sendo responsável por uma parte do endividamento externo, defendendo a importância do aproveitamento dos recursos endógenos, para diminuição da dependência energética externa. [5]

Um indicador fundamental para a análise de uma política energética é a dependência energética. Este indicador define em percentagem o valor do consumo energético que é suprimido a partir de fontes importadas, face ao consumo total de energia. De um ponto de vista meramente económico, este fator não seria por si só um problema, pois se a criação de valor de que o país se pudesse apropriar pela utilização destas mesmas fontes de energia, fosse superior ao custo das mesmas, sob o ponto de vista meramente económico isso seria sempre positivo. O que acontece, é que estas questões nunca podem ser vistas de uma forma tão simples, e há outros fatores a considerar:

- Em ocasiões de crises petrolíferas, as questões de dependência energética comportam risco de segurança e soberania nacional.
- A utilização de diferentes tipos de energia, tem impactos diferentes na saúde pública e no ambiente.
- A utilização de fontes renováveis de energia (FRE) tem impactos positivos a nível ambiental e social, pois criam mais empregos em comparação com a produção de energia a partir de fontes convencionais.

A dependência energética de Portugal face ao exterior tem vindo a decair desde 2005, ano que ficou marcado pelo reforço das políticas de incentivo às energias renováveis, este indicador passou de 89% para 76,7% no ano de 2010, como referido na figura 2.4.

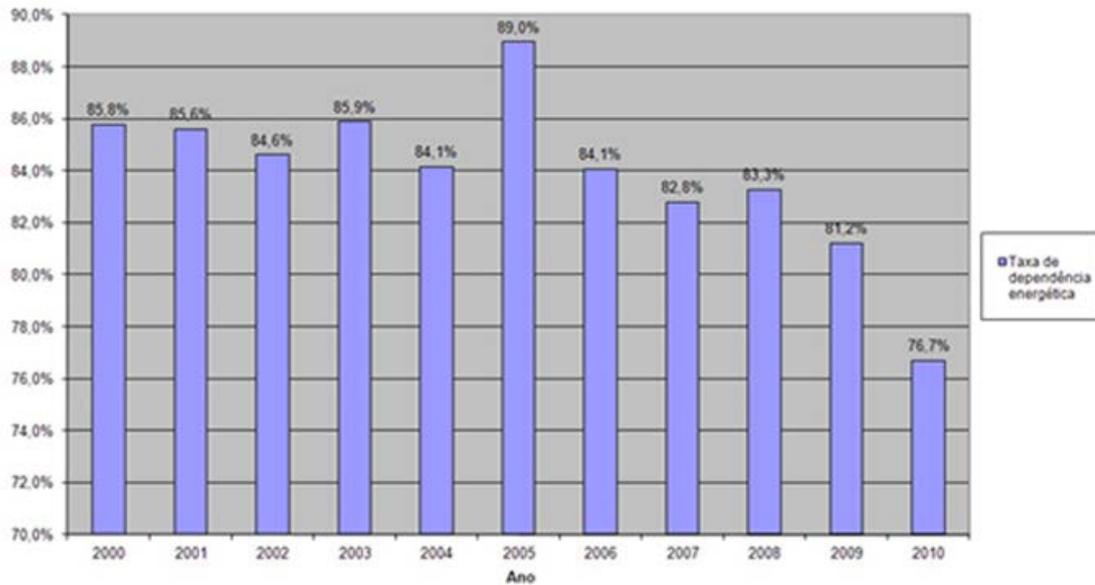


Figura 2.4 - Taxa de dependência energética de Portugal [6]

As energias renováveis além de apresentarem impactos positivos, ao nível social e ambiental, acentuam a tendência de descida da dependência energética, refletindo-se o peso crescente que estas têm na matriz energética do país (23,1% no ano de 2010). [6]

No total do consumo de energia primária, o petróleo tem um papel essencial na estrutura de abastecimento (figura 2.5), no ano de 2010 aquele representava 49,1% do consumo total de energia primária, sendo que a sua procura tem vindo a diminuir muito devido ao preço ascendente desta energia fóssil. Na última década, o gás natural, contribuiu para a diversificação da estrutura da oferta, por forma a reduzir a dependência do petróleo, representando 19,7% do total do consumo em energia primária no ano 2010. O consumo do carvão nesse mesmo ano representou 7,2% do consumo total de energia primária, sendo principalmente utilizado na produção de eletricidade. Prevê-se uma redução progressiva no consumo de carvão, devido às elevadas emissões de CO₂ libertadas pela queima deste combustível. [6]

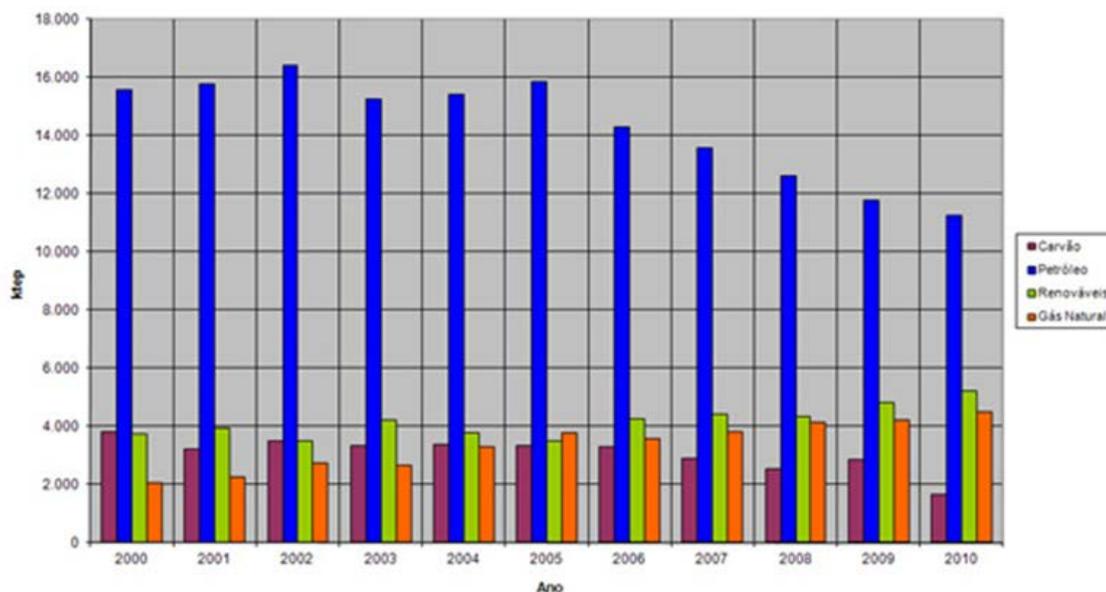


Figura 2.5 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal [6]

Outro indicador fundamental é a intensidade energética, este relaciona o consumo de energia de um país e o seu respetivo PIB. Isto é, quanto maior for a intensidade energética, menor será a eficiência energética do país em causa, pois para produzir uma unidade de riqueza, gasta mais energia do que outro país com menor valor de intensidade energética.

No caso de Portugal, este ocupa a 14^a posição, na União Europeia constituída por 27 países, como podemos observar na figura 2.6.

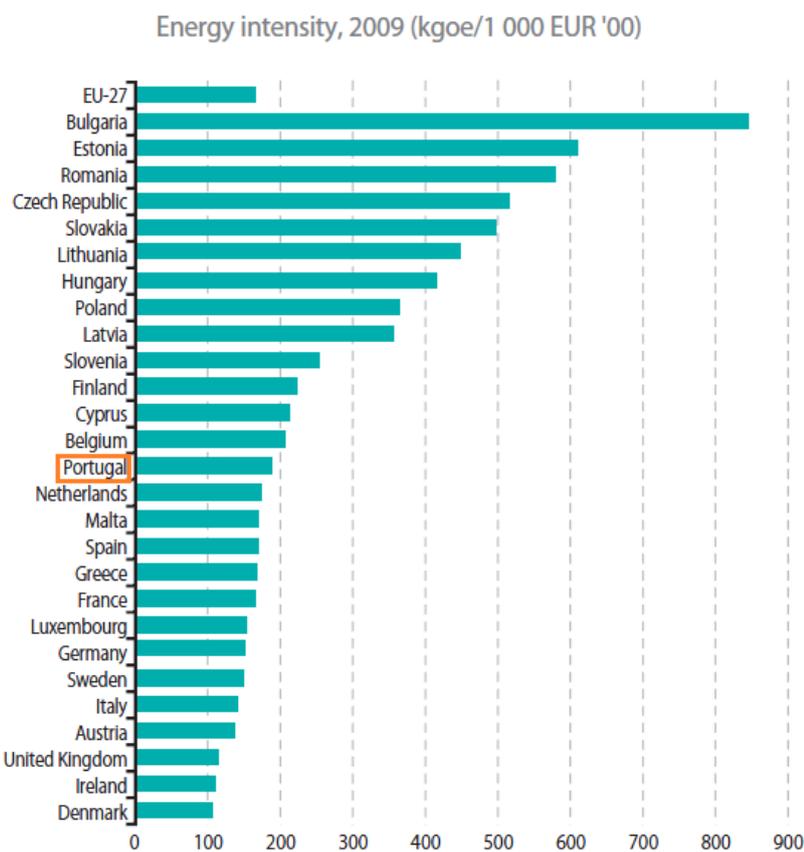


Figura 2.6 - Intensidade energética, em quilograma de petróleo equivalente por mil euros de PIB [7]

A intensidade energética é influenciada por um conjunto vasto de variáveis, como a eficiência energética em dispositivos e edifícios através de novas técnicas de construção e novos materiais, a eficiência no consumo de combustível nos veículos ou a distância média percorrida por estes, os padrões e métodos de transporte, as políticas de poupança ou de racionamento de energia, etc.

No que diz respeito ao consumo de eletricidade, no ano 2011, o mesmo situou-se em 50,5 TWh, sendo que 46% da energia produzida, nesse ano, é proveniente de fontes renováveis (eólica 18%, hídrica 22% e outras renováveis 6%), inferior aos 52% do ano anterior, muito devido às condições meteorológicas do ano 2010, como se pode visualizar na figura 2.7. [8]

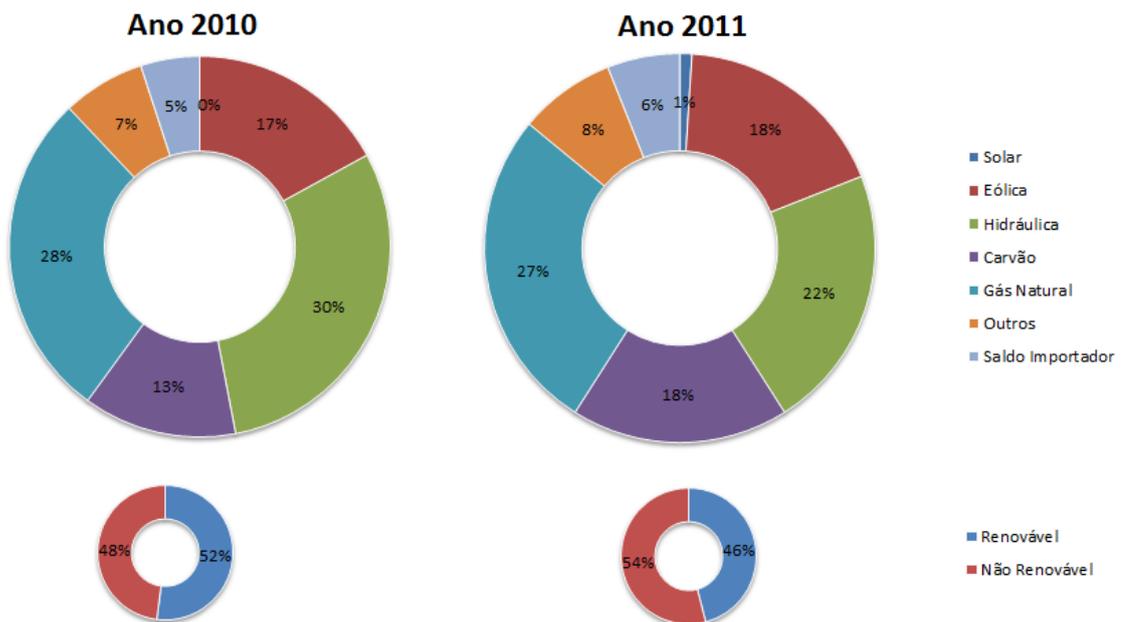


Figura 2.7 - Repartição da produção de eletricidade nos anos 2010 e 2011 [8]

Analisando o consumo de energia por setor para o ano de 2010 (ver figura 2.8) verifica-se que a maior fatia do consumo de energia está destinada aos transportes, seguindo-se a indústria, o setor doméstico e só depois os serviços com 11,4% do total de energia consumida nacional, como podemos visualizar na figura 2.8.

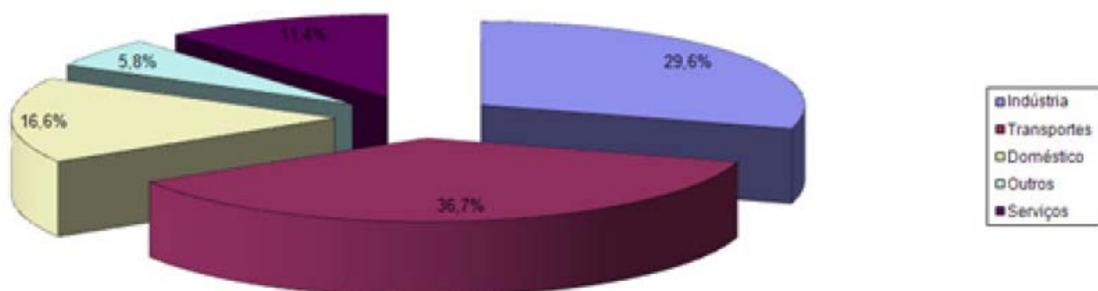


Figura 2.8 - Desagregação dos consumos energéticos portugueses por setor de atividade ano 2010 [6]

O consumo no setor dos transportes teve um grande aumento entre 1990 e 2000. No entanto nos últimos anos, é no setor dos serviços onde tem havido o maior aumento do consumo de energia final, o que pode dar uma indicação de que é este o setor que precisará de ser estudado com mais detalhe em termos de medidas de eficiência energética. [6]

2.4 - A importância do Desenvolvimento Sustentável

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu no final do século XX, pela constatação de que o desenvolvimento económico deverá ter em conta o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida. Vários autores procuraram definir este conceito, onde facilmente se identificam pontos comuns entre as diferentes definições, mas segundo a definição de Bruntland¹, *“Desenvolvimento Sustentável é aquele que permite às gerações presentes suprirem as suas necessidades, sem comprometer a capacidade das gerações futuras fazerem o mesmo.”*

Posto isto, existem várias regras para um desenvolvimento sustentável, nas quais se realçam:

- A exploração dos recursos renováveis não deve ultrapassar os ritmos de sua regeneração
- Deve-se minimizar as emissões de resíduos poluentes, não excedendo a capacidade de absorção e de regeneração dos ecossistemas.
- Os recursos não renováveis devem ser explorados de um modo quase sustentável limitando o seu ritmo de esgotamento ao ritmo de criação de substitutos renováveis.
- Os resíduos de algumas atividades económicas podem servir em muitos casos como matérias-primas para outras atividades, assim sempre que possível deverá ser feita a reutilização e reciclagem dos resíduos resultantes da utilização de recursos não renováveis.

De um modo geral a sustentabilidade é fruto de uma harmonia entre o desenvolvimento económico, social e ambiental (ver figura 2.9). A interligação destes fatores resumem-se a um conceito de equidade intra e intergerações, tendo por base a mudança estrutural a longo prazo na economia e no sistema social, com o objetivo de reduzir o consumo dos recursos naturais mantendo o potencial económico e a coesão social. [9]

¹ Bruntland - *Commission on Environment and Development (WCED)*, tem como missão unir os países em busca de um desenvolvimento sustentável.

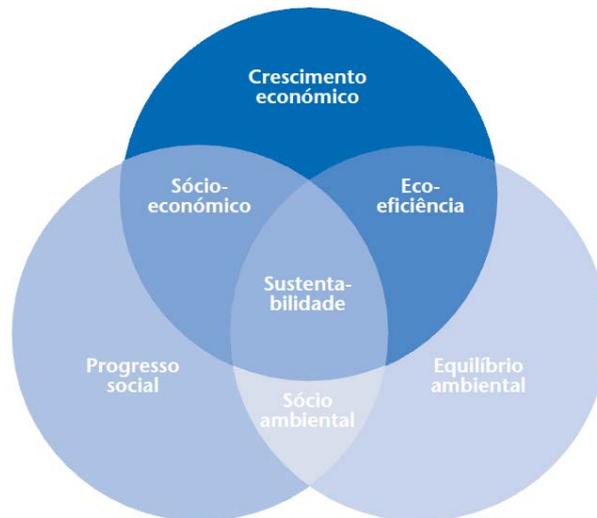


Figura 2.9 - Os Pilares para um desenvolvimento sustentável [9]

Nem sempre é fácil conseguir um equilíbrio entre os parâmetros envolvidos, principalmente devido a necessidade crescente de energia que a sociedade hoje em dia necessita, tornando-se um desafio para a nossa sociedade.

2.4.1 - Estratégias para um Desenvolvimento Sustentável

Um desenvolvimento sustentável necessita da alteração das opções tecnológicas e de comportamentos, para evitar consequências negativas para a sociedade, sendo que uma política ambiental não tem de travar o crescimento económico. Desta forma para alcançar um desenvolvimento sustentável existem três estratégias que podemos aplicar:

- Aumento da eficiência energética;
- Aumento das energias renováveis;
- Fixação do CO₂.

Estas estratégias têm como objetivo minimizar os impactos ambientais da produção de energia, permitindo a possibilidade de um maior investimento em novas tecnologias por forma a minimizar os gases libertados para a atmosfera. Estas estratégias serão abordadas com mais detalhe já de seguida para melhor compreensão da sua importância para um desenvolvimento sustentável. [9]

2.4.1.1 - Eficiência Energética

Nenhuma política energética com vista a um desenvolvimento sustentável pode ser desenvolvida sem que haja um enfoque desta sobre a eficiência energética. Segundo a Comissão Europeia, existe um potencial económico de redução de energia através da eficiência energética, estimado em mais de 18% do consumo total da União Europeia. Este Potencial é aproximadamente equivalente ao consumo de energia total da Áustria, Bélgica, Dinamarca, Finlândia, Grécia e Holanda, combinadas.

Pode identificar-se eficiência energética como uma estratégia de consumir o mínimo possível para a realização de qualquer trabalho, quer através da supressão de consumos, quer

através da utilização de tecnologias mais eficientes. Existem vários sectores como os edifícios os transportes ou a indústria, em que se pode atuar com ações de cariz técnico, ou mesmo através da mudança de comportamentos dos utilizadores. A aplicação de medidas políticas eficazes, podem reduzir de forma significativa os níveis de intensidade energética e as emissões de gases de efeito de estufa.

Dentro da eficiência energética, e das características multidisciplinares que um planeamento energético apresenta, existem algumas questões no aspeto da gestão local que merecem uma análise particular, nomeadamente na gestão de energia dos equipamentos municipais, e nas campanhas de sensibilização de utilização eficiente de equipamentos, pois existe a necessidade de mudança de comportamentos de cada individuo para atingir um desenvolvimento sustentável para o planeta. As campanhas de comunicação e sensibilização são essenciais para a criação de uma consciencialização coletiva de que a concretização destas ações é um benefício mútuo de todos os envolvidos. O que se verifica em muitos casos é que as pessoas já têm uma consciência sobre a problemática ambiental, e estão dispostas a colaborar, mas muitas vezes não sabem o que fazer nesse sentido.

A quantificação das poupanças e dos impactos gerados pelas ações das campanhas de comunicação e sensibilização, são de difícil contabilização, mas estas apresentam um papel fundamental de um planeamento energético com vista a um desenvolvimento sustentável. [10]

2.4.1.2 - Energias Renováveis

O aproveitamento das fontes de energia endógenas inesgotáveis, que existem em qualquer parte do mundo, deve fazer parte de qualquer planeamento energético urbano que pretenda ser sustentável.

Thomas Edison em conversa com Henry Ford e Harvey Firestone, em 1931, disse: *"We are like tenant farmers chopping down the fence around our house for fuel when we should be using Nature's inexhaustible sources of energy – sun, wind and tide. ... I'd put my money on the sun and solar energy. What a source of power! I hope we don't have to wait until oil and coal run out before we tackle that"*.

É interessante que já em 1931, se pensava no aproveitamento das fontes de energia endógenas, mesmo antes das crises petrolíferas, numa época em que o conhecimento e a tecnologia existente eram incomparáveis às existentes nos dias de hoje. Mesmo assim hoje em dia, ainda não retiramos todo o potencial destas fontes de energia. Este tipo de fontes de energia pode ser uma solução para a resolução de vários problemas comuns de qualquer município, principalmente nas zonas urbanas, pois estas estão associadas a uma série de vantagens, das quais se destacam:

- Criação de emprego
- Melhoria do ambiente
- Segurança no fornecimento energético
- Redução da dependência externa
- Melhoria do balanço energético
- Aumento da eficiência do sistema energético

Como se pode verificar, estes fatores são benéficos para um aumento da competitividade económica da região onde estão estabelecidos. De acordo com cenários da Comissão

Europeia, 1% do investimento anual suplementar aplicado no setor das energias renováveis na UE, permitiria criar ou manter 10 000 ou 16 000 empregos, reduzir as emissões totais de CO₂ em 0,5 a 0,7%, reduzir as importações de energia não renovável na UE em 0,6% ao ano, e por último, gerar um benefício líquido para a economia da UE, de 300 a 500 milhões de euros por ano. [10]

2.4.1.3 - Redução das Emissões do CO₂

A partir da década de 90, as alterações climáticas passaram a fazer parte da agenda política mundial, sendo o combate a este fenómeno um dos principais desafios a nível mundial. É necessário a tomada de medidas a nível mundial para estabilizar a subida da temperatura na superfície da terra, pois a temperatura média mundial é já quase 0,8°C superior à da era pré-industrial. Existe um consenso científico e político, reconhecido no âmbito do Acordo de Copenhaga, quanto ao facto de o aquecimento não poder exceder os 2°C se queremos evitar que as alterações climáticas atinjam níveis perigosos.

A UE teve um papel fundamental na elaboração dos dois tratados internacionais sobre as alterações climáticas, a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas de 1992 e o Protocolo de Quioto aprovado em 1997. Estes dois tratados contribuíram para a redução global de emissões de gases que provocam o efeito de estufa.

O protocolo de Quioto, que sucede à Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas, é um dos instrumentos jurídicos internacionais mais importantes na luta contra as alterações climáticas. Integra os compromissos assumidos pelos países industrializados de reduzirem as suas emissões de determinados gases com efeito de estufa responsáveis pelo aquecimento planetário. As emissões totais dos países desenvolvidos devem ser reduzidas em, pelo menos, 5% em relação aos níveis de 1990, durante o período 2008-2012. [11]

Com o fim do protocolo de Quioto previsto para 2013, a UE (em Dezembro de 2009) apoiou o Acordo de Copenhaga considerando que este representa o primeiro passo para um tratado global juridicamente vinculativo, comprometendo-se:

- Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em, pelo menos, 20% relativamente aos níveis de 1990;
- Aumentar a utilização das energias renováveis para 20% da produção energética total;
- Reduzir o consumo de energia em 20%, com um aumento da eficiência energética.

As estratégias anteriores anunciadas (intensificação da eficiência energética e aumento das energias renováveis) terão um papel importante para o cumprimento do Acordo de Copenhaga. [12]

2.5 - Conclusões

A utilização racional de energia é hoje um dos principais desafios, que a sociedade moderna enfrenta. O desenvolvimento dos países modernos baseia-se no elevado consumo dos recursos de origem fóssil, com o aumento da população principalmente nos países em desenvolvimento e o crescimento económico desses mesmos países, levam um aumento da necessidade de energia. Desta forma, existe a necessidade de mudança de rumo no paradigma energético, por forma a garantir o equilíbrio ambiental e o sucesso económico.

O desenvolvimento sustentável é por isso, uma boa forma de encontrar um equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida, sem comprometer o desenvolvimento económico. Esta estratégia passa por um maior investimento na eficiência energética, e por o aumento das energias renováveis, colocando um desafio aos governos, às instituições e às empresas.

Portugal tem feito um esforço para baixar a sua dependência energética, muito devido ao forte investimento nas energias renováveis principalmente para a produção de eletricidade. Quanto à intensidade energética ainda existe muito a fazer, é necessário uma mudança de comportamento na utilização dos transportes, assim como investir na eficiência energética no setor dos serviços pois é neste setor que tem existido um maior aumento no consumo de energia nos últimos anos.

Capítulo 3

Gestão de Energia

3.1 - Introdução

Conforme os dados da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) referentes ao ano de 2010, o setor dos serviços representa 11,4% do consumo de energia consumida a nível nacional. Dentro desta fatia encontra-se o consumo das autarquias, que devido ao seu estatuto deveria desempenhar um papel exemplar na economia e eficiência de energia entre os cidadãos. Nos dias de hoje, em que diminuir a despesa pública é uma prioridade, a eficiência energética nos municípios é um instrumento adequado para a otimização do consumo de energia e conseqüentemente a redução da fatura energética.

Para um planeamento energético eficaz é necessário que o município efetue um levantamento de dados relativos ao uso de energia nos diversos edifícios, por forma a criar uma metodologia de ações visando a redução do desperdício de energia. Estima-se que exista um potencial de poupança de energia em cerca de 20% no consumo de energia, através da implementação de medidas de eficiência energética. [13]

3.2 - Processo de Gestão de Energia

Não existe nenhum processo *standard* para o processo de gestão de energia, pois existem diferentes métodos que podem ser desenvolvidos com níveis de complexidade diferentes. Desta forma, o gestor de energia deverá escolher o melhor método em função da complexidade da instalação consumidora que este se encontra a gerir. É fundamental que o método utilizado permita:

- Medir o consumo de energia e o custo associado, tanto a nível global como por setor da instalação;
- Determinar o peso da energia no preço final do produto ou serviço;
- Analisar a situação existente, para determinar pontos de ação e estratégias, para atingir as metas;
- Avaliar e acompanhar a rentabilidade dos investimentos em eficiência energética.

A figura 3.1 apresenta uma possível metodologia para a execução de um processo de gestão da energia, vocacionando especialmente para instalações já existentes: [14]

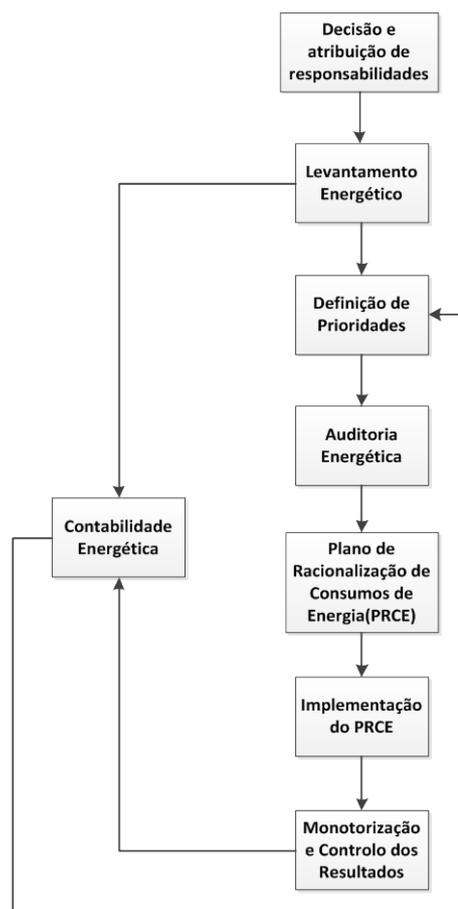


Figura 3.1 - Processo de gestão de energia [14]

3.3 - Auditorias Energéticas

A auditoria energética consiste numa abordagem transversal de todos os aspetos relacionados com a utilização de energia. Este termo é utilizado para descrever um conjunto de estudos energéticos que variam desde uma simples vistoria das instalações, para identificar possíveis problemas, até uma análise detalhada de medidas alternativas de eficiência energética para satisfazer os critérios financeiros dos investidores mais exigentes.

As auditorias energéticas têm como objetivo caracterizar energeticamente a instalação elétrica e os respetivos equipamentos, identificando e estudando medidas a introduzir tendo em consideração a viabilidade técnico-económica, de modo a minimizar os consumos energéticos necessários à sua atividade. Para tal, torna-se necessário elaborar um plano estratégico de intervenção que defina as decisões a serem tomadas assim como os objetivos a alcançar no que respeita à redução dos consumos energéticos e naturalmente à redução do peso da fatura energética. [14]

Através da auditoria energética é possível identificar onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia. Após a realização da auditoria torna-se necessário a elaboração de um relatório, onde se descreve pormenorizadamente o estado das instalações, processos ou equipamentos, assim como recomendações de medidas de intervenção e a sua viabilidade.

Existem diferentes tipos de auditorias energéticas, estas variam consoante o grau de detalhe, e por essa razão têm, também, associados diferentes custos. De seguida são apresentados os tipos de auditorias energéticas. [14]

3.3.1 - Auditoria Preliminar

A auditoria preliminar, também chamada de diagnóstico energético, é o tipo de auditoria mais rápida e elementar. Este tipo de auditoria recorre a vistorias ao local de forma a identificar possíveis áreas de desperdício ou de ineficiência energética. Analisa também as faturas energéticas, comportamento dos utilizadores e outros dados considerados importantes. Os problemas com maior visibilidade são detetados, e as medidas corretivas são descritas sucintamente assim como os custos estimados da sua implementação, o potencial de poupança e os períodos de retorno do investimento da implementação das medidas são calculados de forma simplificada.

Este tipo de auditoria é relevante para uma fase inicial de gestão energética pois permite estabelecer prioridades de atuação e determina a necessidade de auditoria mais detalhada. [14]

3.3.2 - Auditoria Geral

A auditoria geral é um desenvolvimento da auditoria preliminar, já que recolhe informações detalhadas sobre as operações e realiza uma avaliação sobre as medidas de eficiência energética identificadas. A análise das faturas energéticas, referentes a um período que pode chegar aos 36 meses, permite ao auditor identificar os perfis de utilização de energia da instalação e as suas necessidades. Para a obtenção de informações adicionais pode ser realizado medições adicionais a sistemas consumidores de energia específicos.

Este tipo de auditoria permite identificar todas as medidas de conservação de energia apropriadas para os parâmetros de operação da instalação em questão. É realizado uma análise de investimento detalhado para cada medida no custo de implementação, no potencial de poupança a atingir e no critério de investimento do cliente. Toda a informação que sirva para justificar a implementação do projeto é fornecida. [14]

3.3.3 - Auditoria Detalhada

A auditoria detalhada, ou auditoria técnica, estende-se da auditoria geral, criando um modelo dinâmico da utilização de energia nas condições atuais de exploração e também para todas as medidas de eficiência energética identificadas. Este modelo é calibrado de encontro com os dados reais de serviço, fornecendo uma base realista para o cálculo das reduções de custos associados às medidas propostas. Todos os sistemas consumidores de energia são analisados assim como as situações que possam causar variações nos perfis de carga em bases diária e anual. [14]

3.4 - Gestor de Energia

A complexidade da gestão de energia em edifícios públicos, não só na administração central mas também nos municípios, torna recomendável a nomeação de um técnico especializado para fazer a promoção e gestão da utilização racional de energia, designado como Gestor de Energia.

O gestor de energia tem como objetivo elaborar e implementar um sistema de procedimentos e de fluxo de informação (sistema de gestão de energia) para saber onde e como a energia é consumida e os seus respetivos custos. Com base na informação recolhida este deverá elaborar um plano com a definição de objetivos, metas a atingir e os recursos necessários. Neste contexto, este deve ter conhecimento das tecnologias e ações a empreender para poupar energia, deve integrar os pontos de vista técnico, energético e financeiro de todos os edifícios e instalações que esteja a gerir, tendo em conta a complexidade das diversas questões a abordar. Este deve ter também um comportamento imparcial, independente e sem interesses próprios, devendo ser absolutamente isento à contratação de serviços.

Genericamente, cabe ao gestor de energia a análise dos contratos de fornecimento de energia, a realização de auditorias ao consumo energético, auditorias ao estado do equipamento, e divulgação de uma cultura de poupança de energia.

Hoje em dia, num mercado liberalizado no fornecimento de energia (eletricidade, gás ou combustíveis), existe a necessidade de verificar se os contratos satisfazem as necessidades específicas dos utilizadores. O gestor de energia tem por isso o dever de verificar e monitorizar os termos dos contratos, selecionando as tarifas mais convenientes, adaptando os contratos às necessidades atuais, e dessa forma obter poupanças significativas.

Igualmente importante é a função da auditoria ao consumo de energia e ao estado do equipamento. Analisar as faturas de eletricidade e gás, para verificar padrões de consumo e fazer uma análise de consumos por setores, serve de base para delinear possíveis estratégias de otimização e detetar as áreas mais relevantes de consumo.

Para minimizar as perdas de energia nos equipamentos é necessário que o gestor de energia acompanhe as ações de manutenção em cooperação com o departamento de manutenção. Deverá existir um planeamento de intervenções assim como um registo histórico das intervenções de manutenção concretizadas, assegurando a correta manutenção do equipamento.

Por fim, o gestor de energia deve promover uma cultura de eficiência energética, divulgando, motivando e sensibilizando os utilizadores para uma mudança de comportamento, para que estes possuam uma atitude racional na utilização da energia.

Após a tomada destas medidas urge a necessidade de avaliar o sucesso ou insucesso das medidas efetuadas, para retirar as devidas conclusões para no futuro obter melhores resultados. [13] [15]

3.5 - Energy Service Companies

Para um uso eficiente da energia, em muitos casos, é necessário fazer um investimento, que nem sempre as empresas têm capacidade financeira ou técnica para os efetuar. De modo a contornar este problema é possível recorrer a empresas especializadas nesta matéria. Estas empresas tratam de todos os procedimentos legais e técnicos, apresentando formas de poupar energia tornando este processo atrativo do ponto de vista económico.

As *Energy Service Companies* (ESCO) nasceram depois da crise energética de 1970, mas o seu desenvolvimento em grande escala só ocorreu entre 1980 e 1990. Estas Empresas são fornecedoras de serviços de energia e/ou eficiência energética com recurso a meios próprios, que partilham os riscos financeiros e de exploração com o cliente. O pagamento do serviço prestado tem por base, o cumprimento de objetivos económicos de racionalização de custos provenientes de uma eficiência energética.

Uma empresa ESCO fornece ao cliente as soluções técnicas adequadas assim como os recursos financeiros necessários para a concretização do seu projeto de eficiência energética. A ESCO financia o total ou parte do equipamento técnico a instalar, durante as fases necessárias ao desenvolvimento do projeto e fica responsável pela gestão e exploração de instalação durante o período necessário para o retorno do investimento.

A retoma do investimento da ESCO é conseguida através dos custos de energia evitados, ao longo de um determinado período de tempo contratado (ver figura 3.2), durante esse período a ESCO “comporta-se como proprietária” sendo responsável pela exploração do projeto. Após esse período a responsabilidade pela exploração da instalação retoma para o cliente, sendo que a intervenção da empresa pode ser suspensa ou prolongada através da celebração de um novo contrato. [16] [17]

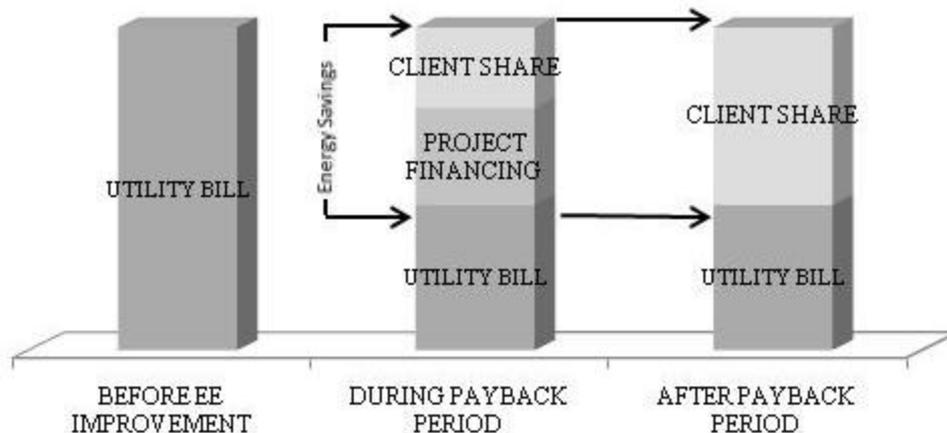


Figura 3.2 - Distribuição das poupanças de energia obtidas através das medidas de eficiência energética [17]

Para a concretização das medidas de racionalização de energia as ESCO implementam boas práticas de gestão de energia, substituição de equipamentos, calibração de equipamentos já existentes e implementação de novas soluções. Entre as suas principais competências, destacam-se: [18]

- Elaboração e financiamento de projetos de eficiência energética;
- Instalação e manutenção dos projetos executados;
- Aceitação do risco do projeto, baseando a sua faturação nas poupanças conseguidas;
- Monitorização e verificação das economias obtidas;
- Garantia de resultados.

