



**INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**  
Universidade Técnica de Lisboa

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**  
**APLICADA A EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS**

**LEANDRO JORGE DE OLIVEIRA CORCEIRO**

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
**ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES**

**JÚRI**

Presidente: Prof. Gil Domingos Marques  
Orientador: Prof. João Esteves Santana  
Co-Orientador: Prof.<sup>a</sup> Maria José Resende  
Vogais: Eng. Santos Joaquim  
Eng. Carlos Oliveira

**SETEMBRO 2008**

## **Agradecimentos**

O autor agradece todas as contribuições e apoios cedidos para a elaboração desta dissertação, sem os quais não poderia ter atingido o rigor necessário a um estudo deste tipo.

À empresa Graucelsius, nomeadamente ao Eng. Carlos Oliveira e Eng. Vasco Pedroso que propuseram este desafio e acreditaram na qualidade da execução deste projecto, proporcionando uma experiência enriquecedora pessoal e profissionalmente.

Ao Prof. Fernando Silva pela disponibilidade inicial em analisar o tema e no encaminhamento dentro do Instituto Superior Técnico para a equipa docente especializada na matéria em estudo.

Ao Prof. João Santana pelo incentivo desde o primeiro minuto, contribuindo com ideias, metodologias, e literatura provenientes da sua vasta experiência.

À Prof. Maria José Resende pela atenta análise do desenvolvimento do trabalho, mantendo claro o objectivo final de acordo com o planeamento acordado.

Ao Eng. Vital Vilarinho que se disponibilizou as informações possíveis e o acesso ao edifício que serviu de base de estudo a esta dissertação.

À minha esposa e filho que, apesar de desatendidos pelo tempo que o desenvolvimento do tema me tomou, nunca deixaram de me apoiar e incentivar a fazer mais e melhor.

## Resumo

Na última década, o sector dos edifícios, apresentou a mais alta taxa de crescimento do consumo de energia de entre todos os sectores da economia nacional, nomeadamente, o subsector dos serviços, traduzida em valores médios da ordem dos 12% por ano. No contexto internacional é consensual a necessidade reduzindo os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa.

Este trabalho aprofunda as metodologias que permitem a redução do consumo energético nos grandes edifícios de serviços sem depreciar a qualidade dos mesmos e conforto dos utilizadores.

Na primeira parte deste trabalho é visada a nova legislação no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética, sucedendo-se o tema da iluminação, apresentando conceitos básicos de luminotecnia e simulações de iluminação para áreas técnicas, arquivos, átrio de entrada, circulações, escadas, estacionamento, gabinetes e instalações sanitárias, cujo objectivo é preencher a lacuna da legislação nacional no que se refere a este tema.

As alimentações diversas através de tomadas de energia eléctrica, nomeadamente as cargas informáticas, serão também abordadas, concluindo que o seu peso percentual é superior ao da iluminação. Sumariamente, o tema da climatização será também alvo de estudo.

Por último, através de uma análise das facturas de electricidade e gás de um edifício de serviços real, é apresentada uma estimativa da distribuição de energia mensalmente utilizada por cada uma das anteriores cargas, concluindo que a iluminação apresenta um consumo equivalente ao da climatização e que a posição de destaque pertence às cargas informáticas.

**Palavras-chave:** eficiência energética, iluminação, cargas informáticas, climatização, edifícios de serviços.

## Abstract

In the buildings sector, the last decade resulted in the highest growth tax of the energy consumptions when compared to all the other sectors of the national economy. In the subsector of the services the power consumptions of buildings increased an average of 12% per year. In an international context it is recognized that to prevent climate change it is necessary to improve the quality of the buildings, reducing its energy consumptions that contribute to the increase of the greenhouse effect.

This work attends to study the methodologies that could allow a reduction in the energy consumed on services buildings without downgrade the quality of the systems and comfort of the users.

The new Portuguese legislation is summarily mentioned in the first part of this work under the topic of the Energy Certification National System (SCE in Portuguese), following illumination issue with the explanation of basic lighting concept design and the simulation of some services buildings rooms, such as: technical areas, archives, entrance hall, corridors, stairs, parking lots, offices and toilets, with the objective of filling the light systems gap of the national legislation.

The other electrical power consumer, such as computers, will be also considered, concluding that its share is superior to the one taken by illumination. Summarily, climatization subject will also be study.

Finally, through an analysis of the electrical and gas bills of a real services building, the energy used, monthly, by each one of previous loads is presented, concluding that the illumination and the climatization have equivalent contribute to the total amount of energy consumed and that the prominence position belongs to the computers loads.

**Key-words:** energy efficiency, illumination, computer load, climatization, services buildings.

*“Se 50% do fenómeno do aquecimento global resulta do emprego de combustíveis fósseis nos edifícios, mais de metade dos restantes 50% é gerado no transporte de pessoas e mercadorias entre os edifícios.”*

in “Construção Sustentável” – Quercus

# Índice

<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>vii</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>viii</b>
<b>Lista de símbolos / siglas</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1. Consumidores de energia eléctrica .....	2
<b>2. Legislação e incentivos</b> .....	<b>3</b>
2.1. Decreto-Lei n.º 78/2006 .....	4
2.2. Decreto-Lei n.º 79/2006 .....	4
2.3. Decreto-Lei n.º 80/2006 .....	6
2.4. As Normas EN 12464-1 e EN 12464-2.....	6
2.5. Plano de Promoção da Eficiência no Consumo .....	7
<b>3. Iluminação</b> .....	<b>8</b>
3.1. Conceitos teóricos .....	8
3.1.1. Intensidade luminosa, fluxo luminoso e eficiência luminosa.....	8
3.1.2. Iluminância .....	9
3.1.3. Brilho ou Luminância.....	10
3.1.4. Índice de restituição cromática.....	10
3.2. Opções tecnológicas da iluminação .....	11
3.2.1. Lâmpada fluorescente.....	11
3.2.2. LED.....	12
3.2.3. Sistema ADASY .....	13
3.2.4. Sistemas de controlo de iluminação .....	14
3.3. Iluminação em edifícios de escritórios.....	16
3.3.1. Áreas Técnicas.....	18
3.3.1.1. Análise da simulação das áreas técnicas.....	21
3.3.1.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	22
3.3.2. Arquivo .....	23
3.3.2.1. Análise da simulação dos arquivos .....	24
3.3.2.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	25
3.3.3. Átrio de Entrada .....	26
3.3.3.1. Análise da simulação do átrio.....	27
3.3.3.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	28
3.3.4. Circulações.....	29
3.3.4.1. Análise da simulação das circulações.....	30
3.3.4.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	31
3.3.5. Escadas.....	31
3.3.5.1. Análise da simulação das escadas .....	33
3.3.5.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	33
3.3.6. Estacionamento.....	34
3.3.6.1. Análise da simulação do estacionamento .....	37
3.3.6.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	38
3.3.7. Gabinetes .....	39
3.3.7.1. Análise da simulação dos gabinetes .....	45
3.3.7.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	46
3.3.8. Instalações Sanitárias .....	48
3.3.8.1. Análise da simulação das instalações sanitárias .....	50
3.3.8.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	51
<b>4. Tomadas de energia eléctrica</b> .....	<b>52</b>
4.1. Situação encontrada no edifício .....	52
4.1.1. Consumos eléctricos estimados .....	53
4.2. Alterações ao edifício.....	54
<b>5. Climatização</b> .....	<b>56</b>
5.1. Escolha de equipamentos.....	56
5.2. Equipamento instalado no edifício.....	57

<b>6. Consumos reais do edifício .....</b>	<b>59</b>
<b>7. Conclusão.....</b>	<b>62</b>
<b>8. Bibliografia .....</b>	<b>66</b>

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Exemplo retirado da pág. 2457 do Diário da República n. 67 – 04/04/2006 (RSECE).....	5
Figura 3.1 – Intensidade luminosa (candela) [5].....	8
Figura 3.2 – Fluxo luminoso (lúmen) [5] .....	8
Figura 3.3 – Iluminância (lux) [5].....	9
Figura 3.4 – Luminância [5] .....	10
Figura 3.5 – Diferença de diâmetro das lâmpadas fluorescentes tubulares [7] .....	12
Figura 3.6 – Princípio de funcionamento do sistema ADASY [11] .....	13
Figura 3.7 – Filme electro-crómico [11] .....	14
Figura 3.8 – Aparelho de iluminação ADASY [11].....	14
Figura 3.9 – Interligação e gestão de sistemas DALI [12].....	15
Figura 3.10 – Área Técnica 20x20 m (imagem virtual).....	18
Figura 3.11 – Área Técnica 15x5 m (imagem virtual).....	18
Figura 3.12 – Localização da iluminação da área técnica 10x10 m.....	19
Figura 3.13 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m.....	19
Figura 3.14 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m com luminárias a 90° .....	20
Figura 3.15 – Área Técnica 2.09 e 2.17 do edifício em estudo .....	22
Figura 3.16 – Arquivo (imagem virtual).....	23
Figura 3.17 – Aparelhos de iluminação paralelos às prateleiras de arrumação do arquivo.....	24
Figura 3.18 – Aparelhos de iluminação perpendiculares às prateleiras de arrumação do arquivo .....	24
Figura 3.19 – Planta da sala de arquivo do edifício em estudo.....	25
Figura 3.20 – Átrio de Entrada (imagem virtual).....	26
Figura 3.21 – Localização das luminárias no átrio de entrada .....	26
Figura 3.22 – Átrio de entrada com luz natural (imagem virtual).....	27
Figura 3.23 – Planta do átrio de entrada no edifício em estudo .....	28
Figura 3.24 – Circulação não recta (imagem virtual).....	29
Figura 3.25 – Circulação recta (imagem virtual).....	29
Figura 3.26 – Posição dos apliques de parede na circulação não recta .....	29
Figura 3.27 – Posição dos apliques de parede na circulação recta .....	29
Figura 3.28 – Planta da circulação de piso do edifício em estudo .....	31
Figura 3.29 – Escadas (imagem virtual) .....	32
Figura 3.30 – Planta das escadas do edifício em estudo .....	33
Figura 3.31 – Estacionamento automóvel (imagem virtual) .....	35
Figura 3.32 – Zonas de cálculo de estacionamento .....	35
Figura 3.33 – Localização das luminárias no estacionamento .....	35
Figura 3.34 – Luminárias do estacionamento a 90° .....	35
Figura 3.35 – Rampa (imagem virtual) .....	36
Figura 3.36 – Localização das Luminárias na rampa .....	36
Figura 3.37 – Localização das luminárias a 90° na Rampa .....	36
Figura 3.38 – Planta de projecto da circulação e estacionamento do edifício em estudo .....	38
Figura 3.39 – Gabinete 1 pessoa (imagem virtual).....	40
Figura 3.40 – Gabinete 2 pessoa (imagem virtual).....	40
Figura 3.41 – Gabinete 4 pessoa (imagem virtual).....	40
Figura 3.42 – <i>Open Space</i> (imagem virtual).....	40
Figura 3.43 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 1 pessoa .....	40
Figura 3.44 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 2 pessoas .....	41
Figura 3.45 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 4 pessoas .....	41
Figura 3.46 – Distribuição da iluminação do <i>Open Space</i> .....	41
Figura 3.47 – Áreas de trabalho do gabinete para 2 pessoas.....	42
Figura 3.48 – Área de trabalho considerada no <i>Open Space</i> .....	42
Figura 3.49 – Planta de gabinete individual do edifício em estudo .....	46
Figura 3.50 – Planta do <i>open space</i> do edifício em estudo .....	46
Figura 3.51 – Instalações Sanitárias (imagem virtual) .....	48
Figura 3.52 – Diferentes tipos de luminárias consideradas nas instalações sanitárias .....	48
Figura 3.53 – Zonas de cálculo instalações sanitárias .....	49
Figura 3.54 – Instalações sanitárias com iluminação normal (imagem virtual).....	50
Figura 3.55 – Planta de uma das instalações sanitárias do edifício em estudo.....	51
Figura 6.1 – Distribuição relativa de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura).....	61

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Data de aparecimento dos diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes [8].....	12
Tabela 3.2 – Eficiência de diferentes tipos de fontes de luz [9] [10] .....	13
Tabela 3.3 – Directivas apresentadas na EN 12464-1 .....	16
Tabela 3.4 – Índices de reflexão de alguns materiais e cores [13] .....	17
Tabela 3.5 – Dimensões das áreas técnicas a simular .....	18
Tabela 3.6 – Resultados da simulação de iluminação das áreas técnicas .....	20
Tabela 3.7 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas .....	20
Tabela 3.8 – Resultados da simulação das áreas técnicas com as luminárias rodadas 90° .....	20
Tabela 3.9 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas rodadas a 90° .....	20
Tabela 3.10 – Consumo energético anual da iluminação das áreas técnicas .....	21
Tabela 3.11 – Índices de reflexão da sala de arquivo .....	23
Tabela 3.12 – Resultados simulação de iluminação na sala de arquivo .....	24
Tabela 3.13 – Consumo energético anual da iluminação da sala de arquivo .....	24
Tabela 3.14 – Resultados da simulação de iluminação no átrio .....	27
Tabela 3.15 – Consumo energético anual da iluminação no átrio .....	27
Tabela 3.16 – Índices de reflexão das circulações simuladas .....	29
Tabela 3.17 – Resultados da simulação de circulação .....	30
Tabela 3.18 – Consumo energético anual da iluminação da circulação .....	30
Tabela 3.19 – Resultados da simulação de iluminação das escadas .....	32
Tabela 3.20 – Consumo energético anual da iluminação das escadas .....	33
Tabela 3.21 – Resultados da simulação do estacionamento .....	36
Tabela 3.22 – Consumo energético anual da iluminação do estacionamento .....	37
Tabela 3.23 – Caracterização do estacionamento do edifício em estudo .....	38
Tabela 3.24 – Dimensões dos gabinetes a simular .....	39
Tabela 3.25 – Resultados da simulação de iluminação para o gabinete de 30 m <sup>2</sup> .....	42
Tabela 3.26 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 39 m <sup>2</sup> .....	43
Tabela 3.27 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 53 m <sup>2</sup> .....	43
Tabela 3.28 – Resultados da simulação da iluminação do <i>Open Space</i> .....	44
Tabela 3.29 – Consumo energético anual da iluminação dos gabinetes .....	45
Tabela 3.30 – Resultados da simulação de iluminação das instalações sanitárias .....	49
Tabela 3.31 – Consumo energético anual da iluminação das instalações sanitárias .....	50
Tabela 4.1 – Consumos energéticos eléctricos do parque informático do edifício [17] .....	52
Tabela 4.2 – Consumo de energia eléctrica real e desligando os computadores .....	54
Tabela 5.1 – Características técnicas de “ <i>Splits</i> ” [19] .....	57
Tabela 5.2 – Características técnicas de sistema VRV [20] .....	57
Tabela 5.3 – Características técnicas de Chillers [20] .....	57
Tabela 6.1 – Facturas energéticas do edifício em estudo .....	59
Tabela 6.2 – Custo e energia primária associada às facturas energéticas de 2006 do edifício .....	59
Tabela 6.3 – Distribuição absoluta de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura) .....	61

## Lista de símbolos / siglas

AQS	- Água Quente Sanitária
DALI	- Interface de iluminação digital e endereçável (“ <i>Digital Addressable Lighting Interface</i> ”)
E	- Iluminância
$E_m$	- Iluminância média
$E_{\min}$	- Iluminância mínima
ERSE	- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
GEE	- Gases com Efeito de Estufa
GPS	- Global Positioning System
I	- Intensidade luminosa
L	- Brilho ou Luminância
Nac	- Necessidades nominais anuais de energia útil para produção de AQS
Nic	- Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento
Ntc	- Necessidades globais de energia
Nvc	- Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento
PNAC	- Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PPEC	- Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de energia Eléctrica
$R_a$	- Índice de restituição cromática
RCCTE	- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	- Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
SCE	- Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
UGR	- Classificação de nível de brilho (“ <i>Unified Glare Rating</i> ”)

## 1. Introdução

A actividade humana está a provocar um aquecimento do planeta e os edifícios são responsáveis por aproximadamente metade das emissões de gases com efeito de estufa que contribuem para esse aquecimento.

A energia é fundamental para as nossas vidas. Dependemos dela para os transportes, para o aquecimento das casas no Inverno e o seu arrefecimento no Verão e para fazer funcionar fábricas, explorações agrícolas e escritórios. Porém a utilização dos combustíveis fósseis, cujas reservas são finitas, é apontada como uma das causas principais do aquecimento do planeta. Por conseguinte, a energia proveniente destas fontes não pode continuar a ser considerada um dado adquirido.

A climatização e iluminação dos edifícios, que é feita na maioria das vezes com recurso a combustíveis fósseis (como o gás natural, o carvão e o petróleo) ou electricidade são, directa ou indirectamente, as fontes de maior emissão de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), o principal gás com efeito de estufa. As emissões de CO<sub>2</sub> têm aumentado desde a revolução industrial e continuam a aumentar apesar dos acordos internacionais estabelecidos na Cimeira da Terra no Rio de Janeiro ou o Protocolo de Quioto.

O sector dos edifícios absorve cerca de 40% do consumo final de energia da Comunidade Europeia, oferecendo assim uma grande oportunidade de melhoria no que se refere ao impacto da eficiência energética no respectivo consumo energético. Da última década resultou, para o sector dos edifícios, a mais alta taxa de crescimento dos consumos de energia de entre todos os sectores da economia nacional, nomeadamente para o subsector dos serviços, traduzida em valores médios da ordem dos 12% por ano, tendência que deverá vir a acentuar o respectivo consumo de energia e, por conseguinte, as correspondentes emissões de dióxido de carbono. [1]

No contexto internacional, é consensual a necessidade de melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa e que potenciam o fenómeno de aquecimento global. Portugal obrigou-se a satisfazer compromissos neste sentido quando subscreveu o Protocolo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de ser feito por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente pelo dos edifícios.

Os edifícios de serviços são equipados com ar condicionado e muitas vezes as suas fachadas são completamente envidraçadas, contribuindo em muitos casos para um mau comportamento térmico, tornando o ambiente interior muito quente ou muito frio dependendo das estações do ano.

O objectivo deste trabalho é estudar as cargas interiores existentes num edifício de serviços tipo, e elaborar regras e metodologias que podem ser utilizadas no âmbito dos projectos de instalações eléctricas com o intuito de tornar os edifícios mais eficientes tendo em conta a sua exequibilidade e

viabilidade económica, sem depreciar a qualidade e conforto dos utilizadores apenas com vista na redução do consumo eléctrico.

Nos capítulos seguintes será focado o tema de legislação existente em Portugal que salvaguarda o interesse nacional de redução do consumo energético de edifícios; serão inventariadas as cargas existentes num edifício tipo, estudadas as várias tecnologias para satisfazer a causa da necessidade dessas diversas cargas e por fim elaborada uma lista das regras e métodos que possam ser utilizados no dimensionamento de novos edifícios, assim como na remodelação de existentes.

## **1.1. Consumidores de energia eléctrica**

As visitas realizadas a um edifício de serviços, no âmbito deste trabalho (nos arredores de Lisboa), permitiram categorizar as principais cargas consumidoras de energia eléctrica:

- Aparelhos de iluminação
- Equipamentos informáticos
- Sistema de climatização

Neste edifício existem outras cargas que não serão abordadas no desenvolvimento deste documento por impossibilidade de obtenção de dados que permitam uma análise real dos consumos. Excluem-se assim os elevadores, estores, portões de garagem, portas automáticas, máquinas de refrigeração de água potável e outras de menor ou maior potência cujas características e consumos não foi possível aferir.

## 2. Legislação e incentivos

Portugal estabeleceu o compromisso de melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa e conseqüente aquecimento global, quando subscreveu o Protocolo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de ser feito por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente pelo dos edifícios.

O Protocolo de Quioto é consequência de uma série de eventos iniciada com a “Toronto Conference on the Changing Atmosphere”, no Canadá (Outubro de 1988), seguida pelo “IPCC's First Assessment Report”, em Sundsvall na Suécia (Agosto de 1990) e que culminou com a “Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática” no Brasil (Junho de 1992). Ao abrigo do Protocolo de Quioto e do compromisso comunitário de partilha de responsabilidades, Portugal assumiu o compromisso de limitar o aumento das suas emissões de gases de efeito de estufa em 27% no período de 2008-2012 relativamente aos valores de 1990. [2]

Neste contexto, o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), adoptado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de Julho (PNAC 2004), e mais recentemente o PNAC de 2006, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de Agosto, quantifica o esforço nacional de redução das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE), integrando um vasto conjunto de políticas e medidas que incide sobre todos os sectores de actividade. [3]

Surgem assim três Decretos-Lei que transpõem parcialmente para ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios:

- Decreto-Lei n.º 78/2006
- Decreto-Lei n.º 79/2006
- Decreto-Lei n.º 80/2006

Estes Decretos-Lei são fundamentalmente baseados em questões relacionadas com a qualidade térmica dos edifícios e têm pouca abrangência nos sistemas eléctricos em particular, indicando valores máximos de potência instaladas nos equipamentos de uma maneira geral, mas apenas definindo metodologias de actuação para os sistemas de climatização.

A nível europeu existem duas normas que definem regras para o projecto dos sistemas de iluminação para interiores e exteriores (nomeadamente EN 12464-1 e EN 12464-2). Presentemente não é dada grande importância à iluminação dos edifícios de serviços, focando as atenções nos sistemas de climatização. Nos capítulos seguintes poderá verificar-se que a iluminação tem um grande contributo para o consumo energético do típico edifício de serviços (apesar da reduzida potência instalada

quando comparada com os sistemas de climatização, apresenta um consumo energético semelhante).

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), de acordo com o artigo 3º dos seus estatutos, apresenta como objectivo contribuir para a progressiva melhoria das condições técnicas, económicas e ambientais de funcionamento dos meios a utilizar desde a produção ao consumo de energia eléctrica. A ERSE tem procurado que a regulamentação do sector dinamize procedimentos que contribuam para a melhoria da eficiência energética nesta área, estabelecendo um mecanismo competitivo de promoção de acções de gestão da procura designado por: Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de energia eléctrica (PPEC).

## **2.1. Decreto-Lei n.º 78/2006**

Este Decreto-Lei define o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), assegurando a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética e à utilização de sistemas de energia renováveis.

Na prática, serve de ponto de partida para o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) e Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Define ainda vários conceitos, tais como:

- **Grande intervenção de reabilitação** – uma intervenção na envolvente ou nas instalações, energéticas ou outras, do edifício, cujo custo seja superior a 15% do valor do edifício, nas condições definidas no RCCTE.
- **Plano de racionalização energética** - conjunto de medidas de racionalização energética, de redução de consumos ou de custos de energia, elaborado na sequência de uma auditoria energética, organizadas e seriadas na base da sua exequibilidade e da sua viabilidade económica.

## **2.2. Decreto-Lei n.º 79/2006**

Conhecido como RSECE, este Decreto-Lei procura introduzir algumas medidas de racionalização energética em edifícios, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício para, sobretudo, evitar o seu sobredimensionamento, conforme a prática do mercado mostrava ser comum. Contribui assim para a eficiência energética dos sistemas na medida em que evita investimentos desnecessários e obriga a uma mais cuidada análise na satisfação das necessidades inerentes a cada edifício.

Aborda a adopção de certos procedimentos de recepção após a instalação dos sistemas, assim como a sua manutenção e aplica-se a todos os grandes edifícios de serviços existentes com uma área útil superior a 1.000 m<sup>2</sup>.

Um dos artigos deste Decreto-Lei define que são de implementação obrigatória todas as medidas de eficiência energética que tenham um período de retorno simples (calculado segundo uma metodologia especificada no mesmo) de oito anos ou menor, incluindo como custos elegíveis para o cálculo do período de retorno os correspondentes a um eventual financiamento bancário da execução das medidas. Define a consideração prioritária obrigatória nos edifícios novos e nas grandes reabilitações (salvo demonstração de falta de viabilidade económica pelo projectista) da implementação de sistemas de energia alternativos, tais como:

- sistemas de colectores solares planos para produção de água quente sanitária (AQS)
- sistemas de aproveitamento de biomassa ou resíduos (quando disponíveis)
- sistemas de aproveitamento da energia geotérmica (sempre que disponível)
- sistemas autónomos, combinando solar térmico, solar fotovoltaico, eólico, etc., (em locais distantes da rede eléctrica pública)

Por fim, apresenta tabelas com os valores limite dos consumos globais específicos, tendo definido o consumo máximo para os edifícios de serviços assim como padrões de referência de utilização dos edifícios.

Saliente-se, contudo, que é um Decreto claramente vocacionado para os sistemas de climatização, referindo, mas colocando de lado os equipamentos eléctricos para outros fins, como é o caso da iluminação (Figura 2.1). Apesar de aparecer referido nas tabelas, não chega a ser definido nenhum valor de referência para a densidade de iluminação dos espaços ao contrário do que acontece, por exemplo, com a legislação criada em Espanha para o mesmo efeito. [4]

Escritórios		
Perfis variáveis de acordo com os valores das tabelas		
	Densidades	
Ocupação	15 m <sup>2</sup> /Ocupante	
Iluminação	-----	
Equipamento	15 W/m <sup>2</sup>	
Perfis Constantes		
	Densidade	N.º Horas funcionamento
Iluminação Exterior	-----	5400
Cozinhhas		N.º Horas funcionamento
Iluminação	-----	1560
Equipamento	250 W/m <sup>2</sup>	
Ventilação	8 W/m <sup>2</sup>	
Estacionamento		N.º Horas funcionamento
Iluminação	-----	2730
Equipamento	2 W/m <sup>2</sup>	
Ventilação	8 W/m <sup>2</sup>	

Figura 2.1 – Exemplo retirado da pág. 2457 do Diário da República n. 67 – 04/04/2006 (RSECE)

### **2.3. Decreto-Lei n.º 80/2006**

Conhecido como RSCCTE, este Decreto-Lei procura impor requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno, quer no Verão, assim como minimizar as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações.

Trata-se de uma metodologia de cálculo que considera variáveis tais como a localização do edifício, tipo de construção das paredes, vãos envidraçados, sombreamentos solares, entre outros, calculando índices que quantificam:

- o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic)
- o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (Nvc)
- o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para produção de AQS (Nac)
- o valor das necessidades globais de energia primária (Ntc)

São impostos valores máximos para cada um destes índices, obrigando à utilização de materiais e sistemas eficientes de forma a que o edifício cumpra o estipulado no Decreto-Lei (valores dos índices inferiores aos valores máximos admissíveis).

Até publicação em despacho (actualizável devido ao diferentes *mix* energéticos anuais) utilizam-se os factores de conversão entre energia útil e energia primária definidas neste Decreto-Lei, nomeadamente:

- Electricidade: 0,290 kgep/kWh
- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: 0,086 kgep/kWh

### **2.4. As Normas EN 12464-1 e EN 12464-2**

Estas normas quebram com o conceito comum da criação de ambientes uniformes de iluminação. Os gabinetes e locais de trabalho deixam de apontar para os típicos 500 lux de valor de iluminação médio em todos os pontos para a diferenciação do espaço de acordo com a necessidade.

Aparece assim o conceito de zona de trabalho, definindo valores de iluminação da zona envolvente em 4 escalões, tendo como máximo os 500 lux. O valor da uniformidade também é definido separadamente para a zona de trabalho e a zona envolvente.

A norma de iluminação interior (EN 12464-1) define valores médios mínimos para cada local em função da tarefa a realizar e a norma de iluminação exterior (EN 12464-2) define limites máximos de iluminação, prevenindo assim a poluição luminosa no exterior.

No exterior, a zona envolvente à zona de trabalho passa a ser definida em 6 escalões, tendo como máximo os 100 lux.

Ambas as normas salientam que não deverá ser depreciada a qualidade e quantidade de luz apenas com vista à redução do consumo eléctrico.

## **2.5. Plano de Promoção da Eficiência no Consumo**

Promovido pela ERSE, o Plano de Promoção da Eficiência no Consumo (PPEC) tem como objectivo prioritário apoiar financeiramente iniciativas que promovam a eficiência e redução do consumo de electricidade nos diferentes segmentos de consumidores.

No que concerne ao PPEC para o ano de 2008 foram recebidas 140 candidaturas e consideradas elegíveis 131 medidas apresentadas por 21 promotores, com custos candidatos à comparticipação do PPEC para o ano de 2008 no valor de 46 milhões de euros, aproximadamente o quántuplo do orçamento do PPEC ainda disponível para 2008 (9,3 milhões de euros).

O concurso tem um forte carácter competitivo, sendo seleccionadas as medidas de melhor ordem de mérito classificadas de acordo com a métrica de avaliação estabelecida nas Regras do Plano de Promoção da Eficiência no Consumo.

Os promotores e consumidores de energia eléctrica assumem um papel muito relevante no Plano de Promoção da Eficiência no Consumo, desde a fase de consulta pública até à apresentação de candidaturas e posterior implementação. A qualidade das medidas apresentadas e o forte carácter competitivo do processo de selecção perspectivam um ano de 2008 mais eficiente na óptica do consumo de energia eléctrica.

Alguns exemplos de candidaturas:

- Substituição de semáforos clássicos por semáforos equipados com Leds
- Promoção da substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas
- Implementação de medidas para correcção do factor de potência
- Instalação de variadores de velocidade para motores
- Divulgação
- Formação
- Auditorias

### 3. Iluminação

Quando a iluminação natural é insuficiente, torna-se necessária a utilização de equipamentos de iluminação artificial para permitir a realização de tarefas de uma forma eficaz e segura. O nível de iluminação necessário varia de acordo com o tipo de tarefa, a duração da tarefa e o conforto e segurança exigidos.

A norma europeia EN 12464-1 estipula valores médios de iluminância, assim como brilho e restituição cromática adequados a cada zona, de forma a assegurar um consumo energético racional e um nível de iluminação adequado.

#### 3.1. Conceitos teóricos

É importante definir alguns fundamentos de luminotecnica que facilitem a interpretação do estudo aqui apresentado.

##### 3.1.1. Intensidade luminosa, fluxo luminoso e eficiência luminosa

A intensidade luminosa ( $I$ ) é a medida de potência da radiação luminosa numa dada direcção (Figura 3.1). A unidade de medida utilizada é a “candela” (cd).

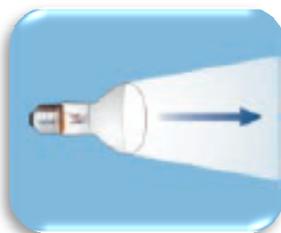


Figura 3.1 – Intensidade luminosa (candela) [5]

O fluxo luminoso (Figura 3.2) é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz. A unidade de medida utilizada é o “lúmen” (lm) e é definida como o fluxo luminoso emitido segundo um ângulo sólido de um esterradiano, por uma fonte pontual de intensidade invariável em todas as direcções com uma intensidade luminosa igual a 1 candela.



Figura 3.2 – Fluxo luminoso (lúmen) [5]

As lâmpadas conforme o tipo e potência apresentam fluxos luminosos diversos:

- lâmpada incandescente de 60 W: 865 lm;
- lâmpada fluorescente de 32 W: 2.850 lm;
- lâmpada vapor de mercúrio 250 W: 14.000 lm;
- lâmpada multi-vapor metálico de 400 W: 36.000 lm

O lúmen devia ser a medida utilizada correntemente para a definição do nível luminoso de uma lâmpada, e não a sua potência como é usual encontrar salientado nos invólucros das lâmpadas. Na maior parte das vezes o fluxo luminoso nem sequer é apresentado, o que leva ao abuso técnico de referir que a lâmpada que se pretende vender, de uma nova tecnologia e com uma determinada potência (W), é equivalente a outra com uma potência mais alta. Seria mais claro e tecnicamente correcto apresentar sempre de uma forma explícita o fluxo luminoso da lâmpada disponibilizada (que poderá variar de marca para marca apesar de o consumo ser o mesmo).

A eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e a potência eléctrica dessa lâmpada.

- lâmpada incandescente de 100 W: 10 lm/W
- lâmpada fluorescente de 40 W: 42,5 lm/W a 81,5 lm/W.
- lâmpada vapor de mercúrio de 250 W: 50 lm/W
- lâmpada multi-vapor metálico de 250 W: 68 lm/W.

### 3.1.2. Iluminância

A iluminância (E) é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a área dessa superfície, ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide (Figura 3.3). A unidade é o “lux”, definido como a iluminância de uma superfície de 1 m<sup>2</sup>, recebendo luz de uma fonte pontual com um fluxo luminoso de 1 lm a 1 m de distância.

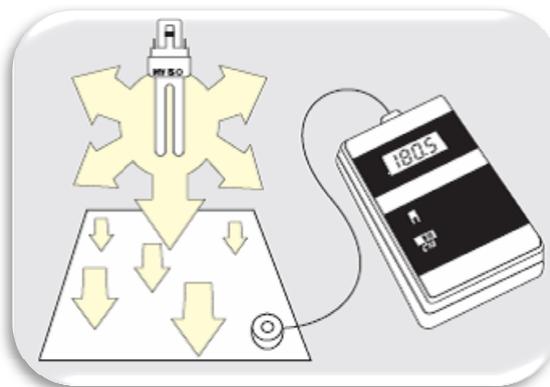


Figura 3.3 – Iluminância (lux) [5]

Exemplos de iluminâncias:

- dia soalheiro de verão em local aberto.....100.000 lux
- dia encoberto de verão .....20.000 lux
- dia escuro de inverno .....3.000 lux
- iluminação de rua.....20 lux
- noite de lua cheia.....0,25 lux
- luz de estrelas.....0,01 lux.

### 3.1.3. Brilho ou Luminância

Brilho ou luminância (L) é a intensidade luminosa produzida ou reflectida por uma superfície existente (Figura 3.4). A distribuição da luminância no campo de visão das pessoas numa área de trabalho, proporcionada pelas várias superfícies dentro da área (luminárias, janelas, tecto, parede, piso e superfície de trabalho), deve ser considerada como complemento à determinação das iluminâncias (lux) do ambiente, a fim de evitar o ofuscamento.

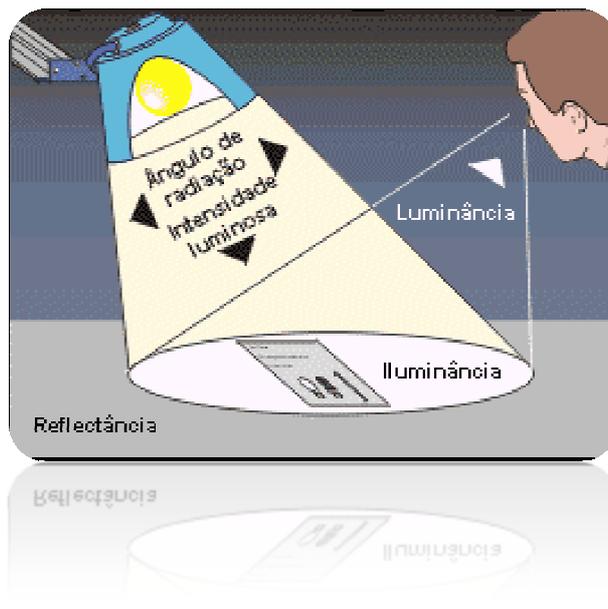


Figura 3.4 – Luminância [5]

A unidade de medida da luminância é: candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

### 3.1.4. Índice de restituição cromática

O índice de restituição cromática ( $R_a$ ) ou reprodução de cor, é o valor percentual médio relativo à sensação de reprodução de cor (percepcionada pelo cérebro), baseado numa série de cores padrões. O método consiste na avaliação das cores, quando submetidas à luz da fonte a ser analisada e por comparação com uma fonte de luz ideal ou natural, considerando-se a luz ideal aquela produzida pelo o corpo negro. Quando uma lâmpada apresenta um índice de restituição cromática “60” (por exemplo), está a indicar-se que reproduz 60% das cores reproduzidas pela fonte de luz ideal.

Hoje em dia é usual, em escritórios, não utilizar lâmpadas com índices de restituição cromática inferiores a 80, valor este facilmente conseguido com as usuais lâmpadas fluorescentes.

## **3.2. Opções tecnológicas da iluminação**

Existem no mercado [6] inúmeros dispositivos que transformam energia eléctrica em energia luminosa, com diferentes potências, dimensões, índices de restituição cromática, tempos de vida e rendimentos. Estes dispositivos fazem parte de um sistema de iluminação que é composto por vários equipamentos:

- Invólucro;
- Balastro;
- Lâmpada;
- Reflector;
- Difusor;

### **3.2.1. Lâmpada fluorescente**

Ao longo dos anos, os fabricantes (de luminárias e de dispositivos electrónicos) 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, balastros electrónicos e recentemente a tecnologia T5.

Estes dois últimos, quer por apresentarem perdas reduzidas, quer por apresentarem uma melhor eficiência da própria lâmpada, são os mais atractivos e de maior divulgação, nomeadamente na sua aplicação a lâmpadas fluorescentes tubulares, nas quais é possível obter reduções no consumo eléctrico, da ordem dos 20% a 30%.

Os balastros electrónicos, além das vantagens económicas devido ao baixo consumo, acabam com o problema da cintilação emitida pela lâmpada. Este efeito pode ser notado na presença de balastros ferromagnéticos pela sensação visual de variação de fluxo luminoso ao longo do tempo. Este efeito poderá estar associado a dores de cabeças e outros distúrbios fisiológicos. Os balastros electrónicos, que funcionam em alta-frequência (20kHz a 50 kHz), regeneram o arco eléctrico mais de 40.000 vezes por segundo, tempo curto demais para ser percebido pelo ser humano e sem implicações no cansaço visual.

Consequentemente à redução do diâmetro do tubo de T8 para T5, mantendo o tamanho do reflector, é possível aumentar a intensidade luminosa, como é apresentado pela Figura 3.5.

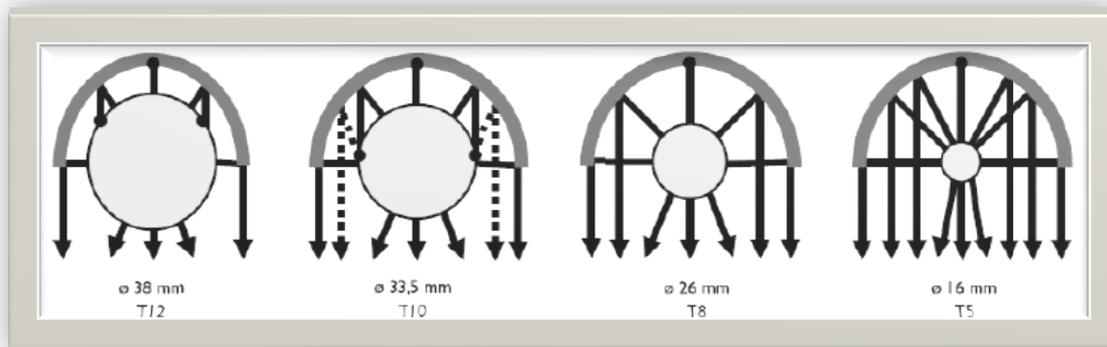


Figura 3.5 – Diferença de diâmetro das lâmpadas fluorescentes tubulares [7]

Desde as primeiras lâmpadas fluorescentes T12, por volta de 1930, contam-se até hoje, 3 “gerações” de lâmpadas e uma evolução de balastos ferromagnéticos, com um alto consumo próprio de energia, a balastos electrónicos com alta eficiência energética:

Tabela 3.1 – Data de aparecimento dos diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes [8]

ANO	TIPO LÂMPADAS	TIPO BALASTROS
1930	Fluorescentes T12	balastos indutivos ferromagnéticos
1970	Fluorescentes T8	balastos ferromagnéticos
1980	Fluorescentes T8	balastos electrónicos
1996	Fluorescentes T5	só funcionam com balastos electrónicos

### 3.2.2. LED

Os LED, sigla em inglês para Diodos Emissores de Luz (*Lighting Emmitted Diodes*), são componentes semicondutores (tecnologia utilizada em pastilhas semicondutoras, transístores e circuitos integrados), que têm a propriedade de transformar energia eléctrica em luz. Tal transformação é diferente da das lâmpadas convencionais que utilizam filamentos metálicos e descarga de gases que conduzem à emissão de radiação ultravioleta, entre outros fenómenos indesejáveis.

Nos LED, a transformação de energia eléctrica em luz é feita na matéria, sendo por isso, chamada de estado sólido (*Solid State*), durando assim longos períodos, tal como um transístor standard.

Apresentam-se algumas comparações entre diferentes fontes luz, onde é possível verificar que o LED encontra-se ainda a meio da tabela no que diz respeito à eficiência energética:

Tabela 3.2 – Eficiência de diferentes tipos de fontes de luz [9] [10]

Tipo de lâmpada	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	Índice de restituição cromática - $R_a$	Vida útil (h)
Vapor de sódio (alta pressão)	250	27.000	108	20-39	20.000
Iodetos metálicos	400	36.000	90	65	20.000
Fluorescente tubular	32	2.850	89	78	24.000
Fluorescente compacta	15	900	60	82	10.000
Vapor de Mercúrio	250	14.000	56	40-59	20.000
LED	1	45	45	70	50.000
Halogéneo	50	950	19	100	2.000
Incandescente	60	865	14	100	1.000

Os LED, apesar de se apresentarem como a tecnologia do futuro, continuam ainda com uma eficiência inferior à grande maioria das soluções possíveis, destacando-se no mercado não pela sua eficiência mas sim pelo tempo superior de vida e reduzidas dimensões.

### 3.2.3. Sistema ADASY

O sistema ADASY (Active Day Lighting System - Figura 3.6) [11], pouco conhecido e raramente implementado, baseia-se na ideia de transmitir controladamente a luz solar para iluminar o interior dos edifícios.

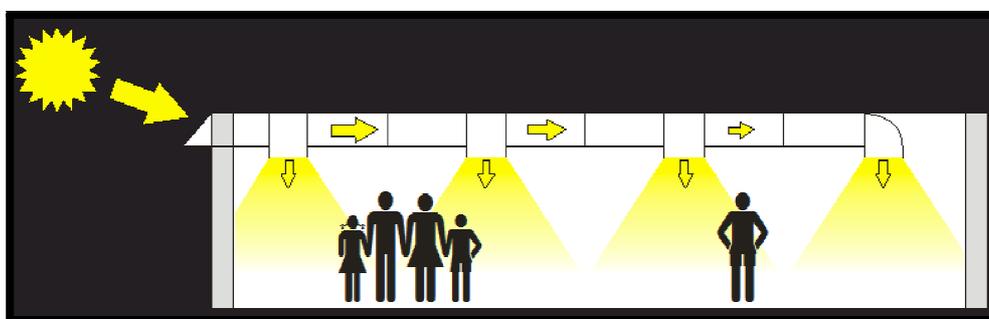


Figura 3.6 – Princípio de funcionamento do sistema ADASY [11]

Trata-se de um sistema composto por um guia de luz que permite a sua transmissão mediante superfícies espelhadas em prata, interligado a um colector no exterior do edifício que permite a captação otimizada de luz solar e um aparelho de iluminação no interior que controla o nível de intensidade luminosa a disponibilizar no espaço.

Este aparelho de iluminação é composto por um filme electro-crómico que permite uma variação do grau de transparência e lâmpadas fluorescentes tubulares laterais (do tipo T5) que asseguram a iluminação na ausência de luz natural.

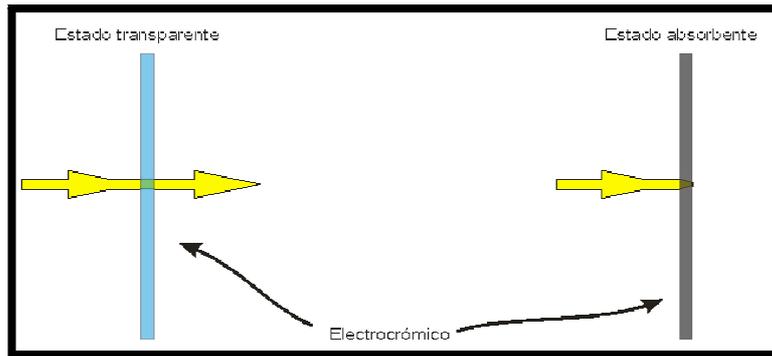


Figura 3.7 – Filme electro-crómico [11]

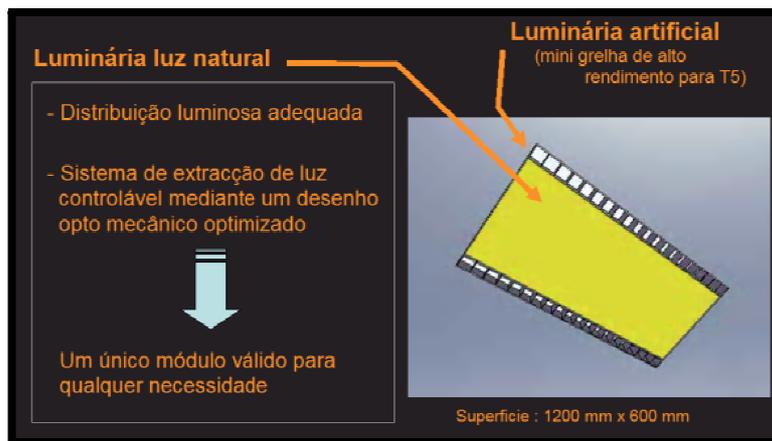


Figura 3.8 – Aparelho de iluminação ADASY [11]

### 3.2.4. Sistemas de controlo de iluminação

Os sistemas de controlo de iluminação e regulação de fluxo luminoso contribuem para a eficácia energética da iluminação, uma vez que permitem configurações que evitam o funcionamento das fontes de luz quando não são necessárias e a regulação da energia consumida para os valores mínimos requeridos para cada tarefa a realizar no interior do edifício.

A solução corrente de sistemas de regulação de fluxo é a da tecnologia DALI (Digital Addressable Lighting Interface - IEC 62386), fundamentalmente devido à sua adaptabilidade ao espaço, instalação e simplicidade de controlo. As funcionalidades inerentes à tecnologia DALI, permitem o uso de ferramentas de software para controlo automático ou semi-automático da iluminação, incluindo a integração de sensores de luminosidade, detectores de presença e mesmo luminárias com módulos de emergência.

Usufruindo da rede de dados existente num edifício, é possível efectuar a gestão dos módulos DALI distribuídos pelos vários pisos e a interligação pode ser feita em protocolo TCP/IP.

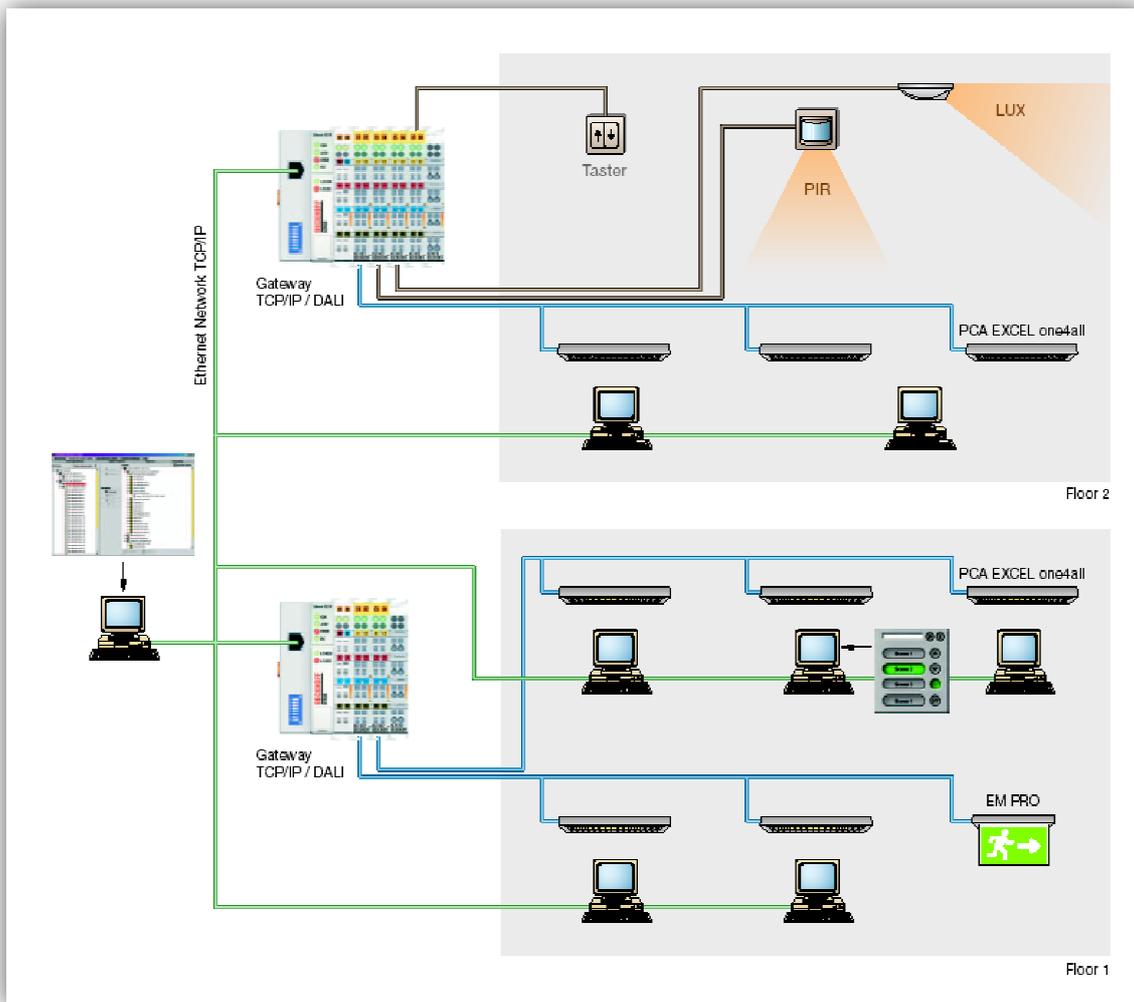


Figura 3.9 – Interligação e gestão de sistemas DALI [12]

O software não é apenas uma plataforma de gestão com uma arquitectura inovadora uma vez que permite operar a instalação numa perspectiva global. Os comandos de gestão são executados em tempo real para diferentes pontos físicos, quer através de regras horárias quer da intervenção humana. A integração em TCP/IP permite uma rápida transferência de dados e, por exemplo, intervir no piso 0 é igual a verificar o estado das luminárias de emergência do piso 8. A gestão via Internet é igualmente possível, permitindo a manutenção remota da instalação.

A gestão centralizada é particularmente útil na análise funcional de um edifício. O estado funcional das lâmpadas, balastos, acumuladores das luminárias de emergência, pode facilmente ser obtido a partir de qualquer ponto do edifício, em tempo real, por alertas, ou numa lista das várias ocorrências, incluindo avarias. Esta situação permite uma manutenção mais cuidada ao sistema de iluminação do edifício.

O sistema está centralizado num servidor que desempenha as tarefas solicitadas pelos utilizadores. Alterar o número de luminárias que estão associadas ao interruptor da sala de reuniões, por exemplo, deixa de requerer alterações eléctricas e pode ser feito apenas em software.

Na gestão central é possível aceder aos consumos energéticos por zona. Esta informação é particularmente útil na avaliação do consumo energético.

### 3.3. Iluminação em edifícios de escritórios

A legislação portuguesa não indica qual a potência eléctrica máxima a utilizar nos sistemas de iluminação de um edifício, nem mesmo qual o valor máximo de energia que poderá ser consumido para esse fim. Por essa razão, pretende-se neste trabalho calcular os valores mínimos de potência eléctrica necessária aos sistemas de iluminação de um edifício de serviços cumprindo os valores médios de iluminância recomendados pela norma europeia EN 12464-1.

Um típico edifício de serviços será composto por um estacionamento automóvel nos pisos enterrados, áreas técnicas, recepção ou hall de entrada, postos de trabalho em “open space”, gabinetes fechados, salas de reunião, zonas de circulação e instalações sanitárias.

De acordo com a EN 12464-1, considera-se que devam ser cumpridos os seguintes requisitos:

Tabela 3.3 – Directivas apresentadas na EN 12464-1

Zona	$E_m$ (lux)	UGR	$R_a$
<b>Área técnica</b>	300	25	80
<b>Arquivo</b>	200	25	80
<b>Circulação de pessoas</b>	100	28	40
<b>Escadas</b>	150	25	40
<b>Estacionamento automóvel</b>	75	25	20
<b>Circulação estacionamento automóvel</b>	150	28	40
<b>Rampas de acesso estacionamento automóvel</b>	300	25	20
<b>Gabinetes</b>	500	19	80
<b>Hall entrada</b>	300	22	80
<b>Instalações Sanitárias</b>	200	25	80
<b>Open Space</b>	500	18	80

De modo a simular situações ideais de cumprimento da norma apresentada, foi utilizado o programa de simulação Dialux para calcular o número de aparelhos de iluminação necessários em cada uma das zonas em estudo. O resultado é apresentado nos capítulos seguintes.

