

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Estudo da Eficiência Luminosa e Energética do Sistema de Iluminação
Pública da Cidade do Porto**

Catarina Branco Leite da Silva

Licenciada em Engenharia Electrotécnica
pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores
(Área de especialização de Sistemas de Energia)

Dissertação realizada sob a supervisão dos
Prof. Doutores F. Maciel Barbosa e Custódio João Pais Dias,

Porto, Outubro de 2007

agradecimentos

Agradeço aos Professores Doutores Fernando Maciel Barbosa e Custódio Pais Dias a orientação, o auxílio, a disponibilidade e o apoio prestados ao longo da elaboração deste trabalho.

Os meus agradecimentos dirigem-se ainda à Câmara Municipal do Porto por ter disponibilizado os dados necessários ao presente trabalho.

Para terminar, agradeço à minha família e àqueles que sempre me apoiaram e incentivaram nesta investigação.

resumo

O presente trabalho tem por objectivo o estudo da eficiência luminosa e energética do sistema de iluminação pública, e em particular o caso da cidade do Porto, com vista ao aumento da sua eficiência.

Após análise da evolução histórica de alguns sistemas de iluminação pública é feita uma caracterização do consumo energético em iluminação de vias públicas em Portugal, são referenciados alguns sistemas de iluminação actuais bem como as novas tecnologias de iluminação, energeticamente eficientes, e expostos alguns casos práticos referentes ao uso destas tecnologias.

Foi desenvolvida uma metodologia prática de classificação das artérias urbanas, que visou o estabelecimento de características luminotécnicas adequadas a cada tipo de via urbana.

Por fim foi caracterizado o sistema de iluminação pública das várias freguesias do Porto, no que se refere à sua eficiência luminotécnica e à sua eficiência energética, e referidas propostas de alterações que promovam o aumento dessas eficiências na IP do Porto, bem como a vantagem, em termos económicos, das alterações propostas.

palavras chave:

Iluminação Pública, Gestão de Energia, Eficiência Energética

abstract

The objective of the present work was the study of the public lighting system, in particular in Oporto city, with the aim to increase its efficiency.

After an analysis of the historic evolution of some public lighting systems, it is presented a characterization of the energy consumption in public lighting in Portugal, some of the actual lighting systems are refereed as well as new lighting technologies, energetically efficient, and are exposed some practical cases of the use of these technologies.

It has been developed a practical methodology of classification of urban streets and roads, aiming to establish the adequately lighting characteristics to each type of urban street.

Finally, it has been characterised the public lighting system of several Oporto quarters, regarding to its lighting energy efficiency. The work presents some proposals of changing of the lighting system, to increase the city public lighting efficiencies. The advantage, in financial terms, of the changing proposals, is addressed too.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE QUADROS.....	VII
1.INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e motivação.....	1
1.2 Organização e objectivos da tese.....	5
2. NOTAS HISTÓRICAS SOBRE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	7
2.1 Evolução da IP no Mundo.....	7
2.2 Evolução IP Portugal.....	8
2.2.1 As primeiras cidades iluminadas a electricidade.....	8
2.2.2 A iluminação de instituições e de espaços sociais e comerciais.....	16
2.3 Iluminação pública na cidade do Porto.....	17
2.4 Conclusões.....	19
3. CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM ILUMINAÇÃO DE VIAS E EDIFÍCIOS PÚBLICOS EM PORTUGAL.....	20
3.1 Introdução.....	20
3.2 Caracterização do consumo de energia em Portugal.....	21
3.3 Caracterização geográfica e social dos consumos em IP.....	24
3.3.1 Repartição dos consumos pelas sub-regiões.....	24
3.3.2 Repartição dos consumos por sub-regiões, por unidade de área e <i>per capita</i>	26
3.3.3 Qualificação da população por sub-regiões e sua relação com os consumos em IP.....	28
3.3.4 Desenvolvimento social por sub-regiões e sua relação com os consumos em IP.....	31

3.4 Conclusões.....	32
4. EQUIPAMENTOS PARA SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	35
4.1 Energia e desenvolvimento sustentável.....	35
4.1.1 Gestão de energia – medidas de utilização racional de energia e de eficiência energética na União Europeia	36
4.1.2 Medidas de utilização racional de energia e de eficiência na iluminação.....	39
4.1.3 A eficiência na iluminação pública.....	40
4.1.4 Medidas de utilização racional de energia e de eficiência na iluminação pública.....	41
4.2 O panorama actual dos sistemas de iluminação.....	44
4.2.1 Lâmpadas.....	45
4.2.2 Luminárias.....	47
4.2.2.1 Luminárias e poluição luminosa.....	49
4.2.2.2 Poluição luminosa ou luz incómoda.....	49
4.2.2.3 Blocos ópticos.....	53
4.2.2.4 Graus de protecção.....	59
4.2.2.5 Sistema actual de luminárias.....	60
4.2.2.6 Luminárias actuais energeticamente eficientes.....	61
4.2.3 Balastros.....	70
4.2.4 Sistemas de controlo.....	74
4.2.4.1 Caso prático – Regulação do fluxo luminoso da iluminação pública nos Municípios de Ponte da Barca e de Ponte de Lima.....	79
4.2.4.2 Caso prático – Eficiência energética na iluminação pública, cidade do Porto.....	81
4.2.4.3 Caso prático – Eficiência energética na iluminação pública, cidade de Almada.....	83
4.3 Conclusões.....	84

5. ORDENAMENTO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	86
5.1 Nota justificativa da necessidade de ordenamento da iluminação pública.....	86
5.2 Classificação das vias e classes da instalação.....	87
5.3 Estabelecimento de critérios para a iluminação pública em função das características das vias urbanas.	93
5.3.1 Interligação entre vias de classificação diferente.....	93
5.3.2 Classificação e classe das luminárias a usar em função do tipo de via.....	94
5.3.3 Classificação do tipo de apoios e disposição dos centros luminosos.....	95
5.3.4 Altura mínima da instalação dos pontos de luz – uniformidade geral.....	101
5.3.5 Relação espaçamento/altura – uniformidade longitudinal.....	101
5.3.6 Potência das fontes luminosas em relação à altura da instalação – controlo do encandeamento.....	102
5.3.7 Sistemas de controlo e definição dos circuitos.....	103
5.4 Conclusões.....	104
6. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DAS ZONAS DO PORTO.....	106
6.1 A iluminação pública e o meio urbano.....	106
6.2 Caracterização da iluminação pública na cidade do Porto.....	111
6.3 Propostas de melhoria na iluminação pública na cidade do Porto.....	124
6.4 Conclusões.....	127
7. CONCLUSÕES.....	129
7.1 Contribuições do estudo.....	130
7.2 Limitações e investigação futura.....	131
8. BIBLIOGRAFIA.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Vela eléctrica de Jablochhoff	9
Figura 2.2 – Preocupação com o consumo de recursos naturais.....	10
Figura 2.3 – Estação de S. Bento iluminada a luz eléctrica.....	18
Figura 3.1 – Repartição geográfica dos consumos de energia eléctrica em 2003	22
Figura 3.2 – Repartição dos consumos de energia eléctrica por sector em 2003	23
Figura 3.3 – Repartição dos consumos de energia eléctrica por sector e por região	23
Figura 3.4a – Repartição dos consumos em IP pelas sub-regiões da Zona Norte	24
Figura 3.4b – Repartição dos consumos em IP pelas sub-regiões da Zona Centro	25
Figura 3.4c – Repartição dos consumos em IP pelas sub-regiões da Zona Sul e Ilhas...	25
Figura 3.5a – Repartição dos consumos por sub-região, por km ² e <i>per capita</i> , na Zona Norte.....	27
Figura 3.5b – Repartição dos consumos por sub-região, por km ² e <i>per capita</i> , na Zona Centro.....	27
Figura 3.5c – Repartição dos consumos por sub-região, por km ² e <i>per capita</i> , na Zona Sul e Ilhas.....	28
Figura 3.6a – Qualificação da população por sub-região na Zona Norte.....	29
Figura 3.6b – Qualificação da população por sub-região na Zona Centro.....	29
Figura 3.6c – Qualificação da população por sub-região na Zona Sul e Ilhas.....	30
Figura 3.7 – Valor médio do Rendimento Disponível Bruto das famílias, por região, no ano de 2001	31
Figura 4.1 – Diferentes direcções da luz emitida por uma luminária	51
Figura 4.2 – Imagem da Terra à noite, composta pela NASA a partir de várias fotografias de satélite.....	52
Figura 4.3 – Níveis de poluição luminosa atmosférica na Europa.....	52
Figura 4.4 – Constituição de uma luminária.....	53
Figura 4.5 – Formas de difusores	57
Figura 4.6 – Variação do fluxo ascendente de uma luminária com o número médio de lúmens necessário para obter a luminância desejada sobre o solo para as várias formas de difusores	59
Figura 4.7 – Luminária com vidro auto-limpável.....	63
Figura 4.8 – Luminárias equipadas com grelhas limitadoras dos fenómenos de luz invasora.....	64

Figura 4.9 – Lanterna de tipo antigo equipada com óptica de rendimento elevado.....	64
Figura 4.10 – Lanterna de tipo antigo.....	65
Figura 4.11 – Luminária em forma de esfera equipada com óptica de qualidade respeitadora do ambiente.....	65
Figura 4.12 – Luminárias alimentadas por fontes de energias renováveis.....	66
Figura 4.13 – Luminária equipadas com emissores de luz em estado sólido.....	67
Figura 4.14 – Luminárias alimentadas a energia solar, instaladas em Cabo Verde.....	69
Figura 4.15 – Diagrama do circuito de balastro	72
Figura 4.16 – Consumo energético das várias classes de balastros	73
Figura 4.17 – Relógio astronómico.....	75
Figura 4.18 – Balastro de dupla reactância.....	76
Figura 4.19 – Tempos de vida útil de uma lâmpada em função da tensão.....	78
Figura 4.20 – Arquitectura de um sistema de telecontrolo para gestão centralizada de um conjunto de controladores	79
Figura 4.21 – Exemplo de CEP instalado em Ponte da Barca.....	79
Figura 4.22 – Exemplo de CEP instalado em Ponte de Lima.....	80
Figura 4.23 – Poupança de energia obtida em Ponte da Barca através da colocação de CEP's.....	80
Figura 4.24 – Poupança de energia obtida em Ponte de Lima através da colocação de CEP's.....	81
Figura 4.25 – Pormenor da instalação de um regulador de fluxo.....	82
Figura 5.1 – Posicionamento unilateral.....	96
Figura 5.2 – Disposição bilateral com centros alternados.....	97
Figura 5.3 – Disposição bilateral com centros opostos.....	97
Figura 5.4 – Disposição central dupla.....	98
Figura 5.5 – Disposição em “avenida”.....	98
Figura 5.6 – Disposição em suspensão central.....	99
Figura 5.7 – Disposição de luminárias em curvas.....	99
Figura 5.8 – Disposição de luminárias em cruzamentos, intersecções e rotundas.....	100
Figura 6.1 – Paços do Concelho da Cidade do Porto iluminado.....	107
Figura 6.2 – Variação da quantidade de agressões com a iluminação horizontal	110
Figura 6.3 – Cidade do Porto iluminada.....	111
Figura 6.4 – Consumos de energia eléctrica relativos à IP do Porto.....	113
Figura 6.5 – Número de luminárias instaladas nas várias freguesias do Porto.....	114

Figura 6.6 – Número de luminárias instaladas, por km ² , nas várias freguesias do Porto.....	115
Figura 6.7 – Número de luminárias instaladas, <i>per capita</i> , nas várias freguesias do Porto.....	116
Figura 6.8 – Número de luminárias instaladas, por km ² e <i>per capita</i> , nas várias freguesias do Porto.....	117
Figura 6.9 – Potência instalada, na IP, nas várias freguesias do Porto.....	118
Figura 6.10 – Potência instalada, na IP, relativa a lâmpadas e balastros, nas várias freguesias do Porto.....	118
Figura 6.11 – Facturação anual da IP, nas várias freguesias do Porto.....	119
Figura 6.12 – Facturação anual da IP, relativa aos balastros convencionais, nas várias freguesias do Porto.....	120
Figura 6.13 – Potência instalada, por km ² , nas várias freguesias do Porto.....	121
Figura 6.14 – Potência instalada, <i>per capita</i> , nas várias freguesias do Porto.....	122
Figura 6.15 – Potência instalada, por km ² e <i>per capita</i> , nas várias freguesias do Porto.....	123
Figura 6.16 – Rendimentos médios das luminárias instaladas nas várias freguesias do Porto.....	124
Figura 6.17 – Potência instalada na IP com a utilização de balastros convencionais versus balastros electrónicos nas várias freguesias do Porto.....	125
Figura 6.18 – Redução de custos, num ano, com a instalação de balastros electrónicos nas várias freguesias do Porto.....	125
Figura 6.19 – Redução da potência instalada, com a instalação de reguladores de fluxo nas várias freguesias do Porto.....	126
Figura 6.20 – Redução de custos, num ano, com a instalação de reguladores de fluxo nas várias freguesias do Porto.....	127

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.1 – Tipos de lâmpadas, potência, eficiência luminosa e tempo médio de vida.....	47
Quadro 4.2 – Classificação das armaduras segundo o sentido do fluxo emitido.....	48
Quadro 4.3 – Alterações verificadas com a instalação de reguladores de fluxo na IP do Porto.....	82
Quadro 4.4 – Alterações verificadas com a instalação de reguladores de fluxo na IP da cidade de Almada	83
Quadro 5.1 – Classificação das vias urbanas.....	90
Quadro 5.2 – Níveis de iluminância média em serviço.....	91
Quadro 5.3 – Níveis mínimos de iluminância	92
Quadro 5.4 – Níveis de luminância.....	92
Quadro 5.5 – Tipos de luminárias.....	94
Quadro 5.6 – Classe das luminárias a usar em função do tipo de via.....	95
Quadro 5.7 - Disposição e colocação dos centros luminosos.....	100
Quadro 5.8 – Alturas de montagem dos pontos de luz.....	101
Quadro 5.9 – Uniformidades longitudinais mínimas.....	102
Quadro 5.10 – Potência das fontes luminosas.....	103
Quadro 5.11 – Tipos de controlo de fluxo.....	104
Quadro 6.1 – Características relativas às freguesias da Cidade do Porto.....	112

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e motivação

Dos cinco sentidos que possuímos, a visão é a que nos traz 80% das informações sobre o nosso ambiente. O reconhecimento do local, das pessoas, plantas, animais, objectos, obstáculos dependem dela e, para o seu funcionamento, dependemos imprescindivelmente da existência da luz. A ausência deste factor priva-nos do nosso mais importante sentido e, consequentemente, de grande parte das nossas capacidades.

Uma das características mais marcantes das cidades é, sem dúvida, a iluminação pública (IP) que define o ambiente nocturno onde as pessoas vivem, trabalham ou passeiam, sendo essencial à qualidade de vida nos centros urbanos, actuando como instrumento de cidadania, permitindo aos habitantes desfrutar, plenamente, do espaço público no período nocturno.

Além de estar directamente ligada à segurança pública no tráfego de veículos, a iluminação pública previne a criminalidade, embeleza as áreas urbanas, destaca e valoriza monumentos, prédios e paisagens, facilita a hierarquia viária, orienta percursos e permite aproveitar melhor as áreas de lazer.

A iluminação pública tem como objectivos:

- Proporcionar uma iluminação adequada das vias para que, quer os peões quer os veículos, circulem com segurança;
- Proporcionar maior segurança das pessoas;
- Realçar espaços e monumentos importantes.

A melhoria da qualidade dos sistemas de iluminação pública traduz-se numa melhor imagem da cidade, favorecendo o turismo, o comércio, e o lazer nocturno, contribuindo assim para o desenvolvimento social e económico da população.

Pelo referido, a IP deve ser considerada um serviço público, prestado pelos órgãos de gestão autárquica aos cidadãos, e ao qual devem ser aplicados os mesmos requisitos de eficiência e de qualidade exigidos aos outros serviços públicos (distribuição de água potável, a distribuição de gás urbano, o saneamento básico, etc.).

Estes requisitos devem ser atendidos quer no aspecto da função (iluminar), quer no aspecto dos recursos necessários ao cumprimento dessa mesma função: recursos energéticos ligados ao consumo e recursos humanos para a sua manutenção.

Na ausência de qualquer regulamentação nacional relativa a critérios de qualidade a respeitar pelos sistemas de iluminação e estando a IP na estrita dependência do poder local, ela é, frequentemente, alvo de acções que têm como objectivo pontual a satisfação da clientela eleitoral, através do “marketing” político, levando à existência de situações díspares, na maioria das quais não são atendidas as boas práticas de eficiência energética e de não poluição luminosa, pelo que é importante diagnosticar a situação dos sistemas de iluminação pública em Portugal no que se refere aos dois aspectos apontados, tanto mais que é um sector com peso significativo no consumo de energia eléctrica, o qual poderá ser reduzido através da utilização de práticas mais correctas na sua utilização, quer em vias públicas quer em edifícios públicos.

O aproveitamento de novas tecnologias de iluminação, permitindo uma maior eficiência energética, poderá constituir uma oportunidade para diminuir consideravelmente o consumo energético bem como as emissões de CO₂, trazendo vantagens a todos os níveis: o meio ambiente porque são reduzidas as emissões de CO₂, o cidadão porque, além de se reduzir o consumo e custos energéticos, passa a ter uma melhoria na qualidade de iluminação, os produtores de energia que poderão satisfazer uma maior procura sem investir em infra-estruturas adicionais de produção.

A assumpção desta mentalidade pressupõe um grande desafio em que tanto governantes como empresários têm um papel importante a desempenhar, promovendo e

incentivando a adopção destas novas tecnologias, de que já existem no mercado produtos e soluções de iluminação energeticamente eficiente e portanto prontas a ser utilizadas.

Apesar dos problemas trazidos pela mudança, a substituição dos antigos sistemas de iluminação (entre 50 % a 65 % dos sistemas europeus são obsoletos e pouco eficientes) será o caminho a percorrer, dado que a amortização do investimento necessário é muito rápida e terá repercussões vantajosas na competitividade europeia, ao nível mundial.

No caso da iluminação pública a eficiência é avaliada segundo três aspectos, a saber: eficiência luminotécnica, eficiência energética e eficiência estética (integração na estética do ambiente onde está instalada). A eficiência estética é habitualmente uma matéria estudada por técnicos de arquitectura e arquitectura paisagística, pelo que não será avaliada neste trabalho, que incidirá apenas sobre as restantes vertentes da eficiência.

A *Commission International d'Éclairage* (CIE) [A2] tem publicado uma série de normas que pretendem garantir um mínimo de eficiência luminotécnica nos sistemas de iluminação pública, os quais devem corresponder a essas características mínimas.

Estas normas, sendo de carácter geral, são omissas ou vagas em muitos aspectos, sendo, por isso, necessário adaptá-las a cada situação concreta.

Um aspecto em que as normas da CIE são omissas é o da eficiência energética dos sistemas de iluminação pública.

Outro aspecto em que as citadas normas pecam por omissão é o da classificação das vias urbanas. A CIE não faz distinção entre diversos tipos de vias que, como sabemos, têm, em cada urbe, características bem diferenciadas, aconselhando a que as soluções adoptadas para a sua iluminação sejam, também, diversas – não devem ser tratadas como idênticas, por exemplo, uma rua do centro histórico da cidade e uma via de cintura interna.

A juntar a este aspecto geral das normas da CIE não existe, em Portugal, uma regulamentação nacional de iluminação pública que as complemente, o que leva a que os sistemas de iluminação sejam muitas vezes tecnicamente pouco elaborados, resultando daí maus exemplos de eficiência, tanto luminotécnica como energética.

Por este motivo foi decidido que, e após reuniões com a Câmara Municipal do Porto, EDP e empresas de iluminação, o objectivo principal deste trabalho seria desenvolver uma metodologia concreta de aplicação das recomendações CIE a malhas urbanas, identificando parâmetros de caracterização dessas mesmas malhas e estabelecendo classes para as artérias urbanas, ligando depois as características do sistema de iluminação pública a essa classificação, incluindo não só a eficiência luminotécnica mas também a eficiência energética.

Embora a responsabilidade dos serviços públicos de interesse local, nos quais se insere a iluminação pública, seja da responsabilidade dos municípios, existem muitos centros urbanos onde este serviço é exercido por concessionárias distribuidoras de energia eléctrica, contratadas pelos municípios, as quais prestam um serviço considerado convencional, limitado à manutenção correctiva dos sistemas de iluminação, verificando-se que o bom funcionamento destes sistemas de iluminação ainda deixam muito a desejar em inúmeras cidades.

As empresas concessionárias, distribuidoras de energia eléctrica, por vezes, focam o serviço de distribuição de energia eléctrica (seu principal negócio), passando para segundo plano os serviços de manutenção da rede e não tomando em atenção os aspectos urbanísticos, ambientais, estéticos e luminotécnicos, favorecendo aspectos puramente eléctricos.

Os encargos energéticos associados à iluminação pública representam uma parcela bastante significativa dos consumos de energia dos municípios. É preciso encontrar um ponto de equilíbrio que permita obter, por um lado, os níveis de iluminação necessários e o máximo de economia, por outro. A solução passa pela instalação de equipamentos eficientes, tais como, lâmpadas de vapor de sódio e controladores electrónicos de potência.

1.2. Organização e objectivos da tese

O presente trabalho de investigação centra-se no estudo do sistema de iluminação pública da cidade do Porto, mais concretamente na sua eficiência energética.

Sendo assim, com este projecto, pretendem-se identificar os pontos mais relevantes do sistema em termos de desperdícios energéticos, bem como apresentar propostas de melhoria para a qualidade e eficiência energética deste serviço.

- O primeiro objectivo a atingir é o estabelecimento de uma metodologia prática de classificação das artérias urbanas, visando o estabelecimento de características luminotécnicas adequadas a cada tipo de via urbana.
- O segundo objectivo é a caracterização do sistema de iluminação pública da cidade do Porto no que se refere à sua eficiência luminotécnica e à sua eficiência energética, incluindo a proposta de alterações que promovam o aumento dessas eficiências.

No estudo a que me propus considerei que seria importante analisar a evolução histórica da iluminação pública. Neste sentido, no segundo capítulo da dissertação, são referidas algumas notas históricas sobre iluminação pública, mais concretamente a evolução da IP em Portugal, fazendo referência às primeiras cidades portuguesas iluminadas a electricidade bem como as primeiras instituições e espaços sociais e comerciais que puderam usufruir da luz eléctrica.

No capítulo três, constatando que o sector da iluminação constitui um dos sectores com peso significativo no consumo de energia eléctrica, sobretudo nos países desenvolvidos, faz-se o diagnóstico da situação no que se refere aos consumos energéticos dos sistemas de iluminação de vias e edifícios públicos. Assim, nesse capítulo, é feita uma caracterização do consumo energético em iluminação de vias e edifícios públicos em

Portugal. Dado a qualidade dos serviços públicos estar relacionada com o nível do desenvolvimento social das regiões, na caracterização que apresento, relativa aos consumos energéticos da IP, são incluídas também a caracterização de alguns parâmetros sociais e geográficos, tais como: a qualificação académica da população, a densidade populacional, a extensão da região, o rendimento familiar disponível, etc.

Posteriormente, no capítulo quatro, dado o desafio de promover um desenvolvimento sustentável constituir-se como ambição colectiva, são referidas algumas medidas de utilização racional de energia e de eficiência energética, mais concretamente na iluminação. Este capítulo apresenta também uma panorâmica geral dos sistemas de iluminação actuais. São referenciadas também as novas tecnologias de iluminação energeticamente eficientes já existentes no mercado, e expostos alguns casos práticos referentes ao uso das novas tecnologias expostas.

Em termos gerais, a iluminação pública deve corresponder às características mínimas recomendadas pelas normas emanadas pela *Commission International d'Éclairage* (CIE), as quais pretendem garantir um mínimo de eficiência luminotécnica aos sistemas de iluminação pública. Contudo, um dos aspectos omissos nas normas da CIE diz respeito ao tratamento dado às vias urbanas. Nas normas da CIE, como já referi, não é feita qualquer distinção relativamente a este tipo de vias, e, como sabemos, nas urbes existem uma grande variedade de ruas, com características bastante diferenciadas, não sendo lógico que as soluções adoptadas para a iluminação destas vias sejam idênticas. Assim, no capítulo cinco da dissertação foi estabelecida uma metodologia prática de classificação das artérias urbanas, visando o estabelecimento de características luminotécnicas adequadas a cada tipo de via urbana.

No capítulo seis é caracterizado o sistema de iluminação pública das várias freguesias do Porto no que se refere à sua eficiência luminotécnica e à sua eficiência energética. Deste modo, para finalizar, são referidas propostas de alterações que possam promover o aumento dessas eficiências na IP do Porto, bem como as vantagens, em termos económicos, que advirão das alterações propostas.

O capítulo sete encerra as conclusões que emergiram do trabalho de investigação, evidenciando os contributos do estudo e possíveis áreas de investigação futura.

2. NOTAS HISTÓRICAS SOBRE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

2.1 Evolução da IP no Mundo

Após todo um século de grande ebulição no campo científico do estudo da electricidade, quer no âmbito da física, quer no âmbito da química, e uma série de sucessos técnicos verificados ao longo dos anos, a “fada” electricidade aparentava estar pronta a partir para uma conquista vitoriosa em diversas áreas. As suas aplicações no campo da iluminação artificial, em todas as suas variantes, foram as que tiveram um maior impulso no último terço do século XIX, sobretudo desde o final da década de 70.

Anteriormente, a 24 de Julho de 1858, no Jornal da Associação Industrial Portuense tinha sido publicada a notícia «luz electromagnética», na qual se referia que Faraday acabava de descobrir em Londres «uma nova aplicação do electromagnetismo ou da electricidade, obtida pelas máquinas electromagnéticas, que consiste numa luz eléctrica muito clara, que pôde imediatamente ser empregue para a iluminação pública» [B22].

Com a demonstração da praticabilidade do dínamo de Gramme (1873), com o surgir dos arcos voltaicos de Jablochhoff (1876) e a iluminação eléctrica divisível das lâmpadas de incandescência de Edison e Swann (1878-9), a década foi de euforia nos meios técnicos e de negócios, entusiasmados com as possibilidades que se abriam. Depois de várias aparições nas exposições internacionais em 1873, 1876, 1878, a verdadeira festa culminou com a Exposição Internacional de Electricidade, que decorreu em Paris em 1881. Houve quem chamasse a esta última uma "revolução", sobretudo na ligação do público com as aplicações da electricidade, mas também ao nível da comunidade internacional com “interesses” ligados à electricidade. Nos anos que se lhe seguiram proliferaram os negócios, as demonstrações e os discursos inflamados em torno da nova "fada".

Consequentemente, no final do século XIX e o início do século XX, verificou-se a criação e o desenvolvimento de infra-estruturas urbanas (as redes de gás e electricidade), empreendimentos estes que exigiram grandes investimentos de capital e

o domínio de uma tecnologia cada vez mais específica. Verificou-se uma fase de internacionalização das empresas de gás e electricidade, interessadas em investir nos países em que estes empreendimentos ainda não estavam criados ou exigiam a sua modernização tecnológica.

2.2 Evolução IP Portugal

2.2.1 As primeiras cidades iluminadas a electricidade

É difícil estabelecer as datas-chave das primeiras aplicações de energia eléctrica mas, em Portugal, a febre também teve repercussões na década de setenta do século XIX.

A primeira notícia conhecida é a de seis candeeiros de arco voltaico importados de Paris pela família real e idênticos aos que iluminavam a Praça da Ópera naquela cidade, que foram instalados na esplanada da Cidadela de Cascais, em Setembro de 1878, na comemoração do aniversário do Príncipe D. Carlos.

Em 1879 a iluminação do Chiado, em Lisboa, com lâmpadas Jablochkoff, que no ano anterior tinham sido acesas pela primeira vez em Cascais, pôs a população desta cidade em contacto directo com a iluminação a luz eléctrica e contribuiu para que aumentasse o fascínio e interesse por esta novidade, que os homens de ciência diziam ser mais vantajosa e barata que a do gás, tendo ainda a vantagem de não tornar o ar insalubre [B22].

Houve vários relatos entusiastas desta nova iluminação nos jornais, e aqui se reproduz um excerto de versos alusivos aos candeeiros [B6]:

"Agora, sim, povo amado, / Que já tens um regabofe, / Vinde à noite no Chiado/ Ver a luz do Jablochkoff; / Luz, muita luz, luz imensa, / É da ventura o princípio, / Em ti, por fim alguém pensa, / Já tem luz o município./ (...)

Gosa pois, ò povo amado, / Gosa o grátis regabofe, / vinde pasmar no Chiado/ Ante a luz do Jablochkoff."

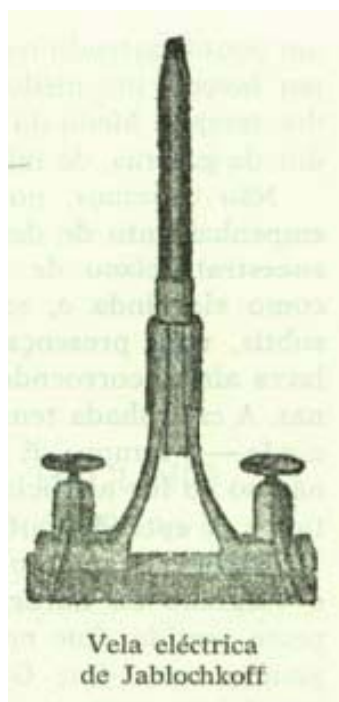


Figura 2.1 – Vela eléctrica de Jablochkoff [B6]

Mas foi sobretudo depois de 1881 que proliferaram as experiências de iluminação eléctrica, sobretudo em ocasiões festivas, como nas comemorações do tricentenário de Camões em que foram iluminados a luz eléctrica a Praça e o Monumento de Luís de Camões nas noites de 8, 9 e 10 de Junho, com seis globos de Jablochkoff. A 15 de Maio de 1882 as “festas nocturnas” no Passeio Público, organizadas por entidade particular, puderam contar em simultâneo com a luz do gás e da electricidade.

A introdução e gradual generalização da iluminação eléctrica, encontrando grande receptividade na maioria da população, não deixou, também, de desencadear alguns receios.

Por outro lado, a ideia que alguns tinham que a electricidade permitiria resolver o problema do consumo de carvão era uma ilusão que foi muitas vezes caricaturada.

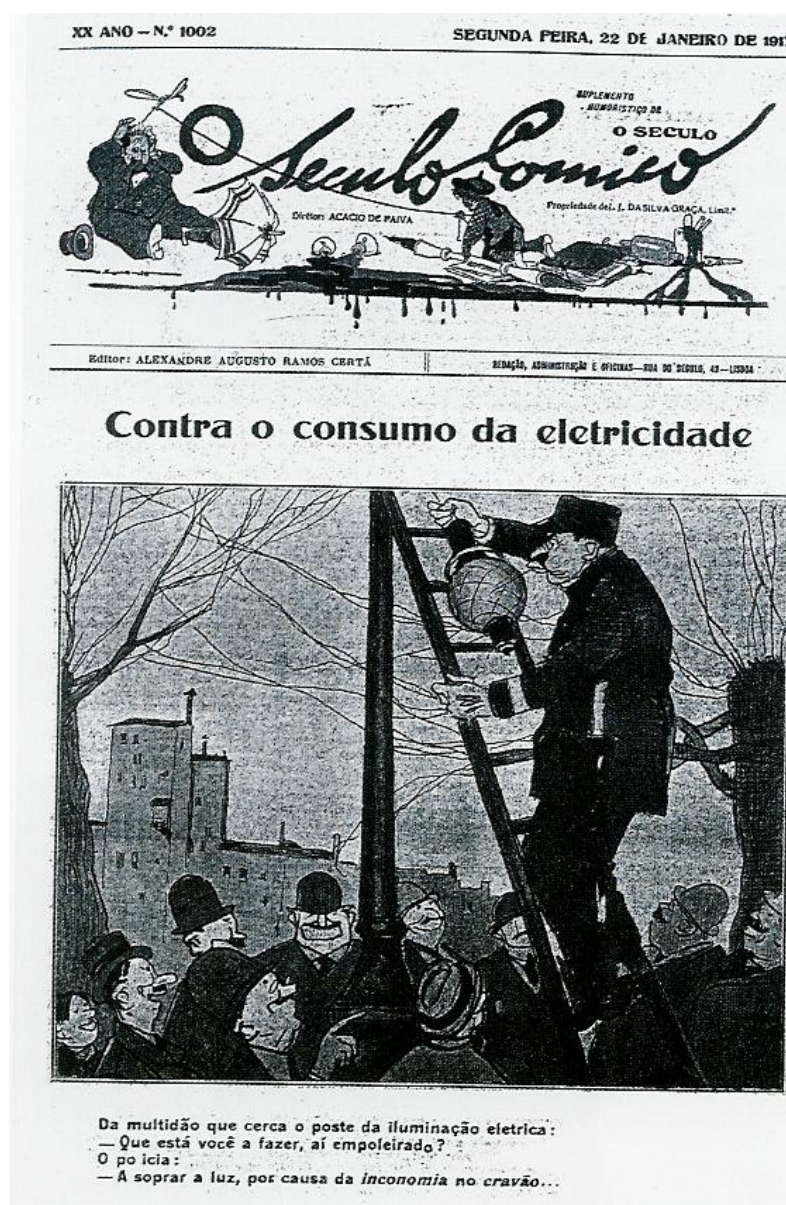


Figura 2.2 – Preocupação com o consumo de recursos naturais

Em 1886 surge um livro de divulgação técnica escrito por um aluno da Escola Politécnica, Thomaz Salter de Sousa, que se inicia desta forma:

"A luz electica é incontestavelmente a mais deslumbrante de todas as luzes artificiaes até hoje produzidas e a que, pelo seu poder illuminante, mais se presta a substituir a luz solar.

Tem-se por isso procurado utilizá-la em muitas applicações scientificas, militares e industriaes, aproveitá-la na iluminação publica das ruas e praças das grandes cidades, nas construcções sub-marinas, nas galerias das minas, nos reconhecimentos militares

nocturnos, nos pharoes, na illuminação dos theatros e dos navios, e nos grandes effeitos scenicos das representações theatraes."

No ano de 1888, a Câmara Municipal de Lisboa procurando melhorar a iluminação das ruas principais da cidade, determina que a iluminação da Av. da Liberdade seja feita por meio da electricidade e, no dia 1 de Junho de 1889, Lisboa vê implementada a primeira rede eléctrica de serviço público – foram iluminadas com arcos voltaicos a Praça dos Restauradores e a Av. da Liberdade.

No entanto, a pré-existência de uma rede de iluminação pública e privada a gás, na qual a empresa investira um importante capital a fundo perdido, dificultou o alargamento da iluminação eléctrica a outros pontos da cidade. Aliás, quando se pretendeu reconstruir o processo de implantação das redes eléctricas nas várias cidades portuguesas, a preexistência das redes de iluminação a gás dificultou o processo. Por um lado, porque a concessão por prazos alargados da iluminação pública a empresas de gás impediu em muitos casos a introdução da electricidade e, por outro lado, porque os investimentos que as empresas de gás tinham realizado na construção de fábricas e na montagem de redes de canos de distribuição eram investimentos a fundo perdido, que não eram susceptíveis de serem recuperados caso a empresa alterasse a sua produção. Por outro lado ainda, porque para o estabelecimento de uma central eléctrica e de uma rede de distribuição de electricidade seria necessário uma empresa de capital intensivo. Daí que, muitas vezes, as empresas de gás que tinham as concessões de fornecer electricidade para a iluminação pública atrasassem o início desta produção de electricidade.