O projeto elaborado por uma ESCO tem várias fases de desenvolvimento (ver figura 3.2), em que a colaboração do cliente representa um elemento fundamental para o sucesso do projeto.

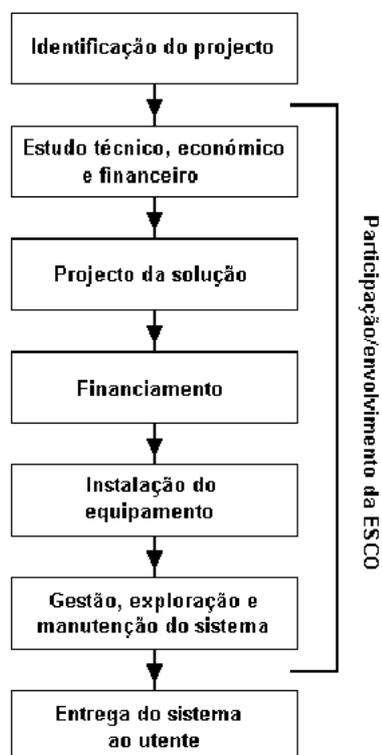


Figura 3.3 - Fases de um projeto ESCO [16]

As relações contratuais entre a ESCO e o cliente são estabelecidas através de um Contrato de Eficiência, que identifica o período de permanência da ESCO frente da exploração, a fórmula de pagamento em função dos custos de energia evitados, as obrigações e direitos relativamente à exploração e manutenção do sistema, as condições de acesso e controlo da informação relativa à produção de energia, e por último, contemplar eventuais modificações nas fórmulas de pagamento. [16]

Existem vários tipos de contratos que podem ser celebrados com as ESCO, estando alguns destes identificados na tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Tipo de contratos entre ESCO e empresa que contrata os seus serviços [19]

Tipo de Contrato	Descrição
1. Contrato de desempenho	A ESCO contratada é renumerada em função das poupanças geradas nos projetos por ela implementados, garantindo por isso uma determinada performance técnica do projeto.
1.1 Contratos de poupanças garantidas	O contrato celebrado entre a ESCO e o cliente garante um determinado nível de poupanças, tendo em conta uma margem de segurança, no entanto o investimento é suportado pela empresa detentora do edifício. A ESCO fica, assim, com o risco de performance mas não assume o risco do reembolso ao cliente.
1.2 Contratos de economias partilhadas	A empresa contratada assume o empréstimo. Existe um desempenho mínimo definido e a ESCO recebe uma percentagem das poupanças geradas durante um período de tempo definido ou até receber um determinado valor.
1.3 <i>Chauffage</i>	A ESCO é responsável pelos serviços contratados entre ambas as partes e recebe de acordo com as poupanças geradas previstas.
1.4 <i>Build-Own-Operate-Transfer</i>	A ESCO assume a titularidade dos sistemas, transferindo-os para o cliente ao fim de um período de tempo definido.
2. Contratos de fornecimento de serviços	O preço a pagar à ESCO pelo projeto é previamente definido. Se a ESCO realizar mais algum serviço que não esteja incluído no contrato original, é paga por isso.

Existem muitas vantagens na aplicação de um projeto de utilização racional de energia elaborado por uma ESCO: [16]

Vantagens técnicas

- Redução da fatura energética do cliente, pois a remuneração da ESCO depende desse fator;
- Boa execução técnica do projeto, pois uma ESCO possui uma equipa técnica qualificada com o *know-how* e as ferramentas adequadas para a execução do projeto;
- O cliente não tem nenhuma responsabilidade técnica sobre o projeto, não arrecadando com qualquer prejuízo económico, pois a ESCO é responsável por as eventuais falhas técnicas.

Vantagens económicas

- Aquisição de equipamentos com melhores condições económicas e técnicas pela ESCO, devido ao seu maior volume de compras, significando um projeto com menores custos;
- Redução dos custos operacionais por parte do cliente, conseqüente da diminuição dos custos energéticos;
- O cliente mantém a sua capacidade de investimento noutros projetos, pois o investimento do projeto é realizado pela ESCO;
- Vantagens imediatas na redução da fatura energética;
- No final do contrato o cliente passa a proprietário do equipamento em perfeito estado de funcionamento, sem ter efetuado nenhum esforço financeiro para esse efeito.

Apesar de alguma estagnação da economia, as ESCO têm ganho popularidade, pois uma vez que a poupança de energia tem um papel mais importante, devido às preocupações com as alterações climáticas e às metas internacionais de eficiência energética. Apesar de não existir números exatos quanto ao tamanho e potencial do mercado português, as ESCO focaram-se apenas numa fração do potencial desse mesmo mercado. Sendo o setor dos serviços, o maior proprietário de edifícios, é neste setor que as ESCO devem apostar, pois através da aposta numa maior eficiência energética estes podem servir como impulsor das ESCO. Estima-se que cerca de 30% dos custos de energia municipais podem ser poupados num curto intervalo de tempo até ao retorno do capital. [18]

3.6 - Conclusão

Devido à complexidade da gestão de energia em edifícios públicos é recomendável a nomeação de um gestor de energia, para a promoção e gestão da utilização racional de energia.

Ainda no âmbito da gestão de energia é essencial a existência de uma política energética nas autarquias, além de um sistema de informação que permita obter toda a informação necessária para uma gestão eficaz. As autarquias através da definição de uma política de racionalização de energia, para além de uma visão para o desempenho energético do município, devem estabelecer metas e objetivos concretos e mensuráveis.

As ESCO podem ter um papel fundamental para a promoção e gestão da energia, estas possuem o conhecimento e as ferramentas adequadas para a concretização das medidas de eficiência energética.

As autarquias, dependendo do tipo de contrato celebrado com a ESCO, garantem um determinado nível de poupança. Neste tipo de contratos, as autarquias assumem um risco reduzido pois a empresa contratada compromete-se e trabalha para atingir os resultados pré-definidos.

Capítulo 4

Estratégias para a Melhoria da Eficiência Energética

4.1 - Introdução

No âmbito do fornecimento de energia a União Europeia (UE) tem uma influência muito limitada, dado que depende em grande parte da energia fóssil para satisfazer as suas necessidades. É do lado da procura de energia que a UE pode intervir através da promoção da eficiência energética na área dos edifícios e dos transportes, sendo que a área dos edifícios é uma componente imprescindível de um correto planeamento energético urbano.

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA) existe um potencial de redução do consumo de energia em 34% no setor dos edifícios até 2030 se as políticas de eficiência energética, proposto por esta agência, forem adotadas pelos países pertencentes ao G8². [20]

² G8 é formado pelos chefes de governo do Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão, Rússia, Reino Unido e Estados Unidos.

4.2 - Caracterização do Consumo de Energia nos Edifícios do Setor Terciário

Os edifícios nos dias de hoje têm um elevado tempo de vida (50 anos ou mais), muito devido ao tipo de materiais utilizados na sua construção, torna-se claro que o maior potencial para melhorar a *performance* energética a curto e médio prazo se encontra nos edifícios já existentes, algo que deve ser tido em linha de conta nas reabilitações dos edifícios. [10]

O consumo total de energia nos edifícios do setor terciário no período compreendido entre 2003 e 2008 cresceu 20%, desta forma a energia consumida neste tipo de edifícios merece uma análise. [21][21]

Analisando a figura 4.1, consta-se que o aquecimento ambiente é o principal responsável pelo consumo de energia, representando mais de metade do consumo total de energia. Segue-se o sistema de iluminação, representando 14% do consumo total, e os outros equipamentos de consumo de energia, onde está incorporado o sistema informático, representa 16% do consumo total de energia.

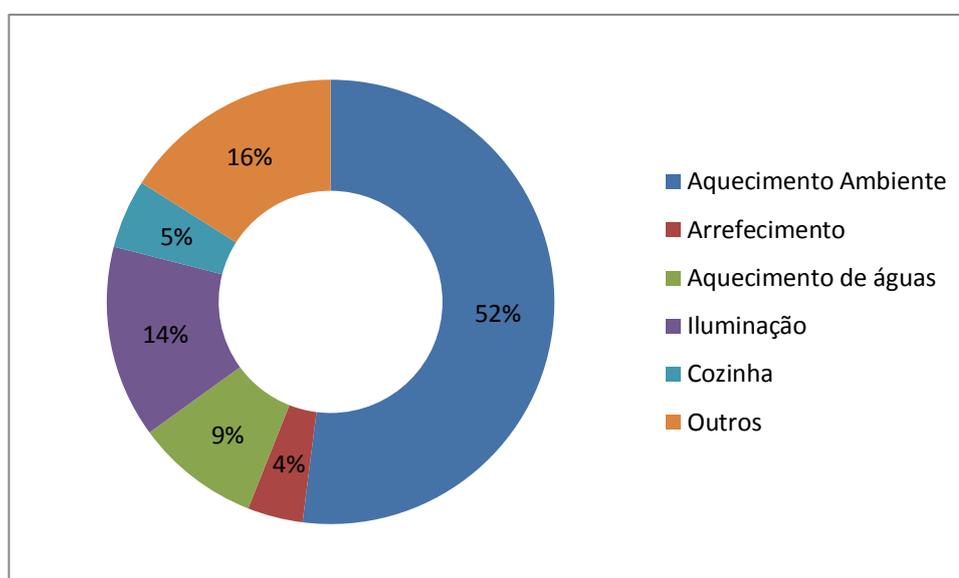


Figura 4.1 - Consumo de energia por utilização final, no setor terciário da União Europeia [10]

O consumo de energia nos edifícios pode ser reduzido, nomeadamente, através da aplicação das seguintes medidas: [10]

- Melhoria das características construtivas, reduzindo assim as necessidades energéticas no que diz respeito ao aquecimento e arrefecimento do ambiente;
- Utilização de equipamentos mais eficientes;
- Formação de boas práticas na utilização de equipamentos por parte dos utilizadores.

Desta forma é possível reduzir a fatura energética assim como reduzir as emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera, caminhando para um desenvolvimento sustentável.

4.3 - Envolvente do Edifício

Para a diminuição dos consumos em energia térmica e elétrica, a renovação e a reabilitação da envolvente do edifício pode trazer economias significativas de energia. Esta economia pode chegar aos 30%, dependendo da performance da envolvente do edifício.

Para um aumento da eficiência energética num edifício, é necessário que este possua um bom isolamento térmico, para isso é aconselhado a implementação das seguintes medidas: [13]

- Escolha de uma caixilharia e envidraçados adequados, para controlar as perdas e ganhos de calor dos envidraçados;
- Instalação de sombreamentos adequados para controlar os ganhos de calor nos vãos envidraçados;
- Melhoria do isolamento térmico de paredes, coberturas e pavimentos
- Melhoramento no isolamento das caixilharias das portas, janelas, fissuras nas paredes, junta entre os diferentes elementos da envolvente, para reduzir a infiltração de ar através da envolvente;
- Controlo da ventilação para recuperar o calor do ar da saída;
- Utilização de vegetação de sombreamento em volta do edifício, por exemplo árvores de folha caduca, para redução da temperatura do ar no Verão.

Para evitar as pontes térmicas é necessário um isolamento térmico uniforme da superfície envolvente, o que é conseguido através da performance dos componentes individuais. Para uma otimização do isolamento térmico deverá existir uma boa combinação entre a ventilação natural e os sistemas de sombreamento.

Caso o edifício seja alvo de remodelações deve-se analisar as questões de isolamento térmico desde que estas se justificam em termos económicos e funcionais. Estas questões devem ser sempre cuidadosamente analisadas de modo a que os benefícios da poupança de energia não comprometam o conforto térmico e a qualidade do ar. Estas medidas devem ser integradas com as principais características construtivas, arquitetónicas e as respetivas funções que cada edifício desempenha. [13]

4.4 - Sistemas de Climatização

Na última década, a tendência de crescimento na procura de sistemas de climatização no nosso país, acentuou-se significativamente devido à melhoria do nível de vida das populações e do seu maior grau de exigência em termos de conforto, mas também, como consequência da elevada taxa de crescimento do parque construído. [22]

Os sistemas de climatização, de aquecimento e arrefecimento, devem estar devidamente dimensionados para o controlo das condições ambientais no interior dos edifícios, e devem apresentar as condições necessárias para um desempenho eficiente.

Por forma a melhorar o desempenho energético dos sistemas de aquecimento, pode ser adotado um conjunto de medidas, nomeadamente as seguintes: [13]

- Isolamento térmico nos acumuladores e nas redes de distribuição de água quente;
- Manutenção e configuração adequada dos parâmetros de combustão das caldeiras, e se necessário substituir por equipamentos mais eficientes;
- Utilização do calor da chaminé para pré-aquecimento de águas quentes sanitárias;
- Regulação do sistema para que a temperatura ambiente esteja entre os 20 e 22°C;
- Equipar as unidades de climatização finais com termostatos;
- Regular a temperatura das águas quentes armazenadas nos 60°C.

Além destas medidas é também recomendada a aplicação de coletores solares para aquecimento de águas, assim como os sistemas de aquecimento de águas quentes sejam centralizados.

Quanto aos sistemas de ar condicionado, estes devem ser escolhidos com base no seu coeficiente de *performance* (COP), quanto maior for o COP melhor será o seu desempenho energético. Durante o período de utilização do equipamento de ar condicionado deve-se ter em conta os seguintes aspetos: [14]

- O termostato do ar condicionado deve ser regulado para 20°C no Inverno e 24°C no Verão;
- O sistema deve ser desligado no fim do dia de trabalho;
- Os filtros dos aparelhos devem ser regularmente limpos;
- A utilização de ar novo para a renovação só deve ser utilizada quando o edifício estiver ocupado, e a relação ar novo/ar de recirculação deve ser otimizada;

Um dos aspetos relevantes para qualquer sistema de climatização, têm a ver com o comportamento dos utilizadores no uso dos equipamentos, pois estes comportamentos têm um peso relevante no consumo de energia. Atos simples como evitar o aquecimento/arrefecimento ligado com as janelas abertas, ou limitar a climatização aos espaços efetivamente ocupados, permite uma maior economia de energia. É recomendado por isso campanhas de sensibilização para o uso eficiente destes equipamentos. [13]

4.5 - Equipamentos Informáticos

O equipamento informático, ou seja, computadores, impressoras, fotocopiadoras, etc, são responsáveis por uma grande parte do consumo de eletricidade no setor dos serviços. Com o aumento da utilização das tecnologias de informação, comunicação, e equipamentos de escritório existe a necessidade de utilização de equipamentos eficientes, assim como uma boa gestão do mesmo e a divulgação de boas práticas de utilização.

Como os equipamentos de escritório são transacionados pelo mundo inteiro, em Dezembro de 2000 foi assinado um acordo entre o governo dos Estados Unidos da América e a Comunidade Europeia para a coordenação dos programas de rotulagem em matéria de eficiência energética em dois dos mais importantes mercados globais desses produtos. Nesse âmbito foi criado o programa *ENERGY STAR*, que é propriedade da Agencia de Proteção do

Ambiente dos EUA, e implementado noutros grandes parceiros comerciais em todo o mundo. [23]

O programa *ENERGY STAR* utiliza um rótulo específico que pode ser visualizado na figura 4.2, garantindo assim que o equipamento em questão cumpre um conjunto de critérios de eficiência energética, permitindo assim ao consumidor identificar os equipamentos que se encontram homologados pela legislação comunitária. [24]



Figura 4.2 - Logotipo *ENERGY STAR* [24]

Dado que existe um elevado potencial de economia de energia na utilização dos equipamentos informáticos, apresenta-se alguns exemplos de medidas que podem ser tomadas com vista à poupança de energia: [13] [14]

- A substituição de computadores de secretária por computadores portáteis permite uma economia de energia, dado que um computador portátil tem uma eficiência energética 50 a 80% superior à de um computador de secretária;
- A substituição de monitores CRT convencionais por monitores planos (LCD ou LED) cujas economias de energia que podem ir de 25 a 60%;
- A substituição de dispositivos monofunção por dispositivos centralizados multifunções que pode conduzir a economias de energia até 50%;
- A seleção de equipamentos com o logotipo *ENERGY STAR*;
- A gestão de energia em todos dispositivos, como por exemplo, utilizar as opções de energia do sistema operativo para desligar o monitor quando o computador não está a ser utilizado;
- Redução dos consumos em *standby* (modo de espera).

Este último tópico dos consumos *standby* tem uma elevada importância, pois embora, o consumo de energia no modo *standby* seja tipicamente reduzido (0,5 a 10 watts), quando calculado o somatório do consumo de todos os equipamentos que se encontrem neste modo, os valores daí resultantes mostram que esse consumo de energia deixa de ser insignificante. Por exemplo, numa residência a média de dispositivos em *standby* é na ordem dos 20 dispositivos (TVs, fontes de alimentação, máquinas de lavar, ar condicionado, etc.). Desta forma o consumo dos dispositivos em *standby* representa 5 a 10% do total de eletricidade consumida numa residência. Para além disso, é de notar que a energia em *standby* é responsável por cerca de 1% das emissões globais de dióxido de carbono. [25]

4.6 - Iluminação dos Edifícios

A iluminação é das utilizações finais cuja introdução de soluções energeticamente eficientes mais compensa, tanto em termos de economia de energia como de conforto.

Hoje em dia, procura-se instalar equipamentos que proporcionem os níveis de iluminação necessários e recomendados ao desempenho das atividades, reduzindo quer o consumo de energia elétrica quer os custos de manutenção dos sistemas. Torna-se por isso necessário a conceção de instalações de iluminação o mais eficientes possíveis, mantendo ou melhorando as condições globais de iluminação nos espaços do edifício. Assim, deve ter-se em conta os seguintes aspetos: [26]

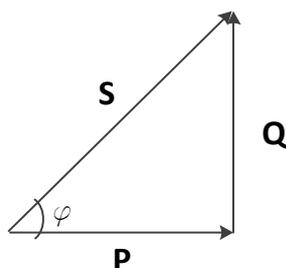
- Aproveitamento da iluminação natural, mantendo as áreas de entrada de luz desobstruídas;
- Dimensionar o sistema de iluminação com os níveis de iluminação normativos, para os diferentes postos de trabalho;
- Utilizar equipamento de iluminação com o maior rendimento (lâmpadas, luminárias e acessórios);
- Utilizar sistemas de controlo de iluminação automático;
- Efetuar e cumprir um programa de manutenção das instalações quer para limpeza quer para substituição de equipamentos avariados.

Na maioria das situações, o acréscimo de investimento inicial devido à utilização dos equipamentos atrás descritos é amortizado num curto intervalo de tempo, através das poupanças de energia. [26]

Os sistemas de iluminação, pela importância que estes representam para a eficiência energética, serão abordados com maior detalhe no Capítulo 5

4.7 - Energia Reativa

Os sistemas elétricos de corrente alternada consomem energia ativa e energia reativa. A energia ativa é responsável pela realização de trabalho, enquanto a energia reativa (Q) não realiza trabalho, mas é necessária para alimentar os circuitos magnéticos dos dispositivos elétricos. A relação entre a potência ativa e a potência reativa pode ser definida pelo triângulo retângulo apresentado na figura 4.3, sendo que a potência aparente (S) é a soma vetorial da potência ativa (P) e da potência reativa (Q).



S - Potência Aparente P - Potência Ativa Q - Potência Reativa

Figura 4.3 - Triângulo das potências

A potência aparente (S) representa a carga efetiva do sistema de produção e transporte de energia elétrica. O fator de potência pode ser obtido através da equação 4.1:

$$P = S * \cos\varphi \Leftrightarrow \cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{(P^2 + Q^2)}} \quad (4.1)$$

À relação P/S é designado de fator de potência ($\cos \varphi$) que expressa o peso da potência reativa face à potência ativa. [9]

Existem várias razões que originam um baixo fator de potência, sendo que os principais responsáveis são os motores elétricos, pois necessitam da criação de um campo magnético para o seu funcionamento; e ainda os sistemas de iluminação que utilizem lâmpadas de descarga com balastro magnético.

Um baixo fator de potência traz alguns inconvenientes tais como: [9]

- Maiores correntes na linha de alimentação;
- Maiores Quedas de tensão na linha de alimentação;
- Maiores perdas na linha de alimentação;
- Aumento da fatura de eletricidade, pois o fornecedor de energia elétrica cobra a energia reativa. A EDP cobra toda a energia reativa superior a 30% da energia ativa ($\cos\varphi < 0.9578$).

A energia reativa é necessária para o bom funcionamento de alguns equipamentos elétricos. Criar na instalação elétrica uma fonte de energia reativa é uma das soluções. Este tema será mais aprofundado no Capítulo 6.

4.8 - Conclusão

Neste capítulo apresentou-se as principais áreas de intervenção nos edifícios, para um aumento da eficiência energética. São expostos os principais problemas para cada uma das áreas que é possível intervir, seguidos dos conceitos e técnicas que podem ser implementadas tanto na fase de projeto como na remodelação de um edifício.

Em suma, são descritas soluções para uma primeira abordagem aos problemas em causa, para que exista uma mudança de atitudes por parte dos agentes responsáveis pela gestão dos edifícios.

Com a aquisição de equipamentos mais eficientes, sensibilização dos utilizadores para boas práticas na utilização destes e melhoria das características construtivas, é possível obter grandes poupanças de energia.

Capítulo 5

Sistemas de Iluminação

5.1 - Introdução

A luz é um elemento indispensável no quotidiano do ser humano, justificando o desenvolvimento das tecnologias de iluminação ao longo dos anos. A qualidade da luz é importante, tanto para o desempenho das atividades, como na influência que exerce no estado emocional e no bem-estar dos seres humanos. Desta forma, na execução de um projeto luminotécnico, a iluminação artificial e a iluminação natural são parâmetros importantes que irão determinar o tipo de luz e a tecnologia a implementar, que o ambiente em estudo necessita.

A iluminação tem um papel fundamental para a obtenção de boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente, que pode estar associado às atividades laborais, produtivas e de deslocação de bens ou pessoas.

Antes de efetuar uma panorâmica sobre as fontes luminosas atualmente existentes no mercado, é útil referir alguns conceitos luminotécnicos.

5.2 - Grandezas Luminotécnicas

Nesta secção apresenta-se as principais grandezas luminotécnicas necessárias para a análise e execução de um projeto luminotécnico.

5.2.1 - Fluxo Luminoso

É a quantidade de luz emitida a cada segundo por uma fonte luminosa. A unidade de medida do fluxo luminoso é o lúmen (lm), ver figura 5.1.



Figura 5.1 - Fluxo luminoso [27]

5.2.2 - Intensidade Luminosa

É definida como a concentração de luz numa direção específica, radiada por segundo, para uma melhor compreensão observe-se a figura 5.2. Ela é representada pelo símbolo I e a unidade de medida é a candela (cd).

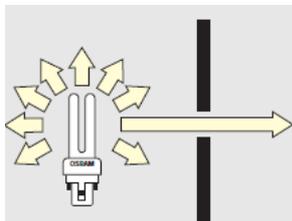


Figura 5.2 - Intensidade Luminosa [27]

5.2.3 - Iluminância ou Nível de Iluminação

É a quantidade de luz ou fluxo luminoso que atinge uma unidade de área de uma superfície por segundo, pode ser medida utilizando um luxímetro como se observa na figura 5.3. A unidade de medida é o lux, representada pelo símbolo E . Um lux equivale a um lúmen por metro quadrado.

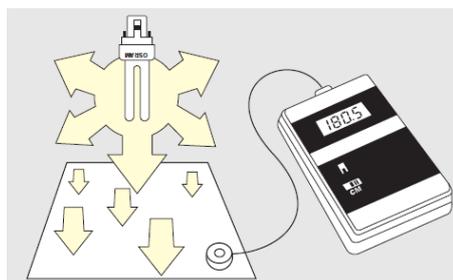


Figura 5.3 - Iluminância [27]

5.2.4 - Luminância

É o quociente entre a intensidade emitida por uma fonte luminosa ou por uma superfície refletora e a sua área aparente. É representada pelo símbolo L e a unidade de medida é cd/m^2 . É a sensação de claridade nos olhos (ver figura 5.4).

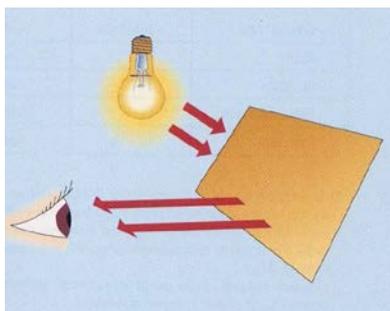


Figura 5.4 - Luminância [28]

A equação que permite a sua determinação é:

$$L = \frac{I}{A * \cos \alpha} \quad (5.1)$$

L = Luminância, em cd/m²

I = Intensidade Luminosa, em cd

A = Área projetada, em m²

α = ângulo, em graus

5.3 - Características Gerais das Lâmpadas

Existem vários tipos de lâmpadas no mercado, dessa forma torna-se importante saber diferenciar as lâmpadas quanto as suas características. De seguida são apresentadas as principais características que diferenciam as lâmpadas entre si.

5.3.1 - Rendimento Luminoso

As lâmpadas diferenciam-se entre si não só pelos diferentes fluxos luminosos que irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para poder compará-las é necessário saber qual o seu rendimento luminoso. Este é calculado pela divisão entre o fluxo luminoso emitido em Lúmens e a potência consumida pela lâmpada em Watts. A unidade de medida é o Lúmen por Watt (lm/W).

5.3.2 - Temperatura de Cor

A temperatura de cor é a temperatura a que é necessário aquecer um corpo negro, para que este emita radiação luminosa, com a mesma impressão de cor que a lâmpada considerada. A sua unidade de medida é o Kelvin (K).

Quando se fala em luz quente ou fria, não se está a referir ao calor físico da lâmpada, mas sim, à tonalidade de cor que esta irradia ao ambiente, como se pode observar na figura 5.5.

Uma luz com tonalidade de cor mais suave torna-se mais aconchegante e relaxante, luz mais clara mais estimulante.

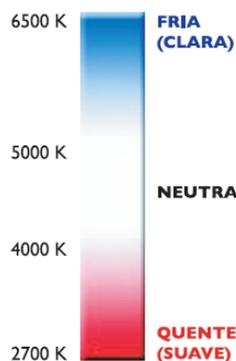


Figura 5.5 - Temperatura de cor [29]

5.3.3 - Índice de Restituição de Cores

Objetos iluminados podem parecer diferentes, mesmo que as fontes de luz tenham idêntica tonalidade. A capacidade de uma fonte luminosa restituir fielmente as cores de um objeto ou de uma superfície iluminada é expressa por um índice chamado “índice de restituição de cores” (IRC). Este índice é expresso por um número compreendido entre 0 e 100, sendo que a máxima fidelidade de restituição de cores do objeto iluminado é por definição indicado por 100. Para facilitar a comparação entre lâmpadas com idêntico IRC observe-se a tabela 5.1, que define os grupos de restituição de cores para cada intervalo de IRC.

Tabela 5.1 - Grupos de restituição de cores para cada intervalo de IRC [28]

Grupo de restituição de cores		Índice de restituição de cores (IRC)
1	A	>90
	B	80 a 90
2	A	70 a 80
	B	60 a 70
3		40 a 60
4		20 a 40

5.3.4 - Depreciação do Fluxo Luminoso

Ao longo da vida útil de uma lâmpada ocorre uma diminuição do seu fluxo luminoso. Isto deve-se principalmente à acumulação de poeiras sobre a superfície da lâmpada e do refletor, a figura 5.6 ilustra esse facto. Este fator deve ser considerado num projeto luminotécnico, para preservar a iluminância média (lux), projetada para a superfície em causa, ao longo da vida útil da lâmpada.



Figura 5.6 - Exemplo de depreciação do fluxo luminoso numa lâmpada fluorescente [29]

5.3.5 - Vida Útil

É definido com o tempo em horas, no qual cerca de 25% do fluxo luminoso das lâmpadas testadas foi depreciado.

5.3.6 - Duração de Vida Média

Indica o número de horas, após as quais, 50% de um lote significativo de lâmpadas acesas deixa de emitir fluxo luminoso, este valor é indicado pelo fabricante.

5.4 - Classificação das Lâmpadas

5.4.1 - Tipo de Lâmpadas

Atualmente no mercado existe vários tipos de lâmpadas que podem ser agrupados em quatro grupos, lâmpadas de Incandescência, lâmpadas de descarga, lâmpadas de indução e lâmpadas LED, consultar figura 5.7. Neste documento é dada uma maior relevância às lâmpadas de incandescência, às lâmpadas de descarga de baixa pressão e as lâmpadas LED, visto que são as mais utilizadas na iluminação interior dos edifícios.

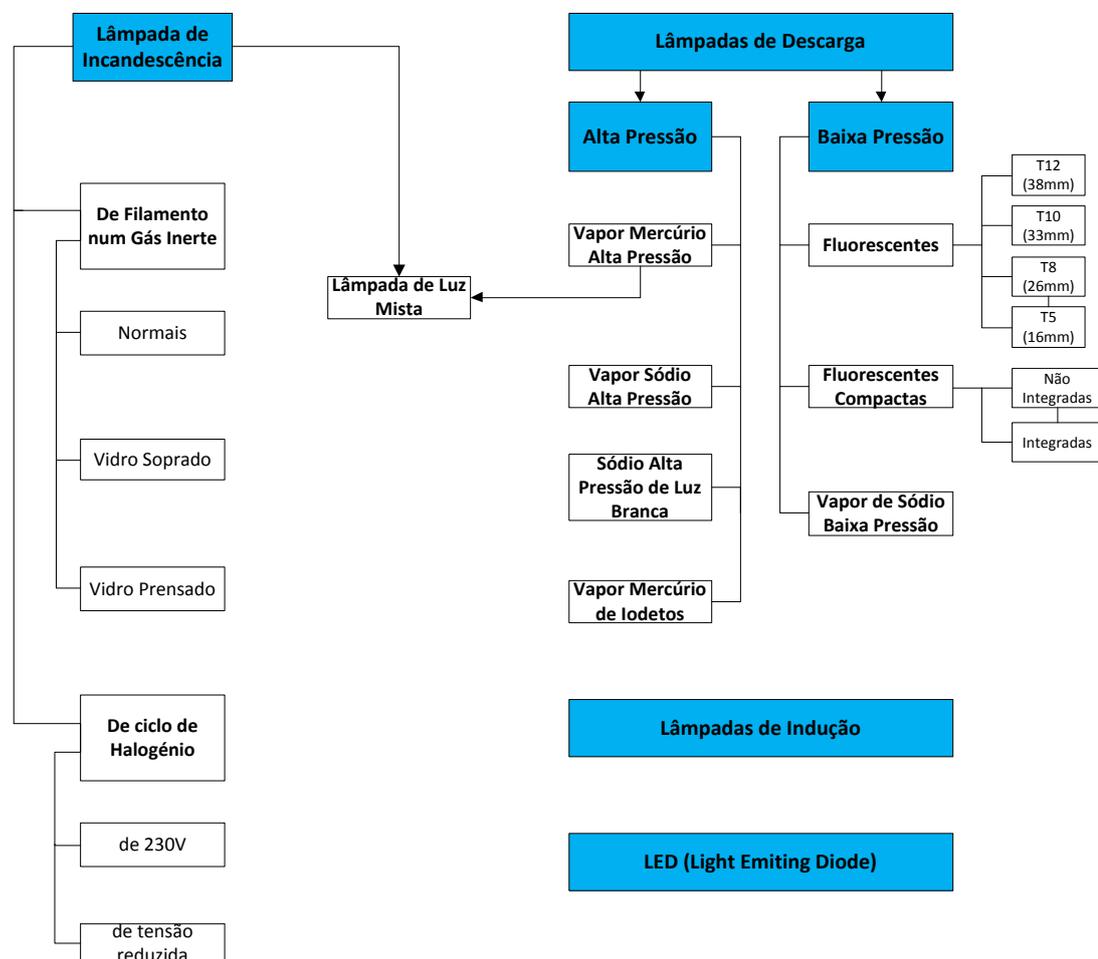


Figura 5.7 - Tipos de lâmpadas

5.4.2 - Lâmpada Incandescente

A lâmpada Incandescente convencional é constituída por um filamento de tungsténio, alojado no interior de uma ampola de vidro (prensado, soprado ou refletor), preenchida com um gás inerte, em geral o árgon. Na figura 5.8 pode-se visualizar alguns exemplos de lâmpadas incandescentes.



Figura 5.8 - Exemplo de lâmpadas incandescentes [29]

Quando o fino filamento constituído de tungsténio é percorrido por uma corrente elétrica, aquece até à incandescência emitindo uma luz branca de tom levemente amarelado.

Quanto maior for a temperatura do filamento, maior é a proporção de energia radiada na região visível do espectro e maior o rendimento da lâmpada. Neste tipo de lâmpada pode-se recorrer ao filamento duplamente espirado, que permite um aumento de rendimento e em simultâneo a diminuição do tamanho. Este tipo de filamento apresenta uma menor superfície efetiva de contato com o gás, sendo portanto reduzidas as perdas de calor por condução e convecção.

Os casquilhos mais usuais, que serve para ligar a lâmpada ao suporte, são do tipo Edison ou baioneta, identificados respetivamente pelas letras E e B, seguidos do diâmetro da base em milímetros. [28]

Na tabela 5.2 é apresentado as principais características deste tipo de lâmpada.

Tabela 5.2 - Características principais das lâmpadas incandescentes Convencionais [30]

Lâmpada Incandescente Convencional	
Duração	1000 a 1200 horas
IRC	100
Temperatura de Cor	2700 K
Tempo de arranque	Instantâneo
Aparelhagem auxiliar	Não necessita
Varição do fluxo em função da tensão	Permite
Rendimento luminoso	Baixo (10 a 20 lm/W)
Posição de funcionamento	Qualquer
Preço	Baixo

Dentro das lâmpadas incandescentes temos as lâmpadas de halogénio, estas têm o mesmo princípio de funcionamento que as lâmpadas de incandescência. No entanto, nas lâmpadas de incandescência convencionais, os átomos de tungsténio depositam-se na superfície interna da ampola, o que significa que a ampola tem que ser suficiente grande para evitar o seu rápido escurecimento devido ao depósito deste. Já as lâmpadas de halogénio, são preenchidas com

gases inertes e halogéneo que capturam os átomos de tungsténio e os transportam de volta para o filamento, permitindo uma vida útil mais longa e o tamanho da lâmpada seja reduzido, em comparação com a incandescente convencional.

Nas lâmpadas de halogénio os principais tipos de são de duplo invólucro, de tensão reduzida e com refletor interno (normais e dicroicas). [28]

As características gerais das lâmpadas de halogéneo podem ser visualizadas na tabela 5.3

Tabela 5.3 - Características principais das lâmpadas de Halogéneo [30]

Lâmpada Halogéneo	
Duração	2000 a 3000 horas
IRC	100
Temperatura de Cor	3000 K
Tempo de arranque	Instantâneo
Aparelhagem auxiliar	³
Variação do fluxo em função da tensão	Permite
Rendimento luminoso	18 a 25 lm/W
Posição de funcionamento	Qualquer
Preço	Baixo

As lâmpadas de halogéneo, comparadas com as lâmpadas incandescentes convencionais, tem uma maior eficiência energética, tem uma vida útil mais longa e são de menores dimensões, a luz é mais branca, brilhante e uniforme ao longo de toda a vida. Assim as lâmpadas de halogéneo são utilizadas para projetistas e decoradores, para zonas onde a luz é tão importante como as formas arquitetónicas, materiais e as cores, mas não deixam de ter um baixo rendimento.

5.4.3 - Lâmpada de Descarga

Nesta lâmpada o fluxo luminoso é gerado direta ou indiretamente pela passagem da corrente elétrica através de um gás, mistura de gases ou vapores. Há duas grandes famílias de lâmpadas de descarga, conforme a gama de pressão a que está submetido o gás:

- Lâmpadas de descarga num gás ou vapor metálico a alta pressão
 - Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão
 - Lâmpadas de luz mista
 - Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão
 - Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos
- Lâmpadas de descarga num gás ou vapor de baixa pressão
 - Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão
 - Lâmpadas fluorescentes (lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão)
 - Lâmpada fluorescente compacta.