O software Dialux é um dos muitos softwares existentes para cálculo luminotécnico e tem ganho grande notoriedade por ser de utilização gratuita, disponível na internet ([www.dialux.pt](http://www.dialux.pt)) e contar já com inúmeras parcerias de fabricantes de iluminação. Estas parcerias permitem a criação de bases de dados com a modelizações de aparelhos de iluminação que ajudam na simulação dos ambientes reais a iluminar. A DIAL GmbH, empresa proprietária do software, não está ligada a qualquer fabricante de iluminação e dedica-se à realização de seminários e workshops de iluminação, entre outras actividades relacionadas com o tema da iluminação., o que lhe tem volvido bastante credibilidade nesta área de actuação.

Ao modelizar os espaços utilizando o Dialux é necessário a inserção dos seguintes elementos:

- Planta do espaço;
- Pé direito do espaço;
- Índices de reflexão do tecto, paredes e pavimento;
- Marca e modelo dos aparelhos de iluminação;
- Disposição dos aparelhos de iluminação no espaço.

O índice de reflexão é a relação percentual entre o fluxo luminoso reflectido por um material e o fluxo incidente. A Tabela 3.4 apresenta valores médios para alguns materiais e cores.

Tabela 3.4 – Índices de reflexão de alguns materiais e cores [13]

Material ou cor	Valor	Material ou cor	Valor
Azul claro	30 - 55	Madeira clara	30 - 50
Azul escuro	10 - 25	Madeira escura	10 - 25
Azulejo branco	60 - 75	Mármore claro	60 - 70
Amarelo	65 - 75	Marrom	10 - 25
Branco	70 - 85	Ocre	30 - 50
Cimento claro	35 - 50	Preto	5
Concreto claro	30 - 40	Rocha	60
Concreto escuro	15 - 25	Rosa	45 - 60
Cinza claro	45 - 65	Tijolo claro	20 - 30
Cinza escuro	10 - 20	Tijolo escuro	10 - 15
Cinza médio	25 - 40	Verde claro	30 - 55
Esmalte branco	65 - 75	Verde escuro	10 - 25
Gesso	70 - 80	Vermelho claro	25 - 35
Granito	15 - 25	Vermelho escuro	10 - 20
Laranja	25 - 35	Vidro transparente	5 - 10

Para realizar a avaliação energética (realizada pelo software Dialux cumprindo a norma DIN 18599) torna-se ainda necessário fornecer as seguintes informações:

- Método de controlo utilizado (manual, detector de movimento, detector de luminosidade)
- Horas de utilização no período diurno
- Horas de utilização no período nocturno
- Tipo de utilização do espaço

A regulamentação portuguesa não prevê qualquer metodologia de cálculo de avaliação de energia específica para sistemas de iluminação. A utilização da norma Alemã DIN 18599 é normal em *software* de simulação dinâmica de edifícios (na vertente energética) e neste estudo servirá de padrão a utilizar em todas as simulações que permite comparar os vários valores obtidos (em função do método de controlo utilizado), não sendo utilizada para o cálculo do valor absoluto exacto de energia consumida.

### 3.3.1. Áreas Técnicas

As áreas técnicas devem garantir níveis de iluminação adequados à correcta manutenção e reparação dos equipamentos instalados, sem descuido da segurança inerente à maquinaria (peças móveis, pontas afiadas, etc.). As áreas técnicas são visitadas por pessoas com competência para tal e estão interditas ao público em geral.

Nestas simulações serão sempre utilizadas lâmpadas com índices de restituição cromática iguais ou superiores a 80, valor facilmente atingível com as lâmpadas de utilização comum hoje em dia.

É usual, tal como para o estacionamento, surgirem, na fase de desenvolvimento dos projectos de iluminação, dúvidas relativas à melhor orientação para os aparelhos de iluminação, perpendiculares ou paralelos à sala (válido apenas para salas não quadradas), assim como à quantidade de lâmpadas a prever em cada aparelho (uma ou duas lâmpadas). Esta simulação abarca as várias situações possíveis para várias dimensões diferentes de espaços.

Consideraram-se 8 áreas técnicas de dimensões distintas, com as seguintes características:

Tabela 3.5 – Dimensões das áreas técnicas a simular

Área Técnica	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
	Tecto	Paredes	Pavimento	
9 m <sup>2</sup> (3 m x 3 m)	0,70	0,50	0,50	3,0
16 m <sup>2</sup> (4 m x 4 m)				
25 m <sup>2</sup> (5 m x 5 m)				
50 m <sup>2</sup> (10 m x 5 m)				
75 m <sup>2</sup> (15 m x 5 m)				
100 m <sup>2</sup> (10 m x 10 m)				
200 m <sup>2</sup> (20 m x 10 m)				
400 m <sup>2</sup> (20 m x 20 m)				

Pretende-se com esta escolha abranger o maior número de disposições possíveis, servindo de base a análises a realizar a outras salas técnicas que, apesar de poderem apresentar medidas diferentes, poderão ser decompostas em várias salas técnicas “tipo” com as dimensões consideradas na Tabela 3.5.

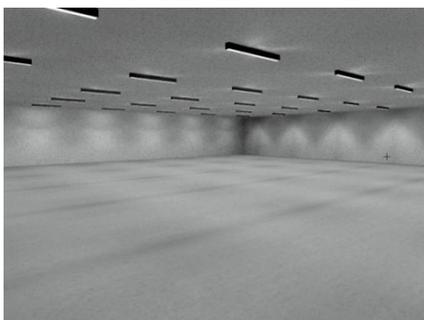


Figura 3.10 – Área Técnica 20x20 m (imagem virtual)



Figura 3.11 – Área Técnica 15x5 m (imagem virtual)

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos de iluminação estanques equipados com balastro electrónico e uma ou duas lâmpadas fluorescentes tubulares T5 (iguais). Foram consideradas duas potências de lâmpadas diferentes na medida em que alguns dos espaços de dimensões mais reduzidas apresentaram melhores resultados nas simulações com aparelhos de iluminação mais pequenos. Os tipos de lâmpadas utilizados foram:

- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 28 W, 2.600 lumen (lâmpada mais balastro com 31 W);
- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 54 W, 4.450 lumen (lâmpada mais balastro com 59 W);
- 2x Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 28 W, 5.200 lumen (lâmpadas mais balastro com 64 W)
- 2x Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 54 W, 8.900 lumen (lâmpadas mais balastro com 118 W)
- Instalação saliente justaposta ao tecto (idêntica à encontrada no edifício).

A simulação prevê a colocação uniforme dos aparelhos de iluminação no tecto de cada espaço (exemplo da área técnica de 100 m<sup>2</sup> na Figura 3.12) e considera como normal a instalação dos aparelhos perpendiculares ao comprimento maior da sala (Figura 3.13) e a designação “rodadas a 90°” para a instalação dos aparelhos de iluminação no sentido do maior comprimento da sala (Figura 3.14).

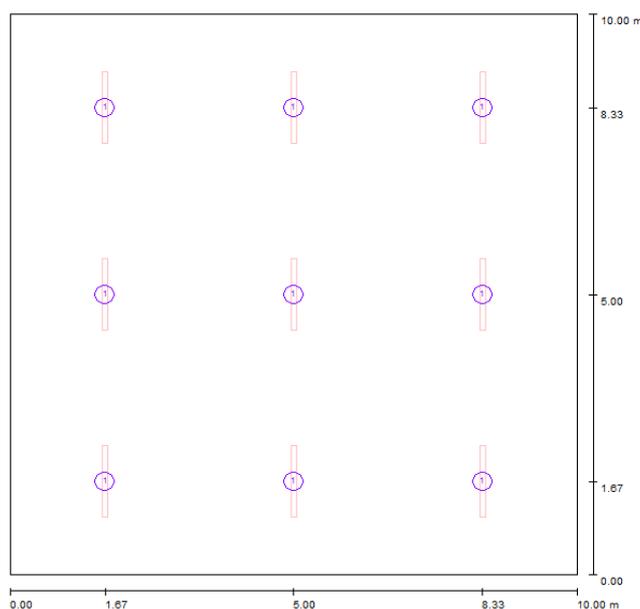


Figura 3.12 – Localização da iluminação da área técnica 10x10 m

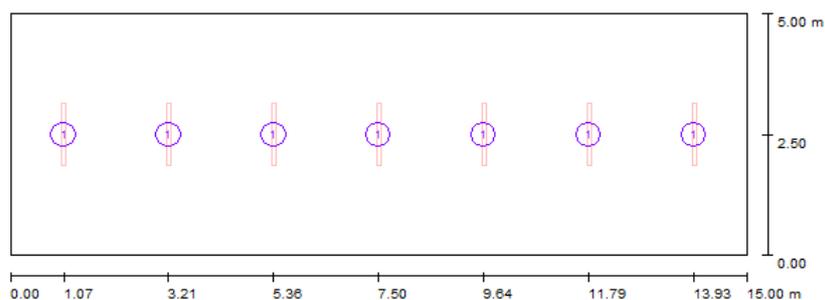


Figura 3.13 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m

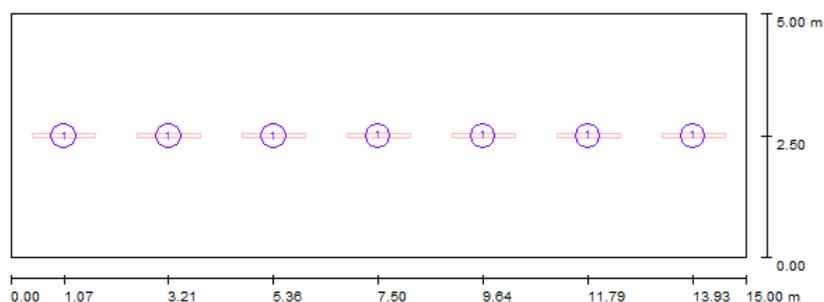


Figura 3.14 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m com luminárias a 90°

Os valores obtidos foram (à cota 0,8 m a partir solo):

Tabela 3.6 – Resultados da simulação de iluminação das áreas técnicas

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 9 m <sup>2</sup>	367	0,63	13	10,33	3 (31 W)
Área de 16 m <sup>2</sup>	329	0,64	15	7,75	4 (31 W)
Área de 25 m <sup>2</sup>	310	0,42	18	7,08	3 (59 W)
Área de 50 m <sup>2</sup>	297	0,41	20	5,90	5 (59 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	291	0,41	20	5,51	7 (59 W)
Área de 100 m <sup>2</sup>	298	0,46	19	5,31	9 (59 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	319	0,49	21	5,31	18 (59 W)
Área de 400 m <sup>2</sup>	291	0,48	21	4,43	30 (59 W)

Tabela 3.7 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 9 m <sup>2</sup>	388	0,63	< 10	13,11	1 (118 W)
Área de 16 m <sup>2</sup>	293	0,53	19	8,00	2 (64 W)
Área de 25 m <sup>2</sup>	324	0,44	20	7,68	3 (64 W)
Área de 50 m <sup>2</sup>	346	0,47	24	7,08	3 (118 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	324	0,41	24	6,29	4 (118 W)
Área de 100 m <sup>2</sup>	388	0,43	23	7,08	6 (118 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	354	0,42	24	5,90	10 (118 W)
Área de 400 m <sup>2</sup>	307	0,42	25	4,72	16 (118 W)

Tabela 3.8 – Resultados da simulação das áreas técnicas com as luminárias rodadas 90°

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 50 m <sup>2</sup>	299	0,35	20	5,90	5 (59 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	292	0,35	21	5,51	7 (59 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	320	0,48	19	5,31	18 (59 W)

Tabela 3.9 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas rodadas a 90°

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 50 m <sup>2</sup>	342	0,44	21	7,08	3 (118 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	318	0,43	21	6,29	4 (118 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	350	0,44	21	5,90	10 (118 W)

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....52 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....52 h
- Tipo de utilização .....zona técnica

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.10 – Consumo energético anual da iluminação das áreas técnicas

Zona	1 lâmpada (kWh/ano)	2 lâmpadas (kWh/ano)
Área de 9 m <sup>2</sup>	9,67	12,27
Área de 16 m <sup>2</sup>	12,90	13,31
Área de 25 m <sup>2</sup>	18,41	19,97
Área de 50 m <sup>2</sup>	30,68	36,82
Área de 75 m <sup>2</sup>	42,95	49,09
Área de 100 m <sup>2</sup>	55,22	73,63
Área de 200 m <sup>2</sup>	110,45	122,72
Área de 400 m <sup>2</sup>	184,08	196,35

### 3.3.1.1. Análise da simulação das áreas técnicas

A orientação das lâmpadas neste espaço não apresenta diferenças significativas de valores. Contudo, conclui-se que uma orientação perpendicular ao maior comprimento da sala oferece melhores valores de uniformidade ( $E_{min}/E_m$ ).

Os aparelhos de iluminação compostos por 2 lâmpadas permitem reduções significativas no custo inicial da instalação, uma vez que o número de aparelhos é diminuído, algumas vezes, para menos de metade. Contudo, esta solução torna a “unidade” de potência maior, uma vez que a supressão dos aparelhos de iluminação, retira da sala, de uma só vez, os lumens correspondentes a duas lâmpadas. Desta forma, não se obtém uma optimização máxima no número de aparelhos necessários ao cumprimento da iluminância previstos na norma, o que se reflecte num incremento anual de energia, em alguns casos, considerável (33% no caso da área técnica de 100 m<sup>2</sup>), não pela utilização de equipamento menos eficiente, mas sim pela passagem de 298 para 388 lux de iluminância.

Tratando-se de áreas acedidas apenas por utilizadores especializados, a aplicação de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) poderia comprometer a segurança caso a iluminação se apagasse automaticamente durante uma acção de manutenção. Por essa razão, considera-se neste estudo que um grande placard a lembrar que a luz deverá ser apagada quando a sala não está a ser utilizada será preferível.

O projecto de iluminação das áreas técnicas de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada para áreas inferiores a 16 m<sup>2</sup> de 11 W/m<sup>2</sup>
- Potência instalada para áreas superiores a 16 m<sup>2</sup> de 7 W/m<sup>2</sup>
- Orientação dos aparelhos perpendiculares ao maior comprimento da sala

### 3.3.1.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontram-se as seguintes áreas técnicas com as respectivas potências eléctricas dos sistemas de iluminação (lâmpada mais balastro):

- Piso -2
  - o Área técnica -2.03 .....6,3 m<sup>2</sup> (6,28 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.04 .....8,1 m<sup>2</sup> (4,89 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.09 .....18,9 m<sup>2</sup> (4,19 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.13 .....9,8 m<sup>2</sup> (4,04 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.17 .....28,4 m<sup>2</sup> (5,58 W/m<sup>2</sup>)
- Piso 0
  - o Área técnica 0.04 .....6,9 m<sup>2</sup> (5,74 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 0.07 .....10,1 m<sup>2</sup> (7,84 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 0.08 .....9,8 m<sup>2</sup> (4,04 W/m<sup>2</sup>)
- Piso 1
  - o Área técnica 1.01 .....4,8 m<sup>2</sup> (8,25 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 1.02 .....6,9 m<sup>2</sup> (5,74 W/m<sup>2</sup>)
- Piso 6
  - o Área técnica 6.01 .....25,7 m<sup>2</sup> (6,16 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 6.02 .....6,2 m<sup>2</sup> (6,39 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 6.03 .....23,1 m<sup>2</sup> (6,86 W/m<sup>2</sup>)



Figura 3.15 – Área Técnica 2.09 e 2.17 do edifício em estudo

O projecto da especialidade de instalações eléctricas do edifício utiliza como base um objectivo de iluminância de 150 lux (abaixo do recomendado na norma) para as áreas técnicas e essa é a razão que leva a que a potência por m<sup>2</sup> esteja abaixo dos valores a tomar como regra no capítulo de simulação.

Em termos de eficiência energética não são encontradas opções que melhorem a utilização racional de energia, uma vez que os valores de potência por m<sup>2</sup> já se encontram abaixo do limite simulado, ou seja, a iluminação das áreas técnicas do edifício em estudo está já otimizada e é eficiente em termos energéticos, apesar de se tornar pouco eficaz de acordo com a norma EN-12464-1 devido à baixa iluminância existente.

### 3.3.2. Arquivo

As áreas de arquivo deverão garantir níveis de iluminação adequados ao fácil reconhecimento de objectos e cores, assim como à fácil leitura das etiquetas.

A questão que se coloca no projecto eficiente de iluminação numa zona de arquivo, para além da potência por área, prende-se com a disposição dos aparelhos de iluminação em relação às estantes ou prateleiras de arrumação (Figura 3.17 e Figura 3.18).

Simulou-se uma sala de arquivo rectangular com 17 m de comprimento e 8,5 m de largura, com as seguintes características:

Tabela 3.11 – Índices de reflexão da sala de arquivo

Zona	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
	Tecto	Paredes	Pavimento	
Arquivo	0,73	0,50	0,50	3,0



Figura 3.16 – Arquivo (imagem virtual)

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos de iluminação estanque equipados com balastro electrónico e uma lâmpada fluorescente tubular T5 do seguinte tipo:

- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 54 W, 4.450 lumen (lâmpada mais balastro com 59 W)
- Instalação saliente justaposta ao tecto

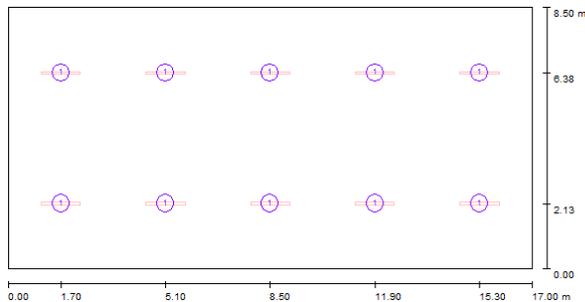


Figura 3.17 – Aparelhos de iluminação paralelos às prateleiras de arrumação do arquivo

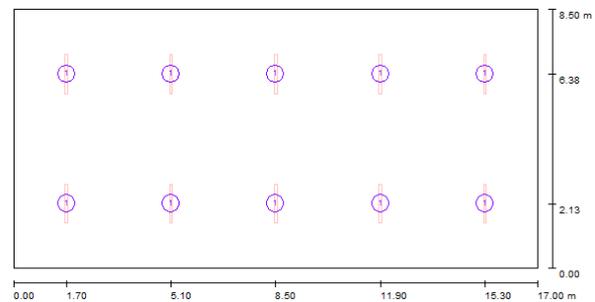


Figura 3.18 – Aparelhos de iluminação perpendiculares às prateleiras de arrumação do arquivo

Os valores obtidos foram (à cota 0,8 m acima do solo):

Tabela 3.12 – Resultados simulação de iluminação na sala de arquivo

Zona (disposição da iluminação)	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Arquivo (paralelo)</b>	213	0,44	19	4,08	10
<b>Arquivo (perpendicular)</b>	209	0,46	21		

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....depósito

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.13 – Consumo energético anual da iluminação da sala de arquivo

Zona	Energia (kWh/ano)
<b>Arquivo</b>	111,95

### 3.3.2.1. Análise da simulação dos arquivos

A orientação dos aparelhos de iluminação relativamente às estantes não apresenta diferenças significativas de valor. Apesar de a instalação paralela às prateleiras apresentar valores inferiores de índice de brilho máximo, a solução da instalação perpendicular apresenta uma melhor uniformidade.

A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) numa zona destas seria pouco funcional, pois ocorre muitas vezes o caso de um utilizador estar, praticamente imóvel, a ler as etiquetas de cada um dos elementos do arquivo, levando a que a iluminação se apagasse sozinha. Por essa razão, considera-se neste estudo que um grande placard a lembrar que a luz deverá ser apagada quando a sala não está a ser utilizada será preferível.

O projecto de iluminação dos arquivos de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de  $5 \text{ W/m}^2$

### 3.3.2.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo o arquivo encontra-se numa zona inicialmente prevista para sala de informática. O arquivo apresenta uma área de  $113 \text{ m}^2$  (Figura 3.19) e é iluminado com 12 aparelhos de iluminação estanques, salientes no tecto, cada um dos quais com duas lâmpadas de 36 W (potência do sistema lâmpada mais balastro de  $79,2 \text{ W}$ ) atingindo o valor de  $8,41 \text{ W/m}^2$ .

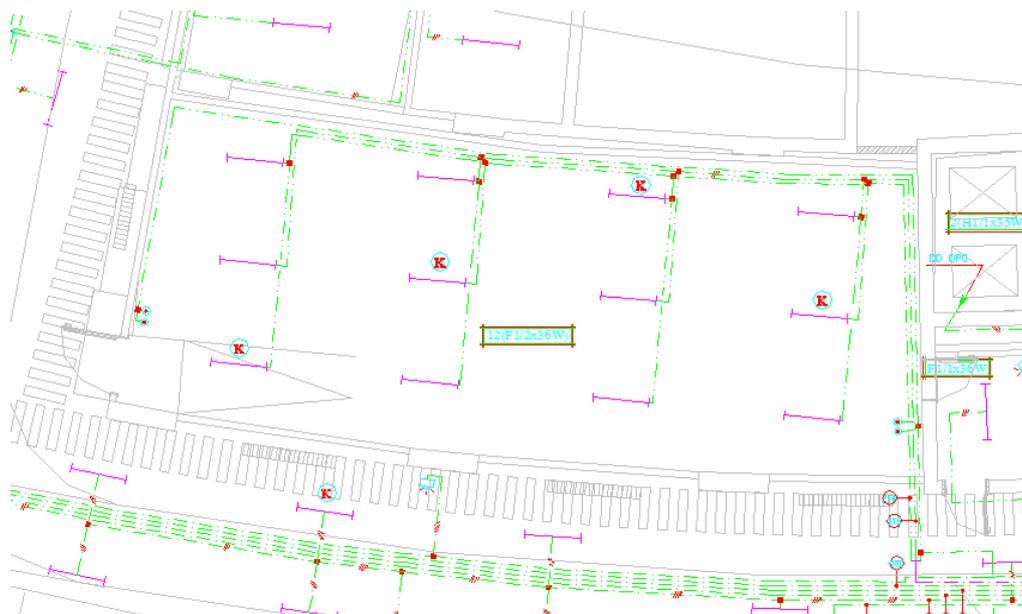


Figura 3.19 – Planta da sala de arquivo do edifício em estudo

Neste caso, o valor de potência instalada é próximo do dobro necessário. Isto deve-se ao facto de a sala estar a ter uma utilização diferente da que estava inicialmente prevista. Poder-se-ia reduzir para cerca de metade a potência instalada nesta sala, retirando (por exemplo) uma das lâmpadas a cada um dos aparelhos de iluminação instalados (caso o tipo de electrificação dos mesmos o permita). Desta forma reduzir-se-ia o consumo para cerca de metade.

### 3.3.3. Átrio de Entrada

O átrio de entrada serve de primeira impressão aos utilizadores do edifício. Esta primeira impressão toma uma importância acrescida quando os edifícios de serviços são utilizados tanto pelos colaboradores da empresa como pelos clientes. Deverá assim ser um espaço confortável e aspecto cuidado. Servirá também de saída de emergência em caso de catástrofe.

Esta zona foi alvo de uma simulação, onde se considera um átrio com 82,81 m<sup>2</sup> (9,1 x 9,1 m) e 6 m de pé direito, vulgarmente conhecido por “duplo pé direito” (Figura 3.20).

Não tendo sido possível medir os valores de reflexão reais nas várias superfícies do edifício em estudo, foram utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, os seguintes valores:

- Tecto .....0,73
- Paredes.....0,61
- Pavimento .....0,61



Figura 3.20 – Átrio de Entrada (imagem virtual)

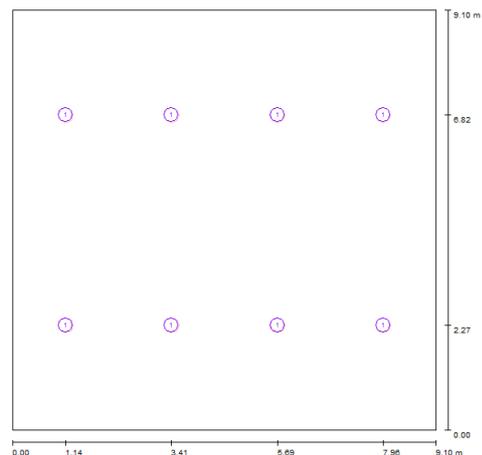


Figura 3.21 – Localização das luminárias no átrio de entrada

Os equipamentos luminosos utilizados foram distribuídos de acordo com a Figura 3.21 prevendo-se o seguinte:

- Aparelho de iluminação do tipo campânula, saliente
- Lâmpada de iodetos metálicos de 70 W, 6.400 lumen (lâmpadas mais balastro com 88 W)

Os valores obtidos foram:

Tabela 3.14 – Resultados da simulação de iluminação no átrio

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Átrio</b>	324	0,84	< 10	8,50	8

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....saguão de guichés

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.15 – Consumo energético anual da iluminação no átrio

Zona	Situação normal (sem janelas) (kWh/ano)	Com luz natural (regulação manual) (kWh/ano)	Com luz natural (regulação automática) (kWh/ano)
<b>Átrio</b>	1.151,92	625,20	403,42

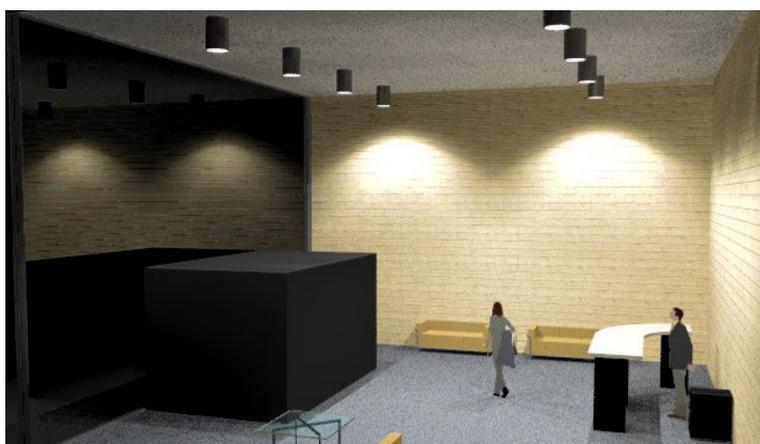


Figura 3.22 – Átrio de entrada com luz natural (imagem virtual)

A Tabela 3.15 apresenta valores que consideram a luz natural que se prevê que entre no átrio do edifício através de uma das fachadas em vidro, representada na Figura 3.22 como uma superfície preta espelhada do lado esquerdo da referida figura.

### 3.3.3.1. Análise da simulação do átrio

A iluminação dos átrios de entrada dos edifícios deverá ser funcional e confortável. Consegue-se com a escolha adequada de aparelhos de iluminação, assegurar um bom nível de iluminação no balcão de trabalho, assim como óptimos valores de uniformidade tanto no referido balcão como no solo (área visível às pessoas em circulação).

O facto de o átrio permitir aproveitar luz natural (fachada envidraçada para o exterior visível como uma superfície espelhada na Figura 3.22), reduz o consumo anual de energia eléctrica necessária para a iluminação em quase 45%, aumentando este valor para 65% caso a iluminação artificial seja dotada de controlo automático que a desligue (ou reduza o seu fluxo luminoso) durante as horas de disponibilidade de iluminação natural.

O projecto de iluminação do átrio de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de  $9 \text{ W/m}^2$
- Solução de controlo de iluminação automática mediante luz natural existente no espaço

### 3.3.3.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontra-se uma entrada rodeada de um enorme envidraçado que disponibiliza uma considerável quantidade de luz natural. A área do átrio é de  $90,7 \text{ m}^2$  e foi iluminada com 21 aparelhos dotados de 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 42 W (Figura 3.23), chegando-se a um valor de  $21,4 \text{ W/m}^2$  (o balastro consome 10% do valor total de potência das lâmpadas).



Figura 3.23 – Planta do átrio de entrada no edifício em estudo

Encontra-se aqui uma potência instalada superior em 2 vezes face ao valor simulado, o que oferece uma boa oportunidade de melhoria. A redução do consumo passa por retirar uma das lâmpadas a cada um dos aparelhos de iluminação (caso a electrificação dos mesmos o permita), reduzindo assim para metade o consumo de energia eléctrica.

O edifício está dotado de um sistema de medição de luz natural na cobertura que permite o controlo da iluminação de forma automática, estando assim garantido o pressuposto de redução máxima de energia consumida.

### 3.3.4. Circulações

A grande maioria dos edifícios apresenta duas situações distintas para as circulações. Circulações em linha rectas, ou circulações com algumas curvas e recantos. Por essa razão, foram simuladas duas situações distintas tendo-se variado, para cada uma delas, a altura dos apliques de parede utilizados na iluminação (1,8 m, 2,0 m e 2,2 m), variável que surge em fase de projecto diversas vezes sem ser conhecida uma regra que a ajude a definir. Os índices de reflexão e pé direito das circulações em estudo são:

Tabela 3.16 – Índices de reflexão das circulações simuladas

Tipo de circulação	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
	Tecto	Paredes	Pavimento	
Circulação não recta	0,70	0,60	0,20	2,8
Circulação recta				

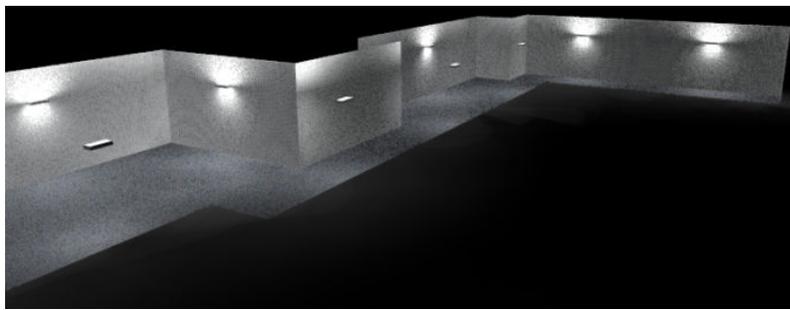


Figura 3.24 – Circulação não recta (imagem virtual)



Figura 3.25 – Circulação recta (imagem virtual)

As circulações devem garantir níveis de iluminação adequados ao reconhecimento de obstáculos e pessoas. Os aparelhos de iluminação simulados foram:

- 2x Lâmpada fluorescente compacta, com 36 W, 2.800 lumen (lâmpadas mais balastro com 75 W)
- Aparelho de iluminação do tipo applique de parede com balastro electrónico

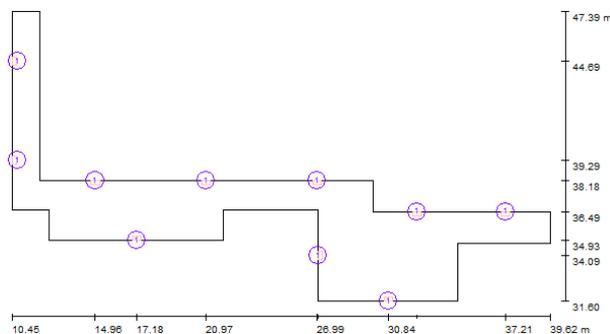


Figura 3.26 – Posição dos apliques de parede na circulação não recta

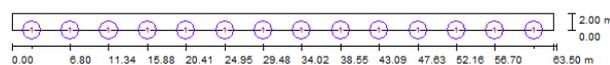


Figura 3.27 – Posição dos apliques de parede na circulação recta

Os valores obtidos foram (à cota 0,8 m acima do solo):

Tabela 3.17 – Resultados da simulação de circulação

Zona – altura do aplique	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Circulação não recta – 1,8 m</b>	126	0,45	12	7,02	10
<b>Circulação não recta – 2,0 m</b>	125	0,46	11		
<b>Circulação não recta – 2,2 m</b>	124	0,47	11		
<b>Circulação recta – 1,8 m</b>	96	0,56	< 10	8,27	14
<b>Circulação recta – 2,0 m</b>	95	0,58	< 10		
<b>Circulação recta – 2,2 m</b>	95	0,59	< 10		

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....superfície de tráfego

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.18 – Consumo energético anual da iluminação da circulação

Zona	Sem detector de presença (kWh/ano)	Com detector de presença (kWh/ano)	Redução energética
<b>Circulação não recta</b>	1.237,50	495,00	60%
<b>Circulação recta</b>	1.732,50	693,00	60%

### 3.3.4.1. Análise da simulação das circulações

A cota de instalação dos apliques de parede neste espaço não apresenta diferenças significativas de valor tornando-se mais importante para o projecto das referidas instalações compatibilizar essa variável com a altura dos utilizadores, de modo a evitar choques com aparelhos salientes nas vias de circulação.

A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) permite reduções de energia da ordem dos 60% tal como apresentado na Tabela 3.18, calculado de acordo com a Equação 3.1:

$$\text{Redução energética (\%)} = \frac{(\text{Consumo com detector} - \text{Consumo sem detector})}{\text{Consumo com detector}} \times 100$$

Equação 3.1 – Cálculo da percentagem de redução energética

O projecto de iluminação das áreas técnicas de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de 9 W/m<sup>2</sup>
- Utilizar detectores de presença

### 3.3.4.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo a zona de circulação tem a mesma configuração em todos os pisos. Esta circulação apresenta uma área de 110 m<sup>2</sup> e é iluminada com 16 aparelhos de iluminação encastrados no tecto, cada um dos quais com duas lâmpadas de 26 W, totalizando assim 8,32 W/m<sup>2</sup> (lâmpada mais balastro, com uma potência de 57,2 W).

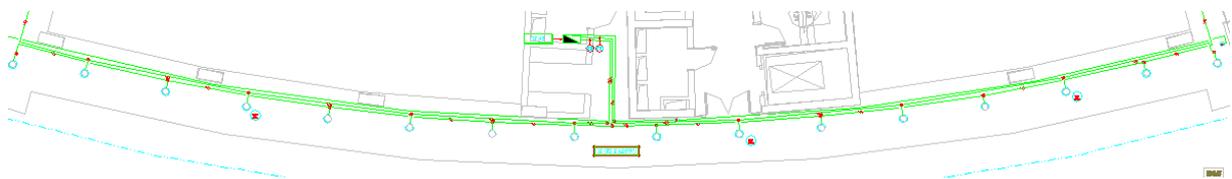


Figura 3.28 – Planta da circulação de piso do edifício em estudo

Em termos de eficiência energética não são encontradas opções que reduzam a potência instalada, uma vez que os valores de potência por m<sup>2</sup> se encontram de acordo com o limite máximo simulado. Contudo, não foram encontrados detectores de presença, os quais, caso fossem instalados, poderiam reduzir o consumo de energia em cerca de 60%.

### 3.3.5. Escadas

As escadas apresentam-se como as zonas de circulação vertical do edifício e muitas vezes os únicos caminhos de evacuação em caso de emergência, requerendo um pouco mais de iluminação devido à dificuldade acrescida de utilizar degraus. As escadas devem garantir níveis de iluminação adequados ao reconhecimento de obstáculos e pessoas.

A simulação foca uma situação típica entre dois pisos diferentes de um edifício, tendo-se considerado 3,7 m de diferença de cota entre dois patamares de pisos diferentes (Figura 3.29).

Os índices de reflexão utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, foram:

- Tecto .....0,50
- Paredes.....0,50
- Pavimento .....0,50



Figura 3.29 – Escadas (imagem virtual)

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos de iluminação estanques equipados com balastro electrónico e uma lâmpada fluorescente tubular T5 do seguinte tipo:

- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 28 W, 2.600 lumen (lâmpada mais balastro com 31 W)
- Instalação saliente justaposta ao tecto

A posição dos aparelhos de iluminação é de difícil representação a 2D. Prevê-se um aparelho de iluminação em cada patamar e um em cada lanço de escadas (Figura 3.29).

Os valores obtidos foram (à cota do pavimento):

Tabela 3.19 – Resultados da simulação de iluminação das escadas

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Escada</b>	188	0,76	11	6,34	1
<b>Patamar</b>	152	0,45	12	7,83	

Considerando duas escadas e dois patamares, necessários para passar de um piso para o outro, chega-se a uma potência instalada de 124 W entre cada passagem de piso a piso.

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....superfície de tráfego

Para este perfil de utilização, os valores calculados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.20 – Consumo energético anual da iluminação das escadas

Zona	Sem detector de presença (kWh/ano)	Com detector de presença (kWh/ano)	Redução energética
<b>Escadas</b>	204,60	81,84	60%

### 3.3.5.1. Análise da simulação das escadas

A iluminação das escadas deverá apresentar-se como uma solução robusta e de fácil implementação. A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) permite reduções de energia da ordem dos 60%.

O projecto de iluminação das circulações verticais de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de 8 W/m<sup>2</sup>
- Utilizar detectores de movimento

### 3.3.5.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontram-se, na interligação entre pisos, 3 aparelhos de iluminação do tipo aplique de parede com lâmpadas de 18 W. Por cada piso existe uma potência instalada (lâmpada + balastro) de 59,4 W.

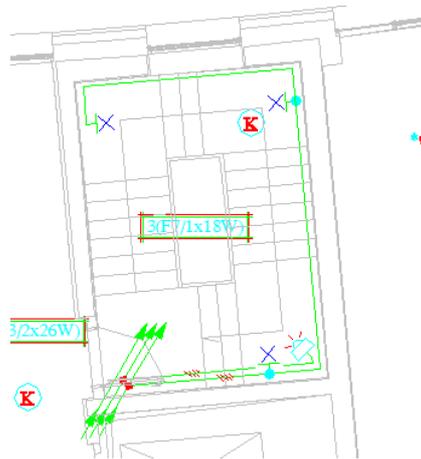


Figura 3.30 – Planta das escadas do edifício em estudo

Em termos de eficiência energética não são encontradas opções que reduzam a potência instalada, uma vez que os valores de potência por metro quadrado se encontram abaixo do limite máximo simulado. O edifício foi já dotado de detectores de presença e as escadas foram colocadas numa zona do edifício que permite a existência de janelas, pelo que a solução é ideal para a finalidade prevista.

### 3.3.6. Estacionamento

O estacionamento deverá garantir níveis de iluminação adequados à segurança do trânsito de veículos e pessoas. Convém salientar que os automóveis deverão circular com os faróis acesos e que a iluminação do edifício não serve para os substituir. O índice de restituição cromática das lâmpadas não é muito exigente (cerca de 20), mas deverá permitir o reconhecimento das diferentes cores de segurança utilizadas nas regras de trânsito, tais como o vermelho e o azul.

Tomando como base o edifício real em estudo, simula-se parte do estacionamento, realizando duas subdivisões: zona de estacionamento e circulação (Figura 3.31) e zona de rampa (Figura 3.35). Considera-se um parque de estacionamento com as seguintes características:

- Espaço para 10 lugares de estacionamento (5 de cada lado e uma faixa de circulação de 6 m);
- área total: 392 m<sup>2</sup> (24,5 m x 16 m)
- Pé direito de 2,5 m;

Não tendo sido possível medir os valores de reflexão reais nas várias superfícies do edifício em estudo, foram utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, os seguintes valores:

- Tecto .....0,60
- Paredes.....0,50
- Pavimento .....0,30

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos estanques, equipados com balastro electrónico e lâmpada fluorescente tubular T5, com 54 W, 4.450 lumen (potência do conjunto lâmpada mais balastro de 59 W). A instalação simulada é idêntica à encontrada no edifício, ou seja, instalação saliente, justaposta ao tecto.

Na fase de desenvolvimento dos projectos de iluminação de edifício, muitas vezes surge a dúvida de qual será a melhor orientação para os aparelhos de iluminação: perpendiculares à circulação automóvel ou paralelos à circulação automóvel? Esta simulação abarca ambas as situações de modo a permitir a sua comparação. A distribuição e orientação das luminárias em cada uma das zonas está representadas nas figuras seguintes (Figura 3.33, Figura 3.34, Figura 3.36, Figura 3.37).

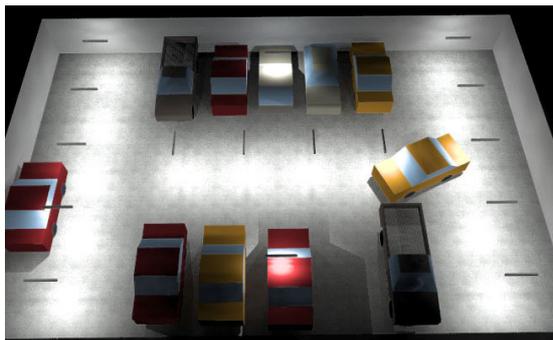


Figura 3.31 – Estacionamento automóvel (imagem virtual)

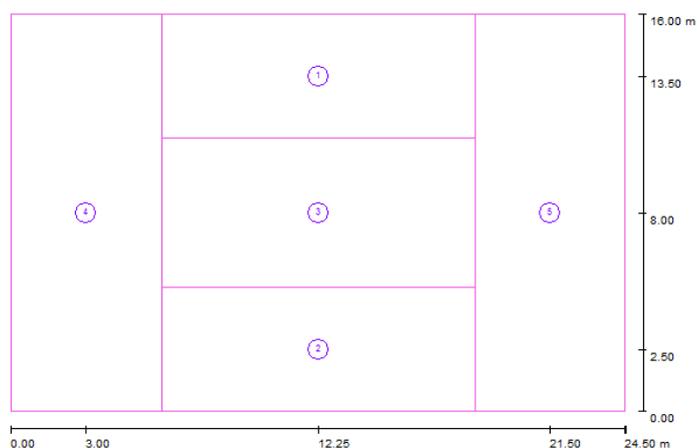


Figura 3.32 – Zonas de cálculo de estacionamento

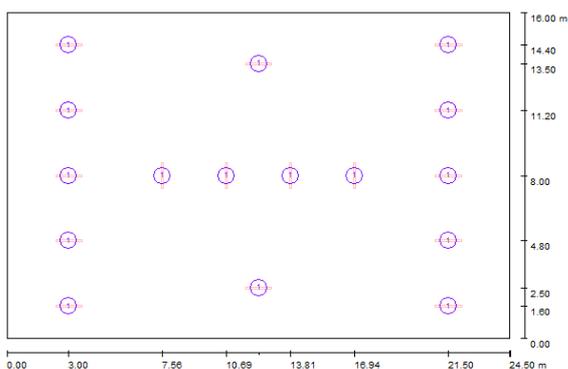


Figura 3.33 – Localização das luminárias no estacionamento

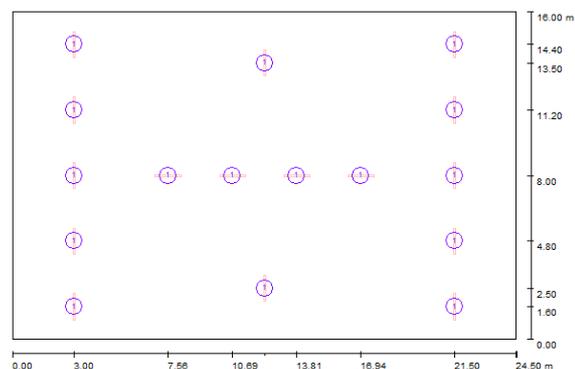


Figura 3.34 – Luminárias do estacionamento a 90°

No parque foram consideradas 2 zonas de estacionamento e 3 zonas de circulação como indicado na Figura 3.32, em que:

- Zona 1 e 2.....Estacionamento
- Zona 3, 4 e 5.....Circulação



Figura 3.35 – Rampa (imagem virtual)

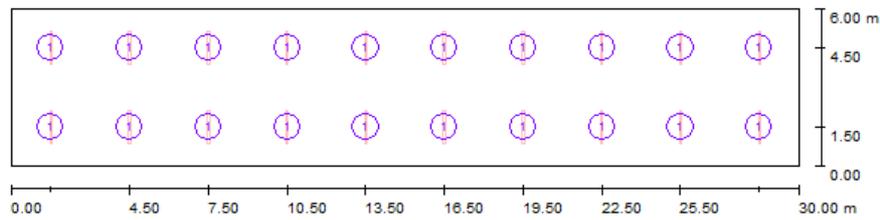


Figura 3.36 – Localização das Luminárias na rampa

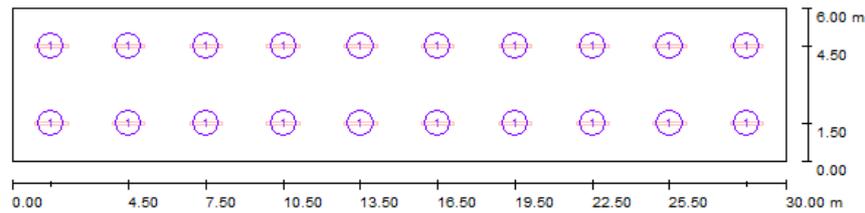


Figura 3.37 – Localização das luminárias a 90° na Rampa

À cota do pavimento, os valores obtidos foram:

Tabela 3.21 – Resultados da simulação do estacionamento

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Estacionamento 1</b>	79	0,41	23	0,94	1
<b>Estacionamento 2</b>	79	0,41	23	0,94	1
<b>Circulação 1</b>	163	0,48	25	3,15	4
<b>Circulação 2</b>	158	0,36	24	3,07	5
<b>Circulação 3</b>	158	0,36	23	3,07	5
<b>Rampa</b>	311	0,51	24	6,56	20
<b>Estacionamento 1 – 90°</b>	77	0,42	25	0,94	1
<b>Estacionamento 2 – 90°</b>	77	0,42	25	0,94	1
<b>Circulação 1 – 90°</b>	165	0,44	25	3,15	4
<b>Circulação 2 – 90°</b>	158	0,31	25	3,07	5
<b>Circulação 3 – 90°</b>	158	0,31	25	3,07	5
<b>Rampa – 90°</b>	311	0,50	23	6,56	20

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2.543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....estacionamento comercial

Para este perfil os valores calculados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.22 – Consumo energético anual da iluminação do estacionamento

Zona	Energia anual (kWh)
<b>Estacionamento sem detector de movimento</b>	1.363
<b>Rampa sem detector de movimento</b>	1.704
<b>Estacionamento com detector de movimento</b>	253
<b>Rampa com detector de movimento</b>	316

### 3.3.6.1. Análise da simulação do estacionamento

A orientação perpendicular à circulação automóvel (Figura 3.33) apresenta melhores valores de uniformidade ( $E_{m,min}/E_{m,med}$ ), contudo as diferenças não são significativas, mostrando que num espaço destes a orientação dos aparelhos não tem grande importância.

A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de movimento) permite reduções de energia da ordem dos 80%, traduzindo-se, nesta simulação, numa poupança de cerca de 111 kWh/ano por cada lugar de estacionamento. Estes valores baseiam-se em perfis de utilização obtidos por uma observação sumária da utilização do edifício em estudo. Na realidade existem vários factores que poderão condicionar estes valores, tais como a regulação do detector (tempo até voltar a apagar a iluminação), localização dos detectores, número de detectores e a efectiva utilização do parque de estacionamento durante o ano. Estes condicionalismos da configuração dos detectores são válidos para todos os espaços em estudo neste trabalho.

Em termos teóricos, e tendo como objectivo o projecto de iluminação energeticamente eficiente de um estacionamento de um edifício de serviços deverão seguir-se as seguintes regras:

- Potência instalada na zona de estacionamento de  $1 \text{ W/m}^2$
- Potência instalada na zona de circulação de  $3 \text{ W/m}^2$
- Potência instalada nas rampas de circulação  $7 \text{ W/m}^2$
- Orientação dos aparelhos perpendiculares à circulação automóvel
- Utilização recomendada de detectores de presença em todos os locais

### 3.3.6.2. Situação encontrada no edifício tipo

O edifício real utilizado no presente estudo apresenta 2 pisos enterrados de estacionamento, com a seguinte distribuição:

#### Piso -2:

- Área total..... 1.731 m<sup>2</sup>
- Estacionamento ..... 1.463 m<sup>2</sup> (53 lugares de estacionamento)

#### Piso -1

- Área total..... 1.641 m<sup>2</sup>
- Estacionamento ..... 1.548 m<sup>2</sup> (60 lugares de estacionamento)



Figura 3.38 – Planta de projecto da circulação e estacionamento do edifício em estudo

Para além de estacionamento, nos pisos enterrados pode encontrar-se uma sala de informática, depósito de água e respectivas bombagens, arrumos e zonas técnicas, escadas e elevadores. Estes restantes locais serão analisados em capítulos próprios. A zona de estacionamento dos dois pisos é idêntica e como tal aprofunda-se a análise apenas do piso -1.

A Tabela 3.23 apresenta os valores obtidos no piso -1, distribuídos pelas zonas consideradas na simulação anterior.

A iluminação foi realizada com aparelhos de iluminação fluorescentes tubulares equipados com uma lâmpada de 36 W e balastro electrónico com uma potência de 3,6 W. Existem 102 aparelhos deste tipo no piso -1, correspondendo a uma potência total de iluminação instalada para o estacionamento de 4.039,2 W.

Tabela 3.23 – Caracterização do estacionamento do edifício em estudo

Zona	Área (m <sup>2</sup> )	N.º de aparelhos de iluminação	Potência instalada (W)	Densidade de potência (W/m <sup>2</sup> )
Lugares de Estacionamento	690	25	990	1,43
Circulação	678	57	2.257	3,33
Rampa	180	20	792	4,40

Na zona de lugares de estacionamento e circulação a densidade de potência encontra-se acima dos valores simulados anteriormente. Seria assim possível reduzir cerca de 7 aparelhos na zona de lugares de estacionamento e 5 aparelhos na zona de circulação. Já na rampa, o valor está abaixo do esperado, sendo necessário acrescentar 12 aparelhos para chegar aos valores previstos. Curiosamente as alterações anular-se-iam uma à outra.

Na visita ao edifício foi possível constatar que efectivamente a iluminação das rampas é inferior ao recomendado pela norma EN 12464-1. Esta situação deve-se à opção do dono de obra não a cumprir por achar que tem aqui oportunidade de gastar menos energia. Não existe normalização obrigatória neste âmbito em Portugal e a norma EN 12464-1 serve apenas como recomendação, possibilitando esta situação.

Uma vez que o estacionamento já se encontra dotado de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença), em termos globais não se apresenta nenhuma oportunidade de melhoria de consumo energético do referido espaço.

### 3.3.7. Gabinetes

Os gabinetes são a zona mais importante de um edifício de serviços. É aqui que os utilizadores passam a maior parte do tempo e para os quais é reservada a maior área do edifício. Os gabinetes apresentam requisitos importantes de iluminação, sendo necessário garantir um nível de iluminação adequado à tarefa de leitura, cálculo, utilização de computador, desenho, escrita e outras tarefas de acordo com a especificidade do serviço analisado.

Em termos de normas europeias, recomenda-se uma iluminância de 500 lux no plano de trabalho (uniformidade 0,7) e 300 lux num limite até 0,5 m anexo ao plano de trabalho. O índice de restituição cromática não deverá ser inferior a 80%, o UGR não poderá ultrapassar os 19 e os aparelhos de iluminação não deverão produzir uma luminância superior a 1.000 cd/m<sup>2</sup>.