Por estes motivos, a primitiva rede eléctrica de Lisboa só foi ampliada em 1903, quando se passou a produzir electricidade nas instalações da antiga fábrica de gás da rua da Boavista, mas mesmo nesta altura a dimensão da rede continuava a ser diminuta e a maior parte da cidade permanecia iluminada a gás. Recorria-se, no entanto, à electricidade para iluminações esporádicas que não implicavam a instalação de um equipamento permanente e que podiam ser conseguidas apenas com máquinas geradoras de electricidade, que eram colocadas temporariamente no local que se pretendia iluminar.

Este tipo de iluminação foi utilizado, por exemplo, em 1903, quando Eduardo VII, rei de Inglaterra, visita Lisboa - na cidade e na margem sul do Tejo as iluminações multiplicaram-se. Em Dezembro do mesmo ano, a visita do rei de Espanha foi pretexto para que a cidade de Lisboa seja de novo abrilhantada com novas iluminações. As ruas por que passaria o rei – Rua do Alecrim, Garrett, Carmo e Praça D. Pedro – foram iluminadas com electricidade.

Estas manifestações pontuais dos efeitos da iluminação a luz eléctrica nas ruas de Lisboa contribuíram para incentivar a ampliação da rede de iluminação pública da cidade e atrair novos consumidores particulares, situação que já não era compatível com a capacidade de produção da central da Boavista. Assim, em 1908 é construída na Junqueira uma nova fábrica de electricidade, que substitui a da Boavista.

As maravilhas da nova iluminação, de que se falava por toda a Europa e que Lisboa já tinha podido admirar, brevemente se estenderam ao resto do país e em várias outras cidades a luz eléctrica apareceu como ornamento de acontecimentos públicos.

No resto do país a situação é um pouco diferente. Em 1892, é publicado no *Diário do Governo* o primeiro regulamento para a concessão de licenças de estabelecimento de linhas eléctricas, começando então a aparecer os primeiros projectos para a iluminação total de uma cidade. Tal é o caso de Braga, em 1893, e no ano seguinte Vila Real, por iniciativa dos respectivos municípios.

No entanto, as duas cidades não foram felizes nestes acontecimentos – avarias e falta de capacidade das centrais que as alimentavam levou a recuos nesta nova forma iluminante.

Neste período, num estudo sobre a electricidade e suas aplicações, de 1887, descreviam-se de forma muito mais contida as vantagens da luz eléctrica:

"Além das vantagens especiais, que a tornam, pelas suas qualidades de intensidade e concentração, superior a todos os outros focos luminosos, em certas aplicações a luz eléctrica tem duas importantes qualidades de grande valor higiénico. Irradia muito pouco calor relativamente a todas as outras luzes da mesma intensidade e não vicia

com os produtos da combustão nem pela rarefacção do ar, a atmosfera do espaço onde brilha." .

Como inconvenientes teria a sua excessiva intensidade, que seria maléfica para o aparelho visual. Esta desvantagem obvia-se apesar de se perder luz, com o emprego de globos de vidro, colocando os focos a altura conveniente, usando “abat-jours” para reflectir e dispersar luz menos intensa e mais suave, etc.

Quanto à vertente económica verificava-se que, nos casos em que eram necessários um grande número de focos disponíveis por largas horas, seria vantajoso empregar a luz eléctrica, mesmo que tal obrigasse a uma instalação completa e exclusiva. Já quando se tratava de pequenos espaços, com poucos focos e durante pequeno número de horas, só seria vantajosa iluminação eléctrica quando se pudesse aproveitar a força disponível do motor empregue, também, para outros fins. A luz de incandescência, ainda muito cara, era preferível ao arco voltaico nos casos em que se pretendessem focos numerosos e pouco intensos.

Virgílio Machado, aluno da escola médica de Lisboa que tinha visitado em Paris a primeira exposição sobre a electricidade, refere que de todas as aplicações da luz eléctrica a da iluminação pública foi a que mais se impôs à atenção dos “electricistas” desde o conhecimento do arco voltaico no início do século XIX. E, no entanto, apesar de todas as outras aplicações da luz eléctrica serem pensadas depois, estavam na sua maioria em 1887 mais “completa e perfeitamente realizadas” do que a aplicação na iluminação pública.

A iluminação eléctrica inicial era pouco fiável, muito intensa no caso dos arcos voltaicos, e a duração quer dos carvões do arco voltaico, quer das lâmpadas de incandescência era curta. Salter de Souza diz-nos que o efeito da iluminação do Chiado pelas velas Jablochkoff no final de 1878 tinha sido surpreendente, apesar da falta de constância na intensidade e na coloração da luz.

Virgílio Machado apresenta uma razão para a progressão lenta em 1887:

"Todas as vantagens da luz electrica que diariamente se vão accentuando á medida que os aperfeiçoamentos nos electrogeneos [geradores], nos reguladores e nas lampadas

annulam os inconvenientes até aqui apontados, seriam ainda mais aproveitados do que o são na actualidade se a iluminação electrica não exigisse uma instalação especial com motor agaz ou a vapor, electrogeneo, fios conductores, lampadas, etc, tudo isto manipulado e vigiado por um pessoal tecnico, o que obriga a grandes despesas e se apresenta como empreza de larga monta aos industriaes estranhos a assumptos electricos".

A visita que, em 1889, a família real realiza a Évora, é recebida com a iluminação do Passeio Público a luz eléctrica.

Ainda na linha do pioneirismo, mesmo no final do século XIX, no dia 1 de Janeiro de 1899, acendem-se as primeiras luzes nas ruas e praças da cidade da Guarda, com energia produzida na recém construída central do Pateiro, no rio Mondego.

O virar do século não traz grandes mudanças na electrificação do país. À semelhança da última década de século XIX, a electricidade vai-se estendendo, lentamente, por pequenas redes locais. Por iniciativa empresarial ou camarária, cidades e vilas promovem a iluminação pública a electricidade, produzida em centrais especificamente construídas para o efeito – Guimarães e Viseu em 1901 e em 1907 respectivamente, ou comprando-a a fábricas cuja produção excedia as necessidades de consumo, que é o caso da cidade de Tomar, cujo município começa a adquirir, a partir de 1900, os excedentes da produção de electricidade à Real Fábrica de Fiação de Tomar para iluminar a cidade.

Nas duas primeiras décadas do século XX várias outras cidades e vilas são iluminadas a electricidade por iniciativa de empresas que, tendo optado por utilizar esta fonte de energia e iluminação, a rentabilizaram através de contratos estabelecidos com as Câmaras. Deste facto decorre uma situação aparentemente contraditória a nível do país, pois núcleos urbanos de menores dimensões, localizados, por vezes, em regiões do interior em que o rendimento *per capita* é dos mais baixos a nível nacional, beneficiaram deste serviço público mais cedo do que outras cidades ou vilas em que se esperaria encontrar este tipo e melhoramentos urbanos. É assim que no Alentejo vários núcleos urbanos, como Elvas, Reguengos de Monsaraz, Estremoz ou Arraiolos são

iluminados entre o final do século XIX e início do século XX a partir das fábricas de moagem e de outras actividades aí existentes [B22].

Situações semelhantes registaram-se noutras regiões do país, onde pequenas povoações, como Penalva do Castelo ou Famalicão, beneficiaram da electricidade produzida pela indústria.

A proximidade de Espanha, onde a indústria eléctrica já estava mais desenvolvida, foi determinante para a introdução precoce deste tipo de iluminação em algumas vilas ou cidades da raia, como é o caso de Portalegre em que, em 1902, o fornecimento de electricidade à cidade é assegurado pela província de Badajoz.

Em 1903 é a vez da cidade de Valença aderir à iluminação pública pela luz eléctrica. A inauguração, em 16 de Outubro, desta nova forma de iluminação, constitui para os seus habitantes um motivo de regozijo: a vizinha povoação espanhola de Tui, na outra margem do rio Minho, há muito que usufruía daquele melhoramento e lastimavam que a «poética Valença, guarda da fronteira do norte, há mais tempo não possuísse iguais regalias». Sendo provável que o fornecimento da energia eléctrica tenha sido também efectuado por fornecedores espanhóis.

No norte do país conhecem-se outros casos em que a introdução da iluminação eléctrica se deveu à iniciativa de espanhóis, como é o caso da vila de Espinho.

Em Peso da Régua e Lamego, a iluminação pública a electricidade inicia-se em 1907, a partir da energia produzida com as águas do rio Varosa, na central do Chocalho.

Dois anos depois a cidade de Seia começa a receber energia eléctrica produzida na central da Nossa Senhora do Desterro através de uma linha de 12 kV que ligava a central à vila. Pouco depois também Gouveia, que desde 1903 era iluminada pela Empresa Eléctrica de Gouveia, passa a receber electricidade desta central.

A entrada em funcionamento da central de Covas, situada no rio Coura e pertencente à Empresa Hidroeléctrica do Coura, torna possível que, a partir desta data, a Vila de

Caminha passe a ser iluminada a luz eléctrica. Em 1914 esta empresa alarga, por contrato com a Câmara Municipal, a sua rede a Viana do Castelo.

A iluminação a luz eléctrica de algumas cidades ou vilas faz-se num processo integrado com a implementação da tracção a electricidade. É o que acontece, por exemplo, com a Vila de Ovar, onde a iluminação a luz eléctrica, inaugurada em 1913, se deve à iniciativa da Companhia de Iluminação e Tracção de Ovar.

Em Novembro do mesmo ano, iniciam-se os primeiros trabalhos de construção de um açude no rio Vizela, cuja água passa a alimentar a central de Santa Rita, construída para fornecer energia eléctrica à vila de Fafe. A iluminação a electricidade é inaugurada às 14 horas do dia 5 de Outubro de 1914.

2.2.2 A iluminação de instituições e de espaços sociais e comerciais

Algumas das primeiras aplicações da electricidade para iluminação são feitas por entidades privadas. Uma delas, o *clube dos jornalistas*, já organizava, em 1880, saraus literários à luz da electricidade.

Os estabelecimentos científicos ou de ensino técnico existentes no país são dos primeiros edifícios públicos a usufruir da iluminação eléctrica, facto que esteve directamente ligado com os “homens de ciência” e os engenheiros que os dirigem e aí leccionam.

As primeiras experiências com as lâmpadas Swan e uma máquina Siemens são realizadas em 1883-84 no Instituto Industrial de Lisboa.

A iluminação dos teatros foi um dos campos em que a electricidade encontrou vasta aplicação, o que se liga com os inconvenientes da iluminação a gás, entre os quais se contavam a insalubridade do ar e os incêndios. O incêndio do teatro Baquet, no Porto, a 29 de Março de 1888, no qual morreram mais de 100 pessoas, foi decisivo, pelo impacto que teve na opinião pública portuguesa, para a introdução da luz eléctrica nestes espaços.

Por esta altura, já o teatro São Carlos se tinha convertido aos progressos tecnológicos ligados com a electricidade. No dia 22 de Maio de 1886 era inaugurada a iluminação eléctrica com carácter definitivo, substituindo a luz do gás. O sistema utilizado foi do tipo Swan, com lâmpadas de incandescência, alimentadas por uma máquina semi-fixa com a força de 16 cavalos de Wallis & Steeven [B22].

A década de 80 foi fértil em experiências com a nova fonte iluminante e outras casas de espectáculo foram cenário para a sua apresentação. A relativa mobilidade das primeiras máquinas geradoras de electricidade e respectivos aparelhos de iluminação, possibilitou a experimentação desta nova fonte iluminante em vários locais – ruas ou edifícios – abrindo a um variado leque de pessoas a hipótese de a contemplarem [B22].

No final do século algumas sociedades culturais e comerciais passaram a ser iluminadas a electricidade. Foi o caso, por exemplo, do Ateneu Comercial do Porto. Também por esta altura a Associação Comercial do Porto, sedeadada no Palácio da Bolsa, passou a ser iluminada por 40 lâmpadas de incandescência e 24 lâmpadas de arco voltaico, cuja electricidade era produzida por um dínamo.

Em 1903 foi a vez da Academia das Belas Artes equipar as suas salas com luz eléctrica, bem como a Câmara dos Deputados, que passa a beneficiar da luz de um grande número de lâmpadas eléctricas, o mesmo se passando com a Penitenciária Central de Lisboa e com o Arsenal da Marinha.

2.3 Iluminação pública na cidade do Porto

Tal como aconteceu em Lisboa, também no Porto, na década de oitenta, realizaram-se algumas demonstrações da nova fonte de luz, como sucedeu em Outubro de 1885, na comemoração do regresso de Ivens e Capelo da sua expedição à África Austral. Na Rua Passos Manuel são colocadas duas lâmpadas eléctricas.

No *Diário de Notícias* de 24 de Maio de 1887, são publicados os estatutos da Companhia de Luz Eléctrica do Porto, anunciando-se os seus objectivos: «realizar a

compra da fábrica que possui a empresa de iluminação a luz eléctrica, com sede naquela cidade, explorar a dita fábrica e dar o maior desenvolvimento ao fabrico de luz eléctrica em todas as cidades do reino[...]. A 12 de Junho do ano seguinte, o mesmo periódico publicitava que a Companhia dava início aos trabalhos de assentamento de cabos subterrâneos para fornecimento da luz eléctrica à cidade. Esta rede era, no entanto, restrita quer porque abrangia apenas uma parte da cidade, quer porque se destinava unicamente ao consumo privado já que a iluminação pública estava contratada com a Companhia do Gás do Porto. Só em 1908, com a constituição da Sociedade de Energia Eléctrica do Porto e com a construção da Central do Ouro, a iluminação pública passa a ser feita a electricidade e se amplia a rede de distribuição desta fonte de energia e iluminação aos particulares.

A iluminação da estação de S. Bento, no Porto, inaugurada em 1916, é descrita pela *Ilustração Portuguesa* da seguinte forma: «A iluminação que é a jorros de luz eléctrica, faz sobressair esse trabalho brilhante [os painéis de azulejos que revestem as paredes interiores, pintados por Colaço], que devem causar a admiração de todos os apreciadores de coisas de arte que por ali transitem.»

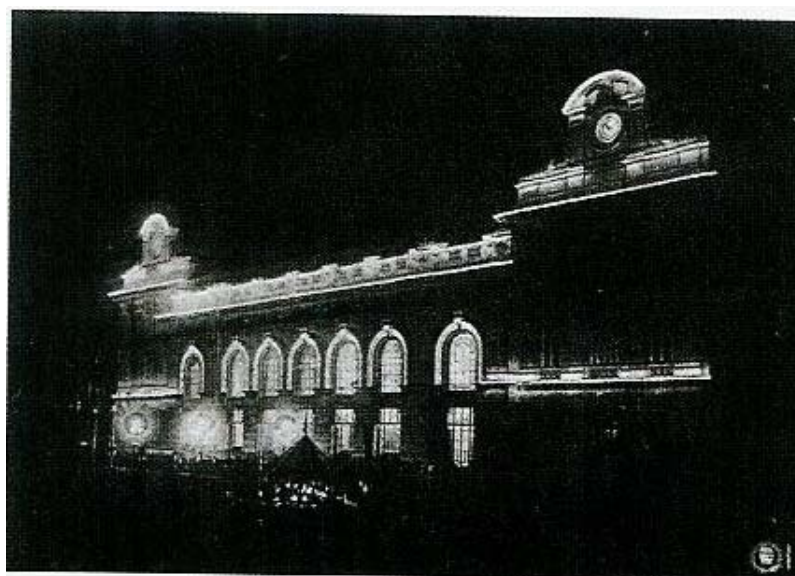


Figura 2.3 – Estação de S. Bento iluminada a luz eléctrica

2.4 - Conclusões

Em pouco mais de um século o consumo de electricidade na IP teve um acréscimo considerável.

O que hoje se considera como um bem a que todos os locais têm direito, muitas vezes sem tomar em atenção o excesso de consumo, era há cerca de cem anos uma “coisa” inovadora que merecia a atenção e admiração de toda a gente.

Do exposto, pode-se também constatar que o consumo de electricidade na IP teve um entrave, em Lisboa e no Porto, motivado pelos contratos já existentes entre estes municípios e as empresas de gás instaladas. Por este motivo cidades como Braga e Vila Real, devido à ausência de um contrato com empresas de gás desenvolveram as suas redes de IP a electricidade mais rapidamente que Lisboa e Porto.

Esta justificação aplica-se também ao consumo verificado pelas entidades privadas, em que, devido à inexistência de contratos com empresas distribuidores de gás, puderam experimentar a “fada” electricidade primeiramente que o resto do público em geral.

3. CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO EM ILUMINAÇÃO DE VIAS E EDIFÍCIOS PÚBLICOS EM PORTUGAL

3.1 Introdução

Constatando-se que o sector da iluminação constitui um dos sectores com peso significativo no consumo de energia eléctrica, sobretudo nos países desenvolvidos, com o objectivo de otimizar a eficiência energética, é necessário fazer o diagnóstico da situação no que se refere aos consumos energéticos dos sistemas de iluminação de vias e edifícios públicos.

Embora habitualmente tal não aconteça, a IP deve ser considerada um serviço público que é prestado pelos órgãos de gestão autárquica aos cidadãos, tal como a distribuição de água potável, a distribuição de gás urbano, o saneamento básico, etc.

Nesta perspectiva, à IP devem ser aplicados os mesmos requisitos de eficiência e de qualidade que são exigidos aos outros serviços públicos. Isto numa dupla perspectiva, na da sua função, que é a de iluminar, e na dos recursos necessários ao cumprimento da sua função, ou seja, recursos energéticos ligados ao consumo e recursos humanos para a sua manutenção.

Estando a iluminação pública na estrita dependência do poder local e na ausência de qualquer regulamentação nacional relativa a critérios de qualidade a respeitar pelos sistemas de iluminação, os sistemas de iluminação são, frequentemente, alvo de acções que têm como único objectivo o “marketing” político e, por isso, será de prever a existência de uma grande disparidade de situações e em muitas delas o desrespeito pelas boas práticas da eficiência energética e da não poluição luminosa. Por isso, é urgente diagnosticar a situação dos sistemas de iluminação pública em Portugal no que se refere aos dois aspectos apontados.

No que se refere aos recursos humanos necessários ao estabelecimento e manutenção dos sistemas de IP, muitas são as alternativas possíveis para a sua gestão, mas isso cai fora do âmbito que se pretende dar a este trabalho, ficando aqui apenas a referência ao

que se passa nos países europeus mais desenvolvidos, em que a função de gerir e explorar os sistemas de IP começa já a ser concessionada a empresas privadas, após a definição de um conjunto de regras e critérios a que terão de obedecer contratualmente. Vou, assim, concentrar-me especialmente nas questões relacionadas com os consumos energéticos dos sistemas de IP.

Dado que os dados disponibilizados, por parte do Instituto Nacional de Estatística, agrupam os consumos energéticos dos sistemas de iluminação em instalações de serviço público, sejam elas de interior (edifícios públicos) ou de exterior (vias urbanas), vou, neste capítulo, incluir também a iluminação de edifícios públicos.

A qualidade dos serviços públicos está relacionada com o nível do desenvolvimento social das regiões, pelo que se espera que no caso da IP isso também aconteça. Por isso, na caracterização que apresento, relativa aos consumos energéticos da IP, incluo também a caracterização de alguns parâmetros sociais e geográficos, tais como: a qualificação académica da população, a densidade populacional, a extensão da região, o rendimento familiar disponível, etc. No entanto, por vezes, verificam-se conjunturas locais que alteram os equilíbrios habituais, fazendo com que haja uma subvalorização, ou uma sobrevalorização, do serviço. Também estas possibilidades são abordadas na caracterização apresentada.

Finalmente, resta salientar que alguns dos dados apresentados são relativos a 2001, dado que não foi possível obter um tão grande conjunto de dados mais recentes. Contudo, dado que o objectivo do capítulo é caracterizar a importância do consumo energético em IP relativamente ao consumo energético global, essa relação ainda estará válida, na medida em que os sistemas energéticos em geral têm uma evolução relativa lenta.

3.2 Caracterização do consumo de energia em Portugal

Em 2003, tal como se pode ver na figura 3.1, foram consumidos cerca de 43000 GWh de energia eléctrica no país. Deste total cerca de 33% foi consumido na região Norte, seguindo-se a região de Lisboa (27%) e do Centro (25%). Com proporções inferiores a

10% do total de consumo surgiram as regiões do Alentejo (8%), do Algarve (4%), da Madeira (2%) e dos Açores (1%) [A5].

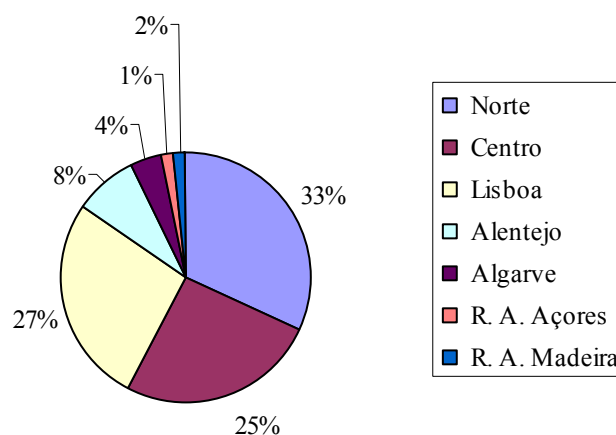


Figura 3.1 – Repartição geográfica dos consumos de energia eléctrica em 2003

Da análise da figura 3.2 pode-se constatar que, do total de electricidade consumida no país, 39,9% ficou a dever-se ao sector industrial, 27,0% ao sector doméstico, 21,9% ao sector não doméstico (serviços), 8,2% a iluminação (de vias públicas e de edifícios do Estado ou de utilidade pública) e apenas 2,0% ao sector agrícola, pertencendo o restante consumo a vários outros sectores [A5].

Finalmente, a partir da análise do gráfico da figura 3.3, podemos verificar que, em termos sectoriais, o Algarve é a região que proporcionalmente mais gasta em consumo doméstico e no sector de serviços (37,2% e 36,8%, respectivamente), o Alentejo assumiu esta posição no sector agrícola (7,7%), enquanto a maior proporção de consumo no sector industrial pertenceu ao centro (52,3%) e a maior proporção de consumo destinado a iluminação pertenceu à Madeira (15,7%) [A5].

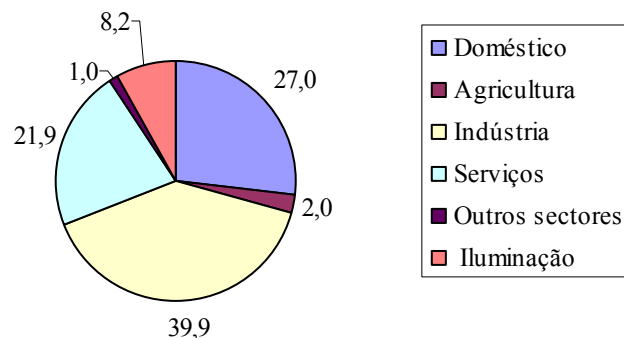


Figura 3.2 – Repartição dos consumos de energia eléctrica por sector em 2003

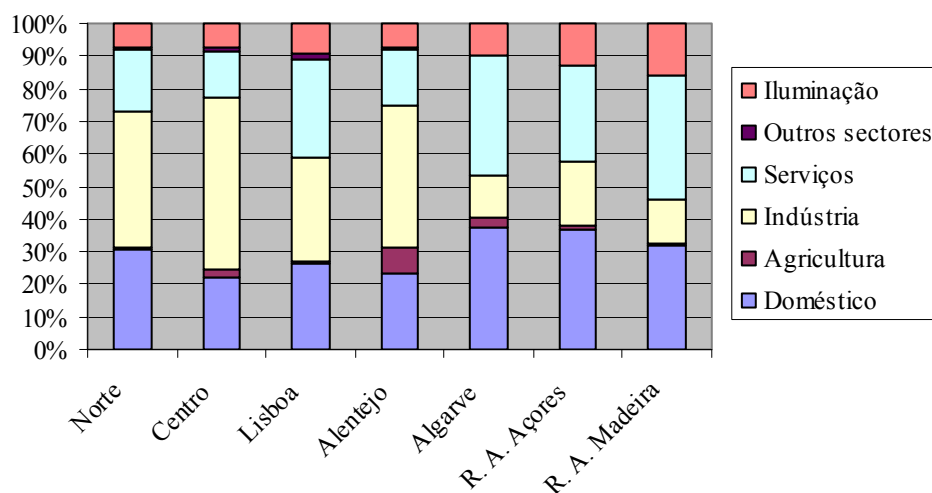


Figura 3.3 – Repartição dos consumos de energia eléctrica por sector e por região

Resumindo, no que se refere ao sector da IP constata-se que é responsável por cerca de 8,2% do consumo geral de energia, o que é bastante relevante na medida em que se trata de cerca de 3600 GWh. Relativamente à sua repartição regional e sectorial (figura 3.3), verifica-se serem as regiões autónomas (Madeira e, de seguida, Açores) as regiões com maior peso relativo da IP nos consumos globais. Este facto pode estar ligado ao tipo de actividades económicas predominantes nessas regiões (turismo), ou a outros factores, tais como, por exemplo, a baixa eficiência energética da IP.

3.3 Caracterização geográfica e social dos consumos em IP

3.3.1 Repartição dos consumos pelas sub-regiões

Depois de no ponto anterior ter sido apresentada a repartição dos consumos energéticos em IP pelas diferentes regiões do país, dado que em cada região se verifica haver assimetrias muito significativas, analisa-se agora como se reparte o consumo em cada sub-região.

As figuras 3.4 apresentam a relação, em valores percentuais, de energia eléctrica consumida em iluminação de edifícios de utilidade pública e em vias públicas nas diferentes sub-regiões do país. Nos gráficos apresentados a posição mais à esquerda refere-se aos valores médios verificados na região, para facilitar a comparação qualitativa com as colunas seguintes que se referem às diferentes sub-regiões em que se divide. No par de colunas relativo a cada sub-região, a coluna mais à esquerda (preenchida com a cor ■) refere-se ao consumo da iluminação de edifícios públicos, enquanto que a coluna mais à direita (preenchida com a cor ■) refere-se ao consumo da iluminação de vias públicas.

Como se pode verificar pela análise desses gráficos, a percentagem, relativamente ao consumo total, da energia eléctrica utilizada para a IP, nas várias sub-regiões portuguesas, é bastante diversificada.

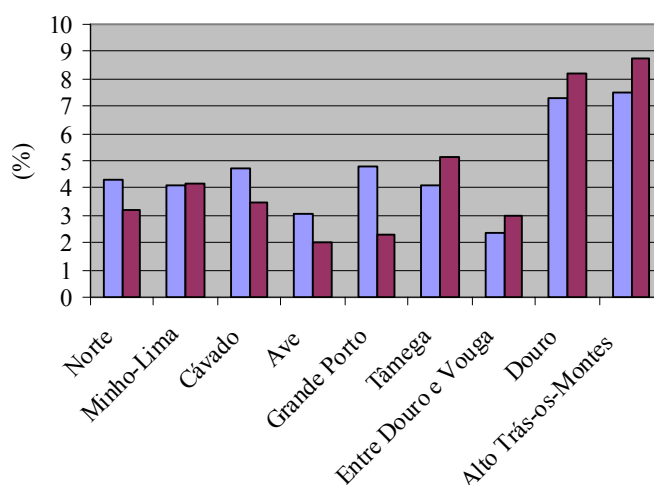


Figura 3.4a – Repartição dos consumos em IP pelas sub-regiões da Zona Norte

No caso da Zona Norte (figura 3.4a) sobressaem os casos das sub-regiões do Douro e do Alto Trás-os-Montes com consumos muita acima da média, o que indicia a existência nesses locais de actividades económicas com baixo consumo energético associadas a uma baixa densidade populacional, pelo que a IP se torna preponderante.

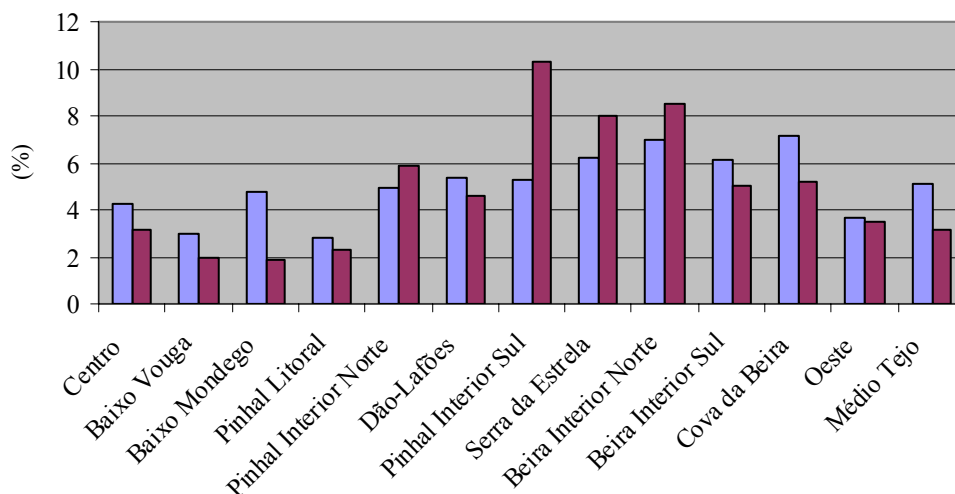


Figura 3.4b – Repartição dos consumos em IP pelas sub-regiões da Zona Centro

No caso da Zona Centro (figura 3.4b) sobressaem os casos das sub-regiões do Pinhal Interior Sul, da Serra da Estrela e da Beira Interior Norte pelas mesmas razões apontadas para os casos similares referidos para a Zona Norte.

No caso da Zona Sul e Regiões Autónomas (figura 3.4c) sobressaem os baixos valores percentuais apresentados pela região do Alentejo Litoral, que pode indiciar um muito baixo investimento em IP.

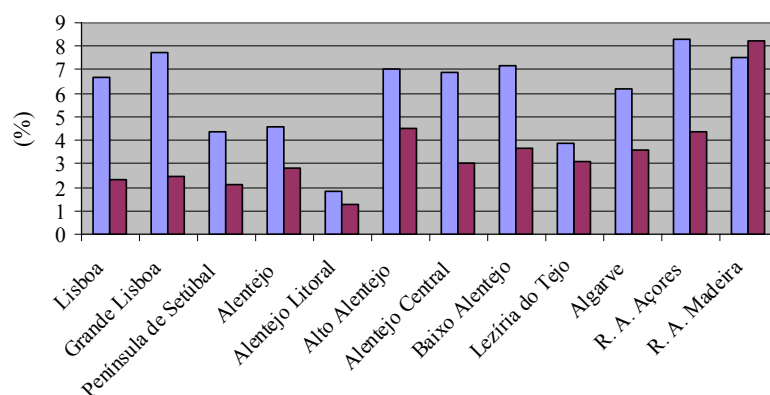


Figura 3.4c – Repartição dos consumos em IP pelas sub-regiões da Zona Sul e Ilhas

Antes de prosseguir com a caracterização, convém referir que a curta análise apresentada nos parágrafos anteriores é muito falível, na medida em que será necessário introduzir parâmetros de ponderação de ordem geográfica e social para que análise se torne mais sólida, o que será feito seguidamente.

3.3.2 Repartição dos consumos por sub-regiões, por unidade de área e *per capita*

Um dos parâmetros de forte relevância para a IP é a densidade populacional de cada região. No entanto, esse não é o único parâmetro importante. A área abrangida pela região é também relevante, na medida em que nas regiões maiores a abrangência geográfica da IP terá de ser maior. Assim, com base nos dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística, calcularam-se os consumos em IP, por km² e *per capita*, para as diferentes regiões, que se encontram representados nas figuras 3.5.

A figura 3.5a refere-se às sub-regiões da Zona Norte, a figura 3.5b às da Zona Centro e as da figura 3.5c às da Zona Sul e regiões autónomas insulares. No par de colunas relativo a cada sub-região, a coluna mais à esquerda (preenchida com a cor ■) refere-se ao consumo da iluminação de edifícios públicos, enquanto que a coluna mais à direita (preenchida com a cor ■) refere-se ao consumo da iluminação de vias públicas.

Relativamente ao consumo de energia eléctrica com a iluminação de edifícios de utilidade pública, por km² e *per capita*, o maior consumo verifica-se na região Autónoma da Madeira, que apresenta um valor de 0,2675 Wh. A Grande Lisboa e o Grande Porto apresentam também valores elevados deste indicador, respectivamente, 0,2316 Wh e 0,2651 Wh. A região da Serra da Estrela, pertencente à região centro do país e, inserida numa estrutura urbana com características distintas da Grande Lisboa e Grande Porto, apresenta o quarto valor mais elevado deste indicador (0,1931 Wh), o que é algo surpreendente e que provavelmente se deverá a uma população e área geográfica reduzidas.

Nas regiões que apresentam os menores valores de consumo, por km² e *per capita*, relativo à iluminação de edifícios de utilidade pública temos os casos do Tâmega (0,0371 Wh), do Douro (0,0379 Wh), do Alto Trás-os-Montes (0,0212 Wh), do

Alentejo Litoral (0,0382 Wh), do Alto Alentejo (0,0389 Wh), do Alentejo Central (0,0342 Wh) e do Baixo Alentejo (0,0284 Wh).

Relativamente ao consumo de energia eléctrica com a iluminação de vias públicas, por km^2 e *per capita*, a Região Autónoma da Madeira apresenta mais uma vez o consumo mais elevado, 0,2923 Wh. Com valores elevados deste indicador aparecem também a sub-região do Grande Porto (0,1277 Wh), de Entre Douro e Vouga (0,1530 Wh), de Pinhal Interior Sul (0,1349 Wh), da Serra da Estrela (0,2498 Wh) e da Cova da Beira (0,1252 Wh). No caso das três últimas sub-regiões, este resultado é surpreendente, dado que se trata de regiões de baixa densidade populacional e área considerável, o que indicia um forte investimento em IP, cuja justificação deveria ser investigada.