³ Os modelos de 12V necessitam de um transformador para interligação com a rede elétrica, os restantes modelos não necessitam de aparelhagem auxiliar.

5.4.3.1 - Lâmpada Fluorescente

A lâmpada fluorescente é uma lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão. Esta é constituída por um tubo de descarga alongado, com um eletrodo em cada extremidade. A descarga elétrica que ocorre no interior do tubo imite quase na totalidade radiação ultravioleta (invisível ao olho humano), gerada pelo vapor de mercúrio, que por sua vez, será convertida em luz através do pó fluorescente que reveste a superfície interna do tubo. É através da composição deste pó fluorescente que se consegue diferentes temperaturas de cor, adequadas a cada tipo de aplicação. É através da composição do pó fluorescente que se determina a qualidade e a quantidade de luz, além da eficiência da restituição de cores. [28]

Na tabela 5.4 são apresentadas algumas das características deste tipo de lâmpadas.

Tabela 5.4 - Características principais das lâmpadas fluorescentes [30]

Lâmpada fluorescente	
Duração	7500 a 10000 horas
IRC	85 a 95
Temperatura de Cor	2700 a 5400 K
Tempo de arranque	Instantâneo ⁴
Aparelhagem auxiliar	Necessita
Variação do fluxo em função da tensão	Permite
Rendimento luminoso	70 a 100 lm/W
Posição de funcionamento	Qualquer

Estas lâmpadas têm um elevado rendimento luminoso e uma longa duração de vida, a qual diminui com a maior frequência de acendimentos. Estas necessitam de aparelhagem auxiliar, arrancador e balastro para o seu funcionamento. O tempo de arranque é instantâneo com balastro eletrónico, podendo demorar algum tempo se o balastro for magnético e atingem a potência máxima num curto período de tempo.

As lâmpadas fluorescentes são divididas em três grupos: fluorescentes compactas integradas, fluorescentes compactas não integradas e fluorescentes tubulares, podendo ser adaptadas de acordo com as necessidades e preferências do projetista. A figura 5.9 ilustra vários exemplos de lâmpadas fluorescentes.



Figura 5.9 - Exemplo de lâmpadas fluorescentes [29]

⁴ Com balastro eletrónico

As lâmpadas fluorescentes compactas não integradas são aconselhadas para zonas onde a iluminação permaneça ligada por longos períodos de tempo, como por exemplo áreas comerciais. A vantagem em relação às integradas, é que quando estas têm que ser substituídas existe só a necessidade de substituir a lâmpada pois o balastro não se encontra integrado na lâmpada, sendo por isso mais económicas no momento da compra. Neste tipo de lâmpadas existe um modelo de lâmpada de 4 pinos que possibilita a variação do fluxo luminoso, utilizando balastros eletrónicos "*dimable*", o que permite uma economia de energia.

As fluorescentes tubulares são as tradicionais lâmpadas fluorescentes para uma iluminação económica. Possuidoras de um alto rendimento e longa duração de vida são geralmente aplicadas em diversas áreas residenciais, comerciais e industriais.

A grande revolução das fluorescentes tubulares ao longo dos anos, foi a redução dos diâmetros (ver figura 5.10) e a melhoria na qualidade da luz. As primeiras lâmpadas fluorescentes desenvolvidas apresentavam um diâmetro do tubo de 38mm (designadas por T10 ou T12) utilizavam no seu revestimento interno um pó fluorescente comum. Posteriormente surgiram as TL-D, com um diâmetro do tubo de 26mm, trifosfóricas, apresentando uma melhor eficiência luminosa e menos mercúrio na sua composição (3 mg de mercúrio). Estas últimas são atualmente utilizadas em quase todos os campos de aplicação. [28]



Figura 5.10 - Comparação do diâmetro entre uma Lâmpada T8 (26mm) e uma T5 (16mm) [30]

As lâmpadas T5, com um diâmetro do tubo de 16mm em vez dos 26mm, conduziram a um conjunto de benefícios. Elas permitiram uma redução extraordinária do tamanho das armaduras, um melhor controlo do feixe luminoso e um aumento do rendimento luminoso. As lâmpadas fluorescentes T5 possuem uma economia de 20% em relação ao sistema T8 e em relação às lâmpadas T10/T12 de 40%, sendo por isso uma lâmpada eficiente. Além disso as lâmpadas T5 proporcionam o seu fluxo nominal a uma temperatura ambiente de 35°C enquanto as T8 o fazem a 25°C, como se pode observar na figura 5.11:

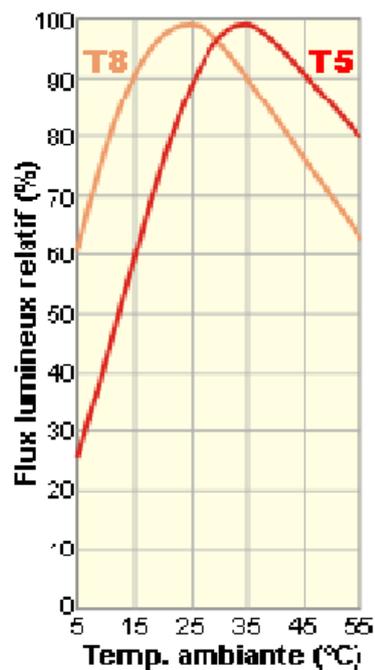


Figura 5.11 - Fluxo nominal da lâmpada T5 ou T8 em função da temperatura ambiente [30]

As lâmpadas T5 necessitam de balastos eletrônicos para o seu funcionamento, beneficiando das vantagens próprias deste sistema, que será abordado mais a frente neste documento.

Para alterar uma instalação, equipada com lâmpadas fluorescentes T8, para lâmpadas fluorescentes T5, existe um adaptador designado por eco-Tubo, ilustrado na figura 5.12, que possui uma lâmpada fluorescente T5, e na sua base um balastro eletrônico. Este adaptador permite assim que no suporte de uma lâmpada T8, se consiga utilizar uma lâmpada fluorescente T5, bastando retirar o arrancador para desativar o balastro convencional, e encaixar o eco-Tubo.



Figura 5.12 - eco-Tubo [30]

A utilização de uma lâmpada T5 (de menor diâmetro) permite um maior rendimento da luminária, visto que com a diminuição do diâmetro da lâmpada o rendimento da luminária aumenta. A figura 5.13 exemplifica esse mesmo efeito.

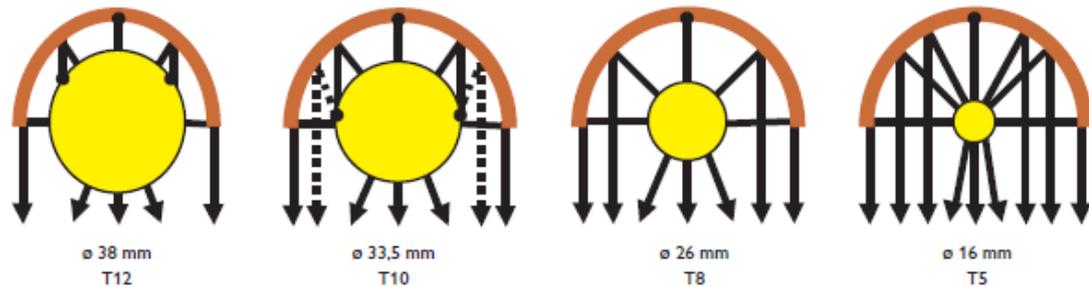


Figura 5.13 - Ilustração do rendimento da luminária com a variação do diâmetro da lâmpada [29]

5.4.3.2 - Lâmpada Fluorescente Compacta

As lâmpadas fluorescentes compactas (ver figura 5.14), devido ao desenvolvimento tecnológico verificado nos últimos anos, são uma alternativa às lâmpadas incandescentes. O equipamento auxiliar que estas lâmpadas necessitam (balastro), já vem integrado na lâmpada. Estas existem com casquilho E27 ou E14 permitindo a substituição direta das lâmpadas incandescentes.

Estas lâmpadas são consideradas como lâmpadas de baixo consumo e de baixa emissão térmica. O seu princípio de funcionamento é idêntico ao das fluorescentes normais, mas tem um ou mais tubos de descarga em forma de U, para tornar a lâmpada mais compacta.



Figura 5.14 - Exemplo de lâmpadas fluorescentes compactas [29]

Em comparação com as lâmpadas incandescentes estas têm um consumo de energia em média 80% menor, a durabilidade é aproximadamente 10 vezes maior, o que implica uma redução nos custos de manutenção e reposição das lâmpadas. Devido à baixa emissão térmica, estas aquecem menos o ambiente representando uma redução da carga térmica nas grandes instalações, além de permitirem adequar a tonalidade de cor ao ambiente. Estas também possuem algumas desvantagens como o preço de aquisição superior ao das incandescentes e o índice de restituição de cor a rondar os 85, ao contrário das incandescentes que têm um IRC de 100. [28]

5.4.4 - Lâmpadas a LEDs

Um LED, sigla em inglês para "*Lighting Emitted Diode*", é um díodo semicondutor que imite luz por eletroluminescência, isto é, ao ser-lhe aplicado uma tensão gera luz devido ao movimento dos eletrões dentro do material semicondutor. A luz gerada pelo led é originada através do aquecimento destes semicondutores por uma pequena corrente elétrica que o percorre.

O LED funciona com tensões muito baixas e a sua alimentação precisa de ser em corrente contínua, sendo por isso necessário o uso de um *interface* (transformador ou um *driver*) que converta as características de alimentação da instalação para um padrão adequado ao funcionamento do LED. Na figura 5.15 pode-se visualizar algumas lâmpadas utilizando a tecnologia LED.



Figura 5.15 - Exemplo de fontes de luz usando LEDs [29]

A utilização dos LEDs como fontes de luz tem vantagens, relativamente às restantes fontes de luz, das quais:

- Maior vida útil (50000 horas) e conseqüentemente baixa manutenção;
- Baixo consumo e uma eficiência energética em torno de 50 lm/W;
- Não emite luz ultravioleta (sendo ideal para aplicações onde este tipo de radiação é indesejada, quadros e obras de arte);
- Resistência a impactos e vibrações;
- Maior segurança, pois trabalham em baixa tensão;
- Emitem luz de uma determinada cor, sem recorrer ao uso de filtros;
- Pode ser desenhado de modo a focar a luz emitida;
- Quando são usados com regulação de fluxo não modificam a tonalidade da cor da luz emitida;
- Não contêm mercúrio, por isso menos poluente;
- Dimensão reduzida, favorecendo o design de luminárias.

Mas estes possuem algumas desvantagens, relativamente às restantes fontes de luz, como o elevado custo de aquisição, o índice de restituição de cor pode não ser o mais adequado, e a necessidade de dispositivos de dissipação de calor nos leds de alta potência.

5.4.5 - Iluminação Transmitida por Fibra Ótica

A iluminação transmitida por fibra ótica utiliza um feixe de fibras óticas para conduzir a luz procedente de uma fonte de luminosa (por exemplo lâmpada de halogéneo). Este tipo de iluminação começa a ser muito usada em habitações, museus e exposição, pois esta ao contrário da iluminação convencional permite iluminar objetos de grande valor com total segurança, já que está praticamente isenta de radiações de infravermelhos e ultravioleta, calor e eletricidade. Na figura 5.16 pode-se visualizar algumas aplicações da iluminação por fibra ótica.

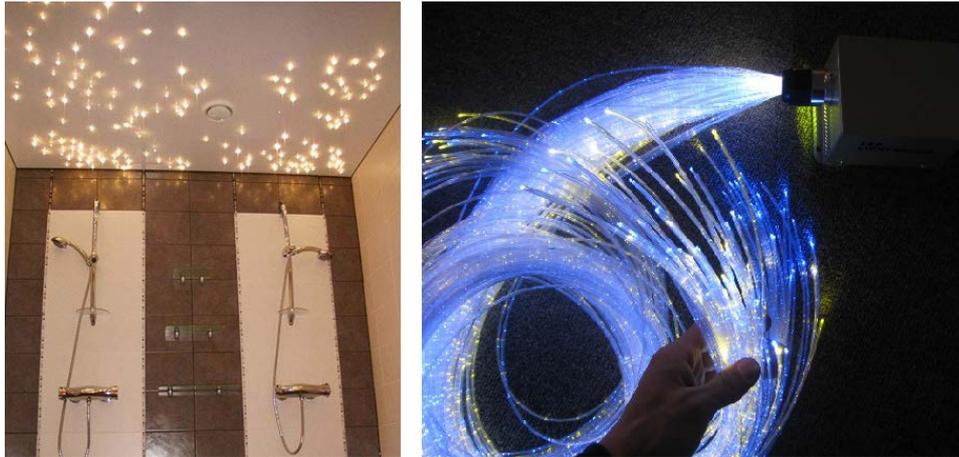


Figura 5.16 - Iluminação decorativa com fibra ótica [31]

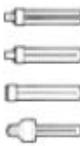
Nos feixes de fibra ótica ocorrem algumas perdas de intensidade luminosa, com a distância destes. É aconselhável que os feixes de fibra ótica não tenham um comprimento superior a 5 metros, por um lado devido à perda de intensidade luminosa, e por outro devido ao preço deste material.

As fontes luminosas costumam incorporar lâmpadas de halogéneo (75W ou 150W), que se acomodam num determinado espaço, ao qual o feixe de fibra ótica é ligado. [31]

5.4.6 - Análise Comparativa entre os vários Tipos de Lâmpadas

Na tomada de decisão sobre o tipo de lâmpada mais adequado a um projeto luminotécnico é importante expor os prós e contras de cada uma. Para tal, é apresentado um quadro comparativo entre os vários tipos de lâmpadas (ver tabela 5.5).

Tabela 5.5 - Tipos de lâmpadas e a sua área de aplicação [32]

	Tipo de Lâmpada	Área de aplicação
	Incandescentes	Menos eficiente e com menor duração este tipo de lâmpada é ainda utilizada principalmente no setor residencial. Da energia que consome, só 5 a 10% se transforma em energia luminosa, toda a outra energia se transforma em calor. As de fraca intensidade têm um rendimento luminoso inferior a 10 lm/W. Existem em diversas formas muitas delas bastante decorativas.
	Halogéneo	Estas lâmpadas são usadas em iluminação interior, principalmente no setor residencial e setor comercial muito devido ao ótimo IRC e baixo preço de aquisição. As lâmpadas de halógeno de tensão reduzida necessitam de um transformador.
	Fluorescente compacta	Este tipo de lâmpadas tem vindo a substituir as lâmpadas incandescentes, uma vez que têm um rendimento luminoso superior. Estas existem em duas variáveis com ou sem balastro integrado, mas ambas necessitam do balastro para o seu funcionamento.
	Fluorescentes tubulares T8 (diâmetro 26mm)	Este tipo de lâmpadas é muito usado na iluminação interior de edifício do setor dos serviços e indústria. Esta pode ser simples (a forma de um tubo a direito), circulares ou em forma de U. Necessitam de equipamento auxiliar para o seu funcionamento.
	Fluorescentes tubulares T5 (diâmetro 16mm)	Dentro das lâmpadas fluorescentes estas são as mais eficientes. Necessitam de um balastro eletrónico para o seu funcionamento.

A tabela 5.6 apresenta as principais características técnicas e económicas das lâmpadas anteriormente referidas, permitindo assim uma escolha adequada do tipo de lâmpada a utilizar num projeto luminotécnico.

Tabela 5.6 - Características técnicas e económicas das lâmpadas [32]

	Incandescente	Halogéneo	Fluo. Compacta	Fluo. Linear T8	Fluo. Linear T5	LED
Rendimento Luminoso (lm/W)	10 a 20	18 a 25	60 ^a 100	100	>100	>100
Duração (h)	1000 a 1200	2000 a 3000	6000 a 15000	12000 a 1400	24000	50000
IRC	100	100	82 a 90	75 a 98	80 a 98	70 a 90
Preço (€)	2 a 3	2 a 5	5 a 15	3 a 15	9 a 20	20 a 35

5.5 - Diretiva EuP

A diretiva EuP (*Eco-Design Requirements for Energy-using Products*, 2005/32/EC) integra o programa de proteção ambiental da UE. Esta diretiva define os requisitos que os produtos de iluminação têm de cumprir em termos do seu impacto ambiental. Esta diretiva tem em conta o consumo energético durante todo o ciclo de vida do produto.

A diretiva EuP apenas define objetivos gerais e abrangentes. Os requisitos ambientais concretos, definidos para o produto, são estabelecidos posteriormente através da implementação de medidas. Existem produtos de iluminação para os diversos setores que já deixaram de ser comercializados. As fontes de luz menos eficientes começaram desde 2009 a deixar de ser comercializados.

Desde 2009 vários produtos deixaram de ser fabricados e comercializados dentro da UE, esta diretiva não impõe proibições quanto ao uso dos produtos.

Ao longo dos próximos anos, os requisitos sobre o consumo de energia de lâmpadas e luminárias tornar-se-ão progressivamente mais restritos. No Anexo A está indiciado quais os produtos que deixaram ou vão deixar de ser comercializados. [33]

A diretiva EuP define também a obrigatoriedade de apresentação por parte dos fabricantes, informação técnica do produto nas embalagens, tendo existido a necessidade de formular novas declarações de conformidade dos produtos.

Na figura 5.17 apresenta-se uma reprodução de uma embalagem, para uma lâmpada fluorescente compacta da Osram, onde é fornecido a informação técnica da respetiva lâmpada, constando a potência, o fluxo luminoso, temperatura de cor, índice de restituição de cor, tempo de aquecimento até ao fluxo luminoso máximo, regulação do fluxo luminoso (*dimmbable or not dimmbable*), duração de vida médio, número de ciclos (*on/off*) até a falha prematura da lâmpada, quantidade de mercúrio, tensão e frequência nominal e por fim tipo de casquilho.

OSRAM DULUXSTAR®	
W	21 W
lm	1230 lm
T[Kelvin]	2500 K = warm comfort light
R _a	≥ 80
	< 40 s = 60% light
	—
t(h)*	10000 h = 10 years (≈ 2.7 h/day)
	20000
Hg	1.6 mg
V · Hz	220-240 V · 50-60 Hz
	E27
www.osram.com/energysavers	

Figura 5.17 - Parte da Embalagem de lâmpada Osram de acordo com a diretiva EuP [32]

Além das características técnicas, nas embalagens das lâmpadas, é exibido também uma etiqueta que classifica esta quanto a sua eficiência energética (ver figura 5.18), em sete categorias. Esta classificação vai de A (muito eficaz) a G (pouco eficaz).

As lâmpadas fluorescentes e as lâmpadas fluorescentes compactas pertencem normalmente às categorias A e B, enquanto as lâmpadas incandescentes pertencem normalmente às categorias E e F.

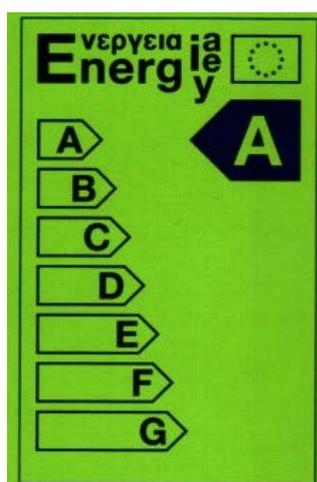


Figura 5.18 - Etiqueta da eficiência energética de uma lâmpada fluorescente compacta Osram [32]

5.6 - Tipo de Balastos

As lâmpadas de descarga necessitam de equipamento auxiliar de modo a limitarem a corrente de descarga a um valor específico, existindo por isso a necessidade de utilizar balastos. Este equipamento também é responsável por parte do consumo do sistema energético de iluminação.

Os balastos das lâmpadas fluorescentes são responsáveis pelo pré-aquecimento dos elétrodos por forma a provocar a emissão dos eletrões, estes produzem a tensão de arranque necessária para se iniciar a descarga e limitam a corrente de funcionamento da lâmpada.

Ao longo dos anos, os fabricantes têm desenvolvido esforços no sentido de reduzir as perdas energéticas dos balastros, que se materializam pelo aparecimento de balastros de baixo consumo, balastros de baixas perdas e balastros eletrônicos.

Os balastros eletrônicos estão disponíveis no mercado desde o início da década de 80, mas só na década de 90 com as melhorias das performances destes balastros e o custo cada vez maior da energia, é que estes balastros obtiveram maior procura.

Os balastros eletrônicos permitiram melhorar o rendimento das lâmpadas, convertendo a frequência standard de 50Hz em alta frequência (25kHz a 40kHz). O funcionamento das lâmpadas a estas frequências elevadas permite uma poupança energética de 12 a 25%, para a mesma quantidade de luz. [28]

Com o intuito de utilizar instalações de iluminação energeticamente eficientes, surgiu a diretiva europeia 2000/55CE, subdividindo o sistema de lâmpadas fluorescentes e balastros em sete classes energéticas:

- Classe A1: balastros eletrônicos reguláveis
- Classe A2: balastros eletrônicos com baixas perdas (alto rendimento)
- Classe A3: balastros eletrônicos standards
- Classe B1: balastros magnéticos com perdas muito reduzidas
- Classe B2: balastros magnéticos com perdas reduzidas
- Classe C: balastros magnéticos com perdas moderadas
- Classe D: balastros magnéticos com perdas muito altas

A diretiva europeia 245/2009/CE impôs que todos os balastros magnéticos deixem de ser comercializados, mantendo-se apenas os balastros eletrônicos. Na figura 5.19 está representado o *phase out* dos balastros.

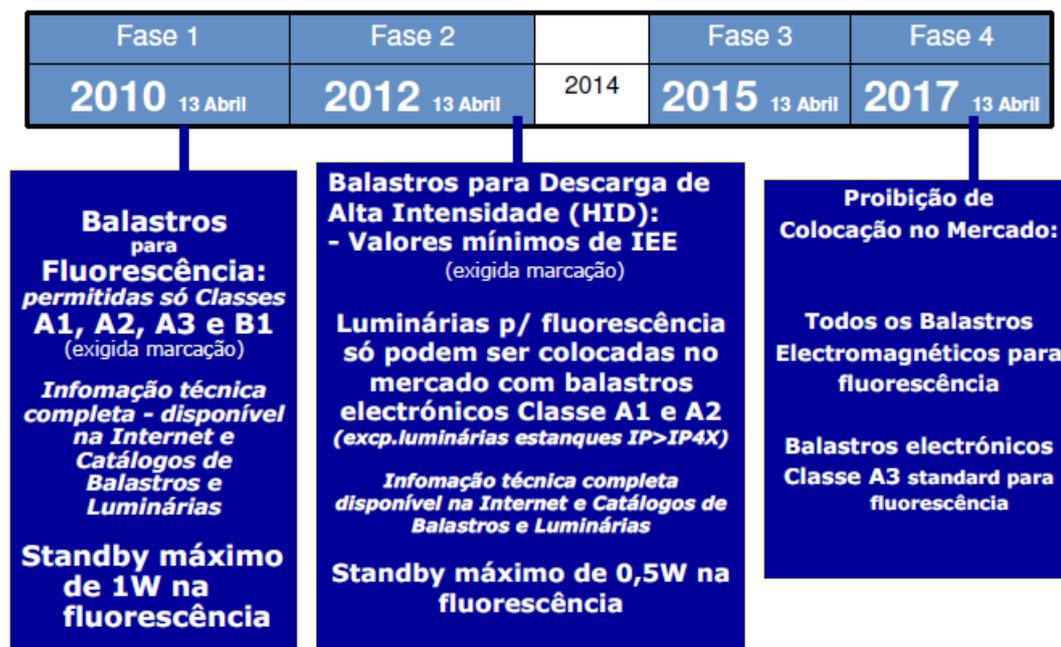


Figura 5.19 - Phase out dos balastros [34]

A utilização de balastros eletrônicos têm imensas vantagens: [28]

- **Aumento do rendimento luminoso** - Para a mesma potência absorvidas as lâmpadas podem produzir cerca de mais 10% de luz, desta forma pode ser reduzida a potência absorvida para a mesma saída de luz.
- **Eliminação do *flicker*** - uma lâmpada funcionando a 50HZ, frequência nominal da rede, a luz extingue-se duas vezes por ciclo na passagem da corrente por zero, isto produz o *flicker*. Produz também o efeito estroboscópico, que no caso de existirem máquinas rotativas este efeito pode ser perigoso. Com o funcionamento da lâmpada a alta frequência (balastro eletrônico) elimina-se o *flicker*.
- **Eliminação do ruído audível** - como os balastros eletrônico funcionam a altas frequências, estas não são perceptíveis pelo nosso ouvido.
- **Aumento da duração de vida da lâmpada** - o balastro eletrônico pré aquece os elétrodos da lâmpada antes de aplicar um impulso de tensão, diminuindo o desgaste do material emissor de elétrons dos elétrodos.
- **Possibilidade de controlo do fluxo luminoso** - Nos balastros eletrônicos reguláveis existe a possibilidade de regulação do fluxo luminoso, permitindo uma poupança de energia nas situações em que a iluminação esteja ligada a um sistema de controlo automático.
- **Diminuição do peso e tamanho** - Os componentes magnéticos num balastro eletrônico são compactos e leves (núcleos de ferrite), em vez dos enrolamentos e núcleo de aço laminado dos balastros magnéticos.

Os balastros de classe A1 ("*dimmbable*") possuem uma entrada específica para o sinal de regulação, este pode ser de dois tipos: regulação por uma tensão contínua entre 1 e 10V ou por sistema de regulação digital.

No sistema de regulação por corrente contínua o fluxo luminoso da lâmpada é proporcional à tensão. Existem, por isso, vários controladores específicos para a regulação deste, sendo os mais comuns os do tipo potenciômetro. A variação de resistência do potenciômetro permite ajustar o fluxo luminoso emitido pela lâmpada em que 10V obtém-se o máximo brilho (linha de controlo aberta) e para 1V obtém-se brilho mínimo (linha de controlo curto-circuitada).

No sistema de regulação digital a regulação é efetuada por um sinal digital produzido pelo sistema de controlo. Através de botões de pressão é possível comandar, regular e mesmo programar instalações. Por exemplo um toque rápido no botão de pressão pode permitir ligar ou desligar a iluminação, caso o toque seja prolongado é possível aumentar a luminosidade, parando e voltando a pressionar, diminui a luminosidade.

Neste tipo de sistema é possível também associar controlos por infravermelhos, por sensores de luz, por detetores de presença ou até a utilização de sistemas de gestão integrada. Com a integração de balastros eletrônicos, sensores de luz e detetores de presença consegue-se atingir reduções no consumo de energia até 75%, como se pode observar na figura 5.20. [30]

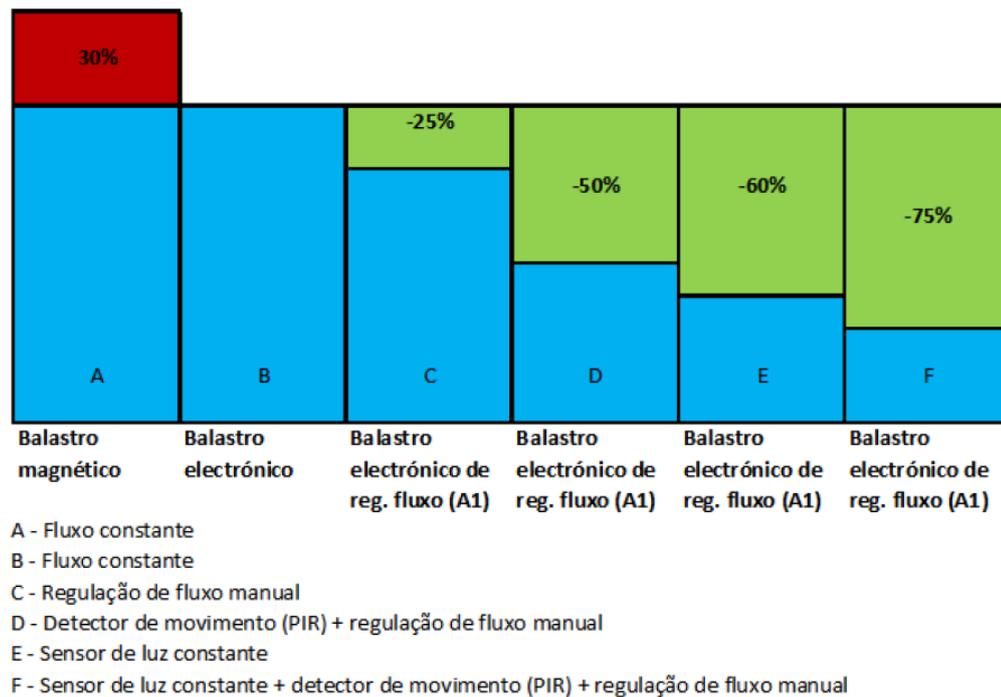


Figura 5.20 - Poupanças de energia com a utilização de balastos eletrônicos simples ou associados a outros dispositivos [28]

Em resumo, os balastos eletrônicos oferecem inúmeras vantagens em relação aos balastos magnéticos, pois os primeiros permitem uma poupança de energia entre 20 a 30%; possuem um alto fator de potência ($>0,95$); fluxo constante independente da tensão de alimentação; aumenta a vida útil da lâmpada cerca de 50%; desliga automaticamente as lâmpadas em caso de anomalia, fazendo a religação automática após a correção da anomalia; e devido à alta frequência não existe cintilação das lâmpadas. Desta forma é vantajoso nas instalações existentes, com balastos magnéticos, se efetue a substituição destes por balastos eletrônicos.

5.7 - Luminárias

As qualidades de uma boa lâmpada são muito importantes para uma boa iluminação, mas se a armadura escolhida for ineficiente esta compromete o desempenho da lâmpada. Uma luminária eficiente proporciona o melhor aproveitamento do fluxo luminoso, direcionando-o para onde ele é necessário e tornando o ambiente agradável. As luminárias devem proporcionar a segurança necessária para a instalação, bem como a correta emissão do fluxo luminoso da lâmpada no ambiente sem causar ofuscamento.

Os fabricantes das luminárias fornecem, em regra, os respectivos dados fotométricos de forma a possibilitar o cálculo luminotécnico de uma instalação. No caso das luminárias utilizadas para fins decorativos, não existe grandes preocupações de otimização no que diz respeito à distribuição fotométrica e ao rendimento luminoso.

Num projeto luminotécnico a uniformidade, o ofuscamento, o rendimento luminoso e o índice de proteção das luminárias devem ser analisados com a devida atenção.

O espaçamento entre as luminárias e o distanciamento delas em relação às paredes tem uma contribuição direta no resultado da uniformidade da iluminação. A uniformidade de uma iluminação, que é a medida entre a iluminância mínima e a média obtida na área iluminada, são fundamentais para evitar sombras acentuadas e assegurar o conforto e segurança para a prática da atividade exercida.

O ofuscamento provocado pelo excesso de luminância na direção da visão pode ser neutralizado utilizando acessórios nas luminárias como aletas ou difusores, isto quando o ofuscamento é do tipo direto, caso seja do tipo indireto (a luz refletida em determinada superfície retorna aos olhos do usuário) deve-se redimensionar o projeto luminotécnico, pois é causado pelo excesso de luz no ambiente.

O alto rendimento luminoso de uma luminária permite reduzir o número de luminárias e lâmpadas num projeto de iluminação, estas ao possuírem um refletor dimensionado para a lâmpada e excelente reflexão, proporcionam um bom aproveitamento da luz e um alto rendimento luminoso. Este rendimento luminoso é a relação entre o fluxo luminoso irradiado pela luminária e o fluxo luminoso total da lâmpada.

O índice de proteção (IP) de uma luminária, indica a forma como esta se encontra protegida contra os agentes externos, tais como a humidade, a água e a poeira. A escolha do IP de uma luminária é definido de acordo com o ambiente onde esta vai ser instalada, como se pode observar na figura 5.21. O IP é constituído por dois algarismos, o primeiro indica o grau de proteção contra a penetração de corpos sólidos, e o segundo, o grau de proteção contra a água. Estes dois algarismos devem sempre figurar na armadura. [28]

Grau de Proteção IP XY					
Símbolo	1º Algarismo (X)	Descrição	2º Algarismo (Y)	Descrição	Símbolo
	0	Sem proteção.	0	Sem proteção.	
	1	Proteção contra objetos sólidos maiores que 50 mm.	1	Proteção contra gotas de água.	
	2	Proteção contra objetos sólidos maiores que 12 mm.	2	Proteção contra gotas de água, inclinação 15°.	
	3	Proteção contra objetos sólidos maiores que 2,5 mm.	3	Proteção contra água pulverizada até 60°.	
	4	Proteção contra objetos maiores que 1,0 mm.	4	Proteção contra água pulverizada em qualquer direção.	
	5	Proteção contra poeira.	5	Proteção contra jatos de água (Bico: 6,3 mm / Pressão: 30 Kpa).	
	6	Hermética contra poeira.	6	Proteção contra jatos de água (Bico: 12,5 mm / Pressão: 100 Kpa).	

Figura 5.21 - Classificação CIE de luminárias de acordo com o grau de proteção contra poeira e humidade [35]

De acordo com a figura 5.21 uma luminária com proteção contra a poeira (6) e com proteção contra jatos de água (5), tem um IP65, sendo por isso uma luminária hermética.

5.8 - Sistemas de Gestão de Iluminação

Para uma boa eficiência energética não basta ter equipamento eficiente num sistema de iluminação. Os circuitos de comando dos sistemas de iluminação são um elemento tão ou mais importante que a fonte. O primeiro passo para a eficiência passa pela sensibilização dos utilizadores, embora existam soluções tecnológicas que permitem o comando automático, dispensando a ação dos utilizadores.

Os sistemas de controlo automático da iluminação permitem otimizar a utilização das instalações de iluminação, resultando normalmente em economias de energia significativas, sem prejuízo dos níveis de conforto visual necessários em cada local.

5.8.1 - Gestão Horária

Existem vários equipamentos para um sistema de gestão horária, que serão apresentados de seguida:

5.8.1.1 - Interruptor Horário

Os interruptores horários permitem comandar circuitos de iluminação num horário pré-determinado. Existem dois tipos de interruptores horários, os digitais e os analógicos. Embora os interruptores digitais sejam mais caros que os analógicos, estes permitem guardar o programa em memória, com um ou mais canais permitindo comandar mais do que um circuito.

Estes interruptores são ligados em paralelo com os comandos locais (interruptores simples, contactores, células crepusculares e sistema de gestão técnica centralizada). Quando estes interruptores são utilizados num circuito de iluminação deve-se ter em conta os seguintes fatores: [36]

- É preferível comandar apenas a extinção da iluminação, deixando aos utilizadores a liberdade do acendimento;
- É necessário incluir comandos locais para se poder restabelecer a iluminação se necessário;
- A extinção automática não pode colocar os ocupantes na obscuridade completa. É necessário garantir uma iluminação mínima para permitir encontrar o percurso para o botão de acendimento;
- Os horários de extinção podem incluir o período de almoço, caso exista uma paragem significativa.

5.8.1.2 - Automático de Escada

Este equipamento é muito utilizado principalmente nas zonas de circulação (corredores, escadas, etc) onde a presença contínua dos utilizadores é menos frequente. A iluminação é comandada por botões de pressão (simples ou luminosos), através de um impulso, em que o desligar é automático, após a temporização pré-regulada, determinado pelo tempo máximo que os utilizadores demoram a percorrer essa zona. Estes também possuem um contacto de marcha forçada (on/off), que permite a ativação permanente do automático de escada, por exemplo para limpeza e manutenção do local. Na figura 5.22 pode-se visualizar um automático de escada do fabricante Hager.



Figura 5.22 - Automático de escada [36]

5.8.1.3 - Interruptor Crepuscular

Estes interruptores (figura 5.23) reagem em função do nível de iluminação, necessitam de uma sonda (célula fotoelétrica) para medição da intensidade luminosa. Comandam a abertura ou fecho de um contacto em função do nível medido. São utilizados na iluminação de montras, anúncios luminosos e iluminação pública.



Figura 5.23 - Interruptor crepuscular [36]

5.8.1.4 - Interruptor Astronómico

O princípio de funcionamento deste equipamento é muito semelhante ao interruptor crepuscular, mas este têm a vantagem de não necessitar de célula fotoelétrica, pois é programado em função da Longitude e Latitude. Na figura 5.24 pode-se visualizar um interruptor astronómico do fabricante Hager.



Figura 5.24 - Interruptor astronómico [36]

5.8.2 - Detecção de Presença

Os detetores de presença são corretamente designados de detetores volumétricos. Estes dividem-se em três categorias, detetores volumétricos de infravermelhos passivos (PIR), detetores volumétricos de ultrassons e detetores bi-volumétricos.