Pretendeu-se simular 4 realidades distintas de acordo com os seguintes parâmetros:

Tabela 3.24 – Dimensões dos gabinetes a simular

Gabinetes	Área (m <sup>2</sup> )	Comprimento (m)	Largura (m)	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
				Tecto	Paredes	Pavimento	
Para 1 pessoa	30	6,0	5,0	0,70	0,50	0,20	3,0
Para 2 pessoas	39	7,1	5,5				
Para 4 pessoas	53	4,0	13,3				
Open Space	100	10,0	10,0				



Figura 3.39 – Gabinete 1 pessoa (imagem virtual)



Figura 3.40 – Gabinete 2 pessoa (imagem virtual)



Figura 3.41 – Gabinete 4 pessoa (imagem virtual)

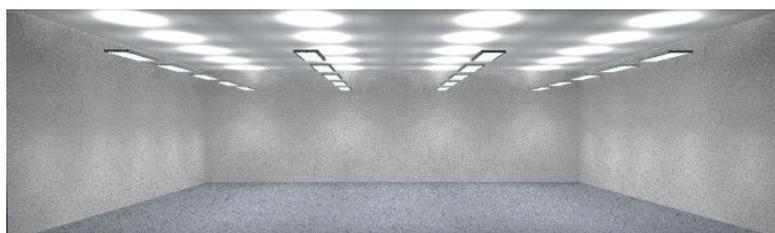
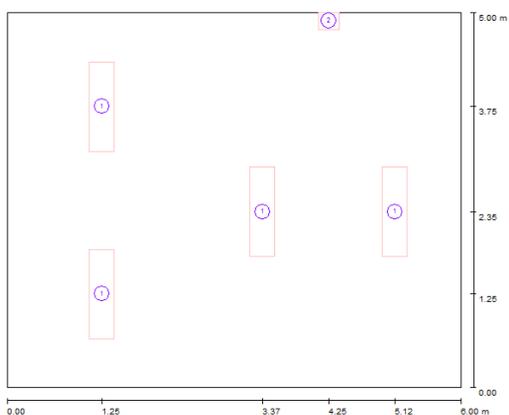


Figura 3.42 – Open Space (imagem virtual)

Os aparelhos de iluminação utilizados foram:

- Aparelho de iluminação suspensos do tecto, com balastro electrónico regulável;
- 2 lâmpadas fluorescentes tubulares, T5, com 28 W, 5.200 lumen (lâmpada mais balastro com 63 W);
- 2 lâmpadas fluorescentes tubulares, T5, com 35 W, 6.600 lumen (lâmpada mais balastro com 77 W);
- Aplique de parede com 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 18 W, 2.300 lumen (lâmpada mais balastro com 38 W).

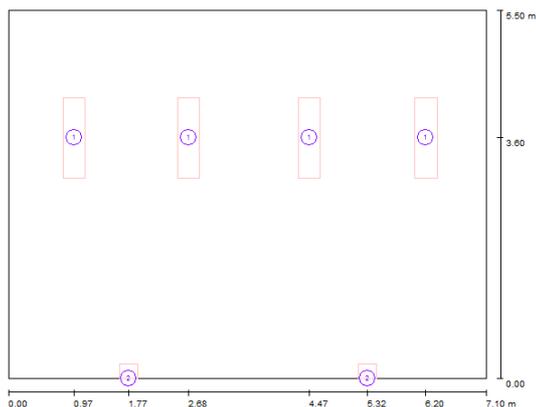
A distribuição dos aparelhos de iluminação em cada um dos gabinetes é apresentada nas figuras seguintes.



Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W

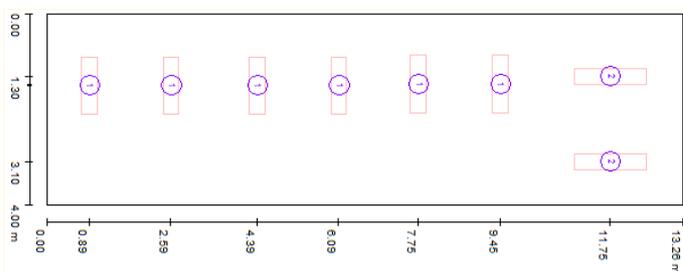
Tipo 2 – Aplique de parede de 38 W

Figura 3.43 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 1 pessoa



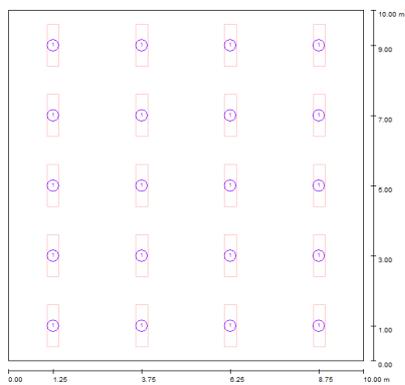
Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W  
 Tipo 2 – Aplique de parede de 38 W

Figura 3.44 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 2 pessoas



Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W  
 Tipo 2 – 2 lâmpadas de 35 W

Figura 3.45 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 4 pessoas



Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W

Figura 3.46 – Distribuição da iluminação do *Open Space*

Em termos de colocação dos aparelhos de iluminação, foram consideradas quatro situações distintas de acordo com a realidade encontrada em projectos tipo de edifícios de serviços [14]:

- Sol. 1.....Aparelhos de iluminação instalados de acordo com as figuras apresentadas (paralelamente ao sentido de visão do utilizador) à altura de 2,3 m do solo;
- Sol. 2.....Aparelhos de iluminação instalados 20 cm mais altos que a primeira solução;
- Sol. 3.....Aparelhos de iluminação instalados 20 cm mais baixos que a primeira solução;
- Sol. 4.....Aparelhos de iluminação instalados rodados 90° relativamente à primeira situação (perpendicularmente ao sentido de visão do utilizador).

Em todos os gabinetes foi considerada uma área de trabalho limitada pela secretária e respectiva zona adjacente (banda com 0,5 m em torno da área de trabalho) por cada posto de trabalho. Como exemplo, a Figura 3.47 representa as áreas de cálculo para o gabinete de 2 pessoas (área de trabalho 1 e área de trabalho 2 representadas pelos rectângulos interiores) e a zona adjacente representada pelo rectângulo exterior. Para o *open space*, considerou-se como área de trabalho toda a área da sala, excepto a 0,5 m da parede (Figura 3.48).

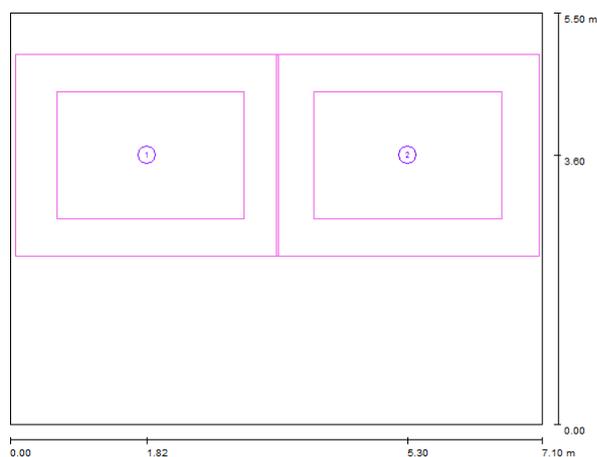


Figura 3.47 – Áreas de trabalho do gabinete para 2 pessoas

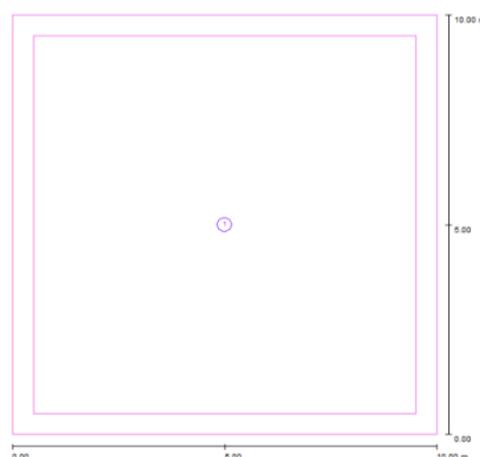


Figura 3.48 – Área de trabalho considerada no *Open Space*

Os valores obtidos foram:

Tabela 3.25 – Resultados da simulação de iluminação para o gabinete de 30 m<sup>2</sup>

Gabinete 1 pessoa	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
<b>Sol. 1 – Secretária 1</b>	476	0,72	13
<b>Sol. 1 – Envoltente da secretária 1</b>	344	0,44	
<b>Sol. 2 – Secretária 1</b>	438	0,72	12
<b>Sol. 2 – Envoltente da secretária 1</b>	330	0,47	
<b>Sol. 3 – Secretária 1</b>	511	0,70	14
<b>Sol. 3 – Envoltente da secretária 1</b>	346	0,41	
<b>Sol. 4 – Secretária 1</b>	493	0,57	13
<b>Sol. 4 – Envoltente da secretária 1</b>	317	0,39	

O gabinete de 30 m<sup>2</sup> apresenta uma densidade de potência de 9,67 W/m<sup>2</sup> (quatro aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W e um aparelho de iluminação com uma potência de 38 W).

Tabela 3.26 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 39 m<sup>2</sup>

Gabinete 2 pessoa	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
Sol. 1 – Secretária 1	474	0,69	13
Sol. 1 – Envolvente da secretária 1	347	0,52	
Sol. 1 – Secretária 2	470	0,70	13
Sol. 1 – Envolvente da secretária 2	351	0,53	
Sol. 2 – Secretária 1	438	0,69	12
Sol. 2 – Envolvente da secretária 1	335	0,56	
Sol. 2 – Secretária 2	436	0,70	13
Sol. 2 – Envolvente da secretária 2	338	0,58	
Sol. 3 – Secretária 1	509	0,69	14
Sol. 3 – Envolvente da secretária 1	349	0,47	
Sol. 3 – Secretária 2	505	0,69	14
Sol. 3 – Envolvente da secretária 2	354	0,48	
Sol. 4 – Secretária 1	471	0,59	13
Sol. 4 – Envolvente da secretária 1	296	0,50	
Sol. 4 – Secretária 2	471	0,59	13
Sol. 4 – Envolvente da secretária 2	298	0,53	

Tabela 3.27 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 53 m<sup>2</sup>

Gabinete 4 pessoa	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
Sol. 1 – Secretária 1	542	0,73	10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 1	422	0,55	
Sol. 1 – Secretária 2	518	0,78	< 10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 2	418	0,70	
Sol. 1 – Secretária 3	511	0,77	< 10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 3	415	0,68	
Sol. 1 – Secretária 4	477	0,72	< 10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 4	361	0,55	
Sol. 2 – Secretária 1	502	0,73	12
Sol. 2 – Envolvente Secretária 1	403	0,61	
Sol. 2 – Secretária 2	483	0,81	< 10
Sol. 2 – Envolvente Secretária 2	405	0,74	
Sol. 2 – Secretária 3	480	0,81	< 10
Sol. 2 – Envolvente Secretária 3	405	0,71	
Sol. 2 – Secretária 4	441	0,72	< 10
Sol. 2 – Envolvente Secretária 4	346	0,59	
Sol. 3 – Secretária 1	578	0,73	11
Sol. 3 – Envolvente Secretária 1	430	0,49	
Sol. 3 – Secretária 2	553	0,75	< 10
Sol. 3 – Envolvente Secretária 2	418	0,65	
Sol. 3 – Secretária 3	544	0,75	< 10
Sol. 3 – Envolvente Secretária 3	416	0,62	
Sol. 3 – Secretária 4	516	0,71	< 10
Sol. 3 – Envolvente Secretária 4	365	0,49	
Sol. 4 – Secretária 1	569	0,61	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 1	374	0,49	
Sol. 4 – Secretária 2	545	0,64	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 2	395	0,64	
Sol. 4 – Secretária 3	522	0,64	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 3	348	0,63	
Sol. 4 – Secretária 4	497	0,60	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 4	313	0,52	

A simulação do gabinete de 39 m<sup>2</sup> (Tabela 3.26) apresenta a densidade de potência menor das quatro simulações, conseguindo-se iluminar o espaço com 8,40 W/m<sup>2</sup>, utilizando quatro aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W e dois aparelhos de iluminação com uma potência de 38 W).

O gabinete de 4 pessoas (Tabela 3.27) apresenta uma densidade de potência superior à da simulação do gabinete de apenas 1 pessoa, obtendo-se a valores de 10,03 W/m<sup>2</sup> de iluminação com uma solução de seis aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W e dois aparelhos de iluminação com uma potência de 38 W.

Tabela 3.28 – Resultados da simulação da iluminação do *Open Space*

<i>Open Space</i>	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
<b>Sol. 1 – Cota das secretárias</b>	512	0,74	< 10
<b>Sol. 1 – Envolveinte (junto parede)</b>	380	0,65	
<b>Sol. 2 – Cota das secretárias</b>	459	0,69	10
<b>Sol. 2 – Envolveinte (junto parede)</b>	342	0,70	
<b>Sol. 3 – Cota das secretárias</b>	527	0,79	< 10
<b>Sol. 3 – Envolveinte (junto parede)</b>	382	0,61	
<b>Sol. 4 – Cota das secretárias</b>	513	0,70	< 10
<b>Sol. 4 – Envolveinte (junto parede)</b>	373	0,64	

O *open space* (Tabela 3.28) apresenta a densidade de potência maior das quatro simulações. O facto de não ser possível antecipar os locais onde realmente é necessária a grande maioria da incidência luminosa, torna o espaço envolvente muito pequeno (apenas junto da parede), sendo necessários valores de 12,60 W/m<sup>2</sup> para iluminação o espaço (utilizando 20 aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W cada).

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização (gabinete de 30 m<sup>2</sup>) .....Escritório individual
- Tipo de utilização (gabinete de 39 m<sup>2</sup> e 53 m<sup>2</sup>).....Escritório de 2 a 6 pessoas
- Tipo de utilização (open-space).....Escritório aberto

Para a comparação da energia anual utilizada, foram calculas cinco situações distintas:

- Sem domótica
- Com detector de presença
- Com detector de luminosidade (sem capacidade para regular 0% de iluminação)
- Com detector de luminosidade (com capacidade para regular 0% de iluminação)
- Com domótica (detector de presença + detector de luminosidade com regulação 0%)

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.29 – Consumo energético anual da iluminação dos gabinetes

Tipo de comando	Gabinete 1 pessoa (kWh/ano)	Gabinete 2 pessoas (kWh/ano)	Gabinete 4 pessoas (kWh/ano)	Open Space (kWh/ano)
<b>Sem domótica</b>	393,17	382,79	576,17	3.465,00
<b>Com detector de presença</b>	330,73	321,99	484,66	
<b>Com detector de luminosidade (sem 0%)</b>	367,49	320,63	457,31	
<b>Com detector de luminosidade (com 0%)</b>	358,93	305,83	429,01	
<b>Com domótica (combinação de detector de presença e luminosidade 0%)</b>	301,92	257,26	360,88	

### 3.3.7.1. Análise da simulação dos gabinetes

Mantendo a iluminância exigida pela norma europeia, sobram 2 variáveis possíveis de controlar em projecto (para além da normal exigência de alta tecnologia utilizada nos aparelhos de iluminação) que são orientação e altura dos aparelhos de iluminação.

Pelas simulações realizadas é notório que o facto de colocar os aparelhos de iluminação numa posição perpendicular à área de trabalho, aumenta a iluminância, mas reduz a uniformidade. O valor da uniformidade tem de ser mantido acima dos 0,7 na área de trabalho.

Em termos de altura de montagem, quanto mais altos os aparelhos forem montados, menor a iluminância na área de trabalho, mas maior será a uniformidade.

A utilização de dispositivos automáticos de controlo é sinónima de reduções significativas no consumo energético associado à iluminação dos gabinetes. O detector de presença apresenta-se como o dispositivo mais eficaz, uma vez que simplesmente desliga a iluminação quando o gabinete não está a ser utilizado.

Os detectores de luminosidade deverão ser dotados de dispositivos que permitam desligar a iluminação totalmente e não apenas reduzi-la. A maior parte das soluções de mercado têm um valor de regulação mínimo na ordem dos 5%. Estes 5% traduzem-se num desperdício de energia anual próximo dos 30 kWh no caso do gabinete de 4 pessoas.

Idealmente, a solução de dotar os aparelhos de iluminação com detectores de luminosidade (com tecnologia que permita 0% de iluminação) associados a detectores de presença, proporcionam ganhos na ordem dos 37% de energia anual (valores simulados com base num gabinete com janelas na zona de Lisboa).

O projecto de iluminação de gabinetes de edifícios de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada não superior a  $10 \text{ W/m}^2$  ( $12 \text{ W/m}^2$  no caso dos *open space* quando não é possível prever soluções focadas na área de trabalho real);
- Utilização de aparelhos de iluminação instalados paralelamente à direcção de visão do utilizador;
- Ajuste da altura de instalação dos aparelhos em função do nível de iluminação e uniformidade pretendidos (sistemas de iluminação ajustáveis);

### 3.3.7.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo vários gabinetes e algumas zonas previstas em projecto como *open space*.

Os gabinetes são (na sua generalidade) dimensionados para uma pessoa, têm cerca de  $22 \text{ m}^2$ , e a existência de dois pontos de iluminação (Figura 3.49) onde é instalado (em cada ponto) um candeeiro de chão equipado com 3 lâmpadas de 55 W. No *open space* (com  $167 \text{ m}^2$ ) foi também utilizada esta solução mas, neste caso, com 16 pontos de iluminação (Figura 3.50). Estas soluções permitem obter a potência de  $17,4 \text{ W/m}^2$  para os *open space* e  $16,5 \text{ W/m}^2$  para os gabinetes individuais (utilizando no cálculo a potência do sistema lâmpada e balastro).

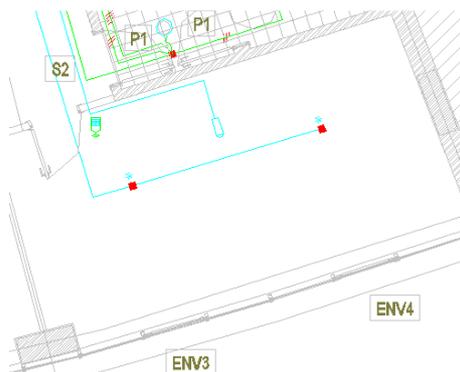


Figura 3.49 – Planta de gabinete individual do edifício em estudo



Figura 3.50 – Planta do *open space* do edifício em estudo

Em termos de comando de iluminação, os gabinetes estão dotados de um sistema de controlo associado a monitorizações gerais ao edifício, não tendo sido previsto nenhum detector de movimento ou de luminosidade específico para cada espaço.

Os gabinetes poderão ser dotados de dispositivos de detecção de movimento, assim como de detecção de luminosidade, reduzindo o consumo energético do edifício associado à iluminação.

A potência dos candeeiros utilizados (dotados com 3 lâmpadas de 55 W) poderá também ser reduzida. Esta solução deverá ser analisada conjuntamente com a solução de instalação de equipamento de regulação de fluxo luminoso.

O edifício apresenta uma área de cerca de 3.700 m<sup>2</sup> dedicados a gabinetes e *open-spaces*. Considerando o exemplo do gabinete com capacidade para 2 pessoas em cerca de 40 m<sup>2</sup>, a redução possível é de cerca de 3,14 kWh/m<sup>2</sup>/ano, chegando-se assim a uma oportunidade de redução de cerca de 11.618 kWh/ano (para toda a área de escritórios do edifício). Tratando-se de um cliente de média tensão e atribuindo um custo de cerca de 0,10 € por cada kWh, a redução anual seria de cerca de 1.160 Euros.

Para que esta redução fosse possível teriam de ser realizadas (considerando a instalação de dispositivos de controlo por cada 4 pontos de iluminação - quatro candeeiros - após análise à estrutura do edifício) beneficiações em cerca de 60 pontos, ou seja, teriam de ser instalados cerca de 60 sensores mistos (de movimento e luminância) no edifício. A instalação de cada detector custaria cerca de 150 Euros (custo de equipamento e instalação), permitindo estimar o custo da beneficiação em cerca de 9.000 Euros, obtendo um retorno de investimento (calculado na forma simples) de cerca de 8 anos.

O custo dos equipamentos electrónicos de comando e optimização das soluções de iluminação (detectores de movimento, detectores de luminância, regulação de fluxo, entre outros), associado ao preço de mão-de-obra de montagem é muito superior ao custo relativo da poupança energética de cada um dos aparelhos, uma vez que se trata de equipamentos de baixo consumo quando comparados com outros equipamentos do edifício.

### 3.3.8. Instalações Sanitárias

As instalações sanitárias não apresentam grandes requisitos de iluminação, sendo necessário garantir um nível de iluminação adequado à utilização e correcta higienização da mesma.

Na simulação deste espaço considera-se lugar para 2 sanitas numa área total de 10 m<sup>2</sup> (4,0 x 2,5 m) e 3 m de pé direito (Figura 3.51).

Os índices de reflexão utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, foram:

- Tecto .....0,70
- Paredes.....0,60
- Pavimento .....0,30

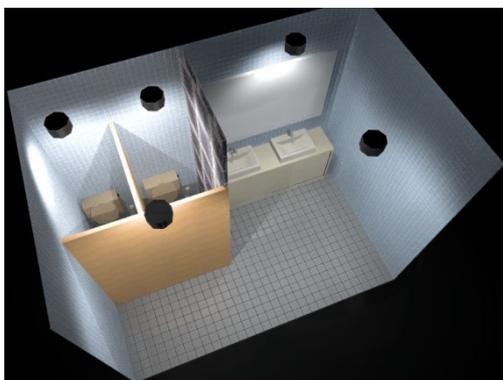


Figura 3.51 – Instalações Sanitárias (imagem virtual)

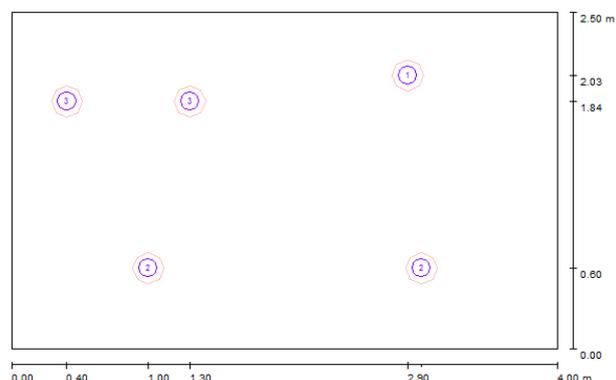


Figura 3.52 – Diferentes tipos de luminárias consideradas nas instalações sanitárias

Os aparelhos de iluminação utilizados foram distribuídos de acordo com a Figura 3.52 prevendo-se o seguinte:

- Aparelho de iluminação encastrado no tecto falso, com balastro electrónico
- Lâmpada fluorescente compacta de 13 W, 900 lumen (lâmpada mais balastro com 16 W (tipo 1 da Figura 3.52)
- Lâmpada fluorescente compacta, com 26 W, 1.800 lumen (lâmpada mais balastro com 28 W (tipo 3 da Figura 3.52)
- Lâmpada fluorescente compacta, com 32 W, 2.400 lumen (lâmpada mais balastro com 35 W (tipo 2 da Figura 3.52)
- 2x lâmpada fluorescente compacta, com 13 W, 1.800 lumen (lâmpada mais balastro com 25 W (tipo 3 da Figura 3.52)

Foram consideradas 3 zonas de cálculo, de acordo com a distribuição apresentada na Figura 3.53:

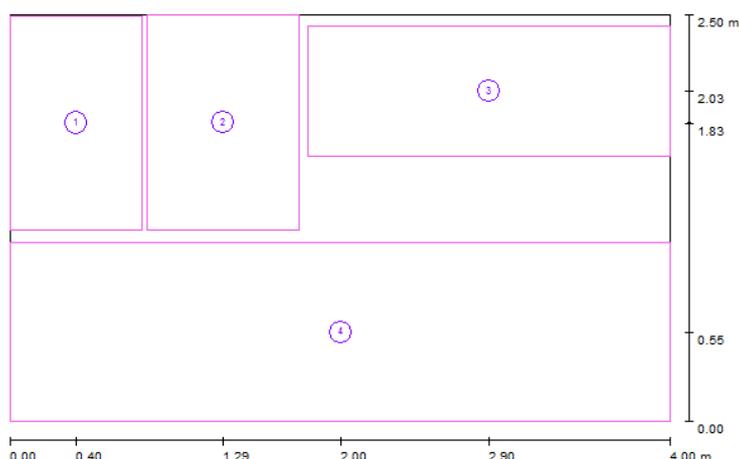


Figura 3.53 – Zonas de cálculo instalações sanitárias

Em que:

- Zona1 .....Cabine 1
- Zona 2 .....Cabine 2
- Zona 3 .....Lavatórios
- Zona 4 .....Circulação

Pretende-se com esta simulação concluir sobre o que será mais vantajoso entre prever equipamentos com duas lâmpadas ou equipamentos com apenas uma lâmpada com o dobro da potência.

Os valores obtidos foram (à cota 0,9 m acima do solo para as cabines; a 1,0 m para os lavatórios e à cota de pavimento nas circulações):

Tabela 3.30 – Resultados da simulação de iluminação das instalações sanitárias

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Cabine 1</b>	193	0,84	< 10	26,67	1
<b>Cabine 2</b>	195	0,76		23,81	
<b>Cabine 1 – duas lâmpadas</b>	163	0,48		22,95	
<b>Cabine 2 – duas lâmpadas</b>	158	0,36		20,49	
<b>Lavatórios</b>	200	0,60		9,09	
<b>Circulação</b>	188	0,63		15,91	

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....WC e sanitários em edifício comercial

Nesta fase da simulação, foi criada uma pequena entrada de luz natural (pequena janela visível na Figura 3.54) de modo a permitir aferir a energia que é possível poupar (anualmente) pela introdução desse elemento na arquitectura do edifício. Para o caso da existência da janela, considera-se também um sistema de regulação automática de fluxo luminoso.



Figura 3.54 – Instalações sanitárias com iluminação normal (imagem virtual)

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.31 – Consumo energético anual da iluminação das instalações sanitárias

Zona	Situação normal (sem janelas) (kWh/ano)	Com luz natural (com janela) (kWh/ano)	Redução energética
<b>Instalação Sanitária</b>	56,62	30,00	47%

### 3.3.8.1. Análise da simulação das instalações sanitárias

Os aparelhos de iluminação dotados de duas lâmpadas apresentam uma potência global inferior para o mesmo fluxo luminoso (a utilização de apenas um balastro para duas lâmpadas reduz a potência do sistema), mas também oferecem níveis de iluminação mais reduzidos. Isto deve-se ao facto de uma das lâmpadas bloquear a distribuição de luz da outra (uma lâmpada faz sombra na outra).

É assim notório que, para praticamente a mesma potência, o aparelho apenas com 1 lâmpada favorece uma iluminância entre 18% e 23% superior ao aparelho com 2 lâmpadas (cada uma com metade da potência do aparelho objecto da comparação.)

A iluminação natural associada a um mecanismo de controlo automático do nível de iluminação, proporciona reduções de energia da ordem dos 47%.

O projecto de iluminação das instalações sanitárias de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada não superior a  $15 \text{ W/m}^2$  (totalidade das instalações sanitárias típicas de escritórios)
- Utilização de aparelhos de iluminação de apenas 1 lâmpada

### 3.3.8.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontram-se instalações sanitárias com cerca de  $9,8 \text{ m}^2$  e cerca de  $193,6 \text{ W}$  (sistema de iluminação lâmpada mais balastro), obtendo-se uma potência de  $17,96 \text{ W/m}^2$ . Em termos de comando de iluminação, as instalações sanitárias foram dotadas de um dispositivo de detecção de presença que faz com que a iluminação esteja apagada quando não é necessária.

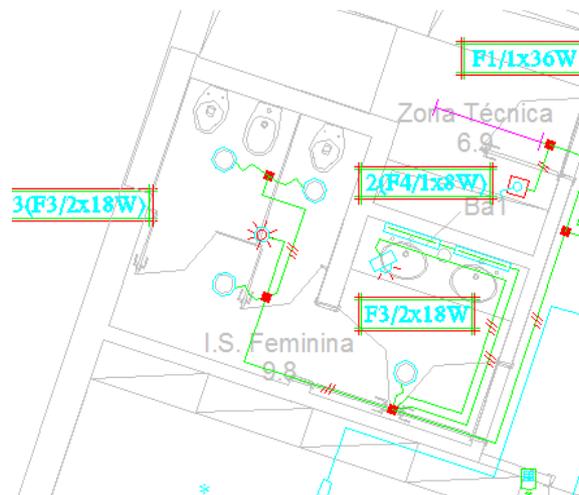


Figura 3.55 – Planta de uma das instalações sanitárias do edifício em estudo

A potência instalada nas instalações sanitárias é mais elevada do que a considerada nas simulações realizadas. É possível reduzir o consumo energético substituindo os dois aparelhos de iluminação utilizados para iluminar o espelho por apenas 1 aparelho.

## 4. Tomadas de energia eléctrica

As tomadas de energia eléctrica permitem a ligação de equipamentos eléctricos de baixa potência (tipicamente até 3,7 kVA). Nos edifícios de serviços a sua utilização centra-se essencialmente em equipamento informático (computadores, impressoras, monitores), transformadores (carregadores de telemóvel, portáteis ou pilhas), refrigeradores/filtradores de água potável e máquinas de venda de produtos (comes e bebes).

Todos estes equipamentos apresentam uma particularidade em comum: só são necessários aquando da presença de pessoas no edifício mas é comum encontrarem-se sempre ligados, tanto em funcionamento normal como em modo de espera (“*standby*”).

O presente estudo, no âmbito de edifícios de serviços, abordará uma carga em particular: a carga informática.

Existe hoje em dia uma panóplia de produtos de diferentes características e diferente consumo energético. Um computador pessoal, composto por uma central de processamento, periféricos (teclado e rato) e monitor poderá ter uma potência eléctrica entre os 20 W (computador portátil com a bateria carregada [15]) e os 670 W (computador de secretária normal [16]).

### 4.1. Situação encontrada no edifício

Na análise de consumo eléctrico das cargas informáticas, ao invés de relacionar as respectivas cargas com a área de ocupação, utilizar-se-á uma relação ao número de pessoas que trabalham no edifício. No edifício em estudo trabalham 200 pessoas distribuídas por 6 pisos, possuindo todas um computador pessoal e um monitor.

Em cada um dos pisos existe um núcleo de impressão composto por 2 impressoras, não existindo por isso impressoras locais (salvo raras excepções – secretariado do director financeiro – desprezáveis para o presente estudo).

O parque informático utilizado é bastante recente, com uma metodologia assente em processamento e armazenamento centralizado, conseguindo consumos de energia muito reduzidos.

Tabela 4.1 – Potências eléctricas do parque informático do edifício [17]

Equipamento	Em funcionamento (W)	Em espera (W)	Poupança de energia (W)	Desligado (W)
<b>Computador pessoal (HP Compact T5720)</b>	20,1	-	-	0,00
<b>Monitor (HP 1940)</b>	70,0	2,0	-	0,00
<b>Impressora profissional (HP 4345 mfp)</b>	800,0	49,0	15,0	0,25

A Tabela 4.1 mostra que o computador pessoal não tem modo de espera (tipicamente conhecido por “Standby”) e quando desligado tem consumo nulo. O monitor também tem consumo nulo quando desligado, mas já possui um modo de espera. Por último, a impressora profissional, que mesmo desligada apresenta uma potência residual de 0,25 W, possui três modos de funcionamento: a imprimir (ou copiar), modo de espera de trabalho de impressão e modo de poupança de energia. O modo de poupança de energia desliga os sistemas principais da impressora, obrigando a que a religação automática aquando da recepção de um trabalho de impressão seja mais demorada.

Após algumas visitas ao edifício, onde foram realizados levantamentos de hábitos de utilização por parte dos colaboradores da empresa, foi possível aferir que 59% dos utilizadores nunca desligam o monitor e 27% dos utilizadores nunca desligam os computadores. As impressoras ao fim de, sensivelmente, 1 hora entram automaticamente em modo de poupança de energia, mas nunca são desligadas.

#### 4.1.1. Consumos eléctricos estimados

A impossibilidade de medição de energia consumida nos circuitos dos quadros eléctricos, impede que os valores aqui estimados sejam realmente aferidos. Contudo, é possível realizar uma estimativa com base na utilização que no capítulo de conclusões será validada pelos consumos mensais totais de energia durante o ano de 2006.

Em média, os colaboradores da empresa utilizam os seus computadores, de 2ª a 6ª Feira, entre as 8 horas e as 19 horas, ou seja, pode considerar-se que durante 11 horas diárias é necessário que os computadores estejam a funcionar e durante 13 horas poderão estar desligados. A potência eléctrica do parque informático (excluído o centro informático principal) é de, prevendo o funcionamento normal de um computador mais monitor, igual a 90,1 W.

$$\begin{aligned} 200 \text{ pessoas} \times [11 \text{ h} \times 90,1 \text{ W} + 13 \text{ h} \times (0,59 \times 2,0 \text{ W} + 0,27 \times 20,1 \text{ W})] = \\ = 200 \times (991,1 + 85,891) = \\ = 215.398 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Equação 4.1 – Consumo de energia eléctrica dos computadores do edifício nos dias úteis

A Equação 4.1 chega ao valor de 215 kWh de consumo eléctrico, associado à informática em cada dia útil. Nos dias não úteis (fins-de-semana) é possível calcular o consumo eléctrico originado pelo facto dos utilizadores não desligarem os computadores.

$$\begin{aligned} 200 \text{ pessoas} \times 2 \text{ dias} \times [24 \text{ h} \times (0,59 \times 2,0 \text{ W} + 0,27 \times 20,1 \text{ W})] = \\ = 200 \times 2 \times 158,568 = \\ = 63.427 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Equação 4.2 – Consumo de energia eléctrica dos computadores do edifício ao fim-de-semana

Num ano típico de 52 semanas (261 dias úteis e 52 fins-de-semana), excluindo os feriados fora dos fins-de-semana e as férias dos colaboradores (que servem para acentuar a diferença a calcular) é possível calcular a estimativa de consumo do edifício e a estimativa de consumo caso os colaboradores desligassem os computadores à noite e os mantivessem desligados durante o fim-de-semana.

$$200 \text{ pessoas} \times (11 \text{ h} \times 90,1 \text{ W}) = \\ = 198.220 \text{ Wh}$$

Equação 4.3 – Energia eléctrica desligando os computadores e monitores fora de horas

Multiplicando o valor obtido na Equação 4.3 pelos dias úteis do ano (261 dias), obtemos o valor de consumo anual caso os utilizadores desligassem os computadores e monitores ao fim do dia e os voltassem a ligar no dia seguinte quando retomam o trabalho (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Consumo de energia eléctrica real e desligando os computadores

Equipamento	Consumo anual (kWh)
<b>Realidade actual do edifício</b>	59.517
<b>Desligando os computadores e monitores</b>	51.735

É assim possível poupar cerca de 7.700 kWh anualmente (cerca de 13%), a que, de acordo com a tarifa eléctrica utilizada no capítulo de iluminação (0,10 €/kWh), corresponde um custo de 770 € anuais.

Esta diferença é proporcional ao consumo dos equipamentos e inversamente proporcional às horas de trabalho dos colaboradores. Computadores mais potentes e menos horas de trabalho fazem aumentar este cálculo, uma vez que a energia desperdiçada durante as horas em que ninguém os está a utilizar é maior.

## 4.2. Alterações ao edifício

O sucesso da implementação de alterações que proporcionem as referidas poupanças tem de passar pela introdução de sistemas automáticos que possibilitem desligar os circuitos eléctricos não utilizados.

O utilizador tem vindo a habituar-se a um conforto crescente na utilização dos sistemas e, como tal, não pretende regredir nesse conforto. Por esta razão, as campanhas realizadas com o intuito dos utilizadores não deixarem os equipamentos no modo de “standby”, não têm surtido efeitos consideráveis. Os valores investidos nestas campanhas deveriam ser direccionados para o desenvolvimento de sistemas de alimentação que apresentem consumos cada vez mais reduzidos no modo de “standby”, ou outros métodos de redução do consumo eléctrico.

Um televisor poderia ao fim de um intervalo de tempo (por exemplo 1 hora), caso tivesse sido colocado em modo de espera, comutar automaticamente para um estado de consumo nulo que

obrigasse o utilizador a deslocar-se até ao próprio para carregar num botão quando o quisesse voltar a ligar. Os computadores já deram esse passo com a introdução do modo de “hibernação” (sem qualquer consumo) que poderá ser configurado para automaticamente ocorrer passado algum tempo após o modo de suspensão ter sido activado (modo de espera – “*standby*”).

No caso dos edifícios, os projectos de instalações eléctricas devem começar a adaptar-se às novas realidades. Deverão prever contadores de energia em vários circuitos de modo a localizar os consumidores mais intensivos e deverão dotar os circuitos de dispositivos de corte e religação automática.

Só com a ajuda destes mecanismos se torna possível comandar o consumo do edifício, conhecendo os valores envolvidos e permitindo parametrizar o consumo permitido.

## 5. Climatização

Os sistemas de climatização apresentam uma crescente adesão por parte dos utilizadores. Nos anteriores capítulos abordam-se cargas essenciais ao funcionamento de um edifício de serviços (sem iluminação não é possível ver o que temos para fazer e hoje em dia sem computador não é possível organizar e realizar o trabalho), reservando-se este capítulo para um equipamento que fornece conforto em troca de consumo de energia eléctrica.

As condições climatéricas tornam necessária a existência de uma protecção contra o frio e o calor. Um edifício de serviços, para além da normal protecção contra o clima, possui obrigatoriamente outras comodidades: casa-de-banho, esgotos, água corrente, fontes energéticas directamente disponíveis, temperatura e humidade relativa dentro de parâmetros de conforto e finalmente a qualidade do ar em termos de concentração de gases, poeiras e de microorganismos. [18]

Todas estas comodidades foram postas à disposição pelos avanços tecnológicos, mas estas melhorias têm um custo: as comodidades traduzem-se num acréscimo de investimento, num maior consumo de recursos e num aumento da poluição do planeta.

Estando Portugal inserido numa zona de clima temperado, torna-se necessário o aquecimento no Inverno e o arrefecimento no Verão para manter as condições de conforto genéricas para os utilizadores.

Actualmente a evolução tecnológica permite a utilização de uma grande diversidade de equipamentos que podem constituir uma instalação de climatização: caldeiras, bombas de calor, unidades de arrefecimento de ar, unidades produtoras de água refrigerada e equipamentos “verdes” tais como painéis solares, fachadas ventiladas ou aproveitamentos geotérmicos.

### 5.1. Escolha de equipamentos

O consumo dos equipamentos de climatização está relacionado com diversos parâmetros internos e externos ao sistema, tais como a temperatura ambiente e a temperatura pretendida para o espaço (regulada pelo utilizador). A influência destes factores externos acaba por ser mais significativa do que a influência dos factores internos (tecnologia, número de tubos para o trânsito do fluido térmico, entre outros), traduzindo-se em variações de consumo que podem ser superiores a 40% [18]. Qualquer que seja a solução de climatização adoptada torna-se evidente que apenas com um sistema de comando centralizado (gestão técnica) é possível moderar os consumos, uma vez que é a forma mais fácil de controlar num mesmo ponto a temperatura pretendida no espaço (vulgo “set point”).

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da eficiência energética em termos de energia eléctrica e, por essa razão, neste capítulo exclui-se a análise de eficiência de uma caldeira (consumo de

combustível e não de energia eléctrica) ou de um painel solar e foca-se o estudo no consumo eléctrico dos sistemas de arrefecimento mais comuns: grupo produtor de água refrigerada arrefecido a ar ou água (vulgo “Chiller”), equipamentos de Volume de Refrigerante Variável (VRV) e os normais equipamentos com compressores de ciclo frigorífico (vulgo “split” do tipo inverter ou do tipo normal). O “split” do tipo “inverter” permite adequar a produção de frio ou calor à necessidade momentânea através da regulação do consumo eléctrico dos compressores.

A partir de alguns catálogos de marcas de ar condicionado, foi possível elaborar as seguintes tabelas:

Tabela 5.1 – Características técnicas de “Splits” [19]

	“Split” - Bomba de calor				“Split” - Power Inverter					
Potência frio (kW)	7,60	9,80	12,30	14,20	5,40	6,70	8,10	11,40	14,00	15,30
Potência eléctrica frio (kW)	2,84	3,55	4,52	5,44	1,67	1,63	2,14	2,92	3,88	4,65
Potência calor (kW)	8,80	11,50	14,30	17,00	6,60	8,20	10,20	14,00	16,00	18,00
Potência eléctrica calor (kW)	2,76	3,45	4,72	5,22	1,71	2,03	2,23	3,26	4,11	4,60
kW Eléctrico /kW térmico (frio)	0,37	0,36	0,37	0,38	0,31	0,24	0,26	0,26	0,28	0,30
kW Eléctrico /kW térmico (calor)	0,31	0,30	0,33	0,31	0,26	0,25	0,22	0,23	0,26	0,26

Tabela 5.2 – Características técnicas de sistema VRV [20]

	VRV				
Potência frio (kW)	28,00	55,90	82,50	111,00	138,00
Potência eléctrica frio (kW)	7,42	15,20	25,80	33,20	44,80
Potência calor (kW)	31,50	62,50	94,00	126,00	158,00
Potência eléctrica calor (kW)	7,70	15,30	24,70	32,40	41,90
kW Eléctrico /kW térmico (frio)	0,27	0,27	0,31	0,30	0,32
kW Eléctrico /kW térmico (calor)	0,24	0,24	0,26	0,26	0,27

Tabela 5.3 – Características técnicas de Chillers [20]

	Chiller a Ar						Chiller a Agua					
Potência frio (kW)	111	144	164	199	285	349	186	223	276	306	366	408
Potência eléctrica (kW)	41,9	51,8	64,3	78,1	108,0	140,00	39,70	48,10	59,30	71,40	79,30	87,20
kW Eléctrico /kW térmico	0,38	0,36	0,39	0,39	0,38	0,40	0,21	0,22	0,21	0,23	0,22	0,21

Na Tabela 5.1 é possível verificar que os sistemas Inverter (com variação da potência fornecida ao compressor) apresentam um rendimento superior quando comparados com as potências dos sistemas normais, permitindo poupar cerca de 100 W na produção de cada kW de frio e 70 W na produção de cada kW de calor.

Para potências grandes (como é o caso do edifício de serviços em estudo), a melhor solução é o grupo produtor de água refrigerada (Chiller) arrefecido a água.

## 5.2. Equipamento instalado no edifício

No edifício em estudo foram instalados 2 grupos produtores de água refrigerada refrigerados a ar, com uma potência de 600 kW cada um. Contudo trata-se de um equipamento mais caro que os restantes e que obriga a uma manutenção também mais dispendiosa.

Analisando as tabelas acima apresentadas concluir-se-ia que teria sido mais vantajoso utilizar um sistema composto por um GPAR de refrigeração a água. Contudo, esta análise apenas está correcta

em termos de eficiência (rendimento), mas não em termos de eficácia (utilidade prática para a função pretendida).

Os sistemas de climatização utilizados hoje em dia são complexos e envolvem diversos equipamentos distintos. Mais importante do que a simples análise da condição óptima de funcionamento apresentada em catálogo, é o ponto de funcionamento de todo o sistema. Para isso é importante definir a potência necessária, os elementos de acumulação, a utilização prevista, entre outros. Um GPAR pode ser muito eficiente à potência nominal e ser muito pouco eficiente à potência em que realmente vai funcionar na instalação. Isto torna o sistema pouco eficaz: é preferível ter um equipamento a funcionar no seu ponto de eficiência máxima (por exemplo a 100% da potência nominal) durante menos tempo do que a funcionar durante todo o tempo a uma potência mais baixa e num ponto de eficiência reduzida. Para isso, é necessário ponderar a utilização de, por exemplo, depósitos de acumulação de água fria (ou bancos de gelo) que aumentam a inércia do sistema permitindo que, mesmo com o GPAR desligado, continue a ser possível controlar a temperatura dos espaços.

Assim, em termos de climatização, o importante é analisar o edifício na sua fronteira com a envolvente, prevendo a utilização de um sistema que, com um consumo mínimo de energia eléctrica, dissipe o mínimo dessa energia para o exterior tanto em forma de calor (quando a produzir frio) como o contrário quando a produzir calor. A utilização de depósitos de acumulação, recuperadores de calor e a total utilização da energia para outros fins (por exemplo, um GPAR pode servir para aquecer águas sanitárias quando está a produzir água fria para a climatização) torna o sistema não só eficiente (bom rendimento) como eficaz (permite originar boas condições de conforto).

## 6. Consumos reais do edifício

Foi possível obter os valores de energia eléctrica e consumo de gás do edifício dos anos 2006 e 2007. Os valores apresentados nas tabelas seguintes são os valores constantes das facturas e não valores obtidos por medição real dos contadores instalados nos edifícios.

Tabela 6.1 – Facturas energéticas do edifício em estudo

	2006		2007	
	Electricidade (kWh)	Gás (m <sup>3</sup> )	Electricidade (kWh)	Gás (m <sup>3</sup> )
Jan	35.567	443	81.451	376
Fev	45.496	-	76.802	-
Mar	35.847	495	68.846	389
Abr	34.282	-	74.459	-
Mai	36.469	446	74.506	-
Jun	47.277	-	80.065	-
Jul	78.452	370	80.587	1.100
Ago	80.534	-	83.911	915
Set	78.401	340	86.227	-
Out	82.921	-	74.576	-
Nov	81.699	337	67.176	42.996
Dez	77.199	-	69.395	-
<b>Total</b>	<b>714.144</b>	<b>2.431</b>	<b>918.001</b>	<b>45.776</b>

Torna-se pouco rigoroso tirar conclusões dos resultados apresentados devido ao facto das medições possuírem um carácter contratual e não de medição rigorosa dos consumos desse mês (por exemplo, em Novembro de 2007 o consumo de mais de 42.000 m<sup>3</sup> de gás deveu-se a um acerto que o fornecedor do gás achou que deveria fazer face a medições anteriores).

Transformando os valores da Tabela 6.1 em custo e em valores de energia primária, utilizando para o efeito a média de 0,08 Euros/kWh de electricidade e 0,55 Euros/m<sup>3</sup> de gás (não foi possível o acesso aos valores reais de custo das facturas, mas apenas aos valores de energia) e utilizando os valores de conversão de energia referidos no Decreto-Lei n.º 80/2006 (0,290 kgep/kWh para a electricidade e 0,086 kgep/kWh para o gás), obtêm-se os seguintes valores:

Tabela 6.2 – Custo e energia primária associada às facturas energéticas de 2006 do edifício

	Custo		Energia primária	
	Electricidade (€)	Gás (€)	Electricidade (kgep)	Gás (kgep)
Jan	2.845	244	10.314	38
Fev	3.640	-	13.194	-
Mar	2.868	272	10.396	43
Abr	2.743	-	9.942	-
Mai	2.918	245	10.576	38
Jun	3.782	-	13.710	-
Jul	6.276	204	22.751	32
Ago	6.443	-	23.355	-
Set	6.272	187	22.736	29
Out	6.634	-	24.047	-
Nov	6.536	185	23.693	29
Dez	6.176	-	22.388	-
<b>Total</b>	<b>57.132</b>	<b>1.337</b>	<b>207.102</b>	<b>209</b>

Na Tabela 6.2 não se considerou o ano 2007, uma vez que apresenta valores não normais que mascarariam a veracidade dos resultados.

Em 2006, o edifício em estudo, relativamente ao seu consumo energético, contribuiu para a libertação de cerca de 248,8 toneladas de CO<sub>2</sub> (considerando a conversão de 0,0012 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada kgep) com a parcela de energia eléctrica a atingir os 98% em termos de custos totais e mais de 99,89% em termos de consumo de energia primária.

Nos meses de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), o GPAR fica desligado e, como tal, o consumo apresentado nesses meses refere-se apenas ao consumo normal do edifício e do aquecimento (que é realizado com caldeiras que apenas consomem gás). Já nos meses de Verão (Julho, Agosto e Setembro), as caldeiras não são utilizadas e apenas o GPAR funciona. Não é fácil notar esta diferença de funcionamento nas facturas apresentadas no que diz respeito ao consumo de gás, mas é possível fazê-lo no que diz respeito ao consumo de electricidade.

Foi também dada a informação (pela equipa de manutenção do edifício) de que, no mês de Julho de 2006, o centro informático principal da seguradora (ramo de serviço do edifício em estudo) passou para o referido edifício, sendo este facto notório no consumo de energia eléctrica (equipamento com um total de 30 kW e de funcionamento ininterrupto). O centro informático deste edifício consome mensalmente cerca de 22.000 kWh (Equação 6.1) mais cerca de 8.000 kWh no sistema de climatização para refrigerar o espaço, o que perfaz cerca de 30.000 kWh por mês para o centro informático (valor confirmado pela diferença de consumo entre as facturas de Julho e Junho de 2006).

$$\begin{aligned} 30 \text{ kW} \times 24 \text{ horas} \times 31 \text{ dias} &= \\ &= 22.320 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Equação 6.1 – Energia eléctrica consumida pelo sistema informático

Para os computadores pessoais, de acordo com os cálculos feitos na Tabela 4.2, obtêm-se um consumo de cerca de 5.000 kWh mensais.

O consumo dos GPAR é pouco notório nas facturas, não chegando a 10.000 kWh (relacionando a diferença de consumo da média de meses frios com a média de consumo dos meses quentes).

O consumo de iluminação é estimado com base na observação da utilização do espaço. O edifício possui cerca de 300 candeeiros equipados com 4 lâmpadas de 55 W (iluminação dos postos de trabalho). Os respectivos candeeiros estão acesos cerca de 6 horas por dia, consumindo mensalmente cerca de 8.700 kWh de energia eléctrica (dados recolhidos a partir de observações feitas no edifício e prevendo 22 dias úteis).

No estacionamento existem 198 aparelhos de iluminação, dos quais apenas 170 estão a funcionar (o dono de obra optou por desligar metade dos aparelhos de iluminação das rampas). Durante um dia de trabalho, os aparelhos de iluminação estão acesos (somando todos os períodos de funcionamento), cerca de 10 horas. O funcionamento nos dias não úteis é desprezável para a

estimativa realizada neste estudo. Os aparelhos de iluminação apresentam uma potência de 39,6 W e consomem mensalmente cerca de 1.500 kWh de energia eléctrica (dados recolhidos a partir de observações feitas no edifício e prevendo 22 dias). A parcela do consumo eléctrico mensal imputada à iluminação é de 10.200 kWh.

Tomando assim os 80.000 kWh do mês de Junho de 2007 como referência é possível prever uma distribuição de energia pelas diferentes cargas anteriormente referidas (Tabela 6.3 e Figura 6.1).

Tabela 6.3 – Distribuição absoluta de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura)

	Consumo eléctrico	
	(kWh)	
Iluminação	10.200	
GPAR	10.000	
Centro Informática	30.000	
Computadores Pessoais	5.000	
Remanescente	24.800	
<b>Total</b>	<b>80.000</b>	

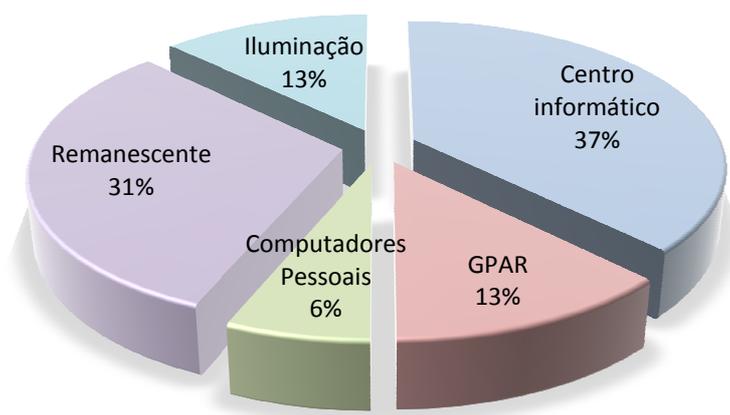


Figura 6.1 – Distribuição relativa de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura)

São responsáveis pelo consumo previsto na fatia denominada “remanescente”, os consumos das cargas cuja quantificação não foi possível estimar tais como, os equipamentos secundários de climatização (unidades de tratamento de ar, ventiloconvectores, ventiladores), iluminação, tomadas de usos gerais e elevadores.

A iluminação, apesar de apresentar uma potência instalada muito inferior à do sistema de climatização, toma assim uma importância energética equivalente, uma vez que funciona durante períodos alargados de tempo. Os computadores pessoais e principalmente o próprio centro informático do edifício toma também uma proporção muito grande no consumo eléctrico (devido principalmente ao sobredimensionamento das fontes de alimentação desses equipamentos). A parcela dos equipamentos restantes é também muito significativa o que indica que deverá ser dada uma maior atenção aos demais equipamentos e não só aos sistemas de climatização e iluminação como tem acontecido quando se discute o tema da eficiência energética em edifícios.

## 7. Conclusão

O tema da eficiência energética dos equipamentos utilizados nos edifícios é actualmente abordado por diversos analistas e consultores, que cometem o erro de afirmar que o problema do consumo exagerado acontece na especialidade técnica que menos se domina. Os Engenheiros Mecânicos culpam a iluminação dos altos consumos energéticos e afirmam que os seus sistemas estão otimizados para os espaços; os Engenheiros Electrotécnicos culpam os potentes sistemas de climatização pelos altos consumos energéticos e afirmam que a iluminação atingiu um auge tecnológico dificilmente ultrapassável.