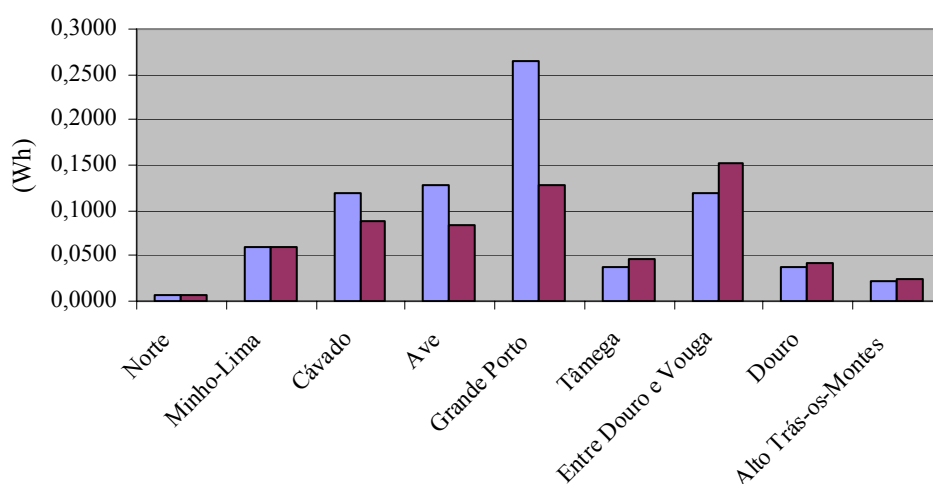


Figura 3.5a – Repartição dos consumos por sub-região, por km^2 e *per capita*, na Zona Norte

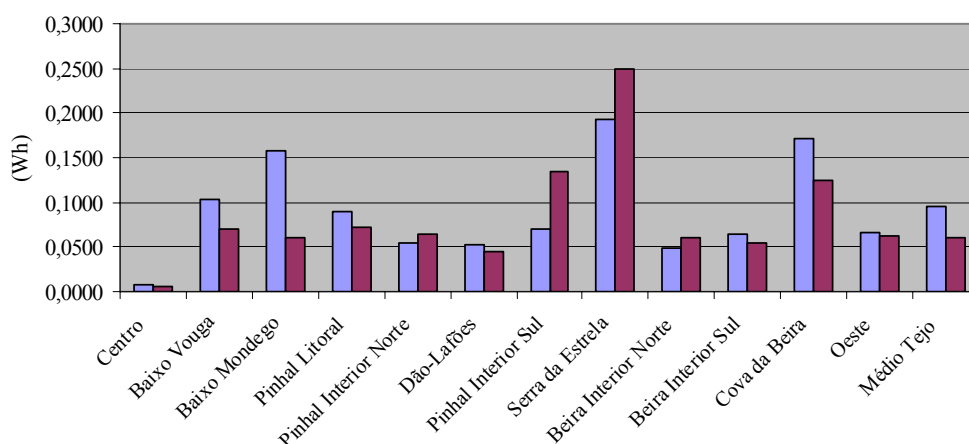


Figura 3.5b – Repartição dos consumos por sub-região, por km^2 e *per capita*, na Zona Centro

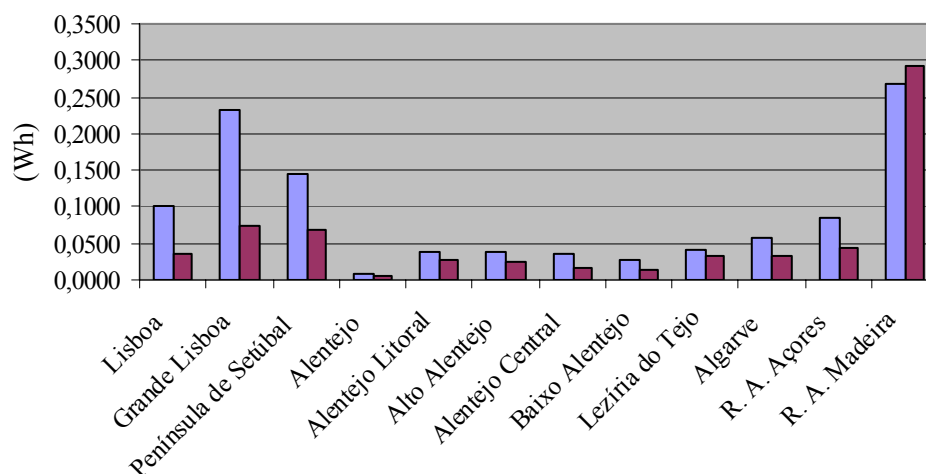


Figura 3.5c – Repartição dos consumos por sub-região, por km² e *per capita*, na Zona Sul e Ilhas

Os menores consumos verificam-se nas regiões de Alto Trás-os-Montes (0,0247 Wh), do Alentejo Litoral (0,0265 Wh), do Alto Alentejo (0,0250 Wh), do Alentejo Central (0,0151 Wh) e do Baixo Alentejo (0,0145 Wh). Este resultado já seria de esperar, dado que se trata de sub-regiões que, embora tendo uma densidade populacional baixa, cobrem uma vasta área.

3.3.3 Qualificação da população por sub-regiões e sua relação com os consumos em IP

Como serviço público que é, a qualidade da IP poderá estar relacionada com o nível de desenvolvimento das populações que serve. Por este motivo considero ser interessante nesta caracterização fazer a análise dessa relação. Assim, apresento nas figuras 3.6 gráficos contendo a caracterização do nível de qualificação da população portuguesa por sub-regiões, referindo-se a figura 3.6a às sub-regiões da Zona Norte, a figura 3.6b às da Zona Centro e as da figura 3.6c às da Zona Sul e regiões autónomas insulares. No par de colunas relativo a cada sub-região, a coluna mais à esquerda (preenchida com a cor ■) refere-se à percentagem da população qualificada com formação de nível superior, enquanto que a coluna mais à direita (preenchida com a cor ■) refere-se à taxa de ileteracia.

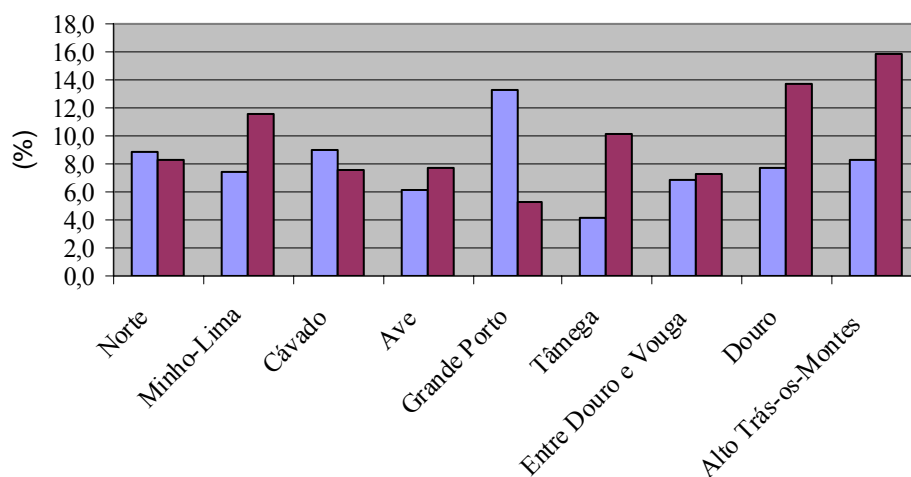


Figura 3.6a – Qualificação da população por sub-região na Zona Norte

Em 2001 a percentagem de ileteracia geral da população portuguesa atingiu o valor de 9,0%. A nível regional o analfabetismo atinge o valor mais elevado na região do Alentejo, assumindo o valor médio de 17,1%, sendo Lisboa a região do país com menor taxa de analfabetismo, apenas 7,0% [A10].

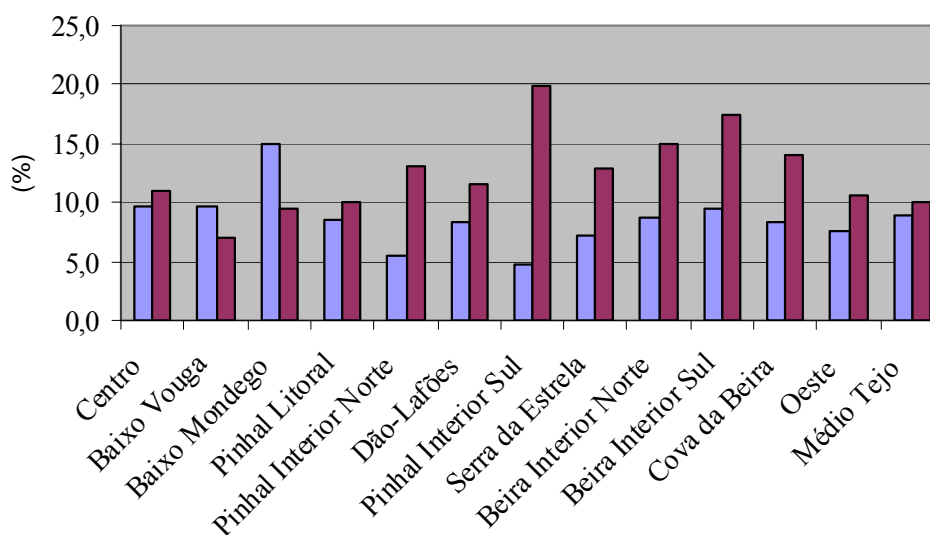


Figura 3.6b – Qualificação da população por sub-região na Zona Centro

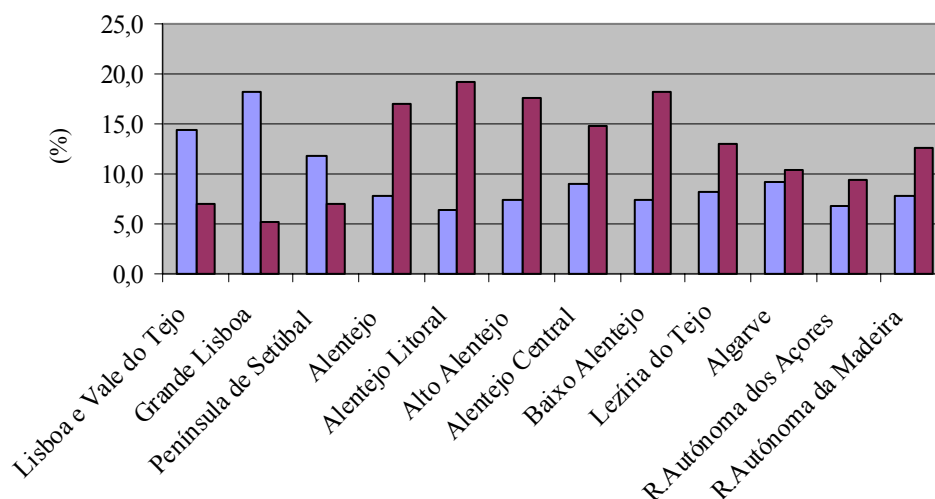


Figura 3.6c – Qualificação da população por sub-região na Zona Sul e Ilhas

Relativamente ao número de indivíduos com qualificação académica de nível superior, como se pode verificar nos gráficos, a percentagem mais elevada ocorre na região de Lisboa e Vale do Tejo, atingindo o valor de 14,4%, sendo que o valor mais baixo se verifica na região Autónoma dos Açores, onde a taxa é de apenas 6,7%.

Passando agora à análise da possível relação entre o nível académico da população e os consumos energéticos em IP, correlacionando os dados apresentados nas figuras 3.6 com os dados correspondentes constantes das figuras 3.5, verifica-se que as áreas geográficas onde existe um menor consumo de energia eléctrica, relativo à iluminação das vias públicas, são as zonas geográficas onde se verificam os índices mais elevados de ileiteracia, como é o caso da sub-região do Douro e Alto Trás-os-Montes, pertencentes à Região Norte, e os casos de Pinhal Interior Norte, de Pinhal Interior Sul, da Beira Interior Norte e da Beira Interior Sul, pertencentes à Região Centro do país. Também na região do Alentejo, onde todas as suas sub-regiões apresentam índices de consumo bastante inferiores à média nacional, se verificam níveis bastante elevados da taxa de ileiteracia. Salienta-se o caso extremo da sub-região do Baixo Alentejo, que apresenta taxas de ileiteracia de 18,2% e de cerca de 0,02 Wh de consumo, por km^2 e *per capita*.

Opostamente, constata-se que as áreas geográficas onde se verifica um maior consumo de energia eléctrica, relativo à iluminação das vias públicas, são as áreas que apresentam a maior percentagem de população com qualificação de nível superior,

como é o caso do Grande Porto, que apresenta um valor de cerca de 0,13 Wh, por km² e *per capita*, e uma percentagem de população com qualificação superior de 13,3%, sendo o segundo maior valor a nível nacional. O mesmo acontece com a sub-região da Grande Lisboa que apresenta uma taxa de 18,3% de população com qualificação superior e um consumo, por km² e *per capita*, de cerca de 0,24 Wh.

A única excepção nacional à tendência verificada é a Região Autónoma da Madeira, a qual, apesar de apresentar um índice relativamente baixo (7,7%) de indivíduos com qualificação superior e um nível de analfabetismo acima da média nacional, apresenta o maior consumo de energia eléctrica no que se refere à iluminação de vias públicas.

3.3.4 Desenvolvimento social por sub-regiões e sua relação com os consumos em IP

Finalmente, dado que um dos parâmetros de avaliação do desenvolvimento social das populações é o seu rendimento, analiso a tendência de relação que existe entre os consumos de energia eléctrica relativos à iluminação de vias públicas, por km² e *per capita*, e os rendimentos familiares médios, por região [A8].

A figura 3.7 apresenta o gráfico relativo ao valor médio do rendimento disponível bruto das famílias portuguesas no ano de 2001 nas diferentes regiões do país.

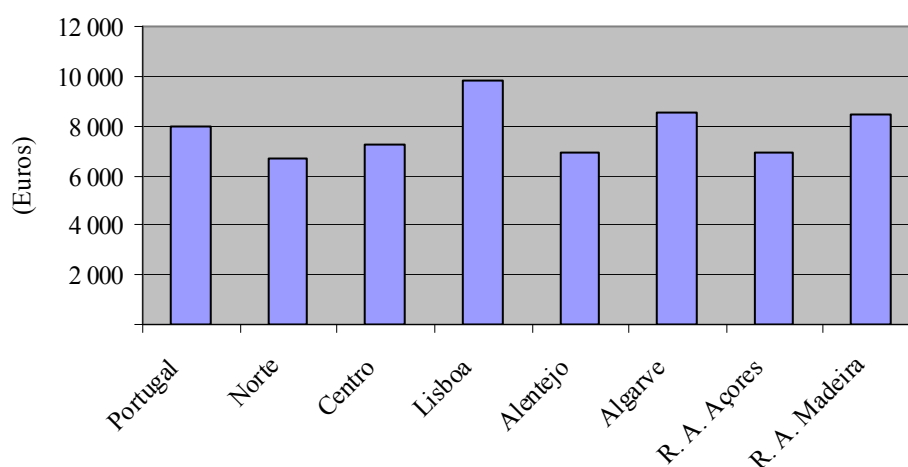


Figura 3.7 – Valor médio do Rendimento Disponível Bruto das famílias, por região, no ano de 2001

Como se pode verificar na primeira coluna do gráfico apresentado, em 2001, o valor médio do rendimento bruto disponível das famílias portuguesas foi de 8005 Euros. Lisboa é a região que apresenta o maior valor deste indicador (9841 Euros). Com valores superiores à média nacional temos ainda as regiões do Algarve (8563 Euros) e a Região Autónoma da Madeira (8470 Euros).

Relativamente aos menores valores dos rendimentos, a região Norte apresenta o menor valor deste indicador (6701 Euros). Com valores inferiores à média nacional aparece também a região Centro (7249 Euros), o Alentejo (6963 Euros) e a Região Autónoma dos Açores (6892 Euros).

Comparando os rendimentos médios com os consumos em vias públicas, por km² e *per capita*, verifica-se que, entre as regiões estudadas, as que apresentam valores de rendimentos médios superiores à média nacional apresentam, com excepção da região Norte, os valores mais elevados de consumos relativos à iluminação de vias públicas, como é o caso da região de Lisboa, da Região Autónoma da Madeira e da região do Algarve.

3.4 Conclusões

A iluminação pública, seja de interior ou de exterior, tal como qualquer outra utilização da energia eléctrica, deve reger-se pelo critério da eficiência energética. No entanto, dado que a responsabilidade pelos sistemas de IP é frequentemente repartida por várias entidades, muitas vezes, esse critério não é cumprido. Esta situação é também facilitada pelo facto de não existir um regulamento nacional que estabeleça os critérios e as condições a respeitar pelos sistemas de IP. Torna-se, por isso, necessário analisar com atenção o estado desses sistemas.

Dada a extensão do problema é impossível, numa primeira fase, analisar individualmente todos os sistemas de IP de todas as regiões do país. Assim, será necessário começar por fazer uma análise qualitativa da situação nas regiões, para se ter uma noção das zonas onde se deveria intervir com maior urgência.

A caracterização que foi feita relacionou os consumos energéticos com alguns parâmetros geográficos e sociais, tais como a área, a população, o nível de qualificação da população e o rendimento familiar.

A análise dos resultados obtidos revelou que, em termos nacionais, a IP é responsável por uma porção apreciável (8,2%) dos consumos energéticos globais e que as regiões autónomas são as que apresentam um maior peso relativo da IP face ao respectivo consumo global, com particular incidência na Região Autónoma da Madeira, onde o consumo energético da IP atinge 15,7% do consumo total.

Após tratamento dos dados com o objectivo de tomar em consideração a extensão geográfica e o número de habitantes, obtendo consumos por km² e *per capita*, chega-se à conclusão que a Madeira continua a liderar o cenário nacional. Embora essa região tenha uma realidade muito particular, no que se refere à sua estrutura económica, os consumos em IP que apresenta justificam que seja prestada uma especial atenção à eficiência energética dos seus sistemas de iluminação pública.

Ainda no que se refere a consumos por km² e *per capita*, outras sub-regiões do país possuem valores elevados, concretamente as das grandes cidades (Lisboa e Porto), o que é justificado pela elevada concentração de edifícios públicos ou de interesse público e pela densa malha da sua rede viária, e permite identificar essas zonas como zonas em que será prioritário prestar atenção à eficiência energética dos sistemas de IP, já que os ganhos potenciais na redução dos consumos são grandes. O mesmo se pode esperar no caso da sub-região da Serra da Estrela, que se situa em quarto lugar na seriação relativa a estes consumos.

Com o objectivo de levar a caracterização mais além, no que se refere a possíveis relações entre os consumos em IP e factores sociais, os dados foram tratados com o objectivo de obter valores de consumo em IP em função dos níveis de qualificação académica das populações, bem como obter valores para os mesmos consumos em função do valor médio do rendimento bruto familiar, tudo isto dividido pelas sub-regiões do país.

Os resultados obtidos revelaram algumas tendências, que de certo modo já eram esperadas. Assim, verifica-se que os consumos energéticos com a IP crescem à medida que aumenta o nível de qualificação académica da população, à excepção do caso da sub-região da Madeira. Vê-se também que os consumos aumentam à medida que aumenta o rendimento familiar, sendo neste caso excepção a Zona Norte do país.

4. EQUIPAMENTOS PARA SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

4.1 Energia e desenvolvimento sustentável

O desafio de promover um desenvolvimento sustentável constitui uma ambição colectiva e implica conjugar desenvolvimento económico com a promoção de estabilidade social, sem comprometer o ambiente em que vivemos. A solução para esta complexa equação passa por inovar a diferentes níveis, assumindo tecnologias e práticas mais eco-eficientes.

O paradigma do desenvolvimento sustentável encontra um excelente exemplo na energia.

A energia desempenha um papel fundamental em todas as actividades, nomeadamente nas actividades económicas, e no seu desenvolvimento. De uma forma particular, a energia eléctrica é o motor de toda a evolução e desenvolvimento que o mundo actualmente vive. Na realidade, ela está presente desde a mais pequena instalação eléctrica doméstica até à mais complexa instalação industrial, passando por qualquer sala de investigação científica.

Mas, passado está o tempo em que o aumento do consumo de energia eléctrica significava desenvolvimento. O Paradigma do desenvolvimento, baseado no consumo massivo de energia eléctrica, mudou na altura em que o Homem concluiu que esse modelo de desenvolvimento não sustentável, compromete a sobrevivência da vida, tal como a conhecemos actualmente, no nosso planeta. A insustentabilidade desse modelo prende-se com a escassez dos recursos energéticos habitualmente utilizados e com o impacto que o seu consumo tem sobre o ambiente. Por esta razão se valorizou a produção energética baseada nas denominadas fontes verdes e renováveis. Apesar do bom contributo que estas fontes possam dar para a sustentabilidade do desenvolvimento, actualmente, é impensável acreditar que, a curto prazo, toda a energia eléctrica necessária ao desenvolvimento das sociedades humanas possa ser produzida a partir das fontes verdes e renováveis.

Assim, o paradigma do desenvolvimento passou a ser: **produzir mais consumindo menos energia**. Assiste-se, por isso, nos países mais desenvolvidos a um esforço de redução dos consumos, ou seja, a um investimento na eficiência energética.

Actualmente, quer do ponto de vista do fornecedor, quer do ponto de vista do utilizador, a energia eléctrica deve ser considerada como um bem de grande valor e, como tal, deve ser fornecida pelos primeiros com qualidade e pelos segundos ser utilizada com segurança e racionalidade.

A sustentabilidade do sistema energético depende:

- Do lado da procura, da atitude com que encaramos o consumo.
- Do lado da oferta, do reforço das fontes energéticas renováveis.
- Do lado da utilização, da optimização dos sistemas de transformação de energia.

4.1.1 Gestão de energia – medidas de utilização racional de energia e de eficiência energética na União Europeia

Os grandes problemas sociais e ambientais com que a sociedade se depara, têm como principal causa a enorme pressão existente sobre os recursos naturais. O contexto energético, e as preocupantes previsões, exigem uma resposta por parte de todos os responsáveis por forma a garantir um desenvolvimento global sustentável não comprometendo gerações futuras. Este objectivo só será alcançado se entre outras medidas forem implementadas em larga escala acções de utilização racional de energia e de eficiência energética.

A crise da energia não poderia prestar melhor serviço que o de tornar imperiosa a necessidade de uma política energética para a Comunidade Europeia. Ela, com efeito, demonstrou a vulnerabilidade da economia europeia às interrupções ou restrições de fornecimento, bem como às fortes subidas dos preços da energia. Por outro lado, a crise da energia demonstrou a falta de eficácia das reacções nacionais isoladas ou dispersas, assim como o perigo da não existência de solidariedade entre países consumidores. Ela

mostrou, enfim, a necessidade de uma evolução das estruturas de aprovisionamento para uma menor dependência, o que implica um vigoroso esforço na economia da energia, na utilização dos recursos endógenos e no desenvolvimento de fontes alternativas ao petróleo, isto é, um vigoroso esforço no sentido da utilização racional da energia.

Numa altura em que tanto se fala acerca da recessão económica e no preço do barril do petróleo, o consumo de energia tem aumentado, nomeadamente em Portugal, que já era o país europeu com pior desempenho em termos de intensidade energética [B1].

A ensombrar o panorama nacional estão ainda os compromissos ambientais assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto, em que a União Europeia se comprometeu a reduzir, até 2010, em 8% as emissões de gases com efeito de estufa relativas a 1990 (Portugal acordou limitar o aumento das suas emissões em 27%) [B1].

Em 27 de Setembro de 2001, o Parlamento Europeu e o Conselho adoptaram a directiva 2001/77/CE relativa à promoção de electricidade a partir de fontes de energia renováveis, na qual são estabelecidas metas para cada Estado Membro (ano de 2010). No caso português 39% da energia eléctrica produzida deverá ser produzida com energias renováveis. Este objectivo será alcançado mais facilmente e de forma mais económica se forem implementadas em larga escala acções de eficiência energética [B1].

À medida que cresce a procura e os preços da energia na Europa, torna-se cada vez mais difícil o cumprimento dos objectivos de redução das emissões de CO₂, acordados em Quioto.

Sendo a Utilização Racional da Energia (URE) o parâmetro que maior participação exige por parte dos agentes económicos, ao qual está associada uma necessidade de investimento, terá de ser encarada como um benefício directo obtido através dos ganhos em eficiência.

A utilização cada vez mais eficiente da energia é fundamental para o longo prazo económico, já que apresenta importantes vantagens:

- Aumenta a longevidade dos recursos energéticos esgotáveis;

- Atrasa e minimiza o impacto das pressões esperadas nos mercados da energia;
- Reduz os efeitos negativos, sobre o meio ambiente, da produção e do consumo de energia,
- Proporciona, normalmente, investimentos com melhores características de racionalidade e viabilidade económica, quando comparados com investimentos no sector da oferta de energia;
- Conduz a investimentos aplicados em pequena escala (e com fracos acréscimos) tornando, por isso, a capacidade de decisão mais flexível num período em que – cada vez mais – se associa a energia à incerteza, nomeadamente no que diz respeito aos seus mercados.

Estimativas feitas a nível da União Europeia apontam para que a Europa desperdice pelo menos 20% da energia que consome, pelo que o investimento na eficiência energética se justifica plenamente.

A melhoria substancial da eficiência energética para utilização final e a promoção das fontes de energia renováveis são componentes fundamentais das políticas de energia e ambiente da União Europeia e partilhadas por todos os Estados-membros. A Direcção Geral de Energia e Transportes da Comissão Europeia tem vindo a contribuir para esse objectivo através de um conjunto de acções e iniciativas direccionadas para os diversos sectores de actividade.

Os investimentos em utilização racional de energia são, em Portugal, ainda insignificantes e, se compararmos com o esforço feito nos países da Comunidade Europeia, podemos concluir que nada foi feito no nosso país.

4.1.2 Medidas de utilização racional de energia e de eficiência na iluminação

Estudos indicam que, se toda a iluminação ineficiente da Europa fosse substituída por soluções tecnologicamente avançadas – nos sectores doméstico, público e privado – a economia nos custos operacionais seria na ordem dos 4.300 milhões de euros, com uma redução de 28 milhões de toneladas de CO₂ por ano, o equivalente a 50 milhões de barris de petróleo anuais e ao consumo de dióxido de carbono de mil milhões de árvores [A4].

As novas tecnologias de iluminação energeticamente eficientes, constituem uma oportunidade única, com a qual todos ganham: o meio ambiente ganha porque se reduzem as emissões de CO₂, o contribuinte e utilizador ganha porque se reduz o consumo e os custos energéticos, e as pessoas e as comunidades ganham porque há uma melhoria da qualidade da iluminação. Tanto os empresários como os governantes têm um papel importante a desempenhar na promoção e incentivo à adopção destas tecnologias [A4].

As tecnologias de iluminação eficiente podem contribuir decisivamente para a diminuição do consumo energético e das emissões de CO₂. Estes objectivos pressupõem um grande desafio, mas existem no mercado produtos e soluções de iluminação energeticamente eficientes prontos a serem utilizados. Não obstante, a evolução do mercado é lenta, sendo que entre metade e dois terços da iluminação europeia continua a utilizar sistemas de iluminação obsoletos e pouco eficientes que, ao ritmo actual, poderá demorar outra geração até à sua substituição – apesar de estar demonstrado que a amortização do investimento é muito rápida [A4].

Apesar dos problemas de implementação, este é, sem dúvida, o caminho que, por sua vez, terá repercussões na competitividade europeia. A Europa desempenha um papel de destaque no mercado mundial de iluminação e lidera as inovações neste campo. A tecnologia de iluminação que é criada hoje na Europa pode aportar soluções ambientais energeticamente eficientes. Ao reduzir os custos operacionais de iluminação, a Europa verá reforçada a sua competitividade mundial [A4].

4.1.3 A eficiência na iluminação pública

Cerca de um terço da iluminação das vias públicas europeias continuam a utilizar tecnologia dos anos 60, barata mas ineficiente, com lâmpadas de vapor de mercúrio. Estes 35 milhões de lâmpadas antiquadas consomem o dobro da energia que seria necessária, o que constitui uma pesada carga para as autoridades locais e para os contribuintes, para além de produzirem elevadas emissões de CO₂. O ritmo actual de renovação destas lâmpadas é de 3% ao ano, pelo que serão necessários mais de 30 anos para desfrutar de todas as vantagens económicas e ambientais. Simplesmente demasiado lento.

A nova geração de tecnologias de iluminação oferece uma amortização rápida do investimento inicial e melhora a qualidade da iluminação.

Calcula-se que, substituindo os equipamentos que utilizam lâmpadas de vapor de mercúrio pelos novos sistemas tecnológicos, os municípios europeus economizariam anualmente até 700 milhões de euros em custos operacionais e que a Europa reduziria consideravelmente as emissões de CO₂ em 3,5 milhões de toneladas por ano, o que seria um passo decisivo para se aproximar dos objectivos fixados pelo Protocolo de Quioto. [A4].

Existem nomeadamente argumentos ecológicos e económicos para a utilização de técnicas mais eficientes na IP.

Argumentos ecológicos para a adopção de uma iluminação mais eficiente:

- A Europa poderia evitar a emissão anual de 3,5 milhões de toneladas de dióxido de carbono (CO₂) o que equivale ao consumo de dióxido de carbono de 175 milhões de árvores, ao consumo anual de 14 milhões de barris de petróleo ou à produção anual de duas centrais eléctricas.

- As lâmpadas e equipamentos de última tecnologia são até 65% mais pequenas que as suas antecessoras. Isto significa que apenas é necessário metade do material para fabricar as novas luminárias e acessórios. Deste modo, também é necessário menor esforço de transporte para a deslocação de stocks, o que pressupõe igualmente uma diminuição das emissões de dióxido de carbono.

Argumentos económicos:

- Sempre que se verifica a necessidade de troca de lâmpadas e sistemas de iluminação pública, a sua substituição por alternativas com maior eficiência energética servirá para reduzir custos operacionais.
- Nos casos em que não é necessária a substituição dos sistemas de iluminação, a simples troca de lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas mais eficientes de sódio de alta pressão ou de iodetos metálicos, poderá amortizar-se imediatamente no primeiro ano;

4.1.4 Medidas de utilização racional de energia e de eficiência energética na iluminação pública

A energia eléctrica consumida na iluminação pública constitui uma despesa não desprezável, que deve incitar os responsáveis a pôr em prática acções que permitam a sua poupança.

Uma iluminação eficiente proporciona elevadas reduções na carga total da iluminação, embora estas reduções variem em função das tecnologias aplicadas. É uma questão de economia, de poupança que é vantajosa tanto para os consumidores como para os produtores de energia pois poderão satisfazer um maior número de clientes sem investir em infra-estruturas adicionais de produção.

Alguns princípios gerais permitem gerir racionalmente a utilização de energia eléctrica na iluminação pública. A aplicação destes princípios, baseados em algumas regras

simples, pode conduzir a dois tipos de situações. A economias reais de energia, que se repercutem nas facturas a pagar e, no plano nacional, em disponibilidades eléctricas suplementares utilizáveis para substituir, em outras ocasiões, os hidrocarbonetos que são importados, ou a uma ligeira redução das facturas mensais, sem verdadeiras economias de energia, mas traduzindo-se à escala do país, em economias sobre os escalões de produção mais onerosos. Qualquer que seja o resultado que se pretende atingir, o princípio fundamental consiste em conhecer e, portanto, em medir o consumo de energia eléctrica, gerindo-a como uma matéria-prima.

A melhoria da eficiência energética dos sistemas de iluminação passa pelo cumprimento das seguintes etapas:

1. Selecção de lâmpadas economizadoras;
2. Selecção de dispositivos de ligação (balastros) energeticamente eficientes;
3. Melhoria das luminárias;
4. Sistemas de controlo eficientes;
5. Introdução/melhoria dos procedimentos de manutenção;
6. Concepção do projecto de iluminação.

As economias de energia resultam de uma combinação óptima de diferentes tipos de lâmpadas e dos respectivos equipamentos de suporte específicos (luminárias e balastros) e da forma como o sistema de iluminação é diariamente utilizado, verificando-se que:

1. Os balastros electrónicos têm perdas reduzidas e a operação de substituição de balastros magnéticos por aqueles tem um potencial de economias de energia de até 25%.
2. A eficiência das lâmpadas fluorescentes é maior quando equipadas com balastros electrónicos, gerando cerca de mais 20% de luz;
3. A opção por sistemas de controlo apropriados pode permitir alcançar importantes economias de energia, com reduções entre 30% e 50% do consumo de energia.

4. A manutenção periódica garante o rendimento do sistema de iluminação, com os consequentes ganhos em termos energéticos e financeiros.

Este último ponto é um dos mais importantes aqui referidos. Todo e qualquer sistema de iluminação deve ser acompanhado de um bom programa de manutenção, adequado ao espaço e ao sistema de iluminação. Se esta gestão for feita, é possível diminuir a potência instalada, pois se o projectista aumentar o factor de depreciação, para a obtenção do mesmo nível de iluminação teremos menos aparelhos instalados e consequentemente menor consumo.

O principal factor de desperdício energético, numa dada instalação de iluminação, é mesmo a ausência de conservação. Com efeito, a partir do primeiro dia de funcionamento, toda a instalação se degrada e o seu rendimento luminoso diminui.

Assim, a acção das poeiras origina uma perda de fluxo de 15 a 20%, em média, por ano (pode mesmo atingir-se 40 a 60% em zonas muito poluídas)

Ao fim de dois anos uma instalação não conservada fornece, geralmente, um nível de iluminação inferior em 40 a 50% do original. A potência eléctrica absorvida não diminui e a energia desperdiçada representa então 40 a 50% da energia consumida. Estes números demonstram a importância de um sistema de manutenção programada.

Esta consiste em dois tipos de intervenção:

- Limpeza das lâmpadas e luminárias com substituição, se necessária, das lâmpadas defeituosas;
- A longo prazo, limpeza das luminárias, substituição sistemática de todas as lâmpadas, controlo dos órgãos de alimentação (casquilhos, arrancadores, condutores, etc.)

Um estudo dos custos permite definir o ciclo óptimo das intervenções, isto é, o espaçamento no tempo e a natureza da intervenção a efectuar cada vez que o nível de iluminação mínimo aceitável seja atingido. Depois destas intervenções de manutenção

sistemática, os níveis de iluminação são, em geral, melhorados de 30 a 90% para um consumo constante de energia eléctrica.

Assim, deve existir um plano de manutenção preventiva que defina os intervalos de manutenção para limpeza e/ou substituição das lâmpadas e dos aparelhos de iluminação em função das características do espaço. Por exemplo, o período de manutenção de uma via com muita afluência de veículos é diferente do plano de manutenção de uma zona histórica. Ambos são espaços públicos, no entanto, pelas suas características, a via requer um intervalo de limpeza mais curto.

De referir que a substituição massiva de lâmpadas é mais um dos factores para optimização da exploração, pois permite reduzir os custos de substituição, reduzir stocks e realizar melhor gestão do orçamento de manutenção, para além de reduzir eventuais perturbações com a utilização dos espaços.

4.2 O panorama actual dos sistemas de iluminação

Sob a designação de iluminação encontramos uma grande variedade de equipamentos que concorrem todos para o mesmo objectivo, que é o de proporcionar iluminação artificial adaptada a variadíssimas situações. Por isso, para cada tipo de equipamento podemos encontrar também variadíssimas opções.

As exigências de hoje ultrapassam em muito as do passado, e a tendência direcciona-se para a modernização com o objectivo último de aumentar o conforto, segurança e eficiência.

A indústria da iluminação está mais do que nunca muito activa e numa fase de enorme inovação.

Os principais vectores de desenvolvimento são: mais e melhor protecção à pessoa, com sistemas que permitam melhor equidade, conforto visual, protecção ambiental com soluções de maior rentabilidade energética, apoiadas num novo conceito de *ecodesign*,

com menor poluição na fase produtiva e que permite uma quase total reciclagem tanto dos aparelhos como das lâmpadas.

Parece ser consensual que a qualidade da iluminação artificial acompanha de perto o nível de desenvolvimento das sociedades. Por isso, o mercado da iluminação no nosso país tem estado, nas últimas décadas, em constante evolução, assistindo-se a uma melhoria sistemática das condições da iluminação pública, o que tem animado o mercado nacional deste sector.