5.8.2.1 - Detetores Volumétricos de Infravermelhos Passivos

Este sensor reage ao movimento da energia infravermelha (calor) desenvolvida pelas pessoas. São considerados passivos porque apenas detetam radiação, não emitem. Estes sensores são sensíveis a objetos em movimento que emitam radiação em comprimento de onda à volta de $10\mu\text{m}$, aproximadamente o mesmo valor de onda emitida pelo corpo humano.

Os detetores de infravermelhos têm um certo número de faces sensíveis, ver figura 5.25.

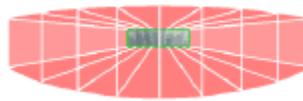


Figura 5.25 - Facetas de um detetor de infravermelhos passivo [28]

A passagem de um corpo pelo raio de visão de uma faceta para a outra permite detetar o movimento de um corpo. A sensibilidade do detetor cujo raio de ação é cortado por poucos segmentos pode não detetar uma pessoa que se dirige na sua direção, sendo a sua sensibilidade, dependente do modelo, regulável.

A sensibilidade destes sensores diminui com o afastamento, o movimento das mãos é detetado a uma distância de 3,5 metros, enquanto o movimento de todo o corpo é detetado até 14 metros. No momento da instalação destes equipamentos deve-se ter em atenção os equipamentos de ar condicionado, para que o ar não incida diretamente sobre o sensor. [28]

5.8.2.2 - Detetores Volumétricos de Ultrassons

Os detetores volumétricos de ultrassons reagem à variação das ondas sonoras refletidas no interior de um local, causadas pelo movimento de um corpo mesmo de pequena dimensão.

Estes sensores ativam um cristal de quartzo que emite ondas ultrassónicas em frequências superiores ao limite de perceção humana (entre 225 a 45 kHz), por meio do espaço, detetando a presença de ocupantes. O sinal de alta frequência é comparado com a frequência do sinal refletido e a diferença entre estes sinais é interpretada como a presença de alguém no espaço de cobertura. Estes detetores são mais indicados para o uso em espaços abertos, espaços com obstáculos de superfície dura e devem ser montados numa altura inferior a 5 metros.

5.8.2.3 - Detetores Bi-volumétricos

Estes detetores (ver figura 5.26) aliam as tecnologias dos detetores de infravermelhos e a dos detetores volumétricos de ultrassons, tornando-os possuidores de uma elevada eficiência e segurança na sua utilização.

Se forem instalados vários detetores num mesmo local, pode ser interessante considerar um deles com um mecanismo "master" e outro ou mais do tipo "slave" são muito mais económicos, o que torna o conjunto economicamente interessante.

Os detetores usados na iluminação possuem temporização após o ultimo movimento, que pode atingir nos modelos mais aperfeiçoados os 30 minutos. Além disso, integram geralmente um detetor de luminosidade que pode ser regulado.

Dentro das categorias de detetores referidos anteriormente, estes podem possuir poder de corte (que podem cortar a alimentação de lâmpadas) ou permitir efetuar a regulação, atuando sob o comando dos balastros eletrónicos reguláveis com uma tensão contínua entre 1 e 10V.



Figura 5.26 - Exemplo de detetores de movimento [29]

5.9 - Gestão da Iluminação em Função da Luz Natural

Quando os níveis de iluminância são adequados, por exemplo nas zonas próximas das janelas, a iluminação artificial não é necessária para assegurar o conforto visual. Por forma a utilizar a luz natural pode-se adotar algumas soluções que permitem uma poupança de energia.

5.9.1 - Comando *on/off* em Função da Iluminação Exterior

Nas zonas onde a iluminação natural, em certos períodos, é suficiente para iluminar o local, onde iluminação artificial apenas é utilizada no início, fim de dia e à noite, é possível a regular a iluminação quer desligando progressivamente filas de luminárias, quer jogando com o número de lâmpadas ligadas nas armaduras com mais do que uma lâmpada. A figura 5.27 ilustra algumas das boas práticas que devem ser tomadas, para uma poupança de energia.

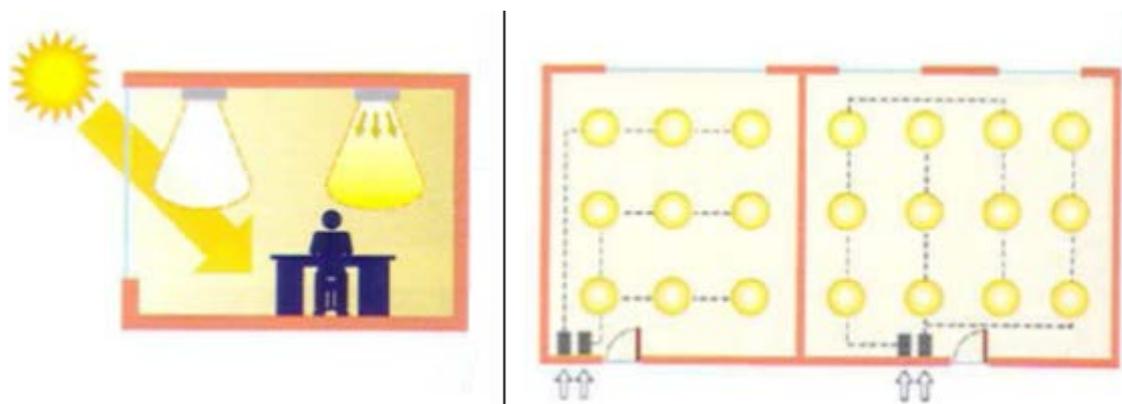


Figura 5.27 - Exemplificação de uma instalação que possibilita a comutação *on/off* [28]

Neste caso um comando *on/off* pode ser uma solução. Este deve ser acompanhado de uma temporização para evitar que uma variação brusca da luminosidade exterior (por exemplo a passagem de uma nuvem) modifique a iluminação artificial. As variações bruscas da iluminação artificial geralmente não são bem aceites pelos utilizadores.

Esta solução, do ponto de vista económico, é vantajosa visto que o investimento inicial é reduzido devido ao número limitado de sensores, tratando-se da mesma forma todos os locais da mesma fachada do edifício.

Este sistema é pouco ergonómico pois pode provocar variações bruscas na iluminação interior, e de difícil implementação quando a fachada do edifício é sombreada por edifícios vizinhos. Este deve ser regulado de forma diferente conforme o afastamento das armaduras em relação à fachada. Sendo que o sistema de comando não é retroativo, ou seja o equipamento regulador não sabe o que se passa no local, tornando-se difícil a sua regulação.

5.9.2 - Regulação Contínua do Fluxo em Função da Iluminação Interior

Nos locais onde a iluminação natural tem um fraco nível de iluminância, a iluminação natural desempenha um papel importante. Neste caso deve-se optar por uma regulação contínua do fluxo luminoso (*dimming*) traduzindo-se grandes economias de energia.

Neste caso o nível de iluminância interior é que serve de grandeza representativa para a regulação. A regulação do fluxo luminoso neste sistema obriga a utilização de balastos eletrónicos com regulação de fluxo (do tipo A1). Alguns balastos eletrónicos permitem uma redução do fluxo luminoso de uma forma contínua até aos 0%.

Esta solução para ser totalmente eficaz deve ser completada com algumas funções complementares. Quando o utilizador deixa o local enquanto há luz natural, este pode facilmente deixar a iluminação ligada. Para evitar esta situação é necessário que o acendimento esteja ligado a um detetor de presença ou a um interruptor horário, em que a extinção seja comandada pelo regulador, permanecendo o acendimento manual.

Para a regulação contínua do fluxo luminoso das lâmpadas é necessário um sensor que meça continuamente a luminância da janela (proporcional à quantidade de luz natural). No sensor é estabelecida uma correspondência entre o nível medido e a regulação do balastro, mantendo o nível de iluminância constante e dentro dos valores pretendidos, ver figura 5.28.

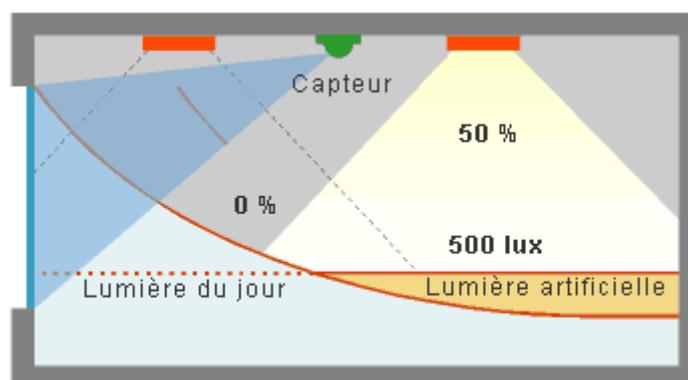


Figura 5.28 - Exemplo para a regulação contínua do fluxo luminoso [28]

Como as necessidades de iluminação artificial é diferente em função do afastamento das janelas. Nas partes mais interiores é por vezes necessário alguma iluminação artificial. Nestes casos a regulação do fluxo não se justifica para as filas de luminárias mais afastadas das janelas.

5.9.3 - Disposição das Armaduras de Iluminação

A disposição das luminárias e do mobiliário tem elevada importância no conforto dos utilizadores. Desta forma as armaduras devem estar paralelas às janelas para possibilitar a regulação do fluxo luminoso das luminárias em função da luz natural, já as secretárias devem estar perpendiculares às janelas, para minimizar as sombras produzidas pelos equipamentos e pessoas no plano de trabalho, esta disposição permite também minimizar os reflexos nos monitores. A figura 5.29 ilustra as boas práticas na disposição das luminárias e das secretárias, para um aumento do conforto do utilizador.

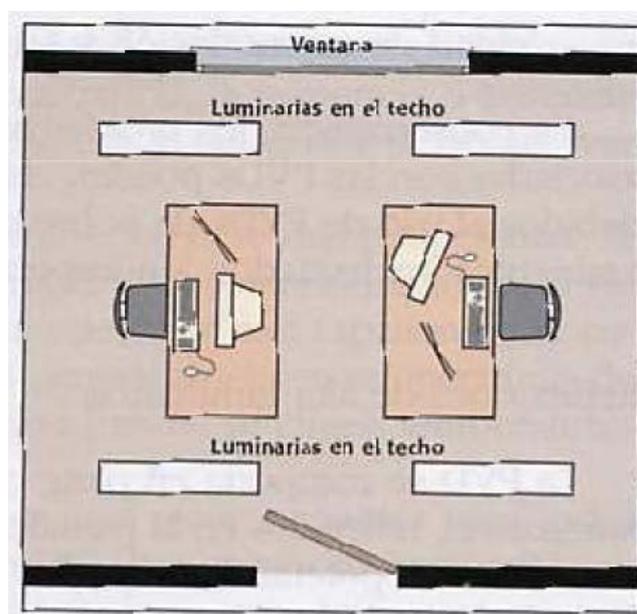


Figura 5.29 - Disposição correta das luminárias e do mobiliário [28]

5.10 - Tubo de Luz Solar

Uma forma de aproveitamento da luz solar pode ser através de tubos solares (ver figura 5.30). Estes tubos solares são sistemas ecológicos, onde a luz natural é captada e orientada através de um tubo revestido interiormente por um material refletor, minimizando a dispersão dos raios e permitindo o fornecimento de luz a distâncias consideráveis sem transmissão de calor ou frio.

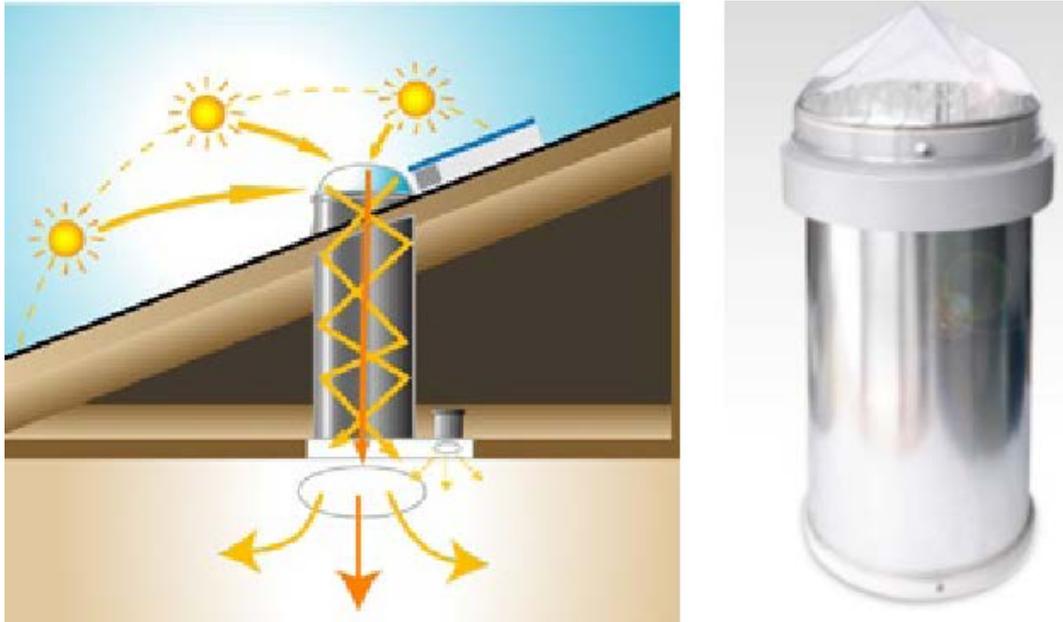


Figura 5.30 - Aproveitamento da luz solar [37]

De acordo com a fonte 80% das horas de trabalho em ambiente fechado podem ser efetuados com iluminação natural, contribuindo assim de forma direta para a redução do consumo energético e conseqüentemente para melhoria a eficiência energética dos edifícios. [37]

5.11 - Conclusão

No campo da iluminação, a qualidade da luz é decisiva tanto no que diz respeito ao desempenho das atividades, como na influência que exerce no estado emocional e no bem-estar dos seres humanos. A preocupação com a escassez de energia e a busca por alternativas económicas desencadearam um desenvolvimento nos sistemas de iluminação e uma maior eficiência dos equipamentos.

Neste capítulo apresentou-se uma abordagem sobre os equipamentos existentes no mercado e a metodologia a aplicar, que permite obter igual ou superior conforto que as soluções tradicionais, mas com menor consumo energético.

Conhecer a luz, as alternativas disponíveis e saber controlar a quantidade e qualidade da luz, são conhecimentos que permite utilizar a energia de uma forma moderada e eficiente, possibilitando um consumo de energia de forma racional e eficiente.

Capítulo 6

Compensação do Fator de Potência

6.1 - Introdução

Um baixo fator de potência, para além dos encargos resultantes ao nível da fatura de eletricidade, provoca também maiores perdas de energia na instalação elétrica, e contribui para a deterioração mais rápida dos equipamentos elétricos.

Para melhorar o fator de potência deve-se reduzir o consumo de energia reativa, ou seja, solicitar menos energia reativa ao distribuidor. Existem vários métodos para a compensação do fator de potência, mas independente do método a adotar, o valor ideal do fator de potência seria o valor unitário, que significa a inexistência de circulação de potência reativa no sistema.

Com o novo regime de faturação da Energia reativa, em vigor desde Janeiro de 2011 (Despacho da ERSE nº 7253/2010), que fixa um valor mais exigente para o limiar de faturação da energia reativa indutiva no período de vazio, ao introduzir 3 escalões de preço em função da $\text{tg}\varphi$, induz nos consumidores de eletricidade a adequação da instalação elétrica quanto à compensação de energia reativa. Com a utilização de equipamentos adequados à compensação de energia reativa nas instalações elétricas, é evitado um aumento da fatura de eletricidade.

6.2 - Vantagens de Manter um Fator de Potência Elevado

O fator de potência deve permanecer próximo do valor unitário, pois para além das vantagens económicas, este terá influência no bom funcionamento dos equipamentos da instalação elétrica.

6.2.1 - Melhoria da Tensão

Um baixo fator de potência, provoca quedas de tensão ao longo dos condutores, sendo necessário aumentar a secção destes para transportar a mesma potência ativa, por exemplo, para um fator de potência de 0,7 é necessário um cabo com o dobro da secção, do que numa instalação com um fator de potência unitário, ver figura 6.1. [38]

Seção relativa	Fator de potência
1,00 ◦	1,00
1,23 ◦	0,90
1,56 ◦	0,80
2,04 ◦	0,70
2,78 ◯	0,60
4,00 ◯	0,50
6,25 ◯	0,40
11,10 ◯	0,30

Figura 6.1 - Variação da secção do cabo em função do fator de potência [38]

A melhoria da tensão deve ser considerada como um benefício adicional à instalação da bateria de condensadores, pois geralmente estes não são instalados para esse fim. Contudo com a instalação da bateria de condensadores consegue-se uma diminuição da corrente, existindo menos quedas de tensão ao longo da instalação.

6.2.2 - Redução das Perdas

Nos sistemas de distribuição de energia elétrica na indústria, as perdas podem ir de 2,5 a 7,5% da potência consumida por essa mesma indústria, sendo que estas perdas dependem das horas de trabalho à plena carga, da secção e comprimento dos condutores. [38]

Para analisar a evolução das perdas num cabo de alimentação de uma carga, em função do fator de potência, considera-se uma carga monofásica alimentada por um cabo de dois condutores (Fase e Neutro) de resistência R (por condutor), sendo V a tensão da carga. Desta forma, a corrente no cabo de alimentação (corrente absorvida pela carga), I , é dado por:

$$I = \frac{S}{V} \quad (6.1)$$

Então as perdas no cabo podem ser calculadas pela expressão:

$$Perdas = 2RI^2 \quad (6.2)$$

Desenvolvendo a expressão, obtemos o seguinte resultado:

$$Perdas = 2R \frac{S^2}{V^2} = 2R \frac{P^2}{V^2 \cos^2 \varphi} \quad (6.3)$$

Considerando uma variável $K = \frac{2RP^2}{V^2}$

Obtemos a equação desejada:

$$Perdas = \frac{K}{\cos^2 \varphi} \quad (6.4)$$

Usando a equação 6.4, é elaborado a tabela 6.1, para um conjunto de valores (entre 0,5 e 1) do $\cos \varphi$.

Tabela 6.1 - Perdas em função do fator de potência

$\cos \varphi$	Perdas = $K/\cos^2 \varphi$
1	K
0,9	1,23 K
0,8	1,56 K
0,7	2,04 K
0,6	2,77 K
0,5	4,00 K

Como se pode verificar na tabela 6.4, há medida que o fator de potência diminui, as perdas aumentam. Desta forma torna-se claro que um fator de potência unitário traz vantagens para o sistema, quer na redução de perdas, quer na estabilidade da tensão no seu valor nominal.

Para o consumidor a redução das perdas no sistema e a não faturação da energia reativa, por parte do distribuidor, traz uma redução significativa no custo de energia elétrica. Além disso um fator de potência próximo do valor unitário aumenta a eficiência energética do sistema, existe uma redução do efeito de joule (aquecimento nos condutores e equipamentos), aumenta a vida útil da instalação e dos equipamentos, e uma redução da corrente na rede elétrica. [39]

6.3 - Regras de Faturação da Energia Reativa

Em janeiro de 2011 entrou em vigor a primeira fase das novas regras de faturação da energia reativa, publicadas pelo Despacho da ERSE nº7253/2010, embora, só em janeiro de 2012, tenha sido totalmente aplicado.

Este despacho tem como objetivo promover, nos consumidores de eletricidade, comportamentos adequados relativamente à compensação de energia reativa nas suas instalações. Com a introdução destas medidas espera-se uma utilização mais eficiente das redes elétricas, em linha com os objetivos indicados no Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC) de redução das perdas nas redes de transporte e distribuição.

6.3.1 - Aspectos Gerais na Faturação da Energia Reativa

A faturação da energia reativa, ocorre nos fornecimentos em Muito Alta Tensão (MAT), Alta Tensão (AT), Média Tensão (MT) e Baixa Tensão Especial (BTE), ou seja, as instalações com potência contratada acima de 41,4kVA estão abrangidos pelo regime de faturação da energia reativa (tabela 6.2).

Tabela 6.2 - Escalões de tensão

MAT	Tensão > 110kV	
AT:	45kV < Tensão ≤ 110kV	
MT:	1kV < Tensão ≤ 45kV	
BT	Tensão <1kV	
	BTE:	Potência contratada > 41,4kVA
	BTN:	Potência contratada ≤ 41,4kVA (não faturada)

O preço da energia reativa indutiva (energia reativa consumida) medida nas horas fora de vazio é variável por escalões, em função da energia reativa indutiva medida em cada período de integração, em percentagem da energia ativa medida no mesmo período.

Enquanto a energia reativa capacitiva (energia reativa fornecida à rede) medida em cada período de integração nas horas de vazio pode ser objeto de faturação, dependendo dos critérios objetivos definidos pelos operadores de rede.

No caso dos comercializadores, estes repercutem os encargos da energia reativa, do uso das redes de transporte e distribuição no fornecimento aos clientes (exceto em Baixa Tensão Normal). Assim os encargos com a energia reativa de uma instalação são totalmente independentes do comercializador que a fornece e dependem, exclusivamente, do funcionamento da instalação. Desta forma, o cliente deve tomar medidas que evitem ou minimizem o pagamento de energia reativa, através da utilização de equipamentos com fator de potência elevado, e/ou instalar equipamentos para a correção do fator de potência da instalação. [40]

6.3.2 - Regras de Faturação da Energia Reativa

As regras de faturação da energia reativa diferem se esta é consumida ou fornecida pela instalação. De seguida serão apresentadas as regras de faturação para a energia reativa capacitiva e para a energia reativa indutiva.

6.3.2.1 - Faturação da Energia Reativa Capacitiva

Nos períodos de vazio os consumos reduzem-se significativamente, em particular as cargas indutivas na rede. Com a redução dos consumos e o comportamento capacitivo das linhas e cabos em vazio, pode suceder que a rede fique descompensada no sentido capacitivo. Desta forma a injeção de energia reativa capacitiva na rede pelos clientes, durante as horas de vazio, traz efeitos indesejados para a rede. Nestas circunstâncias, o

regime em vigor incentiva os consumidores a desligarem os bancos de condensadores nas horas de vazio.

A faturação da energia reativa capacitiva, no regime que atualmente está em vigor não veio alterar em nada face ao que existia antes, a faturação desta energia apenas é faturada nas Horas de Vazio (horas Vz).

Quanto ao período de integração, esta que pode ser diário ou mensal, conforme o caso que se aplique. Toda a energia reativa pode ser alvo de faturação, ou seja, aplica-se o princípio que constata na equação 6.5 e 6.6. [40]

$$Wr_{Faturada} = Wr_{Vz} \quad (6.5)$$

$$Encargo_{P.I.} = q * Wr_{Faturada} \quad (6.6)$$

Com:

- Wr_{Vz} = Energia reativa capacitiva medida [kvarh] nas horas de vazio, em cada período de integração
- q = Preço de referência [€/kvarh] da energia reativa capacitiva, publicado anualmente pela ERSE.
- $Encargo_{P.I.}$ = Valor faturado [€] em cada período de integração

6.3.2.2 - Faturação da Energia Indutiva

Com o objetivo de promover a compensação da energia reativa indutiva, esta é faturada por escalões, em que o preço varia consoante o escalão de $tg\varphi$. Estes escalões penalizam os elevados consumos de energia reativa indutiva nas horas fora de vazio (horas FV).

A energia reativa indutiva é faturada em cada período de integração, que pode ser diário ou mensal, conforme o caso que se aplique, na energia reativa indutiva que exceda 30% da energia ativa consumida no mesmo período. [40]

A faturação é baseada num sistema de escalões, que pode ser visualizado na tabela 6.3:

Tabela 6.3 - Estrutura dos escalões da energia reativa indutiva

Escalão 1	$0,3 \leq tg\varphi < 0,4$
Escalão 2	$0,4 \leq tg\varphi < 0,5$
Escalão 3	$tg\varphi \geq 0,5$

O pagamento da energia reativa dos escalões é faturado ao preço de referência com um fator multiplicativo (equação 6.7). No entanto para o efeito de faturação tem-se em conta o montante em excesso nesse escalão e não o desvio agregado, isto é, sempre que a energia reativa exceda, por exemplo $tg\varphi = 0,5$, esse montante em excesso será distribuído e faturado pelos 3 escalões, ao respetivo preço do escalão, pois não será faturado todo o montante em excesso ao preço do último escalão.

$$Preço\ Escalão_i = Preço\ de\ Referência * Fator\ Multiplicativo_i \quad (6.7)$$

Os fatores multiplicativos a aplicar ao preço de referência da energia reativa indutiva, em 2012, de acordo com os Despachos 7253/2010 de 26 de abril e 10/2010 de 29 julho, da ERSE, são os seguintes (tabela 6.4):

Tabela 6.4 - Fatores multiplicativos [41]

Fator Multiplicativo ₁ (escalão 1)	0,33
Fator Multiplicativo ₂ (escalão 2)	1
Fator Multiplicativo ₃ (escalão 3)	3

6.3.2.3 - Períodos de Integração

Para o cálculo da faturação da energia reativa, o período de integração corresponde ao intervalo de tempo em que a energia reativa é medida e contabilizada para efeitos de faturação. O período de integração para a faturação de energia reativa favorece o comportamento da instalação de consumo na perspetiva da rede, pois garante a compensação da energia reativa nos momentos em que esta é prejudicial para a rede.

Os períodos de integração têm a seguinte duração:

- Diário para as entregas do Operador da Nacional de Transporte (RNT) ao Operador da Rede Nacional de Distribuição em AT e MT (RND);
- Diário para as entregas a clientes em MAT, AT e MT (Portugal Continental);
- Igual ao período de faturação (normalmente mensal) para as entregas a clientes em AT E MT nas Regiões Autónomas da Madeira e Açores;
- Igual ao período de faturação (normalmente mensal) para as entregas a clientes em BTE.

Existe um período de carência da faturação da energia reativa, em que esta só é faturada após oito meses de consumo de energia elétrica. Esta situação ocorre nas entregas a clientes em MAT, AT e BTE, desde que se trate de instalações novas ou não o sendo, se houver uma variação da potência contratada da instalação de, pelo menos, 50%. [40]

6.4 - Modos de Compensação em Baixa Tensão

Existem várias soluções para a compensação da energia reativa numa instalação de utilização. Estas soluções variam com a localização dos equipamentos na instalação de utilização da energia elétrica, e têm como objetivo assegurar o valor do fator de potência dentro do permitido pela legislação, sem que haja faturação.

Os modos de compensação mais comuns de se optar são:

- Compensação global
- Compensação setorial;
- Compensação local ou individual.

Para a escolha do modo de compensação, as características das cargas existentes na instalação tem um papel importante, mas o aspeto económico será também um influenciador da escolha. [39]

Analisemos de seguida os modos de compensação acima referidos.

6.4.1 - Compensação Global

Neste modo de compensação as baterias de condensadores são ligadas na entrada da instalação, isto é, no barramento do quadro geral, garantindo a compensação para o conjunto da instalação (figura 6.2).

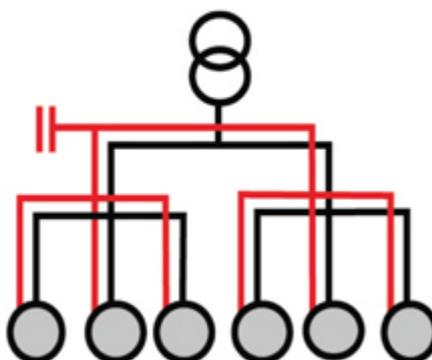


Figura 6.2 - Compensação global [42]

Este modo de compensação é geralmente utilizado quando não existe grande variação de carga, típico em instalações com muitos recetores de baixa potência ou média potência, que não entram em funcionamento todos ao mesmo tempo.

Este modo de compensação tem as seguintes vantagens:

- As baterias de condensadores instaladas são mais utilizadas, permitindo uma maior rentabilidade do investimento;
- Facilidade de supervisão e manutenção;
- Possibilidade de controlo automático;
- Alterações à instalação para implementação do sistema é relativamente simples.

O principal inconveniente consiste nas maiores perdas e quedas de tensão nos cabos de alimentação dos vários quadros parciais, em comparação com a compensação individual, pois não existe supressão dessa potência. [39]

6.4.2 - Compensação Setorial

Neste modo de compensação as baterias de condensadores são instaladas de forma a compensar um conjunto de cargas. Estas baterias são instaladas nos quadros parciais que alimentam esse setor (figura 6.3).

Este modo de compensação torna-se interessante quando os vários setores da instalação apresentam regimes de carga diferentes nos vários setores.

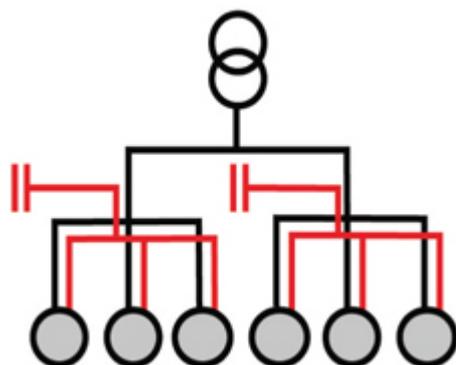


Figura 6.3 - Compensação setorial [42]

Neste modo de compensação é reduzida a potência reativa nos cabos de alimentação de interligação dos vários quadros parciais, contribuindo para a redução total das perdas e quedas de tensão da instalação. [39]

6.4.3 - Compensação Individual

É efetuado instalando os condensadores junto ao equipamento cujo fator de potência se pretende melhorar (figura 6.4).

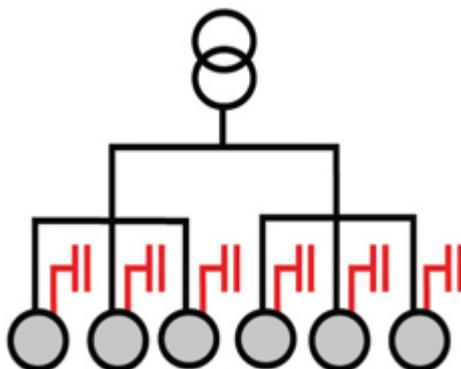


Figura 6.4 - Compensação individual [42]

Este tipo de compensação, do ponto de vista técnico, é a melhor solução, pois apresenta as seguintes vantagens:

- Reduz as perdas de energia em toda a instalação;
- Diminui a carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos compensados;
- Melhora os níveis de tensão em toda a instalação
- Gera energia reativa apenas onde esta é necessária

A principal desvantagem deste modo de compensação é o aspeto económico, pois muitos condensadores de pequena potência têm um custo superior ao banco de condensadores concentrados de potência superior. A pouca utilização dos condensadores, no caso do equipamento compensado não ser de uso constante, torna este sistema pouco rentável. [39]

6.5 - Compensação Não Automática e Compensação Automática

No que diz respeito às configurações das baterias de condensadores, para a compensação da energia reativa, elas podem ser dispostas da seguinte forma:

- Baterias de condensadores de capacidade fixa
- Baterias de condensadores de regulação automática

6.5.1 - Bateria de Condensadores de Capacidade Fixa

As baterias de condensadores, que normalmente são modulares (constituídas por um conjunto de condensadores), são ligadas diretamente nos barramentos, onde a injeção de energia reativa é fixa, independente da carga.

A compensação da energia reativa é feita através da totalidade da potência das baterias de condensadores, não existindo a possibilidade de regulação da mesma, designando-se desta forma compensação não automática.

Esta solução, em comparação com a compensação automática, tem um custo de aquisição inferior. Como não existe o controlo da energia reativa injetada na rede, existe a possibilidade de sobretensões na rede, devido à sobrecompensação em períodos em que a carga seja reduzida, além da faturação de energia reativa capacitiva. [39]

A ligação ou corte das baterias de condensadores pode ser realizada de três modos:

- Modo manual - em que a atuação é realizada por um interruptor, acionado pelo comando manual de um operador;
- Modo semiautomático - comando realizado por contactor, mediante uma ordem elétrica, por exemplo, através de um interruptor-horário;
- Modo direto - quando o equipamento é ligado diretamente ao recetor, que quando este é ligado ou desligado, atua conjuntamente da mesma forma sobre a bateria de condensadores.

6.5.2 - Baterias de Condensadores de Regulação Automática

As baterias de condensadores de regulação automática são constituídas por vários condensadores que são ligados e desligados em escalões, conforme a necessidade de energia reativa na instalação. Este tipo de equipamento é instalado no quadro geral da instalação ou então num quadro parcial de um setor importante da mesma.

O controlo da ligação ou corte dos escalões de condensadores é feito por um dispositivo eletrónico (relé varimétrico), que recebe informação da corrente da carga através de um transformador de corrente instalado na entrada do quadro, como é ilustrado na representação esquemática da figura 6.5. Com esta informação e com o ajuste do fator de potência desejado, o controlador manobra os condensadores. [39]

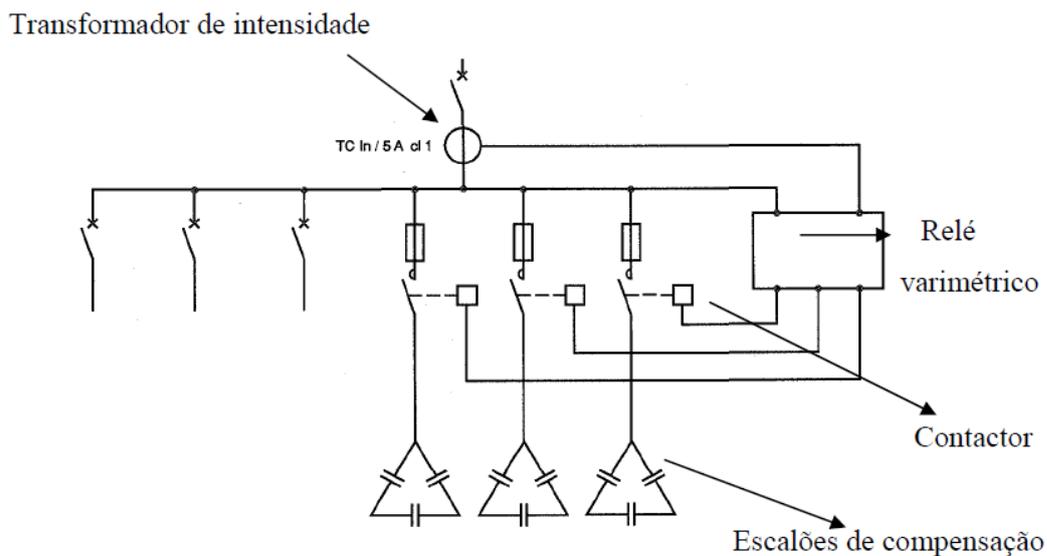


Figura 6.5 - Princípio de funcionamento da compensação automática de uma instalação [39]

6.6 - Conclusões

Nos dias de hoje, torna-se relevante que os consumidores procedam à compensação da energia reativa nas suas instalações, aumentando a eficiência do sistema elétrico e evitando a faturação dessa mesma energia.

A entrada em vigor do novo regime de faturação da energia reativa, que assenta num princípio de progressividade dos preços, é um incentivo à aplicação de baterias de condensadores e à eficiência do consumo. Se todos os consumidores compensassem localmente o fator de potência das suas instalações estariam a maximizar a capacidade disponível nas redes para transporte de energia ativa.

Como as Câmaras Municipais têm um elevado número de infraestruturas, com elevados consumos energéticos, é importante que estas deem o exemplo de boas práticas de eficiência energética e de redução de custos na faturação de energia, adotando uma política sustentável.

Capítulo 7

Caso de Estudo: Auditoria Energética ao Edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos

7.1 - Introdução

Neste capítulo é apresentado um estudo que incide sobre as instalações do edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos, tendo como objetivo a recolha de informação e posterior apresentação de soluções para estabelecimento de medidas de economia do consumo de energia, numa ótica de Eficiência Energética e de utilização racional de energia; ambas, não só potenciadoras de reduções da fatura energética, mas também promoção de medidas para um desenvolvimento sustentável.

No âmbito deste estudo numa primeira fase foi efetuada uma auditoria para uma caracterização da infraestrutura e dos equipamentos. Posteriormente procedeu-se à recolha e análise dos registos históricos dos consumos das diversas formas de energia envolvidas, para uma perceção da evolução do consumo.

Com o objetivo de procurar uma diminuição dos consumos de energia, foram identificadas as principais áreas de intervenção assim como as medidas a implementar nessas áreas.

Todas as medidas apresentadas são suportadas por um estudo de viabilidade técnica e económica, para o auxílio do processo de decisão relativo à efetivação e implementação das medidas, numa base de balanço custo-benefício.