Na verdade todos os sistemas têm o seu contributo no consumo energético dos edifícios e todos existem nos edifícios por necessidade. Por esta razão, torna-se fundamental que os projectos de instalações técnicas especiais de edifícios comecem por prever a instalação de contadores de energia eléctrica individualizados por tipo de instalação, nomeadamente:

- Iluminação
  - o Posto de Trabalho
  - o Circulações
  - o Exterior
- Climatização
  - o GPAR
  - o Bombas
  - o Unidades de tratamento de ar
  - o Ventiladores
  - o Desumidificadores e humidificadores
- Tomadas eléctricas;
- Elevadores;
- Portas eléctricas
- Estores motorizados
- Etc.

Apenas com o conhecimento real do consumo energético destes sistemas, e não pela potência instalada, será possível monitorizar e controlar as variáveis envolvidas, definindo soluções de optimização dos sistemas utilizados e prevendo novas soluções para os novos projectos.

O edifício em estudo, por exemplo, instalou um sistema de controlo dos elevadores muito interessante e que permite uma parametrização optimizada no que se refere aos consumos. Antes de entrar no elevador, o utilizador é obrigado a definir para que piso se pretende deslocar, estando parametrizada a impossibilidade de se deslocar para os pisos adjacentes. Apesar de este ser um edifício que serviu de substituição a um outro já existente em que os elevadores não possuíam este sistema, a direcção do edifício não tem qualquer conhecimento se realmente este investimento está a

contribuir para a poupança energética ou não. Isto deve-se à inexistência de um contador de energia que contabilize os consumos eléctricos dos elevadores.

Para este tipo de edifícios (edifícios de serviços) é importante também referir que os LED, ao contrário do que é publicitado por muitos fabricantes, não são uma solução eficiente. Os LED têm realmente um consumo muito baixo, mas dão origem a um fluxo luminoso também muito baixo quando comparado com as lâmpadas fluorescentes. A grande vantagem de utilização do LED reside na sua longevidade o que o torna ideal para sinalização (por exemplo em semáforos) e não para iluminação. A tecnologia está a evoluir muito rapidamente e prevê-se que num futuro próximo ultrapassem o fluxo luminoso (por watt consumido) de uma lâmpada fluorescente. Até lá, a sua utilização deverá ser cuidadosamente ponderada.

Ainda em termos de iluminação, é também necessário sensibilizar os projectistas, no sentido em que, a metodologia de iluminar uniformemente todos os espaços de uma sala não é uma boa prática e origina um dispêndio de energia muito grande. Na natureza a iluminação não é uniforme. A existência de nuvens que causam sombras, árvores, e outros obstáculos à luz que fazem com que existam diferenças de iluminância muito grandes (100.000 lux num dia soalheiro de verão em local aberto para 3.000 lux num dia escuro de inverno). O olho humano evoluiu durante milhares de anos para responder a estas variações e os ambientes de iluminação uniforme causam sensação de desconforto por se tratar de uma situação não natural.

A luz deve ser dirigida para onde é realmente necessária, ou seja, para o plano de trabalho. No espaço remanescente deverá existir uma iluminação ambiente adequada mas obtida à custa de um consumo menor de energia e por essa razão, com uma iluminância mais baixa. Nesta iluminação periférica ambiente os LED poderão ser utilizados com moderação, por exemplo para iluminar um quadro, onde a aplicação de um LED de última geração de 3 W poderá ser suficiente em vez de utilizar uma lâmpada de halogéneo de 50 W. Apesar de a lâmpada de halogéneo originar uma intensidade luminosa muito superior, para a finalidade em causa, a intensidade criada pelo LED é suficiente e assim é possível poupar energia.

A utilização de sistemas de gestão automáticos toma também uma importância muito grande. A tecnologia pretende facilitar a vida ao ser humano, tornando as suas actividades diárias mais confortáveis. Não se estará no bom caminho ao exigir que se comece a desligar a televisão no botão da mesma e não no telecomando, pois estar-se-ia a assistir a um retrocesso do objectivo final da tecnologia. A tecnologia tem de evoluir de forma a, automaticamente, realizar a acção de desligar a televisão sem que a mesma continue a consumir energia eléctrica (seja no botão local seja no telecomando). Também na iluminação, na informática (hardware) e em outros dispositivos eléctricos, não se está a fomentar o desenvolvimento tecnológico ao exigir que o utilizador não se esqueça de desligar a luz, que não se esqueça de desligar o computador ou que não se esqueça de desligar o ar condicionado.

A tecnologia terá de evoluir de forma a dotar os edifícios de mecanismos que detectem as necessidades de utilização de cada um e se adaptem ao estado de energia mínima para satisfazer essa necessidade. É assim que a natureza se rege e é nesse sentido que os equipamentos de controlo e comando de dispositivos eléctricos devem evoluir também.

Esta tecnologia já existe mas não é aplicada nos edifícios. O ramo automóvel há muito tempo que desenvolveu dispositivos, extremamente robustos, que realizam todas estas tarefas pelo ser humano. Caso não existissem, os automóveis ficariam sem bateria num instante quando ficavam estacionados, uma vez que as mesmas pessoas que utilizam os edifícios são aquelas que utilizam o automóvel que também dispõe de sistemas de iluminação, climatização, som e hoje em dia já autênticos computadores a bordo com leitura centros multimédia e GPS. No automóvel um simples rodar de chave (ou mais recentemente a simples utilização de um botão de pressão) activa ou desactiva todos estes sistemas, deixando-os, quando desactivados, sem qualquer consumo eléctrico. Porque não seguir o mesmo exemplo nos edifícios? Se estes sistemas são economicamente viáveis na indústria automóvel, também poderão vir a ser na construção de edifícios.

No capítulo de iluminação e no capítulo de tomadas é possível verificar que se conseguem obter reduções da ordem dos 80% na iluminação e 13% na utilização de computadores apenas utilizando dispositivos que permitam a regulação automática desses equipamentos (sensores de presença, sensores de iluminação ou relógios e temporizadores a controlarem, contactores nos quadros a desligarem circuitos que não estejam a ser utilizados, entre outros). O retorno de investimento destes sistemas é longo quando se pretende que a sua implementação seja realizada após a construção do edifício, mas poderá reduzir-se significativamente no tempo se estes sistemas estiverem previstos à partida no projecto.

A utilização de motores eficientes é também um objectivo que deverá estar presente na concepção dos sistemas que deles fazem uso. Ao escolher um simples ventilador de extracção ou insuflação de ar num espaço é necessário que o projectista passe a determinar um equipamento altamente eficiente. A regulação nacional obriga a que a sua classificação mínima seja EFF2 (eficiência normal), mas a nível de projecto de edifícios de serviços, principalmente na definição de equipamentos que funcionam continuamente (ou durante os períodos de utilização dos edifícios que no caso dos serviços é um período normalmente longo), devem começar a ser definidos motores com classificação EFF1 (eficiência elevada). Adquirir um motor EFF1 é mais dispendioso no início, mas pode dar origem a um retorno de investimento num curto intervalo de tempo.

O equipamento informático costuma ser dotado de fontes de alimentação construídas em série de milhares e por essa razão adaptadas a inúmeras variáveis (de potência, temperatura de funcionamento, etc.). É usual encontrar nos computadores fontes de alimentação de 300 ou 400 W, quando seriam apenas necessários 100 W ou 150 W. Acontece que essas fontes de energia estão preparadas para estarem e funcionar em ambientes tropicais a fornecer 150 W sem avariarem (uma vez que estão sobredimensionadas para um funcionamento normal de 300 W). É assim também muito importante a escolha do parque informático do edifício de serviços. Os portáteis têm ganho a

fama de equipamentos eficientes quando comparados com os normais computadores de secretária apenas, porque as suas fontes de alimentação estão adaptadas para as necessidades objectivas desse portátil em particular e não para todos os computadores do mundo. Na realidade, os portáteis apresentam um desempenho mais moderado quando comparado com um computador de secretária, assim como apresentam um componente não desprezável numa análise ambiental: a bateria de acumulação de energia.

O centro informático, que no caso do edifício em estudo é responsável por 37% do consumo energético, apresenta o mesmo problema. São instalados inúmeros servidores cada um dos quais com a sua fonte de alimentação sobredimensionada. A solução passaria por um só rectificador com a potência necessária aos equipamentos que, por sua vez, eram alimentados directamente a corrente contínua de acordo com as suas necessidades. Desta forma, o sobredimensionamento da fonte de energia seria partilhado por todos os servidores e não seria a soma dos sobredimensionamentos existentes em cada fonte de energia. As empresas de telecomunicações adoptaram este método há muito tempo, utilizando redes de 48 V de corrente contínua que alimentam os diversos comutadores telefónicos digitais, com a vantagem inerente ao consumo optimizado de energia e a facilidade de dotar o sistema de baterias que servem de fonte redundante em caso de avaria.

O aparecimento da computação Grid (criação de um “supercomputador virtual” através da integração em rede de centenas ou milhares de computadores normais) aumenta a importância deste assunto. Neste momento está a ser construída uma sala de computação GRID em Lisboa onde se prevê que a potência eléctrica instalada num espaço de 200 m<sup>2</sup> chegue aos 2 MVA (sistema informático e sistema de climatização) com consumos anuais na ordem dos 600 MWh (projecto electrotécnico da responsabilidade do autor desta dissertação).

A actual legislação que rege o consumo energético associado à climatização de edifícios obriga a um controlo rigoroso da solução a adoptar em função da utilização e tipo de edifício previsto. Esta legislação foca-se num sistema de certificação energética que peca pela grande importância dada aos sistemas de climatização em detrimento da análise a que deveria obrigar para os restantes sistemas (nomeadamente iluminação e sistemas informáticos). Por esta razão, neste trabalho procurou-se explorar as boas regras a implementar nos sistemas de iluminação e controlo de tomadas em prejuízo dos sistemas complexos de climatização que estão já a ser abordados por muitos especialistas dessa área de conhecimento.

## 8. Bibliografia

- [1]. **Comissão Europeia**, 29 de Maio de 2008, <http://ec.europa.eu>.
- [2]. **Wikipédia - A enciclopédia livre**, 6 de Junho de 2008, <http://pt.wikipedia.org>.
- [3]. **ERSE**, Portal Erse, Citação: 10 de Junho de 2008, <http://www.erse.pt>.
- [4]. **Ministerio de Industria, Turismo y Comercio**, *Código Técnico de la Edificación - REAL DECRETO 314/2006*, Espanha, 2006.
- [5]. **Araújo, Lucínio Preza de**. Electrotecnica e Electrónica, 07 de Novembro de 2006, <http://www.prof2000.pt/users/lpa/>.
- [6]. *1º Congresso da Luz - Inovação e Evolução. CPI - Centro Português de Iluminação*, Lisboa, 2007.
- [7]. *Política de "Relamping" em escritórios*, **Cardoso, Rogério Paulo**, Lisboa, 2007.
- [8]. *A Eficácia Subestimada da Tecnologia T5*, **Grebe, Manfred**, Lisboa, 2007.
- [9]. **Philips**, Led Tour 2007, Lisboa, 2007.
- [10]. **EEE - Empresa de Equipamento Eléctrico, S.A.**, Catálogo Geral, Águeda, Portugal, 2007.
- [11]. *ADASY – Sistema de iluminação natural*, **Rodríguez, Lucas García**, 2007.
- [12]. *Monitorização e controlo de sistemas de iluminação por software*, **Pereira, Miguel**, Lisboa, 2007.
- [13]. **Soares, Marco**, MSPC Informações técnicas, Abril de 2008, <http://www.mspc.eng.br>.
- [14]. **Graucelsius, Lda**, Projectos realizados a edifícios de serviços entre os anos 2000 e 2008, Rinchoa, 2008.
- [15]. **Coker, Russel**, Computer Power Use, 12 de Maio de 2008, <http://doc.coker.com.au>.
- [16]. **Ertl, M. Anton**, Computer Power Consumption, *How much electricity does a Computer consume?*, 09 de Julho de 2008, <http://www.complang.tuwien.ac.at/anton/computer-power-consumption.html>.
- [17]. **Hewlett-Packard**, HP United States, *Download de manuais de utilização*, 2008.
- [18]. **Roriz, Luis**, *Climatização*, Amadora, Orion, 2006.
- [19]. **Mitsubishi Electric**, Catálogo de Produtos, Carnaxide, 2008.
- [20]. **Daikin**, General Catalogue, Bélgica, 2008, Vols, Heating, Air Conditioning, Applied Systems, Refrigeration.



**INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**  
Universidade Técnica de Lisboa

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**  
**APLICADA A EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS**

**LEANDRO JORGE DE OLIVEIRA CORCEIRO**

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
**ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES**

**JÚRI**

Presidente: Prof. Gil Domingos Marques  
Orientador: Prof. João Esteves Santana  
Co-Orientador: Prof.<sup>a</sup> Maria José Resende  
Vogais: Eng. Santos Joaquim  
Eng. Carlos Oliveira

**SETEMBRO 2008**

## **Agradecimentos**

O autor agradece todas as contribuições e apoios cedidos para a elaboração desta dissertação, sem os quais não poderia ter atingido o rigor necessário a um estudo deste tipo.

À empresa Graucelsius, nomeadamente ao Eng. Carlos Oliveira e Eng. Vasco Pedroso que propuseram este desafio e acreditaram na qualidade da execução deste projecto, proporcionando uma experiência enriquecedora pessoal e profissionalmente.

Ao Prof. Fernando Silva pela disponibilidade inicial em analisar o tema e no encaminhamento dentro do Instituto Superior Técnico para a equipa docente especializada na matéria em estudo.

Ao Prof. João Santana pelo incentivo desde o primeiro minuto, contribuindo com ideias, metodologias, e literatura provenientes da sua vasta experiência.

À Prof. Maria José Resende pela atenta análise do desenvolvimento do trabalho, mantendo claro o objectivo final de acordo com o planeamento acordado.

Ao Eng. Vital Vilarinho que se disponibilizou as informações possíveis e o acesso ao edifício que serviu de base de estudo a esta dissertação.

À minha esposa e filho que, apesar de desatendidos pelo tempo que o desenvolvimento do tema me tomou, nunca deixaram de me apoiar e incentivar a fazer mais e melhor.

## Resumo

Na última década, o sector dos edifícios, apresentou a mais alta taxa de crescimento do consumo de energia de entre todos os sectores da economia nacional, nomeadamente, o subsector dos serviços, traduzida em valores médios da ordem dos 12% por ano. No contexto internacional é consensual a necessidade reduzindo os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa.

Este trabalho aprofunda as metodologias que permitem a redução do consumo energético nos grandes edifícios de serviços sem depreciar a qualidade dos mesmos e conforto dos utilizadores.

Na primeira parte deste trabalho é visada a nova legislação no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética, sucedendo-se o tema da iluminação, apresentando conceitos básicos de luminotecnia e simulações de iluminação para áreas técnicas, arquivos, átrio de entrada, circulações, escadas, estacionamento, gabinetes e instalações sanitárias, cujo objectivo é preencher a lacuna da legislação nacional no que se refere a este tema.

As alimentações diversas através de tomadas de energia eléctrica, nomeadamente as cargas informáticas, serão também abordadas, concluindo que o seu peso percentual é superior ao da iluminação. Sumariamente, o tema da climatização será também alvo de estudo.

Por último, através de uma análise das facturas de electricidade e gás de um edifício de serviços real, é apresentada uma estimativa da distribuição de energia mensalmente utilizada por cada uma das anteriores cargas, concluindo que a iluminação apresenta um consumo equivalente ao da climatização e que a posição de destaque pertence às cargas informáticas.

**Palavras-chave:** eficiência energética, iluminação, cargas informáticas, climatização, edifícios de serviços.

## Abstract

In the buildings sector, the last decade resulted in the highest growth tax of the energy consumptions when compared to all the other sectors of the national economy. In the subsector of the services the power consumptions of buildings increased an average of 12% per year. In an international context it is recognized that to prevent climate change it is necessary to improve the quality of the buildings, reducing its energy consumptions that contribute to the increase of the greenhouse effect.

This work attends to study the methodologies that could allow a reduction in the energy consumed on services buildings without downgrade the quality of the systems and comfort of the users.

The new Portuguese legislation is summarily mentioned in the first part of this work under the topic of the Energy Certification National System (SCE in Portuguese), following illumination issue with the explanation of basic lighting concept design and the simulation of some services buildings rooms, such as: technical areas, archives, entrance hall, corridors, stairs, parking lots, offices and toilets, with the objective of filling the light systems gap of the national legislation.

The other electrical power consumer, such as computers, will be also considered, concluding that its share is superior to the one taken by illumination. Summarily, climatization subject will also be study.

Finally, through an analysis of the electrical and gas bills of a real services building, the energy used, monthly, by each one of previous loads is presented, concluding that the illumination and the climatization have equivalent contribute to the total amount of energy consumed and that the prominence position belongs to the computers loads.

**Key-words:** energy efficiency, illumination, computer load, climatization, services buildings.

*“Se 50% do fenómeno do aquecimento global resulta do emprego de combustíveis fósseis nos edifícios, mais de metade dos restantes 50% é gerado no transporte de pessoas e mercadorias entre os edifícios.”*

in “Construção Sustentável” – Quercus

# Índice

<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>vii</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>viii</b>
<b>Lista de símbolos / siglas</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1. Consumidores de energia eléctrica .....	2
<b>2. Legislação e incentivos</b> .....	<b>3</b>
2.1. Decreto-Lei n.º 78/2006 .....	4
2.2. Decreto-Lei n.º 79/2006 .....	4
2.3. Decreto-Lei n.º 80/2006 .....	6
2.4. As Normas EN 12464-1 e EN 12464-2.....	6
2.5. Plano de Promoção da Eficiência no Consumo .....	7
<b>3. Iluminação</b> .....	<b>8</b>
3.1. Conceitos teóricos .....	8
3.1.1. Intensidade luminosa, fluxo luminoso e eficiência luminosa.....	8
3.1.2. Iluminância .....	9
3.1.3. Brilho ou Luminância.....	10
3.1.4. Índice de restituição cromática.....	10
3.2. Opções tecnológicas da iluminação .....	11
3.2.1. Lâmpada fluorescente.....	11
3.2.2. LED.....	12
3.2.3. Sistema ADASY .....	13
3.2.4. Sistemas de controlo de iluminação .....	14
3.3. Iluminação em edifícios de escritórios.....	16
3.3.1. Áreas Técnicas.....	18
3.3.1.1. Análise da simulação das áreas técnicas.....	21
3.3.1.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	22
3.3.2. Arquivo .....	23
3.3.2.1. Análise da simulação dos arquivos .....	24
3.3.2.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	25
3.3.3. Átrio de Entrada .....	26
3.3.3.1. Análise da simulação do átrio.....	27
3.3.3.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	28
3.3.4. Circulações.....	29
3.3.4.1. Análise da simulação das circulações.....	30
3.3.4.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	31
3.3.5. Escadas.....	31
3.3.5.1. Análise da simulação das escadas .....	33
3.3.5.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	33
3.3.6. Estacionamento.....	34
3.3.6.1. Análise da simulação do estacionamento .....	37
3.3.6.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	38
3.3.7. Gabinetes .....	39
3.3.7.1. Análise da simulação dos gabinetes .....	45
3.3.7.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	46
3.3.8. Instalações Sanitárias .....	48
3.3.8.1. Análise da simulação das instalações sanitárias .....	50
3.3.8.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	51
<b>4. Tomadas de energia eléctrica</b> .....	<b>52</b>
4.1. Situação encontrada no edifício .....	52
4.1.1. Consumos eléctricos estimados .....	53
4.2. Alterações ao edifício.....	54
<b>5. Climatização</b> .....	<b>56</b>
5.1. Escolha de equipamentos.....	56
5.2. Equipamento instalado no edifício.....	57

<b>6. Consumos reais do edifício .....</b>	<b>59</b>
<b>7. Conclusão.....</b>	<b>62</b>
<b>8. Bibliografia .....</b>	<b>66</b>

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Exemplo retirado da pág. 2457 do Diário da República n. 67 – 04/04/2006 (RSECE).....	5
Figura 3.1 – Intensidade luminosa (candela) [5].....	8
Figura 3.2 – Fluxo luminoso (lúmen) [5] .....	8
Figura 3.3 – Iluminância (lux) [5].....	9
Figura 3.4 – Luminância [5] .....	10
Figura 3.5 – Diferença de diâmetro das lâmpadas fluorescentes tubulares [7] .....	12
Figura 3.6 – Princípio de funcionamento do sistema ADASY [11] .....	13
Figura 3.7 – Filme electro-crómico [11] .....	14
Figura 3.8 – Aparelho de iluminação ADASY [11].....	14
Figura 3.9 – Interligação e gestão de sistemas DALI [12].....	15
Figura 3.10 – Área Técnica 20x20 m (imagem virtual).....	18
Figura 3.11 – Área Técnica 15x5 m (imagem virtual).....	18
Figura 3.12 – Localização da iluminação da área técnica 10x10 m.....	19
Figura 3.13 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m.....	19
Figura 3.14 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m com luminárias a 90° .....	20
Figura 3.15 – Área Técnica 2.09 e 2.17 do edifício em estudo .....	22
Figura 3.16 – Arquivo (imagem virtual).....	23
Figura 3.17 – Aparelhos de iluminação paralelos às prateleiras de arrumação do arquivo.....	24
Figura 3.18 – Aparelhos de iluminação perpendiculares às prateleiras de arrumação do arquivo .....	24
Figura 3.19 – Planta da sala de arquivo do edifício em estudo.....	25
Figura 3.20 – Átrio de Entrada (imagem virtual).....	26
Figura 3.21 – Localização das luminárias no átrio de entrada .....	26
Figura 3.22 – Átrio de entrada com luz natural (imagem virtual).....	27
Figura 3.23 – Planta do átrio de entrada no edifício em estudo .....	28
Figura 3.24 – Circulação não recta (imagem virtual).....	29
Figura 3.25 – Circulação recta (imagem virtual).....	29
Figura 3.26 – Posição dos apliques de parede na circulação não recta .....	29
Figura 3.27 – Posição dos apliques de parede na circulação recta .....	29
Figura 3.28 – Planta da circulação de piso do edifício em estudo .....	31
Figura 3.29 – Escadas (imagem virtual) .....	32
Figura 3.30 – Planta das escadas do edifício em estudo .....	33
Figura 3.31 – Estacionamento automóvel (imagem virtual) .....	35
Figura 3.32 – Zonas de cálculo de estacionamento .....	35
Figura 3.33 – Localização das luminárias no estacionamento .....	35
Figura 3.34 – Luminárias do estacionamento a 90° .....	35
Figura 3.35 – Rampa (imagem virtual) .....	36
Figura 3.36 – Localização das Luminárias na rampa .....	36
Figura 3.37 – Localização das luminárias a 90° na Rampa .....	36
Figura 3.38 – Planta de projecto da circulação e estacionamento do edifício em estudo .....	38
Figura 3.39 – Gabinete 1 pessoa (imagem virtual).....	40
Figura 3.40 – Gabinete 2 pessoa (imagem virtual).....	40
Figura 3.41 – Gabinete 4 pessoa (imagem virtual).....	40
Figura 3.42 – <i>Open Space</i> (imagem virtual).....	40
Figura 3.43 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 1 pessoa .....	40
Figura 3.44 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 2 pessoas .....	41
Figura 3.45 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 4 pessoas .....	41
Figura 3.46 – Distribuição da iluminação do <i>Open Space</i> .....	41
Figura 3.47 – Áreas de trabalho do gabinete para 2 pessoas.....	42
Figura 3.48 – Área de trabalho considerada no <i>Open Space</i> .....	42
Figura 3.49 – Planta de gabinete individual do edifício em estudo .....	46
Figura 3.50 – Planta do <i>open space</i> do edifício em estudo .....	46
Figura 3.51 – Instalações Sanitárias (imagem virtual) .....	48
Figura 3.52 – Diferentes tipos de luminárias consideradas nas instalações sanitárias .....	48
Figura 3.53 – Zonas de cálculo instalações sanitárias .....	49
Figura 3.54 – Instalações sanitárias com iluminação normal (imagem virtual).....	50
Figura 3.55 – Planta de uma das instalações sanitárias do edifício em estudo.....	51
Figura 6.1 – Distribuição relativa de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura).....	61

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Data de aparecimento dos diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes [8].....	12
Tabela 3.2 – Eficiência de diferentes tipos de fontes de luz [9] [10] .....	13
Tabela 3.3 – Directivas apresentadas na EN 12464-1 .....	16
Tabela 3.4 – Índices de reflexão de alguns materiais e cores [13] .....	17
Tabela 3.5 – Dimensões das áreas técnicas a simular .....	18
Tabela 3.6 – Resultados da simulação de iluminação das áreas técnicas .....	20
Tabela 3.7 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas .....	20
Tabela 3.8 – Resultados da simulação das áreas técnicas com as luminárias rodadas 90° .....	20
Tabela 3.9 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas rodadas a 90° .....	20
Tabela 3.10 – Consumo energético anual da iluminação das áreas técnicas .....	21
Tabela 3.11 – Índices de reflexão da sala de arquivo .....	23
Tabela 3.12 – Resultados simulação de iluminação na sala de arquivo .....	24
Tabela 3.13 – Consumo energético anual da iluminação da sala de arquivo .....	24
Tabela 3.14 – Resultados da simulação de iluminação no átrio .....	27
Tabela 3.15 – Consumo energético anual da iluminação no átrio .....	27
Tabela 3.16 – Índices de reflexão das circulações simuladas .....	29
Tabela 3.17 – Resultados da simulação de circulação .....	30
Tabela 3.18 – Consumo energético anual da iluminação da circulação .....	30
Tabela 3.19 – Resultados da simulação de iluminação das escadas .....	32
Tabela 3.20 – Consumo energético anual da iluminação das escadas .....	33
Tabela 3.21 – Resultados da simulação do estacionamento .....	36
Tabela 3.22 – Consumo energético anual da iluminação do estacionamento .....	37
Tabela 3.23 – Caracterização do estacionamento do edifício em estudo .....	38
Tabela 3.24 – Dimensões dos gabinetes a simular .....	39
Tabela 3.25 – Resultados da simulação de iluminação para o gabinete de 30 m <sup>2</sup> .....	42
Tabela 3.26 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 39 m <sup>2</sup> .....	43
Tabela 3.27 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 53 m <sup>2</sup> .....	43
Tabela 3.28 – Resultados da simulação da iluminação do <i>Open Space</i> .....	44
Tabela 3.29 – Consumo energético anual da iluminação dos gabinetes .....	45
Tabela 3.30 – Resultados da simulação de iluminação das instalações sanitárias .....	49
Tabela 3.31 – Consumo energético anual da iluminação das instalações sanitárias .....	50
Tabela 4.1 – Consumos energéticos eléctricos do parque informático do edifício [17] .....	52
Tabela 4.2 – Consumo de energia eléctrica real e desligando os computadores .....	54
Tabela 5.1 – Características técnicas de “ <i>Splits</i> ” [19] .....	57
Tabela 5.2 – Características técnicas de sistema VRV [20] .....	57
Tabela 5.3 – Características técnicas de Chillers [20] .....	57
Tabela 6.1 – Facturas energéticas do edifício em estudo .....	59
Tabela 6.2 – Custo e energia primária associada às facturas energéticas de 2006 do edifício .....	59
Tabela 6.3 – Distribuição absoluta de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura) .....	61

## Lista de símbolos / siglas

AQS	- Água Quente Sanitária
DALI	- Interface de iluminação digital e endereçável (“ <i>Digital Addressable Lighting Interface</i> ”)
E	- Iluminância
$E_m$	- Iluminância média
$E_{\min}$	- Iluminância mínima
ERSE	- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
GEE	- Gases com Efeito de Estufa
GPS	- Global Positioning System
I	- Intensidade luminosa
L	- Brilho ou Luminância
Nac	- Necessidades nominais anuais de energia útil para produção de AQS
Nic	- Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento
Ntc	- Necessidades globais de energia
Nvc	- Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento
PNAC	- Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PPEC	- Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de energia Eléctrica
$R_a$	- Índice de restituição cromática
RCCTE	- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	- Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
SCE	- Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
UGR	- Classificação de nível de brilho (“ <i>Unified Glare Rating</i> ”)

## 1. Introdução

A actividade humana está a provocar um aquecimento do planeta e os edifícios são responsáveis por aproximadamente metade das emissões de gases com efeito de estufa que contribuem para esse aquecimento.

A energia é fundamental para as nossas vidas. Dependemos dela para os transportes, para o aquecimento das casas no Inverno e o seu arrefecimento no Verão e para fazer funcionar fábricas, explorações agrícolas e escritórios. Porém a utilização dos combustíveis fósseis, cujas reservas são finitas, é apontada como uma das causas principais do aquecimento do planeta. Por conseguinte, a energia proveniente destas fontes não pode continuar a ser considerada um dado adquirido.

A climatização e iluminação dos edifícios, que é feita na maioria das vezes com recurso a combustíveis fósseis (como o gás natural, o carvão e o petróleo) ou electricidade são, directa ou indirectamente, as fontes de maior emissão de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), o principal gás com efeito de estufa. As emissões de CO<sub>2</sub> têm aumentado desde a revolução industrial e continuam a aumentar apesar dos acordos internacionais estabelecidos na Cimeira da Terra no Rio de Janeiro ou o Protocolo de Quioto.

O sector dos edifícios absorve cerca de 40% do consumo final de energia da Comunidade Europeia, oferecendo assim uma grande oportunidade de melhoria no que se refere ao impacto da eficiência energética no respectivo consumo energético. Da última década resultou, para o sector dos edifícios, a mais alta taxa de crescimento dos consumos de energia de entre todos os sectores da economia nacional, nomeadamente para o subsector dos serviços, traduzida em valores médios da ordem dos 12% por ano, tendência que deverá vir a acentuar o respectivo consumo de energia e, por conseguinte, as correspondentes emissões de dióxido de carbono. [1]

No contexto internacional, é consensual a necessidade de melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa e que potenciam o fenómeno de aquecimento global. Portugal obrigou-se a satisfazer compromissos neste sentido quando subscreveu o Protocolo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de ser feito por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente pelo dos edifícios.

Os edifícios de serviços são equipados com ar condicionado e muitas vezes as suas fachadas são completamente envidraçadas, contribuindo em muitos casos para um mau comportamento térmico, tornando o ambiente interior muito quente ou muito frio dependendo das estações do ano.

O objectivo deste trabalho é estudar as cargas interiores existentes num edifício de serviços tipo, e elaborar regras e metodologias que podem ser utilizadas no âmbito dos projectos de instalações eléctricas com o intuito de tornar os edifícios mais eficientes tendo em conta a sua exequibilidade e

viabilidade económica, sem depreciar a qualidade e conforto dos utilizadores apenas com vista na redução do consumo eléctrico.

Nos capítulos seguintes será focado o tema de legislação existente em Portugal que salvaguarda o interesse nacional de redução do consumo energético de edifícios; serão inventariadas as cargas existentes num edifício tipo, estudadas as várias tecnologias para satisfazer a causa da necessidade dessas diversas cargas e por fim elaborada uma lista das regras e métodos que possam ser utilizados no dimensionamento de novos edifícios, assim como na remodelação de existentes.

## **1.1. Consumidores de energia eléctrica**

As visitas realizadas a um edifício de serviços, no âmbito deste trabalho (nos arredores de Lisboa), permitiram categorizar as principais cargas consumidoras de energia eléctrica:

- Aparelhos de iluminação
- Equipamentos informáticos
- Sistema de climatização

Neste edifício existem outras cargas que não serão abordadas no desenvolvimento deste documento por impossibilidade de obtenção de dados que permitam uma análise real dos consumos. Excluem-se assim os elevadores, estores, portões de garagem, portas automáticas, máquinas de refrigeração de água potável e outras de menor ou maior potência cujas características e consumos não foi possível aferir.

## 2. Legislação e incentivos

Portugal estabeleceu o compromisso de melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa e conseqüente aquecimento global, quando subscreveu o Protocolo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de ser feito por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente pelo dos edifícios.

O Protocolo de Quioto é consequência de uma série de eventos iniciada com a “Toronto Conference on the Changing Atmosphere”, no Canadá (Outubro de 1988), seguida pelo “IPCC's First Assessment Report”, em Sundsvall na Suécia (Agosto de 1990) e que culminou com a “Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática” no Brasil (Junho de 1992). Ao abrigo do Protocolo de Quioto e do compromisso comunitário de partilha de responsabilidades, Portugal assumiu o compromisso de limitar o aumento das suas emissões de gases de efeito de estufa em 27% no período de 2008-2012 relativamente aos valores de 1990. [2]

Neste contexto, o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), adoptado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de Julho (PNAC 2004), e mais recentemente o PNAC de 2006, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de Agosto, quantifica o esforço nacional de redução das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE), integrando um vasto conjunto de políticas e medidas que incide sobre todos os sectores de actividade. [3]

Surgem assim três Decretos-Lei que transpõem parcialmente para ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios:

- Decreto-Lei n.º 78/2006
- Decreto-Lei n.º 79/2006
- Decreto-Lei n.º 80/2006

Estes Decretos-Lei são fundamentalmente baseados em questões relacionadas com a qualidade térmica dos edifícios e têm pouca abrangência nos sistemas eléctricos em particular, indicando valores máximos de potência instaladas nos equipamentos de uma maneira geral, mas apenas definindo metodologias de actuação para os sistemas de climatização.

A nível europeu existem duas normas que definem regras para o projecto dos sistemas de iluminação para interiores e exteriores (nomeadamente EN 12464-1 e EN 12464-2). Presentemente não é dada grande importância à iluminação dos edifícios de serviços, focando as atenções nos sistemas de climatização. Nos capítulos seguintes poderá verificar-se que a iluminação tem um grande contributo para o consumo energético do típico edifício de serviços (apesar da reduzida potência instalada

quando comparada com os sistemas de climatização, apresenta um consumo energético semelhante).

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), de acordo com o artigo 3º dos seus estatutos, apresenta como objectivo contribuir para a progressiva melhoria das condições técnicas, económicas e ambientais de funcionamento dos meios a utilizar desde a produção ao consumo de energia eléctrica. A ERSE tem procurado que a regulamentação do sector dinamize procedimentos que contribuam para a melhoria da eficiência energética nesta área, estabelecendo um mecanismo competitivo de promoção de acções de gestão da procura designado por: Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de energia eléctrica (PPEC).

## **2.1. Decreto-Lei n.º 78/2006**

Este Decreto-Lei define o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), assegurando a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética e à utilização de sistemas de energia renováveis.

Na prática, serve de ponto de partida para o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) e Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Define ainda vários conceitos, tais como:

- **Grande intervenção de reabilitação** – uma intervenção na envolvente ou nas instalações, energéticas ou outras, do edifício, cujo custo seja superior a 15% do valor do edifício, nas condições definidas no RCCTE.
- **Plano de racionalização energética** - conjunto de medidas de racionalização energética, de redução de consumos ou de custos de energia, elaborado na sequência de uma auditoria energética, organizadas e seriadas na base da sua exequibilidade e da sua viabilidade económica.

## **2.2. Decreto-Lei n.º 79/2006**

Conhecido como RSECE, este Decreto-Lei procura introduzir algumas medidas de racionalização energética em edifícios, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício para, sobretudo, evitar o seu sobredimensionamento, conforme a prática do mercado mostrava ser comum. Contribui assim para a eficiência energética dos sistemas na medida em que evita investimentos desnecessários e obriga a uma mais cuidada análise na satisfação das necessidades inerentes a cada edifício.

Aborda a adopção de certos procedimentos de recepção após a instalação dos sistemas, assim como a sua manutenção e aplica-se a todos os grandes edifícios de serviços existentes com uma área útil superior a 1.000 m<sup>2</sup>.

Um dos artigos deste Decreto-Lei define que são de implementação obrigatória todas as medidas de eficiência energética que tenham um período de retorno simples (calculado segundo uma metodologia especificada no mesmo) de oito anos ou menor, incluindo como custos elegíveis para o cálculo do período de retorno os correspondentes a um eventual financiamento bancário da execução das medidas. Define a consideração prioritária obrigatória nos edifícios novos e nas grandes reabilitações (salvo demonstração de falta de viabilidade económica pelo projectista) da implementação de sistemas de energia alternativos, tais como:

- sistemas de colectores solares planos para produção de água quente sanitária (AQS)
- sistemas de aproveitamento de biomassa ou resíduos (quando disponíveis)
- sistemas de aproveitamento da energia geotérmica (sempre que disponível)
- sistemas autónomos, combinando solar térmico, solar fotovoltaico, eólico, etc., (em locais distantes da rede eléctrica pública)

Por fim, apresenta tabelas com os valores limite dos consumos globais específicos, tendo definido o consumo máximo para os edifícios de serviços assim como padrões de referência de utilização dos edifícios.

Saliente-se, contudo, que é um Decreto claramente vocacionado para os sistemas de climatização, referindo, mas colocando de lado os equipamentos eléctricos para outros fins, como é o caso da iluminação (Figura 2.1). Apesar de aparecer referido nas tabelas, não chega a ser definido nenhum valor de referência para a densidade de iluminação dos espaços ao contrário do que acontece, por exemplo, com a legislação criada em Espanha para o mesmo efeito. [4]

Escritórios		
Perfis variáveis de acordo com os valores das tabelas		
	Densidades	
Ocupação	15 m <sup>2</sup> /Ocupante	
Iluminação	-----	
Equipamento	15 W/m <sup>2</sup>	
<b>Perfis Constantes</b>		
	Densidade	N.º Horas funcionamento
<b>Iluminação Exterior</b>	-----	5400
<b>Cozinhhas</b>	Densidades	N.º Horas funcionamento
Iluminação	-----	1560
Equipamento	250 W/m <sup>2</sup>	
Ventilação	8 W/m <sup>2</sup>	
<b>Estacionamento</b>	Densidade	N.º Horas funcionamento
Iluminação	-----	2730
Equipamento	2 W/m <sup>2</sup>	
Ventilação	8 W/m <sup>2</sup>	

Figura 2.1 – Exemplo retirado da pág. 2457 do Diário da República n. 67 – 04/04/2006 (RSECE)

### **2.3. Decreto-Lei n.º 80/2006**

Conhecido como RSCCTE, este Decreto-Lei procura impor requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno, quer no Verão, assim como minimizar as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações.

Trata-se de uma metodologia de cálculo que considera variáveis tais como a localização do edifício, tipo de construção das paredes, vãos envidraçados, sombreamentos solares, entre outros, calculando índices que quantificam:

- o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic)
- o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (Nvc)
- o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para produção de AQS (Nac)
- o valor das necessidades globais de energia primária (Ntc)

São impostos valores máximos para cada um destes índices, obrigando à utilização de materiais e sistemas eficientes de forma a que o edifício cumpra o estipulado no Decreto-Lei (valores dos índices inferiores aos valores máximos admissíveis).

Até publicação em despacho (actualizável devido ao diferentes *mix* energéticos anuais) utilizam-se os factores de conversão entre energia útil e energia primária definidas neste Decreto-Lei, nomeadamente:

- Electricidade: 0,290 kgep/kWh
- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: 0,086 kgep/kWh

### **2.4. As Normas EN 12464-1 e EN 12464-2**

Estas normas quebram com o conceito comum da criação de ambientes uniformes de iluminação. Os gabinetes e locais de trabalho deixam de apontar para os típicos 500 lux de valor de iluminação médio em todos os pontos para a diferenciação do espaço de acordo com a necessidade.

Aparece assim o conceito de zona de trabalho, definindo valores de iluminação da zona envolvente em 4 escalões, tendo como máximo os 500 lux. O valor da uniformidade também é definido separadamente para a zona de trabalho e a zona envolvente.

A norma de iluminação interior (EN 12464-1) define valores médios mínimos para cada local em função da tarefa a realizar e a norma de iluminação exterior (EN 12464-2) define limites máximos de iluminação, prevenindo assim a poluição luminosa no exterior.

No exterior, a zona envolvente à zona de trabalho passa a ser definida em 6 escalões, tendo como máximo os 100 lux.

Ambas as normas salientam que não deverá ser depreciada a qualidade e quantidade de luz apenas com vista à redução do consumo eléctrico.

## **2.5. Plano de Promoção da Eficiência no Consumo**

Promovido pela ERSE, o Plano de Promoção da Eficiência no Consumo (PPEC) tem como objectivo prioritário apoiar financeiramente iniciativas que promovam a eficiência e redução do consumo de electricidade nos diferentes segmentos de consumidores.

No que concerne ao PPEC para o ano de 2008 foram recebidas 140 candidaturas e consideradas elegíveis 131 medidas apresentadas por 21 promotores, com custos candidatos à comparticipação do PPEC para o ano de 2008 no valor de 46 milhões de euros, aproximadamente o quántuplo do orçamento do PPEC ainda disponível para 2008 (9,3 milhões de euros).

O concurso tem um forte carácter competitivo, sendo seleccionadas as medidas de melhor ordem de mérito classificadas de acordo com a métrica de avaliação estabelecida nas Regras do Plano de Promoção da Eficiência no Consumo.

Os promotores e consumidores de energia eléctrica assumem um papel muito relevante no Plano de Promoção da Eficiência no Consumo, desde a fase de consulta pública até à apresentação de candidaturas e posterior implementação. A qualidade das medidas apresentadas e o forte carácter competitivo do processo de selecção perspectivam um ano de 2008 mais eficiente na óptica do consumo de energia eléctrica.

Alguns exemplos de candidaturas:

- Substituição de semáforos clássicos por semáforos equipados com Leds
- Promoção da substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas
- Implementação de medidas para correcção do factor de potência
- Instalação de variadores de velocidade para motores
- Divulgação
- Formação
- Auditorias

### 3. Iluminação

Quando a iluminação natural é insuficiente, torna-se necessária a utilização de equipamentos de iluminação artificial para permitir a realização de tarefas de uma forma eficaz e segura. O nível de iluminação necessário varia de acordo com o tipo de tarefa, a duração da tarefa e o conforto e segurança exigidos.

A norma europeia EN 12464-1 estipula valores médios de iluminância, assim como brilho e restituição cromática adequados a cada zona, de forma a assegurar um consumo energético racional e um nível de iluminação adequado.

#### 3.1. Conceitos teóricos

É importante definir alguns fundamentos de luminotecnia que facilitem a interpretação do estudo aqui apresentado.

##### 3.1.1. Intensidade luminosa, fluxo luminoso e eficiência luminosa

A intensidade luminosa ( $I$ ) é a medida de potência da radiação luminosa numa dada direcção (Figura 3.1). A unidade de medida utilizada é a “candela” (cd).

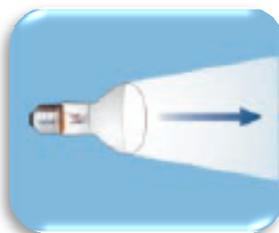


Figura 3.1 – Intensidade luminosa (candela) [5]

O fluxo luminoso (Figura 3.2) é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz. A unidade de medida utilizada é o “lúmen” (lm) e é definida como o fluxo luminoso emitido segundo um ângulo sólido de um esterradiano, por uma fonte pontual de intensidade invariável em todas as direcções com uma intensidade luminosa igual a 1 candela.



Figura 3.2 – Fluxo luminoso (lúmen) [5]

As lâmpadas conforme o tipo e potência apresentam fluxos luminosos diversos:

- lâmpada incandescente de 60 W: 865 lm;
- lâmpada fluorescente de 32 W: 2.850 lm;
- lâmpada vapor de mercúrio 250 W: 14.000 lm;
- lâmpada multi-vapor metálico de 400 W: 36.000 lm

O lúmen devia ser a medida utilizada correntemente para a definição do nível luminoso de uma lâmpada, e não a sua potência como é usual encontrar salientado nos invólucros das lâmpadas. Na maior parte das vezes o fluxo luminoso nem sequer é apresentado, o que leva ao abuso técnico de referir que a lâmpada que se pretende vender, de uma nova tecnologia e com uma determinada potência (W), é equivalente a outra com uma potência mais alta. Seria mais claro e tecnicamente correcto apresentar sempre de uma forma explícita o fluxo luminoso da lâmpada disponibilizada (que poderá variar de marca para marca apesar de o consumo ser o mesmo).

A eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e a potência eléctrica dessa lâmpada.

- lâmpada incandescente de 100 W: 10 lm/W
- lâmpada fluorescente de 40 W: 42,5 lm/W a 81,5 lm/W.
- lâmpada vapor de mercúrio de 250 W: 50 lm/W
- lâmpada multi-vapor metálico de 250 W: 68 lm/W.

### 3.1.2. Iluminância

A iluminância (E) é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a área dessa superfície, ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide (Figura 3.3). A unidade é o “lux”, definido como a iluminância de uma superfície de 1 m<sup>2</sup>, recebendo luz de uma fonte pontual com um fluxo luminoso de 1 lm a 1 m de distância.

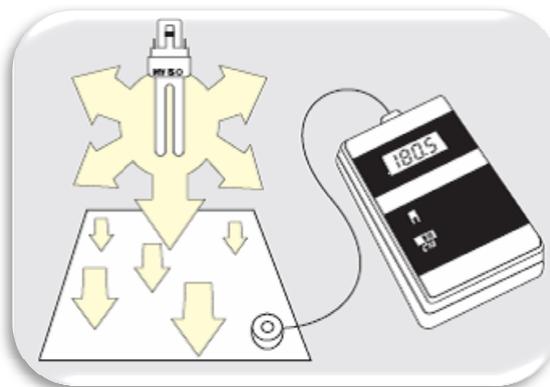


Figura 3.3 – Iluminância (lux) [5]

Exemplos de iluminâncias:

- dia soalheiro de verão em local aberto.....100.000 lux
- dia encoberto de verão .....20.000 lux
- dia escuro de inverno .....3.000 lux
- iluminação de rua.....20 lux
- noite de lua cheia.....0,25 lux
- luz de estrelas.....0,01 lux.

### 3.1.3. Brilho ou Luminância

Brilho ou luminância (L) é a intensidade luminosa produzida ou reflectida por uma superfície existente (Figura 3.4). A distribuição da luminância no campo de visão das pessoas numa área de trabalho, proporcionada pelas várias superfícies dentro da área (luminárias, janelas, tecto, parede, piso e superfície de trabalho), deve ser considerada como complemento à determinação das iluminâncias (lux) do ambiente, a fim de evitar o ofuscamento.

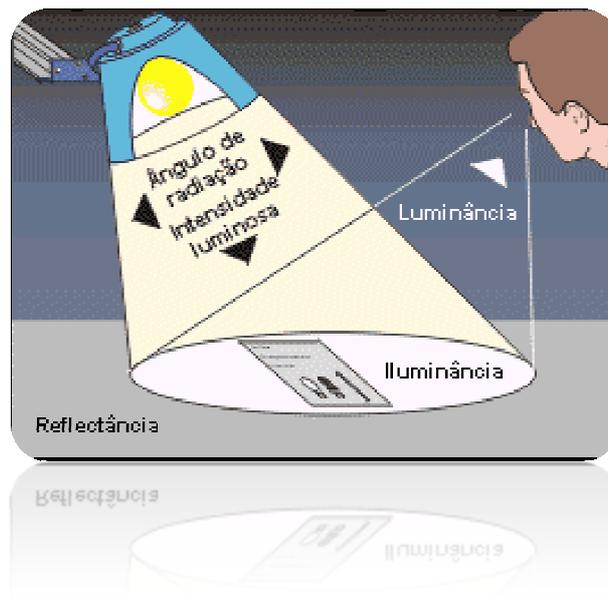


Figura 3.4 – Luminância [5]

A unidade de medida da luminância é: candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

### 3.1.4. Índice de restituição cromática

O índice de restituição cromática ( $R_a$ ) ou reprodução de cor, é o valor percentual médio relativo à sensação de reprodução de cor (percepcionada pelo cérebro), baseado numa série de cores padrões. O método consiste na avaliação das cores, quando submetidas à luz da fonte a ser analisada e por comparação com uma fonte de luz ideal ou natural, considerando-se a luz ideal aquela produzida pelo o corpo negro. Quando uma lâmpada apresenta um índice de restituição cromática “60” (por exemplo), está a indicar-se que reproduz 60% das cores reproduzidas pela fonte de luz ideal.

Hoje em dia é usual, em escritórios, não utilizar lâmpadas com índices de restituição cromática inferiores a 80, valor este facilmente conseguido com as usuais lâmpadas fluorescentes.

## **3.2. Opções tecnológicas da iluminação**

Existem no mercado [6] inúmeros dispositivos que transformam energia eléctrica em energia luminosa, com diferentes potências, dimensões, índices de restituição cromática, tempos de vida e rendimentos. Estes dispositivos fazem parte de um sistema de iluminação que é composto por vários equipamentos:

- Invólucro;
- Balastro;
- Lâmpada;
- Reflector;
- Difusor;

### **3.2.1. Lâmpada fluorescente**

Ao longo dos anos, os fabricantes (de luminárias e de dispositivos electrónicos) 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, balastros electrónicos e recentemente a tecnologia T5.

Estes dois últimos, quer por apresentarem perdas reduzidas, quer por apresentarem uma melhor eficiência da própria lâmpada, são os mais atractivos e de maior divulgação, nomeadamente na sua aplicação a lâmpadas fluorescentes tubulares, nas quais é possível obter reduções no consumo eléctrico, da ordem dos 20% a 30%.

Os balastros electrónicos, além das vantagens económicas devido ao baixo consumo, acabam com o problema da cintilação emitida pela lâmpada. Este efeito pode ser notado na presença de balastros ferromagnéticos pela sensação visual de variação de fluxo luminoso ao longo do tempo. Este efeito poderá estar associado a dores de cabeças e outros distúrbios fisiológicos. Os balastros electrónicos, que funcionam em alta-frequência (20kHz a 50 kHz), regeneram o arco eléctrico mais de 40.000 vezes por segundo, tempo curto demais para ser percebido pelo ser humano e sem implicações no cansaço visual.

Consequentemente à redução do diâmetro do tubo de T8 para T5, mantendo o tamanho do reflector, é possível aumentar a intensidade luminosa, como é apresentado pela Figura 3.5.

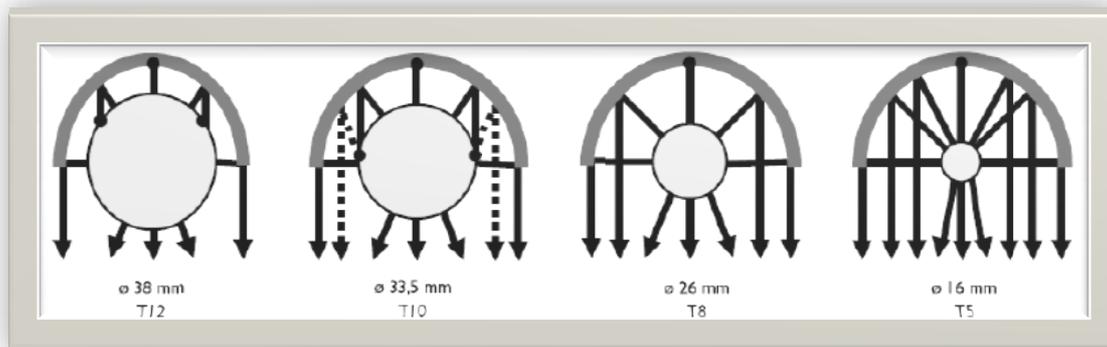


Figura 3.5 – Diferença de diâmetro das lâmpadas fluorescentes tubulares [7]

Desde as primeiras lâmpadas fluorescentes T12, por volta de 1930, contam-se até hoje, 3 “gerações” de lâmpadas e uma evolução de balastos ferromagnéticos, com um alto consumo próprio de energia, a balastos electrónicos com alta eficiência energética:

Tabela 3.1 – Data de aparecimento dos diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes [8]

ANO	TIPO LÂMPADAS	TIPO BALASTROS
1930	Fluorescentes T12	balastos indutivos ferromagnéticos
1970	Fluorescentes T8	balastos ferromagnéticos
1980	Fluorescentes T8	balastos electrónicos
1996	Fluorescentes T5	só funcionam com balastos electrónicos

### 3.2.2. LED

Os LED, sigla em inglês para Diodos Emissores de Luz (*Lighting Emmitted Diodes*), são componentes semicondutores (tecnologia utilizada em pastilhas semicondutoras, transístores e circuitos integrados), que têm a propriedade de transformar energia eléctrica em luz. Tal transformação é diferente da das lâmpadas convencionais que utilizam filamentos metálicos e descarga de gases que conduzem à emissão de radiação ultravioleta, entre outros fenómenos indesejáveis.