Mais recentemente assistimos a um desenvolvimento considerável de alguns componentes dos sistemas de iluminação que permitem encarar a iluminação de uma forma diferente – balastros electrónicos, simples ou com endereçamento numérico, que permitem uma grande versatilidade na utilização das fontes de luz clássicas de maior rendimento. No que se refere às fontes de luz, estão também em desenvolvimento novas tecnologias, que parecem muito promissoras, as quais proporcionarão um rendimento energético muito superior ao que se consegue com as fontes de luz clássicas, bem como uma versatilidade ainda maior.

Neste ponto pretende-se dar uma panorâmica geral dos sistemas de iluminação actualmente instalados, bem como das novas tecnologias existentes na área, as quais poderão ter um papel fundamental na redução da factura energética a nível nacional.

4.2.1 Lâmpadas

Muito embora haja vários factores que podem condicionar a opção por determinado tipo de lâmpada, um dos mais importantes é, sem dúvida, a sua eficiência luminosa.

Esta eficiência é expressa em lumen/Watt (lm/W) e exprime a relação entre o fluxo luminoso e a potência eléctrica consumida em cada tipo de fonte de iluminação; neste contexto, uma lâmpada é tanto mais eficiente, quanto maior for o fluxo luminoso emitido, para a mesma energia eléctrica absorvida.

Hoje em dia estão estabelecidos dois grandes grupos de lâmpadas eléctricas que são: as incandescentes e as de descarga. As lâmpadas incandescentes (standard e de halogéneo)

utilizam o efeito de Joule para produzir o aquecimento dos filamentos. Praticamente já não são utilizadas em iluminação pública devido ao seu baixo rendimento.

As lâmpadas de descarga, subdivididas em baixa pressão e alta pressão, utilizam parte da emissão de ondas electromagnéticas, produzidas pelo estabelecimento de um arco eléctrico, para produção de luz.

No grupo de lâmpadas designado de baixa pressão, estão as chamadas lâmpadas fluorescentes que têm a sua maior aplicação no comércio, indústria e residências. Na iluminação pública, ainda poderão ser encontradas em túneis.

A tecnologia mais utilizada na IP é a de lâmpadas de descarga de alta pressão e pertencem a este grupo as lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio (baixa pressão e alta pressão) e iodetos metálicos.

As lâmpadas de vapor de mercúrio são, ainda, fontes luminosas frequentemente instaladas na iluminação pública. Apresentam um rendimento muito superior ao da lâmpada incandescente (50lm/W), embora com prejuízo na reprodução de cores.

As lâmpadas de sódio de baixa pressão têm um rendimento luminoso extremamente elevado (cerca de 180lm/W) mas têm uma emissão monocromática.

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão têm um rendimento luminoso inferior ao das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão (cerca de 100lm/W) mas, com um índice de reprodução de cores (IRC) maior que as de baixa pressão (IRC de cerca de 20).

As lâmpadas de vapor de sódio brancas possuem rendimento luminoso inferior ao das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (50 a 60lm/W) e índice de reprodução de cores maior que as de alta pressão (IRC de cerca de 80).

As lâmpadas de iodetos metálicos têm tecnologia semelhante às de vapor de mercúrio. Nestas lâmpadas são utilizados uma selecção de metais e gases em quantidades que proporcionam um elevado índice de reprodução de cores. Têm baixa durabilidade mas,

recentemente, a substituição de tubos de quartzo por tubos cerâmicos similares aos das lâmpadas de sódio, está a aumentar a vida destas lâmpadas.

Outra família de lâmpadas disponível são as lâmpadas de indução, que têm um rendimento luminoso próximo do da lâmpada de vapor de sódio de alta pressão (65 a 80lm/W), um bom índice de reprodução de cores (IRC igual a 80) e uma vida média de 60.000 h. Não possui filamentos ou eléctrodos, tendo como princípio de operação a ionização dos gases por indução electromagnética. Necessita de um equipamento auxiliar destinado a produzir a indução, operando em frequências que se situam entre 250kHz e 3MHz.

No quadro 4.1 apresentam-se os valores da eficiência luminosa (lm/W), bem como a gama de potências e o tempo médio de vida, para os tipos mais comuns de lâmpadas:

Tipo de Lâmpada	Potência W	Eficiência luminosa Lumen/Watt	Tempo médio de vida (horas)
Incandescentes:			
- Standard	40 a 1 000	10 a 20	1 000
- Halogéneo	150 a 2 000	21 a 25	2 000
Fluorescentes Tubulares	6 a 65	50 a 95	7 000
Fluorescentes Compactas:			
- Integrais	9 a 25	36 a 50	8 000
- Modulares	5 a 16	60 a 80	
Mercúrio de Alta Pressão	50 a 1000	40 a 60	8 000
Iodetos Metálicos	400 a 2 000	80 a 90	4 000 a 6 000
Vapor de Sódio:			
- Baixa pressão	18 a 180	100 a 200	6 000
- Alta Pressão	50 a 1 000	70 a 125	6 000

Quadro 4.1 – Tipos de lâmpadas, potência, eficiência luminosa e tempo médio de vida.

4.2.2 Luminárias

Considera-se luminária todo o aparelho capaz de direccionar, filtrar e controlar a luz emitida por uma ou mais lâmpadas e que contenha todos os equipamentos e acessórios necessários para as fixar, proteger e alimentar. A eficiência de uma luminária é dada

pela relação entre o fluxo luminoso transmitido pela luminária ao ambiente e o fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas nela contidas.

$$\eta = \text{fluxo luminoso emitido} / \text{fluxo luminoso instalado}$$

Devido à grande diversidade de modelos, finalidades e modos de instalação, a classificação das luminárias, relativamente ao sentido do fluxo luminoso, pode ser feita baseando-se na percentagem do fluxo luminoso dirigido para cima ou para baixo, em relação a um plano horizontal de referência onde está situada a luminária, de acordo com o indicado no quadro 4.2.

Tipo de iluminação	Fluxo luminoso em relação à horizontal (%)	
	Para cima	Para baixo
Directa	0-10	90-100
Semi-Directa	10-40	60-90
Directa-Indirecta	40-60	40-60
Semi-Indirecta	60-90	10-40
Indirecta	90-100	0-10

Quadro 4.2 – Classificação das armaduras segundo o sentido do fluxo emitido.

Do ponto de vista da eficiência energética as luminárias são um factor muito importante, pois, independentemente de usarmos ou não uma lâmpada eficiente, se o rendimento da luminária for baixo vamos necessitar de muitas mais luminárias para obter o mesmo nível de iluminação. Assim, a escolha da luminária em função da aplicação é também um factor muito importante do ponto de vista da eficiência energética.

4.2.2.1 Luminárias e poluição luminosa

Além de desperdícios energéticos, ocasionados pelo uso de luminárias obsoletas, um factor muito importante é a chamada poluição luminosa.

A proliferação anárquica de reclames publicitários, esbanjamento de energia e prejuízos de todas as espécies, provocados por uma iluminação pública mal concebida, mal utilizada ou excessiva pode revelar-se prejudicial.

São os astrónomos quem, em primeiro lugar chamaram a atenção para o problema. Mas o grande público começa, também ele, a fazer ouvir a sua voz.

Na América do Norte e na Europa, foram constituídas comissões para reclamar a tomada em conta desta problemática. Os astrónomos estão naturalmente à cabeça das reivindicações. Em certos países, obtiveram dos poderes públicos uma legislação regulamentando o uso da iluminação na proximidade dos seus observatórios. A República Checa, a Austrália, os Estados Unidos, o Chile e a Itália, desenvolvem igualmente um arsenal jurídico contra a «poluição luminosa». O Reino Unido poderá muito em breve acompanhá-los. Convém no entanto agir com a maior prudência, a fim de evitar que textos de lei demasiado simplificados levem a afastar os equipamentos mais indicados em termos de consumos energéticos.

4.2.2.2 Poluição luminosa ou luz incómoda

A palavra poluição significa a «degradação de um meio, resultante de uma má gestão do ambiente ou da introdução neste ambiente de agentes poluentes (detritos químicos, biológicos, urbanos ou domésticos)». A luz pode dificilmente ser considerada como um «agente poluente», são os seus excessos e a sua má utilização que a tornam nociva. Sendo preferível portanto empregar o termo «luz incómoda», para definir uma luz que «atrai a atenção, ocasiona um desconforto e da qual não podemos abstrair-nos mesmo que o desejemos».

Esta problemática terá no entanto de ser abordada de uma forma global, tendo em conta todas as suas componentes, e em particular o território circundante. É evidente que não se resolverá o problema da mesma forma se a instalação de iluminação incriminada está situada em pleno centro urbano, na periferia ou numa zona rural. É necessário respeitar uma hierarquia entre os locais expostos. Em certas zonas sensíveis, tais como um aeroporto, por exemplo, a iluminação constitui um factor primordial de segurança.

A “luz incómoda” pode ser subdividida em vários tipos de incómodos para os quais é preciso encontrar soluções específicas. Assim, a poluição do céu nocturno pode ser provocada pelo fenómeno do halo luminoso. Este é causado pela luz emitida para cima, a qual ilumina o céu ao ser reflectida por partículas em suspensão no ar (poeiras, partículas de água, etc.). O halo luminoso representa a combinação de duas perturbações: a luz emitida directamente pela luminária na direcção do céu – luz ascendente directa – e a luz reflectida pela superfície a iluminar – luz ascendente reflectida. O fenómeno do halo luminoso diminui o contraste entre as estrelas e o fundo negro do céu o que torna difíceis, ou até impossíveis, as observações astronómicas. Por outras palavras, este fenómeno não é muito apreciado pelos astrónomos. Certos estudos tendem mesmo a demonstrar que influencia o ciclo natural dos animais ou das plantas.

Outro tipo de distúrbio – a luz encandeante provocada por um contraste demasiado importante entre a fonte luminosa e as imediações. Este distúrbio encontra-se geralmente quando a luz é dirigida directamente e de forma muito intensa, para os olhos. Ao atingir directamente os olhos, a luz limita a sua capacidade de se adaptarem à obscuridade, provocando assim zonas de sombra perigosas.

Finalmente, o último tipo de distúrbio – a luz invasora, provocada por um excesso de luz propagada por certas instalações de iluminação em direcção de zonas onde a iluminação não é desejada. Ela manifesta-se por diferentes formas, como por exemplo, a invasão de luz exterior dirigida para as janelas das habitações perturbando o descanso ou as actividades dos seus ocupantes.

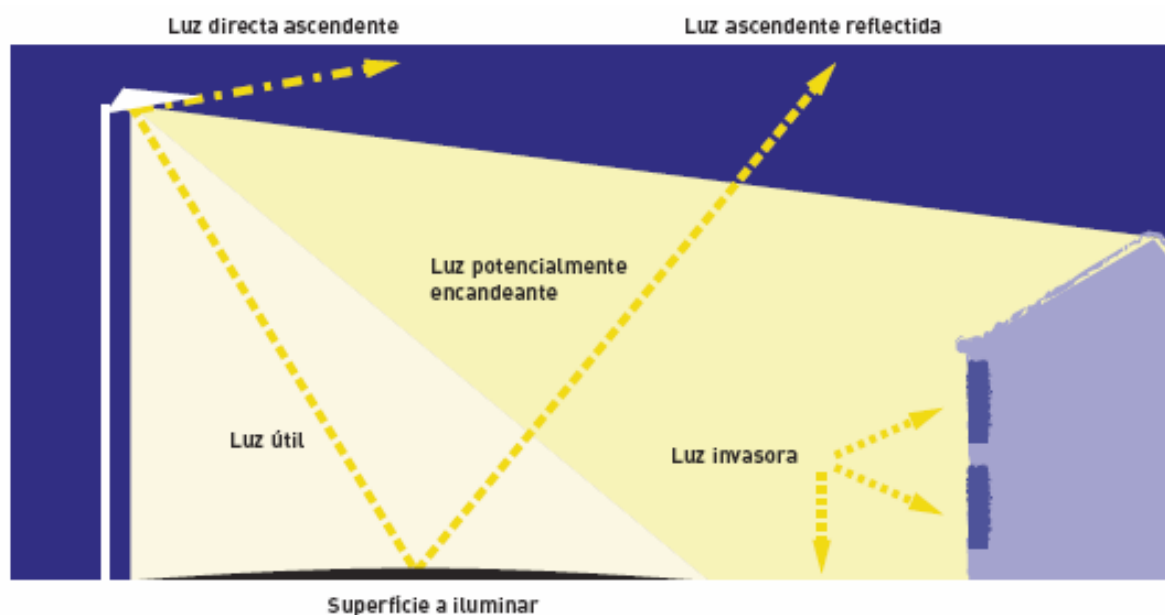


Figura 4.1 – Diferentes direcções da luz emitida por uma luminária [B3]

A solução para esta problemática está no desenvolvimento e uso de ópticas eficazes. Uma boa luminária é aquela que permite explorar de uma forma óptima o fluxo luminoso emitido pela lâmpada, de maneira a visar com uma grande precisão o local a iluminar. Convém, portanto, utilizar luminárias concebidas para uma “iluminação correcta”.

Mas, o uso de luminárias eficientes do ponto de vista fotométrico ou “adequadas”, não permite unicamente combater a “luz incómoda”, permite também reduzir o número de pontos luminosos e a potência das lâmpadas, resultando em economias de energia não negligenciáveis que é uma preocupação principal no desenrolar do desenvolvimento sustentável.



Figura 4.2 - Imagem da Terra à noite, composta pela NASA a partir de várias fotografias de satélite [B9]

Vistos do céu, os fenómenos susceptíveis de provocar “luz incómoda”, estão evidentemente concentrados nas zonas geográficas de mais altos níveis económicos e industriais.

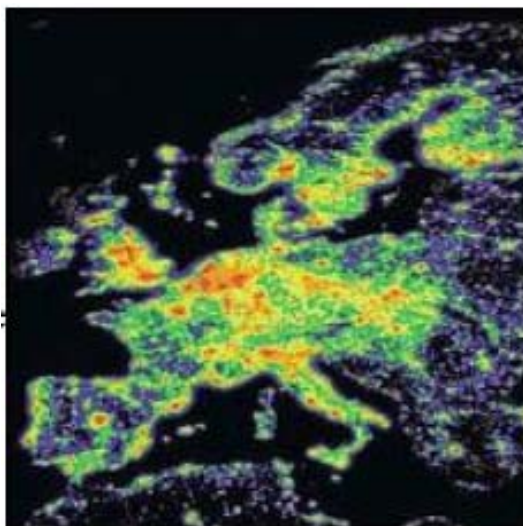


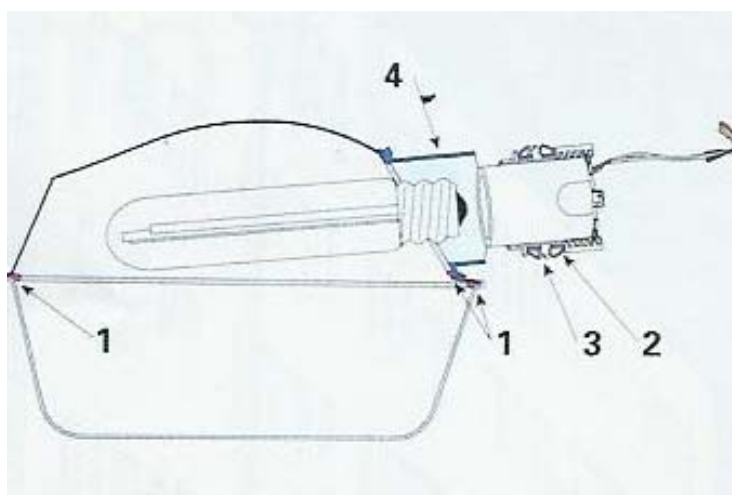
Figura 4.3 – Níveis de poluição luminosa atmosférica na Europa [B9]

O mapa nocturno, artificialmente colorido, mostra os níveis de poluição luminosa atmosférica na Europa. Em Portugal, apenas no interior do Alentejo se encontram zonas não poluídas (a negro), sendo a maioria do litoral poluído (amarelo e laranja) ou altamente poluído (vermelho).

4.2.2.3 Blocos ópticos

Um bloco óptico é constituído por dois componentes principais, o Reflector e o Difusor, e o seu rendimento é directamente relacionado com a qualidade intrínseca dos dois componentes, mais do que das matérias-primas constituintes.

A estanquicidade deste bloco e a garantia da mesma ao longo do tempo é essencial.



- 1- Junta de silicone colocada entre o reflector e o difusor.
- 2- Junta moldada em silicone que garante a estanquicidade do bloco óptico.
- 3- Estanquicidade perfeita na montagem do porta suporte lâmpada/obturador.
- 4- Indicação através de marcações gravadas da posição de fecho da porta suporte da lâmpada/obturador.

Figura 4.4 – Constituição de uma luminária [B23]

Reflector

No que diz respeito ao índice de reflexão é óbvio que quanto mais clara for a cor de um corpo, melhor este corpo consegue reflectir. Desta forma um reflector “lacado” a branco terá uma reflexão superior a qualquer outro tipo de material (ex: alumínio), no entanto o “lacado” tem o contra do envelhecimento, ou seja, com o tempo e com o pó a cor deixa de ser branca (amarelecimento), enquanto que o mesmo tipo de difusor em alumínio,

independentemente do ambiente ao qual está sujeito, consegue manter as suas características iniciais durante mais tempo, sendo, por isso, do ponto de vista do longo prazo, a opção por um reflector em alumínio é mais acertada.

No que respeita à rugosidade, existem vários tipos de qualidades de alumínio – alumínio com uma pureza de 99,8%, até ao alumínio com 99,99% de pureza – este último é o que apresenta a superfície mais plana, conseguindo assim reflectir com maior intensidade, pois o fluxo não se dispersa.

O alumínio mate, embora mantenha o mesmo índice de reflexão, apresenta uma reflexão mais difusa (uma vez que a sua superfície é mais rugosa).

Assim, o desempenho inicial do bloco óptico é obtido por:

- sistemas ópticos sofisticados (reflectores e refractores) que controlam a totalidade do fluxo emitido pela fonte;
- materiais com elevado coeficiente de reflexão (alumínio de grande pureza, polido e anodizado ou plástico metalizado a vácuo com alumínio puro).

O reflector deve distribuir o máximo feixe de luz no local a iluminar, assegurando o máximo do nível de luminância com as melhores uniformidades.

Difusor

Os difusores permitem direccionar a luz, pelo que a sua aplicação vai permitir eliminar todos os raios luminosos cujas direcções são indesejáveis.

A qualidade e a forma do difusor vão afectar directamente o rendimento global da armadura, pelo que, aspectos como a forma, índice de reflexão e a uniformidade da superfície (rugosidade) do difusor são importantes.

Existe uma grande variedade de tipos de difusores, considerando os seus materiais e formas.

Os diferentes tipos de materiais, utilizados nos difusores das luminárias, são essencialmente o policarbonato e o vidro.

O policarbonato deve ser utilizado apenas em situações de necessidade de elevada resistência mecânica. De facto, a vantagem do policarbonato é a sua elevada resistência mecânica aos impactos. Sendo assim, nos casos onde as instalações de iluminação possam ser alvo de vandalismo, é preferível que as luminárias sejam equipadas com difusores de policarbonato. Isto aplica-se sobretudo a luminárias decorativas e a equipamento de iluminação como as esferas instaladas a uma altura até 4m.

Outra característica positiva do policarbonato é a sua elevada resistência à temperatura. A grande desvantagem deste tipo de difusor reside no facto de o policarbonato, ao longo do tempo, quando exposto ao sol, se tornar amarelado, alterando assim a transmissão de luz e consequentemente o rendimento da luminária.

O factor de transmissão de luz do policarbonato é aproximadamente 0,85, reduzindo assim, na mesma proporção, a eficiência luminosa.

Os difusores de vidro apresentam, pelo menos, duas grandes vantagens, a estabilidade das características do material e uma excelente resistência a temperaturas altas.

Mais ainda, o factor de transmissão de luz do vidro é de cerca de 0,9, a sua resistência mecânica pode ser bastante elevada (dependendo do tipo de vidro) e é fácil de limpar (não tem efeito electrostático).

A forma do difusor

Na forma dos difusores há especialmente dois aspectos a considerar:

- Impacto na aparência estética do conjunto da luminária, aspecto não contemplado neste trabalho, pois é bastante subjectivo;
- Características da distribuição luminosa da luminária.

Basicamente, no que se refere à distribuição luminosa temos:

Difusores em forma curva profunda, que podemos encontrar tanto em policarbonato (plástico) como em vidro moldado. No caso do plástico, a importância da profundidade está relacionada com a necessidade de manter a temperatura abaixo do limite aceitável.

Do ponto de vista fotométrico, este tipo de difusor permite distribuições luminosas muito extensivas, possibilitando uma posição baixa da lâmpada no reflector. No entanto, verifica-se que com este tipo de difusor, ocorre alguma reflexão dentro do difusor, o que leva a que uma pequena proporção do fluxo luminoso seja dirigido para cima (acima do plano horizontal), causando assim alguma poluição luminosa.

Difusores em vidro liso, com os quais se evita qualquer emissão de luz acima do plano horizontal.

Desta maneira consegue-se resolver o problema da poluição luminosa, mas com uma visível diminuição da eficiência luminosa geral da luminária. Isto deve-se ao facto de uma parte do fluxo emitido pela lâmpada, e que chega ao difusor de vidro plano sob um ângulo de incidência muito pequeno, ser novamente reflectido para dentro do reflector.

Um segundo problema, ainda mais importante, é a limitação da extensividade da distribuição luminosa. O difusor em vidro plano reduz a intensidade luminosa, na zona acima de 70°, medidos a partir da linha vertical que passa pelo centro da armadura, e a consequência será uma diminuição das uniformidades longitudinais de luminância no terreno, obrigando a uma redução de espaçamento entre luminárias.

De referir que, com vista a estudar a problemática da “poluição luminosa”, Jean-François Laporte e Marc Gilte do Grupo Schröder [B3], efectuaram um estudo sobre os desempenhos fotométricos de luminárias.

O estudo [B3], baseado em 175 levantamentos fotométricos, combinou os seguintes parâmetros: natureza e potência de fontes luminosas, distribuições fotométricas das luminárias, forma dos difusores das armaduras, configuração da via, revestimento do solo. O método usado consistiu em analisar o fluxo luminoso ascendente, proveniente de maneira directa da luminária e de maneira indirecta da reflexão pelas vias iluminadas e seus acessos.

No total, foram efectuados mais de 86 000 cálculos fotométricos. As variações de fluxo luminoso ascendente em função do revestimento do solo foram especialmente postas em evidência. Para reduzir a dispersão do fluxo luminoso para o céu o estudo recomenda a optimização dos desempenhos fotométricos das luminárias e da sua implantação. É também realçado que as luminárias equipadas com um difusor plano não são sistematicamente as mais adequadas em matéria de poluição luminosa. As equipadas com um difusor ligeiramente convexo são, em certos casos, melhores. Por consequência, nada de integralismo do difusor plano.

Na verdade, voltamos sempre à grande questão da optimização das ópticas. É por este ponto que se poderá lutar com sucesso contra o fenómeno dos distúrbios luminosos

Um dos principais parâmetros tidos em conta pelo estudo, foi a forma do difusor: plano, ligeiramente convexo ou profundo. Para cada um destes modelos, a quantidade de luz emitida para cima foi calculada fazendo variar o tipo e a potência da fonte luminosa, assim como a natureza do revestimento do pavimento e acessos.



Difusor profundo



Difusor ligeiramente convexo



Difusor plano



Figura 4.5 – Formas de difusores [B3]

Como conclusão do estudo os autores constataram que, com o difusor profundo, o fluxo de luz ascendente directo para o céu, é importante. Mas, graças ao grande intervalo entre os postes – tornado possível por uma melhor exploração dos lúmens emitidos por cada lâmpada – o número de luminárias e o fluxo de luz reflectido, são menores.

Com o difusor ligeiramente convexo, o fluxo de luz ascendente directo para o céu, é menor. Mas, sendo o intervalo entre luminárias mais pequeno, o fluxo de luz reflectida cresce.

Com o difusor plano, colocado horizontalmente, o fluxo de luz ascendente directa é nulo, mas sendo o intervalo entre luminárias mais pequeno, o fluxo reflectido é mais importante e a potência total da instalação é bastante mais elevada.

Como conclusão pudemos verificar que, uma luminária com um difusor plano colocado horizontalmente não é portanto de forma sistemática, a solução óptima para limitar o fluxo luminoso total ascendente.

O estudo põe em evidência que não se pode recomendar sempre o mesmo tipo de luminária, e que a melhor solução exigirá um estudo apropriado tendo em conta todos os parâmetros do ambiente.

Em todos os casos deverá ser encontrado um compromisso entre a potência total instalada e o fluxo de luz emitido para cima. Isso dependerá de um grande número de factores e necessitará de um estudo específico aprofundado.

O gráfico da figura 4.6 mostra que o fluxo luminoso ascendente total (directo e reflectido) é directamente proporcional ao número médio de lúmens necessário para obter a luminância desejada sobre o solo. Quer isto dizer que, se se pretende diminuir o número de lúmens instalados mantendo no entanto o mesmo nível de luminância, o fluxo luminoso ascendente total diminuirá proporcionalmente, seja qual for o tipo de difusor.

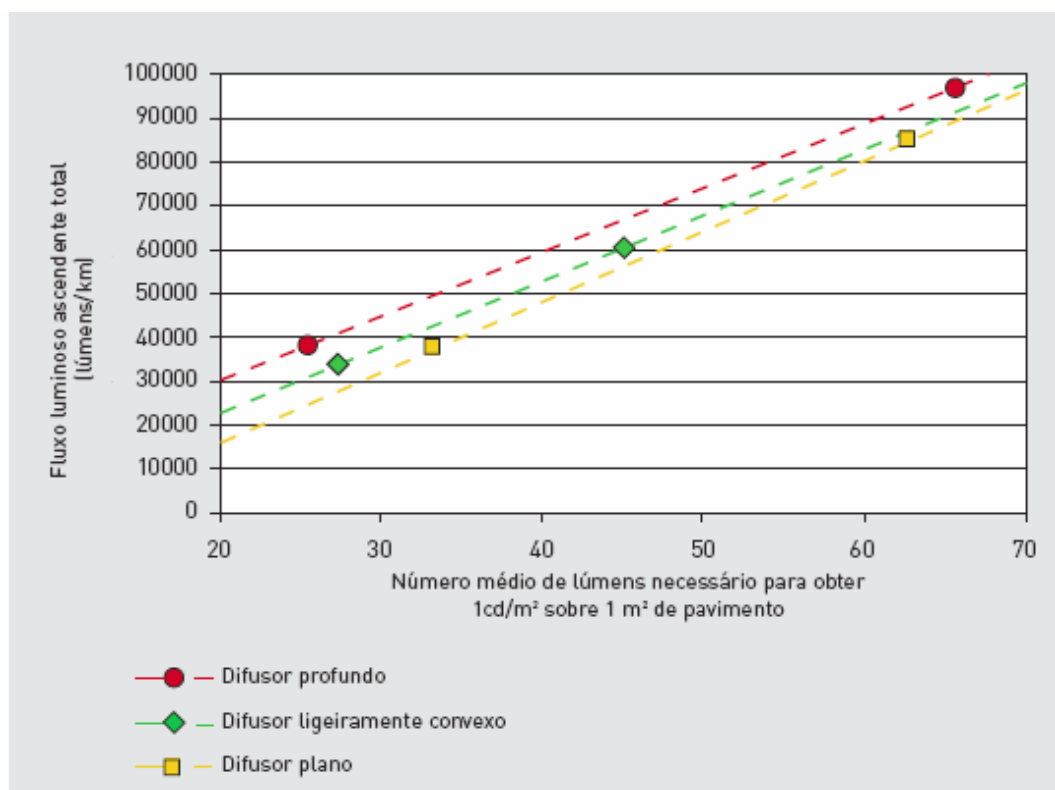


Figura 4.6 – Variação do fluxo ascendente de uma luminária com o número médio de lúmens necessário para obter a luminância desejada sobre o solo para as várias formas de difusores [B3]

Em resumo, é portanto a eficácia fotométrica da instalação que levará a uma diminuição da luz incómoda.

4.2.2.4 Graus de protecção

Às características fotométricas de uma luminária de iluminação pública deve estar sempre associada uma elevada estanquicidade da luminária, de forma a assegurar ao longo do tempo, a constância dessas características. Graças a essa estanquicidade, pode-se adoptar um factor de manutenção alto.

O sistema óptico de uma luminária deve oferecer um desempenho fotométrico máximo no início da sua vida útil e assegurar a sua continuação.

Em conclusão, as luminárias devem ser construídas de forma a suportar determinadas condições de trabalho, em termos de penetração de corpos estranhos, vedação a insectos, poeiras, água e resistência a determinados impactos e danos mecânicos. Estas características são definidas pelo seu grau de protecção IP (penetração de corpos estranhos) e IK (resistência ao impacto).

4.2.2.5 Sistema actual de luminárias

Duas regras básicas qualificam os bons sistemas de iluminação pública:

- Iluminar demais não é sinónimo de iluminar bem;
- O bom sistema de iluminação é aquele onde não se vê a fonte luminosa, mas apenas o objecto iluminado.

Irrefutavelmente, a grande maioria dos dispositivos para iluminação instalados em todo o mundo burla impiedosamente pelo menos um dos princípios acima referidos. Por consequência, o nosso planeta está a transformar-se num verdadeiro mar de luzes.

Os sistemas de iluminação pública actuais fazem uso, basicamente, de quatro tipos de luminárias:

- A luminária aberta que abriga lâmpadas de vapor de mercúrio de 80 e 125 W, de vapor de sódio de 50 e 70 W, e incandescentes de 100 a 200 W. Este tipo de luminária aberta possui dimensões insuficientes para abrigar adequadamente a lâmpada. Normalmente a lâmpada ultrapassa os limites da luminária, ficando parcialmente exposta. Desta forma, emite luz acima da horizontal, e pode ser vista a grandes distâncias.
- A luminária fechada, que possui refractor prismático (globo) de vidro boro-silicato, e alberga lâmpadas de vapor de mercúrio e de vapor de sódio de 250 a 400 W. O grande inconveniente da luminária fechada é o globo, que age como uma fonte secundária de luz. É enorme o desperdício de energia nos dispositivos

que usam este tipo de refractor, pois os raios de luz são lançados em quase todas as direcções. Além disso, as características intrínsecas do vidro boro-silicato concorrem para que boa parte da luz que o atravessa seja absorvida.

- A luminária fechada tipo pétala, com lente plana de vidro temperado, é usada em menor escala, principalmente por ser de custo mais elevado. Abriga lâmpadas de vapor de mercúrio ou de vapor de sódio com potências a partir de 250 W. A luminária pode conter de uma a duas lâmpadas. Encontra-se normalmente instalada em centros urbanos de maior porte.
- A luminária esférica ornamental, amplamente utilizada em praças e jardins, é algo absolutamente inadmissível nos dias actuais. Além de perdulária em potencial, cumpre muito mal o papel de iluminar, porque irradia em todas as direcções, incluindo a zenital.

O modelo ideal de luminária é aquele onde o cone de luz é descendente e nenhum raio luminoso incide acima do plano horizontal que contém a borda da luminária. Apenas a luminária tipo pétala, com lente plana, se aproxima deste modelo ideal.

4.2.2.6 Luminárias actuais energeticamente eficientes

Projectar um sistema de iluminação pública eficiente significa satisfazer diversos critérios qualitativos, para atender às necessidades visuais de seus usuários, utilizando de forma adequada as tecnologias disponíveis no mercado.

A análise dos dispositivos para iluminação, instalados em todo o mundo, permite estudar a possibilidade de redução enorme do consumo de energia eléctrica, através da utilização de tecnologias energeticamente eficientes aplicadas nos sistemas de iluminação.

A eficiência energética do sistema de iluminação pública apresenta resultados imediatos, por obter economia assim que os equipamentos existentes sejam substituídos por outros mais eficientes.

Com as novas gerações de luminárias, já disponíveis no mercado, é possível tornar os sistemas de iluminação pública cada vez mais eficientes e aplicados racionalmente. Existe, actualmente, uma gama de produtos versáteis que dispõem de tecnologia e *design* que acentuam de forme atractiva o meio envolvente e proporcionam a iluminação do futuro, em ligação com as normas em vigor, facilidade de manutenção e duração.

Com o uso de luminárias eficientes consegue-se também diminuir em muito a dispersão de fluxo luminoso, minimizando ao máximo a poluição luminosa.

As últimas gerações de luminárias apresentam-se eficazes para praticamente todo o tipo de situações ou zonas a iluminar.

Neste ponto pretende-se dar a conhecer o imenso potencial, económico e ambiental, dos novos sistemas de iluminação energeticamente eficientes – existentes no mercado –, enfatizando as indiscutíveis vantagens no que diz respeito a economia de energia e redução da emissão de CO₂ que se podem conseguir com as novas tecnologias de iluminação, de forma a fomentar e acelerar a implementação destas tecnologias.

As novas gerações de luminárias, inovadoras em tecnologia, encontram-se equipadas com uma peça de fixação reversível, que, para além de permitir a fixação lateral ou vertical, permite igualmente a regulação da inclinação da luminária no local, apresentando, além disso, um sistema que disponibiliza vários posicionamentos da lâmpada para permitir ajustes fotométricos de maior precisão. Ademais, possuem um sistema de regulação angular (de -20%, lateralmente até +15° verticalmente, em passos de 5°) que possibilita otimizar os desempenhos fotométricos em função das especificidades do local (largura do pavimento, altura dos postes e distância entre ele), permitindo assim otimizar as suas funcionalidades.

As novas luminárias para iluminação pública destacam-se pelo corpo muito robusto em alumínio extrudido. Este tipo de material garante uma duração praticamente ilimitada, mesmo em condições atmosféricas adversas, tais como temperaturas elevadas ou baixas, granizo e neve.

Outra vantagem importante nestas novas luminárias é que, existem modelos recentes onde o bloco óptico é facetado em forma radial de material cerâmico *compound* com alumínio vaporizado de alto teor de pureza e revestido a plasma artificial, proporcionando uma intensidade luminosa uniforme, mesmo quando existe um espaçamento entre os pontos de luz maior que o habitual.

Existem também luminárias, de difusor em vidro, em que o vidro beneficia de um tratamento auto-limpável reduzindo a sujidade exterior.

O tratamento auto-limpável torna hidrófila a superfície do vidro, o que significa que a chuva se espalha sob a forma de uma película de água em vez de gotas de água, eliminando assim os resíduos que foram decompostos pelos raios UV da luz do dia. O vidro auto-limpável associado a um índice de protecção IP 66 permite obter um factor de manutenção próximo de 1.



Figura 4.7 – Luminária com vidro auto-limpável [B32]

Outra gama de luminárias, ideais para zonas residenciais, mostra-se na figura 4.8. São um tipo de luminárias que podem ser equipadas com grelhas limitadoras dos fenómenos de luz invasora, dirigida para as habitações, respeitando deste modo os moradores. A sua integração dentro da óptica evita qualquer encandeamento.



Figura 4.8 – Luminárias equipadas com grelhas limitadoras dos fenómenos de luz invasora [B32]

Também em zonas históricas, ou em zonas onde se pretenda utilizar luminárias esteticamente integradas nas particularidades do centro histórico, com os avanços tecnológicos nesta área, é hoje possível integrar uma óptica de rendimento elevado dentro de uma lanterna de tipo antigo.