7.2 - Caracterização Geral do Edifício Alvo

O edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos (figura 7.1) foi inaugurado a 8 de Dezembro de 1987, com o objetivo de criar um novo espaço de trabalho para dar resposta à insuficiência do edifício da rua Brito Capeto. Este edifício emblemático de arquitetura contemporânea portuguesa é um ponto de referência nesta cidade, cujos cidadãos ostentam com muito orgulho.



Figura 7.1 - Edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos

O edifício dos Serviços Centrais (Paços do Concelho) de Matosinhos é constituído por um edifício de 5 pisos acima do solo, mais um Piso 0 (rés do chão), um Piso -1 (cave) e uma Cobertura. Ao longo dos vários pisos estão distribuídos os departamentos municipais, alguns deles com atendimento ao público.

O horário de funcionamento dos vários serviços municipais alojados no edifício é apresentado na tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Horário de Funcionamento do edifício dos Serviços Centrais

Horário de Funcionamento			
Geral	Segunda a Sexta-Feira 09h00 - 12h30 14h00 - 17h30		Sábado e Domingo Encerrado
	Segunda, Terça, Quinta e sexta-feira 09h00 - 18h00	Quarta-Feira 09h00 - 20h00	

Para uma melhor compreensão da disposição dos vários órgãos/serviços do município pelo edifício, é descrita de seguida a ocupação de cada um deles por piso.

O **Piso -1**, também designado como Cave, possui uma área aproximada de 2553m². Está alojado uma oficina da equipa de manutenção, uma copa, dois armazéns e uma sala de exposições temporárias. Este piso por vezes é utilizado como espaço de arrecadação, com uma frequência pontual e pouco duradoura.

No **Piso 0** encontra-se o posto de transformação, com 62m² aproximadamente, explorado pela EDP. Existe também uma sala para o grupo gerador de emergência, uma pequena garagem e uma sala de exposições.

O **Piso 1**, que se situa ao nível do solo e tem uma área aproximada de 2371m², aloja a Receção do edifício, a Loja do Município, a Sala de Sessões da Assembleia Municipal, o Gabinete de Tecnologias da Informação, um arquivo e um Bar.

O **Piso 2**, com uma área de aproximada 2139m², alberga o gabinete do Presidente da Câmara, os Serviços de Apoio à Presidência e os Departamentos de Recursos Humanos e Financeiro.

O **Piso 3** tem uma área de cerca de 1910m², aloja os gabinetes dos Vereadores, os Serviços de Apoio à Vereação e o Departamento de Gestão Urbanística. Tem também o Salão Nobre da autarquia e os respetivos bastidores.

O **Piso 4**, com uma área aproximada de 1127m², aloja o Departamento de Investimentos Municipais e os gabinetes técnicos municipais de Engenharia e de Arquitetura.

Por último, o **Piso 5** com área aproximada de 902m², alberga os gabinetes do Departamento de Intervenção Económica e Social, do Departamento de Cultura e Turismo e do Departamento de Planeamento Urbanístico.

Na tabela 7.2 apresentam-se os vários serviços do município descritos anteriormente e a área que estes ocupam no edifício em estudo.

Tabela 7.2 - Distribuição de áreas por serviço do edifício dos Paços do Concelho

Distribuição de Áreas (m ²)			
Serviço	Área	Serviço	Área
Assembleia Municipal	339	Presidência	395
Vereação	352	Administração e Finanças	933
Estudos e Planeamento Estratégico	100	Investimentos e Infraestruturas	745
Auditoria e Qualidade	40	Acolhimento e Comunicação	178
Desenvolvimento Económico, Social e Cultural	335	Jurídico e de Apoio aos Órgãos Autárquicos	191
Loja do Município	472	Tecnologias de Informação	237
Outros Serviços	113	Oficina	150
Salão Nobre	300	Sala de Sessões	215
Bar	79	Circulação e Sanitários	3425
Total		12295	

Um outro aspeto relevante na caracterização do edifício é a sua envolvente, que corresponde à superfície do edifício que faz fronteira com o exterior, a qual é composta com parede de tijolo com caixa-de-ar e revestido a reboco.

Quanto aos envidraçados do edifício estes são de vidro duplo, caixilharia de madeira e sem proteção solar, como se pode visualizar na figura 7.2. Estes têm um papel fundamental no desempenho térmico, pois através destes é possível controlar as cargas térmicas promovidas pela radiação solar, bem como a taxa de renovação de ar/ventilação.



Figura 7.2 - Envidraçado do edifício

7.3 - Caracterização Geral da Instalação Elétrica

Os consumos energéticos do edifício dos Paços do Concelho derivam principalmente do aquecimento, da iluminação e do equipamento informático. As necessidades energéticas do edifício são integralmente satisfeitas por recurso à energia elétrica.

Esta energia elétrica é fornecida em BT, tarifada no regime BTE - Médias Utilizações, através de uma alimentação dedicada, proveniente do quadro geral de baixa tensão do posto de transformação, instalado em dependência própria na cave do edifício da autarquia, mas explorado pelo fornecedor.

Este edifício possui também produção própria em baixa tensão (400-230V a 50Hz), através de um grupo motor-gerador do tipo Diesel e por meio de painéis fotovoltaicos de 5,5kWp.

O grupo é utilizado meramente como grupo gerador de emergência, com uma potência de 89kVA, instalado na cave do edifício da autarquia, ligado ao Quadro de Geral de Instalação de Emergência (QGIE).

Quanto aos painéis fotovoltaicos que estão instalados na cobertura do edifício, estes totalizam 32 unidade constituídos por células solares de silício monocristalino do fabricante *Suntech STPAc*, com uma tensão nominal de 24V, com potência máxima por painel de 170Wp e com uma eficiência total de 14,1%. O conjunto dos painéis está ligado a um inversor *Fronius IG40*, com potência de 5500Wp e com uma eficiência máxima de 94,3%.

Através da consulta da página de internet do município é possível ver o resumo de produção destes painéis, como podemos visualizar na figura 7.3.



Figura 7.3 - Resumo da produção dos painéis fotovoltaicos instalados no edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos [43]

Para assegurar a continuidade dos sistemas eletrónicos tais como as redes informáticas, o edifício dispõe de uma UPS (*Uninterruptible Power Supply*), que assegura a alimentação desses sistemas, caso ocorra um distúrbio na alimentação. As UPS, além de fornecerem proteção contra as falhas da alimentação elétrica podem também filtrar as perturbações encontradas na alimentação da rede elétrica (quedas de tensão, “ruído” elétrico), fornecendo assim às cargas mais sensíveis uma alimentação elétrica estável.

A UPS, que está localizada na cave do edifício, é trifásica de baixa tensão (400-230V a 50Hz), com uma potência de 80kVA, garantindo assim, uma certa autonomia elétrica aos circuitos de tomadas dos equipamentos informáticos.

Para a compensação do fator de potência, o edifício dispõe de uma bateria de condensadores localizados na cave do edifício. Esta bateria de condensadores de 100kVAr, com 6 escalões de potência, está montada num quadro elétrico construído para o efeito e ligada ao Quadro Geral da Instalação Normal (Q.G.I.N). A quantidade de energia reativa injetada na instalação é controlada por um relé varimétrico que assegura a regulação automática.

7.3.1 - Rede de Distribuição e Quadros Elétricos

O edifício dispõe de três quadros elétricos para a distribuição interna da energia elétrica, figura 7.4. Os quadros são designados de QGIN (quadro geral da instalação normal), QGIE (quadro geral da instalação de emergência) e QGUPS (quadro geral da UPS), de onde partem para os quadros parciais, distribuídos pelos pisos, através das diversas canalizações elétricas devidamente protegidas.

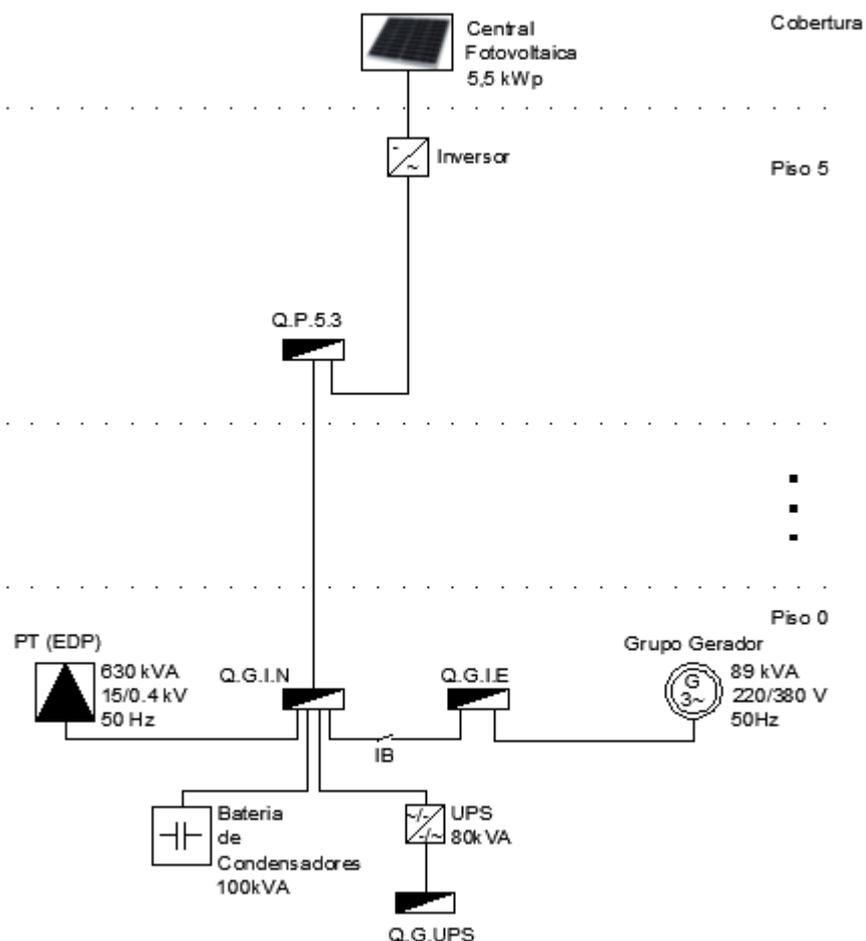


Figura 7.4 - Infraestrutura de alimentação elétrica

A central fotovoltaica encontra-se ligada por um disjuntor unipolar, imediatamente a jusante do aparelho de corte geral do quadro Q.P.5.3. É de salientar também que os quadros QGIN e QGIE estão ligados por meio de um sistema interbarras, associado a inversor automático. Quanto ao quadro QGUPS, este dispõe de sistema *bypass*, sendo normalmente alimentado por 2 saídas dedicadas no quadro QGIN.

É a partir dos quadros gerais, que os quadros parciais distribuídos ao longo dos pisos do edifício, alimentam os diversos circuitos finais de utilização (iluminação, tomadas, aquecimento, ventilação, bombagem de água, ascensores, informática).

7.3.2 - Desagregação dos Consumos

A desagregação dos consumos do edifício permite identificar quais os setores onde a intervenção é mais eficaz e propor soluções que melhor se adaptam a cada realidade. Este tipo de desagregação, que permite determinar quais os fins em que é utilizada a energia, é de difícil obtenção, pois exigiria medições durante o período de auditoria. No entanto, este já tinha sido realizado através de um modelo de simulação de consumos efetuado pelo INEGI em 2010 ao mesmo edifício, que pode ser visualizado na figura 7.5.

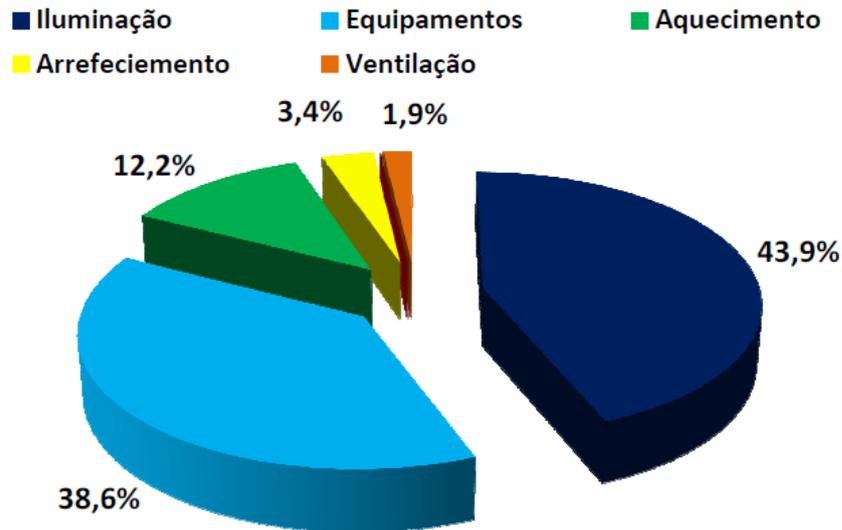


Figura 7.5 - Desagregação dos consumos do edifício [46]

Através da figura 7.5 pode-se verificar que a iluminação é responsável pela maior fatia do consumo de energia elétrica, representando cerca de 44%, sendo este setor o que merece uma maior preocupação. Os equipamentos associados à atividade do edifício, tais como equipamento informático e elevadores, representam 38,6% do consumo. O sistema de aquecimento é a terceira maior fonte de consumo de energia elétrica, merecendo também uma análise técnica a este sistema.

7.3.3 - Sistemas de Iluminação

A iluminação artificial do edifício é assegurada, regra geral, por armaduras “tipo régua” sem qualquer tipo de controlo de luz, figura 7.6. Estas armaduras não dispõem de difusor nem refletor e são equipadas com lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 18, 36 ou 58W. Além disso, estas armaduras dispõem de balastros magnéticos de classe C (balastros magnéticos com perdas moderadas).



Figura 7.6 - Armadura com lâmpada fluorescente T8 de 58W

Existem algumas exceções como na Loja do Município, de conceção mais recente, onde a iluminação é assegurada por armaduras equipadas com lâmpadas fluorescentes T5, associadas a balastros eletrónicos de classe A2 (baixas perdas).

Nas instalações da Presidência, a iluminação é auxiliada por lâmpadas fluorescentes compactas de 8 e 16W.

Por último, a sala de exposições é iluminada através de lâmpadas Led de 10W (figura 7.7), que vieram substituir as lâmpadas de halogénio de 50W.



Figura 7.7 - Lâmpada Osram LED de casquilho GU10

Devido à grande dimensão do edifício e à semelhança dos sistemas de iluminação nos vários pisos, a caracterização mais detalhada destes sistemas será efetuada apenas para o Piso 1 do edifício dos Paços do Concelho.

Para uma melhor perceção do espaço em estudo é aconselhado a consulta do Anexo B, onde está representado as várias áreas de estudo do Piso 1 do edifício.

A iluminação artificial deste piso é alimentada através de 6 quadros parciais distribuídos ao longo deste.

Na tabela 7.3 são caracterizadas os equipamentos principais do sistema de iluminação do piso 1 do edifício.

Tabela 7.3 - Sistema de iluminação artificial do Piso 1

	Comando	Tipo de Armadura	Tipo de Lâmpada	P da Lâmpada (W)	Nº de Armaduras	P Total (W)
Assembleia Municipal	Interruptor modular	Suspensa	Fluo. Compacta	20	55	1100
Gabinetes	Interruptor unipolar ou comutador de escada	Régua com difusor opalino	Fluo. Tubular (T8)	58	105	12180
WC	Interruptor unipolar	Régua	Fluo. Tubular (T8)	18	28	504
Bar	Interruptor modular	Régua com difusor opalino	Fluo. Tubular (T8)	58	12	1392
Loja Muncipe (Back Office)	Interruptor modular	Régua com difusor opalino	Fluo. Tubular (T5)	35	32	1120
Loja Muncipe (Front Office)	Interruptor modular	Régua com difusor opalino	Fluo. Tubular (T5)	35	53	1855
Entrada Loja Muncipe	Interruptor modular	Spot	Halogénio	50	7	350
Área de Circulação 1	Interruptor modular	Régua	Fluo. Tubular (T8)	36	64	2304
Área de Circulação 2	Interruptor modular	Régua	Fluo. Tubular (T8)	58	63	3654
Área de Circulação 3	Telerruptor	Régua	Fluo. Tubular (T8)	36	10	360
Área de Circulação 4	Telerruptor	Régua	Fluo. Tubular (T8)	18	13	234
Área de Circulação 5	Interruptor modular	Régua	Fluo. Tubular (T8)	36	54	1944
Exterior	Interruptor Horário	Projeter	Vapor de Sódio AP	80	14	1120
Potência Total Instalada (W)						26173

7.3.3.1 - Iluminação da Assembleia Municipal

A iluminação artificial da assembleia municipal é alimentada pelo Quadro Parcial 1.1 (Q.P.1.1), através de dois circuitos comandados por um interruptor modular no presente quadro. São utilizadas armaduras do tipo suspensas com lâmpadas fluorescentes compactas de 20W, como se pode visualizar na figura 7.8.



Figura 7.8 - Luminária utilizada na Assembleia Municipal

7.3.3.2 - Iluminação dos Gabinetes

Nos vários gabinetes dispersos pelo piso, são utilizadas armaduras do tipo régua com difusor opalino, com duas lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 58W, associados a balastros magnéticos de classe C, como se pode ver na figura 7.9.

O comando dos circuitos de iluminação dos gabinetes é do tipo manual. Dependendo da sua dimensão, os circuitos de iluminação podem ser acionados através de comutadores de escada bipolares (para os gabinetes de maior dimensão), ou através de interruptores unipolares (nos gabinetes de pequenas dimensões). Nos gabinetes de maior dimensão existe também a possibilidade de comandar separadamente, 2 ou mais conjuntos de luminárias.



Figura 7.9 - Luminária utilizada nos Gabinetes

7.3.3.3 - Iluminação das Áreas de Circulação

A iluminação das áreas de circulação é assegurada por armaduras do tipo régua sem difusor nem refletor, com uma lâmpada fluorescente tubular T8 de 18 ou 36W, nos corredores de acesso aos gabinetes, ou 58W nos corredores "principais". Estas armaduras têm, também incorporado, um balastro magnético de classe C.

Nas áreas de circulação de acesso aos gabinetes o comando dos circuitos de iluminação é efetuado por um telerruptor acionado por botões de pressão. Nas áreas de circulação “principais” a iluminação é comandada através de interruptores modulares integrados no quadro parcial.

7.3.3.4 - Iluminação da Loja do Município

Como foi referido anteriormente, a loja do município foi concebida recentemente, existindo um quadro parcial que alimenta esta zona.

Esta zona é iluminada por armaduras do tipo régua com refletor e de difusor opalino incorporado. Esta armadura está equipada com lâmpada fluorescente tubular T5 associado a um balastro eletrónico de Classe A2.

A entrada que dá acesso à loja do município é feita por uma porta automática, a qual é iluminada por 7 lâmpadas de halogénio de 50W.

Os circuitos de comando para toda a Loja do Município é realizado por interruptores modulares presentes no respetivo quadro elétrico.

7.3.3.5 - Iluminação das Casas de Banho

A iluminação das casas de banho é feita por armaduras do tipo régua com lâmpadas fluorescentes tubulares T8 de 18W, como se pode observar na figura 7.10, associado a um balastro magnético de classe C. Estas armaduras na zona dos lavatórios possui um difusor opalino.



Figura 7.10 - Luminárias utilizadas nas Casas de Banho

O comando dos circuitos de iluminação da casa de banho é feito por um interruptor bipolar, o qual aciona de forma independente a iluminação nas duas zonas (lavatórios e zona das sanitas).

Existe uma exceção nas casas de banho que servem a loja do município, as quais são iluminadas por lâmpadas fluorescentes compactas de 18W ativadas por sensores de movimento.

7.3.3.6 - Iluminação do Bar

As luminárias utilizadas no Bar são semelhantes às dos Gabinetes, no entanto estas diferem no tipo de comando. Esta diferença deve-se à necessidade de comandar

separadamente três conjuntos de luminárias, utilizando interruptores modulares integrados no quadro do bar.

7.3.3.7 - Iluminação da Fachada do Edifício

A iluminação da fachada do edifício é realizada através de 14 projetores, ao qual está associado uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão de 80W. Estes são comandados através de dois interruptores horários localizados no quadro parcial 1.1 (Q.P.1.1) e no quadro parcial 1.3 (Q.P.1.3).

7.3.4 - Sistemas de Aquecimento

O aquecimento do edifício é assegurado, regra geral, por aquecedores elétricos fixos, com a potência unitária de 1500W, como se pode visualizar na figura 7.11.



Figura 7.11 - Aquecedor elétrico fixo utilizado no edifício

Estes são comandados globalmente por um interruptor horário, localizado nos quadros parciais. O interruptor horário está regulado para ligar o sistema de aquecimento de segunda a sexta-feira, das 6h às 18h, figura 7.12. Este tipo de aquecedor apenas tem um termostato que regula a temperatura dissipada pelo aparelho, no entanto não regula a temperatura da divisão.



Figura 7.12 - Interruptor horário que regula o sistema de aquecimento

Estes aquecedores estão distribuídos pelos diversos gabinetes, sendo que no piso 1 foram contabilizados 44 aquecedores. O número de dispositivos por gabinete é variável, pois depende da área da divisão, podendo ir de um até seis aquecedores por gabinete.

Excetuam-se o gabinete da Presidência, os serviços de apoio à mesma, a Loja do Município e a sala de servidores informáticos, onde são usados *splits* para o aquecimento e/ou arrefecimento desses mesmos espaços.

7.4 - Metodologia de Intervenção para os Sistemas de Iluminação

Neste ponto serão apresentadas, as soluções propostas para os sistemas de iluminação para cada área do Piso 1, pois uma vez que os restantes pisos do edifício têm uma disposição semelhante, este piso servirá de amostra.

Para uma melhor compreensão da localização das áreas em análise é apresentado no Anexo B, a localização das mesmas através de uma planta do Piso 1.

Após a definição da área de estudo, efetuou-se a medição dos valores de iluminância de cada uma das áreas, com vista a verificar se os valores medidos estão de acordo com os valores de referência. Os resultados destas medições apresentam-se no Anexo C

Estas medições não tiveram como objetivo um estudo exaustivo dos níveis de iluminância, mas sim, uma estimativa dos valores de iluminância dos vários locais em análise.

Dada a diversidade de equipamentos de iluminação existentes no mercado, surgiu a necessidade de analisar qual o tipo de lâmpada que melhor se adapta a cada espaço em análise. Assim, realizou-se um ensaio em laboratório para determinar o consumo efetivo de cada tipo de lâmpada, o respetivo fator de potência, e ainda a distorção harmónica que estas causam na forma de onda da tensão e da corrente.

No Anexo D é apresentado todo o processo de preparação, elaboração, e as conclusões que permitiram identificar de forma rigorosa qual o tipo de lâmpada mais adequado às características do espaço.

Conclui-se que de todas as lâmpadas analisadas a lâmpada fluorescente T5 com balastro eletrónico e a lâmpada LED foram as que mais se aproximavam dos requisitos pretendidos. Estas apresentam um baixo consumo de energia quando comparadas com o atual sistema de iluminação implementado no edifício (lâmpada fluorescente T8 com balastro magnético).

Se por um lado a lâmpada LED possui um baixo consumo de energia, por outro apresenta um baixo fator de potência assim como uma elevada distorção harmónica, o que comparada com a lâmpada fluorescente T5 com balastro eletrónico, não mostra grandes vantagens que justifique a sua escolha. Para além destes fatores conclui-se também que o fluxo luminoso é inferior ao da lâmpada fluorescente T5 de potência equivalente, podendo não garantir, para o local de implementação, os níveis de iluminância recomendados.

Perante estes fatores, sempre que possível, optou-se pela escolha da lâmpada fluorescente T5 com balastro eletrónico, eco-Tubo, pois esta apresenta as melhores características técnicas e económicas.

Considerando os sistemas de iluminação existentes no edifício (ponto 7.3.3) é evidenciado, de seguida, as medidas adequadas à eficiência energética nos sistemas de iluminação. Para isso, é realizado um estudo tendo em principal consideração o custo/benefício do investimento.

7.4.1 - Áreas de Circulação

Das visitas ao edifício que teve como objetivo a obtenção de dados como: tipo de materiais aplicados, modo de utilização e tipo de arquitetura. Verificou-se que nas áreas de circulação não existe nenhum modo de comando automático para os sistemas de iluminação, assim como os níveis de iluminância nem sempre são os mais adequados.

7.4.1.1 - Área de Circulação 1

O corredor situado na retaguarda da Assembleia do Município, que dá acesso aos gabinetes, é comandado de forma manual através de dois interruptores modulares situado no quadro parcial (Q.P.1.2). Durante o período de auditoria verificou-se que apenas um dos interruptores modulares estava acionado ficando as luminárias ligadas de forma alternada. Este método é muito utilizado em todo o edifício para obtenção de alguma poupança de energia, apesar de não ser a melhor prática, pois além de uma má uniformidade, os níveis de iluminância situam-se abaixo dos valores de referência.

Para uma poupança de energia sem colocar em causa os níveis de conforto, é sugerido que existam dois níveis de iluminância, consoante a presença ou ausência de utilizadores. Desta forma obtém-se um nível de iluminância reduzido quando não existe pessoas a circular pelo corredor, e outro com os valores de referência para zonas de circulação (100lux) quando detetado a circulação do utilizador.

Para isso, um conjunto de luminária será ligado manualmente através do interruptor modular presente no quadro parcial, que será designado como “luminárias A”. As restantes luminárias (designadas como “luminárias B”) serão ligadas através de um sensor de tecnologia por infravermelhos, que apenas acionará as luminárias quando detetada a passagem de um utilizador e os níveis de iluminância forem inferiores a 100lux.

Quanto ao tipo de luminárias é sugerida a adaptação das armaduras atuais, modificando apenas as lâmpadas fluorescentes T8, por eco-Tubos com refletor, pois estes últimos têm uma maior eficiência energética. Para obtenção das poupanças realizou-se uma folha de cálculo que pode ser visualizada na figura 7.13.

Luminárias A	Sempre ligado durante o período de trabalho	
Luminárias B	Liga apenas pela passagem do utilizador	

Preço médio de energia por kWh	0,15 €			
Dias/Ano de trabalho	252 dias			
Horas de Trabalho	10 horas/dia			
Nº de Horas que as Luminárias B estão Ligadas	3 horas/dia			
Duração de vida T8	10000 horas			
Duração de vida T5	20000 horas			
			Custo da Lâmpada T8 de 36W	1,50 €
			Custo da Lâmpada T5 de 28W	3,00 €
			Custo Mão de obra	13 €/h
			Consumo Energético T8 36W	45 W/h
			Consumo Energético EBM-128R	31 W/h

Material Necessário			
Tipo	Nº (uni)	Preço (€/uni)	Total (€)
EBM-128R	10	20,9	209
Detetor IV 180º	3	28	84
			293

Potência Consumida				
	Agora com T8		Depois com eco-Tubo	
	Luminárias A	2,25	kW/dia	1,55
	567	kW/ano	390,6	kW/ano

	Agora com T8 sem Sensor		Depois com eco-Tubo e Sensor	
	Luminárias B	2,25	kW/dia	0,465
	567	kW/ano	117,18	kW/ano

	Numero de trocas	Luminárias A		Luminárias B	
		Agora	Depois	Agora	Depois
Tocas de lâmpadas/ano		0,25	0,13	0,25	0,04
	Custo	0,38 €	0,38 €	0,38 €	0,11 €
Total de poupança por lâmpada ano		- €		0,26 €	
Total de poupança		1,32 €			

	Custo/ano em manutenção	Luminárias A		Luminárias B	
		Agora	Depois	Agora	Depois
Manutenção		0,27 €	0,14 €	0,27 €	0,04 €
Poupança por lâmpada ano		0,14 €		0,23 €	
Total de poupança		1,84 €			

Resultados		
	Agora	Depois
Custos totais de eletricidade	170,1 €/ano	76,167 €/ano
Redução dos custos	0 €/ano	97,10 € €/ano
Investimento	0 €	293 €
Amortização	3,0 anos	

Figura 7.13 - Cálculo da Poupança ao final de um ano pela substituição das lâmpadas T8 por eco-Tubos

Na folha de cálculo é considerado um período de trabalho de 10h sendo que durante esse período cinco das dez luminárias desse corredor estarão sempre ligadas (luminárias A), enquanto as outras cinco luminárias ligarão apenas quando o sensor detetar a passagem de um utilizador, que por sua vez, o somatório considerado para os períodos que essas luminárias estarão ligadas é de 3 horas. Nestas condições consegue-se uma poupança de cerca de 97€ por ano, com um período de amortização de 3 anos.

7.4.1.2 - Área de Circulação 2

Na área de circulação que liga a parte frontal do edifício às traseiras, as luminárias estão instaladas em duas filas nas sancas laterais do corredor, ligadas de forma independente através de dois interruptores modulares instalados no quadro parcial.

Tal como se verificou noutras áreas de circulação o técnico responsável recorre à ligação das luminárias de forma alternada, com o intuito de proporcionar uma poupança de energia, embora esta prática não seja recomendada. Uma opção mais rentável seria a substituição das luminárias fluorescentes tipo régua com lâmpadas fluorescentes de 58W por fita LED obtendo-se uma boa uniformidade, além de baixar o consumo de energia elétrica e manter os níveis de iluminância recomendados nesta área de circulação.

Esta solução permite uma poupança de energia (figura 7.14), visto que o consumo da fita LED é muito reduzido quando comparado com o atual sistema, conseguindo-se uma poupança anual de 1015€.

Preço médio de energia por kWh	0,15 €	Custo mão de obra	13 €/h
Horas de trabalho	10 h	Custo da Lâmpada T8 de 58W	1,50 €
Dias/Ano de trabalho	250 dias	Custo fita LED por metro	26,06 €
Duração de vida T8	10000 horas		
Duração de vida Fita LED	30000 horas		

Nº de Lâmpadas		Lâmpada que substitui: 58W do corredor	
Consumo de energia	Consumo Energético (W/h)	T8-58W	Fita LED (metros)
	Custo de energia por lâmpada/hora	56	80
	Custo de energia por ano	70	14,4
	Poupança em Consumo Energético/Ano	0,011 €	0,002 €
		1.470,00 €	302,40 €
		1.167,60 €	

Troca de lâmpadas Fluorescentes	Trocas de Lâmpadas /ano	Número médio de Trocas Custo
	14	7
	21,00 €	173,73 €
Poupança em Lâmpadas Ano		152,73 €

Manutenção	Custo de manutenção/ano	Lâmpada (5min) ou Fita LED (10min)
	15,17 €	14,44 €
	Poupança em Manutenção	
		0,72 €

Total Poupança		1.015,59 €
----------------	--	------------

Poupança Total Anual	1.015,59 €
----------------------	------------

Investimento	Modelo do equipamento	Fita LED MAHÓN 230V
	Número de Unidades (metros)	80
	Preço por metro	26,06 €
Total		2.084,80 €

Amortização (anos)	2,1
--------------------	-----

Figura 7.14 - Cálculo da Poupança ao final de um ano utilizando Fita LED

A Fita LED considerada para o cálculo é do fabricante “Luz Negra” e do modelo “MAHÓN” (figura 7.15), esta fita LED tem a particularidade de poder ser ligada diretamente a 230V, emitindo um fluxo luminoso de 740Lm por metro.



Figura 7.15 - Fita LED ligada diretamente a 230V [44]

Como o corredor tem um comprimento aproximado de 40 metros, e a fita LED deve ser colocada nas duas sancas laterais deste, sendo necessários 80 metros de Fita LED, com o preço total do equipamento de 2085€, amortizável em 2,1 anos.

7.4.1.3 - Área de Circulação 3

No corredor que liga o *back-office* da Loja do Município aos gabinetes de apoio (corredor onde está instalado Q.P.1.4), o sistema de iluminação é comandado de forma manual através de 3 botões de pressão que acionam um telerruptor ligando todas as luminárias deste corredor. Durante o período de auditoria verificou-se que a iluminação neste corredor permanece ligada, mesmo na ausência dos utilizadores, existindo assim um consumo de energia que pode ser evitado.

Para este espaço é sugerido duas alternativas com um custo de investimento distinto.

A primeira alternativa proposta considera que o sistema de controlo da iluminação seja de forma automática, isto é, a iluminação apenas é ligada pela passagem de um utilizador. Para isso é proposto a aplicação de detetores de tecnologia infravermelho, um colocado em cada extremidade do corredor e outro no meio, permitindo assim que todas as zonas do corredor são cobertas por estes sensores.

Como as luminárias deste corredor estão ligadas apenas por um circuito, isto é, o sistema de comando aciona todas as luminárias deste corredor, fará que quando não existe a passagem de utilizadores, o corredor fique apenas iluminado através da luz proveniente dos gabinetes, podendo trazer algum desconforto para o utilizador.

Quanto ao tipo de luminárias, tal como na área de circulação 1, é proposto a reutilização da armadura, substituindo apenas as lâmpadas fluorescentes lineares de 36w por eco-Tubos com refletor, pois estas trazem uma redução no consumo de energia significativo, sem por em causa os valores de referência da iluminância para as áreas de circulação.

Para o cálculo da poupança e tempo de amortização do investimento foi realizada uma folha de cálculo que pode ser visualizada na figura 7.16.

Preço médio de energia por kWh	0,15 €				
Dias/Ano de trabalho	252	dias		Custo da Lâmpada T8 de 36W	1,50 €
Horas de Trabalho	10	horas/dia		Custo da Lâmpada T5 de 28W	3,00 €
Nº de Horas que as Luminárias estão Ligadas	4	horas/dia		Custo Mão de obra	13 €/h
Duração de vida T8	10000	horas		Consumo Energético T8 36W	45 W/h
Duração de vida T5	20000	horas		Consumo Energético EBM-128R	31 W/h

Material Necessário			
Tipo	Nº (uni)	Preço (€/uni)	Total (€)
EBM-128R	10	20,9	209
Detetor IV 180º	3	28	84
			293

Consumos de Energia			
Agora com T8 sem Sensor		Depois com eco-Tubo e Sensor	
2,25	kW/dia	1,24	kW/dia
1134	kW/ano	312,48	kW/ano

		Agora	Depois
Tocas de lâmpadas/ano	Numero de trocas	0,25	0,05
	Custo	0,38 €	0,15 €
Total de poupança por lâmpada ano		0,23 €	
Total de poupança		2,27 €	

		Agora	Depois
Manutenção	Custo/ano em manutenção	0,27 €	0,05 €
	Poupança por lâmpada ano	0,22 €	
Total de poupança		2,18 €	

Resultados		
	Agora	Depois
Custos totais de eletricidade	170,10 € €/ano	46,87 € €/ano
Redução dos custos	0 €/ano	127,68 € €/ano
Investimento	0 €	293 €
Amortização	2,3 anos	

Figura 7.16 - Cálculo da Poupança e período de amortização com utilização de eco-Tubo e Sensores IV

Para a implementação desta solução é necessário um investimento de 293€, não considerando a mão-de-obra para a modificação do sistema. Para o cálculo da poupança é considerado que o somatório dos períodos que as luminárias estão ligadas devido à passagem de um utilizador é de 4 horas por dia. Nestas condições teremos um período de retorno do investimento de 2,3 anos.

A segunda alternativa consiste em aplicar o sistema "Corridor Function", esta solução é ideal para locais com pouco movimento, que é o caso deste corredor. Este sistema em vez de desligar completamente a iluminação na ausência de pessoas é efetuado uma regulação de fluxo luminoso para cerca de 10%. No momento em que alguém entra no local, o fluxo luminoso é regulado para 100%. Para uma melhor compreensão do "Corridor Function" visualizemos a figura 7.17.

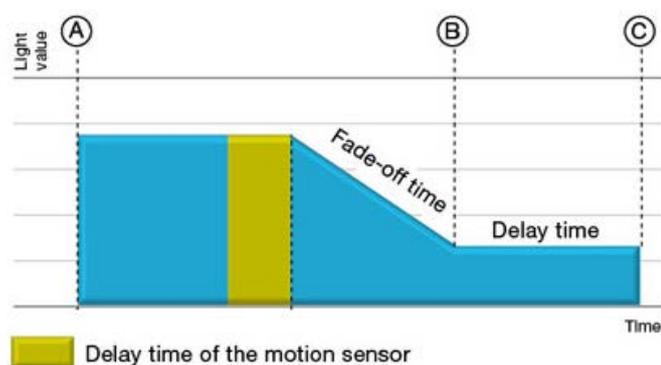


Figura 7.17 - Corridor Function [45]

Como ilustrado na figura 7.17, o fluxo luminoso permanece a 100% (ponto A) quando é detetada uma pessoa, depois da pessoa se ausentar do local o fluxo luminoso permanece constante durante um determinado período de tempo regulável. Passado esse período (*delay time*), o fluxo luminoso começa a reduzir até 10% (ponto B). Não sendo detetada a presença do utilizador o sistema de iluminação desliga-se por completo (ponto C), até ser detetado alguém novamente.