Nos LED, a transformação de energia eléctrica em luz é feita na matéria, sendo por isso, chamada de estado sólido (*Solid State*), durando assim longos períodos, tal como um transístor standard.

Apresentam-se algumas comparações entre diferentes fontes luz, onde é possível verificar que o LED encontra-se ainda a meio da tabela no que diz respeito à eficiência energética:

Tabela 3.2 – Eficiência de diferentes tipos de fontes de luz [9] [10]

Tipo de lâmpada	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	Índice de restituição cromática - $R_a$	Vida útil (h)
Vapor de sódio (alta pressão)	250	27.000	108	20-39	20.000
Iodetos metálicos	400	36.000	90	65	20.000
Fluorescente tubular	32	2.850	89	78	24.000
Fluorescente compacta	15	900	60	82	10.000
Vapor de Mercúrio	250	14.000	56	40-59	20.000
LED	1	45	45	70	50.000
Halogéneo	50	950	19	100	2.000
Incandescente	60	865	14	100	1.000

Os LED, apesar de se apresentarem como a tecnologia do futuro, continuam ainda com uma eficiência inferior à grande maioria das soluções possíveis, destacando-se no mercado não pela sua eficiência mas sim pelo tempo superior de vida e reduzidas dimensões.

### 3.2.3. Sistema ADASY

O sistema ADASY (Active Day Lighting System - Figura 3.6) [11], pouco conhecido e raramente implementado, baseia-se na ideia de transmitir controladamente a luz solar para iluminar o interior dos edifícios.

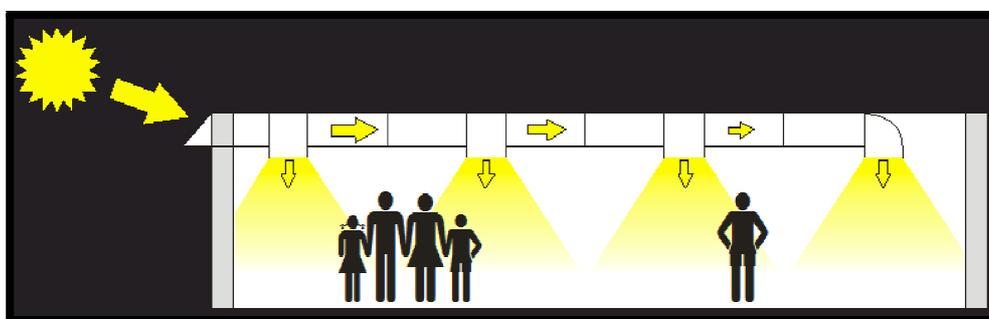


Figura 3.6 – Princípio de funcionamento do sistema ADASY [11]

Trata-se de um sistema composto por um guia de luz que permite a sua transmissão mediante superfícies espelhadas em prata, interligado a um colector no exterior do edifício que permite a captação otimizada de luz solar e um aparelho de iluminação no interior que controla o nível de intensidade luminosa a disponibilizar no espaço.

Este aparelho de iluminação é composto por um filme electro-crómico que permite uma variação do grau de transparência e lâmpadas fluorescentes tubulares laterais (do tipo T5) que asseguram a iluminação na ausência de luz natural.

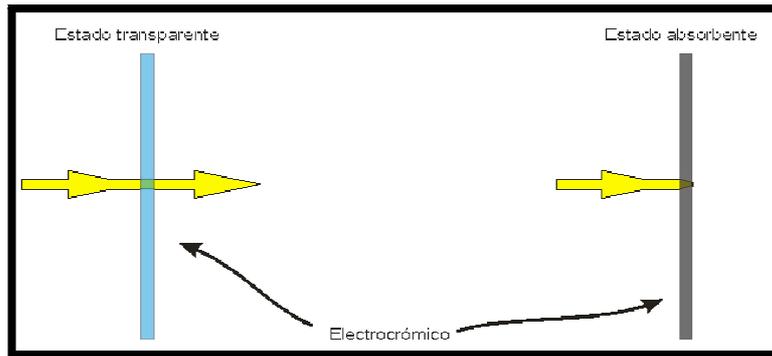


Figura 3.7 – Filme electro-crómico [11]

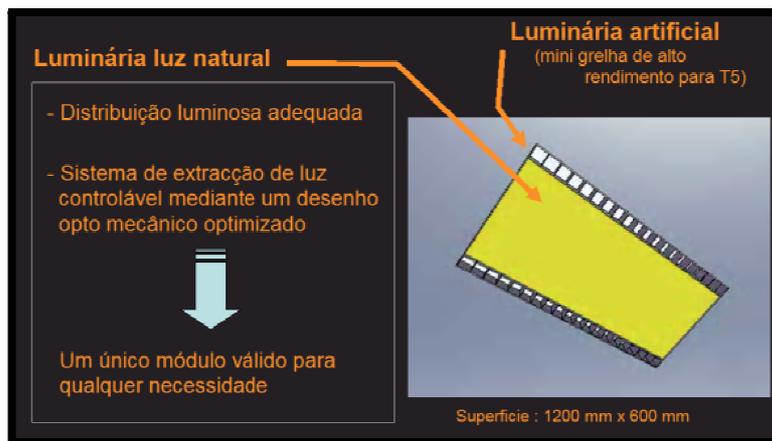


Figura 3.8 – Aparelho de iluminação ADASY [11]

### 3.2.4. Sistemas de controlo de iluminação

Os sistemas de controlo de iluminação e regulação de fluxo luminoso contribuem para a eficácia energética da iluminação, uma vez que permitem configurações que evitam o funcionamento das fontes de luz quando não são necessárias e a regulação da energia consumida para os valores mínimos requeridos para cada tarefa a realizar no interior do edifício.

A solução corrente de sistemas de regulação de fluxo é a da tecnologia DALI (Digital Addressable Lighting Interface - IEC 62386), fundamentalmente devido à sua adaptabilidade ao espaço, instalação e simplicidade de controlo. As funcionalidades inerentes à tecnologia DALI, permitem o uso de ferramentas de software para controlo automático ou semi-automático da iluminação, incluindo a integração de sensores de luminosidade, detectores de presença e mesmo luminárias com módulos de emergência.

Usufruindo da rede de dados existente num edifício, é possível efectuar a gestão dos módulos DALI distribuídos pelos vários pisos e a interligação pode ser feita em protocolo TCP/IP.

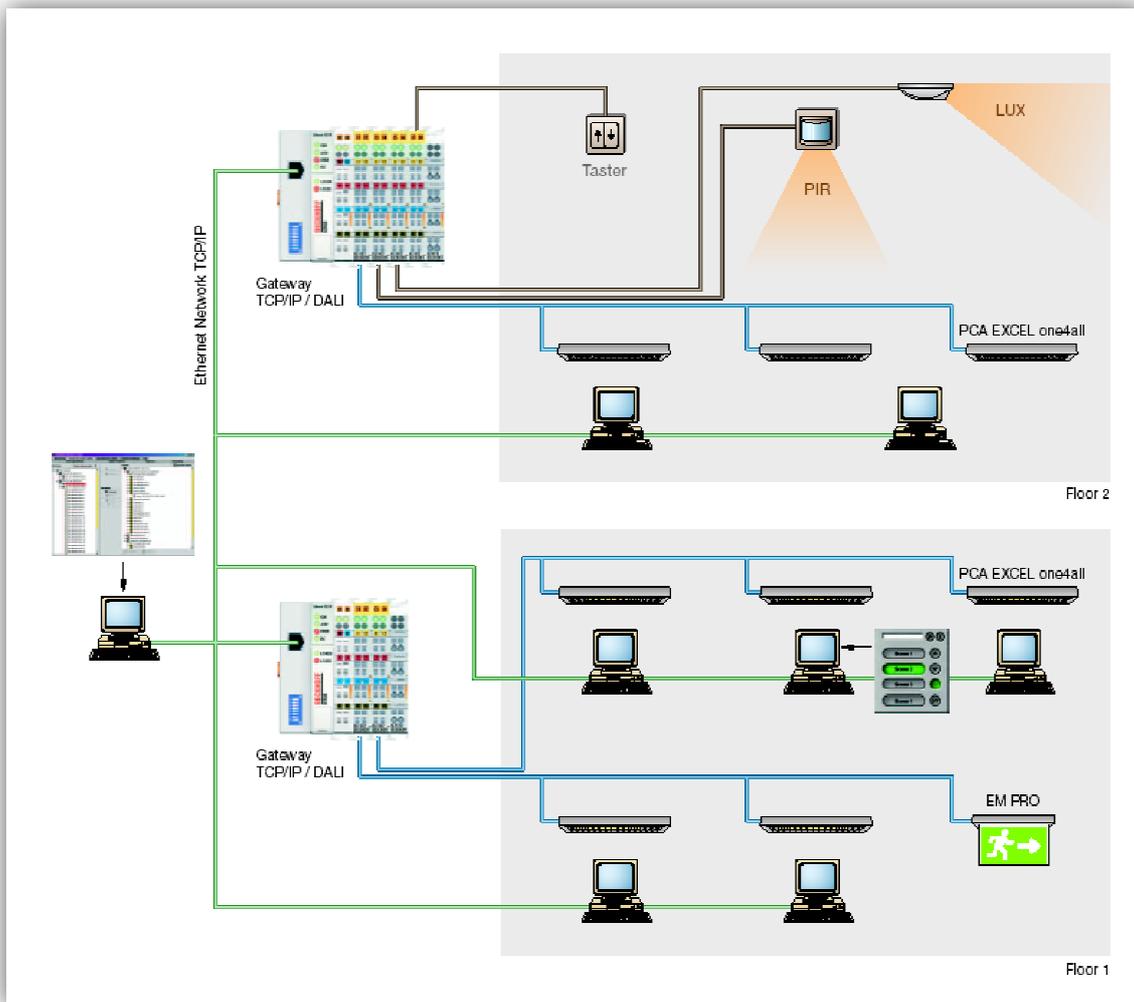


Figura 3.9 – Interligação e gestão de sistemas DALI [12]

O software não é apenas uma plataforma de gestão com uma arquitectura inovadora uma vez que permite operar a instalação numa perspectiva global. Os comandos de gestão são executados em tempo real para diferentes pontos físicos, quer através de regras horárias quer da intervenção humana. A integração em TCP/IP permite uma rápida transferência de dados e, por exemplo, intervir no piso 0 é igual a verificar o estado das luminárias de emergência do piso 8. A gestão via Internet é igualmente possível, permitindo a manutenção remota da instalação.

A gestão centralizada é particularmente útil na análise funcional de um edifício. O estado funcional das lâmpadas, balastos, acumuladores das luminárias de emergência, pode facilmente ser obtido a partir de qualquer ponto do edifício, em tempo real, por alertas, ou numa lista das várias ocorrências, incluindo avarias. Esta situação permite uma manutenção mais cuidada ao sistema de iluminação do edifício.

O sistema está centralizado num servidor que desempenha as tarefas solicitadas pelos utilizadores. Alterar o número de luminárias que estão associadas ao interruptor da sala de reuniões, por exemplo, deixa de requerer alterações eléctricas e pode ser feito apenas em software.

Na gestão central é possível aceder aos consumos energéticos por zona. Esta informação é particularmente útil na avaliação do consumo energético.

### 3.3. Iluminação em edifícios de escritórios

A legislação portuguesa não indica qual a potência eléctrica máxima a utilizar nos sistemas de iluminação de um edifício, nem mesmo qual o valor máximo de energia que poderá ser consumido para esse fim. Por essa razão, pretende-se neste trabalho calcular os valores mínimos de potência eléctrica necessária aos sistemas de iluminação de um edifício de serviços cumprindo os valores médios de iluminância recomendados pela norma europeia EN 12464-1.

Um típico edifício de serviços será composto por um estacionamento automóvel nos pisos enterrados, áreas técnicas, recepção ou hall de entrada, postos de trabalho em “open space”, gabinetes fechados, salas de reunião, zonas de circulação e instalações sanitárias.

De acordo com a EN 12464-1, considera-se que devam ser cumpridos os seguintes requisitos:

Tabela 3.3 – Directivas apresentadas na EN 12464-1

Zona	$E_m$ (lux)	UGR	$R_a$
<b>Área técnica</b>	300	25	80
<b>Arquivo</b>	200	25	80
<b>Circulação de pessoas</b>	100	28	40
<b>Escadas</b>	150	25	40
<b>Estacionamento automóvel</b>	75	25	20
<b>Circulação estacionamento automóvel</b>	150	28	40
<b>Rampas de acesso estacionamento automóvel</b>	300	25	20
<b>Gabinetes</b>	500	19	80
<b>Hall entrada</b>	300	22	80
<b>Instalações Sanitárias</b>	200	25	80
<b>Open Space</b>	500	18	80

De modo a simular situações ideais de cumprimento da norma apresentada, foi utilizado o programa de simulação Dialux para calcular o número de aparelhos de iluminação necessários em cada uma das zonas em estudo. O resultado é apresentado nos capítulos seguintes.

O software Dialux é um dos muitos softwares existentes para cálculo luminotécnico e tem ganho grande notoriedade por ser de utilização gratuita, disponível na internet ([www.dialux.pt](http://www.dialux.pt)) e contar já com inúmeras parcerias de fabricantes de iluminação. Estas parcerias permitem a criação de bases de dados com a modelizações de aparelhos de iluminação que ajudam na simulação dos ambientes reais a iluminar. A DIAL GmbH, empresa proprietária do software, não está ligada a qualquer fabricante de iluminação e dedica-se à realização de seminários e workshops de iluminação, entre outras actividades relacionadas com o tema da iluminação., o que lhe tem volvido bastante credibilidade nesta área de actuação.

Ao modelizar os espaços utilizando o Dialux é necessário a inserção dos seguintes elementos:

- Planta do espaço;
- Pé direito do espaço;
- Índices de reflexão do tecto, paredes e pavimento;
- Marca e modelo dos aparelhos de iluminação;
- Disposição dos aparelhos de iluminação no espaço.

O índice de reflexão é a relação percentual entre o fluxo luminoso reflectido por um material e o fluxo incidente. A Tabela 3.4 apresenta valores médios para alguns materiais e cores.

Tabela 3.4 – Índices de reflexão de alguns materiais e cores [13]

Material ou cor	Valor	Material ou cor	Valor
Azul claro	30 - 55	Madeira clara	30 - 50
Azul escuro	10 - 25	Madeira escura	10 - 25
Azulejo branco	60 - 75	Mármore claro	60 - 70
Amarelo	65 - 75	Marrom	10 - 25
Branco	70 - 85	Ocre	30 - 50
Cimento claro	35 - 50	Preto	5
Concreto claro	30 - 40	Rocha	60
Concreto escuro	15 - 25	Rosa	45 - 60
Cinza claro	45 - 65	Tijolo claro	20 - 30
Cinza escuro	10 - 20	Tijolo escuro	10 - 15
Cinza médio	25 - 40	Verde claro	30 - 55
Esmalte branco	65 - 75	Verde escuro	10 - 25
Gesso	70 - 80	Vermelho claro	25 - 35
Granito	15 - 25	Vermelho escuro	10 - 20
Laranja	25 - 35	Vidro transparente	5 - 10

Para realizar a avaliação energética (realizada pelo software Dialux cumprindo a norma DIN 18599) torna-se ainda necessário fornecer as seguintes informações:

- Método de controlo utilizado (manual, detector de movimento, detector de luminosidade)
- Horas de utilização no período diurno
- Horas de utilização no período nocturno
- Tipo de utilização do espaço

A regulamentação portuguesa não prevê qualquer metodologia de cálculo de avaliação de energia específica para sistemas de iluminação. A utilização da norma Alemã DIN 18599 é normal em *software* de simulação dinâmica de edifícios (na vertente energética) e neste estudo servirá de padrão a utilizar em todas as simulações que permite comparar os vários valores obtidos (em função do método de controlo utilizado), não sendo utilizada para o cálculo do valor absoluto exacto de energia consumida.

### 3.3.1. Áreas Técnicas

As áreas técnicas devem garantir níveis de iluminação adequados à correcta manutenção e reparação dos equipamentos instalados, sem descuido da segurança inerente à maquinaria (peças móveis, pontas afiadas, etc.). As áreas técnicas são visitadas por pessoas com competência para tal e estão interditas ao público em geral.

Nestas simulações serão sempre utilizadas lâmpadas com índices de restituição cromática iguais ou superiores a 80, valor facilmente atingível com as lâmpadas de utilização comum hoje em dia.

É usual, tal como para o estacionamento, surgirem, na fase de desenvolvimento dos projectos de iluminação, dúvidas relativas à melhor orientação para os aparelhos de iluminação, perpendiculares ou paralelos à sala (válido apenas para salas não quadradas), assim como à quantidade de lâmpadas a prever em cada aparelho (uma ou duas lâmpadas). Esta simulação abarca as várias situações possíveis para várias dimensões diferentes de espaços.

Consideraram-se 8 áreas técnicas de dimensões distintas, com as seguintes características:

Tabela 3.5 – Dimensões das áreas técnicas a simular

Área Técnica	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
	Tecto	Paredes	Pavimento	
9 m <sup>2</sup> (3 m x 3 m)	0,70	0,50	0,50	3,0
16 m <sup>2</sup> (4 m x 4 m)				
25 m <sup>2</sup> (5 m x 5 m)				
50 m <sup>2</sup> (10 m x 5 m)				
75 m <sup>2</sup> (15 m x 5 m)				
100 m <sup>2</sup> (10 m x 10 m)				
200 m <sup>2</sup> (20 m x 10 m)				
400 m <sup>2</sup> (20 m x 20 m)				

Pretende-se com esta escolha abranger o maior número de disposições possíveis, servindo de base a análises a realizar a outras salas técnicas que, apesar de poderem apresentar medidas diferentes, poderão ser decompostas em várias salas técnicas “tipo” com as dimensões consideradas na Tabela 3.5.

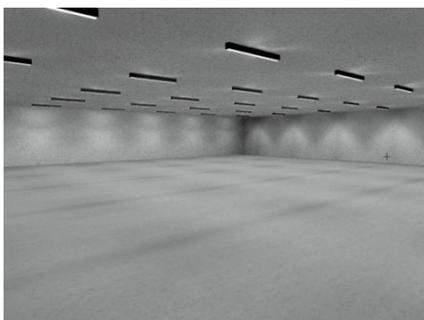


Figura 3.10 – Área Técnica 20x20 m (imagem virtual)



Figura 3.11 – Área Técnica 15x5 m (imagem virtual)

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos de iluminação estanques equipados com balastro electrónico e uma ou duas lâmpadas fluorescentes tubulares T5 (iguais). Foram consideradas duas potências de lâmpadas diferentes na medida em que alguns dos espaços de dimensões mais reduzidas apresentaram melhores resultados nas simulações com aparelhos de iluminação mais pequenos. Os tipos de lâmpadas utilizados foram:

- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 28 W, 2.600 lumen (lâmpada mais balastro com 31 W);
- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 54 W, 4.450 lumen (lâmpada mais balastro com 59 W);
- 2x Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 28 W, 5.200 lumen (lâmpadas mais balastro com 64 W)
- 2x Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 54 W, 8.900 lumen (lâmpadas mais balastro com 118 W)
- Instalação saliente justaposta ao tecto (idêntica à encontrada no edifício).

A simulação prevê a colocação uniforme dos aparelhos de iluminação no tecto de cada espaço (exemplo da área técnica de 100 m<sup>2</sup> na Figura 3.12) e considera como normal a instalação dos aparelhos perpendiculares ao comprimento maior da sala (Figura 3.13) e a designação “rodadas a 90°” para a instalação dos aparelhos de iluminação no sentido do maior comprimento da sala (Figura 3.14).

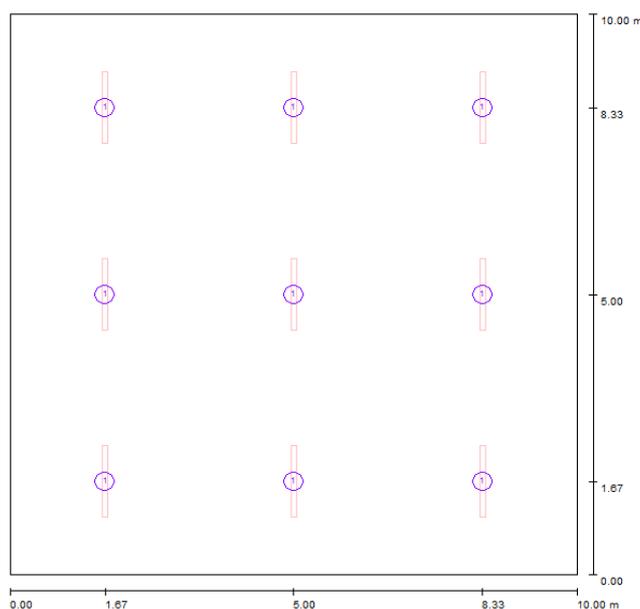


Figura 3.12 – Localização da iluminação da área técnica 10x10 m

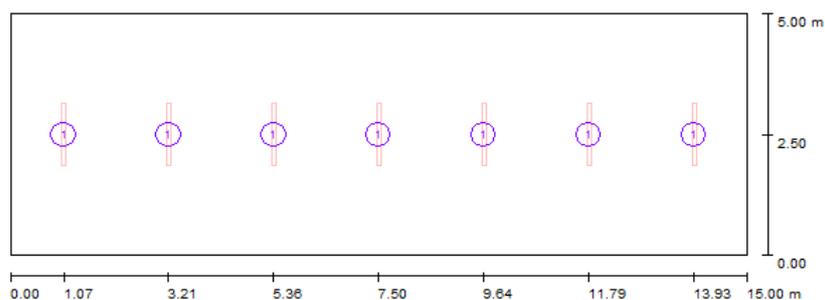


Figura 3.13 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m

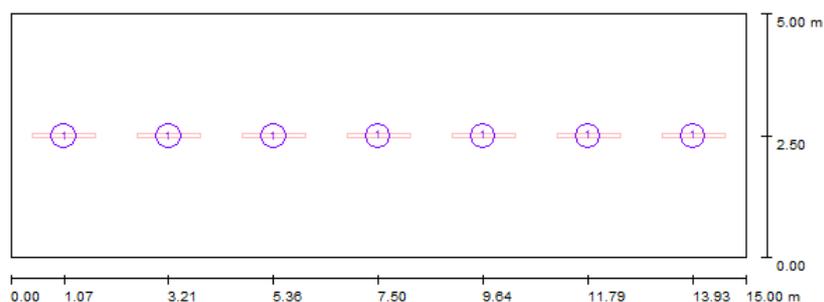


Figura 3.14 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m com luminárias a 90°

Os valores obtidos foram (à cota 0,8 m a partir solo):

Tabela 3.6 – Resultados da simulação de iluminação das áreas técnicas

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 9 m <sup>2</sup>	367	0,63	13	10,33	3 (31 W)
Área de 16 m <sup>2</sup>	329	0,64	15	7,75	4 (31 W)
Área de 25 m <sup>2</sup>	310	0,42	18	7,08	3 (59 W)
Área de 50 m <sup>2</sup>	297	0,41	20	5,90	5 (59 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	291	0,41	20	5,51	7 (59 W)
Área de 100 m <sup>2</sup>	298	0,46	19	5,31	9 (59 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	319	0,49	21	5,31	18 (59 W)
Área de 400 m <sup>2</sup>	291	0,48	21	4,43	30 (59 W)

Tabela 3.7 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 9 m <sup>2</sup>	388	0,63	< 10	13,11	1 (118 W)
Área de 16 m <sup>2</sup>	293	0,53	19	8,00	2 (64 W)
Área de 25 m <sup>2</sup>	324	0,44	20	7,68	3 (64 W)
Área de 50 m <sup>2</sup>	346	0,47	24	7,08	3 (118 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	324	0,41	24	6,29	4 (118 W)
Área de 100 m <sup>2</sup>	388	0,43	23	7,08	6 (118 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	354	0,42	24	5,90	10 (118 W)
Área de 400 m <sup>2</sup>	307	0,42	25	4,72	16 (118 W)

Tabela 3.8 – Resultados da simulação das áreas técnicas com as luminárias rodadas 90°

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 50 m <sup>2</sup>	299	0,35	20	5,90	5 (59 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	292	0,35	21	5,51	7 (59 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	320	0,48	19	5,31	18 (59 W)

Tabela 3.9 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas rodadas a 90°

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 50 m <sup>2</sup>	342	0,44	21	7,08	3 (118 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	318	0,43	21	6,29	4 (118 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	350	0,44	21	5,90	10 (118 W)

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....52 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....52 h
- Tipo de utilização .....zona técnica

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.10 – Consumo energético anual da iluminação das áreas técnicas

Zona	1 lâmpada (kWh/ano)	2 lâmpadas (kWh/ano)
Área de 9 m <sup>2</sup>	9,67	12,27
Área de 16 m <sup>2</sup>	12,90	13,31
Área de 25 m <sup>2</sup>	18,41	19,97
Área de 50 m <sup>2</sup>	30,68	36,82
Área de 75 m <sup>2</sup>	42,95	49,09
Área de 100 m <sup>2</sup>	55,22	73,63
Área de 200 m <sup>2</sup>	110,45	122,72
Área de 400 m <sup>2</sup>	184,08	196,35

### 3.3.1.1. Análise da simulação das áreas técnicas

A orientação das lâmpadas neste espaço não apresenta diferenças significativas de valores. Contudo, conclui-se que uma orientação perpendicular ao maior comprimento da sala oferece melhores valores de uniformidade ( $E_{min}/E_m$ ).

Os aparelhos de iluminação compostos por 2 lâmpadas permitem reduções significativas no custo inicial da instalação, uma vez que o número de aparelhos é diminuído, algumas vezes, para menos de metade. Contudo, esta solução torna a “unidade” de potência maior, uma vez que a supressão dos aparelhos de iluminação, retira da sala, de uma só vez, os lumens correspondentes a duas lâmpadas. Desta forma, não se obtém uma optimização máxima no número de aparelhos necessários ao cumprimento da iluminância previstos na norma, o que se reflecte num incremento anual de energia, em alguns casos, considerável (33% no caso da área técnica de 100 m<sup>2</sup>), não pela utilização de equipamento menos eficiente, mas sim pela passagem de 298 para 388 lux de iluminância.

Tratando-se de áreas acedidas apenas por utilizadores especializados, a aplicação de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) poderia comprometer a segurança caso a iluminação se apagasse automaticamente durante uma acção de manutenção. Por essa razão, considera-se neste estudo que um grande placard a lembrar que a luz deverá ser apagada quando a sala não está a ser utilizada será preferível.

O projecto de iluminação das áreas técnicas de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada para áreas inferiores a 16 m<sup>2</sup> de 11 W/m<sup>2</sup>
- Potência instalada para áreas superiores a 16 m<sup>2</sup> de 7 W/m<sup>2</sup>
- Orientação dos aparelhos perpendiculares ao maior comprimento da sala

### 3.3.1.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontram-se as seguintes áreas técnicas com as respectivas potências eléctricas dos sistemas de iluminação (lâmpada mais balastro):

- Piso -2
  - o Área técnica -2.03 .....6,3 m<sup>2</sup> (6,28 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.04 .....8,1 m<sup>2</sup> (4,89 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.09 .....18,9 m<sup>2</sup> (4,19 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.13 .....9,8 m<sup>2</sup> (4,04 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.17 .....28,4 m<sup>2</sup> (5,58 W/m<sup>2</sup>)
- Piso 0
  - o Área técnica 0.04 .....6,9 m<sup>2</sup> (5,74 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 0.07 .....10,1 m<sup>2</sup> (7,84 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 0.08 .....9,8 m<sup>2</sup> (4,04 W/m<sup>2</sup>)
- Piso 1
  - o Área técnica 1.01 .....4,8 m<sup>2</sup> (8,25 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 1.02 .....6,9 m<sup>2</sup> (5,74 W/m<sup>2</sup>)
- Piso 6
  - o Área técnica 6.01 .....25,7 m<sup>2</sup> (6,16 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 6.02 .....6,2 m<sup>2</sup> (6,39 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 6.03 .....23,1 m<sup>2</sup> (6,86 W/m<sup>2</sup>)



Figura 3.15 – Área Técnica 2.09 e 2.17 do edifício em estudo

O projecto da especialidade de instalações eléctricas do edifício utiliza como base um objectivo de iluminância de 150 lux (abaixo do recomendado na norma) para as áreas técnicas e essa é a razão que leva a que a potência por m<sup>2</sup> esteja abaixo dos valores a tomar como regra no capítulo de simulação.

Em termos de eficiência energética não são encontradas opções que melhorem a utilização racional de energia, uma vez que os valores de potência por m<sup>2</sup> já se encontram abaixo do limite simulado, ou seja, a iluminação das áreas técnicas do edifício em estudo está já otimizada e é eficiente em termos energéticos, apesar de se tornar pouco eficaz de acordo com a norma EN-12464-1 devido à baixa iluminância existente.

### 3.3.2. Arquivo

As áreas de arquivo deverão garantir níveis de iluminação adequados ao fácil reconhecimento de objectos e cores, assim como à fácil leitura das etiquetas.

A questão que se coloca no projecto eficiente de iluminação numa zona de arquivo, para além da potência por área, prende-se com a disposição dos aparelhos de iluminação em relação às estantes ou prateleiras de arrumação (Figura 3.17 e Figura 3.18).

Simulou-se uma sala de arquivo rectangular com 17 m de comprimento e 8,5 m de largura, com as seguintes características:

Tabela 3.11 – Índices de reflexão da sala de arquivo

Zona	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
	Tecto	Paredes	Pavimento	
Arquivo	0,73	0,50	0,50	3,0



Figura 3.16 – Arquivo (imagem virtual)

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos de iluminação estanque equipados com balastro electrónico e uma lâmpada fluorescente tubular T5 do seguinte tipo:

- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 54 W, 4.450 lumen (lâmpada mais balastro com 59 W)
- Instalação saliente justaposta ao tecto

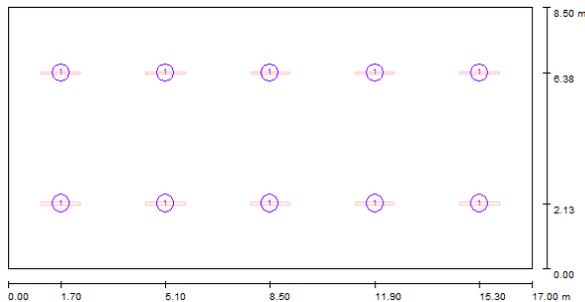


Figura 3.17 – Aparelhos de iluminação paralelos às prateleiras de arrumação do arquivo

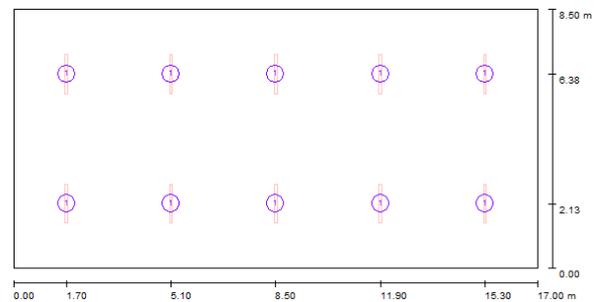


Figura 3.18 – Aparelhos de iluminação perpendiculares às prateleiras de arrumação do arquivo

Os valores obtidos foram (à cota 0,8 m acima do solo):

Tabela 3.12 – Resultados simulação de iluminação na sala de arquivo

Zona (disposição da iluminação)	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Arquivo (paralelo)</b>	213	0,44	19	4,08	10
<b>Arquivo (perpendicular)</b>	209	0,46	21		

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....depósito

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.13 – Consumo energético anual da iluminação da sala de arquivo

Zona	Energia (kWh/ano)
<b>Arquivo</b>	111,95

### 3.3.2.1. Análise da simulação dos arquivos

A orientação dos aparelhos de iluminação relativamente às estantes não apresenta diferenças significativas de valor. Apesar de a instalação paralela às prateleiras apresentar valores inferiores de índice de brilho máximo, a solução da instalação perpendicular apresenta uma melhor uniformidade.

A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) numa zona destas seria pouco funcional, pois ocorre muitas vezes o caso de um utilizador estar, praticamente imóvel, a ler as etiquetas de cada um dos elementos do arquivo, levando a que a iluminação se apagasse sozinha. Por essa razão, considera-se neste estudo que um grande placard a lembrar que a luz deverá ser apagada quando a sala não está a ser utilizada será preferível.

O projecto de iluminação dos arquivos de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de  $5 \text{ W/m}^2$

### 3.3.2.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo o arquivo encontra-se numa zona inicialmente prevista para sala de informática. O arquivo apresenta uma área de  $113 \text{ m}^2$  (Figura 3.19) e é iluminado com 12 aparelhos de iluminação estanques, salientes no tecto, cada um dos quais com duas lâmpadas de 36 W (potência do sistema lâmpada mais balastro de  $79,2 \text{ W}$ ) atingindo o valor de  $8,41 \text{ W/m}^2$ .



Figura 3.19 – Planta da sala de arquivo do edifício em estudo

Neste caso, o valor de potência instalada é próximo do dobro necessário. Isto deve-se ao facto de a sala estar a ter uma utilização diferente da que estava inicialmente prevista. Poder-se-ia reduzir para cerca de metade a potência instalada nesta sala, retirando (por exemplo) uma das lâmpadas a cada um dos aparelhos de iluminação instalados (caso o tipo de electrificação dos mesmos o permita). Desta forma reduzir-se-ia o consumo para cerca de metade.

### 3.3.3. Átrio de Entrada

O átrio de entrada serve de primeira impressão aos utilizadores do edifício. Esta primeira impressão toma uma importância acrescida quando os edifícios de serviços são utilizados tanto pelos colaboradores da empresa como pelos clientes. Deverá assim ser um espaço confortável e aspecto cuidado. Servirá também de saída de emergência em caso de catástrofe.

Esta zona foi alvo de uma simulação, onde se considera um átrio com 82,81 m<sup>2</sup> (9,1 x 9,1 m) e 6 m de pé direito, vulgarmente conhecido por “duplo pé direito” (Figura 3.20).

Não tendo sido possível medir os valores de reflexão reais nas várias superfícies do edifício em estudo, foram utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, os seguintes valores:

- Tecto .....0,73
- Paredes.....0,61
- Pavimento .....0,61

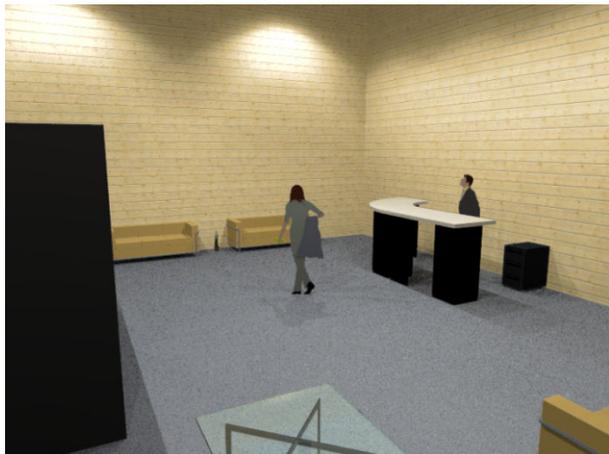


Figura 3.20 – Átrio de Entrada (imagem virtual)

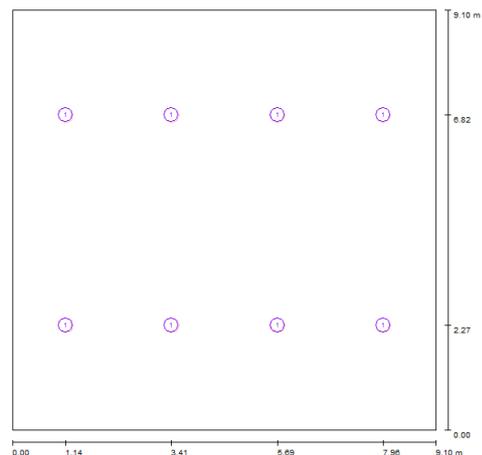


Figura 3.21 – Localização das luminárias no átrio de entrada

Os equipamentos luminosos utilizados foram distribuídos de acordo com a Figura 3.21 prevendo-se o seguinte:

- Aparelho de iluminação do tipo campânula, saliente
- Lâmpada de iodetos metálicos de 70 W, 6.400 lumen (lâmpadas mais balastro com 88 W)

Os valores obtidos foram:

Tabela 3.14 – Resultados da simulação de iluminação no átrio

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Átrio</b>	324	0,84	< 10	8,50	8

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....saguão de guichés

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.15 – Consumo energético anual da iluminação no átrio

Zona	Situação normal (sem janelas) (kWh/ano)	Com luz natural (regulação manual) (kWh/ano)	Com luz natural (regulação automática) (kWh/ano)
<b>Átrio</b>	1.151,92	625,20	403,42

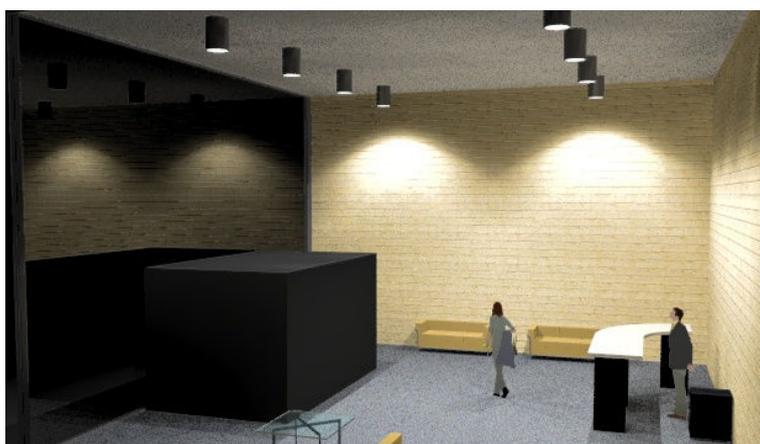


Figura 3.22 – Átrio de entrada com luz natural (imagem virtual)

A Tabela 3.15 apresenta valores que consideram a luz natural que se prevê que entre no átrio do edifício através de uma das fachadas em vidro, representada na Figura 3.22 como uma superfície preta espelhada do lado esquerdo da referida figura.

### 3.3.3.1. Análise da simulação do átrio

A iluminação dos átrios de entrada dos edifícios deverá ser funcional e confortável. Consegue-se com a escolha adequada de aparelhos de iluminação, assegurar um bom nível de iluminação no balcão de trabalho, assim como óptimos valores de uniformidade tanto no referido balcão como no solo (área visível às pessoas em circulação).

O facto de o átrio permitir aproveitar luz natural (fachada envidraçada para o exterior visível como uma superfície espelhada na Figura 3.22), reduz o consumo anual de energia eléctrica necessária para a iluminação em quase 45%, aumentando este valor para 65% caso a iluminação artificial seja dotada de controlo automático que a desligue (ou reduza o seu fluxo luminoso) durante as horas de disponibilidade de iluminação natural.

O projecto de iluminação do átrio de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de  $9 \text{ W/m}^2$
- Solução de controlo de iluminação automática mediante luz natural existente no espaço

### 3.3.3.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontra-se uma entrada rodeada de um enorme envidraçado que disponibiliza uma considerável quantidade de luz natural. A área do átrio é de  $90,7 \text{ m}^2$  e foi iluminada com 21 aparelhos dotados de 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 42 W (Figura 3.23), chegando-se a um valor de  $21,4 \text{ W/m}^2$  (o balastro consome 10% do valor total de potência das lâmpadas).



Figura 3.23 – Planta do átrio de entrada no edifício em estudo

Encontra-se aqui uma potência instalada superior em 2 vezes face ao valor simulado, o que oferece uma boa oportunidade de melhoria. A redução do consumo passa por retirar uma das lâmpadas a cada um dos aparelhos de iluminação (caso a electrificação dos mesmos o permita), reduzindo assim para metade o consumo de energia eléctrica.

O edifício está dotado de um sistema de medição de luz natural na cobertura que permite o controlo da iluminação de forma automática, estando assim garantido o pressuposto de redução máxima de energia consumida.

### 3.3.4. Circulações

A grande maioria dos edifícios apresenta duas situações distintas para as circulações. Circulações em linha rectas, ou circulações com algumas curvas e recantos. Por essa razão, foram simuladas duas situações distintas tendo-se variado, para cada uma delas, a altura dos apliques de parede utilizados na iluminação (1,8 m, 2,0 m e 2,2 m), variável que surge em fase de projecto diversas vezes sem ser conhecida uma regra que a ajude a definir. Os índices de reflexão e pé direito das circulações em estudo são:

Tabela 3.16 – Índices de reflexão das circulações simuladas

Tipo de circulação	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
	Tecto	Paredes	Pavimento	
Circulação não recta	0,70	0,60	0,20	2,8
Circulação recta				

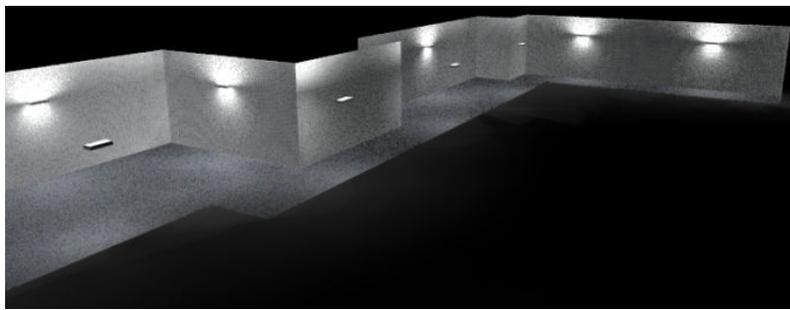


Figura 3.24 – Circulação não recta (imagem virtual)



Figura 3.25 – Circulação recta (imagem virtual)

As circulações devem garantir níveis de iluminação adequados ao reconhecimento de obstáculos e pessoas. Os aparelhos de iluminação simulados foram:

- 2x Lâmpada fluorescente compacta, com 36 W, 2.800 lumen (lâmpadas mais balastro com 75 W)
- Aparelho de iluminação do tipo applique de parede com balastro electrónico

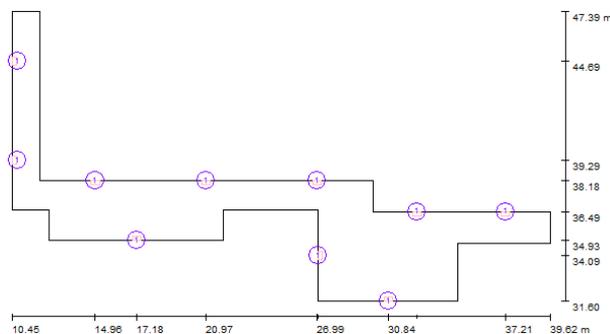


Figura 3.26 – Posição dos apliques de parede na circulação não recta

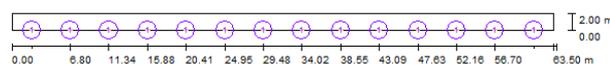


Figura 3.27 – Posição dos apliques de parede na circulação recta

Os valores obtidos foram (à cota 0,8 m acima do solo):

Tabela 3.17 – Resultados da simulação de circulação

Zona – altura do aplique	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Circulação não recta – 1,8 m</b>	126	0,45	12	7,02	10
<b>Circulação não recta – 2,0 m</b>	125	0,46	11		
<b>Circulação não recta – 2,2 m</b>	124	0,47	11		
<b>Circulação recta – 1,8 m</b>	96	0,56	< 10	8,27	14
<b>Circulação recta – 2,0 m</b>	95	0,58	< 10		
<b>Circulação recta – 2,2 m</b>	95	0,59	< 10		

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....superfície de tráfego

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.18 – Consumo energético anual da iluminação da circulação

Zona	Sem detector de presença (kWh/ano)	Com detector de presença (kWh/ano)	Redução energética
<b>Circulação não recta</b>	1.237,50	495,00	60%
<b>Circulação recta</b>	1.732,50	693,00	60%

### 3.3.4.1. Análise da simulação das circulações

A cota de instalação dos apliques de parede neste espaço não apresenta diferenças significativas de valor tornando-se mais importante para o projecto das referidas instalações compatibilizar essa variável com a altura dos utilizadores, de modo a evitar choques com aparelhos salientes nas vias de circulação.

A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) permite reduções de energia da ordem dos 60% tal como apresentado na Tabela 3.18, calculado de acordo com a Equação 3.1:

$$\text{Redução energética (\%)} = \frac{(\text{Consumo com detector} - \text{Consumo sem detector})}{\text{Consumo com detector}} \times 100$$

Equação 3.1 – Cálculo da percentagem de redução energética

O projecto de iluminação das áreas técnicas de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de 9 W/m<sup>2</sup>
- Utilizar detectores de presença

### 3.3.4.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo a zona de circulação tem a mesma configuração em todos os pisos. Esta circulação apresenta uma área de 110 m<sup>2</sup> e é iluminada com 16 aparelhos de iluminação encastrados no tecto, cada um dos quais com duas lâmpadas de 26 W, totalizando assim 8,32 W/m<sup>2</sup> (lâmpada mais balastro, com uma potência de 57,2 W).

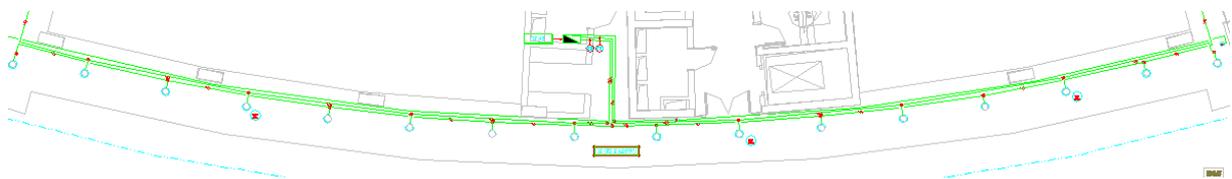


Figura 3.28 – Planta da circulação de piso do edifício em estudo

Em termos de eficiência energética não são encontradas opções que reduzam a potência instalada, uma vez que os valores de potência por m<sup>2</sup> se encontram de acordo com o limite máximo simulado. Contudo, não foram encontrados detectores de presença, os quais, caso fossem instalados, poderiam reduzir o consumo de energia em cerca de 60%.

### 3.3.5. Escadas

As escadas apresentam-se como as zonas de circulação vertical do edifício e muitas vezes os únicos caminhos de evacuação em caso de emergência, requerendo um pouco mais de iluminação devido à dificuldade acrescida de utilizar degraus. As escadas devem garantir níveis de iluminação adequados ao reconhecimento de obstáculos e pessoas.

A simulação foca uma situação típica entre dois pisos diferentes de um edifício, tendo-se considerado 3,7 m de diferença de cota entre dois patamares de pisos diferentes (Figura 3.29).

Os índices de reflexão utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, foram:

- Tecto .....0,50
- Paredes.....0,50
- Pavimento .....0,50



Figura 3.29 – Escadas (imagem virtual)

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos de iluminação estanques equipados com balastro electrónico e uma lâmpada fluorescente tubular T5 do seguinte tipo:

- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 28 W, 2.600 lumen (lâmpada mais balastro com 31 W)
- Instalação saliente justaposta ao tecto

A posição dos aparelhos de iluminação é de difícil representação a 2D. Prevê-se um aparelho de iluminação em cada patamar e um em cada lanço de escadas (Figura 3.29).

Os valores obtidos foram (à cota do pavimento):

Tabela 3.19 – Resultados da simulação de iluminação das escadas

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Escada</b>	188	0,76	11	6,34	1
<b>Patamar</b>	152	0,45	12	7,83	

Considerando duas escadas e dois patamares, necessários para passar de um piso para o outro, chega-se a uma potência instalada de 124 W entre cada passagem de piso a piso.

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....superfície de tráfego

Para este perfil de utilização, os valores calculados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.20 – Consumo energético anual da iluminação das escadas

Zona	Sem detector de presença (kWh/ano)	Com detector de presença (kWh/ano)	Redução energética
<b>Escadas</b>	204,60	81,84	60%

### 3.3.5.1. Análise da simulação das escadas

A iluminação das escadas deverá apresentar-se como uma solução robusta e de fácil implementação. A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) permite reduções de energia da ordem dos 60%.

O projecto de iluminação das circulações verticais de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de 8 W/m<sup>2</sup>
- Utilizar detectores de movimento

### 3.3.5.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontram-se, na interligação entre pisos, 3 aparelhos de iluminação do tipo aplique de parede com lâmpadas de 18 W. Por cada piso existe uma potência instalada (lâmpada + balastro) de 59,4 W.

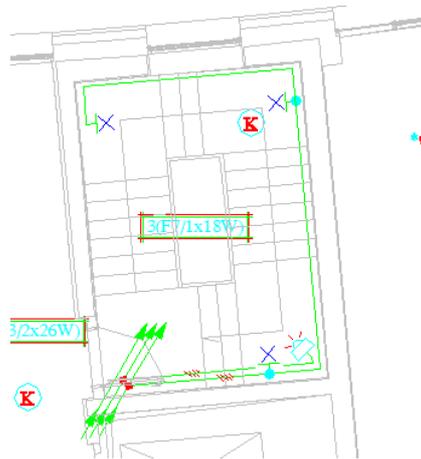


Figura 3.30 – Planta das escadas do edifício em estudo

Em termos de eficiência energética não são encontradas opções que reduzam a potência instalada, uma vez que os valores de potência por metro quadrado se encontram abaixo do limite máximo simulado. O edifício foi já dotado de detectores de presença e as escadas foram colocadas numa zona do edifício que permite a existência de janelas, pelo que a solução é ideal para a finalidade prevista.

### 3.3.6. Estacionamento

O estacionamento deverá garantir níveis de iluminação adequados à segurança do trânsito de veículos e pessoas. Convém salientar que os automóveis deverão circular com os faróis acesos e que a iluminação do edifício não serve para os substituir. O índice de restituição cromática das lâmpadas não é muito exigente (cerca de 20), mas deverá permitir o reconhecimento das diferentes cores de segurança utilizadas nas regras de trânsito, tais como o vermelho e o azul.

Tomando como base o edifício real em estudo, simula-se parte do estacionamento, realizando duas subdivisões: zona de estacionamento e circulação (Figura 3.31) e zona de rampa (Figura 3.35). Considera-se um parque de estacionamento com as seguintes características:

- Espaço para 10 lugares de estacionamento (5 de cada lado e uma faixa de circulação de 6 m);
- área total: 392 m<sup>2</sup> (24,5 m x 16 m)
- Pé direito de 2,5 m;

Não tendo sido possível medir os valores de reflexão reais nas várias superfícies do edifício em estudo, foram utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, os seguintes valores:

- Tecto .....0,60
- Paredes.....0,50
- Pavimento .....0,30

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos estanques, equipados com balastro electrónico e lâmpada fluorescente tubular T5, com 54 W, 4.450 lumen (potência do conjunto lâmpada mais balastro de 59 W). A instalação simulada é idêntica à encontrada no edifício, ou seja, instalação saliente, justaposta ao tecto.

Na fase de desenvolvimento dos projectos de iluminação de edifício, muitas vezes surge a dúvida de qual será a melhor orientação para os aparelhos de iluminação: perpendiculares à circulação automóvel ou paralelos à circulação automóvel? Esta simulação abarca ambas as situações de modo a permitir a sua comparação. A distribuição e orientação das luminárias em cada uma das zonas está representadas nas figuras seguintes (Figura 3.33, Figura 3.34, Figura 3.36, Figura 3.37).