Figura 4.9 – Lanterna de tipo antigo equipada com óptica de rendimento elevado [B32]

A óptica dirige a luz com precisão para o local a iluminar: estrada, alameda, parque de estacionamento, etc. O bloco óptico forma um conjunto estanque, acessível por uma tampa. Este tipo de luminárias apresenta uma estanquicidade IP66 durante toda a sua vida de serviço.

O sistema adoptado na sua construção impede a acumulação de poeiras no interior do difusor, difundindo a luz em todas as direcções. O difusor mantém-se limpo e não permite portanto a dispersão do fluxo luminoso, vantagem que permite igualmente limitar a potência das lâmpadas, uma vez que a diminuição luminosa é minimizada. Uma outra vantagem deve-se ao facto deste sistema reduzir a necessidade de se efectuarem operações de manutenção para limpeza, o que, dado que os centros históricos são caracterizados por ruas estreitas de difícil acesso seria uma dificuldade ou inconveniência.



Figura 4.10 – Lanterna de tipo antigo

Também as luminárias em forma de esfera, que constituem um grande clássico da iluminação decorativa na nossa paisagem urbana, desprovidas do mínimo sistema óptico, difundindo a luz em todas as direcções, encontram, na última geração de luminárias, sistemas inspiradas nesta forma básica equipados com uma óptica de qualidade mais respeitadora do ambiente.

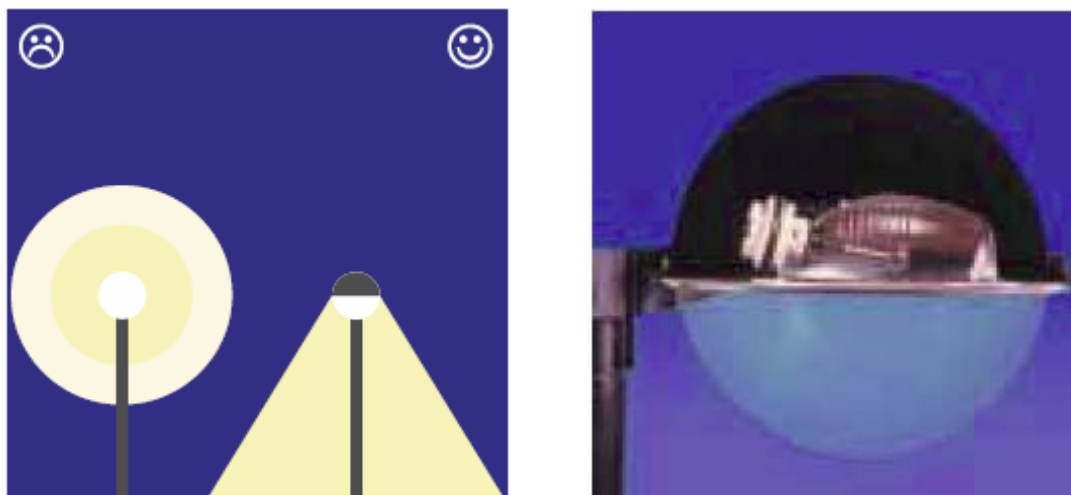


Figura 4.11 – Luminária em forma de esfera equipada com óptica de qualidade respeitadora do ambiente [B32]

Nos últimos tempos surgiram tecnologias que estão a revolucionar os sistemas de iluminação pública do mundo – Luminárias alimentadas por energias renováveis.

Estes sistemas possuem fontes alternativas alimentadas pela conversão da luz solar em electricidade, através de painéis fotovoltaicos ou pela conversão das massas de vento em electricidade, através de um cata-vento acoplado a um gerador.

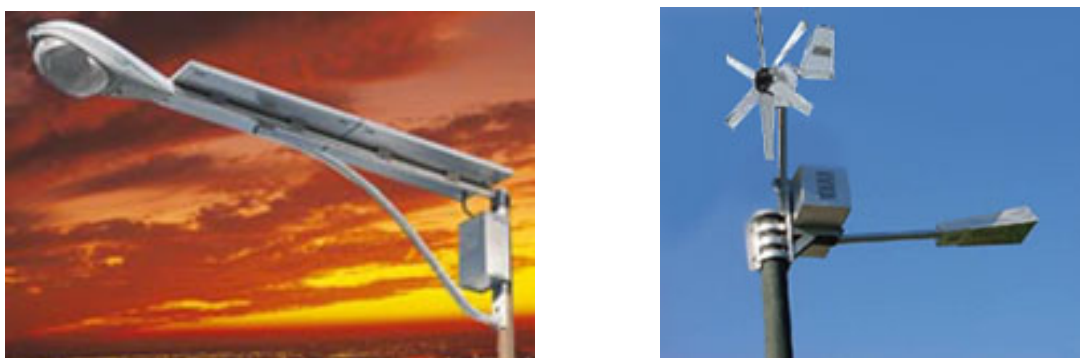


Figura 4.12 – Luminárias alimentadas por fontes de energias renováveis

Encontram-se acoplados a estas fontes, um banco de baterias, relés fotoeléctricos, balastros electrónicos e lâmpadas de corrente contínua. Podem ser acoplados inversores de corrente para utilização de lâmpadas de corrente alternada, porém o sistema de corrente contínua tem maior vida útil e eficácia visual.

O funcionamento dos sistemas é bastante simples – o banco de baterias carrega-se durante o dia bastando um mínimo de claridade ou deslocamento de ar, sendo accionados, quando a iluminação natural atingir um mínimo predefinido, através do relé fotoeléctrico. Este acciona os equipamentos auxiliares eléctricos que fornecerão energia suficiente para o acendimento das lâmpadas.

Cabe ressaltar que deslocamentos de ar existem tanto de dia quanto à noite, enquanto a luz solar está presente, em média, 10 horas por dia. Logo o banco de baterias para um sistema solar deve ser maior (normalmente projectado para 3 dias de funcionamento) do que para um sistema eólico (depende das condições geoclimáticas).

Algumas vantagens deste sistema:

- Não é necessária ligação à rede pública.
- Opção ideal para locais remotos.

Estes sistemas encontram-se também disponíveis aliados à tecnologia de LED's. Assim, adicionalmente à flexibilidade de se utilizar a alimentação conforme a fonte disponível, temos a economia e durabilidade proporcionado pelos novos emissores de luz em estado sólido.



Figura 4.13 – Luminária equipadas com emissores de luz em estado sólido

Associados a estes sistemas encontram-se um fotossensor ou timer, conversor/estabilizador de tensão e comutador automático de tensão 110V ou 220V AC, 50/60 Hz.

Dependendo da versão utilizada, a tensão de entrada passa a ser utilizada em 12 ou 24 Volts DC, conforme a fonte disponível, tal como um conversor ou bateria e, neste caso, adicionada a sistemas solar ou eólico.

Internamente o chassi contém módulos onde grupos de leds de altíssima luminosidade têm o seu funcionamento independente. Com isso, a falha de um módulo não afecta o funcionamento dos outros, reduzindo a possibilidade de “black out” e ainda, permitindo uma rápida manutenção, sem prejudicar o funcionamento do restante conjunto.

Uma grande vantagem é que estes sistemas podem ser adaptados em luminárias novas ou já existentes. Permitem fornecer uma iluminação intensa até 4 metros de altura, têm um consumo máximo de 18 Watts e fluxo luminoso acima de 800 lúmens.

Em razão do seu baixo consumo, torna totalmente viável a utilização com sistemas solares e eólicos.

Vantagens da luminária com LED's:

- Consumo reduzido: Maior rendimento em lúmen por watt consumido.
- Manutenção: Vida útil projectada para 50.000 horas de uso.
- Segurança: Na falha de um módulo, os outros permanecem em funcionamento minimizando as possibilidades de “black out”.
- Versatilidade: Pode ser utilizada com sistema solar ou outro sistema que utilize bateria .
- Opções na composição da matriz de cores – amarelo, vermelho, verde, branco ou azul.

Este sistema misto, luminárias alimentadas a energia solar associadas à tecnologia de LED's, foi recentemente instalado em Cabo Verde. O projecto, fruto de uma parceria entre a empresa cabo-verdiana ElectroAris e a portuguesa EuroSolution, propôs-se reduzir em larga escala a dependência do país em relação ao combustível fóssil, assim como fazer baixar os elevados custos da electricidade em Cabo Verde. Estas inovações tecnológicas fazem de Cabo Verde o pioneiro, a nível mundial, na comercialização de luminárias a LED.



Figura 4.14 – Luminárias alimentadas a energia solar, instaladas em Cabo Verde [A3]

Esta tecnologia, da iluminação pública a energia solar, poderá vir a resolver grande parte dos problemas que o país enfrenta para ter electricidade mesmo nas localidades mais isoladas e de difícil acesso.

Para já, segundo Aristides Sousa Dias, sócio-gerente da ElectroAris, com estes postes solares ficam logo afastados os constrangimentos com o transporte de cabos, escavação do solo, etc., já que os mesmos são completamente autónomos. “Bastam quatro parafusos para pregar o poste ao chão e pronto, já está. Tem-se iluminação de igual ou superior intensidade ao sistema convencional, mas com reduzidíssimos custos”, acrescenta o engenheiro José Ramalho, da EuroSolutions, para quem este sistema de postes solares tem ainda a vantagem de poder armazenar energia mesmo nos dias nublados. “Com estes equipamentos não há ‘apagões’ e a avaria num poste não afecta o outro”, prossegue [A3].

Para Ramalho, a “excelência deste produto” tem sobretudo a ver com o facto de não utilizar lâmpadas de luzes amarelas (normais), mas sim LED. Este sistema de iluminação, de baixo consumo, reduz em 30 vezes os gastos em energia quando comparado à lâmpada convencional, além de não emitir gases poluentes, nem produzir material para reciclar (lâmpadas, balastros, etc.), além do facto de não haver o risco de a lâmpada se fundir (dura no mínimo 30 anos).

“Com pouco sol dá para garantir a iluminação, já que o LED precisa de poucos watts”.

Estas soluções tecnológicas são sistemas autónomos que não precisam de manutenção, nem de grandes investimentos para funcionar.

4.2.3 Balastros

Para além das lâmpadas, os balastros são outro componente que influencia o consumo energético de alguns sistemas de iluminação; estes dispositivos são necessários para o funcionamento de todos os tipos de lâmpadas de descarga (desde as fluorescentes até às de iodetos), de modo a limitarem a corrente de descarga a um valor específico, sendo responsáveis por uma parte importante (15% a 20%) do consumo eléctrico do sistema, devido às perdas que lhes estão associadas.

Existem várias classes de balastros sendo a sua diferenciação feita em função das potências de perdas (dependendo da construção dos mesmos).

Para além da estabilização da descarga, o balastro desempenha as seguintes funções:

- auxílio à ignição da lâmpada,
- assegura o seu funcionamento,
- ajuda a garantir um considerável tempo de vida útil da lâmpada,
- ajuda a garantir um factor de potência elevado,
- ajuda a produzir uma corrente harmónica baixa,
- limita as interferências rádio que a lâmpada pode produzir.

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

Estes últimos, quer por apresentarem perdas reduzidas, quer por melhorarem a eficiência da própria lâmpada, são os mais atractivos e de maior divulgação. Em certas situações, é possível obter reduções no consumo eléctrico, da ordem dos 20% a 30%, comparativamente a balastros convencionais.

A este benefício haverá ainda que adicionar as restantes vantagens do balastro electrónico, como sejam [B26]:

- Maior estabilidade da luz;
- Eliminação do efeito de trepidação;
- Possibilidade de regulação automática do fluxo luminoso.

No entanto, existem duas principais desvantagens, em relação aos convencionais, a ter em conta quando da utilização deste tipo de sistema [B26]:

- Preço elevado.
- Interferências eléctricas.

Embora representem um investimento mais elevado, pode considerar-se, duma forma simplista, que este sobrecusto é amortizado em cerca de 3 anos, pelo que, em muitas situações, constitui a solução mais racional.

O desenvolvimento dos balastros electrónicos tem por base o aparecimento de novas tecnologias e a melhor eficácia obtida nas lâmpadas de descarga. Os balastros electrónicos convencionais convertem uma linha de tensão de 50 Hz numa de alta frequência. Esta conversão apresenta inúmeras vantagens, sendo a principal o aumento

significativo da eficiência da lâmpada. Tipicamente, a eficiência da lâmpada aumenta cerca de 10% para frequências de operação na casa dos 20 kHz, quando comparadas com frequências que rondam os 50 Hz.

Os balastros electrónicos são normalmente constituídos por um andar de filtragem, um rectificador, um ondulador e um circuito de detecção de avarias (monitorização). Existem vários tipos de balastros electrónicos diferindo no modo de funcionamento. Assim, existem os balastros electrónicos sem pré-aquecimento dos cátodos, com pré-aquecimento dos cátodos e os electrónicos com regulação de fluxo.

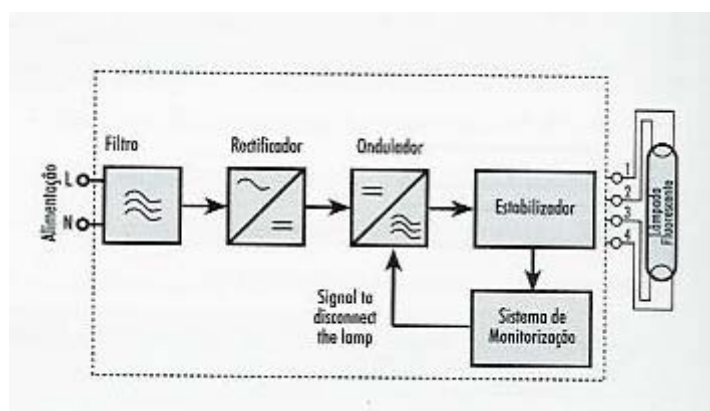


Figura 4.15 – Diagrama do circuito de balastro [B26]

A directiva europeia 2000/55/EC, transportada para a ordem jurídica nacional pelo DL nº327/2001 de 18 de Dezembro, surgiu do desejo de utilizar instalações de iluminação energeticamente eficientes para reduzir a emissão de gases com efeito de estufa, como o dióxido de carbono.

Esta directiva subdivide o sistema de lâmpadas fluorescentes e balastros em sete classes energéticas:

- Classe D: balastros magnéticos com perdas muito altas
- Classe C: balastros magnéticos com perdas moderadas
- Classe B2: balastros magnéticos com perdas reduzidas
- Classe B1: balastros magnéticos com perdas muito reduzidas
- Classe A3: balastros electrónicos eficientes
- Classe A2: balastros electrónicos muito eficientes
- Classe A1: balastros electrónicos reguláveis

As diferentes classes, advêm da classificação dos vários tipos de balastros em função das suas perdas. Para uma lâmpada de 36 W, o consumo energético das várias classes de balastros é dado na figura 4.16.

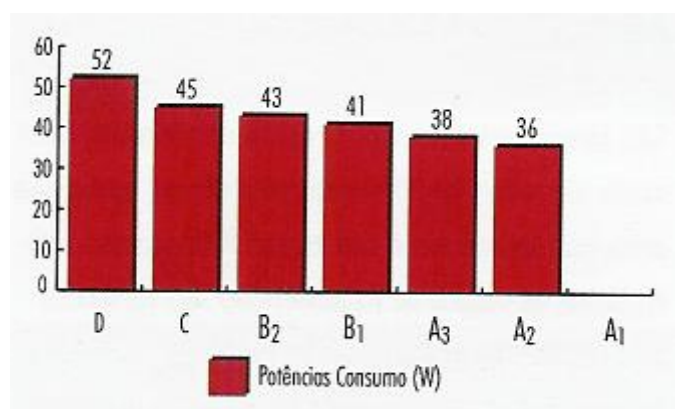


Figura 4.16 – Consumo energético das várias classes de balastros [B26]

Os balastros electrónicos reguláveis estão incluídos na classe A1 se a 100% do fluxo luminoso as perdas máximas forem equivalentes às da classe A3 e a 25% do fluxo luminoso, a energia consumida é igual ou inferior a 50%. Para além disso, o fluxo luminoso deve ser reduzido até um valor igual ou inferior a 10%.

De acordo com a directiva, actualmente só podem ser colocados em circulação no mercado equipamentos de ligação das classes A (balastros electrónicos) e B (balastros de perdas reduzidas).

Os balastros de perdas reduzidas, graças a um enrolamento de cobre mais grosso e a um núcleo de ferro de perdas muito reduzidas têm uma menor energia dissipada.

Os balastros electrónicos mostram-se verdadeiramente economizadores de energia.

Também se pode economizar energia com os balastros de perdas reduzidas (classe B), mas estes são considerados uma solução de emergência ou intermédia, visto que trabalham segundo o mesmo princípio que os balastros convencionais (classe C). A corrente da lâmpada segue nas duas variantes a frequência da tensão da rede, o que pode produzir efeitos estroboscópios, que constituem um perigo potencial, especialmente em relação às partes giratórias das máquinas. As passagens por zero da fase podem simular

uma máquina lenta ou parada e produzem um lapso na corrente até ao reacendimento da lâmpada, e cada reacendimento mais consumo de potência. Isto reduz a eficiência da lâmpada.

A total implementação da directiva europeia 2000/55/EC só é alcançada com o uso de balastros electrónicos. A corrente de uma lâmpada fluorescente que funciona com um balastro electrónico já não depende da frequência da tensão da rede, pois no funcionamento a alta-frequência forma-se uma densidade média constante de electrões. Assim, não são produzidos efeitos estroboscópicos e não se produzem reacendimentos. Desta forma, para o mesmo tipo de lâmpada, com uma tensão de alimentação a alta-frequência, é necessária menos potência eléctrica. O menor consumo de potência reduz a carga da lâmpada e prolonga a vida da mesma. Os acessórios electrónicos melhoram claramente, para além da diminuição de consumos, a eficiência das lâmpadas fluorescentes.

Como consequência, a mudança directa dos balastros convencionais para os electrónicos é vantajosa. As vantagens de até 30% menos consumo energético, um claro prolongamento de vida útil e maior conforto luminoso fazem com que os custos de investimento sejam rapidamente compensados.

4.2.4 Sistemas de controlo

Dado que os circuitos de iluminação pública se destinam a funcionar apenas numa fracção do dia, será necessário prever o seu controlo.

De acordo com o tipo de via em que o circuito de iluminação actua, o seu controlo assumirá uma maior ou menor complexidade. Assim, o controlo poderá assumir a forma simples de ligação e corte totais, pré-programados, ou ter associado uma forma mais ou menos complexa de controlo de fluxo luminoso.

O controlo de fluxo pode ser vantajoso na medida em que existem soluções técnicas que, garantindo condições para que a circulação nocturna se faça com segurança,

permitem uma utilização racional de energia, dado que existem períodos nos quais não é necessário que os focos luminosos emitam a luminosidade máxima aconselhada.

O controlo dos circuitos de iluminação pública é feito com recurso a:

Interruptor horário (relógio astronómico)

Os interruptores horários permitem a ligação e corte de uma instalação de iluminação a uma hora pré-determinada.

O relógio é inserido nos postos de transformação que alimentam os circuitos de potência da iluminação, é regulado de acordo com o horário estabelecido para o acendimento e corte da iluminação pública e permite uma programação diária ou semanal.

Este sistema tem como principal desvantagem o obrigar a uma intervenção manual, para ajustamento do relógio ao longo do ano.



Figura 4.17 – Relógio astronómico

Célula fotosensível

Dispositivo sensível à luz ambiente que permite ligar e desligar a iluminação pública quando são atingidos determinados níveis de iluminação natural pré-seleccionados.

Balastro de dupla reactância

Este balastro permite uma redução do consumo energético, mediante a introdução, no circuito da lâmpada, de uma indutância adicional. Na figura 4.18 está esquematizada uma das formas conhecidas deste sistema de duplo nível.

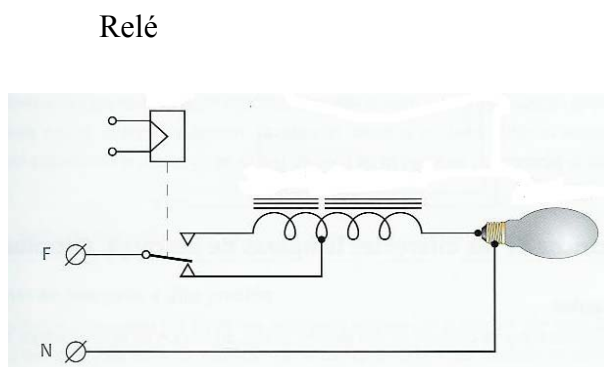


Figura 4.18 – Balastro de dupla reactância [B18]

A programação da comutação de um valor de reactância para outro, é feita de uma forma simples, através de um contacto temporizado existente num contactor alimentado pelo circuito de potência derivado do posto de transformação. Este contactor, por sua vez, alimenta o balastro.

Este sistema de duplo nível pode aplicar-se a lâmpadas de mercúrio de alta pressão e a lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (com especial cuidado no circuito de arranque). Contudo, este sistema não é adequado em lâmpadas de iodetos metálicos dado a cor da luz proporcionada por este tipo de lâmpadas ser bastante afectada pela potência luminosa emitida.

Controlo de ligação e corte de 50% do fluxo

Este tipo de controlo necessita da utilização de dois circuitos de potência distintos na alimentação do conjunto das luminárias de cada via.

Dada a existência de dois circuitos distintos, a diminuição do fluxo para metade do seu valor normal faz-se, simplesmente, pelo corte de um dos circuitos em determinados períodos de menor necessidade de iluminação, ficando esta assegurada apenas pelo outro circuito, ou seja, por apenas metade das luminárias instaladas.

De salientar que este tipo de controlo do fluxo penaliza a uniformidade da iluminação, devendo ser utilizado apenas em determinadas situações.

Reguladores ou controladores de fluxo

São equipamentos que permitem controlar o sistema de iluminação mediante uma regulação do fluxo luminoso emitido por um conjunto de pontos de luz. Permitem, durante as horas desejadas, reduzir o fluxo luminoso produzido pelas diversas lâmpadas do sistema, através da redução da tensão na linha eléctrica que as alimenta. Em consequência dessa redução do fluxo, diminui o consumo de energia eléctrica e aumenta o tempo de vida útil das lâmpadas.

Este equipamento aplica-se em todos os circuitos de iluminação equipados com lâmpadas de descarga, como fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio e iodetos metálicos. Os valores de poupança atingem os 25% a 50%.

Vantagens:

- Diminuição dos custos associados à iluminação em cerca de 25%.
- Aumento da vida útil das lâmpadas (duas vezes mais duração).
- Equipamento sem manutenção.
- Período de “payback” reduzido.
- Não produz flutuações na rede.
- Não produz harmónicos e diminui a amplitude dos harmónicos já existentes na rede.
- Fácil instalação.
- Não são necessárias alterações das infra-estruturas existentes.

Como sabemos a vida útil de uma lâmpada é tanto maior quanto menor for a tensão na rede que a alimenta. Assim, esta tecnologia, cujo princípio de funcionamento tem por base uma diminuição da tensão de alimentação da lâmpada, permite obter um maior tempo de vida da fonte de luz bem como uma maior uniformidade do fluxo luminoso, durante a vida útil da mesma.

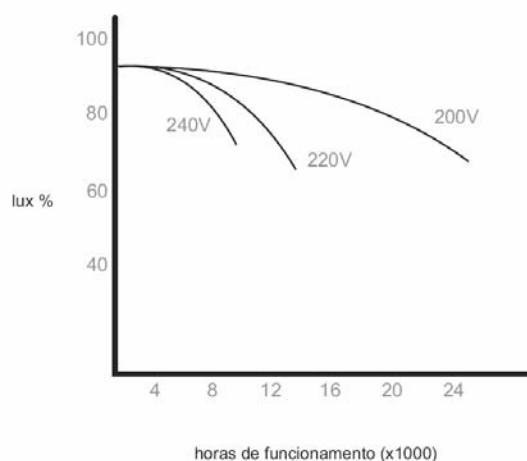


Figura 4.19 – Tempo de vida útil de uma lâmpada em função da tensão [A11]

Existem controladores electrónicos (Controladores Electrónicos de Potência - CEP's) que permitem a modificação das condições de fluxo luminoso, tendo em consideração as exigências de utilização e de acordo com determinados períodos ou condições atmosféricas. A modificação das condições de fluxo é feita de uma forma automática, pré-programada. Estão disponíveis numa gama de potências entre os 9kVA e os 100kVA e podem ser colocados em postos de transformação ou em armários de distribuição.

Nas zonas urbanas, em que existem grandes cargas eléctricas, devem ser colocados ao lado dos PT's. Nas zonas rurais, a utilização destes equipamentos não é aconselhável, devido aos ramais serem longos e as quedas de tensão muito grandes.

A utilização de reguladores de fluxo permite, se se desejar, um controlo mais sofisticado da iluminação pública. Tal é conseguido com recurso a um computador, dotado de software adequado e um modem com acesso à linha telefónica, que permite fazer o telecontrolo para gestão centralizada de um conjunto de controladores a qualquer distância.

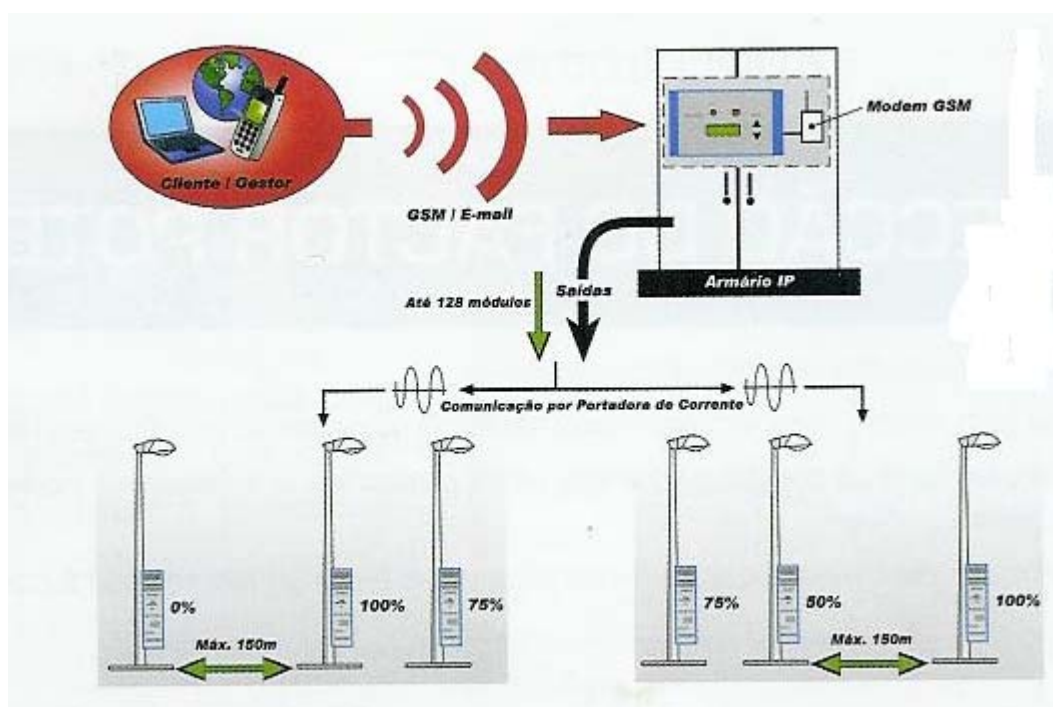


Figura 4.20 – Arquitectura de um sistema de telecontrolo para gestão centralizada de um conjunto de controladores [B23]

4.2.4.1 Caso prático – Regulação do fluxo luminoso da iluminação pública nos Municípios de Ponte da Barca e de Ponte de Lima

A regulação do fluxo luminoso da iluminação pública, nos municípios de Ponte da Barca e de Ponte de Lima, foi efectuada através da colocação de controladores electrónicos de potência.



Figura 4.21 – Exemplo de CEP instalado em Ponte da Barca.



Figura 4.22 – Exemplo de CEP instalado em Ponte de Lima.

As poupanças obtidas, com o uso de controladores de fluxo nos municípios de Ponte da Barca e de Ponte de Lima, encontram-se apresentadas nas figuras 4.23 e 4.24 respectivamente [A1].

Em termos de resultados práticos, constata-se que a instalação destes equipamentos se traduziu em poupanças de energia na ordem dos 30 a 50%, o que, por sua vez, equivale a 1500 a 2000 euros anuais.

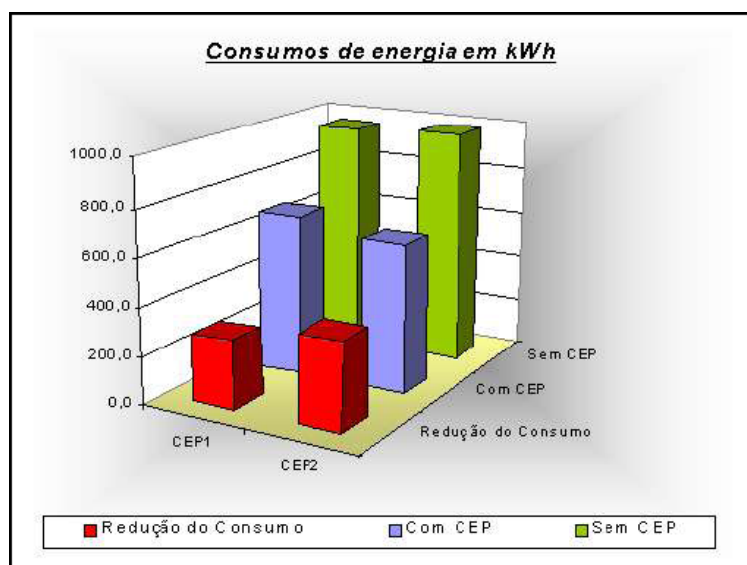


Figura 4.23 – Poupança de energia obtida em Ponte da Barca através da colocação de CEP's [A1]

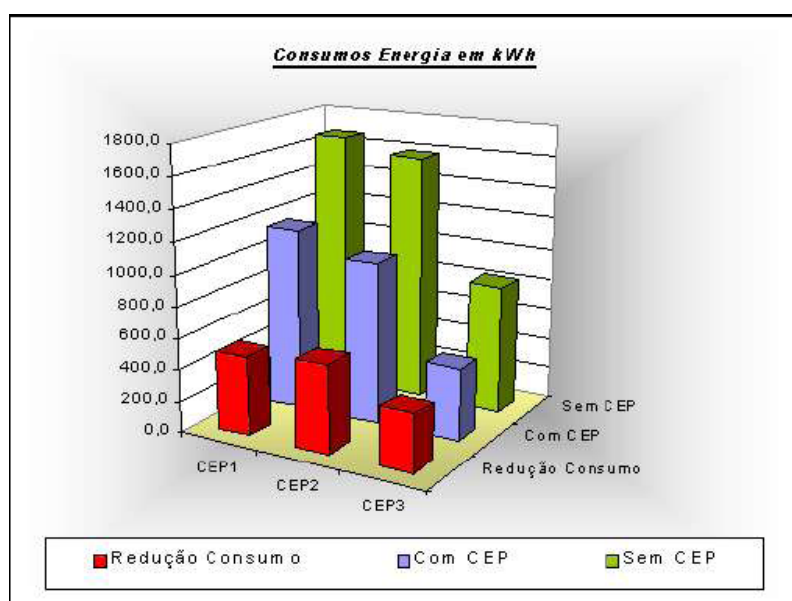


Figura 4.24 – Poupança de energia obtida em Ponte de Lima através da colocação de CEP's [A1]

O “payback” de cada controlador depende das cargas eléctricas a ele associadas, mas de uma maneira geral, é de 12 a 18 meses.

4.2.4.2 Caso prático – Eficiência energética na iluminação pública, cidade do Porto

Em 2005 foi efectuado um ensaio, na cidade do Porto, com reguladores de fluxo.

Neste caso prático foi instalada uma unidade num posto de transformação que serve vários circuitos de iluminação pública, equipados com lâmpadas de vapor de sódio.

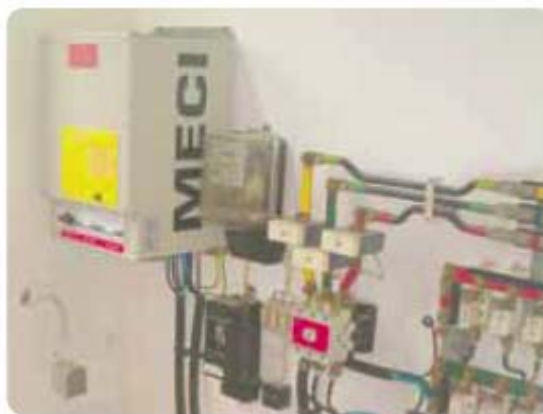


Figura 4.25 – Pormenor da instalação de um regulador de fluxo [A11]

De salientar, que uma grande vantagem deste equipamento reside no facto de não ser necessário efectuar qualquer alteração da infra-estrutura existente para a instalação da unidade.

No quadro 4.3 encontram-se resumidas as alterações verificadas com a instalação de reguladores de fluxo, na IP do Porto.

Características	Situação actual	Instalação regulador
Tipo de iluminação, vapor de sódio (W)	250	250
Número de lâmpadas	41	41
Potência absorvida (kW)	11,5	8,6
Utilização horas/ano (*)	4273	4273
Consumo energia/ano (kWh)	49140	36748
Economia de energia (**)		25%

(*) Dado EDP 2004

(**) Valor verificado e registado num ensaio realizado em Junho de 2005

Quadro 4.3 – Alterações verificadas com a instalação de reguladores de fluxo na IP do Porto [A11]

Como se vê no quadro 4.3, o uso deste equipamento permitiu obter poupanças significativas no consumo de energia, sendo a redução de cerca de 12 MWh/Ano, equivalente a 25% do consumo actual.

4.2.4.3 Caso prático – Eficiência energética na iluminação pública, cidade de Almada

Também na cidade de Almada foi efectuado um projecto-piloto com o uso de reguladores de fluxo. Igualmente neste caso prático foi instalada uma unidade que serve circuitos de IP equipadas com lâmpadas de vapor de sódio. Não foi necessário efectuar qualquer alteração da infra-estrutura existente. A unidade foi colocada em série com os circuitos de iluminação pública num armário exterior, junto ao posto de transformação.

No quadro 4.4 encontram-se resumidas as alterações verificadas com a instalação de reguladores de fluxo na IP.

Características	Situação actual	Instalação regulador
Tipo de iluminação, vapor de sódio (W)	150/250	150/250
Número de lâmpadas	40	40
Potência absorvida (kW)	9	6,78
Utilização horas/ano (*)	4015	4015
Consumo energia/ano (kWh)	36135	27222
Economia de energia (**)		25%

(*) Dado EDP 2004

(**) Valor verificado e registado num ensaio realizado em Junho de 2005

Quadro 4.4 – Alterações verificadas com a instalação de reguladores de fluxo na IP da cidade de Almada [A11]

De acordo com o quadro 4.4, verifica-se que foi possível obter poupanças significativas no consumo de energia, sendo a redução de cerca de 9 MWh/Ano, equivalente a 25% do consumo actual.