A temporização para a diminuição do fluxo luminoso é regulada pelo detetor de movimento, enquanto a velocidade da variação do fluxo luminoso depende do balastro eletrónico.

Este sistema requer um investimento superior quando comparado à sugestão anterior, mas além de uma grande poupança de energia, este sistema permite que o corredor permaneça sempre com uma iluminação mínima, transmitindo algum conforto para o utilizador.

Para a implementação desta solução, são necessários três detetores de tecnologia infravermelha, um colocado em cada extremidade do corredor e outro no meio, permitindo que toda a área deste espaço fique coberta pelos detetores. É necessário também a troca de balastros, para balastros eletrónicos de classe A1, para além da modificação das lâmpadas fluorescentes lineares T8 de 36W para lâmpadas fluorescentes lineares de 28W T5.

Para o cálculo do investimento e o tempo de amortização foi utilizado um *software* do fabricante Tridonic, figura 7.18. Os preços dos materiais considerados foram fornecidos pelo mesmo fabricante.



Figura 7.18 - Cálculo do tempo de amortização do *Corridor Function*.

Nesta simulação não foi considerada a mão-de-obra para a modificação do sistema, assim sendo, para a implementação deste sistema é necessário um investimento de 418€ com uma amortização prevista de 6 anos.

7.4.1.4 - Área de Circulação 4

No corredor que dá acesso ao bar do edifício, a iluminação artificial é garantida por 13 luminárias equipadas com lâmpadas fluorescentes lineares de 18W com balastro magnético de classe C. Estas luminárias são comandadas através de quatro botões de pressão distribuídos pelo corredor os quais acionam um telerruptor, que por sua vez liga todas as luminárias.

Verificou-se durante a auditoria que este corredor como dá acesso a gabinetes e ao bar, possui um maior movimentação quando comparado à área de circulação 1 e 3. Desta forma as luminárias encontram-se constantemente ligadas durante o período de funcionamento do edifício.

A aplicação de um sistema de comando automático através de sensores de tecnologia por infravermelhos poderá não trazer grandes poupanças de energia, sendo assim, neste corredor em particular optou-se por manter o atual sistema de comando.

Quanto as luminárias atuais, tipo régua com lâmpadas fluorescentes lineares T8 de 18W e balastro magnético tipo C, é proposto que se reutilize as armaduras optando apenas pela implementação do eco-Tubo com refletor, o que permite uma poupança anual de 60,27€, como se pode verificar na folha de cálculo realizada e ilustrada na figura 7.19.

Preço médio de energia por kWh	0,15 €	Custo mão de obra	13 €/h
Horas de trabalho	10 h	Custo da Lâmpada T8 de 18W	1,50 €
Dias/Ano de trabalho	250 dias	Custo da Lâmpada T5 de 14W	3,00 €
Duração de vida T8	10000 horas		
Duração de vida T5	20000 horas		

Consumo de energia/lâmpada	Consumo Energético (W/h)		Lâmpada que substitui: 18W	
	Poupança de Energia com Eco-Tubo (W/h)		T8-18W	EBM - 114R
	Total de poupança por lâmpada em consumo Energético/hora		28	16
	Total Poupança em Consumo Energético/Ano		12	
		0,0018 €		
		4,50 €		

Troca de lâmpadas Fluorescentes	Trocas de Lâmpadas /ano	Número de Trocas	0,25	0,125
		Custo	0,38 €	0,38 €
Total Poupança em Lâmpadas Ano				- €

Manutenção	Custo/ano em manutenção	Lâmpada (5min)	0,27 €	0,14 €
	Total Poupança em Manutenção		0,14 €	

Poupança Total Anual por lâmpada Fluorescente Substituída		4,64 €
Número de Lâmpadas Substituídas		13
Poupança Total Anual Final	60,26 €	

Investimento	Modelo do equipamento	EBM - 114R
	Número de Unidades	13
	Preço por Unidade	14,10 €
Total do Investimento		183,30 €

Amortização (anos)	
3,0	

Figura 7.19 - Poupança anual pela substituição das lâmpadas fluorescentes lineares de 18W T8 por eco-Tubos

A implementação deste sistema assume um custo de aproximado de 184€ com uma amortização prevista de 3 anos. É de referir que neste estudo não é contabilizada a mão-de-obra necessária para a modificação do sistema.

7.4.1.5 - Área de Circulação 5

No átrio principal do edifício a iluminação artificial é garantida por 64 luminárias equipadas com lâmpadas fluorescentes lineares T8 de 36W, com balastro magnético de classe C e com um consumo energético estimado de 45W/h por luminária.

Como as luminárias instaladas têm uma eficiência energética muito reduzida (devido à falta de refletor, tipo de lâmpada utilizada e balastro magnético) é sugerido que se modifique o tipo de lâmpada e equipamento auxiliar por eco-Tubos, dotados com balastro eletrónico e lâmpadas fluorescentes T5 de 28W. Este eco-Tubo tem um consumo energético estimado de 31W/h o que permite, com esta modificação, uma redução do consumo energético estimado de 14W/h por luminária.

Devido à arquitetura do edifício, existe um bom aproveitamento da luz natural, o que origina que por norma estas luminárias se encontrem desligadas, não existindo por isso necessidade de modificar do sistema de comando manual por um automático.

7.4.2 - Assembleia Municipal

Como vimos anteriormente no ponto 7.3.3.1, o sistema de comando da assembleia municipal é feito por dois interruptores modulares. Como este tem uma utilização esporádica, não existe a necessidade de realizar alterações no respetivo sistema de comando, pois estas alterações não trariam benefícios significativos na poupança de energia.

Quanto ao tipo de luminárias utilizadas, suspensas com lâmpadas fluorescentes compactas de 20W, é considerado uma boa solução, pois qualquer investimento para a troca de luminárias para este espaço, devido ao número de horas de utilização anual, teria um período de amortização elevado.

7.4.3 - Loja do Município

A loja do município como é um espaço em onde existe alguma luz natural, é sugerido um sistema de controlo através de detetor de presença, sensor de luminosidade e controlo remoto por infravermelhos. A combinação do sensor de luminosidade com o sensor de presença traz uma redução de consumos de energia de 50% a 70%.

O sensor ao detetar a presença de pessoas, liga automaticamente as luminárias e o fluxo luminoso é regulado até ser atingido o nível de iluminância pré-estabelecido. Quando o sensor deixa de detetar a presença de pessoas durante um período pré-definido, as luminárias são desligadas automaticamente. Além disto, existe a possibilidade de regulação do fluxo e ligar/desligar as luminárias através do telecomando de infravermelhos.

Para a implementação deste sistema, na Loja do Município, é necessário modificar os balastros das luminárias para balastros eletrónicos da classe A1 (com *dimming*) e função de controlo DSI, além da instalação dos sensores.

Devido à área da Loja do Município, é aconselhado a implementação de 4 sensores, controlando de forma independente o fluxo luminoso de 4 grupos de luminárias.

Para uma estimativa de orçamentação e amortização do investimento elaborou-se uma folha de cálculo, onde é considerado que a Loja do Município está aberta 10 horas por dia durante 252 dias ao ano, e 0,15€ o preço médio por kWh de energia elétrica. Optou-se também pelo fabricante Tridonic para obtenção do custo dos equipamentos.

Outro aspeto a salientar é a necessidade de 4 amplificadores de sinal, pois o sensor só permite a ligação direta a 4 balastros eletrónicos, com o amplificador essa restrição deixa de existir podendo ser ligados até 50 balastros a cada amplificador.

Na figura 7.20 está uma ilustração da folha de cálculo elaborada.

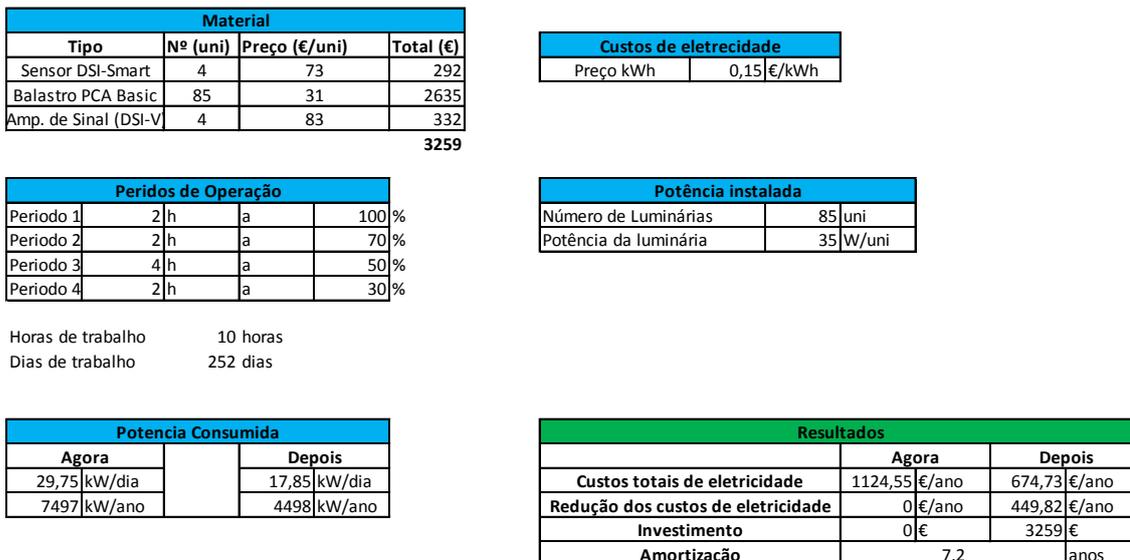


Figura 7.20 - Cálculo da Poupança e período de amortização do investimento

Esta modificação no sistema de controlo resulta numa poupança estimada de energia elétrica em 450€ anuais, sendo que este valor assim como o período de amortização é muito condicionado pelos Períodos de Operação, isto é, a redução do fluxo de luminosidade das luminárias devido à presença da luz natural. Para os períodos de operação ilustrados na figura 7.20, é prevista uma amortização de 7,2 anos.

7.4.4 - Gabinetes

De acordo com o ponto 7.3.3.2 o sistema de comando da iluminação dos gabinetes varia em função da área, fator esse que vai condicionar as propostas apresentadas. Um outro aspeto relevante, é o facto das luminárias se encontrarem instaladas perpendicularmente às janelas, não sendo a disposição correta (estas deveriam estar dispostas de forma paralela à janela, figura 7.21). Para um melhor aproveitamento da luz natural é sugerido a correção do modo de instalação das luminárias.

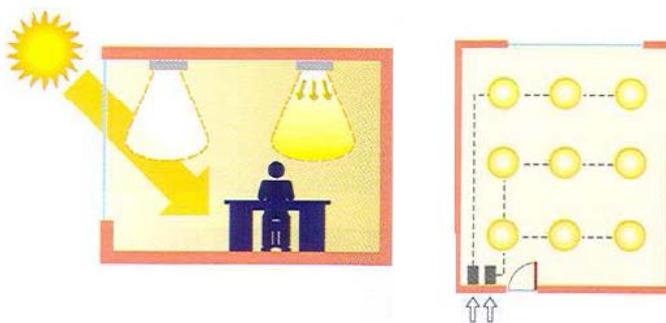


Figura 7.21 - Modo correto da disposição das luminárias [28]

7.4.4.1 - Gabinetes Individuais

Os gabinetes individuais, com uma área de 14m², possuem uma boa iluminação natural, tornando-se interessante do ponto de vista energético o aproveitamento desta iluminação. Desta forma, é sugerida a aplicação de um sensor de luminosidade (figura 7.22) para que este meça a iluminação e atue diretamente nos balastos das armaduras. Isto permite que o fluxo luminoso das luminárias seja regulado em função do nível de iluminação natural, mantendo a iluminância do gabinete nos valores de referência (500lux).



Figura 7.22 - Balastro eletrônico (1), sensor de luminosidade (2) e comando (3) para a regulação manual do fluxo luminoso. [45]

A regulação do fluxo luminoso obriga a utilização de balastos eletrónicos com função de *dimming* (classe A1) e com um módulo de controlo digital (DSI).

O sensor da figura 7.22 além de sensor de luminosidade possui também a função de deteção de movimento, assim como um comando para a regulação manual do fluxo luminoso. Este sensor após um determinado período, depois de não detetar nenhum utilizador, diminui o fluxo luminoso das luminárias para um nível inferior, antes de desligar completamente o sistema. Para uma melhor compreensão é apresentada na figura 7.23 o modo de funcionamento do sensor.

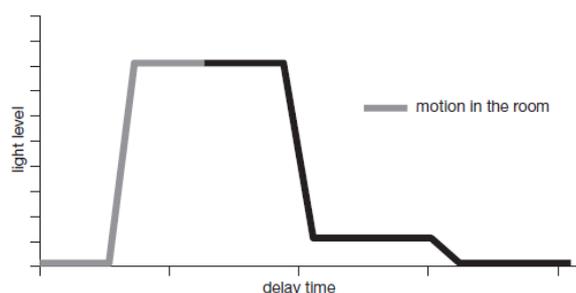


Figura 7.23 - Funcionamento do sensor [45]

Quanto ao tipo de lâmpadas é sugerido a substituição das lâmpadas fluorescentes lineares de 58W T8 por lâmpadas fluorescentes lineares de 35W T5.

Para o cálculo do investimento e tempo de amortização foi realizado uma folha de cálculo apresentada na figura 7.24.

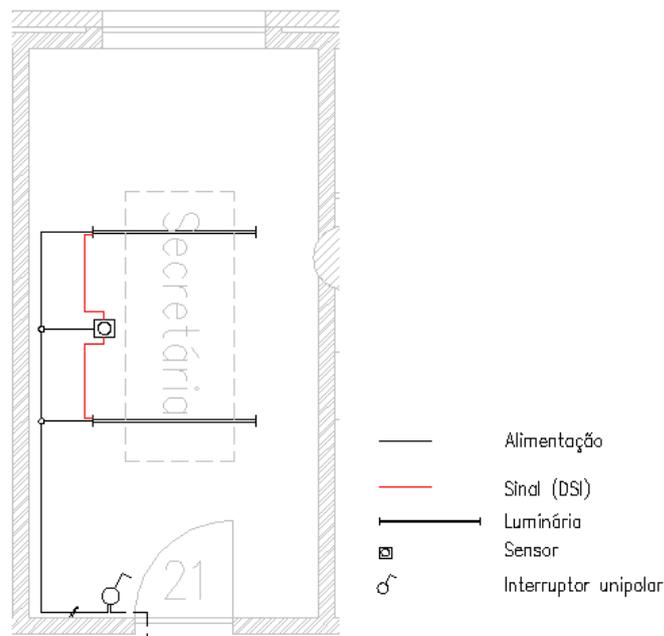


Figura 7.25 - Exemplo da disposição das luminárias para os gabinetes individuais

7.4.4.2 - Gabinetes Partilhados

Os gabinetes partilhados, com área superior a 40m^2 , ao disporem de uma boa iluminação natural é de toda importância que esta seja aproveitada. Durante determinados períodos, nas zonas próximas das janelas, a iluminação artificial não é necessária para assegurar o conforto visual.

A necessidade da iluminação artificial pode ser diferente em função do afastamento das janelas. Nas zonas mais afastadas das janelas é por vezes necessário alguma iluminação artificial, quaisquer que sejam as condições atmosféricas. Nestes casos a regulação do fluxo não se justifica nas filas de armaduras mais afastadas das janelas.

Assim sendo, tal como nos gabinetes individuais, é sugerido a modificação da disposição das luminárias para que estas fiquem de forma paralela às janelas. Esta modificação irá permitir a aplicação eficiente de sensores de luminosidade, para o controlo do fluxo luminoso das luminárias em função da luz natural

Uma forma de aplicação dos sensores e das armaduras para os gabinetes partilhados está ilustrado na figura 7.26. Na última fila não foi aplicado nenhum sensor dado ao afastamento das armaduras das janelas, não se justifica a aplicação de um sensor.

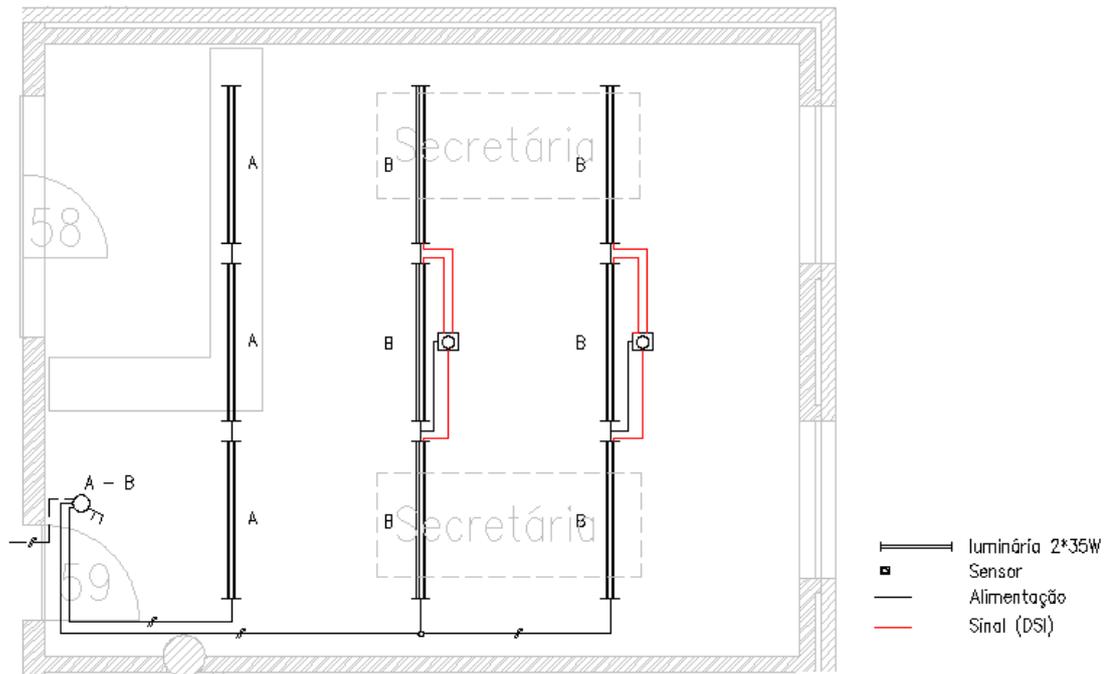


Figura 7.26 - Exemplo da disposição das luminárias para os gabinetes partilhados

Como as luminárias dos gabinetes partilhados são semelhantes às dos gabinetes individuais (o tipo de balastos, sensores e lâmpadas), as soluções propostas para estes equipamentos, assemelham-se aos dos gabinetes individuais.

O investimento necessário para a modificação sugerida varia com o número de luminárias do gabinete e com as zonas definidas para o controlo do fluxo luminoso.

Para o cálculo do investimento, poupanças e amortização é considerado o exemplo da figura 7.26. Neste gabinete existem três zonas, duas em que o fluxo luminoso das luminárias é controlado pelo sensor e outro mais afastado da janela, em que não existe qualquer controlo do fluxo luminoso. Assim sendo para este exemplo foi elaborado uma folha de cálculo que pode ser visualizada na figura 7.27.

Preço médio de energia por kWh	0,15 €	Custo mão de obra	13 €/h
Dias/Ano de trabalho	250 dias	Custo da Lâmpada T8 de 58W	1,50 €
Duração de vida T8	10000 horas	Custo da Lâmpada T5 de 35W	3,00 €
Duração de vida T5	20000 horas	Consumo Energético da T8	70 W/h
		Consumo Energético da T5	40 W/h

	Zona 1	Zona 2
Período: 5 horas	80 %	100 %
Período: 3 horas	70 %	90 %
Período: 2 horas	50 %	70 %
Horas de trabalho	10 h	

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Poupança/lâmpada			
Poupança de Energia Período 1 (W/h)	38	30	
Poupança de Energia Período 2 (W/h)	42	34	30
Poupança de Energia Período 3 (W/h)	50	42	
Total Poupança em Consumo Energético/Ano	15,60 €	12,60 €	11,25 €

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Número de Lâmpadas Substituídas	6	6	6
Poupança Anual dos consumos por Zona	93,60 €	75,60 €	67,50 €

Troca de lâmpadas Fluorescentes	Trocas de Lâmpadas /ano	Número de Trocas	Custo
		0,25	0,125
		0,38 €	0,38 €
Total Poupança em Lâmpadas Ano			- €

Manutenção	Custo/ano em manutenção	Lâmpada (5min)
	0,27 €	0,14 €
Total Poupança em Manutenção		0,14 €

Poupança Total Anual Final	
	239,14 €

Investimento	Modelo do equipamento	Balastro eletrónico 2*35 T5	Sensor DSI smart
	Número de Unidades	9	2
	Preço por Unidade	40,70 €	73,00 €
Custo		366,30 €	146,00 €
Total do Investimento		512,30 €	

Amortização (anos)
2,1

Figura 7.27 - Total do investimento e período de amortização para os gabinetes partilhados

Neste exemplo (figura 7.27), foi considerado como zona 1, a fila de luminárias mais próxima da janela. A zona 3 como não tem qualquer regulação do fluxo das luminárias, a poupança de energia é obtida simplesmente pela substituição das lâmpadas e balastro atuais por lâmpadas fluorescentes T5 de 35W associado a um balastro eletrónico.

As modificações propostas para este gabinete permitem uma poupança anual de 239,14€, sendo necessário um investimento no valor de 512,30€ que se prevê amortizar em 2 anos.

7.4.5 - Casas de Banho

Como vimos no ponto 7.3.3.5, o sistema de comando da iluminação nas casas de banho é feito por um interruptor manual bipolar, existindo a possibilidade do circuito de iluminação permanecer ligado sem que esta se encontre ocupada. Como as casas de banho do edifício são de pequena dimensão (11m²) e sem iluminação natural, o sistema de controlo automático tem como função ligar ou desligar a iluminação de acordo com a ocupação.

As casas de banho como dispõem de duas zonas, a zona dos lavatórios e a zona com compartimentos individuais (onde estão localizadas as sanitas), é necessário utilizar mais do que um detetor. Isto é, na zona dos lavatórios, deve ser colocado um detetor com tecnologia infravermelho (IV) e cobertura de 180°, instalado na parte superior da parede por forma a detetar toda a zona. Este detetor aciona apenas as luminárias da respetiva zona.

Quanto à zona dos compartimentos individuais estes devem estar cobertos com detetores de infravermelhos (IV) com cobertura de 180° instalado na parede, acionando apenas as

luminárias dessa zona. A figura 7.28 demonstra uma possível localização de instalação dos detetores.

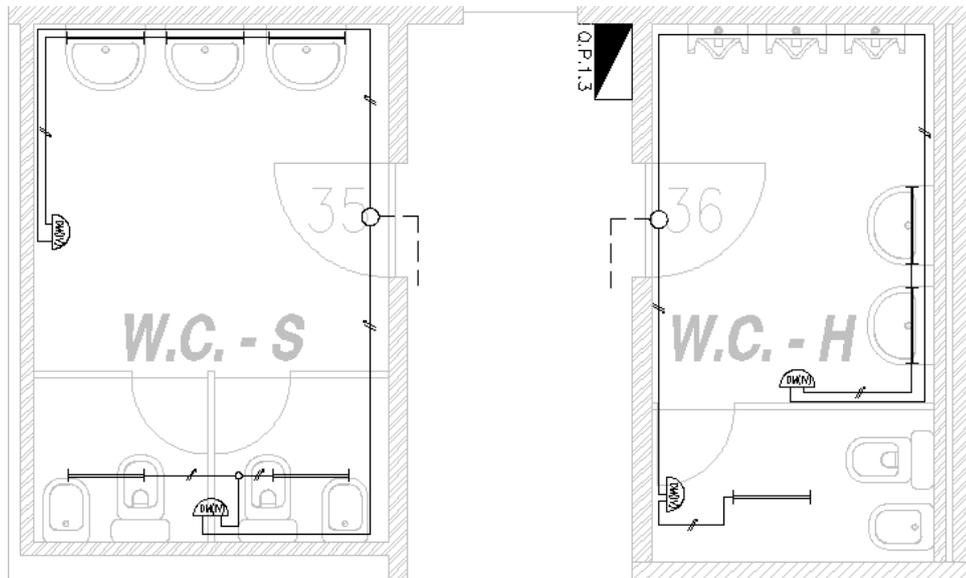


Figura 7.28 - Representação do sistema de comando de iluminação das casas de banho

Quanto às luminárias, estas devem ser adaptadas substituindo-se apenas as lâmpadas fluorescentes lineares de 18W T8, por eco-Tubos com refletor. Estes últimos estão equipados com lâmpadas fluorescentes lineares de 14W T5 com balastro eletrónico, tendo uma eficiência superior quando comparado ao sistema atual.

7.4.6 - Outras Divisões de Ocupação Breve

Os locais com utilização esporádica (arrumos, arquivo) não necessitam de um sistema de controlo automático para a iluminação, pois o número de horas anuais de utilização é reduzido. Desta forma não é proposto nenhuma modificação quanto o sistema de controlo da iluminação.

Quanto ao tipo de luminárias é sugerido uma modificação das lâmpadas fluorescentes lineares T8 para eco-Tubos com refletor.

Existe apenas uma exceção quanto ao sistema de comando na zona de fotocópias. Nesta área torna-se vantajoso a nível de eficiência energética que o sistema de controlo da iluminação ligue as luminárias de forma automática quando se abre a porta, e se desligue automaticamente quando o utilizador abandone o local.

O detetor com tecnologia infravermelho (IV) com cobertura de 180° instalado na parede é a solução aconselhada, no entanto é necessário verificar que não existem obstáculos que impeçam a cobertura do detetor, visto que a tecnologia infravermelho não consegue detetar em torno de obstáculos. Estes detetores na maioria dos casos têm uma configuração predefinida de 15 minutos e atuam para níveis de luminosidade inferiores a 500lux.

A figura 7.29 ilustra um exemplo da colocação do sensor de movimento para um compartimento onde estão instaladas as fotocopiadoras.

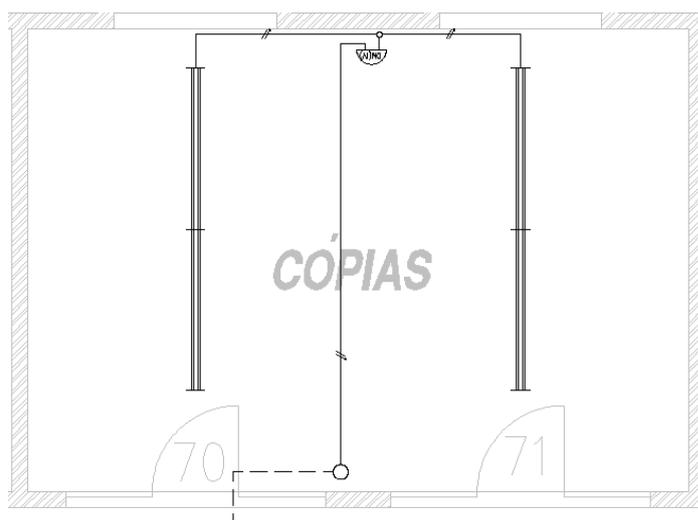


Figura 7.29 - Representação do sistema de comando de iluminação da zona de cópias

7.4.7 - Bar

O bar como referido anteriormente dispõe de 12 armaduras equipadas com duas lâmpadas de 58W associadas a balastos magnéticos. Nesta área é sugerida a remodelação das armaduras substituindo as lâmpadas e equipamento auxiliar por eco-Tubos com lâmpadas fluorescentes lineares T5 de 35W associado a um balastro eletrónico. Este sistema traz vantagens significativas na poupança de energia, sem que seja posto em causa a segurança e conforto do utilizador.

Quanto ao sistema de comando da iluminação este encontra-se apropriado para o local em questão, não existindo necessidade de modificação deste sistema.

7.4.8 - Estimativa Orçamental e Análise Financeira para os Sistemas de Iluminação

Considerando as soluções apresentadas anteriormente, para cada zona de utilização, pretende-se verificar se as medidas propostas são de facto economicamente viáveis e vantajosas para a entidade em estudo. Assim sendo, neste ponto é elaborado uma estimativa orçamental e uma análise financeira para as principais áreas de utilização (gabinetes e áreas de circulação), excluindo os arquivos, centro de cópias e casas de banho, devido à reduzida utilização destes espaços quando comparado aos anteriores.

7.4.8.1 - Estimativa Orçamental

Inevitavelmente um estudo de otimização do consumo de energia num edifício implica uma análise pormenorizada do espaço, de cada piso do edifício. Por exemplo, para um gabinete deve-se ter em consideração a disposição de cada secretária, a incidência da luz natural, o tipo de utilização do gabinete e o número de horas de ocupação, etc.

Posto isto, a elaboração de uma previsão de poupança inerente às medidas anteriormente referidas para as várias áreas, é dificultado pelo tempo que esta análise demoraria, além dos

recursos necessários. Pretende-se então com este tópico apresentar uma solução mais simplista onde se aplica a substituição das lâmpadas T8 por eco-Tubos de potência equivalente, excetuando as áreas equivalentes à área de circulação 2 (“corredor principal”) em que as luminárias serão substituídas por fita LED.

Está implícita a seguinte troca de lâmpadas:

- T8-18W por eco-Tubo do modelo EBM-114R;
- T8 36W por eco-Tubo do modelo EBM-128R;
- T8 58W por eco-Tubo do modelo EBM-135R (gabinetes);
- T8 58W por Fita LED modelo MAHÓN 230V (corredores “principais”).

Para aplicação desta medida é necessário proceder ao levantamento das necessidades de equipamento, que com base nas plantas fornecidas pela CMM construiu-se a tabela 7.4.

Tabela 7.4 - Quantidade de equipamentos a aplicar

	Quantidade
EBM - 114R (Un)	71
EBM - 128R (Un)	305
EBM - 135R (Un)	1081
Fita LED (metros)	400

É de notar, que para esta previsão da quantidade de equipamentos necessários, assume-se que o número de luminárias já instaladas é suficiente e adequado para a utilização desse espaço.

No seguimento do estudo verificou-se a necessidade de obtenção do número de luminárias ligadas durante o período de funcionamento do edifício. Para tal são considerados os valores tabelados no RSECE (Decreto-Lei n.º79/2006, de 4 de Abril) que define os padrões de referência de utilização dos edifícios. No que respeita aos edifícios categorizados em tribunais, ministérios e câmaras, este Decreto-Lei determina a evolução da percentagem de iluminação, em função do horário de funcionamento, apresentado na figura 7.30:

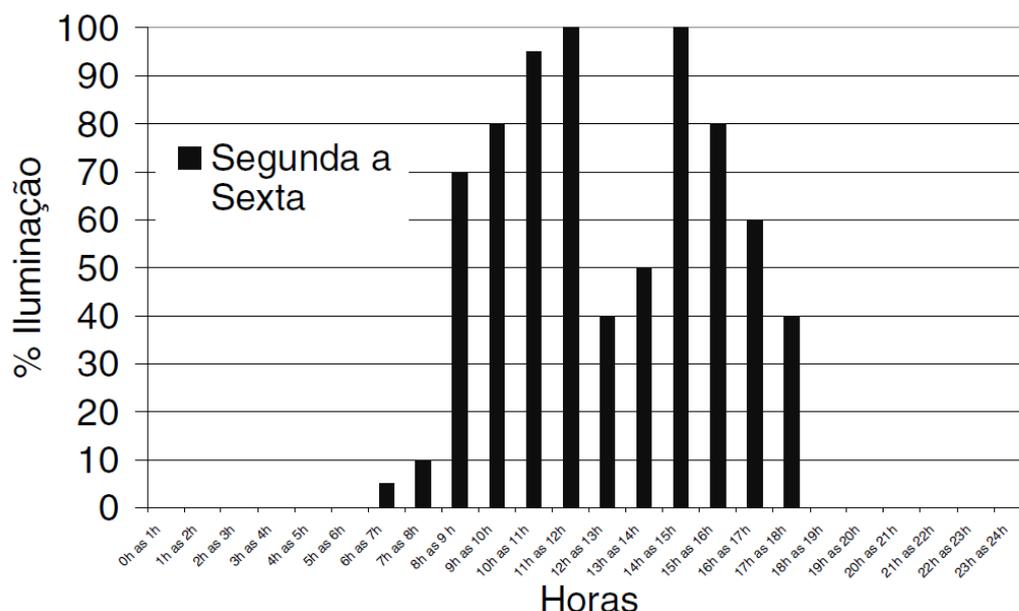


Figura 7.30 - Taxa de iluminação por horário de funcionamento nos tribunais, ministérios e câmaras [22]

É de salientar que os valores resultantes da figura 7.30, não são considerados nos espaços comuns como as zonas de circulação e bar, pois nestas áreas assume-se que a iluminação permanece totalmente ligada nos dias úteis das 8h às 18h.

Com um breve estudo de mercado e numa abordagem ao comercializador dos eco-Tubos obteve-se os dados da figura 7.31, que são fundamentais para o cálculo da previsão da poupança anual resultante da substituição das lâmpadas.

Preço médio de energia por kWh	0,15 €	Custo mão de obra	13 €/h
Horas de trabalho	10 h	Custo da Lâmpada T8 de 18W	1,50 €
Dias/Ano de trabalho	250 dias	Custo da Lâmpada T5 de 14W	3,00 €
Duração de vida T8	10000 horas	Custo da Lâmpada T8 de 36W	1,50 €
Duração de vida T5	20000 horas	Custo da Lâmpada T5 de 28W	3,00 €
Duração de vida Fita LED	30000 horas	Custo da Lâmpada T8 de 58W	1,50 €
		Custo da Lâmpada T5 de 35W	3,00 €
eco-Tubo EBM - 114R	14,10 € unidade		
eco-Tubo EBM - 114R	20,90 € unidade		
eco-Tubo EBM - 114R	26,00 € unidade		
Fita LED	26,06 € metro		

Figura 7.31 - Valores considerados para a simulação da poupança anual

Importa salientar que os dados podem ser alvo de alterações consoante os acordos orçamentais entre a entidade e o fornecedor do equipamento, assim como a duração de vida dos equipamentos, custo da mão-de-obra, etc.

Para a determinação da poupança de energia através da substituição das lâmpadas, foi ainda considerado o consumo energético real da lâmpada T8 com balastro magnético da classe C e o consumo energético do Eco-Tubo. Estes podem ser visualizados na tabela 7.5:

Tabela 7.5 - Consumo Energético real das lâmpadas com o respetivo equipamento auxiliar

	Consumo energético (W/h)
T8 18W	28
EBM - 114R	16
T8 36W	45
EBM - 128R	31
T8 58W	70
EBM - 135R	40
Fita LED /metro	14,4

Considerando estes dados é possível obter o valor do consumo energético das lâmpadas por dia, por ano e ainda a poupança no consumo de energia anual, que pode ser visualizado na figura 7.32.

	Nº de Lâmpadas a substituir	Lâmpada que substitui: 18W		Lâmpada que substitui: 36W		Lâmpada que substitui: 58W		Substitui: 58W do corredor	
		T8-18W	EBM - 114R	T8-36W	EBM - 128R	T8-58W	EBM - 135R	T8-58W	Fita LED (m)
		71		305		1081		280	400
Consumo de energia	Consumo Energético (W/h)	28	16	45	31	70	40	70	14,4
	Custo de energia por lâmpada/hora	0,004 €	0,002 €	0,007 €	0,005 €	0,011 €	0,006 €	0,011 €	0,002 €
	Custo de energia por ano	745,50 €	426,00 €	5.146,88 €	3.545,63 €	20.714,66 €	11.836,95 €	7.350,00 €	1.512,00 €
Poupança em Consumo Energético/Ano		319,50 €		1.601,25 €		8.877,71 €		5.838,00 €	

Figura 7.32 - Poupança em consumo de energia ao final de um ano

Inerente à implementação desta medida, estão subjacentes os custos de manutenção (substituição de lâmpadas em fim de vida) e ainda o custo da mão e obra necessária para a substituição das lâmpadas em fim de vida, que podem ser visualizados na figura 7.33.