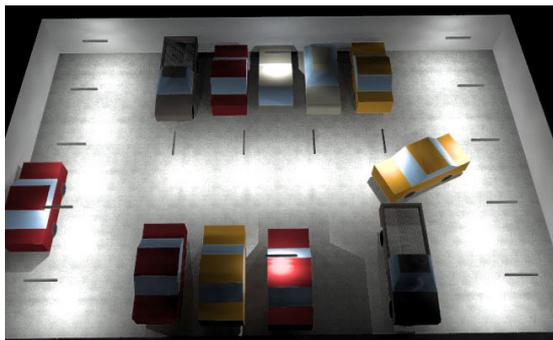


Figura 3.31 – Estacionamento automóvel (imagem virtual)

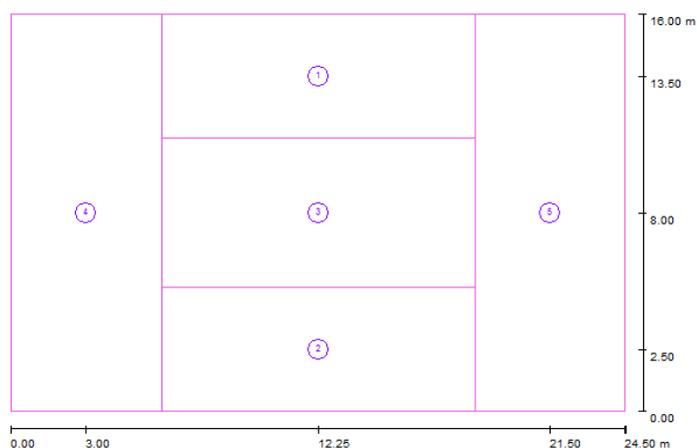


Figura 3.32 – Zonas de cálculo de estacionamento

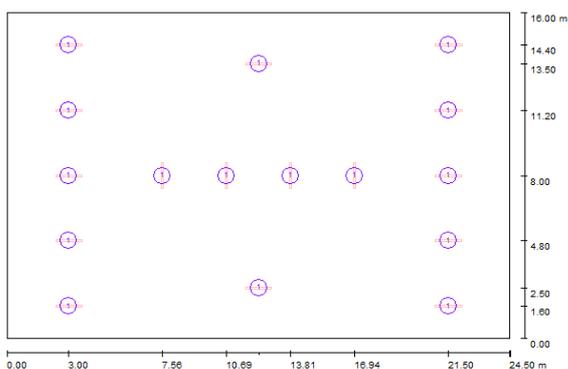


Figura 3.33 – Localização das luminárias no estacionamento

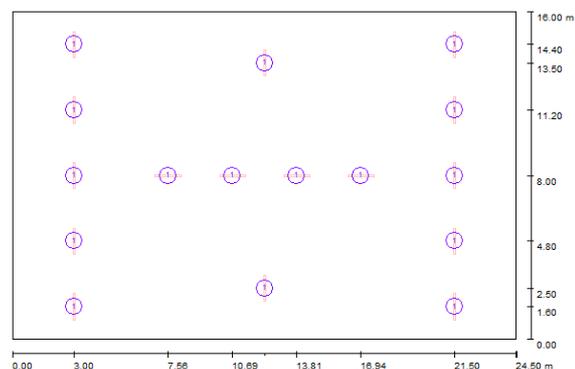


Figura 3.34 – Luminárias do estacionamento a 90°

No parque foram consideradas 2 zonas de estacionamento e 3 zonas de circulação como indicado na Figura 3.32, em que:

- Zona 1 e 2.....Estacionamento
- Zona 3, 4 e 5.....Circulação



Figura 3.35 – Rampa (imagem virtual)

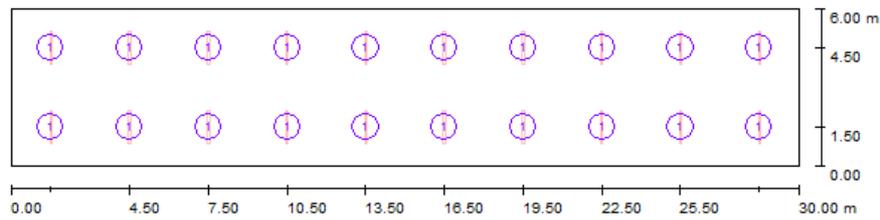


Figura 3.36 – Localização das Luminárias na rampa

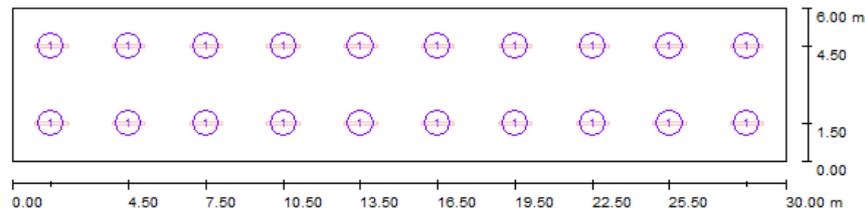


Figura 3.37 – Localização das luminárias a 90° na Rampa

À cota do pavimento, os valores obtidos foram:

Tabela 3.21 – Resultados da simulação do estacionamento

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Estacionamento 1</b>	79	0,41	23	0,94	1
<b>Estacionamento 2</b>	79	0,41	23	0,94	1
<b>Circulação 1</b>	163	0,48	25	3,15	4
<b>Circulação 2</b>	158	0,36	24	3,07	5
<b>Circulação 3</b>	158	0,36	23	3,07	5
<b>Rampa</b>	311	0,51	24	6,56	20
<b>Estacionamento 1 – 90°</b>	77	0,42	25	0,94	1
<b>Estacionamento 2 – 90°</b>	77	0,42	25	0,94	1
<b>Circulação 1 – 90°</b>	165	0,44	25	3,15	4
<b>Circulação 2 – 90°</b>	158	0,31	25	3,07	5
<b>Circulação 3 – 90°</b>	158	0,31	25	3,07	5
<b>Rampa – 90°</b>	311	0,50	23	6,56	20

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2.543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....estacionamento comercial

Para este perfil os valores calculados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.22 – Consumo energético anual da iluminação do estacionamento

Zona	Energia anual (kWh)
<b>Estacionamento sem detector de movimento</b>	1.363
<b>Rampa sem detector de movimento</b>	1.704
<b>Estacionamento com detector de movimento</b>	253
<b>Rampa com detector de movimento</b>	316

### 3.3.6.1. Análise da simulação do estacionamento

A orientação perpendicular à circulação automóvel (Figura 3.33) apresenta melhores valores de uniformidade ( $E_{m,min}/E_{m,med}$ ), contudo as diferenças não são significativas, mostrando que num espaço destes a orientação dos aparelhos não tem grande importância.

A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de movimento) permite reduções de energia da ordem dos 80%, traduzindo-se, nesta simulação, numa poupança de cerca de 111 kWh/ano por cada lugar de estacionamento. Estes valores baseiam-se em perfis de utilização obtidos por uma observação sumária da utilização do edifício em estudo. Na realidade existem vários factores que poderão condicionar estes valores, tais como a regulação do detector (tempo até voltar a apagar a iluminação), localização dos detectores, número de detectores e a efectiva utilização do parque de estacionamento durante o ano. Estes condicionalismos da configuração dos detectores são válidos para todos os espaços em estudo neste trabalho.

Em termos teóricos, e tendo como objectivo o projecto de iluminação energeticamente eficiente de um estacionamento de um edifício de serviços deverão seguir-se as seguintes regras:

- Potência instalada na zona de estacionamento de  $1 \text{ W/m}^2$
- Potência instalada na zona de circulação de  $3 \text{ W/m}^2$
- Potência instalada nas rampas de circulação  $7 \text{ W/m}^2$
- Orientação dos aparelhos perpendiculares à circulação automóvel
- Utilização recomendada de detectores de presença em todos os locais

### 3.3.6.2. Situação encontrada no edifício tipo

O edifício real utilizado no presente estudo apresenta 2 pisos enterrados de estacionamento, com a seguinte distribuição:

#### Piso -2:

- Área total..... 1.731 m<sup>2</sup>
- Estacionamento ..... 1.463 m<sup>2</sup> (53 lugares de estacionamento)

#### Piso -1

- Área total..... 1.641 m<sup>2</sup>
- Estacionamento ..... 1.548 m<sup>2</sup> (60 lugares de estacionamento)



Figura 3.38 – Planta de projecto da circulação e estacionamento do edifício em estudo

Para além de estacionamento, nos pisos enterrados pode encontrar-se uma sala de informática, depósito de água e respectivas bombagens, arrumos e zonas técnicas, escadas e elevadores. Estes restantes locais serão analisados em capítulos próprios. A zona de estacionamento dos dois pisos é idêntica e como tal aprofunda-se a análise apenas do piso -1.

A Tabela 3.23 apresenta os valores obtidos no piso -1, distribuídos pelas zonas consideradas na simulação anterior.

A iluminação foi realizada com aparelhos de iluminação fluorescentes tubulares equipados com uma lâmpada de 36 W e balastro electrónico com uma potência de 3,6 W. Existem 102 aparelhos deste tipo no piso -1, correspondendo a uma potência total de iluminação instalada para o estacionamento de 4.039,2 W.

Tabela 3.23 – Caracterização do estacionamento do edifício em estudo

Zona	Área (m <sup>2</sup> )	N.º de aparelhos de iluminação	Potência instalada (W)	Densidade de potência (W/m <sup>2</sup> )
Lugares de Estacionamento	690	25	990	1,43
Circulação	678	57	2.257	3,33
Rampa	180	20	792	4,40

Na zona de lugares de estacionamento e circulação a densidade de potência encontra-se acima dos valores simulados anteriormente. Seria assim possível reduzir cerca de 7 aparelhos na zona de lugares de estacionamento e 5 aparelhos na zona de circulação. Já na rampa, o valor está abaixo do esperado, sendo necessário acrescentar 12 aparelhos para chegar aos valores previstos. Curiosamente as alterações anular-se-iam uma à outra.

Na visita ao edifício foi possível constatar que efectivamente a iluminação das rampas é inferior ao recomendado pela norma EN 12464-1. Esta situação deve-se à opção do dono de obra não a cumprir por achar que tem aqui oportunidade de gastar menos energia. Não existe normalização obrigatória neste âmbito em Portugal e a norma EN 12464-1 serve apenas como recomendação, possibilitando esta situação.

Uma vez que o estacionamento já se encontra dotado de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença), em termos globais não se apresenta nenhuma oportunidade de melhoria de consumo energético do referido espaço.

### 3.3.7. Gabinetes

Os gabinetes são a zona mais importante de um edifício de serviços. É aqui que os utilizadores passam a maior parte do tempo e para os quais é reservada a maior área do edifício. Os gabinetes apresentam requisitos importantes de iluminação, sendo necessário garantir um nível de iluminação adequado à tarefa de leitura, cálculo, utilização de computador, desenho, escrita e outras tarefas de acordo com a especificidade do serviço analisado.

Em termos de normas europeias, recomenda-se uma iluminância de 500 lux no plano de trabalho (uniformidade 0,7) e 300 lux num limite até 0,5 m anexo ao plano de trabalho. O índice de restituição cromática não deverá ser inferior a 80%, o UGR não poderá ultrapassar os 19 e os aparelhos de iluminação não deverão produzir uma luminância superior a 1.000 cd/m<sup>2</sup>.

Pretendeu-se simular 4 realidades distintas de acordo com os seguintes parâmetros:

Tabela 3.24 – Dimensões dos gabinetes a simular

Gabinetes	Área (m <sup>2</sup> )	Comprimento (m)	Largura (m)	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
				Tecto	Paredes	Pavimento	
Para 1 pessoa	30	6,0	5,0	0,70	0,50	0,20	3,0
Para 2 pessoas	39	7,1	5,5				
Para 4 pessoas	53	4,0	13,3				
Open Space	100	10,0	10,0				



Figura 3.39 – Gabinete 1 pessoa (imagem virtual)



Figura 3.40 – Gabinete 2 pessoa (imagem virtual)



Figura 3.41 – Gabinete 4 pessoa (imagem virtual)

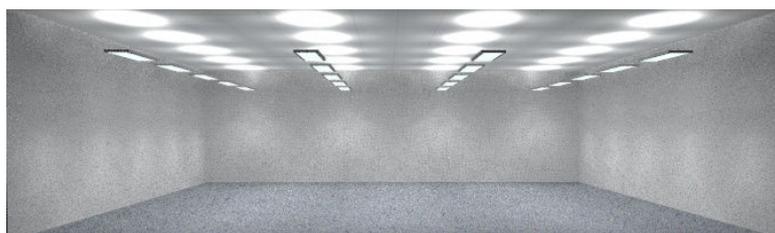
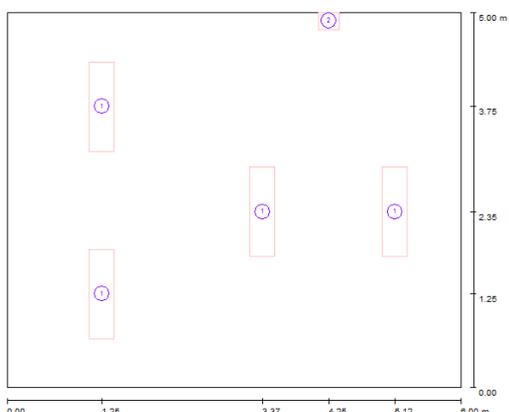


Figura 3.42 – Open Space (imagem virtual)

Os aparelhos de iluminação utilizados foram:

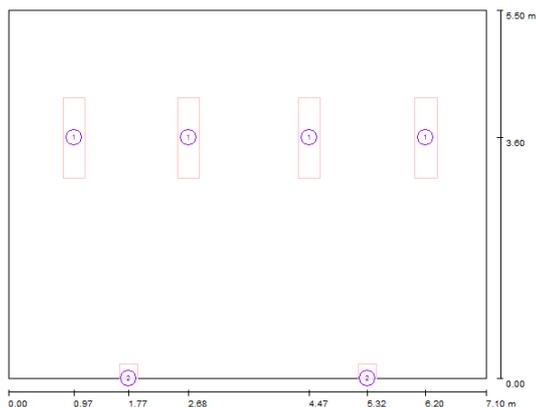
- Aparelho de iluminação suspensos do tecto, com balastro electrónico regulável;
- 2 lâmpadas fluorescentes tubulares, T5, com 28 W, 5.200 lumen (lâmpada mais balastro com 63 W);
- 2 lâmpadas fluorescentes tubulares, T5, com 35 W, 6.600 lumen (lâmpada mais balastro com 77 W);
- Aplique de parede com 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 18 W, 2.300 lumen (lâmpada mais balastro com 38 W).

A distribuição dos aparelhos de iluminação em cada um dos gabinetes é apresentada nas figuras seguintes.



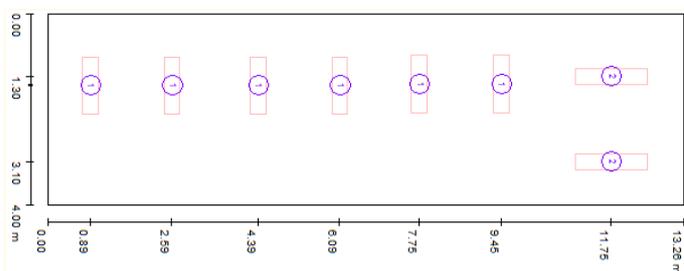
- Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W
- Tipo 2 – Aplique de parede de 38 W

Figura 3.43 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 1 pessoa



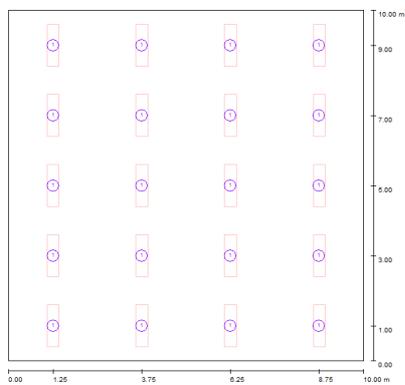
Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W  
 Tipo 2 – Aplique de parede de 38 W

Figura 3.44 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 2 pessoas



Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W  
 Tipo 2 – 2 lâmpadas de 35 W

Figura 3.45 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 4 pessoas



Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W

Figura 3.46 – Distribuição da iluminação do *Open Space*

Em termos de colocação dos aparelhos de iluminação, foram consideradas quatro situações distintas de acordo com a realidade encontrada em projectos tipo de edifícios de serviços [14]:

- Sol. 1.....Aparelhos de iluminação instalados de acordo com as figuras apresentadas (paralelamente ao sentido de visão do utilizador) à altura de 2,3 m do solo;
- Sol. 2.....Aparelhos de iluminação instalados 20 cm mais altos que a primeira solução;
- Sol. 3.....Aparelhos de iluminação instalados 20 cm mais baixos que a primeira solução;
- Sol. 4.....Aparelhos de iluminação instalados rodados 90° relativamente à primeira situação (perpendicularmente ao sentido de visão do utilizador).

Em todos os gabinetes foi considerada uma área de trabalho limitada pela secretária e respectiva zona adjacente (banda com 0,5 m em torno da área de trabalho) por cada posto de trabalho. Como exemplo, a Figura 3.47 representa as áreas de cálculo para o gabinete de 2 pessoas (área de trabalho 1 e área de trabalho 2 representadas pelos rectângulos interiores) e a zona adjacente representada pelo rectângulo exterior. Para o *open space*, considerou-se como área de trabalho toda a área da sala, excepto a 0,5 m da parede (Figura 3.48).

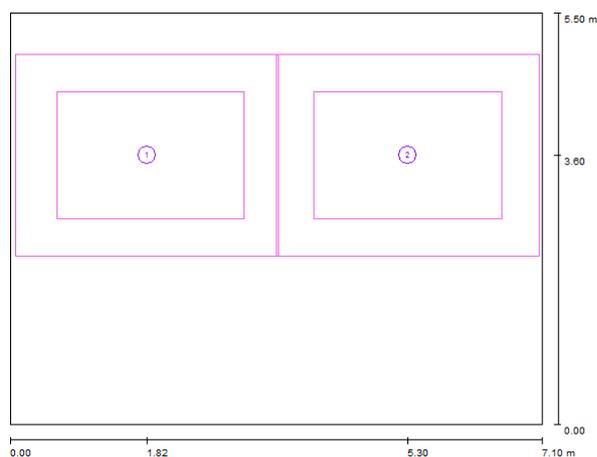


Figura 3.47 – Áreas de trabalho do gabinete para 2 pessoas

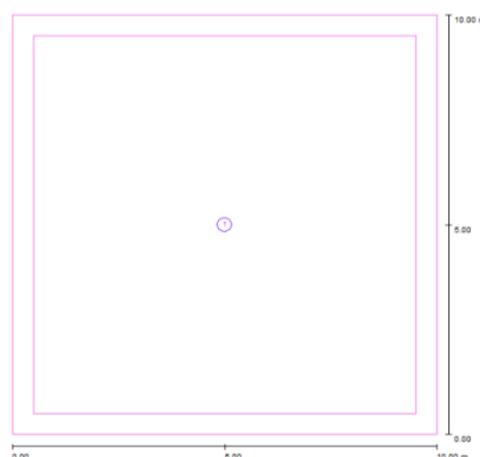


Figura 3.48 – Área de trabalho considerada no *Open Space*

Os valores obtidos foram:

Tabela 3.25 – Resultados da simulação de iluminação para o gabinete de 30 m<sup>2</sup>

Gabinete 1 pessoa	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
<b>Sol. 1 – Secretária 1</b>	476	0,72	13
<b>Sol. 1 – Envoltente da secretária 1</b>	344	0,44	
<b>Sol. 2 – Secretária 1</b>	438	0,72	12
<b>Sol. 2 – Envoltente da secretária 1</b>	330	0,47	
<b>Sol. 3 – Secretária 1</b>	511	0,70	14
<b>Sol. 3 – Envoltente da secretária 1</b>	346	0,41	
<b>Sol. 4 – Secretária 1</b>	493	0,57	13
<b>Sol. 4 – Envoltente da secretária 1</b>	317	0,39	

O gabinete de 30 m<sup>2</sup> apresenta uma densidade de potência de 9,67 W/m<sup>2</sup> (quatro aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W e um aparelho de iluminação com uma potência de 38 W).

Tabela 3.26 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 39 m<sup>2</sup>

Gabinete 2 pessoa	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
Sol. 1 – Secretária 1	474	0,69	13
Sol. 1 – Envolvente da secretária 1	347	0,52	
Sol. 1 – Secretária 2	470	0,70	13
Sol. 1 – Envolvente da secretária 2	351	0,53	
Sol. 2 – Secretária 1	438	0,69	12
Sol. 2 – Envolvente da secretária 1	335	0,56	
Sol. 2 – Secretária 2	436	0,70	13
Sol. 2 – Envolvente da secretária 2	338	0,58	
Sol. 3 – Secretária 1	509	0,69	14
Sol. 3 – Envolvente da secretária 1	349	0,47	
Sol. 3 – Secretária 2	505	0,69	14
Sol. 3 – Envolvente da secretária 2	354	0,48	
Sol. 4 – Secretária 1	471	0,59	13
Sol. 4 – Envolvente da secretária 1	296	0,50	
Sol. 4 – Secretária 2	471	0,59	13
Sol. 4 – Envolvente da secretária 2	298	0,53	

Tabela 3.27 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 53 m<sup>2</sup>

Gabinete 4 pessoa	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
Sol. 1 – Secretária 1	542	0,73	10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 1	422	0,55	
Sol. 1 – Secretária 2	518	0,78	< 10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 2	418	0,70	
Sol. 1 – Secretária 3	511	0,77	< 10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 3	415	0,68	
Sol. 1 – Secretária 4	477	0,72	< 10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 4	361	0,55	
Sol. 2 – Secretária 1	502	0,73	12
Sol. 2 – Envolvente Secretária 1	403	0,61	
Sol. 2 – Secretária 2	483	0,81	< 10
Sol. 2 – Envolvente Secretária 2	405	0,74	
Sol. 2 – Secretária 3	480	0,81	< 10
Sol. 2 – Envolvente Secretária 3	405	0,71	
Sol. 2 – Secretária 4	441	0,72	< 10
Sol. 2 – Envolvente Secretária 4	346	0,59	
Sol. 3 – Secretária 1	578	0,73	11
Sol. 3 – Envolvente Secretária 1	430	0,49	
Sol. 3 – Secretária 2	553	0,75	< 10
Sol. 3 – Envolvente Secretária 2	418	0,65	
Sol. 3 – Secretária 3	544	0,75	< 10
Sol. 3 – Envolvente Secretária 3	416	0,62	
Sol. 3 – Secretária 4	516	0,71	< 10
Sol. 3 – Envolvente Secretária 4	365	0,49	
Sol. 4 – Secretária 1	569	0,61	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 1	374	0,49	
Sol. 4 – Secretária 2	545	0,64	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 2	395	0,64	
Sol. 4 – Secretária 3	522	0,64	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 3	348	0,63	
Sol. 4 – Secretária 4	497	0,60	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 4	313	0,52	

A simulação do gabinete de 39 m<sup>2</sup> (Tabela 3.26) apresenta a densidade de potência menor das quatro simulações, conseguindo-se iluminar o espaço com 8,40 W/m<sup>2</sup>, utilizando quatro aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W e dois aparelhos de iluminação com uma potência de 38 W).

O gabinete de 4 pessoas (Tabela 3.27) apresenta uma densidade de potência superior à da simulação do gabinete de apenas 1 pessoa, obtendo-se a valores de 10,03 W/m<sup>2</sup> de iluminação com uma solução de seis aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W e dois aparelhos de iluminação com uma potência de 38 W.

Tabela 3.28 – Resultados da simulação da iluminação do *Open Space*

<i>Open Space</i>	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
<b>Sol. 1 – Cota das secretárias</b>	512	0,74	< 10
<b>Sol. 1 – Envolveinte (junto parede)</b>	380	0,65	
<b>Sol. 2 – Cota das secretárias</b>	459	0,69	10
<b>Sol. 2 – Envolveinte (junto parede)</b>	342	0,70	
<b>Sol. 3 – Cota das secretárias</b>	527	0,79	< 10
<b>Sol. 3 – Envolveinte (junto parede)</b>	382	0,61	
<b>Sol. 4 – Cota das secretárias</b>	513	0,70	< 10
<b>Sol. 4 – Envolveinte (junto parede)</b>	373	0,64	

O *open space* (Tabela 3.28) apresenta a densidade de potência maior das quatro simulações. O facto de não ser possível antecipar os locais onde realmente é necessária a grande maioria da incidência luminosa, torna o espaço envolvente muito pequeno (apenas junto da parede), sendo necessários valores de 12,60 W/m<sup>2</sup> para iluminação o espaço (utilizando 20 aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W cada).

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização (gabinete de 30 m<sup>2</sup>) .....Escritório individual
- Tipo de utilização (gabinete de 39 m<sup>2</sup> e 53 m<sup>2</sup>).....Escritório de 2 a 6 pessoas
- Tipo de utilização (open-space).....Escritório aberto

Para a comparação da energia anual utilizada, foram calculas cinco situações distintas:

- Sem domótica
- Com detector de presença
- Com detector de luminosidade (sem capacidade para regular 0% de iluminação)
- Com detector de luminosidade (com capacidade para regular 0% de iluminação)
- Com domótica (detector de presença + detector de luminosidade com regulação 0%)

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.29 – Consumo energético anual da iluminação dos gabinetes

Tipo de comando	Gabinete 1 pessoa (kWh/ano)	Gabinete 2 pessoas (kWh/ano)	Gabinete 4 pessoas (kWh/ano)	Open Space (kWh/ano)
<b>Sem domótica</b>	393,17	382,79	576,17	3.465,00
<b>Com detector de presença</b>	330,73	321,99	484,66	
<b>Com detector de luminosidade (sem 0%)</b>	367,49	320,63	457,31	
<b>Com detector de luminosidade (com 0%)</b>	358,93	305,83	429,01	
<b>Com domótica (combinação de detector de presença e luminosidade 0%)</b>	301,92	257,26	360,88	

### 3.3.7.1. Análise da simulação dos gabinetes

Mantendo a iluminância exigida pela norma europeia, sobram 2 variáveis possíveis de controlar em projecto (para além da normal exigência de alta tecnologia utilizada nos aparelhos de iluminação) que são orientação e altura dos aparelhos de iluminação.

Pelas simulações realizadas é notório que o facto de colocar os aparelhos de iluminação numa posição perpendicular à área de trabalho, aumenta a iluminância, mas reduz a uniformidade. O valor da uniformidade tem de ser mantido acima dos 0,7 na área de trabalho.

Em termos de altura de montagem, quanto mais altos os aparelhos forem montados, menor a iluminância na área de trabalho, mas maior será a uniformidade.

A utilização de dispositivos automáticos de controlo é sinónima de reduções significativas no consumo energético associado à iluminação dos gabinetes. O detector de presença apresenta-se como o dispositivo mais eficaz, uma vez que simplesmente desliga a iluminação quando o gabinete não está a ser utilizado.

Os detectores de luminosidade deverão ser dotados de dispositivos que permitam desligar a iluminação totalmente e não apenas reduzi-la. A maior parte das soluções de mercado têm um valor de regulação mínimo na ordem dos 5%. Estes 5% traduzem-se num desperdício de energia anual próximo dos 30 kWh no caso do gabinete de 4 pessoas.

Idealmente, a solução de dotar os aparelhos de iluminação com detectores de luminosidade (com tecnologia que permita 0% de iluminação) associados a detectores de presença, proporcionam ganhos na ordem dos 37% de energia anual (valores simulados com base num gabinete com janelas na zona de Lisboa).

O projecto de iluminação de gabinetes de edifícios de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada não superior a  $10 \text{ W/m}^2$  ( $12 \text{ W/m}^2$  no caso dos *open space* quando não é possível prever soluções focadas na área de trabalho real);
- Utilização de aparelhos de iluminação instalados paralelamente à direcção de visão do utilizador;
- Ajuste da altura de instalação dos aparelhos em função do nível de iluminação e uniformidade pretendidos (sistemas de iluminação ajustáveis);

### 3.3.7.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo vários gabinetes e algumas zonas previstas em projecto como *open space*.

Os gabinetes são (na sua generalidade) dimensionados para uma pessoa, têm cerca de  $22 \text{ m}^2$ , e a existência de dois pontos de iluminação (Figura 3.49) onde é instalado (em cada ponto) um candeeiro de chão equipado com 3 lâmpadas de 55 W. No *open space* (com  $167 \text{ m}^2$ ) foi também utilizada esta solução mas, neste caso, com 16 pontos de iluminação (Figura 3.50). Estas soluções permitem obter a potência de  $17,4 \text{ W/m}^2$  para os *open space* e  $16,5 \text{ W/m}^2$  para os gabinetes individuais (utilizando no cálculo a potência do sistema lâmpada e balastro).

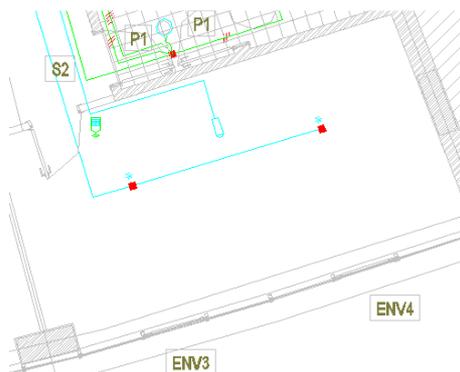


Figura 3.49 – Planta de gabinete individual do edifício em estudo



Figura 3.50 – Planta do *open space* do edifício em estudo

Em termos de comando de iluminação, os gabinetes estão dotados de um sistema de controlo associado a monitorizações gerais ao edifício, não tendo sido previsto nenhum detector de movimento ou de luminosidade específico para cada espaço.

Os gabinetes poderão ser dotados de dispositivos de detecção de movimento, assim como de detecção de luminosidade, reduzindo o consumo energético do edifício associado à iluminação.

A potência dos candeeiros utilizados (dotados com 3 lâmpadas de 55 W) poderá também ser reduzida. Esta solução deverá ser analisada conjuntamente com a solução de instalação de equipamento de regulação de fluxo luminoso.

O edifício apresenta uma área de cerca de 3.700 m<sup>2</sup> dedicados a gabinetes e *open-spaces*. Considerando o exemplo do gabinete com capacidade para 2 pessoas em cerca de 40 m<sup>2</sup>, a redução possível é de cerca de 3,14 kWh/m<sup>2</sup>/ano, chegando-se assim a uma oportunidade de redução de cerca de 11.618 kWh/ano (para toda a área de escritórios do edifício). Tratando-se de um cliente de média tensão e atribuindo um custo de cerca de 0,10 € por cada kWh, a redução anual seria de cerca de 1.160 Euros.

Para que esta redução fosse possível teriam de ser realizadas (considerando a instalação de dispositivos de controlo por cada 4 pontos de iluminação - quatro candeeiros - após análise à estrutura do edifício) beneficiações em cerca de 60 pontos, ou seja, teriam de ser instalados cerca de 60 sensores mistos (de movimento e luminância) no edifício. A instalação de cada detector custaria cerca de 150 Euros (custo de equipamento e instalação), permitindo estimar o custo da beneficiação em cerca de 9.000 Euros, obtendo um retorno de investimento (calculado na forma simples) de cerca de 8 anos.

O custo dos equipamentos electrónicos de comando e optimização das soluções de iluminação (detectores de movimento, detectores de luminância, regulação de fluxo, entre outros), associado ao preço de mão-de-obra de montagem é muito superior ao custo relativo da poupança energética de cada um dos aparelhos, uma vez que se trata de equipamentos de baixo consumo quando comparados com outros equipamentos do edifício.

### 3.3.8. Instalações Sanitárias

As instalações sanitárias não apresentam grandes requisitos de iluminação, sendo necessário garantir um nível de iluminação adequado à utilização e correcta higienização da mesma.

Na simulação deste espaço considera-se lugar para 2 sanitas numa área total de 10 m<sup>2</sup> (4,0 x 2,5 m) e 3 m de pé direito (Figura 3.51).

Os índices de reflexão utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, foram:

- Tecto .....0,70
- Paredes.....0,60
- Pavimento .....0,30

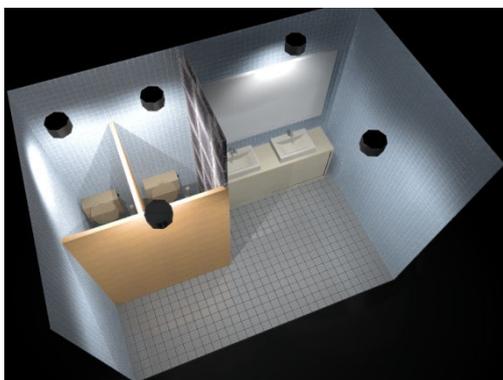


Figura 3.51 – Instalações Sanitárias (imagem virtual)

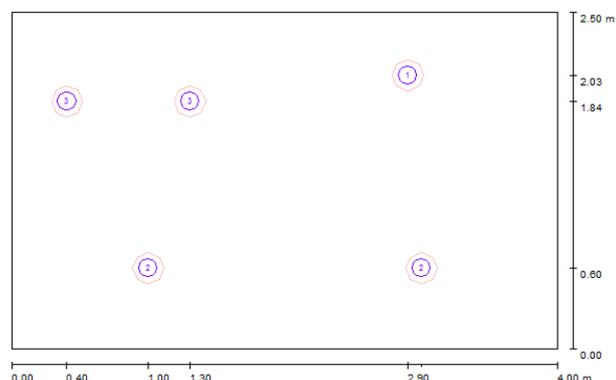


Figura 3.52 – Diferentes tipos de luminárias consideradas nas instalações sanitárias

Os aparelhos de iluminação utilizados foram distribuídos de acordo com a Figura 3.52 prevendo-se o seguinte:

- Aparelho de iluminação encastrado no tecto falso, com balastro electrónico
- Lâmpada fluorescente compacta de 13 W, 900 lumen (lâmpada mais balastro com 16 W (tipo 1 da Figura 3.52)
- Lâmpada fluorescente compacta, com 26 W, 1.800 lumen (lâmpada mais balastro com 28 W (tipo 3 da Figura 3.52)
- Lâmpada fluorescente compacta, com 32 W, 2.400 lumen (lâmpada mais balastro com 35 W (tipo 2 da Figura 3.52)
- 2x lâmpada fluorescente compacta, com 13 W, 1.800 lumen (lâmpada mais balastro com 25 W (tipo 3 da Figura 3.52)

Foram consideradas 3 zonas de cálculo, de acordo com a distribuição apresentada na Figura 3.53:

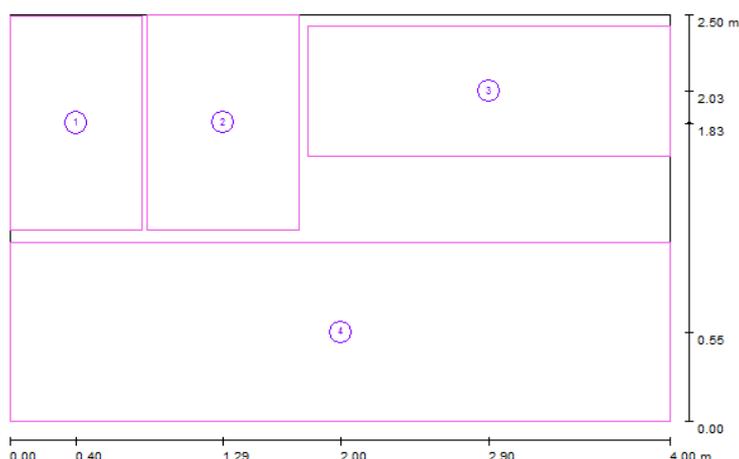


Figura 3.53 – Zonas de cálculo instalações sanitárias

Em que:

- Zona 1 .....Cabine 1
- Zona 2 .....Cabine 2
- Zona 3 .....Lavatórios
- Zona 4 .....Circulação

Pretende-se com esta simulação concluir sobre o que será mais vantajoso entre prever equipamentos com duas lâmpadas ou equipamentos com apenas uma lâmpada com o dobro da potência.

Os valores obtidos foram (à cota 0,9 m acima do solo para as cabines; a 1,0 m para os lavatórios e à cota de pavimento nas circulações):

Tabela 3.30 – Resultados da simulação de iluminação das instalações sanitárias

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Cabine 1</b>	193	0,84	< 10	26,67	1
<b>Cabine 2</b>	195	0,76		23,81	
<b>Cabine 1 – duas lâmpadas</b>	163	0,48		22,95	
<b>Cabine 2 – duas lâmpadas</b>	158	0,36		20,49	
<b>Lavatórios</b>	200	0,60		9,09	
<b>Circulação</b>	188	0,63		15,91	

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....WC e sanitários em edifício comercial

Nesta fase da simulação, foi criada uma pequena entrada de luz natural (pequena janela visível na Figura 3.54) de modo a permitir aferir a energia que é possível poupar (anualmente) pela introdução desse elemento na arquitectura do edifício. Para o caso da existência da janela, considera-se também um sistema de regulação automática de fluxo luminoso.



Figura 3.54 – Instalações sanitárias com iluminação normal (imagem virtual)

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.31 – Consumo energético anual da iluminação das instalações sanitárias

Zona	Situação normal (sem janelas) (kWh/ano)	Com luz natural (com janela) (kWh/ano)	Redução energética
<b>Instalação Sanitária</b>	56,62	30,00	47%

### 3.3.8.1. Análise da simulação das instalações sanitárias

Os aparelhos de iluminação dotados de duas lâmpadas apresentam uma potência global inferior para o mesmo fluxo luminoso (a utilização de apenas um balastro para duas lâmpadas reduz a potência do sistema), mas também oferecem níveis de iluminação mais reduzidos. Isto deve-se ao facto de uma das lâmpadas bloquear a distribuição de luz da outra (uma lâmpada faz sombra na outra).

É assim notório que, para praticamente a mesma potência, o aparelho apenas com 1 lâmpada favorece uma iluminância entre 18% e 23% superior ao aparelho com 2 lâmpadas (cada uma com metade da potência do aparelho objecto da comparação.)

A iluminação natural associada a um mecanismo de controlo automático do nível de iluminação, proporciona reduções de energia da ordem dos 47%.

O projecto de iluminação das instalações sanitárias de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada não superior a  $15 \text{ W/m}^2$  (totalidade das instalações sanitárias típicas de escritórios)
- Utilização de aparelhos de iluminação de apenas 1 lâmpada

### 3.3.8.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontram-se instalações sanitárias com cerca de  $9,8 \text{ m}^2$  e cerca de  $193,6 \text{ W}$  (sistema de iluminação lâmpada mais balastro), obtendo-se uma potência de  $17,96 \text{ W/m}^2$ . Em termos de comando de iluminação, as instalações sanitárias foram dotadas de um dispositivo de detecção de presença que faz com que a iluminação esteja apagada quando não é necessária.

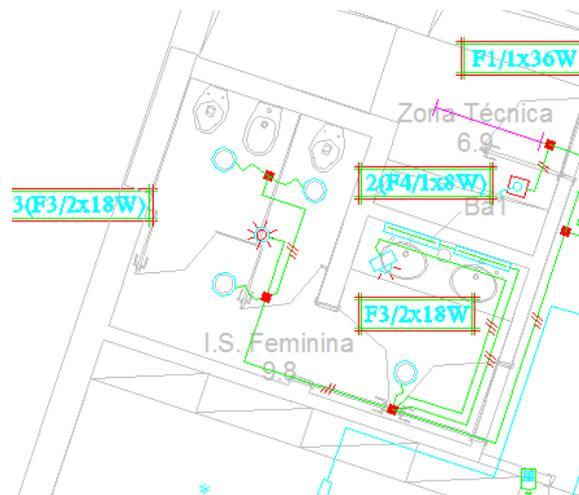


Figura 3.55 – Planta de uma das instalações sanitárias do edifício em estudo

A potência instalada nas instalações sanitárias é mais elevada do que a considerada nas simulações realizadas. É possível reduzir o consumo energético substituindo os dois aparelhos de iluminação utilizados para iluminar o espelho por apenas 1 aparelho.

## 4. Tomadas de energia eléctrica

As tomadas de energia eléctrica permitem a ligação de equipamentos eléctricos de baixa potência (tipicamente até 3,7 kVA). Nos edifícios de serviços a sua utilização centra-se essencialmente em equipamento informático (computadores, impressoras, monitores), transformadores (carregadores de telemóvel, portáteis ou pilhas), refrigeradores/filtradores de água potável e máquinas de venda de produtos (comes e bebes).

Todos estes equipamentos apresentam uma particularidade em comum: só são necessários aquando da presença de pessoas no edifício mas é comum encontrarem-se sempre ligados, tanto em funcionamento normal como em modo de espera (“*standby*”).

O presente estudo, no âmbito de edifícios de serviços, abordará uma carga em particular: a carga informática.

Existe hoje em dia uma panóplia de produtos de diferentes características e diferente consumo energético. Um computador pessoal, composto por uma central de processamento, periféricos (teclado e rato) e monitor poderá ter uma potência eléctrica entre os 20 W (computador portátil com a bateria carregada [15]) e os 670 W (computador de secretária normal [16]).

### 4.1. Situação encontrada no edifício

Na análise de consumo eléctrico das cargas informáticas, ao invés de relacionar as respectivas cargas com a área de ocupação, utilizar-se-á uma relação ao número de pessoas que trabalham no edifício. No edifício em estudo trabalham 200 pessoas distribuídas por 6 pisos, possuindo todas um computador pessoal e um monitor.

Em cada um dos pisos existe um núcleo de impressão composto por 2 impressoras, não existindo por isso impressoras locais (salvo raras excepções – secretariado do director financeiro – desprezáveis para o presente estudo).

O parque informático utilizado é bastante recente, com uma metodologia assente em processamento e armazenamento centralizado, conseguindo consumos de energia muito reduzidos.

Tabela 4.1 – Potências eléctricas do parque informático do edifício [17]

Equipamento	Em funcionamento (W)	Em espera (W)	Poupança de energia (W)	Desligado (W)
<b>Computador pessoal (HP Compact T5720)</b>	20,1	-	-	0,00
<b>Monitor (HP 1940)</b>	70,0	2,0	-	0,00
<b>Impressora profissional (HP 4345 mfp)</b>	800,0	49,0	15,0	0,25

A Tabela 4.1 mostra que o computador pessoal não tem modo de espera (tipicamente conhecido por “Standby”) e quando desligado tem consumo nulo. O monitor também tem consumo nulo quando desligado, mas já possui um modo de espera. Por último, a impressora profissional, que mesmo desligada apresenta uma potência residual de 0,25 W, possui três modos de funcionamento: a imprimir (ou copiar), modo de espera de trabalho de impressão e modo de poupança de energia. O modo de poupança de energia desliga os sistemas principais da impressora, obrigando a que a religação automática aquando da recepção de um trabalho de impressão seja mais demorada.

Após algumas visitas ao edifício, onde foram realizados levantamentos de hábitos de utilização por parte dos colaboradores da empresa, foi possível aferir que 59% dos utilizadores nunca desligam o monitor e 27% dos utilizadores nunca desligam os computadores. As impressoras ao fim de, sensivelmente, 1 hora entram automaticamente em modo de poupança de energia, mas nunca são desligadas.

#### 4.1.1. Consumos eléctricos estimados

A impossibilidade de medição de energia consumida nos circuitos dos quadros eléctricos, impede que os valores aqui estimados sejam realmente aferidos. Contudo, é possível realizar uma estimativa com base na utilização que no capítulo de conclusões será validada pelos consumos mensais totais de energia durante o ano de 2006.

Em média, os colaboradores da empresa utilizam os seus computadores, de 2<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> Feira, entre as 8 horas e as 19 horas, ou seja, pode considerar-se que durante 11 horas diárias é necessário que os computadores estejam a funcionar e durante 13 horas poderão estar desligados. A potência eléctrica do parque informático (excluído o centro informático principal) é de, prevendo o funcionamento normal de um computador mais monitor, igual a 90,1 W.

$$\begin{aligned} 200 \text{ pessoas} \times [11 \text{ h} \times 90,1 \text{ W} + 13 \text{ h} \times (0,59 \times 2,0 \text{ W} + 0,27 \times 20,1 \text{ W})] = \\ = 200 \times (991,1 + 85,891) = \\ = 215.398 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Equação 4.1 – Consumo de energia eléctrica dos computadores do edifício nos dias úteis

A Equação 4.1 chega ao valor de 215 kWh de consumo eléctrico, associado à informática em cada dia útil. Nos dias não úteis (fins-de-semana) é possível calcular o consumo eléctrico originado pelo facto dos utilizadores não desligarem os computadores.

$$\begin{aligned} 200 \text{ pessoas} \times 2 \text{ dias} \times [24 \text{ h} \times (0,59 \times 2,0 \text{ W} + 0,27 \times 20,1 \text{ W})] = \\ = 200 \times 2 \times 158,568 = \\ = 63.427 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Equação 4.2 – Consumo de energia eléctrica dos computadores do edifício ao fim-de-semana

Num ano típico de 52 semanas (261 dias úteis e 52 fins-de-semana), excluindo os feriados fora dos fins-de-semana e as férias dos colaboradores (que servem para acentuar a diferença a calcular) é possível calcular a estimativa de consumo do edifício e a estimativa de consumo caso os colaboradores desligassem os computadores à noite e os mantivessem desligados durante o fim-de-semana.

$$200 \text{ pessoas} \times (11 \text{ h} \times 90,1 \text{ W}) = \\ = 198.220 \text{ Wh}$$

Equação 4.3 – Energia eléctrica desligando os computadores e monitores fora de horas

Multiplicando o valor obtido na Equação 4.3 pelos dias úteis do ano (261 dias), obtemos o valor de consumo anual caso os utilizadores desligassem os computadores e monitores ao fim do dia e os voltassem a ligar no dia seguinte quando retomam o trabalho (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Consumo de energia eléctrica real e desligando os computadores

Equipamento	Consumo anual (kWh)
<b>Realidade actual do edifício</b>	59.517
<b>Desligando os computadores e monitores</b>	51.735

É assim possível poupar cerca de 7.700 kWh anualmente (cerca de 13%), a que, de acordo com a tarifa eléctrica utilizada no capítulo de iluminação (0,10 €/kWh), corresponde um custo de 770 € anuais.

Esta diferença é proporcional ao consumo dos equipamentos e inversamente proporcional às horas de trabalho dos colaboradores. Computadores mais potentes e menos horas de trabalho fazem aumentar este cálculo, uma vez que a energia desperdiçada durante as horas em que ninguém os está a utilizar é maior.

## 4.2. Alterações ao edifício

O sucesso da implementação de alterações que proporcionem as referidas poupanças tem de passar pela introdução de sistemas automáticos que possibilitem desligar os circuitos eléctricos não utilizados.

O utilizador tem vindo a habituar-se a um conforto crescente na utilização dos sistemas e, como tal, não pretende regredir nesse conforto. Por esta razão, as campanhas realizadas com o intuito dos utilizadores não deixarem os equipamentos no modo de “standby”, não têm surtido efeitos consideráveis. Os valores investidos nestas campanhas deveriam ser direccionados para o desenvolvimento de sistemas de alimentação que apresentem consumos cada vez mais reduzidos no modo de “standby”, ou outros métodos de redução do consumo eléctrico.

Um televisor poderia ao fim de um intervalo de tempo (por exemplo 1 hora), caso tivesse sido colocado em modo de espera, comutar automaticamente para um estado de consumo nulo que

obrigasse o utilizador a deslocar-se até ao próprio para carregar num botão quando o quisesse voltar a ligar. Os computadores já deram esse passo com a introdução do modo de “hibernação” (sem qualquer consumo) que poderá ser configurado para automaticamente ocorrer passado algum tempo após o modo de suspensão ter sido activado (modo de espera – “*standby*”).

No caso dos edifícios, os projectos de instalações eléctricas devem começar a adaptar-se às novas realidades. Deverão prever contadores de energia em vários circuitos de modo a localizar os consumidores mais intensivos e deverão dotar os circuitos de dispositivos de corte e religação automática.

Só com a ajuda destes mecanismos se torna possível comandar o consumo do edifício, conhecendo os valores envolvidos e permitindo parametrizar o consumo permitido.

## 5. Climatização

Os sistemas de climatização apresentam uma crescente adesão por parte dos utilizadores. Nos anteriores capítulos abordam-se cargas essenciais ao funcionamento de um edifício de serviços (sem iluminação não é possível ver o que temos para fazer e hoje em dia sem computador não é possível organizar e realizar o trabalho), reservando-se este capítulo para um equipamento que fornece conforto em troca de consumo de energia eléctrica.

As condições climatéricas tornam necessária a existência de uma protecção contra o frio e o calor. Um edifício de serviços, para além da normal protecção contra o clima, possui obrigatoriamente outras comodidades: casa-de-banho, esgotos, água corrente, fontes energéticas directamente disponíveis, temperatura e humidade relativa dentro de parâmetros de conforto e finalmente a qualidade do ar em termos de concentração de gases, poeiras e de microorganismos. [18]

Todas estas comodidades foram postas à disposição pelos avanços tecnológicos, mas estas melhorias têm um custo: as comodidades traduzem-se num acréscimo de investimento, num maior consumo de recursos e num aumento da poluição do planeta.

Estando Portugal inserido numa zona de clima temperado, torna-se necessário o aquecimento no Inverno e o arrefecimento no Verão para manter as condições de conforto genéricas para os utilizadores.

Actualmente a evolução tecnológica permite a utilização de uma grande diversidade de equipamentos que podem constituir uma instalação de climatização: caldeiras, bombas de calor, unidades de arrefecimento de ar, unidades produtoras de água refrigerada e equipamentos “verdes” tais como painéis solares, fachadas ventiladas ou aproveitamentos geotérmicos.

### 5.1. Escolha de equipamentos

O consumo dos equipamentos de climatização está relacionado com diversos parâmetros internos e externos ao sistema, tais como a temperatura ambiente e a temperatura pretendida para o espaço (regulada pelo utilizador). A influência destes factores externos acaba por ser mais significativa do que a influência dos factores internos (tecnologia, número de tubos para o trânsito do fluido térmico, entre outros), traduzindo-se em variações de consumo que podem ser superiores a 40% [18]. Qualquer que seja a solução de climatização adoptada torna-se evidente que apenas com um sistema de comando centralizado (gestão técnica) é possível moderar os consumos, uma vez que é a forma mais fácil de controlar num mesmo ponto a temperatura pretendida no espaço (vulgo “set point”).

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da eficiência energética em termos de energia eléctrica e, por essa razão, neste capítulo exclui-se a análise de eficiência de uma caldeira (consumo de

combustível e não de energia eléctrica) ou de um painel solar e foca-se o estudo no consumo eléctrico dos sistemas de arrefecimento mais comuns: grupo produtor de água refrigerada arrefecido a ar ou água (vulgo “Chiller”), equipamentos de Volume de Refrigerante Variável (VRV) e os normais equipamentos com compressores de ciclo frigorífico (vulgo “split” do tipo inverter ou do tipo normal). O “split” do tipo “inverter” permite adequar a produção de frio ou calor à necessidade momentânea através da regulação do consumo eléctrico dos compressores.

A partir de alguns catálogos de marcas de ar condicionado, foi possível elaborar as seguintes tabelas:

Tabela 5.1 – Características técnicas de “Splits” [19]

	“Split” - Bomba de calor				“Split” - Power Inverter					
Potência frio (kW)	7,60	9,80	12,30	14,20	5,40	6,70	8,10	11,40	14,00	15,30
Potência eléctrica frio (kW)	2,84	3,55	4,52	5,44	1,67	1,63	2,14	2,92	3,88	4,65
Potência calor (kW)	8,80	11,50	14,30	17,00	6,60	8,20	10,20	14,00	16,00	18,00
Potência eléctrica calor (kW)	2,76	3,45	4,72	5,22	1,71	2,03	2,23	3,26	4,11	4,60
kW Eléctrico /kW térmico (frio)	0,37	0,36	0,37	0,38	0,31	0,24	0,26	0,26	0,28	0,30
kW Eléctrico /kW térmico (calor)	0,31	0,30	0,33	0,31	0,26	0,25	0,22	0,23	0,26	0,26

Tabela 5.2 – Características técnicas de sistema VRV [20]

	VRV				
Potência frio (kW)	28,00	55,90	82,50	111,00	138,00
Potência eléctrica frio (kW)	7,42	15,20	25,80	33,20	44,80
Potência calor (kW)	31,50	62,50	94,00	126,00	158,00
Potência eléctrica calor (kW)	7,70	15,30	24,70	32,40	41,90
kW Eléctrico /kW térmico (frio)	0,27	0,27	0,31	0,30	0,32
kW Eléctrico /kW térmico (calor)	0,24	0,24	0,26	0,26	0,27

Tabela 5.3 – Características técnicas de Chillers [20]

	Chiller a Ar						Chiller a Agua					
Potência frio (kW)	111	144	164	199	285	349	186	223	276	306	366	408
Potência eléctrica (kW)	41,9	51,8	64,3	78,1	108,0	140,00	39,70	48,10	59,30	71,40	79,30	87,20
kW Eléctrico /kW térmico	0,38	0,36	0,39	0,39	0,38	0,40	0,21	0,22	0,21	0,23	0,22	0,21

Na Tabela 5.1 é possível verificar que os sistemas Inverter (com variação da potência fornecida ao compressor) apresentam um rendimento superior quando comparados com as potências dos sistemas normais, permitindo poupar cerca de 100 W na produção de cada kW de frio e 70 W na produção de cada kW de calor.