4.3 Conclusões

A situação energética portuguesa é caracterizada por uma forte dependência externa (importamos cerca de 90% da energia que consumimos) e pela dependência, fundamentalmente, em relação a uma única forma de energia (o petróleo). Apesar dos esforços que se têm feito nos últimos anos para alterar esta situação, para um nível de consumo reduzido equivalente ao de outros países membros da CE e para baixar a intensidade energética em relação ao Produto Interno Bruto (PIB).

A manterem-se os valores estimados do Programa Nacional para as Alterações Climáticas, Portugal poderá, em cada ano, do período 2008-2012, vir a ter de mobilizar cerca de 100 milhões de euros para a aquisição de direitos de emissão no mercado internacional do carbono, o que reflecte a ineficiência do sistema energético nacional e o efeito do domínio dos combustíveis fósseis no “mix” energético nacional. Através da adequada implementação das medidas apresentadas anteriormente será possível reduzir a nossa dependência de recursos energéticos importados, aumentar a nossa eficiência global, bem como garantir os compromissos assumidos no Protocolo de Quioto e na directiva 2001/77/CE.

A valorização das economias de energia, em particular da energia eléctrica, possíveis de realizar pela via da gestão e da sua utilização racional, conduz a benefícios que se podem repercutir, de forma global, a nível nacional e de forma directa e imediata com as seguintes vantagens:

- Aumento da eficácia do sistema energético;
- Redução da factura energética;

- Aumento da competitividade no mercado interno e externo ou aumento da disponibilidade de energia para outros fins;
- Conhecimento mais profundo das instalações e do custo energético de cada fase, processo ou sistema.

Finalmente, lembrar que a regra fundamental, indispensável a qualquer política de utilização racional de energia, consiste no conhecimento dos consumos por meio de medida e na detecção de forma eficaz das principais perdas de energia que possam existir na instalação.

Por este motivo, dever-se-iam aproveitar todas as potencialidades de economia energética.

5. ORDENAMENTO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

5.1 Nota justificativa da necessidade de ordenamento da iluminação pública

Sendo a iluminação pública um dos factores que contribui positivamente para o bem estar dos cidadãos dos países mais desenvolvidos é necessário que haja uma permanente atenção à sua eficiência. No caso da iluminação pública a eficiência é avaliada segundo três aspectos, a saber: eficiência luminotécnica, eficiência energética e eficiência estética (integração na estética do ambiente onde está instalada). A eficiência estética é habitualmente uma matéria estudada por técnicos de arquitectura e arquitectura paisagística, pelo que não será avaliada neste trabalho, que incidirá apenas sobre as restantes vertentes da eficiência.

Em termos gerais, a iluminação pública deve corresponder às características mínimas recomendadas pelas normas emanadas pela *Commission International d'Éclairage* (CIE) [A2], as quais pretendem garantir um mínimo de eficiência luminotécnica aos sistemas de iluminação pública. Contudo, por se tratar de normas gerais, são omissas em muitos aspectos e abordam muitos outros de uma forma vaga, carecendo, por isso, de adaptação à situação de cada local de instalação. Um dos aspectos omissos nas normas da CIE é precisamente a eficiência energética dos sistemas de iluminação pública.

Um outro ponto omissos nas normas da CIE diz respeito ao tratamento dado às vias urbanas. Nas normas da CIE não é feita qualquer distinção relativamente a este tipo de vias, e, como sabemos, nas urbes existe uma grande variedade de ruas, com características bastante diferenciadas, que não permite que as soluções adoptadas para a iluminação destas vias sejam idênticas. Tomemos como exemplo uma rua do centro histórico do Porto, com características muito próprias, não possível de ser tratada de uma forma idêntica à via de cintura interna da cidade.

A ausência de uma regulamentação nacional da iluminação pública, complementar das normas da CIE, tem permitido que os sistemas sejam sede de acções tecnicamente pouco justificadas, resultando em maus exemplos de eficiência, tanto luminotécnica como energética.

Por este motivo, e após reuniões com a Câmara Municipal do Porto, EDP e empresas de iluminação, decidi fazer este trabalho cujo principal objectivo foi o de desenvolver uma metodologia objectiva de aplicação das recomendações CIE a malhas urbanas, identificando parâmetros de caracterização dessas mesmas malhas e estabelecendo classes para as artérias urbanas, ligando depois as características do sistema de iluminação pública a essa classificação, incluindo não só a eficiência luminotécnica mas também a eficiência energética.

Para a classificação das vias urbanas foram considerados como parâmetros característicos: largura das vias, parques de estacionamento, tipo de zona (central, periférica, histórica), densidade de trânsito motorizado e pedestre.

5.2 Classificação das vias e classes da instalação

Os tecidos urbanos são classificados em função das características de cada espaço urbano, identificando-se as diversas áreas, em função da edificação existente, da sua relação com o espaço público e do trânsito de veículos e pedonal.

Na sequência de reuniões com técnicos, da divisão de trânsito da Câmara Municipal do Porto, os tipos de tecidos urbanos considerados foram os seguintes:

Áreas históricas (C1 e C2- Quadro 5.1)

Os cascos antigos são caracterizados por malhas irregulares, densamente ocupadas por edifícios implementados à face da rua, formando frentes contínuas. Os edifícios são,

normalmente, estreitos, com cérceas da ordem dos 3 pisos, atingindo por vezes os 5, não possuindo logradouros.

São zonas com grande actividade nocturna, caracterizadas por pouco tráfego automóvel e elevado movimento de pessoas.

A iluminação destas áreas, além de proporcionar segurança, deve-se integrar no ambiente, devendo fazer ressaltar o aspecto histórico ou influenciar e promover futuros empreendimentos.

Áreas de frente urbana contínua e consolidada (C3 e C4 - Quadro 5.1)

Este tecido é constituído por uma malha de quarteirões, morfologicamente consolidada e ocupada em continuidade.

Estas áreas correspondem a sectores da cidade estruturados por quarteirões, bem definidos e delimitados por edifícios localizados à face dos arruamentos, que definem um espaço público bastante estabilizado.

São áreas onde há predominância de construções comerciais, assim como trânsito de pedestres e veículos.

Quarteirão de Frente Contínua em Transformação (C5, C6, C7e C8 – Quadro5.1)

São áreas que seguem o mesmo princípio de alinhamento da área de frente urbana contínua e consolidada. No entanto, apresentam intensidades de construção e tipologias edificatórias muito distintas.

Os edifícios de habitação colectiva são mais frequentes e a cércea sobe para valores mais elevados. Deste processo resulta um tecido que se estende por grande parte das cidades e que é bastante instável morfologicamente. Trata-se de uma malha estabilizada de ruas e quarteirões, bem relacionada com o sistema viário, integrando pequenas centralidades de proximidade.

Área de habitação unifamiliar (C9 – Quadro 5.1)

Correspondem a tecidos urbanos formados por quarteirões ou frentes ocupadas por moradias isoladas ou geminadas, geralmente recuadas em relação à rua. O espaço exterior fronteiro ao edifício consta de jardim ou pátio, seguindo-se o alinhamento da rua, com uma clara definição entre a parcela e o espaço público, dando origem a áreas extensas, pouco densas e apenas destinadas à habitação.

São áreas caracterizadas pela inexistência de construções comerciais, assim como reduzido trânsito de pedestres e veículos.

Área de edificação isolada com prevalência de habitação colectiva - Prevalência de blocos (C10 – Quadro 5.1)

Correspondem às áreas das cidades onde o tecido urbano se caracteriza pela implantação de edifícios de habitação colectiva com blocos isolados e com cêrceas iguais ou superiores a quatro pisos. Este tipo de urbanização reflecte-se na indefinição do espaço público envolvente.

São áreas caracterizadas pela inexistência de construções comerciais, assim como reduzido trânsito de pedestres e veículos.

São áreas com tendência a marginalização social e vandalismo.

Matriz Industrial (C11 – Quadro 5.1)

São zonas com uma estrutura viária de malha quadrangular, por vezes terminando em pracetas, com acessos fáceis a eixos viários principais.

Verifica-se um domínio de pavilhões no meio de lotes, por vezes ajardinados/arborizados.

São áreas com reduzido trânsito de pedestres e veículos.

Zonas especiais

Podem ser edifícios marcantes, que servem de referência, ou grandes equipamentos que concentram actividades importantes.

Incluem-se nesta categoria de espaços: hospitais, centros de saúde, escolas, edifícios de culto religioso, universidades, casas de espectáculo, pavilhões desportivos e praças com arquitectura emblemática, as quais induzem actividades que geram uma grande actividade nocturna.

Também devem ser incluídas neste tipo as zonas onde existam passadeira para peões.

Vias	Faixas	L1	Estac.	L2	Número de Passeios	L3	Total	T.Veículos	T.Pedrestes
C1	1	3	0	0	0	0	3	Leve	Intenso
C2	1	3	0	0	2	1	5	Leve	Intenso
C3	1	3	1	2	2	1	7	Intenso	Intenso
C4	2	3	1	2	2	1	10	Intenso	Intenso
C5	2	3	2	2	2	2	14	Médio	Médio
C6	3	3	1	2	2	3	17	Médio	Médio
C7	3	3	2	2	2	3	19	Médio	Médio
C8	4	3	0	0	2	3	18	Intenso	Intenso
C9	2	3	2	2	2	2	14	Leve	Leve
C10	2	3	2	2	2	2	14	Leve	Leve
C11	2	3	0	0	2	2	10	Deserto	Deserto

Quadro 5.1 – Classificação das vias urbanas.

As dimensões L1, L2, e L3 referem-se à largura dos arruamentos (em metros), utilizadas para tráfego, estacionamento e passeios, respectivamente.

Para determinar os níveis de iluminação a prever para cada tipo de tecido urbano utilizaram-se duas grandezas alternativas: luminância e iluminância.

Em zonas nobres e em zonas consolidadas (C1 a C4 – Quadro 5.1) o nível de iluminação recomendado é baseado na iluminância horizontal. No quadro 5.2 estão definidos os níveis mínimos e máximos para o valor médio da iluminância em serviço em cada tipo de zona.

Os valores indicados nos quadros 5.2, 5.3 e 5.4 resultam de discussões com técnicos da Indalux e Schröder. Os valores indicados têm por base as normas da CIE, que contudo são muito vagas e não referem especificamente as vias urbanas.

		Iluminância horizontal (lx) média em serviço	
Via	Classe de iluminação	Mínima	Máxima
Áreas de prestígio	P1	20	30
C1	P2	10	20
C2	P2	10	20
C3	P3	7,5	10
C4	P3	7,5	10

Quadro 5.2 – Níveis de iluminância média em serviço.

Por razões que se prendem com poupança energética e de redução da poluição luminosa, deve adoptar-se o valor mínimo do nível médio para cada tipo de zona.

Para além dos limites para o valor médio da iluminância, constantes do quadro 5.2, é necessário também prever um valor mínimo absoluto para a iluminância. O quadro 5.3 apresenta, para os diferentes tipos de zona, o nível mínimo absoluto da iluminância a respeitar.

Via	Classe de iluminação	Valor mínimo absoluto da iluminância horizontal (lx)
Áreas de prestígio	P1	7,5
C1	P2	3
C2	P2	3
C3	P3	1,5
C4	P3	1,5

Quadro 5.3 – Níveis mínimos de iluminância

Os níveis de iluminação indicados no quadro 5.3 são referidos ao nível do solo e devem ser aplicados a toda a superfície utilizada (superfície dos passeios e da estrada).

Se a zona em causa for uma área de prestígio, onde é necessário um nível elevado de iluminação de forma a produzir um ambiente atractivo, deverá ser utilizada a classe P1.

Nos restantes tipos de tecidos urbanos, os níveis recomendados para o valor médio da luminância em serviço são baseados no critério de luminância de acordo com o indicado no quadro 5.4.

Via	Classe de iluminação	Luminância média (cd.m ⁻²)	
		Mínima	Máxima
C5	M3	1	2,25
C6	M3	1	2,25
C7	M3	1	2,25
C8	M2	1,5	3
C9	M5	0,5	1,13
C10	M5	0,5	1,13
C11	M5	0,5	1,13

Quadro 5.4 – Níveis de luminância.

A alteração da nomenclatura, utilizada para as classes de iluminação apresentada no quadro 5.4, relativamente à indicada nos quadros 5.2 e 5.3, segue a nomenclatura utilizada nos documentos da Comissão Internacional de Iluminação, em que nos quadros 5.2 e 5.3 se usa a letra P por se tratar de zonas de forte tráfego pedonal e no quadro 5.4 a letra M por se tratar de zonas de forte circulação de veículos motorizados.

Os valores mínimos recomendados devem ser mantidos durante o tempo de vida da instalação.

No caso de numa via existir um edifício que lhe confira a classificação de tipo especial, a iluminação deve ser reforçada nas imediações desse edifício num raio de 500m. Neste caso o nível de iluminação a adoptar nas imediações desse edifício será o que corresponde ao máximo desse tipo de zona.

5.3 Estabelecimento de critérios para a iluminação pública em função das características das vias urbanas

5.3.1 Interligação entre vias de classificação diferente

São áreas onde diversos fluxos de veículos se intersectam ou se dirigem para zonas frequentadas por peões, ciclistas, ou outro tipo de utilizadores das estradas, e também que ligam estradas com características diferentes (estradas com diversas faixas/larguras interligando com estradas de menor dimensão). A existência destas diferentes geometrias aumenta o potencial risco de colisão entre veículos, ou entre veículos e peões, ou ciclistas, ou mesmo entre veículos e objectos fixos. Como tal, os níveis de iluminação usados nestas áreas devem ser objecto de estudo cuidadoso.

São consideradas nesta classe de estudo rotundas, cruzamentos ou entroncamentos e ligação de vias de carácter urbano com vias de carácter rural.

Os pontos de confluência de várias vias (entroncamentos, cruzamentos e rotundas) com classificações diferentes devem ter um tratamento especial. Considera-se como

referência o nível de iluminação correspondente à via com classe mais alta. Nas outras vias confluentes, o cálculo dos dois últimos pontos de luz é feito considerando o nível de iluminação de referência definido anteriormente.

5.3.2 Classificação e classe das luminárias a usar em função do tipo de via

De acordo com o exposto no capítulo quatro, relativamente aos vários componentes de uma luminária, definem-se vários tipos de luminárias (L1 a L5), de acordo com o indicado no quadro 5.5. As classes de luminárias a usar em cada tipo de via estão indicadas no quadro 5.6.

Tipos de luminárias	IP	IK	Difusor	Tipo de iluminação
L1	65	8	vidro liso	Directa
L2	65	8	vidro liso	Semi-directa
L3	65	10	vidro liso	Directa
L4	65	10	policarbonato	Directa
L5	65	8	policarbonato	Directa

Quadro 5.5 – Tipos de luminárias.

Via	Classe de luminária	Tipo de lâmpada	Balastro
C1	L1 ou L2	Iodetos metálicos	Electrónico
C2	L1 ou L2	Iodetos metálicos	Electrónico
C3	L1	Sódio alta pressão	Electrónico
C4	L1	Sódio alta pressão	Electrónico
C5	L1	Sódio alta pressão	Electrónico
C6	L1	Sódio alta pressão	Electrónico
C7	L1	Sódio alta pressão	Electrónico
C8	L1	Sódio alta pressão	Electrónico
C9	L1	Sódio alta pressão	Electrónico
C10	L3 ou L4	Sódio alta pressão	Electrónico
C11	L5	Sódio alta pressão	Electrónico

Quadro 5.6 – Classe das luminárias a usar em função do tipo de via.

5.3.3 Classificação do tipo de apoios e disposição dos centros luminosos

Classificação do tipo de apoios

Existe uma variedade de soluções relativamente aos apoios.

No que se refere aos materiais é aconselhável o uso de apoios em aço galvanizado e alumínio, com ou sem pintura. É de evitar, por razões de segurança, colunas em cimento, na medida em que são potencialmente mais perigosas em caso de choque de algum veículo (perigo de queda).

Em zonas históricas ou zonas nobres, pode prever-se a utilização de apoios de outros materiais, tais como a madeira e o ferro fundido.

A forma e material das colunas devem ser esteticamente integradas nas particularidades de cada área, tal como deve ser mantida a uniformidade das colunas em cada via.

Relativamente aos braços utilizados em iluminação pública eles devem ter 1,25m de comprimento.

Disposição dos centros luminosos

Basicamente existem 6 tipos de alternativas para o posicionamento das luminárias, tendo em atenção a largura das vias públicas:

Unilateral (U)

Este tipo de posicionamento das luminárias (figura 5.1) é normalmente utilizado quando as distâncias entre fachadas for menor do que 15m ou a distância entre guias for inferior a 10m.

O sistema unilateral deverá prevalecer sobre os demais indicados, a não ser que a sua instalação seja totalmente inadequada.

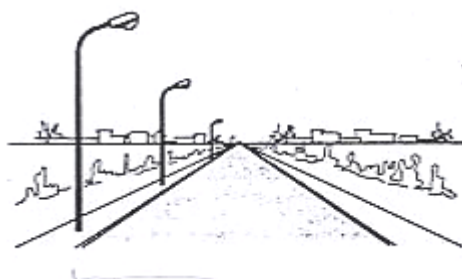


Figura 5.1 – Posicionamento unilateral.

Bilateral com centros alternados (B-A)

Este tipo de posicionamento (figura 5.2), com as luminárias em ambos os lados da via num sistema alternado, é normalmente utilizado nos locais em que as distâncias entre fachadas seja de 15 a 18m ou a distância entre guias estar compreendida entre 10 a 13m, ou excepcionalmente em ruas de grande movimento.

Esta disposição, apesar de um custo mais elevado, permite uma melhor uniformidade da iluminância, sendo aconselhada em vias de tráfego médio ou intenso.

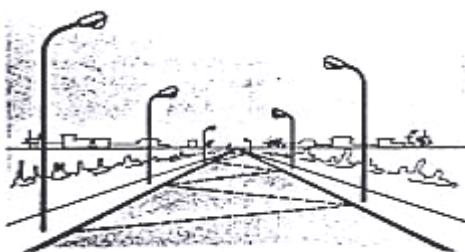


Figura 5.2 – Disposição bilateral com centros alternados.

Bilateral com centros opostos (B-O)

Este tipo de posicionamento (figura 5.3), com as luminárias uma em frente a outra, é normalmente utilizado quando as distâncias entre fachadas seja superior a 18m ou em locais em que as distâncias entre guias seja superior a 13m, ou, excepcionalmente, em ruas de grande movimento.

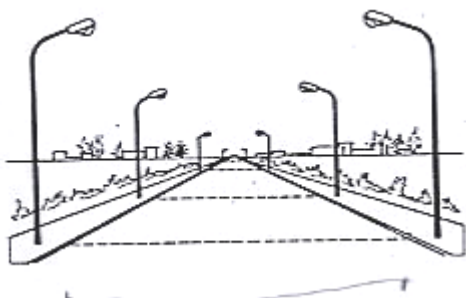


Figura 5.3 – Disposição bilateral com centros opostos.

Central dupla (C-D)

Este tipo de posicionamento (figura 5.4) com duas luminárias instaladas num único apoio é normalmente usado em vias com canteiro central estreito.

Em vias largas não é aconselhável este tipo de montagem, dado que o fluxo luminoso incidente sobre as fachadas dos prédios frontais se torna disperso, tal como potencia a maior possibilidade de choque entre viaturas e as colunas.

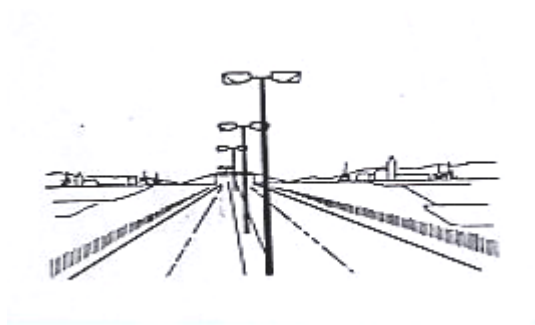


Figura 5.4 – Disposição central dupla.

Tipo avenida (A)

Este posicionamento (figura 5.5) deve ser utilizado em ruas arborizadas ou jardins, quando é necessário respeitar exigências de carácter estético e quando árvores de alto porte impedem a emissão luminosa de aparelhos colocados sobre apoios altos. É necessário ter em consideração o crescimento das copas das árvores.



Figura 5.5 – Disposição em “avenida”.

Suspensão central (S-C)

Este tipo de posicionamento com as luminárias ao longo do eixo da via (figura 5.6), suspensas em cabos fixados entre prédios, pode ser usado em ruas estreitas com construções em ambos os lados, e também em ruas onde o nível de arborização inviabiliza a iluminação convencional

Se as distâncias entre fachadas for superior a 20m ou a distância entre guias for superior a 15m, podem ser utilizadas 2 luminárias por tirante.

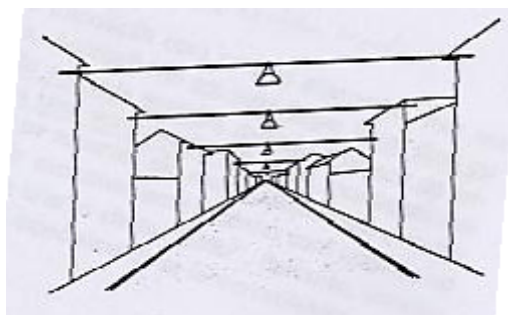


Figura 5.6 – Disposição em suspensão central.

Casos especiais

Para a iluminação de curvas, as luminárias devem ser colocadas, preferencialmente, nos lados externos das curvas (no lado externo da faixa de rodagem.)

A distância entre luminárias deve ser reduzida, sendo tanto menor quanto menor for o raio da curva (figura 5.7).

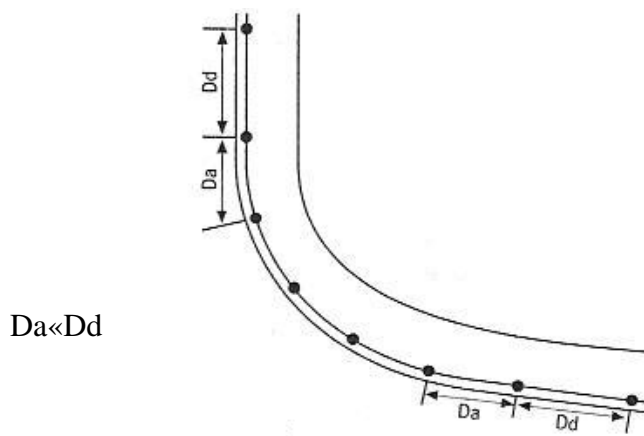


Figura 5.7 – Disposição de luminárias em curvas.

Para a iluminação de intersecções, cruzamentos e rotundas, o posicionamento das luminárias (figura 5.8) deverá ser de maneira que a junção seja perfeitamente visível a uma certa distância.

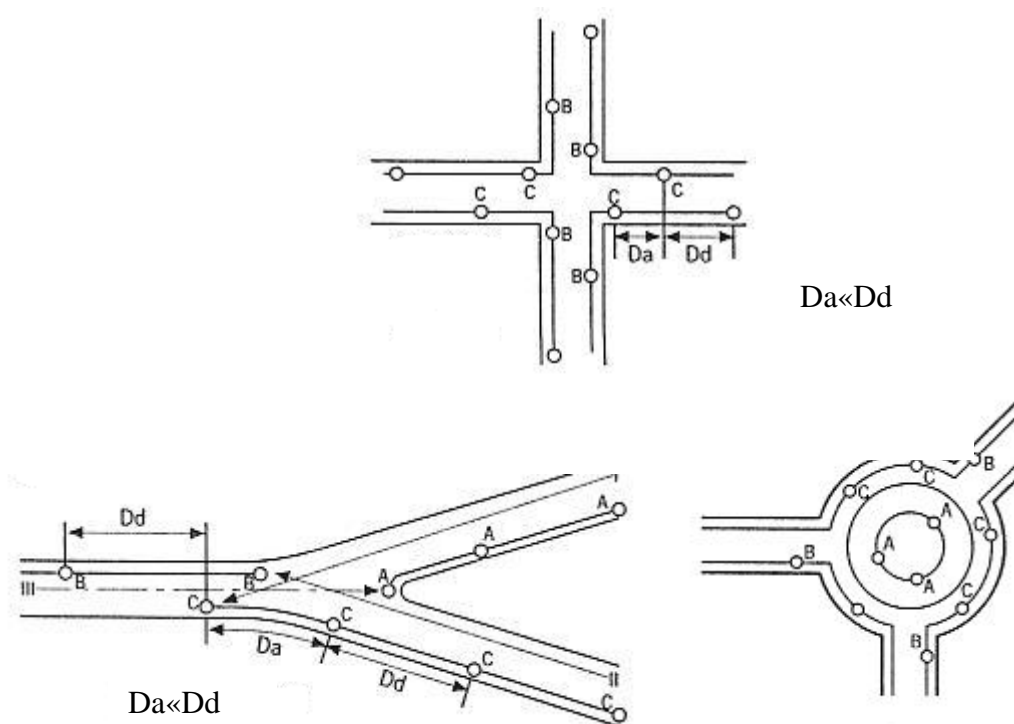


Figura 5.8 – Disposição de luminárias em cruzamentos, intersecções e rotundas.

Colocação dos apoios

Em todas as vias em que a largura dos passeios seja inferior a 1,2m os apoios devem ser colocados junto às fachadas dos prédios ou, se possível, as luminárias colocadas nas próprias fachadas, de modo a que não constituam obstáculo à circulação de pessoas com dificuldades motoras. Nas restantes vias os apoios devem ser colocados junto às bermas.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Disposição dos centros luminosos	S-C	U	U	U	U	B-A	B-O	B-O	B-A	U	U
Colocação dos centros luminosos	-	Bermas	Bermas	Bermas	Bermas	Bermas	Bermas	Bermas	Bermas	Bermas	Bermas

Quadro 5.7 - Disposição e colocação dos centros luminosos.

5.3.4 Altura mínima da instalação dos pontos de luz – uniformidade geral

Um dos requisitos de qualidade para a iluminação de vias é a uniformidade.

A uniformidade geral da luminância da estrada (U_0) é dada pela relação entre o ponto do valor mínimo de luminância e a luminância média da via. O seu valor depende da distribuição luminosa das luminárias, do fluxo luminoso das lâmpadas, da geometria da instalação e das propriedades reflectoras da superfície da estrada.

De acordo com a norma CIE 115, em qualquer via a uniformidade geral não deve ser inferior a 0,4.

De forma a cumprir esses níveis de uniformidade, a altura de montagem dos pontos de luz deve ser feita de acordo com o quadro 5.8.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Altura de montagem (m)	-	4 a 8	8 a 10	8 a 10	8 a 10	8 a 10	8 a 10	8 a 10	4 a 8	8 a 10	8 a 10

Quadro 5.8 – Alturas de montagem dos pontos de luz.

5.3.5 Relação espaçamento/altura – uniformidade longitudinal

Quando em presença de vias com um tráfego considerável de veículos, nas quais se possa atingir velocidades por volta dos 50 Km/h, um outro critério é necessário para a qualidade de iluminação da via que é a uniformidade.

Trata-se de um critério relativo ao conforto visual, e a sua finalidade é prevenir que o pavimento não apresente uma desagradável sucessão de faixas claras e escuras

De forma a cumprir este objectivo, nos casos aplicáveis (vias C5 a C8 do quadro 5.1), para além de ser necessário garantir uma uniformidade global (U_0) de 0,4, haverá que garantir uma uniformidade longitudinal (U_L) (relação entre o valor mínimo e máximo da luminância sobre o eixo da via, no sentido de circulação), a qual deve estar de acordo com o apresentado no quadro 5.9.

Vias	U_L (mínimo)
C5	0,5
C6	0,5
C7	0,5
C8	0,7

Quadro 5.9 – Uniformidades longitudinais mínimas.

5.3.6 Potência das fontes luminosas em relação à altura da instalação – controlo do encandeamento

Outro factor importante a ser considerado num projecto de iluminação é o deslumbramento ou ofuscamento, que produz desconforto visual e redução da visão, podendo mesmo ocasionar a cegueira momentânea. O desconforto visual é causado pelo excessivo contraste entre a luminância da fonte de luz e a do pavimento. O desconforto visual não pode ser completamente evitado, mas há que tomar medidas para limitá-lo, tornando-o tolerável.

Para o limitar, a escolha da potência das fontes luminosas deve ser relacionado com as alturas de montagem das fontes de luz de acordo com o quadro 5.10.

Altura de montagem	Potência das fontes luminosas
4 a 6 m	70 a 100 W
6 a 8 m	100 a 150 W
» 8 m	150 a 250 W

Quadro 5.10 - Potência das fontes luminosas.

Em casos especiais, quando justificado, podem ser utilizadas fontes luminosas com potências de 400W.

5.3.7 Sistemas de controlo e definição dos circuitos

O controlo básico dos circuitos de iluminação pública pode ser feito com recurso a interruptores horários (F1) ou células fotosensíveis (F2). Em determinadas vias, dadas as suas características e para economizar o consumo energético, é desejável fazer-se uma redução do fluxo em determinados períodos, sem que disso resulte um grande prejuízo para os utilizadores. Assim, os circuitos de iluminação dessas vias, para além do controlo básico (F1 e F2), deverão possuir um sistema de controlo de fluxo adicional, tais como controlo de ligação e corte de 50% do fluxo (F4) e reguladores ou controladores de fluxo (F5).

O quadro 5.11 apresenta, para cada tipo de via, o controlo de fluxo luminoso a utilizar, atendendo às características da via, à segurança dos utilizadores e à economia.

Tipo de Via	Tipo de controlo de fluxo
C1e C2	Sem alteração do fluxo (utilização intensiva)
C3 a C8	Diminuição do fluxo nas horas "mortas" (da 01h00 às 05h00) (F5)
C9	Diminuição do fluxo nas horas "mortas" (da 01h00 às 05h00) (F3 ou F4)
C10	Sem alteração do fluxo (segurança)
C11	Diminuição do fluxo nas horas "mortas" (da 01h00 às 05h00) (F4)
Zonas especiais	Sem alteração do fluxo (utilização específica)

Quadro 5.11 – Tipos de controlo de fluxo.

5.4 Conclusões

O estudo da eficiência energética dos sistemas de iluminação pública tem de ser feito em termos de quantidade de luz necessária aos locais a iluminar, de forma a evitar luminosidade em excesso, e, simultaneamente, em termos do uso de equipamentos mais eficientes, pelo que esse estudo necessita da intervenção de técnicos especialistas em iluminação.

A IP é encarada como uma competência do poder local, mas em muitos casos as autoridades locais não têm técnicos especialistas nesta área e, consequentemente, é difícil garantir a optimização destes sistemas.

A grande extensão deste problema bem como a informação envolvida justificam que as autoridades nacionais tenham uma estratégia para alcançar a eficiência deste sistema.

Uma possível estratégia para lidar com este problema consiste em criar uma autoridade nacional (grupo ou instituição) para a iluminação pública. Esta autoridade deverá adoptar um guia prático para os sistemas de iluminação pública e, em cooperação com as autoridades locais, deverá inspeccionar a iluminação pública no país.

No entanto, o exposto neste capítulo, é de índole geral. Não devemos esquecer que existem espaços com características especiais que merecem uma análise específica mais cuidada.

6. SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO DAS ZONAS DO PORTO

6.1 A iluminação pública e o meio urbano

Uma das características marcantes da nossa civilização é a concentração da população em centros urbanos.

Segundo os Censos 2001, cerca de 70% da população portuguesa encontra-se em povoações com mais de 3000 habitantes.

Este tipo de distribuição demográfica leva à existência de núcleos urbanos interligados por vias de comunicação.

Com este cenário é compreensível a importância que assume a iluminação pública, seja do espaço urbano, seja da rede viária.

Em ambos os casos os objectivos principais são:

- Prevenção da delinquência e vandalismo;
- Aumento da segurança e eficiência na circulação nocturna;
- Permitir o uso para lazer do espaço público em horas nocturnas.

A iluminação pública é essencial para a qualidade de vida dos cidadãos. É de fundamental importância para o desenvolvimento social e económico dos municípios e constitui-se num dos vectores importantes para a segurança pública dos centros urbanos, no que se refere ao tráfego de veículos e de pedestres e à prevenção da criminalidade. Além disso, valoriza e ajuda a preservar o património urbano, embeleza o bem público e propicia a utilização nocturna de actividades como lazer, comércio, cultura e outras.

Com o incremento do trabalho, lazer e comércio à noite e com a mobilidade cada vez maior da população, o contingente de pessoas que utiliza este período para realização de actividades cresce dia a dia. A possibilidade de ocupação do período nocturno para realização de actividades tornou-se um factor de cidadania e, como consequência, a iluminação pública uma exigência, a ser suprida pelo poder público, dado ser um bem não-excludente e não disputável.



Figura 6.1 – Paços do Concelho da Cidade do Porto iluminado

Embora seja da competência dos municípios a responsabilidade sobre a realização de serviços públicos de interesse local, dentre eles a iluminação pública, ainda existem centros urbanos onde este serviço é exercido pelas concessionárias distribuidoras de energia eléctrica as quais, contratadas pelas municípios, prestam um serviço considerado convencional, limitado à manutenção correctiva dos parques de iluminação. No entanto, o funcionamento desse importante património público, tão relevante para a vida do cidadão no ambiente urbano, ainda deixa muito a desejar em inúmeras cidades portuguesas.

As concessionárias distribuidoras de energia eléctrica, por vezes, focam o serviço de distribuição de energia eléctrica (seu principal negócio) em detrimento dos serviços de operação e manutenção da rede pública de iluminação que passa para segundo plano.

Além disso, as acções levam em conta somente os aspectos de natureza eléctrica, prescindindo dos parâmetros urbanísticos, ambientais, estéticos e luminotécnicos.

A iluminação urbana permite ir muito mais além dos aspectos eléctricos e objectivos

considerados, abrangendo igualmente os subjectivos que requerem o apoio das empresas especializadas no trato da iluminação urbana para surtirem os efeitos desejados.

De modo geral, a iluminação dos centros urbanos deixa muitas lacunas, pois explora, muitas vezes, a iluminação viária com luminárias, lâmpadas e acessórios de tecnologia obsoleta.

Os serviços de iluminação podem ser melhorados, uma vez que actualmente, muitos centros urbanos, só se preocupam com as manutenções correctivas e prescindem dos requisitos técnicos de modernidade, eficiência e qualidade já amplamente disponíveis nos vários mercados.

Poucos municípios são ainda hoje capazes de responder a questões elementares sobre o seu sistema de iluminação, do tipo:

- Quantos pontos de luz efectivamente existem?
- Qual o consumo mensal de energia da iluminação?
- Qual o número de reclamações mensais sobre iluminação?
- Qual o tempo médio de atendimento a uma reclamação?
- Quais os critérios de qualidade do sistema de iluminação?

Essa realidade, porém, está a mudar. Lentamente, alguns gestores municipais estão a dar conta da importância da iluminação como política pública e a partir dessa decisão estão a transformar a vida das suas urbes.

O poder público, começa a entender o que representa a iluminação urbana para o bem-estar e desenvolvimento do município. Cada vez mais as Câmaras Municipais estão a descobrir que investir em iluminação urbana é um bom negócio, pois os retornos são certos, rápidos e visíveis.

Um dos principais objectivos da iluminação é sem dúvida a segurança de pessoas. A escuridão traz um aumento no risco para utilizadores das ruas e vias já que reduz consideravelmente a distância que conseguem visualizar.