	Trocas de Lâmpadas /ano	Número médio de Trocas Custo	Lâmpada que substitui: 18W		Lâmpada que substitui: 36W		Lâmpada que substitui: 58W		Lâmpada que substitui: 58W do corredor	
			T8-18W	EBM - 114R	T8-36W	EBM - 128R	T8-58W	EBM - 135R	T8-58W	Fita LED (metros)
Troca de lâmpadas			18	9	76	38	197	99	70	33
			26,63 €	26,63 €	114,38 €	114,38 €	295,92 €	295,92 €	105,00 €	868,67 €
Poupança em Lâmpadas Ano			-		-		-		763,67 €	
Manutenção	Custo de manutenção/ano	Lâmpada (5min) ou Fita LED (10min)	19,23 €	9,61 €	82,60 €	41,30 €	213,72 €	106,86 €	75,83 €	72,22 €
	Poupança em Manutenção			9,61 €		41,30 €		106,86 €		3,61 €

Figura 7.33 - Poupança na troca de lâmpadas e manutenção

Assim sendo, com base nos resultados obtidos, é esperado uma poupança anual de 16034€, que pode ser observado na tabela 7.6.

Tabela 7.6 - Estimativa da poupança anual

	Poupança anual
T8-18W	329,11 €
EBM - 114R	
T8-36W	1.642,55 €
EBM - 128R	
T8-58W	8.984,57 €
EBM - 135R	
T8-58W	5.077,94 €
Fita LED	
Total	16.034,18 €

Para o cálculo do investimento teve-se em consideração a quantidade e custo do equipamento a aplicar, assim como a mão-de-obra necessária para a sua implementação, obtendo-se o resultado que pode ser visualizado na figura 7.34.

Investimento	Modelo do equipamento	EBM - 114R	EBM - 128R	EBM - 135R	Fita LED
	Número de Unidades	71	305	1081	400
	Preço por Unidade	14,10 €	20,90 €	26,00 €	26,06 €
	Custo do equipamento	1.001,10 €	6.374,50 €	28.106,00 €	10.424,00 €
	mão de obra para implementação	76,92 €	330,42 €	1.171,08 €	866,67 €
Total	1.078,02 €	6.704,92 €	29.277,08 €	11.290,67 €	
Investimento Total	48.350,68 €				

Figura 7.34 - Investimento necessário para a aplicação das medidas

Com os dados obtidos é possível proceder à análise financeira do investimento, verificando se este é economicamente viável.

7.4.8.2 - Análise Financeira

Existe a necessidade de equacionar economicamente o cenário proposto, para verificar se o capital investido é renumerado e reembolsado de modo a que as receitas geradas superem as despesas de investimento e de funcionamento realizados num dado período de tempo.

Para se efetuar a análise financeira da solução proposta é necessário o conhecimento de alguns conceitos sobre matemática financeira, que serão apresentados de seguida.

Juros

O juro é o custo ou valor do dinheiro, isto corresponde ao que se paga pelo direito de usar o capital de outrem. Taxa de juro é a quantia, normalmente declarada como percentagem, exigida pelo investidor para disponibilizar uma quantia de dinheiro, esta é representada pela letra i .

Custo de Oportunidade

Pode ser considerado como um juro alternativo, isto é a taxa de juro que o investidor pretende, para optar pelo investimento, em detrimento de outro. A taxa de juro i pode ser interpretada como a exigência de remuneração do capital por parte do investidor. Isto é, só é interessante investir num determinado projeto se a remuneração do capital for superior a i .

Por isso, a taxa de juro a usar em estudos reais raramente será a taxa bancária, que é uma alternativa pouco atrativa, em geral. Neste estudo optou-se como custo de oportunidade a taxa de 10%.

Valor Atual Líquido (VAL)

O objetivo do VAL é comparar o valor presente de futuras oportunidades de investimento. Este método transporta todos os fluxos de caixa anuais para uma data presente. O VAL pode ter valor negativo ou positivo. Se o valor for positivo o projeto será economicamente viável, porque permite cobrir o investimento, gerar a remuneração exigida pelo investidor (custo de oportunidade) e ainda excedentes financeiros. No caso em que o VAL é nulo é um caso limite, em que o investidor ainda recebe a remuneração exigida. Quando o VAL é negativo, o projeto é economicamente inviável.

Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)

O cálculo da taxa interna de rentabilidade permite determinar a taxa de juro que o projeto renderá sobre o valor de capital investido. Isto é, calcula uma taxa de juro equivalente à remuneração do capital obtido, não é mais do que a taxa de rentabilidade que, no final dos n anos, iguala o VAL a zero.

7.4.8.3 - Cálculo e Análise do Mapa de *Cash-Flows* das Poupanças Obtidas

Após o domínio dos conceitos sobre matemática financeira e tendo em conta os dados apresentados anteriormente, teremos o seguinte mapa de *Cash-Flows*, tabela 7.7.

Tabela 7.7 - Mapa de *Cash-Flows* das poupanças obtidas

Ano	Cash Flow	Recuperação de capitais	
		CFat(€)	CFac(€)
0	-48.350,68 €	-48350,68	-48350,68
1	16.034,18 €	14576,53	-33774,15
2	16.034,18 €	13251,39	-20522,76
3	16.034,18 €	12046,72	-8476,04
4	16.034,18 €	10951,56	2475,53
5	16.034,18 €	9955,97	12431,49

Pode-se então concluir que este investimento é rentável em menos de 5 anos, sendo que no final do 4 ano já teremos 2475€ de receita.

O valor atualizado líquido (VAL) é de 11301€, e a taxa interna de rentabilidade de 19,62%, o que é superior ao custo de oportunidade (10%) e indica que o projeto é economicamente interessante e viável. A distância entre a TIR e o custo de oportunidade é um indicador da robustez da solução face ao risco, isto é, de alguma segurança face à incerteza nos seus fatores. Este resultado é coerente com o que encontramos para o VAL do projeto.

7.5 - Metodologia de Intervenção para os Sistemas de Aquecimento

Em virtude da atividade que muitas pessoas exercem no interior do edifício, obriga que as condições de conforto, principalmente relacionadas com a qualidade do ar, temperatura ambiente e iluminação, sejam as mais adequadas.

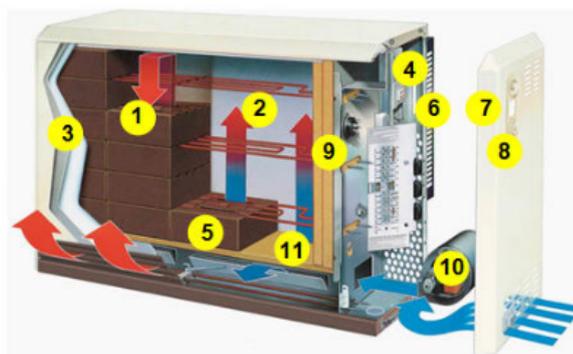
Durante a auditoria verificou-se que o estado dos equipamentos do sistema de climatização (aquecedores elétricos fixo, ponto 7.3.4) não se encontravam nas melhores condições de funcionamento, assim como alguns interruptores horários, que devido ao uso, muitos deles deixaram de funcionar ou não estavam a funcionar corretamente. Desta forma torna-se urgente que o sistema de climatização seja remodelado para um sistema de climatização mais eficiente, que optimize o conforto do edifício.

Um sistema que permite obter o máximo conforto com um custo mais reduzido de energia são os acumuladores de calor. Os acumuladores de calor são equipamentos capazes de armazenar energia calorífica durante um período de tempo, para libertá-la, mais tarde, lentamente e com fluxo controlável. São elementos adequados para o aquecimento do ambiente, dado que são concebidos para manterem um espaço a uma determinada temperatura constante, durante 24 horas, estando em carga apenas durante as horas de vazio (período noturno).

O uso de acumuladores de calor, em alternativa aos convencionais aquecedores elétricos de convecção, permite obter menores encargos energéticos anuais e reduzir ou limitar as pontas do consumo, que por sua vez poderá permitir a redução da potência contratada.

7.5.1 - Tipos de Acumuladores de Calor Existentes no Mercado

Os acumuladores de calor são sistemas de aquecimento, que por efeito de Joule, produzem calor através da passagem de uma corrente elétrica pelas resistências elétricas situadas no interior de blocos de cerâmica. A constituição do acumulador de calor pode ser visualizada na figura 7.35.



- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1. Núcleos refractários | 7 Interruptor de recarga |
| 2 Resistência de aquecimento | 8 Interruptor do regulador de temperatura (acessório) |
| 3 Isolamento térmico "Microtherm" | 9 Isolamento térmico Vermiculit © de placas rígidas |
| 4 Regulador de recarga | 10 Ventilador para a circulação uniforme de ar |
| 5 Conduta de ar com "bypass" | 11 Resistência de aquecimento adicional (acessório) |
| 6 Fixação à parede | |

Figura 7.35 - Constituição de um acumulador de calor [47]

Estes aparelhos são principalmente constituídos por:

- Núcleo acumulador, constituído por um conjunto de placas de material refratário com grande capacidade de armazenamento de calor. A temperatura do núcleo no final do ciclo de carga pode chegar aos 700°C;
- Resistências elétricas, estas estão inseridas no núcleo do acumulador, aquecendo de forma uniforme, até a temperatura definida;
- Isolamento térmico, conserva o calor acumulado no núcleo, e impede que a temperatura no exterior do aparelho ultrapasse a temperatura limite definido pelas normas (90°C);
- Sistemas de segurança e controlo asseguram que as cargas e descargas de calor se realizem da forma mais eficiente e segura. O sistema de segurança dispõe de um limitador térmico ou termostato de segurança, para evitar que se ultrapasse a temperatura máxima do núcleo.

7.5.1.1 - Acumulador de Calor Estático

Os acumuladores estáticos libertam calor através da sua superfície, por convecção natural e são mais adequados em espaços com necessidades permanentes de aquecimento. Estes dispõem de uma entrada de ar na parte inferior e uma saída na parte superior, para que o ar do espaço a aquecer possa circular através do núcleo do acumulador.

7.5.1.2 - Acumulador de Calor Dinâmico

Neste equipamento o ar é forçado por um ventilador a circular através do seu núcleo. A grelha difusora, para a saída do ar, está localizada na parte inferior do aparelho. Dispõe de um isolamento superior, garantindo por isso, maior capacidade de retenção de calor.

O sistema de regulação de carga pode ser manual ou automático. O sistema manual está incorporado no próprio equipamento e permite ao utilizador aumentar ou reduzir a dissipação de calor. Para o modo automático é necessário uma sonda de temperatura que, em função da

temperatura exterior durante a noite, e do calor residual no núcleo, determina a quantidade de calor a armazenar para o dia seguinte, resultando assim um maior aproveitamento de energia.

7.5.2 - Estratégia para a Escolha dos Acumuladores de Calor

Os acumuladores de calor devem ser corretamente dimensionados, sendo necessário ter em consideração a área que se pretende aquecer, tipo de isolamento de paredes, tipo de superfícies envidraçadas e temperatura exterior.

O acumulador aconselhado para o edifício em estudo são os acumuladores dinâmicos pois estes ao disporem de uma melhor regulação de descarga que os estáticos, permitem uma melhor regulação da temperatura, além de uma restituição mais rápida de calor.

Estes acumuladores como contêm um pequeno ventilador que provoca a movimentação do ar, permite em qualquer momento obter rapidamente a temperatura pretendida na sala. Possuem também uma resistência auxiliar, que pode servir de apoio caso exista uma necessidade extrema.

O tempo de carga, isto é o período que estes necessitam até atingirem a temperatura ideal do núcleo, é variável de fabricante para fabricante mas estas podem variar desde as 7h até as 14h, dependendo muito da potência da resistência e do tamanho do núcleo.

O acumulador dinâmico a escolher para o edifício deve ser incorporado com um programador digital, permitindo a programação das horas e dias a que este liga.

7.5.3 - Encargos Anuais: Solução Atual versus Acumuladores de Calor

Para o cálculo da poupança com o acumulador de calor dinâmico em substituição dos atuais aquecedores fixos de convecção, foi considerado a atual tarifa de venda a clientes finais em BTE. Os horários de, vazio, super vazio, cheias e ponta considerados foram para período de Inverno, visto que este equipamento só será ligado durante esse período. Nestas condições realizou-se uma folha de cálculo que pode ser visualizada na figura 7.36.

BTE**Tetra-Horário****Ciclo Horário - Diário**

Horário de inverno					
Vazio			Super Vazio		
6h às 8h	0,0732	kWh	2h às 6h	0,068	kWh
22h às 2h					
Cheias			Ponta		
8h às 9h	0,1112	kWh	9h às 10h30	0,2078	kWh
10h30 às 18h			18h às 20.30		
20h30 às 22h					

	vazio	Super Vazio	Cheias	Ponta	Total	
Horas de trabalho aq. Fixo (6h às 18h)	2	0	8,5	1,5	12	h/dia
Ciclo de Carga Acumulador (22h às 8h)	6	4	0	0	10	h/dia

Trabalho dos aquecedores	140 dias/ano
Potência aquecedor Fixo	1500 W/h
Potência acumulador de calor	1500 W/h

	Aquecedor Fixo Convencional (1500W)				
	vazio	Super Vazio	Cheias	Ponta	Total
Consumo de energia (kWh/dia) (1)	2,4	0	10,2	1,8	14,4
Encargo Energético (€/dia)	0,18	0,00	1,13	0,37	1,68

Encargo Energético Ano	235,8 €/ano
-------------------------------	-------------

(1) Considerando 80% do tempo ligado devido ao termóstato

	Acumulador de Calor (1500W)				
	vazio	Super Vazio	Cheias	Ponta	Total
Consumo de energia (kWh/dia)	9	6	0	0	15,0
Encargo Energético (€/dia)	0,66	0,41	0,00	0,00	1,07

Encargo Energético Ano	149,4 €/ano
-------------------------------	-------------

Poupança Anual	86,4 €/ano
-----------------------	------------

Figura 7.36 - Poupança anual por acumulador de calor

Da análise efetuada podemos concluir que a substituição dos equipamentos de aquecimento existentes por acumuladores de calor é economicamente viável. Pois consegue-se uma poupança de 86,4€ anuais por equipamento substituído. O preço deste equipamento varia muito de fabricante para fabricante, no entanto de acordo com as pesquisas efetuadas neste âmbito prevê-se uma amortização inferior a 6 anos.

Através das plantas de aquecimento do edifício disponibilizadas, contabilizaram-se em todo o edifício, 205 aquecedores elétricos fixos de 1500W. Substituindo os aquecedores atuais por acumuladores de calor é possível obter uma poupança dos custos de energia na ordem dos 17700€ anuais, além de uma redução da potência contratada.

7.6 - Escolha da Opção Tarifária

A faturação apresentada pelos comercializadores aos seus clientes tem por base informação sobre os dados de consumo da instalação elétrica. A perceção e análise desses dados podem conduzir a uma melhor eficiência na utilização da energia assim como uma redução dos custos de aquisição da energia elétrica.

7.6.1 - Breve Referência aos Sistemas de Faturação da Energia Elétrica

O custo da energia elétrica ao consumidor final é determinado com base nos diferentes custos da atividade. Os preços praticados pelos comercializadores incluem uma parcela que corresponde às tarifas de acesso às redes e pagas pelo consumidor de energia elétrica.

Os preços das tarifas de acesso às redes resultam da soma dos preços das tarifas de Uso Global do Sistema, de Uso da Rede de Transporte e de Uso da Rede de Distribuição, tal como pode ser visualizado na figura 7.37.

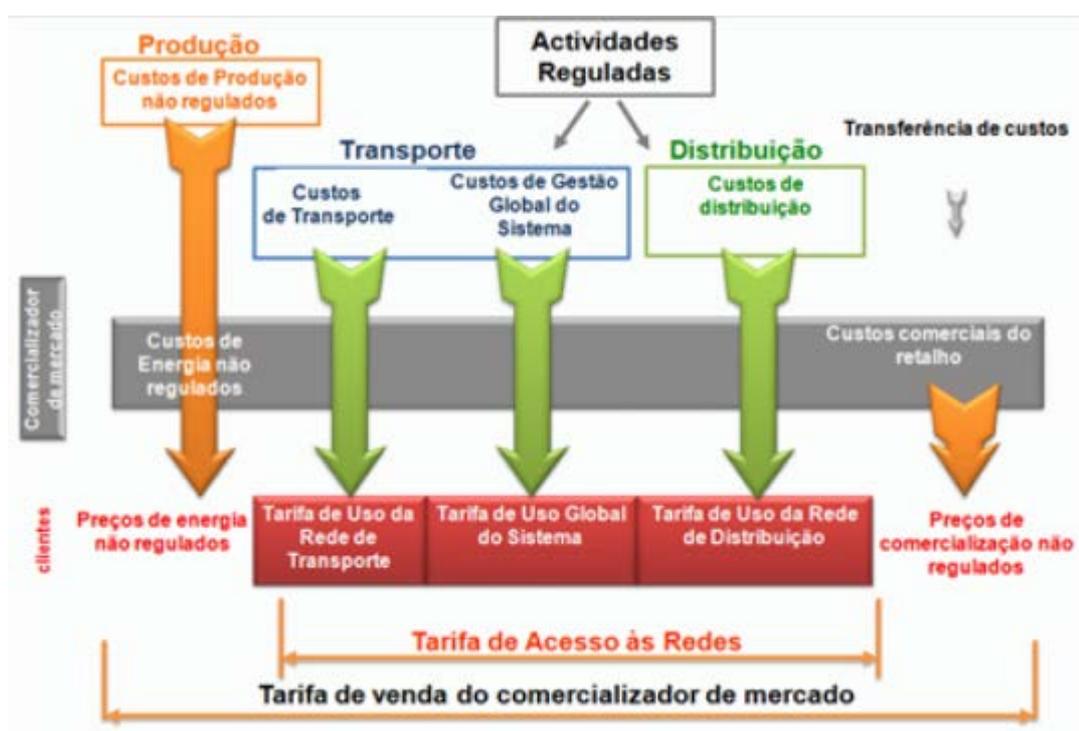


Figura 7.37 - Tarifas de acesso às redes [49]

Devido à liberalização do setor elétrico todos os consumidores em Portugal podem escolher o fornecedor de energia. É possível escolher o comercializador que consideramos mais vantajoso no âmbito das tarifas e preços aplicáveis, designadamente opções tarifárias, ciclos horários e outras informações que sejam úteis para a utilização eficiente da energia.

Pela análise das tarifas disponíveis, do diagrama de carga e a correspondente faturação para um determinado período, é possível encontrar a opção tarifária que melhor satisfaz o interesse do consumidor. Utilizando os dados da faturação de energia elétrica podemos estudar e implementar soluções para baixar o custo de energia elétrica. Para isso é

necessário analisar as Opções Tarifárias e os Ciclos Horários ajustando-os com o diagrama de consumo da instalação.

7.6.1.1 - Opções de Períodos Tarifários

A ERSE no “Regulamento Tarifário do Sector Elétrico” define dois períodos tarifários, Período Trimestrais e Períodos Horários, sendo o preço da energia ativa diferente nesses períodos.

Os períodos trimestrais estão divididos pelas seguintes datas:

- Período I - de 1 de Janeiro a 31 de Março;
- Período II - de 1 de Abril a 30 de Junho;
- Período III - de 1 de junho a 30 de Setembro;
- Período IV - de 1 de Outubro a 31 de Dezembro;

Quanto aos períodos horários, estes são determinados tendo em consideração as especificações elétricas de cada região (Portugal Continental e Regiões Autónomas), tendo em consideração a evolução do seu diagrama de carga. Foram por isso definidos quatro períodos, que dividem as horas do dia em períodos: de Ponta, Cheias, Vazio Normal e Super Vazio. A duração dos períodos horários é diferenciada em ciclo semanal e ciclo diário, indicados no mesmo regulamento da ERSE, que podem ser visualizados na figura 7.38.

Ciclo semanal:

Hora legal de Inverno	Hora legal de Verão
Segunda a Sexta-feira	Segunda a Sexta-feira
Ponta: 5 h / dia	Ponta: 3 h / dia
Cheias: 12 h / dia	Cheias: 14 h / dia
Vazio normal: 3 h / dia	Vazio normal: 3 h / dia
Super vazio: 4 h / dia	Super vazio: 4 h / dia
Sábados	Sábados
Cheias: 7 h / dia	Cheias: 7 h / dia
Vazio normal: 13 h / dia	Vazio normal: 13 h / dia
Super vazio: 4 h / dia	Super vazio: 4 h / dia
Domingos	Domingos
Vazio normal: 20 h / dia	Vazio normal: 20 h / dia
Super vazio: 4 h / dia	Super vazio: 4 h / dia

Ciclo diário:

Hora legal de Inverno	Hora legal de Verão
Ponta: 4 h / dia	Ponta: 4 h / dia
Cheias: 10 h / dia	Cheias: 10 h / dia
Vazio normal: 6 h / dia	Vazio normal: 6 h / dia
Super vazio: 4 h / dia	Super vazio: 4 h / dia

Figura 7.38 - Duração dos períodos horários para Portugal Continental [49]

O conhecimento dos períodos horários disponíveis e a análise de consumos ao longo de cada dia da semana permite determinar qual o ciclo horário mais vantajoso para o consumidor de energia.

7.6.1.2 - Opção Tarifária

Além da escolha do período horário devemos ainda avaliar a opção tarifária mais económica, de acordo com o diagrama de cargas do utilizador. As opções tarifárias dividem-se em curtas, médias e longas utilizações, em que o preço da energia ativa nas longas utilizações é inferior aos das curtas utilizações, mas se compararmos os encargos de potência estes são superiores nas longas utilizações quando comparado com as curtas utilizações. Desta forma a opção tarifária deve ser analisada cuidadosamente, para ajustar o diagrama de cargas da instalação com a melhor opção tarifária.

A ERSE dispõe de um simulador que permite, através dos valores das faturas elétricas, escolher a opção tarifária mais económica. Esta análise deve ser repetida sempre que existam alterações significativas nos consumos de energia elétrica, pois estas alterações podem resultar numa mudança da opção tarifária.

7.6.1.3 - Grandezas de Faturação

As tarifas aplicáveis aos clientes em MAT, AT, MT e BTE são compostas pelos preços relativos a:

- Potência Contratada;
- Potência em horas de ponta;
- Energia ativa;
- Energia reativa;
- Termo tarifário fixo.

A Potência Contratada é a potência que os operadores das redes colocam à disposição no ponto de entrega. A potência contratada não pode ser superior à potência requisitada. Salvo acordo escrito celebrado pelas partes, a potência contratada por ponto de entrega em MT, AT ou MAT não podem ter um valor, em kW, inferior a 50% da potência instalada, em kVA, medida pela soma das potências nominais dos transformadores relativos ao ponto de entrega. O valor da potência contratada é definido como a máxima potência tomada ao longo dos últimos 12 meses anteriores, incluindo o mês a que a fatura respeita.

A Potência de Tomada é o maior valor da potência ativa média, registado em qualquer período interrupto de 15 minutos, durante o intervalo de tempo a que a fatura respeita. O valor da potência de tomada deve ser controlado através de um sistema de controlo de ponta. A conveniente regulação do sistema permite reduzir a potência contratada.

A Potência em Horas de Ponta é calculada pelo quociente entre a energia ativa fornecida ao cliente em horas de ponta e o número de horas de ponta, ambos considerados para o período de tempo a que a fatura respeita. Ao custo de energia ativa em horas de ponta deve ser acrescentado o custo da potência em horas de ponta.

7.6.2 - Análise dos Consumos Energéticos

A energia elétrica é a única fonte de energia primária consumida pelo edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos. Considerando os consumos de energia elétrica no ano de 2011 verifica-se que este consumiu globalmente 128tep, considerando 1kWh igual a $215 \cdot 10^{-6}$ tep (despacho nº 17313/2008). Este valor é referente ao consumo de energia elétrica de 593,56 MWh no ano de 2011.

De acordo com a legislação portuguesa de gestão de consumos de energia, o edifício em questão não está abrangido, pois o consumo energético global não atinge o patamar de 500tep/ano, não sendo por isso considerado como instalação consumidora intensiva de energia, que por sua vez, não é obrigada a realizar um plano de racionalização de energia.

A energia elétrica para o edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos é fornecida pela EDP serviço universal. Esta energia elétrica em BT é tarifada no regime BTE de médias utilizações. No ano de 2011 o consumo de energia variou da seguinte forma (figura 7.39):

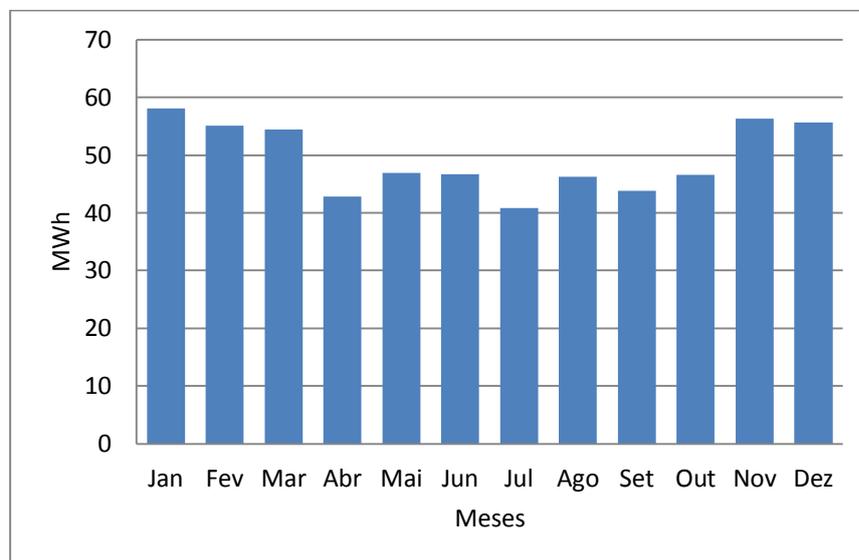


Figura 7.39 - Evolução mensal do consumo de energia elétrica ativa

Pela análise das faturas verifica-se que o consumo de energia ao longo dos dois trimestres tarifários (I e IV) existiu um aumento do consumo de energia de 22%. Como estes períodos correspondem aos meses mais frios e com menos iluminação natural é normal que o consumo de energia seja superior nestes períodos.

O consumo de energia elétrica em maioria deve-se ao sistema de aquecimento, associado a uma longa utilização diária da iluminação elétrica interna das várias zonas do edifício, sendo mais relevantes nos meses mais frios e escuros, o que evidencia a necessidade de uma boa utilização de ambos os recursos.

Analisando a evolução mensal dos consumos de energia elétrica ativa por período horário visualizada na figura 7.40, verifica-se que o maior consumo é realizado nas horas fora de vazio, este nos períodos I e IV corresponde a 75%, e 68% nos restantes dois períodos.

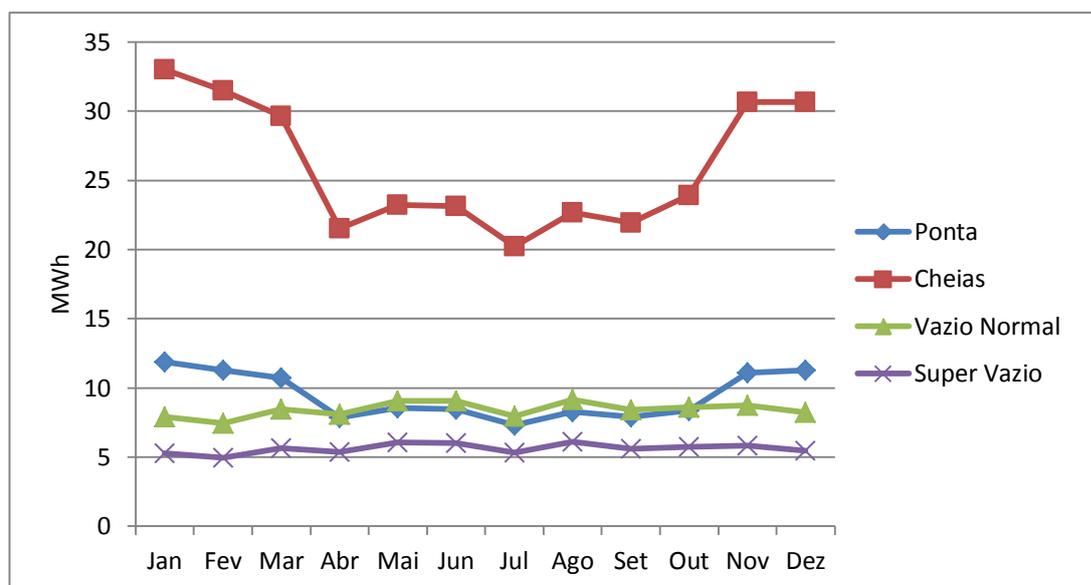


Figura 7.40 - Evolução mensal dos consumos de energia elétrica por período horário

Ainda na figura 7.40, da evolução mensal dos consumos de energia elétrica, verifica-se a persistência de uma carga pouco variável, nas horas de super vazio, na ordem dos 5MWh por mês, indicando que existem equipamentos (informáticos, iluminação ou de aquecimento) que permanecem desnecessariamente ligados durante a noite e fins de semana.

7.6.3 - Análise da Opção Tarifária

Após a análise das faturas elétricas e a obtenção do perfil de utilização da energia elétrica do edifício, é possível selecionar uma opção tarifária que respeite integralmente os hábitos de utilização.

Para isso foi utilizado um simulador disponibilizado pela ERSE que permite simular a melhor opção tarifária, minimizando o valor anual da fatura de eletricidade. Este simulador apenas necessita dos valores de energia ativa consumidos nos vários períodos horários ao longo dos meses. [49]

O simulador utiliza as tarifas reguladas de venda a clientes finais dos comercializadores de último recurso para o ano de 2012. Na simulação apresentada na figura 7.41, não foram considerados os valores de energia reativa, visto que estes valores no ano de 2011 não são significativos, além de que a proposta de mudança de opção tarifária pressupõe que existirá uma compensação eficiente da energia reativa.

OPÇÃO TARIFÁRIA: BTE Longas Utilizações							TOTAL ANUAL
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	
8 109	7 839	7 238	5 725	6 032	6 003	5 46	79 465 €

OPÇÃO TARIFÁRIA: BTE Médias Utilizações							TOTAL ANUAL
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	
8 505	8 169	7 676	5 967	6 379	6 341	5 67	83 489 €

FATURAÇÃO DAS TARIFAS DE ACESSO ÀS REDES EM 2012												
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
2 071	2 085	1 697	1 475	1 414	1 414	1 439	1 365	1 482	1 508	1 789	1 943	19 681 €

Figura 7.41 - Simulação das opções tarifárias BTE para o ano 2012

Após a simulação da opção tarifária em BTE para o ano 2012, considerando os consumos de energia ativa do ano de 2011, facilmente se verifica que a opção tarifária de médias utilizações atualmente em vigor no edifício não é a mais adequada. Com a troca da opção tarifária de médias utilizações para longas utilizações obtém-se uma poupança de 4024€ anuais. As tarifas de acesso às redes no valor de 19681€ será um valor que o consumidor terá de pagar independentemente do comercializador que escolher.

O edifício da Câmara Municipal de Matosinhos dispõe de um PT cuja sua exploração foi concedida à EDP. Na possibilidade do edifício passar a ter um PT privativo, explorado pela Câmara Municipal de Matosinhos, esta passava a ter um contrato em MT conseguindo desta forma reduzir o preço da fatura elétrica do edifício.

Esta alteração de BTE para um contrato em MT envolveria modificações no Posto de Transformação, tendo que existir um compartimento para os quadros do distribuidor (geralmente celas modulares), e um outro compartimento do lado do cliente, além de um técnico responsável pela exploração da instalação elétrica. Passando de uma instalação tipo C, (instalação abastecida a partir da rede pública de baixa tensão e de carácter permanente com produção própria em baixa tensão até 100kVA, se de segurança ou de socorro), para uma instalação tipo B, alimentada por instalações de serviço público em média tensão.

Realizando uma simulação para o edifício da opção tarifária em MT para o ano de 2012 relativamente aos consumos de potência ativa do ano 2011, consegue-se obter as poupanças com esta alteração, que pode ser visualizada na figura 7.42.



Figura 7.42 - Simulação das opções tarifárias MT para o ano de 2012

Como se pode verificar pela simulação realizada (figura 7.42), se a câmara dispusesse de um contrato em MT esta conseguiria uma poupança anual de 18382€, isto se opta-se pela opção tarifária MT longas utilizações em comparação à atual opção tarifária BTE Médias Utilizações. Esta poupança ainda seria superior se os edifícios municipais vizinhos (Biblioteca Municipal, Serviços Técnicos, Proteção Civil e Palacete de Trevões) fossem alimentados pelo mesmo posto de transformação, em vez de cada um possuir o seu contrato independente em baixa tensão.

7.7 - Análise do Fator de Potência

A energia reativa é uma componente dos encargos mensais que a CMM suporta a nível da fatura elétrica. Trata-se de uma forma de energia elétrica que não produz trabalho, mas que é necessária ao funcionamento da maioria dos equipamentos elétricos inseridos na instalação.

Esta energia pode ser adquirida ao distribuidor, com um custo associado, ou produzida na instalação consumidora, através de uma bateria de condensadores. O investimento em condensadores é normalmente amortizado em menos de um ano, com a economia de encargos em energia reativa. Para além de conduzir a melhorias apreciáveis nas condições de exploração da rede elétrica.

A instalação elétrica do edifício já dispõe, como referido no ponto 7.3, uma bateria de condensadores de 100kVAr, constituída por escalões controláveis individualmente. Esta possui um relé varimétrico, sensível às variações de energia reativa, comandando automaticamente a ligação dos condensadores necessários à obtenção do fator de potência desejado.

Com a mudança da legislação que exige um fator de potência mínimo de 0,9578 e com o aumento da potência instalada, a bateria de condensadores atual, em determinados períodos, não consegue fornecer toda a energia reativa exigida pela instalação.

A fim de obter um fator de potência igual ou superior ao exigido pelo fornecedor (valor ao qual a energia reativa não é sujeita a faturação), é necessário aumentar a capacidade da bateria de condensadores atual, para que esta seja capaz de compensar a energia reativa consumida pela instalação.

Durante o período de auditoria verificou-se que a bateria de condensadores atualmente instalada, não está devidamente regulada para o novo valor mínimo do fator de potência (0,9578). Desta forma é necessário parametrizar o relé varimétrico para os valores atuais do fator de potência, permitindo uma análise mais rigorosa do fator de potência.

7.7.1 - Dimensionamento da Bateria de Condensadores

Uma das formas para o dimensionamento das baterias de condensadores é através da análise das faturas de eletricidade. A partir destas obtém-se informações vitais para o respetivo dimensionamento das baterias, tais como: energia ativa e reativa consumida, potência contratada, além do tipo de contrato, opção tarifária e valores pagos de eletricidade.

Na análise das faturas de eletricidade deve-se considerar o pior caso para o correto dimensionamento da bateria de condensadores, isto é o mês do ano em que a faturação de energia reativa (kVArh) é maior. Por fim aplica-se a fórmula para o cálculo da potência dos condensadores, usando a seguinte expressão:

$$Q_c = P_{contratada} * (\tan \varphi_{instalação} - \tan \varphi_{pretendido}) \quad (7.1)$$

Sendo:

Q_c - o valor da potência da bateria de condensadores em KVAR;

$P_{contratada}$ - a potência ativa contratada em kW;

$\tan \varphi$ - é o quociente entre a energia reativa nas horas cheias e a energia ativa nas horas cheias e de ponta.

Devido à necessidade e interesse, em saber a relação custo/benefício, inerente ao investimento da compensação do fator de potência por parte do consumidor de energia, criou-se uma folha de cálculo para o dimensionamento das baterias de condensadores.

A folha de cálculo, que pode ser visualizada na figura 7.43, foi elaborada para a introdução dos dados disponibilizados na fatura da EDP. Funcionando da seguinte forma:

- Leitura dos índices numéricos
- Introdução de dados nas células laranja
- Obtenção do valor da potência reativa total, para a escolha das baterias (índice 8), em função do consumo
- Obtenção do valor da potência reativa total, para a escolha das baterias (índice 9), em função da potência contratada, solução recomendada.