Para potências grandes (como é o caso do edifício de serviços em estudo), a melhor solução é o grupo produtor de água refrigerada (Chiller) arrefecido a água.

## 5.2. Equipamento instalado no edifício

No edifício em estudo foram instalados 2 grupos produtores de água refrigerada refrigerados a ar, com uma potência de 600 kW cada um. Contudo trata-se de um equipamento mais caro que os restantes e que obriga a uma manutenção também mais dispendiosa.

Analisando as tabelas acima apresentadas concluir-se-ia que teria sido mais vantajoso utilizar um sistema composto por um GPAR de refrigeração a água. Contudo, esta análise apenas está correcta

em termos de eficiência (rendimento), mas não em termos de eficácia (utilidade prática para a função pretendida).

Os sistemas de climatização utilizados hoje em dia são complexos e envolvem diversos equipamentos distintos. Mais importante do que a simples análise da condição óptima de funcionamento apresentada em catálogo, é o ponto de funcionamento de todo o sistema. Para isso é importante definir a potência necessária, os elementos de acumulação, a utilização prevista, entre outros. Um GPAR pode ser muito eficiente à potência nominal e ser muito pouco eficiente à potência em que realmente vai funcionar na instalação. Isto torna o sistema pouco eficaz: é preferível ter um equipamento a funcionar no seu ponto de eficiência máxima (por exemplo a 100% da potência nominal) durante menos tempo do que a funcionar durante todo o tempo a uma potência mais baixa e num ponto de eficiência reduzida. Para isso, é necessário ponderar a utilização de, por exemplo, depósitos de acumulação de água fria (ou bancos de gelo) que aumentam a inércia do sistema permitindo que, mesmo com o GPAR desligado, continue a ser possível controlar a temperatura dos espaços.

Assim, em termos de climatização, o importante é analisar o edifício na sua fronteira com a envolvente, prevendo a utilização de um sistema que, com um consumo mínimo de energia eléctrica, dissipe o mínimo dessa energia para o exterior tanto em forma de calor (quando a produzir frio) como o contrário quando a produzir calor. A utilização de depósitos de acumulação, recuperadores de calor e a total utilização da energia para outros fins (por exemplo, um GPAR pode servir para aquecer águas sanitárias quando está a produzir água fria para a climatização) torna o sistema não só eficiente (bom rendimento) como eficaz (permite originar boas condições de conforto).

## 6. Consumos reais do edifício

Foi possível obter os valores de energia eléctrica e consumo de gás do edifício dos anos 2006 e 2007. Os valores apresentados nas tabelas seguintes são os valores constantes das facturas e não valores obtidos por medição real dos contadores instalados nos edifícios.

Tabela 6.1 – Facturas energéticas do edifício em estudo

	2006		2007	
	Electricidade (kWh)	Gás (m <sup>3</sup> )	Electricidade (kWh)	Gás (m <sup>3</sup> )
Jan	35.567	443	81.451	376
Fev	45.496	-	76.802	-
Mar	35.847	495	68.846	389
Abr	34.282	-	74.459	-
Mai	36.469	446	74.506	-
Jun	47.277	-	80.065	-
Jul	78.452	370	80.587	1.100
Ago	80.534	-	83.911	915
Set	78.401	340	86.227	-
Out	82.921	-	74.576	-
Nov	81.699	337	67.176	42.996
Dez	77.199	-	69.395	-
<b>Total</b>	<b>714.144</b>	<b>2.431</b>	<b>918.001</b>	<b>45.776</b>

Torna-se pouco rigoroso tirar conclusões dos resultados apresentados devido ao facto das medições possuírem um carácter contratual e não de medição rigorosa dos consumos desse mês (por exemplo, em Novembro de 2007 o consumo de mais de 42.000 m<sup>3</sup> de gás deveu-se a um acerto que o fornecedor do gás achou que deveria fazer face a medições anteriores).

Transformando os valores da Tabela 6.1 em custo e em valores de energia primária, utilizando para o efeito a média de 0,08 Euros/kWh de electricidade e 0,55 Euros/m<sup>3</sup> de gás (não foi possível o acesso aos valores reais de custo das facturas, mas apenas aos valores de energia) e utilizando os valores de conversão de energia referidos no Decreto-Lei n.º 80/2006 (0,290 kgep/kWh para a electricidade e 0,086 kgep/kWh para o gás), obtêm-se os seguintes valores:

Tabela 6.2 – Custo e energia primária associada às facturas energéticas de 2006 do edifício

	Custo		Energia primária	
	Electricidade (€)	Gás (€)	Electricidade (kgep)	Gás (kgep)
Jan	2.845	244	10.314	38
Fev	3.640	-	13.194	-
Mar	2.868	272	10.396	43
Abr	2.743	-	9.942	-
Mai	2.918	245	10.576	38
Jun	3.782	-	13.710	-
Jul	6.276	204	22.751	32
Ago	6.443	-	23.355	-
Set	6.272	187	22.736	29
Out	6.634	-	24.047	-
Nov	6.536	185	23.693	29
Dez	6.176	-	22.388	-
<b>Total</b>	<b>57.132</b>	<b>1.337</b>	<b>207.102</b>	<b>209</b>

Na Tabela 6.2 não se considerou o ano 2007, uma vez que apresenta valores não normais que mascarariam a veracidade dos resultados.

Em 2006, o edifício em estudo, relativamente ao seu consumo energético, contribuiu para a libertação de cerca de 248,8 toneladas de CO<sub>2</sub> (considerando a conversão de 0,0012 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada kgep) com a parcela de energia eléctrica a atingir os 98% em termos de custos totais e mais de 99,89% em termos de consumo de energia primária.

Nos meses de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), o GPAR fica desligado e, como tal, o consumo apresentado nesses meses refere-se apenas ao consumo normal do edifício e do aquecimento (que é realizado com caldeiras que apenas consomem gás). Já nos meses de Verão (Julho, Agosto e Setembro), as caldeiras não são utilizadas e apenas o GPAR funciona. Não é fácil notar esta diferença de funcionamento nas facturas apresentadas no que diz respeito ao consumo de gás, mas é possível fazê-lo no que diz respeito ao consumo de electricidade.

Foi também dada a informação (pela equipa de manutenção do edifício) de que, no mês de Julho de 2006, o centro informático principal da seguradora (ramo de serviço do edifício em estudo) passou para o referido edifício, sendo este facto notório no consumo de energia eléctrica (equipamento com um total de 30 kW e de funcionamento ininterrupto). O centro informático deste edifício consome mensalmente cerca de 22.000 kWh (Equação 6.1) mais cerca de 8.000 kWh no sistema de climatização para refrigerar o espaço, o que perfaz cerca de 30.000 kWh por mês para o centro informático (valor confirmado pela diferença de consumo entre as facturas de Julho e Junho de 2006).

$$\begin{aligned} 30 \text{ kW} \times 24 \text{ horas} \times 31 \text{ dias} &= \\ &= 22.320 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Equação 6.1 – Energia eléctrica consumida pelo sistema informático

Para os computadores pessoais, de acordo com os cálculos feitos na Tabela 4.2, obtêm-se um consumo de cerca de 5.000 kWh mensais.

O consumo dos GPAR é pouco notório nas facturas, não chegando a 10.000 kWh (relacionando a diferença de consumo da média de meses frios com a média de consumo dos meses quentes).

O consumo de iluminação é estimado com base na observação da utilização do espaço. O edifício possui cerca de 300 candeeiros equipados com 4 lâmpadas de 55 W (iluminação dos postos de trabalho). Os respectivos candeeiros estão acesos cerca de 6 horas por dia, consumindo mensalmente cerca de 8.700 kWh de energia eléctrica (dados recolhidos a partir de observações feitas no edifício e prevendo 22 dias úteis).

No estacionamento existem 198 aparelhos de iluminação, dos quais apenas 170 estão a funcionar (o dono de obra optou por desligar metade dos aparelhos de iluminação das rampas). Durante um dia de trabalho, os aparelhos de iluminação estão acesos (somando todos os períodos de funcionamento), cerca de 10 horas. O funcionamento nos dias não úteis é desprezável para a

estimativa realizada neste estudo. Os aparelhos de iluminação apresentam uma potência de 39,6 W e consomem mensalmente cerca de 1.500 kWh de energia eléctrica (dados recolhidos a partir de observações feitas no edifício e prevendo 22 dias). A parcela do consumo eléctrico mensal imputada à iluminação é de 10.200 kWh.

Tomando assim os 80.000 kWh do mês de Junho de 2007 como referência é possível prever uma distribuição de energia pelas diferentes cargas anteriormente referidas (Tabela 6.3 e Figura 6.1).

Tabela 6.3 – Distribuição absoluta de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura)

	Consumo eléctrico	
	(kWh)	
Iluminação	10.200	
GPAR	10.000	
Centro Informática	30.000	
Computadores Pessoais	5.000	
Remanescente	24.800	
<b>Total</b>	<b>80.000</b>	

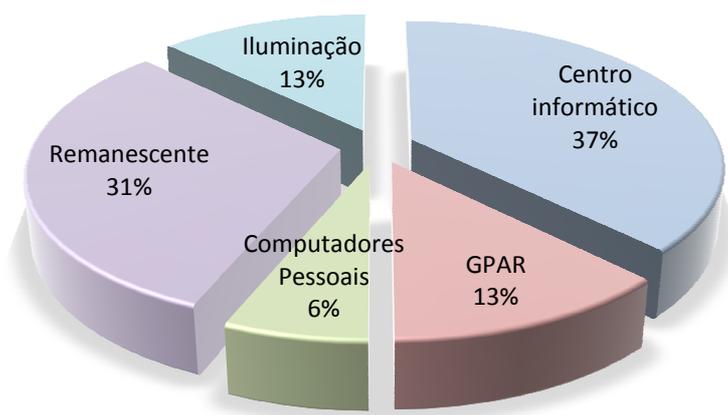


Figura 6.1 – Distribuição relativa de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura)

São responsáveis pelo consumo previsto na fatia denominada “remanescente”, os consumos das cargas cuja quantificação não foi possível estimar tais como, os equipamentos secundários de climatização (unidades de tratamento de ar, ventiloconvectores, ventiladores), iluminação, tomadas de usos gerais e elevadores.

A iluminação, apesar de apresentar uma potência instalada muito inferior à do sistema de climatização, toma assim uma importância energética equivalente, uma vez que funciona durante períodos alargados de tempo. Os computadores pessoais e principalmente o próprio centro informático do edifício toma também uma proporção muito grande no consumo eléctrico (devido principalmente ao sobredimensionamento das fontes de alimentação desses equipamentos). A parcela dos equipamentos restantes é também muito significativa o que indica que deverá ser dada uma maior atenção aos demais equipamentos e não só aos sistemas de climatização e iluminação como tem acontecido quando se discute o tema da eficiência energética em edifícios.

## 7. Conclusão

O tema da eficiência energética dos equipamentos utilizados nos edifícios é actualmente abordado por diversos analistas e consultores, que cometem o erro de afirmar que o problema do consumo exagerado acontece na especialidade técnica que menos se domina. Os Engenheiros Mecânicos culpam a iluminação dos altos consumos energéticos e afirmam que os seus sistemas estão optimizados para os espaços; os Engenheiros Electrotécnicos culpam os potentes sistemas de climatização pelos altos consumos energéticos e afirmam que a iluminação atingiu um auge tecnológico dificilmente ultrapassável.

Na verdade todos os sistemas têm o seu contributo no consumo energético dos edifícios e todos existem nos edifícios por necessidade. Por esta razão, torna-se fundamental que os projectos de instalações técnicas especiais de edifícios comecem por prever a instalação de contadores de energia eléctrica individualizados por tipo de instalação, nomeadamente:

- Iluminação
  - o Posto de Trabalho
  - o Circulações
  - o Exterior
- Climatização
  - o GPAR
  - o Bombas
  - o Unidades de tratamento de ar
  - o Ventiladores
  - o Desumidificadores e humidificadores
- Tomadas eléctricas;
- Elevadores;
- Portas eléctricas
- Estores motorizados
- Etc.

Apenas com o conhecimento real do consumo energético destes sistemas, e não pela potência instalada, será possível monitorizar e controlar as variáveis envolvidas, definindo soluções de optimização dos sistemas utilizados e prevendo novas soluções para os novos projectos.

O edifício em estudo, por exemplo, instalou um sistema de controlo dos elevadores muito interessante e que permite uma parametrização optimizada no que se refere aos consumos. Antes de entrar no elevador, o utilizador é obrigado a definir para que piso se pretende deslocar, estando parametrizada a impossibilidade de se deslocar para os pisos adjacentes. Apesar de este ser um edifício que serviu de substituição a um outro já existente em que os elevadores não possuíam este sistema, a direcção do edifício não tem qualquer conhecimento se realmente este investimento está a

contribuir para a poupança energética ou não. Isto deve-se à inexistência de um contador de energia que contabilize os consumos eléctricos dos elevadores.

Para este tipo de edifícios (edifícios de serviços) é importante também referir que os LED, ao contrário do que é publicitado por muitos fabricantes, não são uma solução eficiente. Os LED têm realmente um consumo muito baixo, mas dão origem a um fluxo luminoso também muito baixo quando comparado com as lâmpadas fluorescentes. A grande vantagem de utilização do LED reside na sua longevidade o que o torna ideal para sinalização (por exemplo em semáforos) e não para iluminação. A tecnologia está a evoluir muito rapidamente e prevê-se que num futuro próximo ultrapassem o fluxo luminoso (por watt consumido) de uma lâmpada fluorescente. Até lá, a sua utilização deverá ser cuidadosamente ponderada.

Ainda em termos de iluminação, é também necessário sensibilizar os projectistas, no sentido em que, a metodologia de iluminar uniformemente todos os espaços de uma sala não é uma boa prática e origina um dispêndio de energia muito grande. Na natureza a iluminação não é uniforme. A existência de nuvens que causam sombras, árvores, e outros obstáculos à luz que fazem com que existam diferenças de iluminância muito grandes (100.000 lux num dia soalheiro de verão em local aberto para 3.000 lux num dia escuro de inverno). O olho humano evoluiu durante milhares de anos para responder a estas variações e os ambientes de iluminação uniforme causam sensação de desconforto por se tratar de uma situação não natural.

A luz deve ser dirigida para onde é realmente necessária, ou seja, para o plano de trabalho. No espaço remanescente deverá existir uma iluminação ambiente adequada mas obtida à custa de um consumo menor de energia e por essa razão, com uma iluminância mais baixa. Nesta iluminação periférica ambiente os LED poderão ser utilizados com moderação, por exemplo para iluminar um quadro, onde a aplicação de um LED de última geração de 3 W poderá ser suficiente em vez de utilizar uma lâmpada de halogéneo de 50 W. Apesar de a lâmpada de halogéneo originar uma intensidade luminosa muito superior, para a finalidade em causa, a intensidade criada pelo LED é suficiente e assim é possível poupar energia.

A utilização de sistemas de gestão automáticos toma também uma importância muito grande. A tecnologia pretende facilitar a vida ao ser humano, tornando as suas actividades diárias mais confortáveis. Não se estará no bom caminho ao exigir que se comece a desligar a televisão no botão da mesma e não no telecomando, pois estar-se-ia a assistir a um retrocesso do objectivo final da tecnologia. A tecnologia tem de evoluir de forma a, automaticamente, realizar a acção de desligar a televisão sem que a mesma continue a consumir energia eléctrica (seja no botão local seja no telecomando). Também na iluminação, na informática (hardware) e em outros dispositivos eléctricos, não se está a fomentar o desenvolvimento tecnológico ao exigir que o utilizador não se esqueça de desligar a luz, que não se esqueça de desligar o computador ou que não se esqueça de desligar o ar condicionado.

A tecnologia terá de evoluir de forma a dotar os edifícios de mecanismos que detectem as necessidades de utilização de cada um e se adaptem ao estado de energia mínima para satisfazer essa necessidade. É assim que a natureza se rege e é nesse sentido que os equipamentos de controlo e comando de dispositivos eléctricos devem evoluir também.

Esta tecnologia já existe mas não é aplicada nos edifícios. O ramo automóvel há muito tempo que desenvolveu dispositivos, extremamente robustos, que realizam todas estas tarefas pelo ser humano. Caso não existissem, os automóveis ficariam sem bateria num instante quando ficavam estacionados, uma vez que as mesmas pessoas que utilizam os edifícios são aquelas que utilizam o automóvel que também dispõe de sistemas de iluminação, climatização, som e hoje em dia já autênticos computadores a bordo com leitura centros multimédia e GPS. No automóvel um simples rodar de chave (ou mais recentemente a simples utilização de um botão de pressão) activa ou desactiva todos estes sistemas, deixando-os, quando desactivados, sem qualquer consumo eléctrico. Porque não seguir o mesmo exemplo nos edifícios? Se estes sistemas são economicamente viáveis na indústria automóvel, também poderão vir a ser na construção de edifícios.

No capítulo de iluminação e no capítulo de tomadas é possível verificar que se conseguem obter reduções da ordem dos 80% na iluminação e 13% na utilização de computadores apenas utilizando dispositivos que permitam a regulação automática desses equipamentos (sensores de presença, sensores de iluminação ou relógios e temporizadores a controlarem, contactores nos quadros a desligarem circuitos que não estejam a ser utilizados, entre outros). O retorno de investimento destes sistemas é longo quando se pretende que a sua implementação seja realizada após a construção do edifício, mas poderá reduzir-se significativamente no tempo se estes sistemas estiverem previstos à partida no projecto.

A utilização de motores eficientes é também um objectivo que deverá estar presente na concepção dos sistemas que deles fazem uso. Ao escolher um simples ventilador de extracção ou insuflação de ar num espaço é necessário que o projectista passe a determinar um equipamento altamente eficiente. A regulação nacional obriga a que a sua classificação mínima seja EFF2 (eficiência normal), mas a nível de projecto de edifícios de serviços, principalmente na definição de equipamentos que funcionam continuamente (ou durante os períodos de utilização dos edifícios que no caso dos serviços é um período normalmente longo), devem começar a ser definidos motores com classificação EFF1 (eficiência elevada). Adquirir um motor EFF1 é mais dispendioso no início, mas pode dar origem a um retorno de investimento num curto intervalo de tempo.

O equipamento informático costuma ser dotado de fontes de alimentação construídas em série de milhares e por essa razão adaptadas a inúmeras variáveis (de potência, temperatura de funcionamento, etc.). É usual encontrar nos computadores fontes de alimentação de 300 ou 400 W, quando seriam apenas necessários 100 W ou 150 W. Acontece que essas fontes de energia estão preparadas para estarem e funcionar em ambientes tropicais a fornecer 150 W sem avariarem (uma vez que estão sobredimensionadas para um funcionamento normal de 300 W). É assim também muito importante a escolha do parque informático do edifício de serviços. Os portáteis têm ganho a

fama de equipamentos eficientes quando comparados com os normais computadores de secretária apenas, porque as suas fontes de alimentação estão adaptadas para as necessidades objectivas desse portátil em particular e não para todos os computadores do mundo. Na realidade, os portáteis apresentam um desempenho mais moderado quando comparado com um computador de secretária, assim como apresentam um componente não desprezável numa análise ambiental: a bateria de acumulação de energia.

O centro informático, que no caso do edifício em estudo é responsável por 37% do consumo energético, apresenta o mesmo problema. São instalados inúmeros servidores cada um dos quais com a sua fonte de alimentação sobredimensionada. A solução passaria por um só rectificador com a potência necessária aos equipamentos que, por sua vez, eram alimentados directamente a corrente contínua de acordo com as suas necessidades. Desta forma, o sobredimensionamento da fonte de energia seria partilhado por todos os servidores e não seria a soma dos sobredimensionamentos existentes em cada fonte de energia. As empresas de telecomunicações adoptaram este método há muito tempo, utilizando redes de 48 V de corrente contínua que alimentam os diversos comutadores telefónicos digitais, com a vantagem inerente ao consumo optimizado de energia e a facilidade de dotar o sistema de baterias que servem de fonte redundante em caso de avaria.

O aparecimento da computação Grid (criação de um “supercomputador virtual” através da integração em rede de centenas ou milhares de computadores normais) aumenta a importância deste assunto. Neste momento está a ser construída uma sala de computação GRID em Lisboa onde se prevê que a potência eléctrica instalada num espaço de 200 m<sup>2</sup> chegue aos 2 MVA (sistema informático e sistema de climatização) com consumos anuais na ordem dos 600 MWh (projecto electrotécnico da responsabilidade do autor desta dissertação).

A actual legislação que rege o consumo energético associado à climatização de edifícios obriga a um controlo rigoroso da solução a adoptar em função da utilização e tipo de edifício previsto. Esta legislação foca-se num sistema de certificação energética que peca pela grande importância dada aos sistemas de climatização em detrimento da análise a que deveria obrigar para os restantes sistemas (nomeadamente iluminação e sistemas informáticos). Por esta razão, neste trabalho procurou-se explorar as boas regras a implementar nos sistemas de iluminação e controlo de tomadas em prejuízo dos sistemas complexos de climatização que estão já a ser abordados por muitos especialistas dessa área de conhecimento.

## 8. Bibliografia

- [1]. **Comissão Europeia**, 29 de Maio de 2008, <http://ec.europa.eu>.
- [2]. **Wikipédia - A enciclopédia livre**, 6 de Junho de 2008, <http://pt.wikipedia.org>.
- [3]. **ERSE**, Portal Erse, Citação: 10 de Junho de 2008, <http://www.erse.pt>.
- [4]. **Ministerio de Industria, Turismo y Comercio**, *Código Técnico de la Edificación - REAL DECRETO 314/2006*, Espanha, 2006.
- [5]. **Araújo, Lucínio Preza de**. Electrotecnica e Electrónica, 07 de Novembro de 2006, <http://www.prof2000.pt/users/lpa/>.
- [6]. *1º Congresso da Luz - Inovação e Evolução. CPI - Centro Português de Iluminação*, Lisboa, 2007.
- [7]. *Política de "Relamping" em escritórios*, **Cardoso, Rogério Paulo**, Lisboa, 2007.
- [8]. *A Eficácia Subestimada da Tecnologia T5*, **Grebe, Manfred**, Lisboa, 2007.
- [9]. **Philips**, Led Tour 2007, Lisboa, 2007.
- [10]. **EEE - Empresa de Equipamento Eléctrico, S.A.**, Catálogo Geral, Águeda, Portugal, 2007.
- [11]. *ADASY – Sistema de iluminação natural*, **Rodríguez, Lucas García**, 2007.
- [12]. *Monitorização e controlo de sistemas de iluminação por software*, **Pereira, Miguel**, Lisboa, 2007.
- [13]. **Soares, Marco**, MSPC Informações técnicas, Abril de 2008, <http://www.mspc.eng.br>.
- [14]. **Graucelsius, Lda**, Projectos realizados a edifícios de serviços entre os anos 2000 e 2008, Rinchoa, 2008.
- [15]. **Coker, Russel**, Computer Power Use, 12 de Maio de 2008, <http://doc.coker.com.au>.
- [16]. **Ertl, M. Anton**, Computer Power Consumption, *How much electricity does a Computer consume?*, 09 de Julho de 2008, <http://www.complang.tuwien.ac.at/anton/computer-power-consumption.html>.
- [17]. **Hewlett-Packard**, HP United States, *Download de manuais de utilização*, 2008.
- [18]. **Roriz, Luis**, *Climatização*, Amadora, Orion, 2006.
- [19]. **Mitsubishi Electric**, Catálogo de Produtos, Carnaxide, 2008.
- [20]. **Daikin**, General Catalogue, Bélgica, 2008, Vols, Heating, Air Conditioning, Applied Systems, Refrigeration.



**INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**  
Universidade Técnica de Lisboa

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**  
**APLICADA A EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS**

**LEANDRO JORGE DE OLIVEIRA CORCEIRO**

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
**ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES**

**JÚRI**

Presidente: Prof. Gil Domingos Marques  
Orientador: Prof. João Esteves Santana  
Co-Orientador: Prof.<sup>a</sup> Maria José Resende  
Vogais: Eng. Santos Joaquim  
Eng. Carlos Oliveira

**SETEMBRO 2008**

## **Agradecimentos**

O autor agradece todas as contribuições e apoios cedidos para a elaboração desta dissertação, sem os quais não poderia ter atingido o rigor necessário a um estudo deste tipo.

À empresa Graucelsius, nomeadamente ao Eng. Carlos Oliveira e Eng. Vasco Pedroso que propuseram este desafio e acreditaram na qualidade da execução deste projecto, proporcionando uma experiência enriquecedora pessoal e profissionalmente.

Ao Prof. Fernando Silva pela disponibilidade inicial em analisar o tema e no encaminhamento dentro do Instituto Superior Técnico para a equipa docente especializada na matéria em estudo.

Ao Prof. João Santana pelo incentivo desde o primeiro minuto, contribuindo com ideias, metodologias, e literatura provenientes da sua vasta experiência.

À Prof. Maria José Resende pela atenta análise do desenvolvimento do trabalho, mantendo claro o objectivo final de acordo com o planeamento acordado.

Ao Eng. Vital Vilarinho que se disponibilizou as informações possíveis e o acesso ao edifício que serviu de base de estudo a esta dissertação.

À minha esposa e filho que, apesar de desatendidos pelo tempo que o desenvolvimento do tema me tomou, nunca deixaram de me apoiar e incentivar a fazer mais e melhor.

## Resumo

Na última década, o sector dos edifícios, apresentou a mais alta taxa de crescimento do consumo de energia de entre todos os sectores da economia nacional, nomeadamente, o subsector dos serviços, traduzida em valores médios da ordem dos 12% por ano. No contexto internacional é consensual a necessidade reduzindo os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa.

Este trabalho aprofunda as metodologias que permitem a redução do consumo energético nos grandes edifícios de serviços sem depreciar a qualidade dos mesmos e conforto dos utilizadores.

Na primeira parte deste trabalho é visada a nova legislação no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética, sucedendo-se o tema da iluminação, apresentando conceitos básicos de luminotecnia e simulações de iluminação para áreas técnicas, arquivos, átrio de entrada, circulações, escadas, estacionamento, gabinetes e instalações sanitárias, cujo objectivo é preencher a lacuna da legislação nacional no que se refere a este tema.

As alimentações diversas através de tomadas de energia eléctrica, nomeadamente as cargas informáticas, serão também abordadas, concluindo que o seu peso percentual é superior ao da iluminação. Sumariamente, o tema da climatização será também alvo de estudo.

Por último, através de uma análise das facturas de electricidade e gás de um edifício de serviços real, é apresentada uma estimativa da distribuição de energia mensalmente utilizada por cada uma das anteriores cargas, concluindo que a iluminação apresenta um consumo equivalente ao da climatização e que a posição de destaque pertence às cargas informáticas.

**Palavras-chave:** eficiência energética, iluminação, cargas informáticas, climatização, edifícios de serviços.

## Abstract

In the buildings sector, the last decade resulted in the highest growth tax of the energy consumptions when compared to all the other sectors of the national economy. In the subsector of the services the power consumptions of buildings increased an average of 12% per year. In an international context it is recognized that to prevent climate change it is necessary to improve the quality of the buildings, reducing its energy consumptions that contribute to the increase of the greenhouse effect.

This work attends to study the methodologies that could allow a reduction in the energy consumed on services buildings without downgrade the quality of the systems and comfort of the users.

The new Portuguese legislation is summarily mentioned in the first part of this work under the topic of the Energy Certification National System (SCE in Portuguese), following illumination issue with the explanation of basic lighting concept design and the simulation of some services buildings rooms, such as: technical areas, archives, entrance hall, corridors, stairs, parking lots, offices and toilets, with the objective of filling the light systems gap of the national legislation.

The other electrical power consumer, such as computers, will be also considered, concluding that its share is superior to the one taken by illumination. Summarily, climatization subject will also be study.

Finally, through an analysis of the electrical and gas bills of a real services building, the energy used, monthly, by each one of previous loads is presented, concluding that the illumination and the climatization have equivalent contribute to the total amount of energy consumed and that the prominence position belongs to the computers loads.

**Key-words:** energy efficiency, illumination, computer load, climatization, services buildings.

*“Se 50% do fenómeno do aquecimento global resulta do emprego de combustíveis fósseis nos edifícios, mais de metade dos restantes 50% é gerado no transporte de pessoas e mercadorias entre os edifícios.”*

in “Construção Sustentável” – Quercus

# Índice

<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>vii</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>viii</b>
<b>Lista de símbolos / siglas</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1. Consumidores de energia eléctrica .....	2
<b>2. Legislação e incentivos</b> .....	<b>3</b>
2.1. Decreto-Lei n.º 78/2006 .....	4
2.2. Decreto-Lei n.º 79/2006 .....	4
2.3. Decreto-Lei n.º 80/2006 .....	6
2.4. As Normas EN 12464-1 e EN 12464-2.....	6
2.5. Plano de Promoção da Eficiência no Consumo .....	7
<b>3. Iluminação</b> .....	<b>8</b>
3.1. Conceitos teóricos .....	8
3.1.1. Intensidade luminosa, fluxo luminoso e eficiência luminosa.....	8
3.1.2. Iluminância .....	9
3.1.3. Brilho ou Luminância.....	10
3.1.4. Índice de restituição cromática.....	10
3.2. Opções tecnológicas da iluminação .....	11
3.2.1. Lâmpada fluorescente.....	11
3.2.2. LED.....	12
3.2.3. Sistema ADASY .....	13
3.2.4. Sistemas de controlo de iluminação .....	14
3.3. Iluminação em edifícios de escritórios.....	16
3.3.1. Áreas Técnicas.....	18
3.3.1.1. Análise da simulação das áreas técnicas.....	21
3.3.1.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	22
3.3.2. Arquivo .....	23
3.3.2.1. Análise da simulação dos arquivos .....	24
3.3.2.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	25
3.3.3. Átrio de Entrada .....	26
3.3.3.1. Análise da simulação do átrio.....	27
3.3.3.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	28
3.3.4. Circulações.....	29
3.3.4.1. Análise da simulação das circulações.....	30
3.3.4.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	31
3.3.5. Escadas.....	31
3.3.5.1. Análise da simulação das escadas .....	33
3.3.5.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	33
3.3.6. Estacionamento.....	34
3.3.6.1. Análise da simulação do estacionamento .....	37
3.3.6.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	38
3.3.7. Gabinetes .....	39
3.3.7.1. Análise da simulação dos gabinetes .....	45
3.3.7.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	46
3.3.8. Instalações Sanitárias .....	48
3.3.8.1. Análise da simulação das instalações sanitárias .....	50
3.3.8.2. Situação encontrada no edifício tipo .....	51
<b>4. Tomadas de energia eléctrica</b> .....	<b>52</b>
4.1. Situação encontrada no edifício .....	52
4.1.1. Consumos eléctricos estimados .....	53
4.2. Alterações ao edifício.....	54
<b>5. Climatização</b> .....	<b>56</b>
5.1. Escolha de equipamentos.....	56
5.2. Equipamento instalado no edifício.....	57

<b>6. Consumos reais do edifício .....</b>	<b>59</b>
<b>7. Conclusão.....</b>	<b>62</b>
<b>8. Bibliografia .....</b>	<b>66</b>

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Exemplo retirado da pág. 2457 do Diário da República n. 67 – 04/04/2006 (RSECE).....	5
Figura 3.1 – Intensidade luminosa (candela) [5].....	8
Figura 3.2 – Fluxo luminoso (lúmen) [5] .....	8
Figura 3.3 – Iluminância (lux) [5].....	9
Figura 3.4 – Luminância [5] .....	10
Figura 3.5 – Diferença de diâmetro das lâmpadas fluorescentes tubulares [7] .....	12
Figura 3.6 – Princípio de funcionamento do sistema ADASY [11] .....	13
Figura 3.7 – Filme electro-crómico [11] .....	14
Figura 3.8 – Aparelho de iluminação ADASY [11].....	14
Figura 3.9 – Interligação e gestão de sistemas DALI [12].....	15
Figura 3.10 – Área Técnica 20x20 m (imagem virtual).....	18
Figura 3.11 – Área Técnica 15x5 m (imagem virtual).....	18
Figura 3.12 – Localização da iluminação da área técnica 10x10 m.....	19
Figura 3.13 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m.....	19
Figura 3.14 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m com luminárias a 90° .....	20
Figura 3.15 – Área Técnica 2.09 e 2.17 do edifício em estudo .....	22
Figura 3.16 – Arquivo (imagem virtual).....	23
Figura 3.17 – Aparelhos de iluminação paralelos às prateleiras de arrumação do arquivo.....	24
Figura 3.18 – Aparelhos de iluminação perpendiculares às prateleiras de arrumação do arquivo .....	24
Figura 3.19 – Planta da sala de arquivo do edifício em estudo.....	25
Figura 3.20 – Átrio de Entrada (imagem virtual).....	26
Figura 3.21 – Localização das luminárias no átrio de entrada .....	26
Figura 3.22 – Átrio de entrada com luz natural (imagem virtual).....	27
Figura 3.23 – Planta do átrio de entrada no edifício em estudo .....	28
Figura 3.24 – Circulação não recta (imagem virtual).....	29
Figura 3.25 – Circulação recta (imagem virtual).....	29
Figura 3.26 – Posição dos apliques de parede na circulação não recta .....	29
Figura 3.27 – Posição dos apliques de parede na circulação recta .....	29
Figura 3.28 – Planta da circulação de piso do edifício em estudo .....	31
Figura 3.29 – Escadas (imagem virtual) .....	32
Figura 3.30 – Planta das escadas do edifício em estudo .....	33
Figura 3.31 – Estacionamento automóvel (imagem virtual) .....	35
Figura 3.32 – Zonas de cálculo de estacionamento .....	35
Figura 3.33 – Localização das luminárias no estacionamento .....	35
Figura 3.34 – Luminárias do estacionamento a 90° .....	35
Figura 3.35 – Rampa (imagem virtual) .....	36
Figura 3.36 – Localização das Luminárias na rampa .....	36
Figura 3.37 – Localização das luminárias a 90° na Rampa .....	36
Figura 3.38 – Planta de projecto da circulação e estacionamento do edifício em estudo .....	38
Figura 3.39 – Gabinete 1 pessoa (imagem virtual).....	40
Figura 3.40 – Gabinete 2 pessoa (imagem virtual).....	40
Figura 3.41 – Gabinete 4 pessoa (imagem virtual).....	40
Figura 3.42 – <i>Open Space</i> (imagem virtual).....	40
Figura 3.43 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 1 pessoa .....	40
Figura 3.44 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 2 pessoas .....	41
Figura 3.45 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 4 pessoas .....	41
Figura 3.46 – Distribuição da iluminação do <i>Open Space</i> .....	41
Figura 3.47 – Áreas de trabalho do gabinete para 2 pessoas.....	42
Figura 3.48 – Área de trabalho considerada no <i>Open Space</i> .....	42
Figura 3.49 – Planta de gabinete individual do edifício em estudo .....	46
Figura 3.50 – Planta do <i>open space</i> do edifício em estudo .....	46
Figura 3.51 – Instalações Sanitárias (imagem virtual) .....	48
Figura 3.52 – Diferentes tipos de luminárias consideradas nas instalações sanitárias .....	48
Figura 3.53 – Zonas de cálculo instalações sanitárias .....	49
Figura 3.54 – Instalações sanitárias com iluminação normal (imagem virtual).....	50
Figura 3.55 – Planta de uma das instalações sanitárias do edifício em estudo.....	51
Figura 6.1 – Distribuição relativa de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura).....	61

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Data de aparecimento dos diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes [8].....	12
Tabela 3.2 – Eficiência de diferentes tipos de fontes de luz [9] [10] .....	13
Tabela 3.3 – Directivas apresentadas na EN 12464-1 .....	16
Tabela 3.4 – Índices de reflexão de alguns materiais e cores [13] .....	17
Tabela 3.5 – Dimensões das áreas técnicas a simular .....	18
Tabela 3.6 – Resultados da simulação de iluminação das áreas técnicas .....	20
Tabela 3.7 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas .....	20
Tabela 3.8 – Resultados da simulação das áreas técnicas com as luminárias rodadas 90° .....	20
Tabela 3.9 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas rodadas a 90° .....	20
Tabela 3.10 – Consumo energético anual da iluminação das áreas técnicas .....	21
Tabela 3.11 – Índices de reflexão da sala de arquivo .....	23
Tabela 3.12 – Resultados simulação de iluminação na sala de arquivo .....	24
Tabela 3.13 – Consumo energético anual da iluminação da sala de arquivo .....	24
Tabela 3.14 – Resultados da simulação de iluminação no átrio .....	27
Tabela 3.15 – Consumo energético anual da iluminação no átrio .....	27
Tabela 3.16 – Índices de reflexão das circulações simuladas .....	29
Tabela 3.17 – Resultados da simulação de circulação .....	30
Tabela 3.18 – Consumo energético anual da iluminação da circulação .....	30
Tabela 3.19 – Resultados da simulação de iluminação das escadas .....	32
Tabela 3.20 – Consumo energético anual da iluminação das escadas .....	33
Tabela 3.21 – Resultados da simulação do estacionamento .....	36
Tabela 3.22 – Consumo energético anual da iluminação do estacionamento .....	37
Tabela 3.23 – Caracterização do estacionamento do edifício em estudo .....	38
Tabela 3.24 – Dimensões dos gabinetes a simular .....	39
Tabela 3.25 – Resultados da simulação de iluminação para o gabinete de 30 m <sup>2</sup> .....	42
Tabela 3.26 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 39 m <sup>2</sup> .....	43
Tabela 3.27 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 53 m <sup>2</sup> .....	43
Tabela 3.28 – Resultados da simulação da iluminação do <i>Open Space</i> .....	44
Tabela 3.29 – Consumo energético anual da iluminação dos gabinetes .....	45
Tabela 3.30 – Resultados da simulação de iluminação das instalações sanitárias .....	49
Tabela 3.31 – Consumo energético anual da iluminação das instalações sanitárias .....	50
Tabela 4.1 – Consumos energéticos eléctricos do parque informático do edifício [17] .....	52
Tabela 4.2 – Consumo de energia eléctrica real e desligando os computadores .....	54
Tabela 5.1 – Características técnicas de “ <i>Splits</i> ” [19] .....	57
Tabela 5.2 – Características técnicas de sistema VRV [20] .....	57
Tabela 5.3 – Características técnicas de Chillers [20] .....	57
Tabela 6.1 – Facturas energéticas do edifício em estudo .....	59
Tabela 6.2 – Custo e energia primária associada às facturas energéticas de 2006 do edifício .....	59
Tabela 6.3 – Distribuição absoluta de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura) .....	61

## Lista de símbolos / siglas

AQS	- Água Quente Sanitária
DALI	- Interface de iluminação digital e endereçável (“ <i>Digital Addressable Lighting Interface</i> ”)
E	- Iluminância
$E_m$	- Iluminância média
$E_{\min}$	- Iluminância mínima
ERSE	- Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
GEE	- Gases com Efeito de Estufa
GPS	- Global Positioning System
I	- Intensidade luminosa
L	- Brilho ou Luminância
Nac	- Necessidades nominais anuais de energia útil para produção de AQS
Nic	- Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento
Ntc	- Necessidades globais de energia
Nvc	- Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento
PNAC	- Programa Nacional para as Alterações Climáticas
PPEC	- Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de energia Eléctrica
$R_a$	- Índice de restituição cromática
RCCTE	- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	- Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
SCE	- Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
UGR	- Classificação de nível de brilho (“ <i>Unified Glare Rating</i> ”)

## 1. Introdução

A actividade humana está a provocar um aquecimento do planeta e os edifícios são responsáveis por aproximadamente metade das emissões de gases com efeito de estufa que contribuem para esse aquecimento.

A energia é fundamental para as nossas vidas. Dependemos dela para os transportes, para o aquecimento das casas no Inverno e o seu arrefecimento no Verão e para fazer funcionar fábricas, explorações agrícolas e escritórios. Porém a utilização dos combustíveis fósseis, cujas reservas são finitas, é apontada como uma das causas principais do aquecimento do planeta. Por conseguinte, a energia proveniente destas fontes não pode continuar a ser considerada um dado adquirido.

A climatização e iluminação dos edifícios, que é feita na maioria das vezes com recurso a combustíveis fósseis (como o gás natural, o carvão e o petróleo) ou electricidade são, directa ou indirectamente, as fontes de maior emissão de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), o principal gás com efeito de estufa. As emissões de CO<sub>2</sub> têm aumentado desde a revolução industrial e continuam a aumentar apesar dos acordos internacionais estabelecidos na Cimeira da Terra no Rio de Janeiro ou o Protocolo de Quioto.

O sector dos edifícios absorve cerca de 40% do consumo final de energia da Comunidade Europeia, oferecendo assim uma grande oportunidade de melhoria no que se refere ao impacto da eficiência energética no respectivo consumo energético. Da última década resultou, para o sector dos edifícios, a mais alta taxa de crescimento dos consumos de energia de entre todos os sectores da economia nacional, nomeadamente para o subsector dos serviços, traduzida em valores médios da ordem dos 12% por ano, tendência que deverá vir a acentuar o respectivo consumo de energia e, por conseguinte, as correspondentes emissões de dióxido de carbono. [1]

No contexto internacional, é consensual a necessidade de melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa e que potenciam o fenómeno de aquecimento global. Portugal obrigou-se a satisfazer compromissos neste sentido quando subscreveu o Protocolo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de ser feito por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente pelo dos edifícios.

Os edifícios de serviços são equipados com ar condicionado e muitas vezes as suas fachadas são completamente envidraçadas, contribuindo em muitos casos para um mau comportamento térmico, tornando o ambiente interior muito quente ou muito frio dependendo das estações do ano.

O objectivo deste trabalho é estudar as cargas interiores existentes num edifício de serviços tipo, e elaborar regras e metodologias que podem ser utilizadas no âmbito dos projectos de instalações eléctricas com o intuito de tornar os edifícios mais eficientes tendo em conta a sua exequibilidade e

viabilidade económica, sem depreciar a qualidade e conforto dos utilizadores apenas com vista na redução do consumo eléctrico.

Nos capítulos seguintes será focado o tema de legislação existente em Portugal que salvaguarda o interesse nacional de redução do consumo energético de edifícios; serão inventariadas as cargas existentes num edifício tipo, estudadas as várias tecnologias para satisfazer a causa da necessidade dessas diversas cargas e por fim elaborada uma lista das regras e métodos que possam ser utilizados no dimensionamento de novos edifícios, assim como na remodelação de existentes.

## **1.1. Consumidores de energia eléctrica**

As visitas realizadas a um edifício de serviços, no âmbito deste trabalho (nos arredores de Lisboa), permitiram categorizar as principais cargas consumidoras de energia eléctrica:

- Aparelhos de iluminação
- Equipamentos informáticos
- Sistema de climatização

Neste edifício existem outras cargas que não serão abordadas no desenvolvimento deste documento por impossibilidade de obtenção de dados que permitam uma análise real dos consumos. Excluem-se assim os elevadores, estores, portões de garagem, portas automáticas, máquinas de refrigeração de água potável e outras de menor ou maior potência cujas características e consumos não foi possível aferir.

## 2. Legislação e incentivos

Portugal estabeleceu o compromisso de melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir os seus consumos de energia e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa e conseqüente aquecimento global, quando subscreveu o Protocolo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de ser feito por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente pelo dos edifícios.

O Protocolo de Quioto é consequência de uma série de eventos iniciada com a “Toronto Conference on the Changing Atmosphere”, no Canadá (Outubro de 1988), seguida pelo “IPCC's First Assessment Report”, em Sundsvall na Suécia (Agosto de 1990) e que culminou com a “Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática” no Brasil (Junho de 1992). Ao abrigo do Protocolo de Quioto e do compromisso comunitário de partilha de responsabilidades, Portugal assumiu o compromisso de limitar o aumento das suas emissões de gases de efeito de estufa em 27% no período de 2008-2012 relativamente aos valores de 1990. [2]

Neste contexto, o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), adoptado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de Julho (PNAC 2004), e mais recentemente o PNAC de 2006, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de Agosto, quantifica o esforço nacional de redução das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE), integrando um vasto conjunto de políticas e medidas que incide sobre todos os sectores de actividade. [3]

Surgem assim três Decretos-Lei que transpõem parcialmente para ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios:

- Decreto-Lei n.º 78/2006
- Decreto-Lei n.º 79/2006
- Decreto-Lei n.º 80/2006

Estes Decretos-Lei são fundamentalmente baseados em questões relacionadas com a qualidade térmica dos edifícios e têm pouca abrangência nos sistemas eléctricos em particular, indicando valores máximos de potência instaladas nos equipamentos de uma maneira geral, mas apenas definindo metodologias de actuação para os sistemas de climatização.

A nível europeu existem duas normas que definem regras para o projecto dos sistemas de iluminação para interiores e exteriores (nomeadamente EN 12464-1 e EN 12464-2). Presentemente não é dada grande importância à iluminação dos edifícios de serviços, focando as atenções nos sistemas de climatização. Nos capítulos seguintes poderá verificar-se que a iluminação tem um grande contributo para o consumo energético do típico edifício de serviços (apesar da reduzida potência instalada

quando comparada com os sistemas de climatização, apresenta um consumo energético semelhante).

A Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), de acordo com o artigo 3º dos seus estatutos, apresenta como objectivo contribuir para a progressiva melhoria das condições técnicas, económicas e ambientais de funcionamento dos meios a utilizar desde a produção ao consumo de energia eléctrica. A ERSE tem procurado que a regulamentação do sector dinamize procedimentos que contribuam para a melhoria da eficiência energética nesta área, estabelecendo um mecanismo competitivo de promoção de acções de gestão da procura designado por: Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de energia eléctrica (PPEC).

## **2.1. Decreto-Lei n.º 78/2006**

Este Decreto-Lei define o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), assegurando a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética e à utilização de sistemas de energia renováveis.

Na prática, serve de ponto de partida para o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) e Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Define ainda vários conceitos, tais como:

- **Grande intervenção de reabilitação** – uma intervenção na envolvente ou nas instalações, energéticas ou outras, do edifício, cujo custo seja superior a 15% do valor do edifício, nas condições definidas no RCCTE.
- **Plano de racionalização energética** - conjunto de medidas de racionalização energética, de redução de consumos ou de custos de energia, elaborado na sequência de uma auditoria energética, organizadas e seriadas na base da sua exequibilidade e da sua viabilidade económica.

## **2.2. Decreto-Lei n.º 79/2006**

Conhecido como RSECE, este Decreto-Lei procura introduzir algumas medidas de racionalização energética em edifícios, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício para, sobretudo, evitar o seu sobredimensionamento, conforme a prática do mercado mostrava ser comum. Contribui assim para a eficiência energética dos sistemas na medida em que evita investimentos desnecessários e obriga a uma mais cuidada análise na satisfação das necessidades inerentes a cada edifício.

Aborda a adopção de certos procedimentos de recepção após a instalação dos sistemas, assim como a sua manutenção e aplica-se a todos os grandes edifícios de serviços existentes com uma área útil superior a 1.000 m<sup>2</sup>.

Um dos artigos deste Decreto-Lei define que são de implementação obrigatória todas as medidas de eficiência energética que tenham um período de retorno simples (calculado segundo uma metodologia especificada no mesmo) de oito anos ou menor, incluindo como custos elegíveis para o cálculo do período de retorno os correspondentes a um eventual financiamento bancário da execução das medidas. Define a consideração prioritária obrigatória nos edifícios novos e nas grandes reabilitações (salvo demonstração de falta de viabilidade económica pelo projectista) da implementação de sistemas de energia alternativos, tais como:

- sistemas de colectores solares planos para produção de água quente sanitária (AQS)
- sistemas de aproveitamento de biomassa ou resíduos (quando disponíveis)
- sistemas de aproveitamento da energia geotérmica (sempre que disponível)
- sistemas autónomos, combinando solar térmico, solar fotovoltaico, eólico, etc., (em locais distantes da rede eléctrica pública)

Por fim, apresenta tabelas com os valores limite dos consumos globais específicos, tendo definido o consumo máximo para os edifícios de serviços assim como padrões de referência de utilização dos edifícios.

Saliente-se, contudo, que é um Decreto claramente vocacionado para os sistemas de climatização, referindo, mas colocando de lado os equipamentos eléctricos para outros fins, como é o caso da iluminação (Figura 2.1). Apesar de aparecer referido nas tabelas, não chega a ser definido nenhum valor de referência para a densidade de iluminação dos espaços ao contrário do que acontece, por exemplo, com a legislação criada em Espanha para o mesmo efeito. [4]

Escritórios		
Perfis variáveis de acordo com os valores das tabelas		
	Densidades	
Ocupação	15 m <sup>2</sup> /Ocupante	
Iluminação	-----	
Equipamento	15 W/m <sup>2</sup>	
<b>Perfis Constantes</b>		
	Densidade	N.º Horas funcionamento
<b>Iluminação Exterior</b>	-----	5400
<b>Cozínhas</b>	Densidades	N.º Horas funcionamento
Iluminação	-----	1560
Equipamento	250 W/m <sup>2</sup>	
Ventilação	8 W/m <sup>2</sup>	
<b>Estacionamento</b>	Densidade	N.º Horas funcionamento
Iluminação	-----	2730
Equipamento	2 W/m <sup>2</sup>	
Ventilação	8 W/m <sup>2</sup>	

Figura 2.1 – Exemplo retirado da pág. 2457 do Diário da República n. 67 – 04/04/2006 (RSECE)

### **2.3. Decreto-Lei n.º 80/2006**

Conhecido como RSCCTE, este Decreto-Lei procura impor requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno, quer no Verão, assim como minimizar as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações.

Trata-se de uma metodologia de cálculo que considera variáveis tais como a localização do edifício, tipo de construção das paredes, vãos envidraçados, sombreamentos solares, entre outros, calculando índices que quantificam:

- o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic)
- o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (Nvc)
- o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para produção de AQS (Nac)
- o valor das necessidades globais de energia primária (Ntc)

São impostos valores máximos para cada um destes índices, obrigando à utilização de materiais e sistemas eficientes de forma a que o edifício cumpra o estipulado no Decreto-Lei (valores dos índices inferiores aos valores máximos admissíveis).

Até publicação em despacho (actualizável devido ao diferentes *mix* energéticos anuais) utilizam-se os factores de conversão entre energia útil e energia primária definidas neste Decreto-Lei, nomeadamente:

- Electricidade: 0,290 kgep/kWh
- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: 0,086 kgep/kWh

### **2.4. As Normas EN 12464-1 e EN 12464-2**

Estas normas quebram com o conceito comum da criação de ambientes uniformes de iluminação. Os gabinetes e locais de trabalho deixam de apontar para os típicos 500 lux de valor de iluminação médio em todos os pontos para a diferenciação do espaço de acordo com a necessidade.

Aparece assim o conceito de zona de trabalho, definindo valores de iluminação da zona envolvente em 4 escalões, tendo como máximo os 500 lux. O valor da uniformidade também é definido separadamente para a zona de trabalho e a zona envolvente.

A norma de iluminação interior (EN 12464-1) define valores médios mínimos para cada local em função da tarefa a realizar e a norma de iluminação exterior (EN 12464-2) define limites máximos de iluminação, prevenindo assim a poluição luminosa no exterior.

No exterior, a zona envolvente à zona de trabalho passa a ser definida em 6 escalões, tendo como máximo os 100 lux.

Ambas as normas salientam que não deverá ser depreciada a qualidade e quantidade de luz apenas com vista à redução do consumo eléctrico.

## **2.5. Plano de Promoção da Eficiência no Consumo**

Promovido pela ERSE, o Plano de Promoção da Eficiência no Consumo (PPEC) tem como objectivo prioritário apoiar financeiramente iniciativas que promovam a eficiência e redução do consumo de electricidade nos diferentes segmentos de consumidores.

No que concerne ao PPEC para o ano de 2008 foram recebidas 140 candidaturas e consideradas elegíveis 131 medidas apresentadas por 21 promotores, com custos candidatos à comparticipação do PPEC para o ano de 2008 no valor de 46 milhões de euros, aproximadamente o quántuplo do orçamento do PPEC ainda disponível para 2008 (9,3 milhões de euros).

O concurso tem um forte carácter competitivo, sendo seleccionadas as medidas de melhor ordem de mérito classificadas de acordo com a métrica de avaliação estabelecida nas Regras do Plano de Promoção da Eficiência no Consumo.