Os primeiros estudos relacionados com a influência da iluminação de estradas no número de acidentes nocturnos, foram elaborados na Grã-Bretanha nos anos 50 pelo “Transport and Road Research Laboratory” [B33].

O resultado destes estudos, que se provaram muito fiáveis do ponto de vista estatístico (isto é 99%) indicava uma redução de 50% do número de acidentes, em presença de uma boa iluminação de estradas. Desde então, foram efectuados vários estudos similares em diversos países obtendo-se resultados concordantes. Mais recentemente, um relatório da CIE (CIE nº 93/1992 «Road Lighting as an Accident Countermeasure») analisa detalhadamente os resultados de 62 estudos, de iluminação e acidentes, de quinze países. Cerca de 85% dos resultados – dos quais mais ou menos um terço são estatisticamente significativos – mostram a importância de uma boa iluminação das estradas.

O Ministério Belga das Obras Públicas efectuou também alguns estudos. Um deles, datado de 1973, examina a influência da iluminação na segurança das estradas nacionais belgas. Este estudo analisou os acidentes nocturnos ocorridos em mais de 1125 km de estradas nacionais normais.

De acordo com as estatísticas, deduziu-se que o risco de acidente é 1,6 vezes maior à noite do que de dia, sendo a gravidade dos mesmos bastante superior: o número de vítimas mortais e o número de acidentes que causam ferimentos corporais numa base veículo-quilómetro é respectivamente 5,4 e 2,1 vezes mais elevado.

Pode-se então constatar que a melhoria da percepção visual do condutor influencia favoravelmente não só a redução do número de acidentes como a gravidade dos mesmos.

Em 1981, J.C. Marinier [B33], levou a cabo um estudo intensivo na zona habitacional pertencente à comunidade urbana de Lyon. O estudo debruçou-se exclusivamente sobre

as agressões em pessoas (das quais 75% a 90% ocorriam à noite) que são, devido às suas consequências, as mais significativas numa relação Iluminação/Segurança.

O método adoptado consistiu em associar a cada delito definido, uma data, hora, local e o valor respectivo do nível de iluminação presente. As medições foram complementadas com comentários relativos ao meio ambiente.

A partir dos dados fornecidos por este estudo, estabeleceram a curva da figura 6.2.

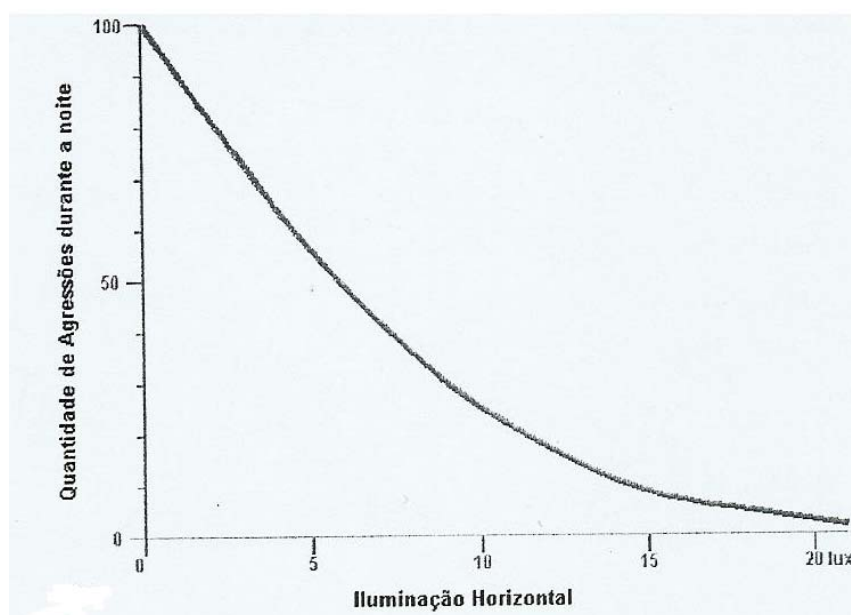


Figura 6.2 – Variação da quantidade de agressões com a iluminação horizontal [B33]

Com uma luminância na ordem dos 13 lux (aproximadamente $1,3 \text{ cd/m}^2$), podemos constatar que o número de assaltos desce consideravelmente, porque os delinquentes são dissuadidos de atacar e também porque a eficiência das forças policiais aumenta. Como os assaltos são, em geral, cometidos nos passeios, é essencial que estes estejam sempre bem iluminados.

Os aparelhos modernos de iluminação pública, de elevado rendimento com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, permitem uma boa iluminação das ruas assegurando boa visibilidade aos condutores e, ao mesmo tempo, uma iluminação nos passeios protegendo os transeuntes contra agressões.

6.2 Caracterização da iluminação pública na cidade do Porto

Geografia

A cidade do Porto ocupa uma área de 41,66 km², com 5,56 km de frente marítima e 10,23 km de frente de rio, sendo 1,57 km² pertencentes a áreas verdes. Nesta área, distribuídos por quinze freguesias, vivem cerca de 265 000 habitantes [B5] que dividem uma infra-estrutura viária de 542,5 km, sendo estes arruamentos utilizados por cerca de 550000 pessoas diariamente.

A via pública é então um factor imprescindível para o funcionamento da cidade, e conta com um parque de iluminação pública com 28190 luminárias.



Figura 6.3 – Cidade do Porto iluminada

Não foi possível analisar a iluminação pública do Porto através das saídas dos vários postos de transformação que a alimentam, dado que a EDP não facultou esses dados, visto que seriam propriedade da Câmara Municipal do Porto e esta instituição apenas cedeu os dados na globalidade (não por saída de PT) pelo que se decidiu fazer a análise por freguesia.

No quadro 6.1 encontram-se algumas características relativas às quinze freguesias existentes no Porto.

	Área	Número de Habitantes	Densidade Populacional
Cedofeita	2,66 km ²	24 784	9 317,3 hab/km ²
Santo Ildefonso	1,28 km ²	10 044	7 846,9 hab/km ²
Lordelo do ouro	3,40 km ²	22 212	6 532,9 hab/km ²
Paranhos	6,67 km ²	48 686	7 299,3 hab/km ²
Sé	0,48 km ²	4 751	9 897,9 hab/km ²
Ramalde	5,68 km ²	37 647	6 627,9 hab/km ²
São Nicolau	0,21 km ²	2 937	13 985,7 hab/km ²
Aldoar	2,36 km ²	13 957	5 914,0 hab/km ²
Foz do Douro	3,00 km ²	12 235	4 078,3 hab/km ²
Miragaia	0,49 km ²	2 810	5 734,7 hab/km ²
Nevogilde	2,00 km ²	5 257	2 628,5 hab/km ²
Vitória	0,31 km ²	2 720	8 774,2 hab/km ²
Massarelos	1,94 km ²	7 756	3 997,9 hab/km ²
Campanhã	8,13 km ²	38 757	4 767,2 hab/km ²
Bonfim	3,05 km ²	28 578	9 369,8 hab/km ²

Quadro 6.1 – Características relativas às freguesias da Cidade do Porto

Consumos de Electricidade nas freguesias do Porto

Em 2006, a potência instalada na cidade do Porto devida à iluminação pública correspondeu a 4932 kW. Deste valor, 554 kW (cerca de 11 %) correspondeu ao consumo dos balastros magnéticos instalados.

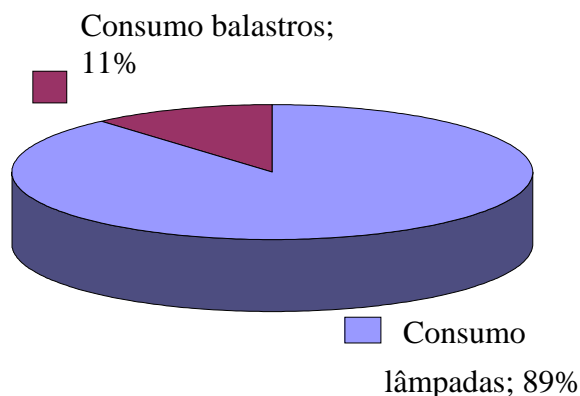


Figura 6.4 – Consumos de energia eléctrica relativos à IP do Porto

Estes valores indicam que, num ano, na cidade do Porto tenham sido consumidos 21074 MW de energia, sendo 2367 GW relativos ao consumo de balastros.

Sendo o preço da energia eléctrica de 0,0805 kW/hora, o custo da energia relativamente à IP do Porto durante o ano em causa foi de 1696457 Euros, dos quais 190544 Euros dizem respeito ao consumo de balastros.

A distribuição do número de luminárias pelas várias freguesias encontra-se no gráfico apresentado na figura 6.5.

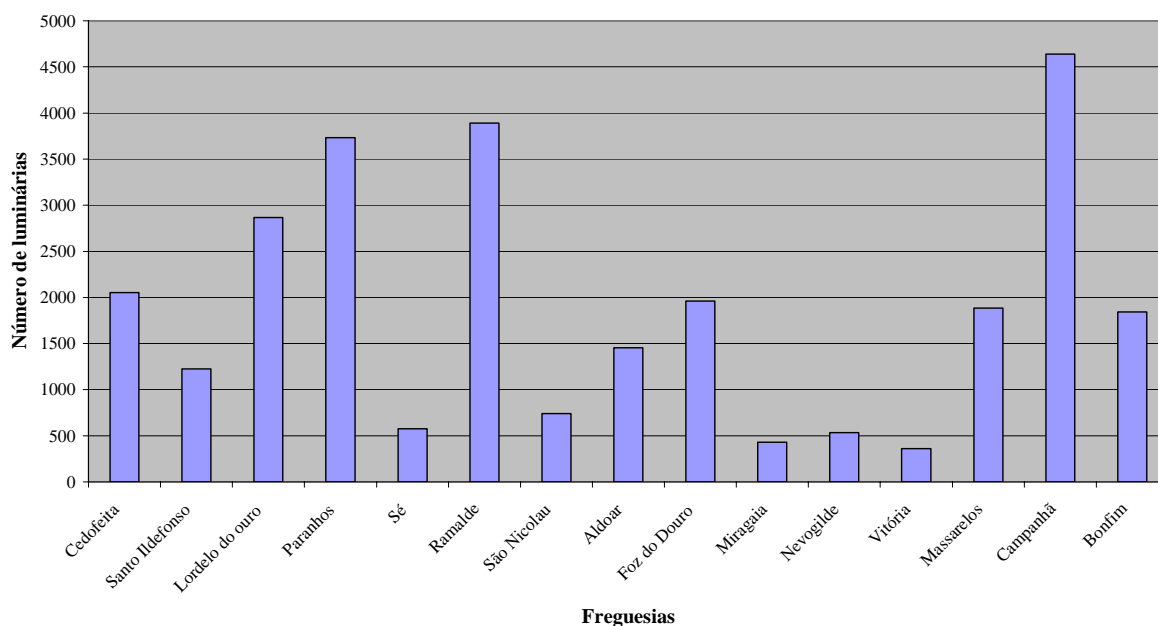


Figura 6.5 – Número de luminárias instaladas nas várias freguesias do Porto

Como podemos verificar, o maior número de luminárias encontra-se na freguesia de Campanhã (4641 luminárias), seguida pelas freguesias de Ramalde (3892 luminárias) e de Paranhos (3733 luminárias). Com o menor número de luminárias instaladas temos a freguesia da Vitória (362 luminárias), seguida pelas freguesias de Miragaia (428 luminárias), Nevogilde (533 luminárias) e Sé (575 luminárias).

Luminárias por km²

Relativamente ao número de luminárias instaladas, por km², os maiores valores verificam-se nas freguesias de São Nicolau (3523,8 luminárias/km²), Sé (1197,9 luminárias/km²) e Vitória (1167,7 luminárias/km²). Com os menores valores deste indicador aparecem as freguesias de Nevogilde (266,5 luminárias/km²), Paranhos (559,7 luminárias/km²) e Campanha (570,8 luminárias/km²).

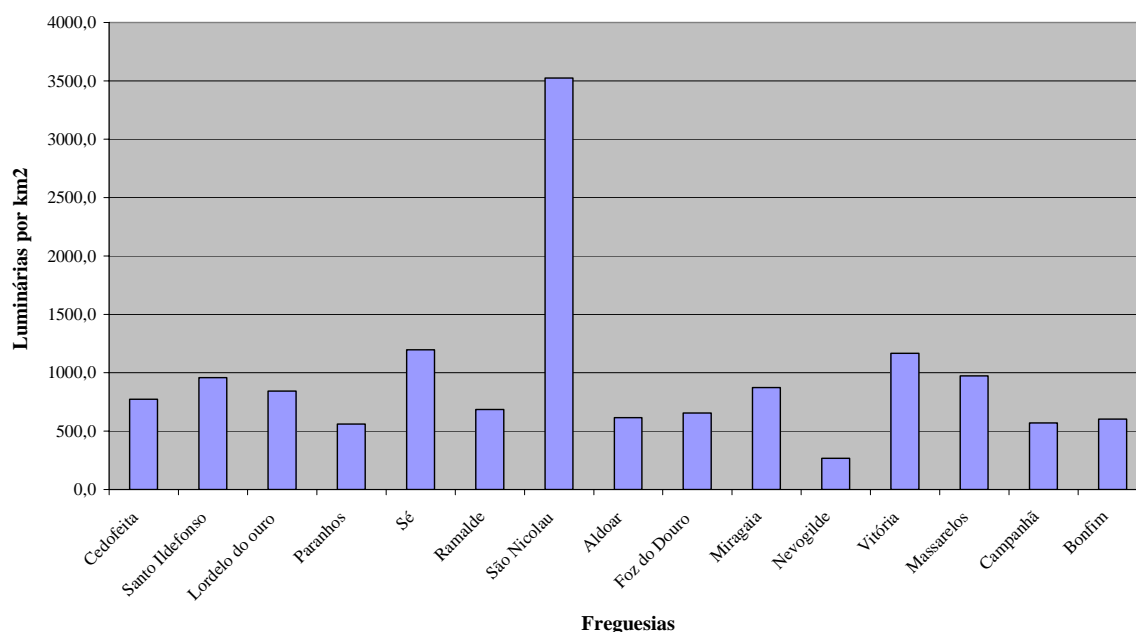


Figura 6.6 – Número de luminárias instaladas, por km², nas várias freguesias do Porto

Luminárias *per capita*

Relativamente ao número de luminárias instaladas, *per capita*, verificamos que os maiores valores deste indicador aparecem na freguesia de São Nicolau, que possui um valor *per capita* de 0,25, seguida pela freguesia de Massarelos com um valor *per capita* de 0,24.

Nas freguesias que apresentam os menores valores, *per capita*, temos o caso da freguesia do Bonfim, com 0,06 luminárias seguida pela freguesia de Cedofeita que apresenta um valor *per capita* de 0,08 luminárias.

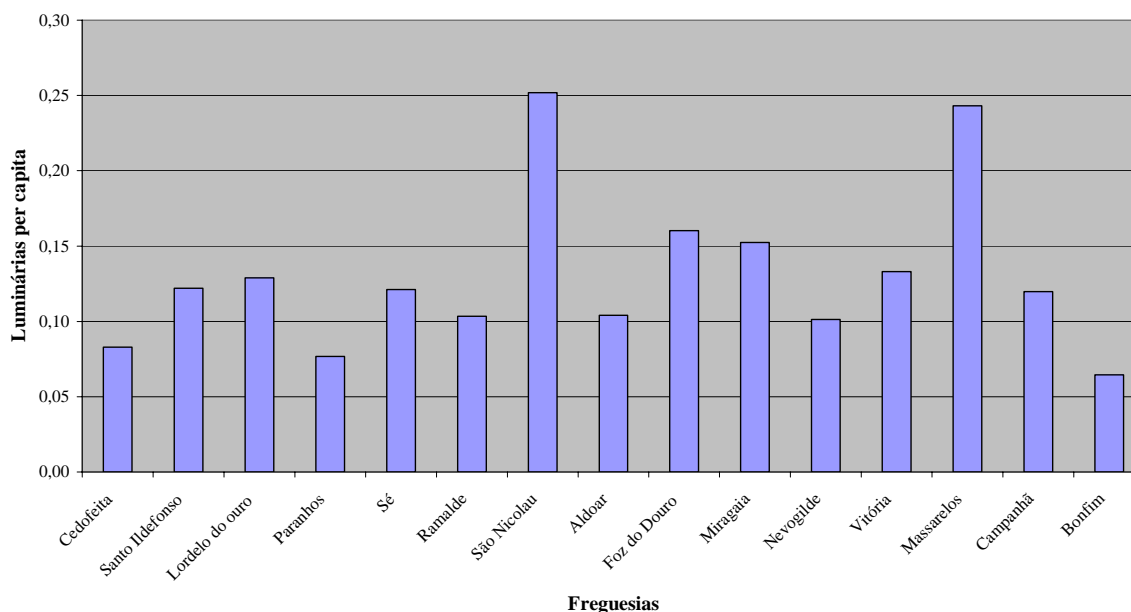


Figura 6.7 – Número de luminárias instaladas, *per capita*, nas várias freguesias do Porto

Luminárias por km², *per capita*

Analisemos agora o número de luminárias instaladas na iluminação pública do Porto, por km², e por habitante.

Como podemos verificar no gráfico apresentado na figura 6.8, o maior valor deste indicador verifica-se na freguesia de São Nicolau que apresenta o valor de 1,2 luminárias por km², *per capita*, valor este excessivamente elevado quando comparado com as restantes freguesias.

Nas freguesias que apresentam os menores valores, por km², *per capita*, do número de luminárias instaladas temos os casos das freguesias de Paranhos e Campanhã que apresentam o valor de 0,01 luminárias instaladas por km², *per capita*, seguidas pelas freguesias de Ramalde e Bonfim, com o valor deste indicador em 0,02.

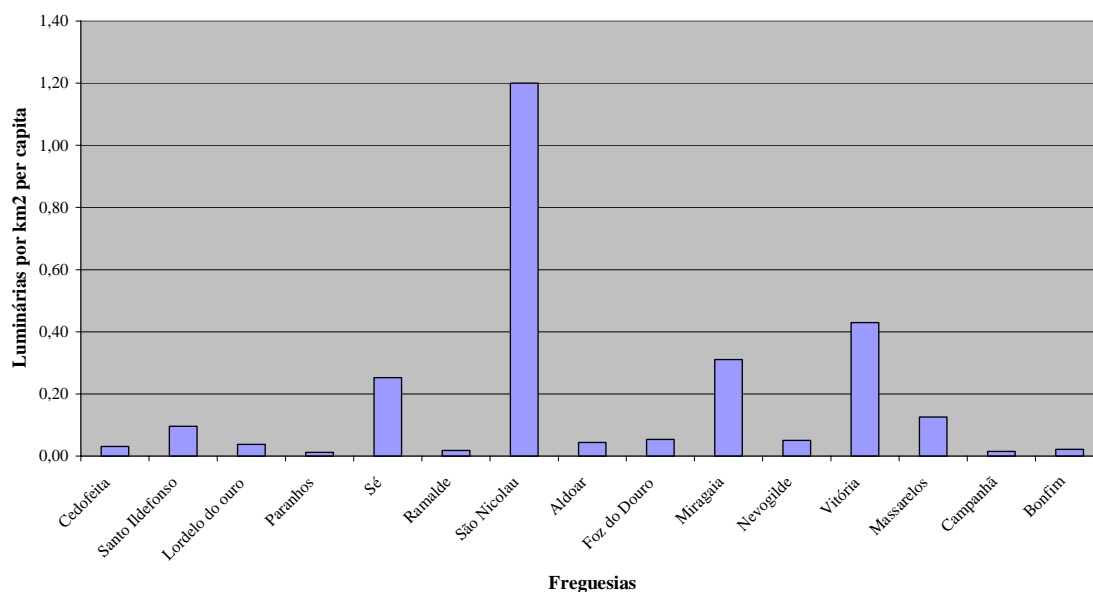


Figura 6.8 – Número de luminárias instaladas, por km² e *per capita*, nas várias freguesias do Porto

Potência Instalada, por freguesia, na IP do Porto

Do total da potência instalada em 2006 na cidade relativamente à IP, cerca de 16% encontra-se na freguesia de Campanhã (810 kW), seguindo-se as freguesias de Paranhos (636 kW) e Ramalde (638 kW), ambas com cerca de 13% da potência instalada. Com valores inferiores, com aproximadamente 2% do total instalado, surgiram as freguesias da Sé (107 kW), São Nicolau (97 kW), Miragaia (74 kW), Nevogilde (83 kW) e Vitória (72 kW).

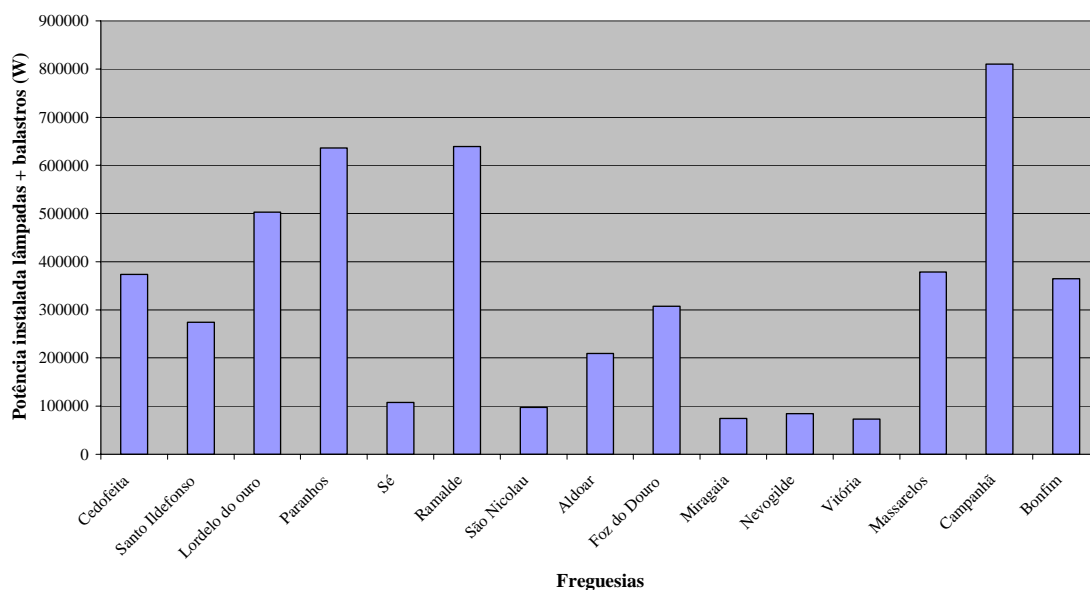


Figura 6.9 – Potência instalada, na IP, nas várias freguesias do Porto

Como podemos verificar, através do gráfico apresentado na figura 6.10, o consumo de energia relativa aos balastros pelas várias freguesias analisadas assumem valores consideráveis (cerca de 11%).

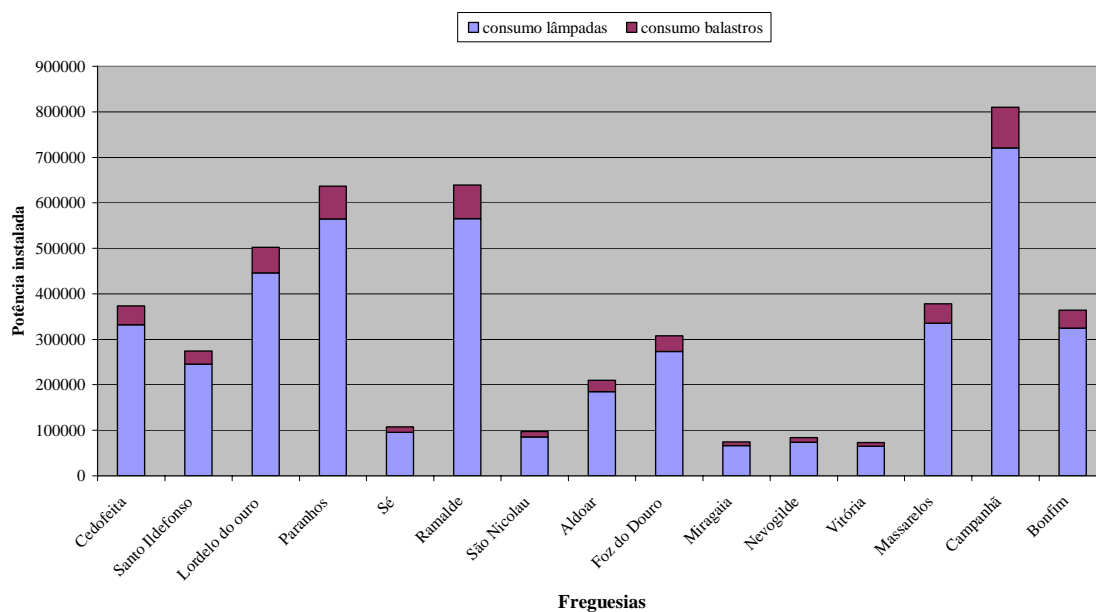


Figura 6.10 – Potência instalada na IP, relativa a lâmpadas e balastros, nas várias freguesias do Porto

O consumo mais elevado, relativo aos balastros, aparece na freguesia de Campanhã, 89 kW instalados (11% do total instalado), seguido de Ramalde e Paranhos, com 74 kW (12% do total instalado) e 72 kW (11% do total instalado) respectivamente. Com os menores consumos aparecem as freguesias da Vitória e de Miragaia, 8 kW e 8 kW respectivamente (ambas com 11% do total instalado).

Estes consumos correspondem a uma facturação anual, por freguesia, que se indica na figura 6.11.

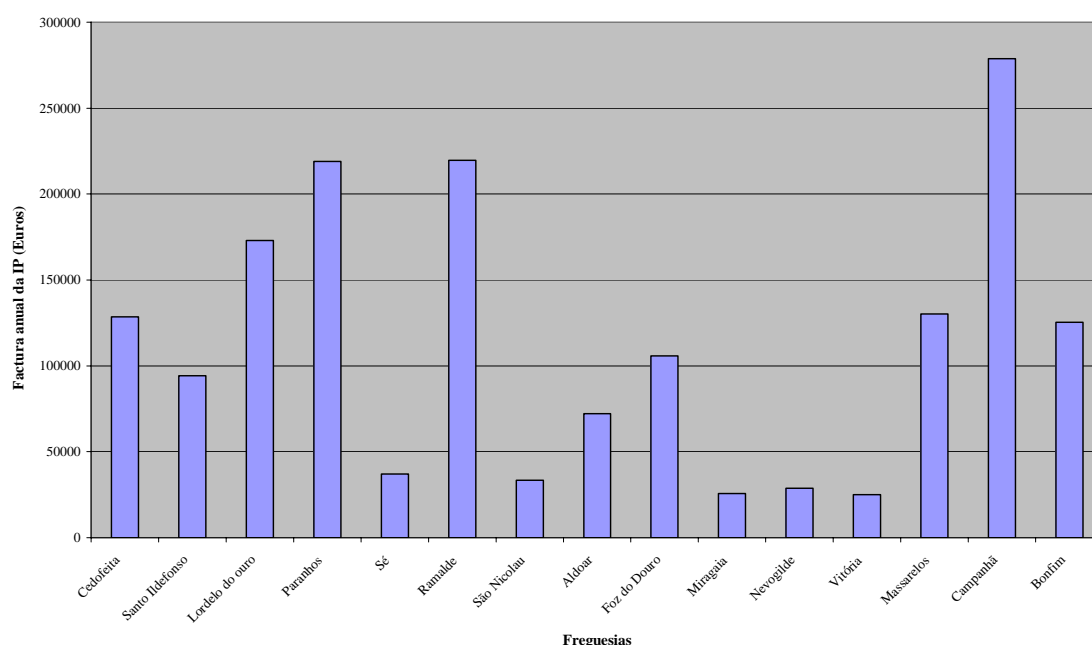


Figura 6.11 – Facturação anual da IP, nas várias freguesias do Porto

Os consumos, relativos aos balastros magnéticos instalados, correspondem a uma facturação anual, por freguesia, que se referencia na figura 6.12.

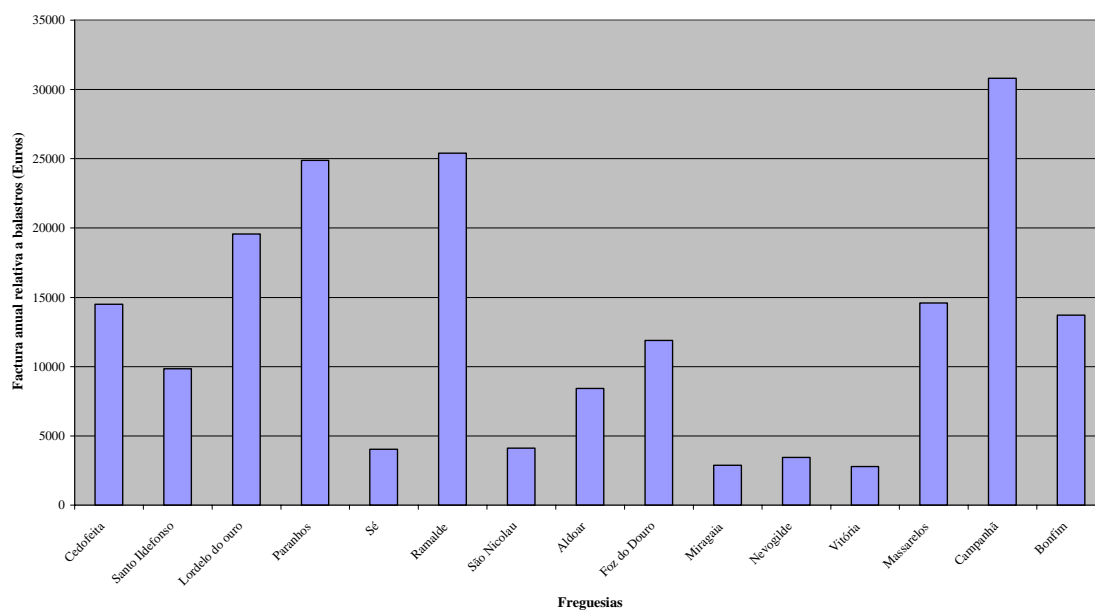


Figura 6.12 – Facturação anual da IP, relativa aos balastros convencionais, nas várias freguesias do Porto

Potência instalada por km²

Relativamente à potência total instalada, por km², os maiores consumos verificam-se nas freguesias de São Nicolau e da Vitória, que apresentam valores de 463 kW e 235 kW por km², respectivamente.

Nas freguesias que apresentam os menores valores, por km², temos o caso da freguesia de Nevogilde e de Aldoar, 42 kW e 88 kW respectivamente.

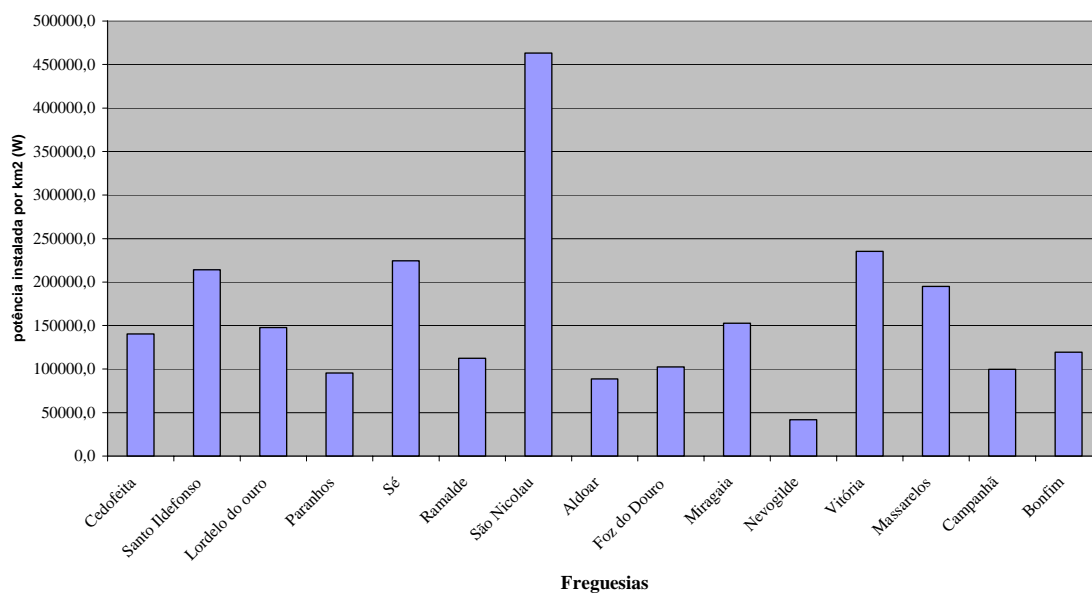


Figura 6.13 – Potência instalada, por km², nas várias freguesias do Porto

Potência instalada *per capita*

Quanto à potência instalada, *per capita*, verifica-se que os maiores valores deste indicador encontram-se nas freguesias de Massarelos, com 48,8 W e São Nicolau, com 33,1 W de potência instalada, *per capita*.

O menor valor deste indicador aparece na freguesia do Bonfim, 12,8 W, *per capita*, seguido pela freguesia de Paranhos com 13,1 W, *per capita*.

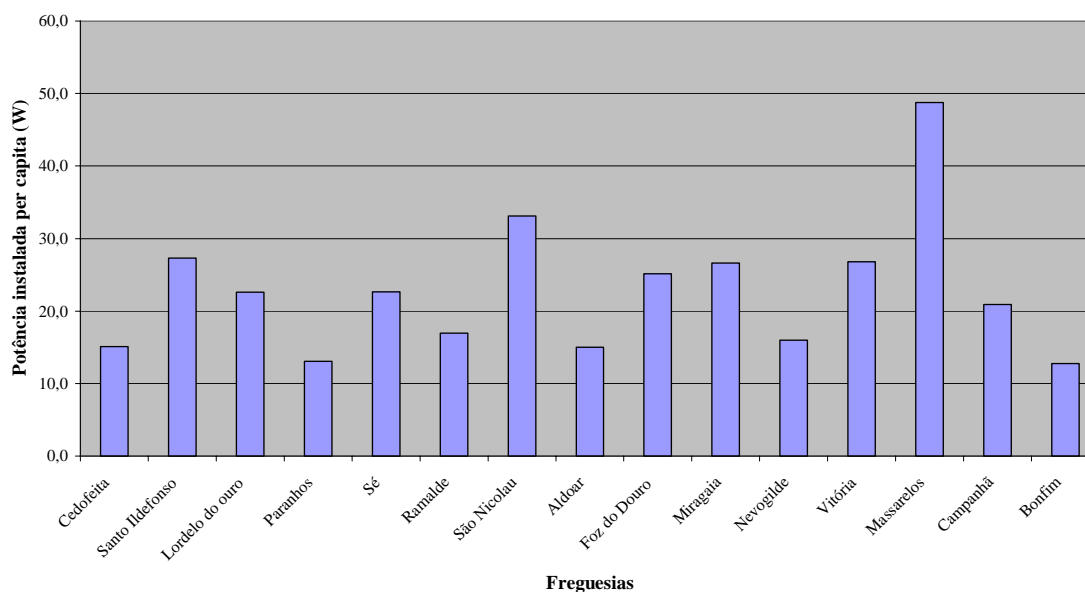


Figura 6.14 – Potência instalada, *per capita*, nas várias freguesias do Porto

Potência instalada por km², *per capita*

Estudando agora a potência instalada por km², *per capita*, nas várias freguesias do Porto verifica-se, mais uma vez, que os maiores valores aparecem nas freguesias de São Nicolau e Vitória, 157,8 W e 86,5 W de potência instalada por km², *per capita*.