Instruções	
Preencher os campos a Laranja com os dados da Fatura	
Legenda	
1	- Introduzir Valor Energia Ativa nas horas de Cheias
2	- Introduzir Valor Energia Ativa nas horas de Ponta
3	- Introduzir Valor Medido de Energia Reactiva Fora do Vazio
4	- Introduzir Potência Tomada
5	- Valor Calculado do fator de potência da instalação
6	- Introduzir o número de Horas de trabalho mensal
7	- Introduzir o valor do fator de potência pretendido
8	- Potência da bateria em função do Consumo (considerando que o consumo é uniforme)
9	- Valor da bateria em função da Potência Contratada (recomendado)

Dados (Leituras e Consumos)		Informações de Instalação	
1	Energia Ativa Cheias	4	Potência Contratada
2	Energia Ativa Ponta	5	$\cos\varphi$ instalação
3	Energia Reactiva Cons. Fora Vazio	6	Horas de trabalho
		7	$\cos\varphi$ pretendido

Potência da Bateria	
8	Em Função do Consumo
9	Em Função da Potência Contratada

Figura 7.43 - Folha de cálculo para o dimensionamento das baterias de condensadores

O exemplo de cálculo considerado na figura 7.43, é referente ao mês de Dezembro de 2011, em que se registou um maior consumo de energia reativa nas horas fora de vazio (19380kVArh) desse mesmo ano, sendo o valor médio inferior dos restantes meses.

Com base nos valores obtidos a potência da bateria de condensadores terá de ser igual ou superior a 39kVAr.

Assim sendo, como a instalação já possui uma bateria de condensadores de 100kVAr, será necessário adicionar condensadores de 40kVAr, para que a energia reativa indutiva não exceda 30% da energia ativa consumida no mesmo período.

Após a consulta da Memória Descritiva/Caderno de Encargos, da prestação de serviços para a compensação do fator de potência na CMM, verificou-se que o equipamento de comando e controlo da atual bateria de condensadores está dimensionado para uma ampliação de novos escalões de, pelo menos, 50% da potência nominal.

Assim sendo, é sugerido uma ampliação da atual bateria de condensadores em 40kVAr, para que o fator de potência seja superior a 0.9578 ($\tan \varphi \leq 0,3$) no período de horas de cheias e de ponta.

Por forma a minimizar os harmónicos na instalação elétrica, os condensadores escolhidos devem ser do Tipo H, para redes com uma poluição Harmónica média, isto é uma poluição Harmónica compreendida entre os 15 e 25%.

Devido à dificuldade em obter um orçamento da nova bateria de condensadores, não foi possível o cálculo do investimento necessário, e consequentemente o período amortização. Mas geralmente neste tipo de equipamentos o período de amortização é inferior a um ano.

7.8 - Recomendações de Intervenção na Envolvente do Edifício: Breve Referência

A reabilitação térmica e energética dos edifícios é uma das principais vias para a correção de situações de inadequação funcional, proporcionando a melhoria da qualidade térmica e das condições de conforto dos seus utilizadores. A reabilitação térmica permite reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento e ventilação.

O estudo térmico do edifício implica conhecimento no modo de propagação de calor através da sua envolvente. Para uma melhor compreensão visualizemos a figura 7.44.

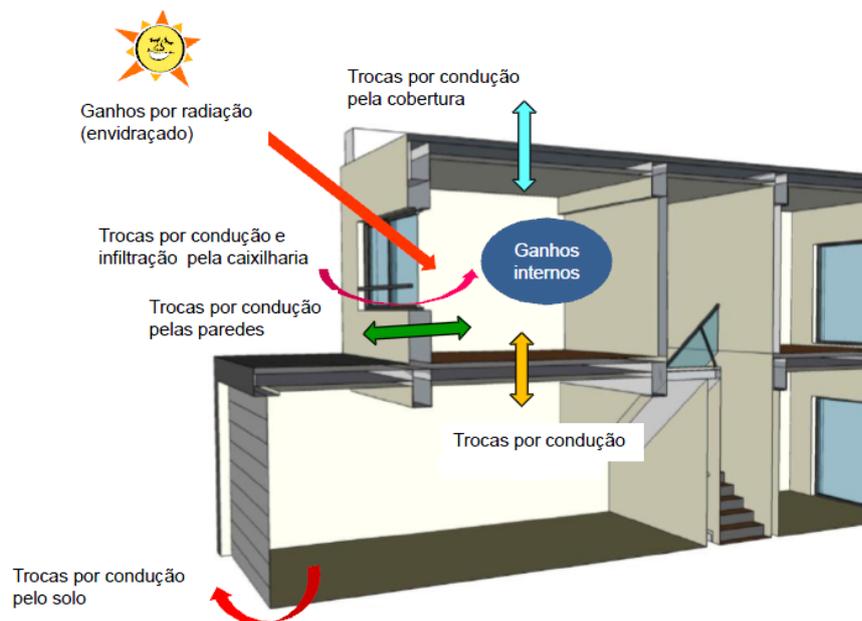


Figura 7.44 - Balanço térmico de um edifício [48]

Pela análise da figura 7.44, sobre o balanço térmico de um edifício, facilmente se identifica os diversos meios de transferência de fluxo de calor.

No inverno obtém-se perdas de calor condutivas através da envolvente, perdas de calor convectivas resultantes da renovação do ar, assim como ganhos solares através de vãos envidraçados. No Verão obtém-se ganhos solares pela envolvente opaca devido à incidência da radiação solar, ganhos solares através de vãos envidraçados.

Deste modo para uma melhor eficiência é essencial otimizar os ganhos/perdas em função das necessidades, diminuir a utilização de equipamentos para aquecimento e arrefecimento, sem por em causa o conforto dos utilizadores.

Para a implementação de medidas de eficiência energética no edifício é necessário considerar o grau de deterioração, devido a diversos fatores, como o envelhecimento natural dos materiais e falta de manutenção.

Como referido anteriormente no ponto 7.2, os vãos envidraçados são em vidro duplo em caixilharia de madeira e sem proteção solar. O estado de conservação, em alguns casos, não se apresenta em boas condições, como é evidenciado na figura 7.45. O empeno das caixilhariças, devido à sua morfologia (madeira), traduz-se num aumento significativo da área

de frinchas dos envidraçados, dando origem a infiltrações de água das chuvas, assim como problemas do ponto de vista térmico. As infiltrações das águas das chuvas levam a um aumento do valor da humidade no edifício e consequentemente a formação de fungos e degradação da qualidade do ar no edifício.



Figura 7.45 - Estado dos vãos envidraçados do edifício

É sugerido uma impermeabilização da madeira dos envidraçados assim como isolamento das frinchas. Isto permite um maior desempenho térmico dos vãos envidraçados, diminuindo as perdas de calor por transmissão térmica e por infiltrações de ar excessivas.

7.8.1 - Sistemas de Sombreamento

Num edifício os vãos envidraçados são um elemento fundamental pois são estes que permitem manter contacto visual com o exterior, fornecem a entrada de luz natural e deixam entrar o calor da radiação solar que aquece o espaço. Como os envidraçados proporcionam uma relação mais direta com o exterior é essencial equipa-los com elementos de proteção, permitindo ao utilizador controlar as trocas energéticas com o exterior.

As janelas orientadas a Nascente, Sul e Poente devem ser munidas de sistemas de sombreamento exterior.

Para especificar o sistema de sombreamento exterior adequado é necessário compreender o comportamento do Sol. O ângulo no qual o Sol incide sobre a superfície da Terra é totalmente previsível, este apenas varia consoante a hora do dia e a estação do ano, ver figura 7.46.



Figura 7.46 - Comportamento do sol em função da estação do ano [48]

Os sistemas de sombreamento têm como principal função cortar a incidência dos raios solares, quando estes não são desejados (por exemplo no Verão), antes de atravessarem o vidro. Os raios solares atravessando o vidro alteram o seu comprimento de onda e não conseguem voltar a sair através do vidro, ficando detidos no espaço interior, criando um fenómeno de Efeito de Estufa.

Os sistemas de sombreamento devem permitir o controlo do nível de luminosidade que se pretende admitir para o interior do edifício, desta forma a parte superior das lâminas poderá refletir a iluminação solar para o teto do espaço, enquanto a parte inferior das lâminas poderá estar orientada por forma a não criar zonas de reflexo nem brilho nas zonas de trabalho (ver figura 7.47).

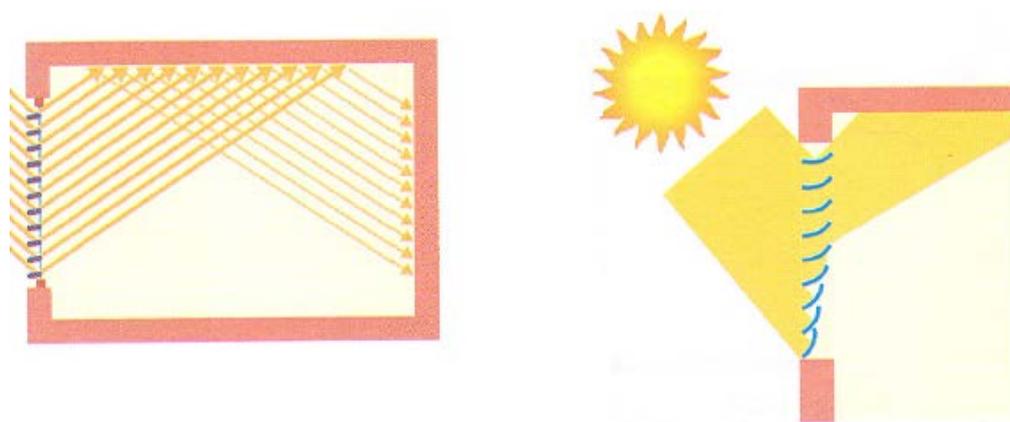


Figura 7.47 - Sistema de estores orientáveis composto por lâminas [28]

O sistema de estores exteriores orientáveis para obscurecimento são um sistema composto por lâminas em alumínio com aproximadamente 10cm de largura, que deslizam em calhas laterais, comandadas de forma manual ou automática, permitindo excluir a radiação indesejada, ventilar os espaços interiores e deixarem ver o exterior. Estes conseguem refletir até 80% dos raios solares, permitindo controlar a iluminação natural no interior.

O sistema de sombreamento utilizado no edifício é o sombreamento interno através de persianas de rolo, este para além de dificultar a passagem da luz natural, não facilita a abertura da janela. Este bloqueia apenas os raios solares, mas não o calor, fazendo com que a temperatura dos envidraçados se mantenha alta. Não se consegue com este sistema atingir o objetivo de conservação energética.

A modificação do atual sistema de sombreamento interno do edifício para um sistema de sombreamento exterior por estores orientáveis, composto por lâminas de alumínio, traria grandes benefícios na eficiência energética, tanto ao nível de iluminação natural como na melhoria térmica. Esta modificação poderá constituir uma alteração à estética da fachada do edifício, podendo carecer de uma autorização.

A utilização de sombreamento “verde” é um método eficaz para proteção do edifício do forte calor solar que se faz sentir durante o Verão. Assim a colocação de árvores de folha

caduca na proximidade do edifício, minimiza a transmissão de calor no Verão para os espaços interiores do edifício. Já no Inverno, como estas já não possuem folhas, o calor solar pode ser transferido para os espaços interiores diretamente através dos elementos da envolvente.

7.9 - Conclusão

Da análise realizada ao edifício é possível ter uma noção de quais os setores de consumo de energia prioritários, em termos da aplicação de medidas, que visam o incremento da eficiência energética.

Durante o período de auditoria realizou-se um levantamento das fontes de consumo de energia elétrica, que permitiu estudar as soluções para uma redução do consumo de energia sem que existisse a diminuição do conforto.

Do que foi observado ao longo do período de auditoria e analisado posteriormente, considera-se que as infraestruturas de energia elétrica satisfazem os padrões de qualidade e funcionamento exigidos à data de conceção do edifício. No entanto, nos dias de hoje, alguns dos equipamentos instalados, principalmente os sistemas de iluminação e climatização, não são os mais aconselhados para uma boa eficiência energética. Estes mereceram uma análise mais aprofundada, da qual resultou medidas com uma boa relação custo/benefício, além de uma redução do consumo de energia.

De uma forma geral, neste capítulo encontram-se resumidas as soluções planeadas para o edifício, assim como os custos estimados para aplicação dessas medidas. Na generalidade as medidas visadas passam pela melhoria na eficiência dos sistemas de iluminação, gestão dos sistemas de aquecimento, melhoria na envolvente do edifício, ajuste da opção tarifária e correção do fator de potência.

Capítulo 8

Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

A gestão de energia é muitas vezes negligenciada, gerando significativos desperdícios de energia que contribui para a redução da competitividade do país. Continua presente, na mente de alguns decisores de topo, a ideia de que o crescimento económico conduz necessariamente um aumento dos consumos de energia.

O conceito de Utilização Racional de Energia, que teve uma maior relevância no seguimento dos chamados choques petrolíferos, veio alterar a forma como a energia é encarada, revelando que é possível crescer sem aumentar os consumos ou prejudicar a qualidade e conforto das pessoas. A energia deve ser gerida de uma forma contínua e eficiente, como qualquer outro fator da atividade económica.

A necessidade de utilizar a energia de forma eficiente, muito devido à crescente pressão ambiental, faz com que exista uma obrigação em cumprir os requisitos ambientais como forma de acesso a sistemas de apoio ou mesmo por uma questão de imagem ou pressão da opinião pública. Cada vez mais, a eficiência energética está na ordem do dia, existindo uma aceitação por parte da opinião pública a política do princípio do poluidor pagador, penalizando fortemente as empresas ou instituições menos eficientes.

A realização de uma auditoria energética a um edifício não deve ser motivada por razões de cumprimento da legislação ou mesmo para evitar taxas ou impostos ambientais, esta deve ser incentivada com vista a um desenvolvimento sustentável.

Nesta dissertação as soluções energéticas propostas teve em consideração as atuais obrigações ambientais estabelecidas, proporcionando assim, que o edifício dos Paços do Concelho de Matosinhos reduza o consumo de energia, adotando uma política sustentável.

A auditoria realizada ao edifício em estudo, teve como objetivo conhecer a atual situação energética da instalação. Com o levantamento energético avaliou-se a quantidade e o modo como a energia é consumida no edifício, identificando-se quais os equipamentos prioritários sujeitos a intervenção. Esta tarefa não foi facilitada pois existe apenas, um histórico de valores mensais do contador global da instalação, ou seja, as faturas de eletricidade. Existindo uma dificuldade em detalhar de forma precisa a desagregação de consumos por equipamento ou por zonas do edifício.

Verificou-se que os sistemas de iluminação são uma área onde a utilização de equipamentos mais eficientes traduz reduções significativas de consumos energéticos.

Procurou-se selecionar equipamentos que proporcionem os níveis de iluminação adequados ao desempenho das atividades reduzido tanto o consumo de energia elétrica como os custos de manutenção e modificação do atual sistema.

É de evidenciar que a fonte luminosa mais económica é a luz natural, que é normalmente desprezada ao longo do edifício, por vários fatores, tais como, carência de formação dos utilizadores, inexistência de sistemas automáticos de controlo da iluminação e sistema de precianas das janelas desadequadas. Nas várias medidas propostas ao longo desta dissertação é sugerido a rentabilização máxima da iluminação natural, utilizando a iluminação artificial como forma de complemento da iluminação natural. Assim sendo, a redução dos custos energéticos associados ao sistema de iluminação passa necessariamente pela utilização de equipamentos mais eficientes, utilização de sistemas automáticos de controlo e comando da iluminação, assim como pela valorização da luz natural.

A utilização de equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético traduz-se num aumento do investimento inicial, mesmo assim o acréscimo do custo de aquisição ou substituição dos equipamentos mais eficientes é recuperado, em tempos bastante aceitáveis, pelas economias de energia que proporcionam. Além disto, sabendo que uma boa parte do consumo elétrico dos sistemas de iluminação coincide com o período tarifário fora de vazio, é perceptível que quanto mais eficiente for o equipamento instalado, maior é a redução da fatura de energia elétrica.

Quanto ao atual sistema de aquecimento do edifício, que representa uma parte significativa no consumo de energia, é aconselhada a remodelação para um sistema de climatização mais eficiente, que otimize o conforto do edifício.

A instalação de acumuladores de calor, em alternativa aos convencionais aquecedores elétricos de convecção, permite um melhor controlo da temperatura do espaço onde está inserido, aumentando o conforto dos utilizadores. Estes equipamentos capazes de armazenar energia calorífica são elementos adequados para o aquecimento do ambiente, dado que são concebidos para manterem um espaço a uma determinada temperatura constante, estando em carga apenas durante as horas de vazio.

Com a instalação dos acumuladores de calor consegue-se uma melhor racionalização da energia, pois estes permitem uma redução das pontas de consumo, que influenciará a redução da potência contratada.

O que se verificou ao longo desta dissertação é que com os atuais consumos de energia elétrica a opção tarifária existente não é a mais aconselhada, pois se a Câmara Municipal de Matosinhos dispusesse de um posto de transformação privativo, passando a adquirir a energia em média tensão num regime de longas utilizações em regime tetra-horário, permitiria uma redução do preço efetivo de aquisição da energia elétrica. Com esta modificação de tarifário, aplicável aos consumos referentes ao ano de 2011, permitiria reduzir a fatura de eletricidade em 22% (cerca de 18400€).

O mesmo acontece com a compensação do fator de potência, este investimento em bateria de condensadores é normalmente amortizado em menos de um ano, com a economia de encargos em energia reativa. Para além de conduzir a melhorias apreciáveis nas condições de exploração da instalação elétrica.

Julga-se importante reafirmar que as medidas propostas ao longo desta dissertação promovem uma redução do consumo de energia no edifício, assim como comportamentos e escolhas de boas práticas para a eficiência energética. Estas medidas podem servir de um plano estratégico para a redução dos custos operacionais e otimização da prestação de

serviços, podendo ser adotadas em outros edifícios semelhantes e explorados pela mesma autarquia.

8.1 - Sugestões para Trabalho Futuro

Após a realização desta dissertação verifica-se que ainda existe algumas oportunidades de continuação e desenvolvimento deste estudo, sendo apresentado de seguida alguns tópicos suscetíveis de uma investigação mais elaborada em futuros trabalhos, tais como:

- Viabilidade técnica e económica da contratação de energia em MT para todos os edifícios municipais dos Paços do Concelho de Matosinhos;
- Estudo de eficiência energética em outros edifícios municipais, como a biblioteca, escolas, piscinas, etc;
- Possibilidade da criação de uma unidade especializada para a gestão de energia e manutenção dos vários edifícios municipais.

Referências

- [1] ADENE - Agência para a Energia, "Eficiência Energética na Iluminação Pública". Disponível em http://www.adene.pt/pt-pt/Publicacoes/Documents/RNAE_DocReferencia_EficienciaEnergetica_Iluminacao.pdf. Acesso em Março 2012
- [2] UNFPA - United Nations Population Fund, "State of World Population 2011". Disponível em <http://www.unfpa.org/swp/>. Acesso em Março 2012.
- [3] Goldman Sachs, "BRICs and Beyond 2007". Disponível em <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/brics/BRICs-and-Beyond.html>. Acesso em Março 2012.
- [4] IEA - International Energy Agency, "World Energy Outlook 2012". Disponível em <http://www.worldenergyoutlook.org/2010.asp>. Acesso Março 2012.
- [5] Vida Económica, "Renováveis são essenciais na resolução do défice externo". Disponível em http://www.apren.pt/fotos/noticias/12_11_2010_renovaveis_sao_essenciais_na_resolucao_do_defice_externo_1289557958.pdf. Acesso em Março 2012.
- [6] DGEG- Direcção Geral de Energia e Geologia, "Caracterização Energética Nacional". Disponível em <http://www.dgeg.pt/>. Acesso em Março 2012
- [7] Eurostat, "Energy Transport and Environment indicators". Disponível em http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DK-11-001/EN/KS-DK-11-001-EN.PDF. Acesso em Março 2012
- [8] REN - Rede Eléctrica Nacional, "Dados Técnicos Electrecidade 2011". Disponível em <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/DadosTecnicos/REN%20Dados%20T%C3%A9cnicos%202011.pdf>. Acesso Março 2012.
- [9] BCSD Portugal - Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, "Manual de Boas Práticas de Eficiência Energética". Disponível em http://www.eco.edp.pt/images/stories/Manual_de_boas_praticas.pdf. Acesso Março 2012
- [10] Castanheira, L. e Gouveia, J., "Energia Ambiente e Desenvolvimento Sustentável", Sociedade Portuguesa de Inovação, edição 2004.
- [11] Luta contra as alterações climáticas. Disponível em http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/l28060_pt.htm. Acesso em Março 2012.
- [12] Clima e Energia da EU. Disponível em http://ec.europa.eu/climateaction/docs/climate-energy_summary_pt.pdf. Acesso Abril 2012
- [13] ADENE e DECO, "A utilização Racional de Energia em Edifícios Públicos", edição Maio 2008.
- [14] eds.Norte - Energia e Desenvolvimento Sustentável na Região Norte, "Eficiência Energética no Sector Empresarial" edição 2006.

- [15]AIMinho, “Manual de Boas Práticas para a Eficiência Energética”, edição Maio de 2010
- [16]Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, “Sistemas de Incentivos à Inovação”, edição Junho de 2009.
- [17]Suchismita, B., Somik, G. e Deborah, Y., “Energy Service Performance Contracting in Construction: A Review of the Literature”, edição 2009.
- [18]Bertoldi, P., Boza-Kiss, B. e REzessy, S., “Latest Development of Energy Service Companies across Europe”, “Institute for Environment and Sustainability”, edição 2007.
- [19]Andrade, P., “Eficiência Energética em Edifícios: Oportunidades e Desafios”, edição Janeiro de 2012.
- [20]International Energy Agency, “Energy Efficiency Policy Recommendations”, edição 2008.
- [21]APDC, “Eficiência Energética dos Edifícios e da Iluminação Pública na Administração Pública”, edição Junho 2010.
- [22]Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril.
- [23]Comissão das Comunidades Europeias. EUR - LEX -52006DC0140 - PT.
- [24]EnergyStar, disponível em <http://www.eu-energystar.org/pt/>. Acesso em Abril de 2012.
- [25]IEA - International Energy Agency, “Standby Power Use and the IEA “1-watt Plan””. Disponível em http://www.iea.org/papers/2007/standby_fact.pdf. Acesso Abril 2012.
- [26]ADENE - Agência para a Energia, “Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa”, edição julho de 2010.
- [27]Osram, “Manual Luminotécnico Prático”, edição 2005.
- [28]Teixeira, Armínio, “Eficiência Energética da Instalações de Iluminação”, FEUP.
- [29]Philips, “Guia de Iluminação”, edição Maio 2007
- [30]Teixeira, Armínio, “Tipos de Lâmpadas”, FEUP.
- [31]Tec Fibra. Disponível em <http://www.tecfibraotica.com.br/>. Acesso Abril de 2012.
- [32]OSRAM. Disponível em <http://www.osram.com/>. Acesso Abril de 2012.
- [33]OSRAM, “A diretiva EuP traça o Futuro”. Disponível em <http://www.osram.com/>. Acesso Abril 2012.
- [34]Agefe, “Iluminação Novos Regulamentos/Novas Oportunidade”, edição Maio 2009.
- [35]Philips, “Luminárias”. Disponível em http://www.lighting.philips.com/br_pt/connect/support/fag_luminarias.wpd. Acesso Abril 2012.
- [36]Hager, “Catálogo Geral”, edição 2011.
- [37]CHATRON, “Tubo Solar”. Disponível em http://www.chatron.pt/lmgs/content/page_166/catalogo_tubosolar_por_small.pdf. Acesso Abril 2012.
- [38]WEG, “Manual para Correção do Fator de Potência”, edição Novembro 2007.
- [39]Neves dos Santos, José, “Compensação do Fator de Potência”, edição Maio de 2011.
- [40]Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Despacho nº 7253/2010, 26 de Abril.
- [41]Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Despacho nº12605/2010, de 29 de Julho.
- [42]Andrade, José, “Compensação do Factor de Potência”. Disponível em www.voltimum.pt. Acesso em Maio 2012.
- [43]CMM - Câmara Municipal de Matosinhos, “Energia Elétrica Produzida no Edifício dos Paços do Concelho”. Disponível em <http://www.cm-matosinhos.pt/pages/149>. Acesso Maio 2012.

- [44]Fabricante de Material de Iluminação. Disponível em <http://www.luznegra.net/>. Acesso em Maio 2012.
- [45]Empresa de Soluções de Iluminação. Disponível em www.tridonic.com. Acesso em Maio 2012.
- [46]INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial. Disponível em <http://www.inegi.pt/>. Acesso em Maio 2012.
- [47]Comercializador de Acumuladores de calor. Disponível em <http://www.rcs.pt/Acumuladores/acumuladores.htm>. Acesso em Maio 2012.
- [48]LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, “Envolvente na Eficiência Energética dos Edifícios”, edição Dezembro 2011.
- [49]ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Disponível em www.erse.pt. Acesso em Maio 2012.

Anexo A

A diretiva EuP (Eco-Design Requirements for Energy-using Products, 2005/32/EC) define os requisitos que os produtos de iluminação têm de cumprir em termos do seu impacto ambiental.

Devido a esta diretiva, desde 2009 vários produtos deixaram de ser fabricados e comercializados dentro da UE, esta diretiva não impõe proibições quanto ao uso dos produtos.

Ao longo dos próximos anos, os requisitos sobre o consumo de energia de lâmpadas e luminárias tornar-se-ão progressivamente mais restritos. Na figura A1 está indiciado quais os produtos que deixaram ou vão deixar de ser comercializados. [33]

	Iluminação pública, escritórios e indústria	Iluminação doméstica
2009		<p>01.09.2009:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas claras: requisitos mínimos Classe de Eficiência C para lâmpadas ≥ 950 lm, Classe E para outras lâmpadas (por ex. phase out GLS ≥ 100 W) • Lâmpadas não claras: requisitos mínimos Classe de Eficiência A para todas as lâmpadas (presentemente algumas CFLi e LEDs) • Requisitos para informações nas embalagens de novos produtos • Novas especificações técnicas requeridas para cada tecnologia
2010	<ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas fluorescentes halofosfóricas standard T8* \rightarrow phase out 	<p>01.09.2010:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas claras: requisitos mínimos Classe de Eficiência C para lâmpadas ≥ 725 lm (por ex. phase out GLS ≥ 75 W)
2011		<p>01.09.2011:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas claras: requisitos mínimos Classe de Eficiência C para lâmpadas ≥ 450 lm (por ex. phase out GLS ≥ 60 W)
2012	<ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas fluorescentes T12* \rightarrow phase out • Lâmpadas de sódio de alta pressão (HPS): qualidade standard HPS (apenas afecta as E27/E40/PGZ12) \rightarrow phase out • Lâmpadas de iodetos metálicos (MH): lâmpadas MH menos eficientes (apenas afecta as E27/E40/PGZ12) \rightarrow phase out 	<p>01.09.2012:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas claras: requisitos mínimos Classe de Eficiência C para lâmpadas ≥ 60 lm (por ex. phase out GLS ≥ 7 W)
2013		<p>01.09.2013:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requisitos mais exigentes face às especificações técnicas, definidos em 2009 • Phase out de lâmpadas com casquilhos S14, S15 ou S19
2014	<ul style="list-style-type: none"> • Revisão das regulamentações pela Comissão Europeia 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisão das regulamentações pela Comissão Europeia
2015	<ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas de mercúrio de alta pressão (HPM) \rightarrow phase out • Lâmpadas "Plug-in/retrofit" de sódio em alta pressão** \rightarrow phase out (= substituição directa para HPM) 	
2016		<ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas claras: requisitos mínimos Classe de Eficiência B para todas as lâmpadas excepto as de casquilhos G9 e R7s (= phase out das de Classe C HALOGEN ENERGY SAVER) • Phase out de lâmpadas com casquilhos E14/E27/B22d/B15d e tensão ≤ 60 V
2017	<ul style="list-style-type: none"> • Fraco desempenho das lâmpadas de iodetos metálicos (MH) (apenas afecta as E27/E40/PGZ12) \rightarrow phase out 	

Figura A1 - Síntese e *phase out* das lâmpadas [33]

Anexo B

Planta do Piso 1 do edifício dos Paços de Concelho de Matosinhos, com as principais áreas de intervenção deste estudo, figura B1.



Figura B1 - Localização das áreas de intervenção

Anexo C

Para obter uma indicação sobre a qualidade da iluminação foram medidos alguns valores dos níveis de iluminância dos locais em estudo. Para tal foi utilizado um luxímetro da marca HT modelo HT307.

Os procedimentos utilizados foram os seguintes:

- Considerou-se a quantidade de luz no ponto e no plano onde a tarefa é executada, quando a superfície de trabalho não era conhecida realizou-se as medições num plano horizontal a 75cm do piso;
- Manteve-se o sensor paralelo à superfície que estava a ser avaliada ou deixou-se sobre a superfície cujos níveis de iluminação foram medidos;
- Manteve-se o nível da célula constante sempre que a avaliação não era sobre uma superfície de trabalho, pois pequenas oscilações do luxímetro altera os valores da medição;
- Evitou-se sombras em direção à célula.

Posto isto, obteve-se os seguintes valores de iluminância (tabela C1) para as respetivas áreas do edifício:

Tabela C1 - Valores de iluminância medidos

Espaço	Valor Medido (Lux)	Valor de Referência (lux)
Área de circulação 1	53	100
Área de circulação 2	44	100
Área de circulação 3	265	100
Área de circulação 4	105	100
Área de circulação 5	232	100
Loja Múncipe		
Front office	448	500
Back Office	431	500
Gabinete individual	586	500
Gabinete partilhado	527	500

É de salientar, que os baixos valores registados de iluminância para a área de circulação 1 e 2, justificam-se pelo facto de só um dos dois conjuntos de luminárias estarem ligados. Optou-se por medir os valores de iluminância assim mesmo, uma vez que nestes corredores é

habitual este sistema de iluminação funcionar só com um conjunto de luminárias, por opção do técnico responsável.

Já nos gabinetes os valores do nível de iluminância é fortemente influenciado pela forma como o utilizador concilia a iluminação natural (através da regulação da cortina do tipo rolo da janela) com a iluminação artificial, estes valores foram obtidos com as cortinas abertas.

Estas medições não tiveram como objetivo um estudo exaustivo dos níveis de iluminância, mas sim para ter estimativa dos valores de iluminância dos vários locais.

Anexo D

Para facilitar a escolha do sistema de iluminação a propor para o edifício, realizou-se um ensaio com vários tipos de lâmpadas, de forma a medir o seu consumo efetivo. Para isso foi utilizado um analisador de energia da marca Chauvin Armoux, duas pinças, um amperímetro analógico e um multímetro digital, figura D1.



Figura D1 - Ensaio para o levantamento de algumas características elétricas das lâmpadas

A necessidade de utilizar, para além do analisador de energia, o amperímetro analógico e o multímetro digital prende-se ao facto de que o analisador de energia não está concebido para medir grandezas na ordem dos miliamperes, assim sendo, foi necessário estabelecer uma correspondência dos valores medidos no amperímetro analógico e a escala utilizada no analisador de energia.

Para o ensaio da lâmpada fluorescente T5 foi necessário adaptar a armadura utilizada no ensaio. Para isso foi utilizado um eco-Tubo, permitindo assim, que no suporte de uma lâmpada fluorescente T8, se utilize uma lâmpada fluorescente T5, bastando apenas retirar o arrancador para desativar o balastro magnético.

Através dos valores retirados dos ensaios construiu-se a tabela D1.

Tabela D1 - Características elétricas das lâmpadas analisadas

Tipo de Lâmpada	Potência da Lâmpada (W)	U (V)	Ia (mA)	Potência Medida (W)	cos φ	THD da tensão (%)	THD da Corrente (%)
Fluorescente compacta	11	230	75,6	10,5	0,62	1,9	102,8
Fluorescente Linear T8 (balastro magnético)	18	230	356	27,8	0,34	1,9	5,5
Fluorescente Linear T8 (balastro eletrônico)	18	230	118	22,5	0,92	1,8	8,9
Fluorescente Linear T5	14	230	70,2	15,5	0,97	1,9	16,8
LED Linear T8	19	230	101,8	17,9	0,89	1,8	44,8

Pela análise da tabela D1 verifica-se que a luminária com a lâmpada fluorescente linear T8 com balastro magnético consome mais 54% da potência nominal da lâmpada. No entanto, para mesma luminária com a mesma lâmpada, ao trocarmos o balastro magnético por um balastro eletrônico, verifica-se uma redução do consumo de 19%.

Conclui-se também que a luminária com a lâmpada fluorescente linear T5 com balastro eletrônico consome mais 11% da potência nominal da lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes compactas que surgiram como uma boa alternativa às lâmpadas incandescentes, salienta-se que apesar da elevada economia no consumo e elevada duração de vida, este tipo de lâmpada possui um baixo fator de potência e uma elevada distorção harmônica (ver figura D2), quando comparado às incandescentes.

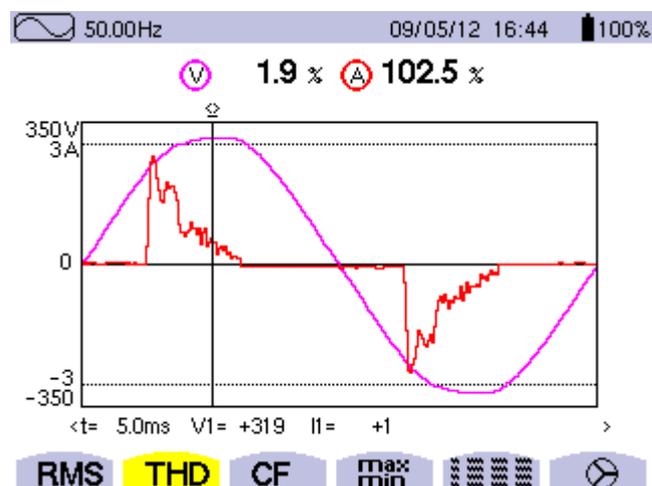


Figura D2 - Distorção harmônica da onda causada pela lâmpada fluorescente compacta

Quanto à lâmpada LED linear T8, é uma lâmpada de baixo consumo, devido à tecnologia LED implementada neste tipo de lâmpada. Esta possui um fator de potência próximo da lâmpada fluorescente linear T8 com balastro eletrónico, podendo ser uma boa alternativa para substituição das fluorescentes lineares T8. Pois este tipo de lâmpadas LED podem ser ligadas diretamente numa armadura convencional para lâmpadas fluorescentes T8, não necessitando de retirar o balastro magnético, bastando apenas substituir o arrancador convencional por um que é vendido diretamente com a lâmpada LED.

Quanto à distorção harmónica esta é superior nas lâmpadas LED linear T8, quando comparadas com as lâmpadas fluorescentes lineares T8 com balastro eletrónico, como se pode analisar na figura D3.

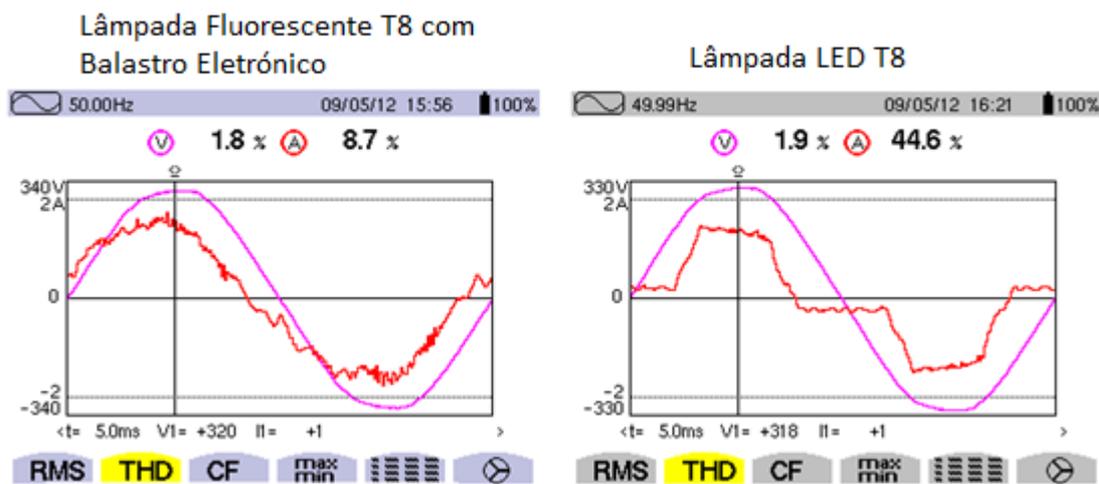


Figura D3 - Distorção harmónica da lâmpada fluorescente T8 e da LED linear T8

Se compararmos uma lâmpada fluorescente T5 com balastro eletrónico, a uma lâmpada LED de potência equivalente, verifica-se que apesar do consumo da lâmpada LED ser inferior, esta tem um baixo fator de potência, assim como uma elevada distorção harmónica.

Outro aspeto relevante é que a lâmpada LED ao ter um fluxo luminoso inferior à lâmpada fluorescente T5 de potência equivalente, quando aplicada em remodelações de armaduras, pode não garantir os níveis recomendados de iluminância do local