Olhando ainda para os menores valores deste indicador podemos verificar que se encontram nas freguesias de Paranhos, 2 W de potência instalada, e Campanhã, com 2,6 W de potência instalada por km², *per capita*.

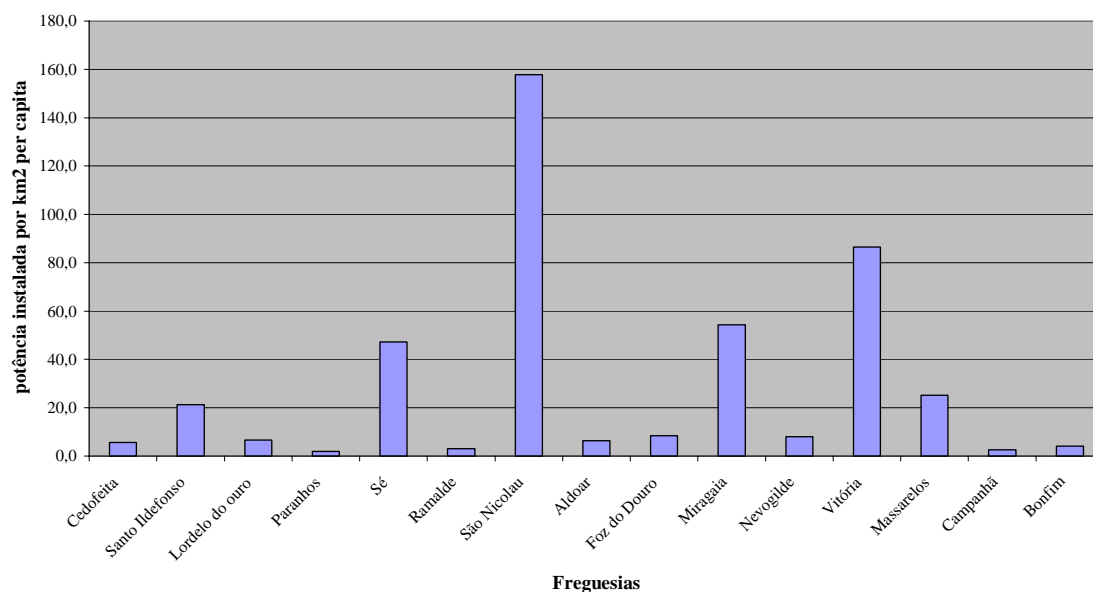


Figura 6.15 – Potência instalada, por km² e *per capita*, nas várias freguesias do Porto

Rendimentos médios das luminárias instaladas

Relativamente aos rendimentos das luminárias instaladas, não se verifica nenhuma situação que requeira uma intervenção urgente.

No entanto, neste estudo, por não ter sido facultado, não se considerou o plano de manutenção das mesmas e, conforme já foi referido, a acção de poeiras origina uma perda de fluxo de 15 a 20 %, em média, por ano.

Ainda assim, considerando que as luminárias estão sempre em óptimas condições, a freguesia que deverá ter o primeiro plano de melhoria relativo a luminárias é a de Miragaia, cujo rendimento médio das luminárias instaladas é de 70,7%. Apesar de não ser um valor extremamente baixo, 36 das 428 luminárias instaladas possuem um rendimento de apenas 30%, o que justifica a sua substituição.

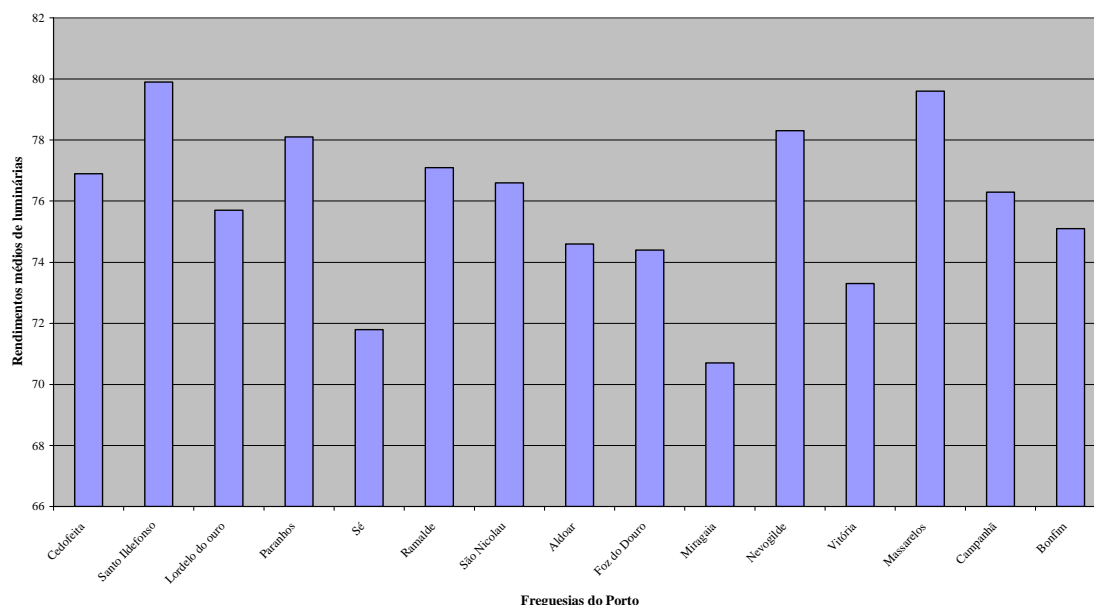


Figura 6.16 – Rendimentos médios das luminárias instaladas nas várias freguesias do Porto

6.3 Propostas de melhoria na iluminação pública na cidade do Porto

Um dos primeiros aspectos a alterar na IP do Porto será a substituição dos balastros magnéticos instalados, por balastros energeticamente mais eficientes, como é o caso dos balastros electrónicos.

Actualmente, só se encontram disponíveis no mercado balastros electrónicos para lâmpadas com potências até 150 W. Assim, nestes casos, a substituição dos balastros convencionais por electrónicos permitirá reduzir a potência instalada nas várias freguesias de acordo com o representado na figura 6.17.

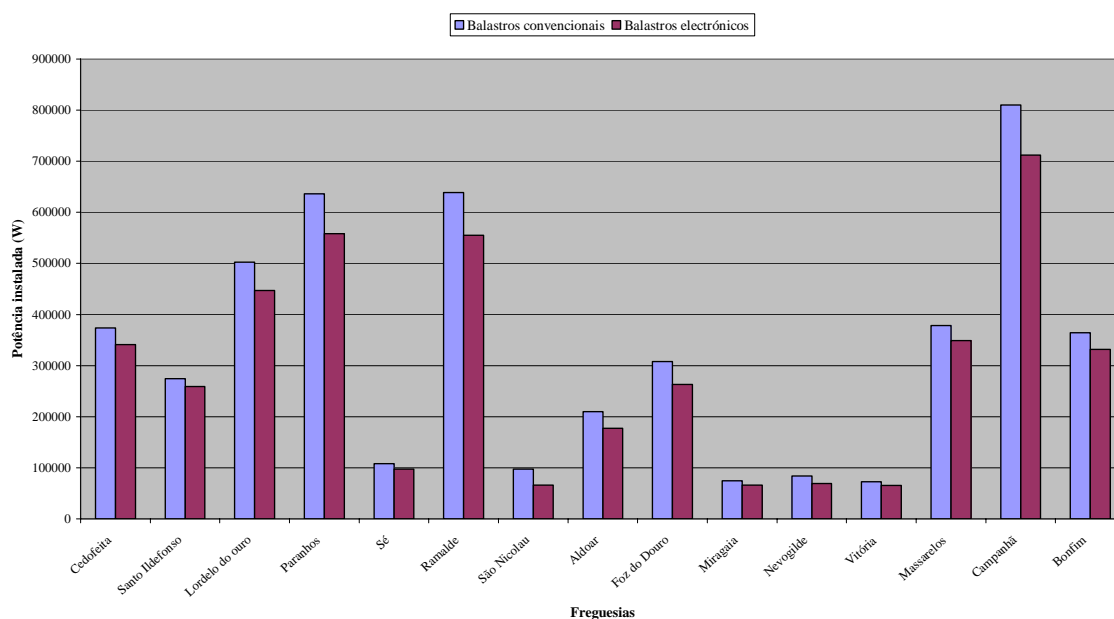


Figura 6.17 – Potência instalada na IP com a utilização de balastos convencionais versus balastos electrónicos nas várias freguesias do Porto

Esta substituição conduzirá a reduções de potência consideráveis nas freguesias estudadas, sendo a freguesia de Campanhã aquela em que essa redução será maior, cerca de 97 kW da potência instalada.

A poupança obtida, num ano, com esta solução é indicada na figura 6.18.

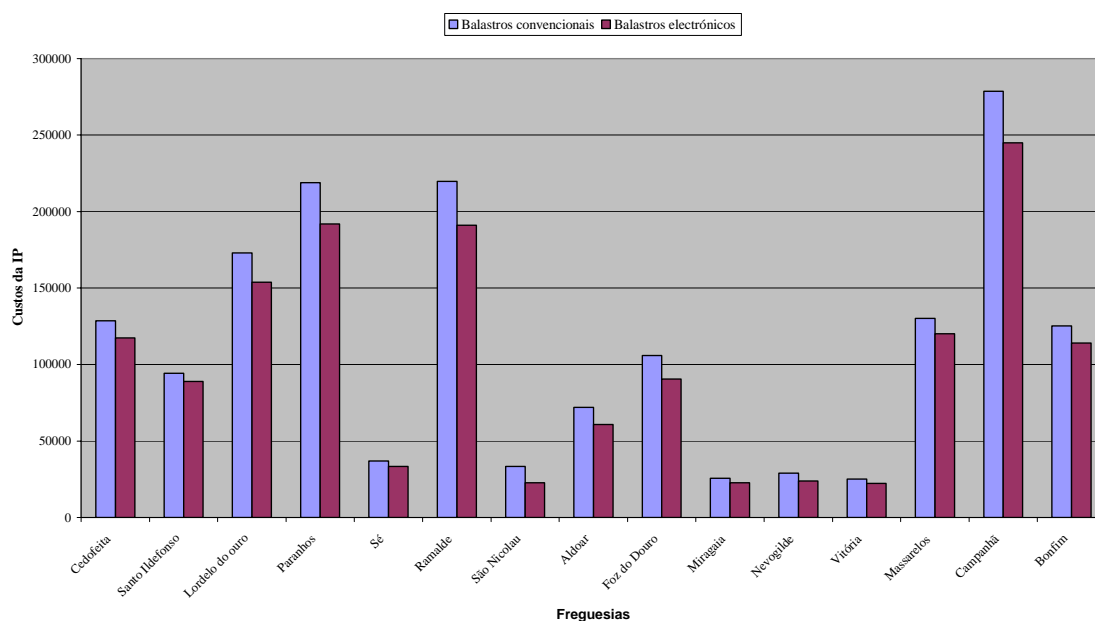


Figura 6.18 – Redução de custos, num ano, com a instalação de balastos electrónicos nas várias freguesias do Porto

A poupança total que se obterá corresponde a 197869 Euros num ano, sendo a freguesia onde a poupança é maior, conforme esperado, a freguesia de Campanhã que permite uma redução de 33684 Euros/ano, seguida da freguesia de Ramalde, que permite uma redução de 28729 Euros/ano

Outro plano de melhoria corresponde a implementar na IP do Porto um controlo por regulação de fluxo luminoso. Os valores apresentados de seguida correspondem a realizar uma extrapolação directa de acordo com o caso prático apresentado no capítulo quatro, relativo a uma rua do Porto, em que com a instalação de um regulador de fluxo num circuito de IP foi possível obter poupanças energéticas de 25%.

Assim, optou-se por este método dado que as ruas do Porto têm aproximadamente as mesmas características. Estes valores pecam, no entanto, por excesso, dado que não será aconselhável uma redução de fluxo nas zonas históricas da cidade. No entanto nestas zonas o consumo de energia é baixo (Sé, Miragaia), pelo que o erro é mínimo.

Assim, a poupança energética nas várias freguesias estudadas, mediante a utilização de reguladores de fluxo luminoso encontra-se representada na figura 6.19.

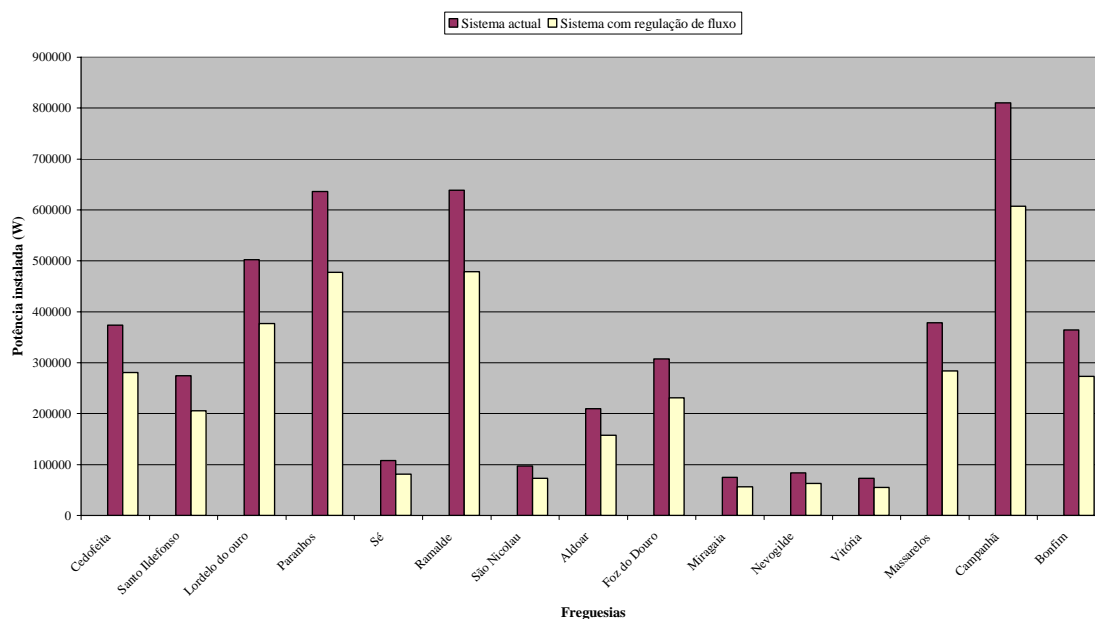


Figura 6.19 – Redução da potência instalada, com a instalação de reguladores de fluxo nas várias freguesias do Porto

Esta poupança energética representa uma redução económica da factura anual de 424175 Euros.

O estudo por freguesia encontra-se representado na figura 6.20.

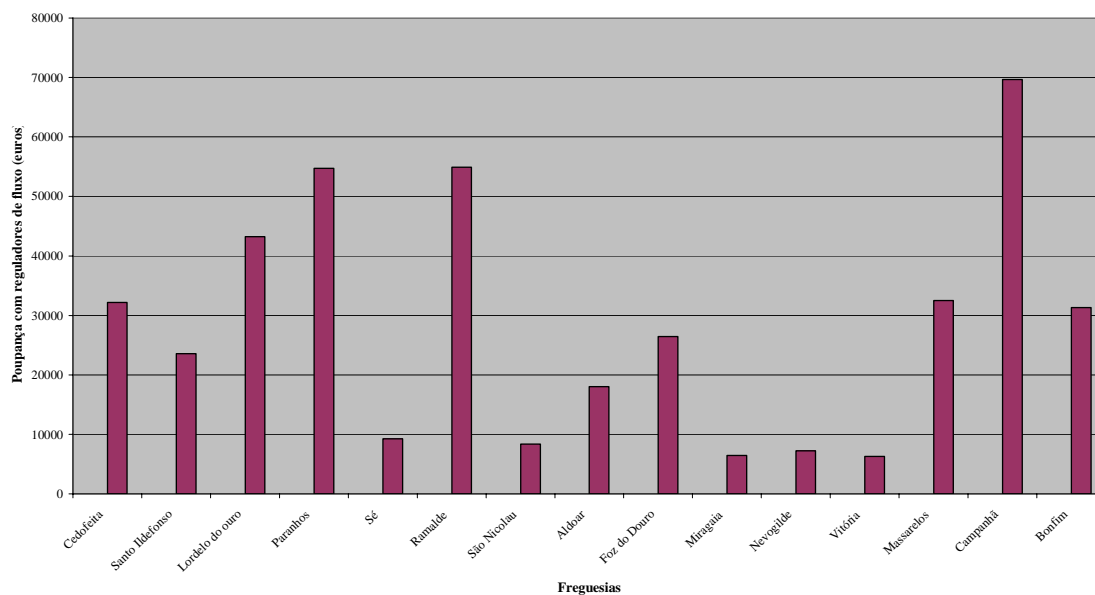


Figura 6.20 – Redução de custos, num ano, com a instalação de reguladores de fluxo nas várias freguesias do Porto

6.4 Conclusões

O estudo efectuado evidenciou a grande diversidade existente entre as freguesias estudadas, relativamente às potências instaladas, e permitiu identificar as zonas em que será prioritário prestar atenção à eficiência do sistema de IP, já que nelas os ganhos potenciais na redução dos consumos são mais elevados.

Relativamente aos rendimentos das luminárias instaladas, não se verifica nenhuma situação que requeira uma intervenção urgente. Apesar do rendimento médio total na cidade ser de 75,9 %, um valor aceitável, ainda se encontram instaladas em toda a

cidade um pequeno número de luminárias cujos rendimentos rondam os 30%, justificando as suas substituições.

No que se refere a rendimentos de luminárias, verificou-se que as freguesias de Miragaia e Sé possuem os valores mais baixos deste indicador, 70,7 % e 71,8 % respectivamente. Nestas freguesias, apesar do consumo energético ser baixo, os maus rendimentos de luminárias encontrados justifica a sua substituição, dado estas zonas estarem inseridas no centro histórico da cidade, o que aconselha um melhoramento na IP a fim de promover o turismo e a animação nocturna.

De uma forma geral ainda existe muito a fazer no sistema de IP do Porto, nomeadamente na adopção de reguladores de fluxo que permitem reduções consideráveis da potência instalada, 1233 kW, e de facturação, 424175 Euros/ano, bem como a substituição dos balastros convencionais por electrónicos, permitindo uma redução de 572 kW de potência instalada e, em termos económicos, de 197869 Euros/ano.

Convém referir que, relativamente à instalação de reguladores de fluxo, o estudo baseou-se, em dados da EDP de 2004, numa utilização média diária da IP de 11,7 horas, e utilizando a tarifa actual da IP que é de 0,0805 Euros/kWh.

7. CONCLUSÕES

Ao longo deste trabalho analisou-se a eficiência energética e luminotécnica de sistemas de iluminação pública, mais concretamente o caso da cidade do Porto. Como tal, apresentaram-se numa estrutura de sete capítulos (introdução e conclusão incluídos), temas relacionados com iluminação pública.

No capítulo dois foi estudada a evolução histórica da iluminação em Portugal, nomeadamente no que respeita à iluminação pública. Constatou-se, na pesquisa feita, serem poucos, e por vezes incongruentes, os documentos referentes ao início da iluminação pública em várias cidades portuguesas.

No capítulo três, para se ter uma noção das zonas em que se deverá intervir com maior urgência, fez-se uma análise qualitativa da situação da IP nas diversas regiões do país, relacionando-se o consumo energético público com alguns parâmetros geográficos e sociais, tais como a área, a população, o nível de qualificação da população e o rendimento familiar. A análise dos resultados revelou que a IP é responsável por uma porção apreciável (8,2%) dos consumos energéticos globais e que as regiões autónomas são as que apresentam um maior peso relativo da IP face ao respectivo consumo global, com particular incidência na Região Autónoma da Madeira, onde o consumo energético da IP atinge 15,7% do consumo total. No que se refere aos consumos por km² e *per capita*, a Madeira, seguida das sub-regiões de Lisboa, Porto e Serra da Estrela, continuou a liderar o cenário nacional, o que justifica que seja prestada uma especial atenção à eficiência energética dos seus sistemas de iluminação pública, já que os ganhos potenciais na redução dos consumos serão grandes.

No capítulo quatro, foram referidas algumas medidas de utilização racional de energia e de eficiência energética na iluminação, tendo sido apresentada uma panorâmica geral dos sistemas de iluminação actual bem como as novas tecnologias de iluminação energeticamente eficientes, já existentes no mercado.

No capítulo cinco e como suporte do trabalho foi desenvolvida e apresentada uma metodologia objectiva de aplicação das recomendações CIE a malhas urbanas, tendo sido identificados parâmetros de caracterização dessas mesmas malhas e estabelecidas classes para as artérias urbanas, ligando depois as características do sistema de iluminação pública a essa classificação, incluindo não só a eficiência luminotécnica mas também a eficiência energética.

Para a classificação das vias urbanas foram considerados como parâmetros característicos: largura das vias, parques de estacionamento, tipo de zona (central, periférica, histórica), densidade de trânsito motorizado e pedestre.

No capítulo seis foi caracterizado o sistema de iluminação pública das várias freguesias do Porto no que se refere à sua eficiência luminotécnica e à sua eficiência energética, verificando-se que a ausência de uma regulamentação nacional da iluminação pública, complementar das normas da CIE, leva a indefinições que encontramos hoje nesta área, permitindo, por vezes, o super dimensionamento ou sub dimensionamento dos sistemas de IP.

Neste capítulo foram referidas propostas de alterações que possam promover o aumento das eficiências luminotécnicas e energéticas na IP do Porto, como sejam o caso da substituição dos balastros magnéticos por electrónicos, permitindo uma poupança energética de 575 kW, e o uso de sistemas de controlo na IP, que permitem uma redução de potência de 1233 kW bem como a vantagem, em termos económicos, das alterações propostas.

7.1 Contribuições do estudo

A situação energética portuguesa é caracterizada por uma forte dependência externa e depende quase exclusivamente, de uma única forma de energia. Este estudo permite, através da adequada implementação de medidas, reduzir a nossa dependência de recursos importados, aumentar a eficiência global e garantir os compromissos assumidos no protocolo de Quioto e na directiva 2001/77/CE evitando gastos futuros com a aquisição de direitos de emissão no mercado internacional de carbono.

Uma gestão e utilização racional de energia poderá redundar em enormes benefícios na economia nacional, através não só da redução da factura energética, mas também do aumento da competitividade no mercado externo.

No ordenamento da iluminação pública indico algumas regras que deverão ser aplicadas no projecto dos sistemas de IP, tentando complementar as omissões existentes nas normas da *Commission International d'Éclairage* bem como as resultantes da inexistência de uma regulamentação nacional da IP.

7.2 Limitações e investigação futura

Um dos objectivos primordiais deste trabalho foi apresentar uma metodologia objectiva de classificação das artérias urbanas, visando o estabelecimento de características luminotécnicas adequadas a cada tipo de via urbana. Penso que este objectivo terá sido cumprido, contudo, o estudo apresentado, é de índole geral. Existem espaços com características especiais que merecem uma análise específica mais cuidada.

O segundo objectivo foi a caracterização do sistema de iluminação pública da cidade do Porto no que se refere à sua eficiência luminotécnica e à sua eficiência energética, incluindo propostas de alterações que promovam o aumento dessas eficiências.

Neste ponto, contudo, ficaram muitas questões para investigação futura.

Uma das limitações do estudo a que me propus foi precisamente a falta de dados relativos à IP do Porto, dado que quer a EDP, quer a C.M. do Porto criaram dificuldades para a sua disponibilização.

Seguidamente apresentam-se alguns tópicos susceptíveis de um estudo mais aprofundado:

- Criação de uma base de dados da IP local, identificando em carta topográfica os pontos de luz e suas características.

- Complementação do estudo com uma investigação aos espaços com características especiais, existentes na cidade, que merecem uma análise específica mais cuidada.

- Analisar, em termos económicos, as alterações propostas, incluindo o “payback” dos investimentos.

- Identificar e fazer a correspondência das diferentes vias existentes na cidade com os tipos de vias expostos no ordenamento da iluminação pública.

Também se deverá alterar a forma como vários agentes económicos olham para a energia, levando-os a encararem-na como um factor de produção que carece de uma gestão rigorosa e eficiente, e procurando:

- Respostas técnicas e tecnológicas, com vista a aumentar a eficiência dos sistemas produtivos do ponto de vista energético;
- Respostas políticas, estruturadas na firme vontade de desenvolver acções de utilização racional de energia;
- Respostas legislativas, como sejam a intervenção do estado sob a forma de regulamentação e de apoios financeiros;
- Respostas estruturais, como a criação de organismos adequados e regionalizados que apoiem os consumidores.

8. BIBLIOGRAFIA

Fontes Computorizadas

[A 1] ÁREA LIMA – AGÊNCIA REGIONAL DE ENERGIA E AMBIENTE DO VALE DO LIMA – *Ilumina Lima*. [Consult. 3 de Março de 2007]. Disponível em www.valima.pt/arealima.

[A 2] CIE, COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE Disponível em www.cie.co.at/cie/

[A 3] CIFRÃO, Jornal de economia (2007) – *Iluminação pública solar em Cabo Verde* 2 DE MARÇO DE 2007 ECONOMIA 11 disponível em www.asemana.cv.

[A 4] DEURSEN, Van – *Philips lança campanha de sensibilização para potenciar utilização de energia eficiente e ecológica*, 18 de Dezembro de 2006, Rendered with sIFR 3, revision 230. [Consult. 20 de Fevereiro de 2007]. Disponível em www.philips.pt

[A 5] INE – *Consumo de Energia Eléctrica por Concelho, Segundo o Tipo de Consumo (2003)*. [Consult. 17 de Janeiro de 2006]. Disponível em www.ine.pt.

[A 6] INE – CONTAS NACIONAIS/REGIONAIS – BASE 1995 E ESTIMATIVAS DA POPULAÇÃO RESIDENTE – *Rendimento Disponível Bruto das Famílias, Per Capita e por Região NUTS II*. [Consult. 17 de Janeiro de 2006]. Disponível em www.ine.pt.

[A 7] INE – *Estimativas de População Residente, Portugal, NUTTS II, NUTS III e Municípios (2004)*. [Consult. 12 de Janeiro de 2006]. Disponível em www.ine.pt.

[A 8] INE – *Rendimento Disponível Bruto das Famílias, por Região NUTS I e II (1995 – 2002)*. [Consult. 5 de Fevereiro de 2006]. Disponível em www.ine.pt.

[A 9] INE – *Rendimento Primário Bruto das Famílias, por região NUTS I e II (1995 – 2002)*. [Consult. 5 de fevereiro de 2006]. Disponível em www.ine.pt.

[A 10] INE – RESENCEAMENTO GERAL DA POPULAÇÃO E HABITAÇÃO – *População Residente Segundo o Nível de Ensino Atingido e Sexo e Taxa de Analfabetismo (1991 e 2001)*. [Consult. 15 de Janeiro de 2006]. Disponível em www.ine.pt.

[A 11] MECI – GESTÃO DE PROJECTOS DE ENGENHARIA, S.A. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – *Iluminação, Diagnósticos Eléctricos*. [Consult. 20 de Fevereiro de 2007]. Disponível em www.meci.pt.

[A 12] MELO, Carla; LIMA, Rui – *Perfil Económico e Nível de Vida das Famílias Residentes na Região Norte*. Estatísticas e Estudos Regionais. [Consult. 15 de Janeiro de 2006]. Disponível em www.ine.pt.

[A 13] RAMOS, Pedro Nogueira – *Estimativas do PIB Per Capita para os Concelhos do Continente Português*. [Consult. 17 de Janeiro de 2006]. Disponível em www.ine.pt.

Bibliografia

- [B 1] ALMEIDA, Jorge – *Gestão de Energia – Medidas de Utilização Racional de Energia e de Eficiência Energética* (3º Trimestre 2005). Porto: O Electricista, pp. 129-131.
- [B 2] BJELLAND, Eirik; KRISTOFFERSEN, Tom (2005) - *Intelligent street lighting in Oslo, Norway*. Maio de 2005.
- [B 3] BOGAERT, Jean-Charles – *A Luz, Nova Fonte de Poluição?* (4ª Trimestre 2005). Porto: O Electricista, pp. 85-87.
- [B 4] CABRITA, Jorge Castilho – *Jablochkov, Swan e a Luz Eléctrica*. (2ª Trimestre 2004). Porto: O Electricista, pp. 27.
- [B 5] CÂMARA MUNICIPAL DO PORTO (2003) – *Plano Director Municipal*. Porto: Câmara Municipal do Porto.
- [B 6] CARDOSO (2000) – *Fiat lux*
- [B 7] COMMISSION INTERNATIONAL D'ÉCLAIRAGE (1995) – *CIE 115: Technical Report, Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic*. [S.l.]: CIE – Journal.
- [B 8] CORDEIRO, Bruno (2003) – *Por uma observação cuidada da evolução das paisagens tecnológicas –IN APHES, Associação Portuguesa de História Económica e Social* 7- 8 Nov 2003
- [B 9] CRATO, Nuno (2002) – *Poluição Luminosa*. Revista Expresso, 15 de Junho.
- [B 10] DECO, Fernando (2002) – *Efficiency in Public Lighting*. Municipalidad de Rosario: Ingenieria Iluminatului.

[B 11] DIAS, Custódio – *Luminotecnia – A Luz e a Cor*. (3^a Trimestre 2004) Porto: O Electricista, pp. 20-22.

[B 12] DIAS, Custódio – *Luminotecnia – Lâmpadas de Vapor de Mercúrio*. (1^a Trimestre 2007). Porto: O Electricista, pp. 18-21.

[B 13] DIAS, Custódio (1999) – *Técnicas de Iluminação*. Porto: Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

[B 14] HONÓRIO, Lívio (1997) – *Processos Mais Eficientes e a Utilização da Electricidade*. Lisboa: Grupo EDP/Centro para a Conservação de Energia.

[B 15] INDALUX, Iluminação Técnica (2006) – Catálogo Geral 2006. Valladolid: Gráficas Verona. Catálogo.

[B 16] INSTITUTION OF LIGHTING ENGINEERS (2006) – *Street Lighting- Invest to Save*. [S.l.]: UK Lighting Board, County surveyors' Society (CSS).

[B 17] LOPES, Sérgio Barone (2002) – *Eficiência Energética em Sistemas de Iluminação Pública*. Dissertação de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia. São Paulo: Universidade de São Paulo.

[B 18] LUMINOTECNIA (2002) – Control y Aplicación de la luz. [S.l.]: [s.n.].

[B 19] MARTINS, António – *Luz branca – indicador de segurança e conforto em iluminação pública, associado a novas evoluções na concepção de reflectores*. (2^o Trimestre 2004). Porto: O Electricista, pp. 80-82.

[B 20] MATOS, Ana (s.d.) (2000) – *Aspectos técnicos, empresariais e sociais do abastecimento de gás e electricidade à cidade de Évora (1890-1942)* – Texto apresentado no Colóquio “O século XX em Évora”

[B 21] MATOS, Ana Cardo (s.d.) – Departamento de História/CIDEHUS – *A Internacionalização de Capitais e Transferência de Tecnologia na Criação de Infra-Estruturas Urbanas: a Companhia do Gás e a Sociedade Energia Eléctrica do Porto (1889-1920)*. Évora: Universidade de Évora.

[B 22] MATOS, Ana Cardoso de [et al.] (2004) – *A Electricidade em Portugal – Dos Primórdios à 2ª Guerra Mundial*. [S.l.]: EDP/ Museu da Electricidade.

[B 23] MATTOS, Miguel Sampaio de – *Iluminação Sustentável*. (2ª Trimestre 2006). Porto: O Electricista, pp. 107-110.

[B 24] MILLS, Evan - *Global Lighting: 1000 Power Plants*- IAEEL, International Association for Energy- Efficient Lighting, newsletter 1-2/00

[B 25] MOREIRA, Vinicius de Araújo (1996) – *Iluminação Eléctrica*. [S.l.]: Editora Edgard Blucher.

[B 26] MOTA, José – *Iluminação interna: conceitos e métodos*. (2º Trimestre 2004). Porto: O Electricista, pp. 66-71.

[B 27] NAVIGANT CONSULTING (2002) – *National Lighting Inventory and Energy Consumption Estimate*. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Building Technologies Program. Setembro de 2002.

[B 28] NYSERDA (2002) – *How-to Guide to Effective Energy-Efficient Street Lighting*. New York: New York State Energy Research and Development Authority.

[B 29] OSRAM PORTUGAL – *Balastros Electrónicos – Economia de Energia e Qualidade na Iluminação*. (3ª Trimestre 2006). Porto: O Electricista, pp. 114-115.

[B 30] POULTON, Kevin; GREENHOUSE, Deni (2005) – *Public Lighting in Australia – Energy Efficiency Challenges and Opportunities*. [S.l.]: Australian Greenhouse Department of the Environment and Heritage.

- [B 31] SCHRÉDER, Grupo GIE (2000) – *Mobiliário Luz II*. [S.l.]: Construções Eléctricas Schröder. Catálogo.
- [B 32] SCHRÉDER, Grupo GIE (2005) – *Iluminação Funcional*. [S.l.]: Construções Eléctricas Schröder. Catálogo.
- [B 33] SCHRÉDER, Grupo GIE (2003) – *Seminário de iluminação*. [S.l.]: Construções Eléctricas Schröder.
- [B 34] SILVA, Germano (2005) – *Passeios pelo Porto de Outros Tempos*. 2ª ed. Cruz Quebrada: Casa das Letras.
- [B 35] SIMÕES, Ilídio Mariz – *As Primeiras Instalações de Produção e Distribuição de Energia Eléctrica em Portugal – A Luz Eléctrica em Vila Real*. (Abril 1992). [S.l.]: Electricidade, pp. 124-132.
- [B 36] SIMÕES, Ilídio Mariz – *As Primeiras Instalações de Produção e Distribuição de Energia Eléctrica em Portugal – A Luz Eléctrica na Guarda*. (Outubro 2002). [S.l.]: Electricidade, pp. 332-338.
- [B 37] SIMÕES, Ilídio Mariz – *As Primeiras Instalações em Portugal de Serviço Público para Produção e Distribuição de Energia Eléctrica – Entre 1888 e 1910*. (Janeiro 1992). [S.l.]: Electricidade, pp. 5-9.
- [B 38] THE CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (1996) – *Car Park Lighting – Dilemma Solve*. Factfile Nr. 2, Maio.
- [B 39] THE CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS (2003) – *Environmental Considerations for Exterior Lighting*. Factfile Nr. 7, Outubro.
- [B 40] TIEN, Nguyen van [et al.] (s.d.) - *Lighting control in street lighting – An overview of the state of the art in technology and application*.

[B 41] XXV SIMPOSIUM DE ALUMBRADO (1999) – *Resplandor del Cielo Nocturno Mesa Redonda: Contaminacion Luminosa*. Lugo: Luces CEI, Outubro.

[B 42] ZISSIS, Georges [*et al.*] (2005) - *Implementing a High Quality and Energy Efficient Urban Lighting Scheme within a European Energy Saving Program*. Maio de 2005.