Os promotores e consumidores de energia eléctrica assumem um papel muito relevante no Plano de Promoção da Eficiência no Consumo, desde a fase de consulta pública até à apresentação de candidaturas e posterior implementação. A qualidade das medidas apresentadas e o forte carácter competitivo do processo de selecção perspectivam um ano de 2008 mais eficiente na óptica do consumo de energia eléctrica.

Alguns exemplos de candidaturas:

- Substituição de semáforos clássicos por semáforos equipados com Leds
- Promoção da substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas
- Implementação de medidas para correcção do factor de potência
- Instalação de variadores de velocidade para motores
- Divulgação
- Formação
- Auditorias

### 3. Iluminação

Quando a iluminação natural é insuficiente, torna-se necessária a utilização de equipamentos de iluminação artificial para permitir a realização de tarefas de uma forma eficaz e segura. O nível de iluminação necessário varia de acordo com o tipo de tarefa, a duração da tarefa e o conforto e segurança exigidos.

A norma europeia EN 12464-1 estipula valores médios de iluminância, assim como brilho e restituição cromática adequados a cada zona, de forma a assegurar um consumo energético racional e um nível de iluminação adequado.

#### 3.1. Conceitos teóricos

É importante definir alguns fundamentos de luminotecnica que facilitem a interpretação do estudo aqui apresentado.

##### 3.1.1. Intensidade luminosa, fluxo luminoso e eficiência luminosa

A intensidade luminosa ( $I$ ) é a medida de potência da radiação luminosa numa dada direcção (Figura 3.1). A unidade de medida utilizada é a “candela” (cd).

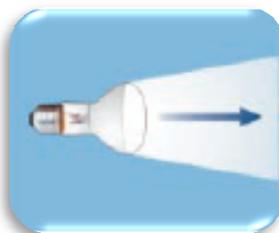


Figura 3.1 – Intensidade luminosa (candela) [5]

O fluxo luminoso (Figura 3.2) é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz. A unidade de medida utilizada é o “lúmen” (lm) e é definida como o fluxo luminoso emitido segundo um ângulo sólido de um esterradiano, por uma fonte pontual de intensidade invariável em todas as direcções com uma intensidade luminosa igual a 1 candela.



Figura 3.2 – Fluxo luminoso (lúmen) [5]

As lâmpadas conforme o tipo e potência apresentam fluxos luminosos diversos:

- lâmpada incandescente de 60 W: 865 lm;
- lâmpada fluorescente de 32 W: 2.850 lm;
- lâmpada vapor de mercúrio 250 W: 14.000 lm;
- lâmpada multi-vapor metálico de 400 W: 36.000 lm

O lúmen devia ser a medida utilizada correntemente para a definição do nível luminoso de uma lâmpada, e não a sua potência como é usual encontrar salientado nos invólucros das lâmpadas. Na maior parte das vezes o fluxo luminoso nem sequer é apresentado, o que leva ao abuso técnico de referir que a lâmpada que se pretende vender, de uma nova tecnologia e com uma determinada potência (W), é equivalente a outra com uma potência mais alta. Seria mais claro e tecnicamente correcto apresentar sempre de uma forma explícita o fluxo luminoso da lâmpada disponibilizada (que poderá variar de marca para marca apesar de o consumo ser o mesmo).

A eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e a potência eléctrica dessa lâmpada.

- lâmpada incandescente de 100 W: 10 lm/W
- lâmpada fluorescente de 40 W: 42,5 lm/W a 81,5 lm/W.
- lâmpada vapor de mercúrio de 250 W: 50 lm/W
- lâmpada multi-vapor metálico de 250 W: 68 lm/W.

### 3.1.2. Iluminância

A iluminância (E) é a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a área dessa superfície, ou seja, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide (Figura 3.3). A unidade é o “lux”, definido como a iluminância de uma superfície de 1 m<sup>2</sup>, recebendo luz de uma fonte pontual com um fluxo luminoso de 1 lm a 1 m de distância.

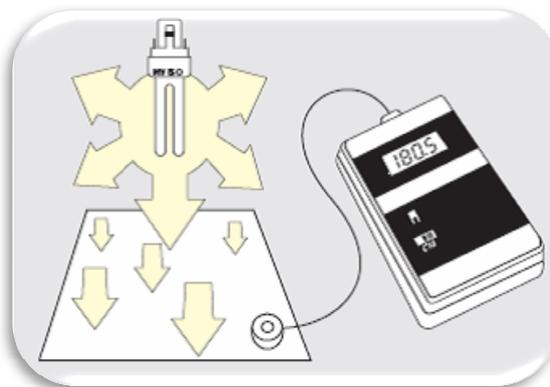


Figura 3.3 – Iluminância (lux) [5]

Exemplos de iluminâncias:

- dia soalheiro de verão em local aberto.....100.000 lux
- dia encoberto de verão .....20.000 lux
- dia escuro de inverno .....3.000 lux
- iluminação de rua.....20 lux
- noite de lua cheia.....0,25 lux
- luz de estrelas.....0,01 lux.

### 3.1.3. Brilho ou Luminância

Brilho ou luminância (L) é a intensidade luminosa produzida ou reflectida por uma superfície existente (Figura 3.4). A distribuição da luminância no campo de visão das pessoas numa área de trabalho, proporcionada pelas várias superfícies dentro da área (luminárias, janelas, tecto, parede, piso e superfície de trabalho), deve ser considerada como complemento à determinação das iluminâncias (lux) do ambiente, a fim de evitar o ofuscamento.

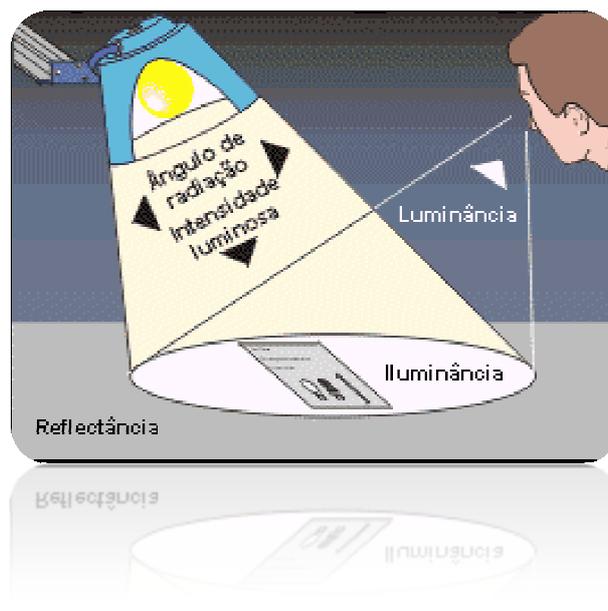


Figura 3.4 – Luminância [5]

A unidade de medida da luminância é: candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

### 3.1.4. Índice de restituição cromática

O índice de restituição cromática ( $R_a$ ) ou reprodução de cor, é o valor percentual médio relativo à sensação de reprodução de cor (percepcionada pelo cérebro), baseado numa série de cores padrões. O método consiste na avaliação das cores, quando submetidas à luz da fonte a ser analisada e por comparação com uma fonte de luz ideal ou natural, considerando-se a luz ideal aquela produzida pelo o corpo negro. Quando uma lâmpada apresenta um índice de restituição cromática “60” (por exemplo), está a indicar-se que reproduz 60% das cores reproduzidas pela fonte de luz ideal.

Hoje em dia é usual, em escritórios, não utilizar lâmpadas com índices de restituição cromática inferiores a 80, valor este facilmente conseguido com as usuais lâmpadas fluorescentes.

## **3.2. Opções tecnológicas da iluminação**

Existem no mercado [6] inúmeros dispositivos que transformam energia eléctrica em energia luminosa, com diferentes potências, dimensões, índices de restituição cromática, tempos de vida e rendimentos. Estes dispositivos fazem parte de um sistema de iluminação que é composto por vários equipamentos:

- Invólucro;
- Balastro;
- Lâmpada;
- Reflector;
- Difusor;

### **3.2.1. Lâmpada fluorescente**

Ao longo dos anos, os fabricantes (de luminárias e de dispositivos electrónicos) 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, balastros electrónicos e recentemente a tecnologia T5.

Estes dois últimos, quer por apresentarem perdas reduzidas, quer por apresentarem uma melhor eficiência da própria lâmpada, são os mais atractivos e de maior divulgação, nomeadamente na sua aplicação a lâmpadas fluorescentes tubulares, nas quais é possível obter reduções no consumo eléctrico, da ordem dos 20% a 30%.

Os balastros electrónicos, além das vantagens económicas devido ao baixo consumo, acabam com o problema da cintilação emitida pela lâmpada. Este efeito pode ser notado na presença de balastros ferromagnéticos pela sensação visual de variação de fluxo luminoso ao longo do tempo. Este efeito poderá estar associado a dores de cabeças e outros distúrbios fisiológicos. Os balastros electrónicos, que funcionam em alta-frequência (20kHz a 50 kHz), regeneram o arco eléctrico mais de 40.000 vezes por segundo, tempo curto demais para ser percebido pelo ser humano e sem implicações no cansaço visual.

Consequentemente à redução do diâmetro do tubo de T8 para T5, mantendo o tamanho do reflector, é possível aumentar a intensidade luminosa, como é apresentado pela Figura 3.5.

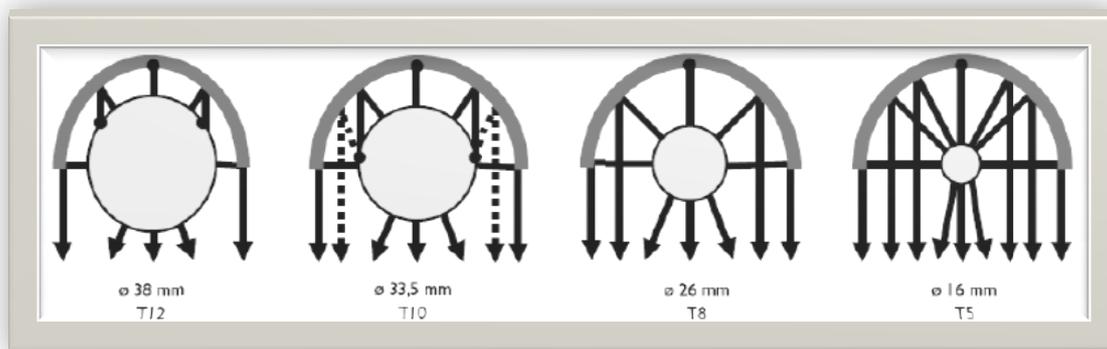


Figura 3.5 – Diferença de diâmetro das lâmpadas fluorescentes tubulares [7]

Desde as primeiras lâmpadas fluorescentes T12, por volta de 1930, contam-se até hoje, 3 “gerações” de lâmpadas e uma evolução de balastos ferromagnéticos, com um alto consumo próprio de energia, a balastos electrónicos com alta eficiência energética:

Tabela 3.1 – Data de aparecimento dos diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes [8]

ANO	TIPO LÂMPADAS	TIPO BALASTROS
1930	Fluorescentes T12	balastos indutivos ferromagnéticos
1970	Fluorescentes T8	balastos ferromagnéticos
1980	Fluorescentes T8	balastos electrónicos
1996	Fluorescentes T5	só funcionam com balastos electrónicos

### 3.2.2. LED

Os LED, sigla em inglês para Diodos Emissores de Luz (*Lighting Emmitted Diodes*), são componentes semicondutores (tecnologia utilizada em pastilhas semicondutoras, transístores e circuitos integrados), que têm a propriedade de transformar energia eléctrica em luz. Tal transformação é diferente da das lâmpadas convencionais que utilizam filamentos metálicos e descarga de gases que conduzem à emissão de radiação ultravioleta, entre outros fenómenos indesejáveis.

Nos LED, a transformação de energia eléctrica em luz é feita na matéria, sendo por isso, chamada de estado sólido (*Solid State*), durando assim longos períodos, tal como um transístor standard.

Apresentam-se algumas comparações entre diferentes fontes luz, onde é possível verificar que o LED encontra-se ainda a meio da tabela no que diz respeito à eficiência energética:

Tabela 3.2 – Eficiência de diferentes tipos de fontes de luz [9] [10]

Tipo de lâmpada	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	Índice de restituição cromática - $R_a$	Vida útil (h)
Vapor de sódio (alta pressão)	250	27.000	108	20-39	20.000
Iodetos metálicos	400	36.000	90	65	20.000
Fluorescente tubular	32	2.850	89	78	24.000
Fluorescente compacta	15	900	60	82	10.000
Vapor de Mercúrio	250	14.000	56	40-59	20.000
LED	1	45	45	70	50.000
Halogéneo	50	950	19	100	2.000
Incandescente	60	865	14	100	1.000

Os LED, apesar de se apresentarem como a tecnologia do futuro, continuam ainda com uma eficiência inferior à grande maioria das soluções possíveis, destacando-se no mercado não pela sua eficiência mas sim pelo tempo superior de vida e reduzidas dimensões.

### 3.2.3. Sistema ADASY

O sistema ADASY (Active Day Lighting System - Figura 3.6) [11], pouco conhecido e raramente implementado, baseia-se na ideia de transmitir controladamente a luz solar para iluminar o interior dos edifícios.

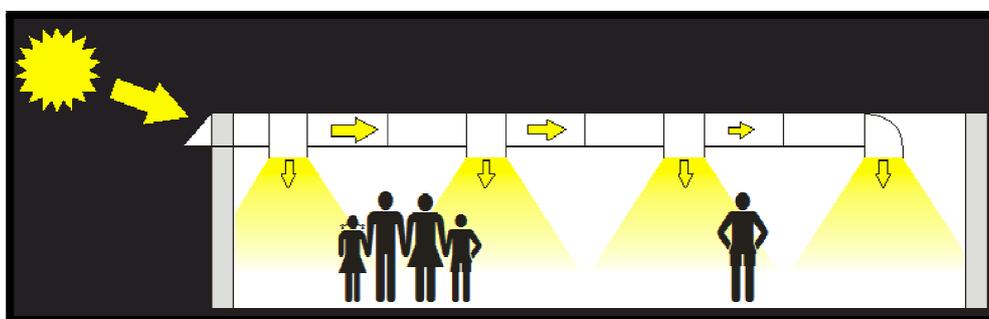


Figura 3.6 – Princípio de funcionamento do sistema ADASY [11]

Trata-se de um sistema composto por um guia de luz que permite a sua transmissão mediante superfícies espelhadas em prata, interligado a um coletor no exterior do edifício que permite a captação otimizada de luz solar e um aparelho de iluminação no interior que controla o nível de intensidade luminosa a disponibilizar no espaço.

Este aparelho de iluminação é composto por um filme electro-crómico que permite uma variação do grau de transparência e lâmpadas fluorescentes tubulares laterais (do tipo T5) que asseguram a iluminação na ausência de luz natural.

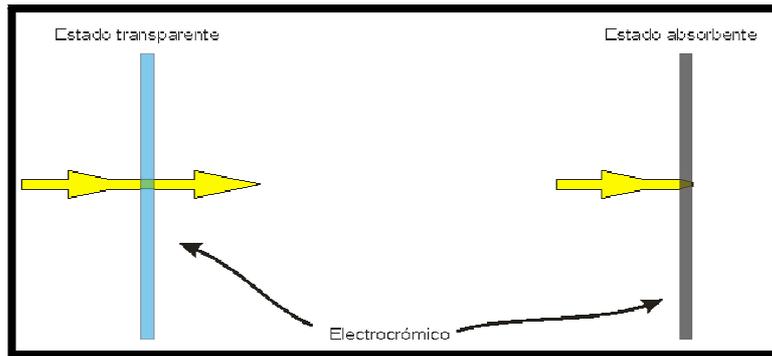


Figura 3.7 – Filme electro-crómico [11]

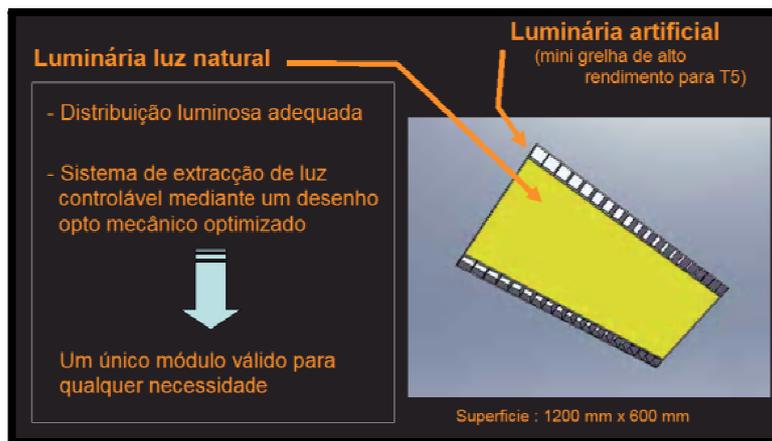


Figura 3.8 – Aparelho de iluminação ADASY [11]

### 3.2.4. Sistemas de controlo de iluminação

Os sistemas de controlo de iluminação e regulação de fluxo luminoso contribuem para a eficácia energética da iluminação, uma vez que permitem configurações que evitam o funcionamento das fontes de luz quando não são necessárias e a regulação da energia consumida para os valores mínimos requeridos para cada tarefa a realizar no interior do edifício.

A solução corrente de sistemas de regulação de fluxo é a da tecnologia DALI (Digital Addressable Lighting Interface - IEC 62386), fundamentalmente devido à sua adaptabilidade ao espaço, instalação e simplicidade de controlo. As funcionalidades inerentes à tecnologia DALI, permitem o uso de ferramentas de software para controlo automático ou semi-automático da iluminação, incluindo a integração de sensores de luminosidade, detectores de presença e mesmo luminárias com módulos de emergência.

Usufruindo da rede de dados existente num edifício, é possível efectuar a gestão dos módulos DALI distribuídos pelos vários pisos e a interligação pode ser feita em protocolo TCP/IP.

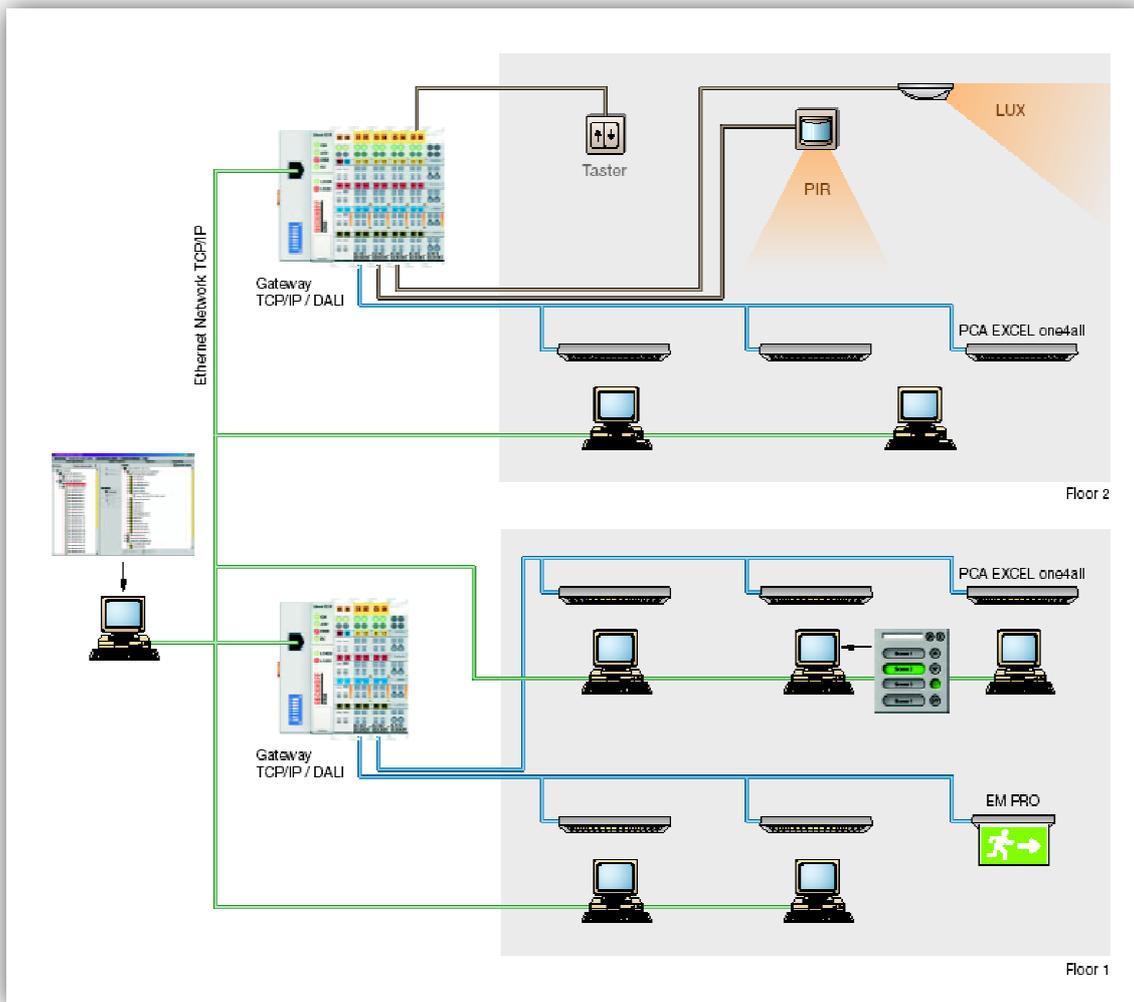


Figura 3.9 – Interligação e gestão de sistemas DALI [12]

O software não é apenas uma plataforma de gestão com uma arquitectura inovadora uma vez que permite operar a instalação numa perspectiva global. Os comandos de gestão são executados em tempo real para diferentes pontos físicos, quer através de regras horárias quer da intervenção humana. A integração em TCP/IP permite uma rápida transferência de dados e, por exemplo, intervir no piso 0 é igual a verificar o estado das luminárias de emergência do piso 8. A gestão via Internet é igualmente possível, permitindo a manutenção remota da instalação.

A gestão centralizada é particularmente útil na análise funcional de um edifício. O estado funcional das lâmpadas, balastros, acumuladores das luminárias de emergência, pode facilmente ser obtido a partir de qualquer ponto do edifício, em tempo real, por alertas, ou numa lista das várias ocorrências, incluindo avarias. Esta situação permite uma manutenção mais cuidada ao sistema de iluminação do edifício.

O sistema está centralizado num servidor que desempenha as tarefas solicitadas pelos utilizadores. Alterar o número de luminárias que estão associadas ao interruptor da sala de reuniões, por exemplo, deixa de requerer alterações eléctricas e pode ser feito apenas em software.

Na gestão central é possível aceder aos consumos energéticos por zona. Esta informação é particularmente útil na avaliação do consumo energético.

### 3.3. Iluminação em edifícios de escritórios

A legislação portuguesa não indica qual a potência eléctrica máxima a utilizar nos sistemas de iluminação de um edifício, nem mesmo qual o valor máximo de energia que poderá ser consumido para esse fim. Por essa razão, pretende-se neste trabalho calcular os valores mínimos de potência eléctrica necessária aos sistemas de iluminação de um edifício de serviços cumprindo os valores médios de iluminância recomendados pela norma europeia EN 12464-1.

Um típico edifício de serviços será composto por um estacionamento automóvel nos pisos enterrados, áreas técnicas, recepção ou hall de entrada, postos de trabalho em “open space”, gabinetes fechados, salas de reunião, zonas de circulação e instalações sanitárias.

De acordo com a EN 12464-1, considera-se que devam ser cumpridos os seguintes requisitos:

Tabela 3.3 – Directivas apresentadas na EN 12464-1

Zona	$E_m$ (lux)	UGR	$R_a$
<b>Área técnica</b>	300	25	80
<b>Arquivo</b>	200	25	80
<b>Circulação de pessoas</b>	100	28	40
<b>Escadas</b>	150	25	40
<b>Estacionamento automóvel</b>	75	25	20
<b>Circulação estacionamento automóvel</b>	150	28	40
<b>Rampas de acesso estacionamento automóvel</b>	300	25	20
<b>Gabinetes</b>	500	19	80
<b>Hall entrada</b>	300	22	80
<b>Instalações Sanitárias</b>	200	25	80
<b>Open Space</b>	500	18	80

De modo a simular situações ideais de cumprimento da norma apresentada, foi utilizado o programa de simulação Dialux para calcular o número de aparelhos de iluminação necessários em cada uma das zonas em estudo. O resultado é apresentado nos capítulos seguintes.

O software Dialux é um dos muitos softwares existentes para cálculo luminotécnico e tem ganho grande notoriedade por ser de utilização gratuita, disponível na internet ([www.dialux.pt](http://www.dialux.pt)) e contar já com inúmeras parcerias de fabricantes de iluminação. Estas parcerias permitem a criação de bases de dados com a modelizações de aparelhos de iluminação que ajudam na simulação dos ambientes reais a iluminar. A DIAL GmbH, empresa proprietária do software, não está ligada a qualquer fabricante de iluminação e dedica-se à realização de seminários e workshops de iluminação, entre outras actividades relacionadas com o tema da iluminação., o que lhe tem volvido bastante credibilidade nesta área de actuação.

Ao modelizar os espaços utilizando o Dialux é necessário a inserção dos seguintes elementos:

- Planta do espaço;
- Pé direito do espaço;
- Índices de reflexão do tecto, paredes e pavimento;
- Marca e modelo dos aparelhos de iluminação;
- Disposição dos aparelhos de iluminação no espaço.

O índice de reflexão é a relação percentual entre o fluxo luminoso reflectido por um material e o fluxo incidente. A Tabela 3.4 apresenta valores médios para alguns materiais e cores.

Tabela 3.4 – Índices de reflexão de alguns materiais e cores [13]

Material ou cor	Valor	Material ou cor	Valor
Azul claro	30 - 55	Madeira clara	30 - 50
Azul escuro	10 - 25	Madeira escura	10 - 25
Azulejo branco	60 - 75	Mármore claro	60 - 70
Amarelo	65 - 75	Marrom	10 - 25
Branco	70 - 85	Ocre	30 - 50
Cimento claro	35 - 50	Preto	5
Concreto claro	30 - 40	Rocha	60
Concreto escuro	15 - 25	Rosa	45 - 60
Cinza claro	45 - 65	Tijolo claro	20 - 30
Cinza escuro	10 - 20	Tijolo escuro	10 - 15
Cinza médio	25 - 40	Verde claro	30 - 55
Esmalte branco	65 - 75	Verde escuro	10 - 25
Gesso	70 - 80	Vermelho claro	25 - 35
Granito	15 - 25	Vermelho escuro	10 - 20
Laranja	25 - 35	Vidro transparente	5 - 10

Para realizar a avaliação energética (realizada pelo software Dialux cumprindo a norma DIN 18599) torna-se ainda necessário fornecer as seguintes informações:

- Método de controlo utilizado (manual, detector de movimento, detector de luminosidade)
- Horas de utilização no período diurno
- Horas de utilização no período nocturno
- Tipo de utilização do espaço

A regulamentação portuguesa não prevê qualquer metodologia de cálculo de avaliação de energia específica para sistemas de iluminação. A utilização da norma Alemã DIN 18599 é normal em *software* de simulação dinâmica de edifícios (na vertente energética) e neste estudo servirá de padrão a utilizar em todas as simulações que permite comparar os vários valores obtidos (em função do método de controlo utilizado), não sendo utilizada para o cálculo do valor absoluto exacto de energia consumida.

### 3.3.1. Áreas Técnicas

As áreas técnicas devem garantir níveis de iluminação adequados à correcta manutenção e reparação dos equipamentos instalados, sem descuido da segurança inerente à maquinaria (peças móveis, pontas afiadas, etc.). As áreas técnicas são visitadas por pessoas com competência para tal e estão interditas ao público em geral.

Nestas simulações serão sempre utilizadas lâmpadas com índices de restituição cromática iguais ou superiores a 80, valor facilmente atingível com as lâmpadas de utilização comum hoje em dia.

É usual, tal como para o estacionamento, surgirem, na fase de desenvolvimento dos projectos de iluminação, dúvidas relativas à melhor orientação para os aparelhos de iluminação, perpendiculares ou paralelos à sala (válido apenas para salas não quadradas), assim como à quantidade de lâmpadas a prever em cada aparelho (uma ou duas lâmpadas). Esta simulação abarca as várias situações possíveis para várias dimensões diferentes de espaços.

Consideraram-se 8 áreas técnicas de dimensões distintas, com as seguintes características:

Tabela 3.5 – Dimensões das áreas técnicas a simular

Área Técnica	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
	Tecto	Paredes	Pavimento	
9 m <sup>2</sup> (3 m x 3 m)	0,70	0,50	0,50	3,0
16 m <sup>2</sup> (4 m x 4 m)				
25 m <sup>2</sup> (5 m x 5 m)				
50 m <sup>2</sup> (10 m x 5 m)				
75 m <sup>2</sup> (15 m x 5 m)				
100 m <sup>2</sup> (10 m x 10 m)				
200 m <sup>2</sup> (20 m x 10 m)				
400 m <sup>2</sup> (20 m x 20 m)				

Pretende-se com esta escolha abranger o maior número de disposições possíveis, servindo de base a análises a realizar a outras salas técnicas que, apesar de poderem apresentar medidas diferentes, poderão ser decompostas em várias salas técnicas “tipo” com as dimensões consideradas na Tabela 3.5.



Figura 3.10 – Área Técnica 20x20 m (imagem virtual)



Figura 3.11 – Área Técnica 15x5 m (imagem virtual)

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos de iluminação estanques equipados com balastro electrónico e uma ou duas lâmpadas fluorescentes tubulares T5 (iguais). Foram consideradas duas potências de lâmpadas diferentes na medida em que alguns dos espaços de dimensões mais reduzidas apresentaram melhores resultados nas simulações com aparelhos de iluminação mais pequenos. Os tipos de lâmpadas utilizados foram:

- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 28 W, 2.600 lumen (lâmpada mais balastro com 31 W);
- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 54 W, 4.450 lumen (lâmpada mais balastro com 59 W);
- 2x Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 28 W, 5.200 lumen (lâmpadas mais balastro com 64 W)
- 2x Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 54 W, 8.900 lumen (lâmpadas mais balastro com 118 W)
- Instalação saliente justaposta ao tecto (idêntica à encontrada no edifício).

A simulação prevê a colocação uniforme dos aparelhos de iluminação no tecto de cada espaço (exemplo da área técnica de 100 m<sup>2</sup> na Figura 3.12) e considera como normal a instalação dos aparelhos perpendiculares ao comprimento maior da sala (Figura 3.13) e a designação “rodadas a 90°” para a instalação dos aparelhos de iluminação no sentido do maior comprimento da sala (Figura 3.14).

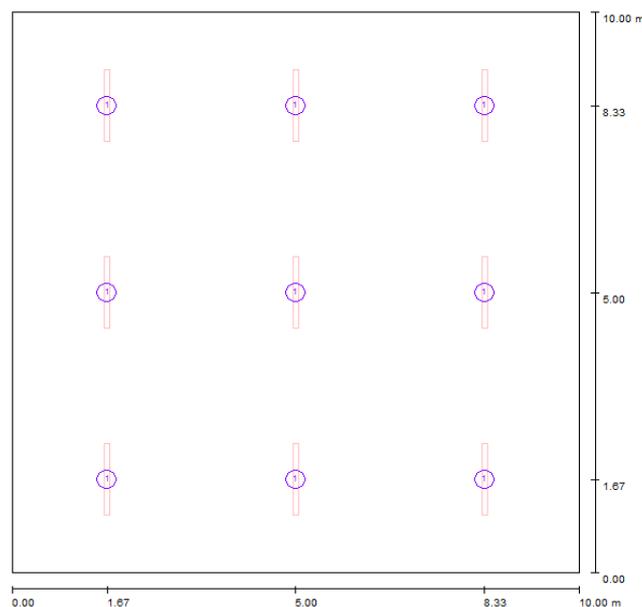


Figura 3.12 – Localização da iluminação da área técnica 10x10 m

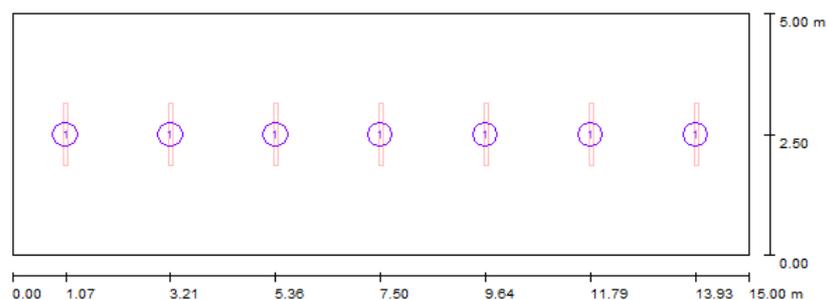


Figura 3.13 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m

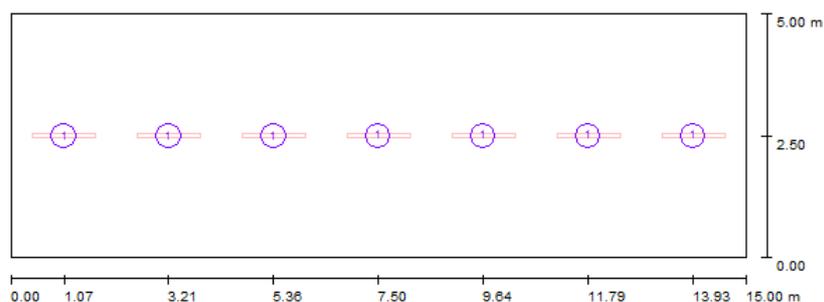


Figura 3.14 – Localização da iluminação da área técnica 15x5 m com luminárias a 90°

Os valores obtidos foram (à cota 0,8 m a partir solo):

Tabela 3.6 – Resultados da simulação de iluminação das áreas técnicas

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 9 m <sup>2</sup>	367	0,63	13	10,33	3 (31 W)
Área de 16 m <sup>2</sup>	329	0,64	15	7,75	4 (31 W)
Área de 25 m <sup>2</sup>	310	0,42	18	7,08	3 (59 W)
Área de 50 m <sup>2</sup>	297	0,41	20	5,90	5 (59 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	291	0,41	20	5,51	7 (59 W)
Área de 100 m <sup>2</sup>	298	0,46	19	5,31	9 (59 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	319	0,49	21	5,31	18 (59 W)
Área de 400 m <sup>2</sup>	291	0,48	21	4,43	30 (59 W)

Tabela 3.7 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 9 m <sup>2</sup>	388	0,63	< 10	13,11	1 (118 W)
Área de 16 m <sup>2</sup>	293	0,53	19	8,00	2 (64 W)
Área de 25 m <sup>2</sup>	324	0,44	20	7,68	3 (64 W)
Área de 50 m <sup>2</sup>	346	0,47	24	7,08	3 (118 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	324	0,41	24	6,29	4 (118 W)
Área de 100 m <sup>2</sup>	388	0,43	23	7,08	6 (118 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	354	0,42	24	5,90	10 (118 W)
Área de 400 m <sup>2</sup>	307	0,42	25	4,72	16 (118 W)

Tabela 3.8 – Resultados da simulação das áreas técnicas com as luminárias rodadas 90°

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 50 m <sup>2</sup>	299	0,35	20	5,90	5 (59 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	292	0,35	21	5,51	7 (59 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	320	0,48	19	5,31	18 (59 W)

Tabela 3.9 – Resultados da simulação das áreas técnicas com 2 lâmpadas rodadas a 90°

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
Área de 50 m <sup>2</sup>	342	0,44	21	7,08	3 (118 W)
Área de 75 m <sup>2</sup>	318	0,43	21	6,29	4 (118 W)
Área de 200 m <sup>2</sup>	350	0,44	21	5,90	10 (118 W)

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....52 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....52 h
- Tipo de utilização .....zona técnica

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.10 – Consumo energético anual da iluminação das áreas técnicas

Zona	1 lâmpada (kWh/ano)	2 lâmpadas (kWh/ano)
Área de 9 m <sup>2</sup>	9,67	12,27
Área de 16 m <sup>2</sup>	12,90	13,31
Área de 25 m <sup>2</sup>	18,41	19,97
Área de 50 m <sup>2</sup>	30,68	36,82
Área de 75 m <sup>2</sup>	42,95	49,09
Área de 100 m <sup>2</sup>	55,22	73,63
Área de 200 m <sup>2</sup>	110,45	122,72
Área de 400 m <sup>2</sup>	184,08	196,35

### 3.3.1.1. Análise da simulação das áreas técnicas

A orientação das lâmpadas neste espaço não apresenta diferenças significativas de valores. Contudo, conclui-se que uma orientação perpendicular ao maior comprimento da sala oferece melhores valores de uniformidade ( $E_{min}/E_m$ ).

Os aparelhos de iluminação compostos por 2 lâmpadas permitem reduções significativas no custo inicial da instalação, uma vez que o número de aparelhos é diminuído, algumas vezes, para menos de metade. Contudo, esta solução torna a “unidade” de potência maior, uma vez que a supressão dos aparelhos de iluminação, retira da sala, de uma só vez, os lumens correspondentes a duas lâmpadas. Desta forma, não se obtém uma optimização máxima no número de aparelhos necessários ao cumprimento da iluminância previstos na norma, o que se reflecte num incremento anual de energia, em alguns casos, considerável (33% no caso da área técnica de 100 m<sup>2</sup>), não pela utilização de equipamento menos eficiente, mas sim pela passagem de 298 para 388 lux de iluminância.

Tratando-se de áreas acedidas apenas por utilizadores especializados, a aplicação de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) poderia comprometer a segurança caso a iluminação se apagasse automaticamente durante uma acção de manutenção. Por essa razão, considera-se neste estudo que um grande placard a lembrar que a luz deverá ser apagada quando a sala não está a ser utilizada será preferível.

O projecto de iluminação das áreas técnicas de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada para áreas inferiores a 16 m<sup>2</sup> de 11 W/m<sup>2</sup>
- Potência instalada para áreas superiores a 16 m<sup>2</sup> de 7 W/m<sup>2</sup>
- Orientação dos aparelhos perpendiculares ao maior comprimento da sala

### 3.3.1.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontram-se as seguintes áreas técnicas com as respectivas potências eléctricas dos sistemas de iluminação (lâmpada mais balastro):

- Piso -2
  - o Área técnica -2.03 .....6,3 m<sup>2</sup> (6,28 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.04 .....8,1 m<sup>2</sup> (4,89 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.09 .....18,9 m<sup>2</sup> (4,19 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.13 .....9,8 m<sup>2</sup> (4,04 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica -2.17 .....28,4 m<sup>2</sup> (5,58 W/m<sup>2</sup>)
- Piso 0
  - o Área técnica 0.04 .....6,9 m<sup>2</sup> (5,74 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 0.07 .....10,1 m<sup>2</sup> (7,84 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 0.08 .....9,8 m<sup>2</sup> (4,04 W/m<sup>2</sup>)
- Piso 1
  - o Área técnica 1.01 .....4,8 m<sup>2</sup> (8,25 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 1.02 .....6,9 m<sup>2</sup> (5,74 W/m<sup>2</sup>)
- Piso 6
  - o Área técnica 6.01 .....25,7 m<sup>2</sup> (6,16 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 6.02 .....6,2 m<sup>2</sup> (6,39 W/m<sup>2</sup>)
  - o Área técnica 6.03 .....23,1 m<sup>2</sup> (6,86 W/m<sup>2</sup>)



Figura 3.15 – Área Técnica 2.09 e 2.17 do edifício em estudo

O projecto da especialidade de instalações eléctricas do edifício utiliza como base um objectivo de iluminância de 150 lux (abaixo do recomendado na norma) para as áreas técnicas e essa é a razão que leva a que a potência por m<sup>2</sup> esteja abaixo dos valores a tomar como regra no capítulo de simulação.

Em termos de eficiência energética não são encontradas opções que melhorem a utilização racional de energia, uma vez que os valores de potência por m<sup>2</sup> já se encontram abaixo do limite simulado, ou seja, a iluminação das áreas técnicas do edifício em estudo está já otimizada e é eficiente em termos energéticos, apesar de se tornar pouco eficaz de acordo com a norma EN-12464-1 devido à baixa iluminância existente.

### 3.3.2. Arquivo

As áreas de arquivo deverão garantir níveis de iluminação adequados ao fácil reconhecimento de objectos e cores, assim como à fácil leitura das etiquetas.

A questão que se coloca no projecto eficiente de iluminação numa zona de arquivo, para além da potência por área, prende-se com a disposição dos aparelhos de iluminação em relação às estantes ou prateleiras de arrumação (Figura 3.17 e Figura 3.18).

Simulou-se uma sala de arquivo rectangular com 17 m de comprimento e 8,5 m de largura, com as seguintes características:

Tabela 3.11 – Índices de reflexão da sala de arquivo

Zona	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
	Tecto	Paredes	Pavimento	
Arquivo	0,73	0,50	0,50	3,0



Figura 3.16 – Arquivo (imagem virtual)

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos de iluminação estanque equipados com balastro electrónico e uma lâmpada fluorescente tubular T5 do seguinte tipo:

- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 54 W, 4.450 lumen (lâmpada mais balastro com 59 W)
- Instalação saliente justaposta ao tecto

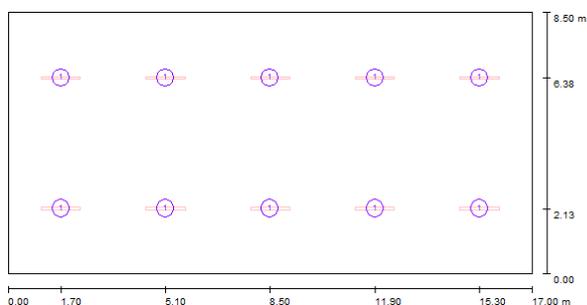


Figura 3.17 – Aparelhos de iluminação paralelos às prateleiras de arrumação do arquivo

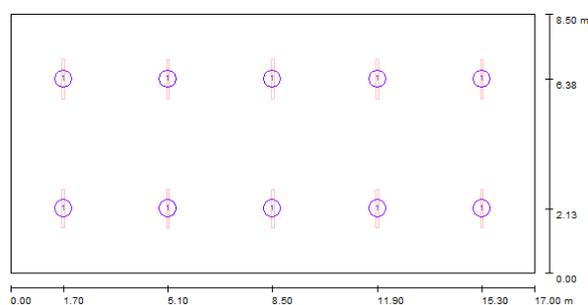


Figura 3.18 – Aparelhos de iluminação perpendiculares às prateleiras de arrumação do arquivo

Os valores obtidos foram (à cota 0,8 m acima do solo):

Tabela 3.12 – Resultados simulação de iluminação na sala de arquivo

Zona (disposição da iluminação)	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Arquivo (paralelo)</b>	213	0,44	19	4,08	10
<b>Arquivo (perpendicular)</b>	209	0,46	21		

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....depósito

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.13 – Consumo energético anual da iluminação da sala de arquivo

Zona	Energia (kWh/ano)
<b>Arquivo</b>	111,95

### 3.3.2.1. Análise da simulação dos arquivos

A orientação dos aparelhos de iluminação relativamente às estantes não apresenta diferenças significativas de valor. Apesar de a instalação paralela às prateleiras apresentar valores inferiores de índice de brilho máximo, a solução da instalação perpendicular apresenta uma melhor uniformidade.

A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) numa zona destas seria pouco funcional, pois ocorre muitas vezes o caso de um utilizador estar, praticamente imóvel, a ler as etiquetas de cada um dos elementos do arquivo, levando a que a iluminação se apagasse sozinha. Por essa razão, considera-se neste estudo que um grande placard a lembrar que a luz deverá ser apagada quando a sala não está a ser utilizada será preferível.

O projecto de iluminação dos arquivos de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de  $5 \text{ W/m}^2$

### 3.3.2.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo o arquivo encontra-se numa zona inicialmente prevista para sala de informática. O arquivo apresenta uma área de  $113 \text{ m}^2$  (Figura 3.19) e é iluminado com 12 aparelhos de iluminação estanques, salientes no tecto, cada um dos quais com duas lâmpadas de 36 W (potência do sistema lâmpada mais balastro de  $79,2 \text{ W}$ ) atingindo o valor de  $8,41 \text{ W/m}^2$ .



Figura 3.19 – Planta da sala de arquivo do edifício em estudo

Neste caso, o valor de potência instalada é próximo do dobro necessário. Isto deve-se ao facto de a sala estar a ter uma utilização diferente da que estava inicialmente prevista. Poder-se-ia reduzir para cerca de metade a potência instalada nesta sala, retirando (por exemplo) uma das lâmpadas a cada um dos aparelhos de iluminação instalados (caso o tipo de electrificação dos mesmos o permita). Desta forma reduzir-se-ia o consumo para cerca de metade.

### 3.3.3. Átrio de Entrada

O átrio de entrada serve de primeira impressão aos utilizadores do edifício. Esta primeira impressão toma uma importância acrescida quando os edifícios de serviços são utilizados tanto pelos colaboradores da empresa como pelos clientes. Deverá assim ser um espaço confortável e aspecto cuidado. Servirá também de saída de emergência em caso de catástrofe.

Esta zona foi alvo de uma simulação, onde se considera um átrio com 82,81 m<sup>2</sup> (9,1 x 9,1 m) e 6 m de pé direito, vulgarmente conhecido por “duplo pé direito” (Figura 3.20).

Não tendo sido possível medir os valores de reflexão reais nas várias superfícies do edifício em estudo, foram utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, os seguintes valores:

- Tecto .....0,73
- Paredes.....0,61
- Pavimento .....0,61



Figura 3.20 – Átrio de Entrada (imagem virtual)

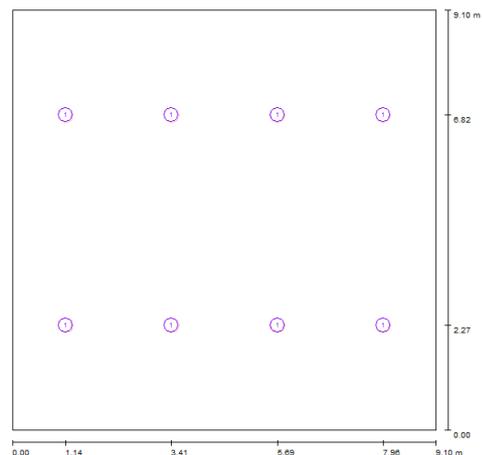


Figura 3.21 – Localização das luminárias no átrio de entrada

Os equipamentos luminosos utilizados foram distribuídos de acordo com a Figura 3.21 prevendo-se o seguinte:

- Aparelho de iluminação do tipo campânula, saliente
- Lâmpada de iodetos metálicos de 70 W, 6.400 lumen (lâmpadas mais balastro com 88 W)

Os valores obtidos foram:

Tabela 3.14 – Resultados da simulação de iluminação no átrio

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Átrio</b>	324	0,84	< 10	8,50	8

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....saguão de guichés

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.15 – Consumo energético anual da iluminação no átrio

Zona	Situação normal (sem janelas) (kWh/ano)	Com luz natural (regulação manual) (kWh/ano)	Com luz natural (regulação automática) (kWh/ano)
<b>Átrio</b>	1.151,92	625,20	403,42

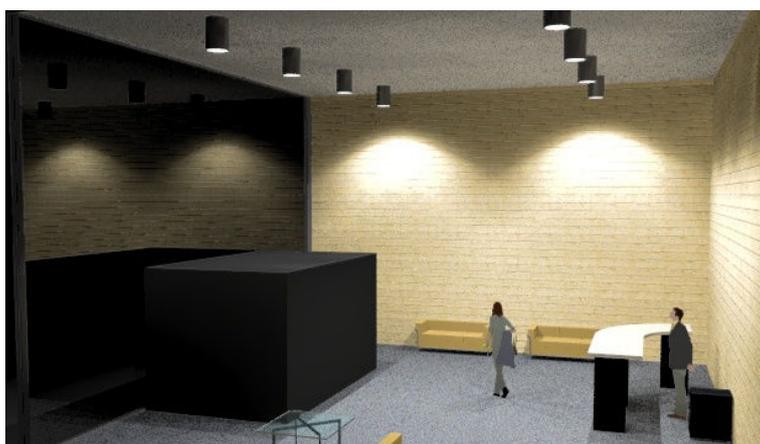


Figura 3.22 – Átrio de entrada com luz natural (imagem virtual)

A Tabela 3.15 apresenta valores que consideram a luz natural que se prevê que entre no átrio do edifício através de uma das fachadas em vidro, representada na Figura 3.22 como uma superfície preta espelhada do lado esquerdo da referida figura.

### 3.3.3.1. Análise da simulação do átrio

A iluminação dos átrios de entrada dos edifícios deverá ser funcional e confortável. Consegue-se com a escolha adequada de aparelhos de iluminação, assegurar um bom nível de iluminação no balcão de trabalho, assim como óptimos valores de uniformidade tanto no referido balcão como no solo (área visível às pessoas em circulação).

O facto de o átrio permitir aproveitar luz natural (fachada envidraçada para o exterior visível como uma superfície espelhada na Figura 3.22), reduz o consumo anual de energia eléctrica necessária para a iluminação em quase 45%, aumentando este valor para 65% caso a iluminação artificial seja dotada de controlo automático que a desligue (ou reduza o seu fluxo luminoso) durante as horas de disponibilidade de iluminação natural.

O projecto de iluminação do átrio de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de  $9 \text{ W/m}^2$
- Solução de controlo de iluminação automática mediante luz natural existente no espaço

### 3.3.3.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontra-se uma entrada rodeada de um enorme envidraçado que disponibiliza uma considerável quantidade de luz natural. A área do átrio é de  $90,7 \text{ m}^2$  e foi iluminada com 21 aparelhos dotados de 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 42 W (Figura 3.23), chegando-se a um valor de  $21,4 \text{ W/m}^2$  (o balastro consome 10% do valor total de potência das lâmpadas).



Figura 3.23 – Planta do átrio de entrada no edifício em estudo

Encontra-se aqui uma potência instalada superior em 2 vezes face ao valor simulado, o que oferece uma boa oportunidade de melhoria. A redução do consumo passa por retirar uma das lâmpadas a cada um dos aparelhos de iluminação (caso a electrificação dos mesmos o permita), reduzindo assim para metade o consumo de energia eléctrica.

O edifício está dotado de um sistema de medição de luz natural na cobertura que permite o controlo da iluminação de forma automática, estando assim garantido o pressuposto de redução máxima de energia consumida.

### 3.3.4. Circulações

A grande maioria dos edifícios apresenta duas situações distintas para as circulações. Circulações em linha rectas, ou circulações com algumas curvas e recantos. Por essa razão, foram simuladas duas situações distintas tendo-se variado, para cada uma delas, a altura dos apliques de parede utilizados na iluminação (1,8 m, 2,0 m e 2,2 m), variável que surge em fase de projecto diversas vezes sem ser conhecida uma regra que a ajude a definir. Os índices de reflexão e pé direito das circulações em estudo são:

Tabela 3.16 – Índices de reflexão das circulações simuladas

Tipo de circulação	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
	Tecto	Paredes	Pavimento	
Circulação não recta	0,70	0,60	0,20	2,8
Circulação recta				

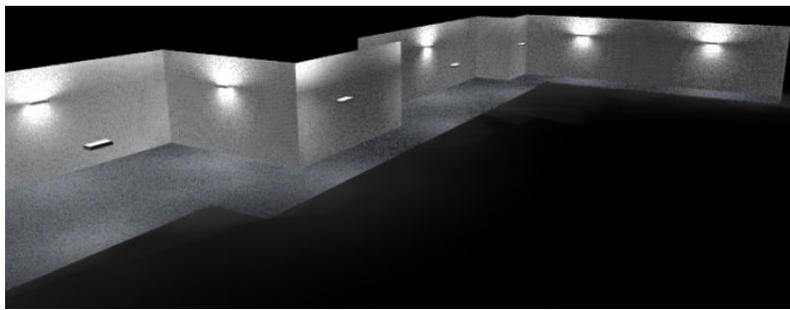


Figura 3.24 – Circulação não recta (imagem virtual)



Figura 3.25 – Circulação recta (imagem virtual)

As circulações devem garantir níveis de iluminação adequados ao reconhecimento de obstáculos e pessoas. Os aparelhos de iluminação simulados foram:

- 2x Lâmpada fluorescente compacta, com 36 W, 2.800 lumen (lâmpadas mais balastro com 75 W)
- Aparelho de iluminação do tipo aplique de parede com balastro electrónico

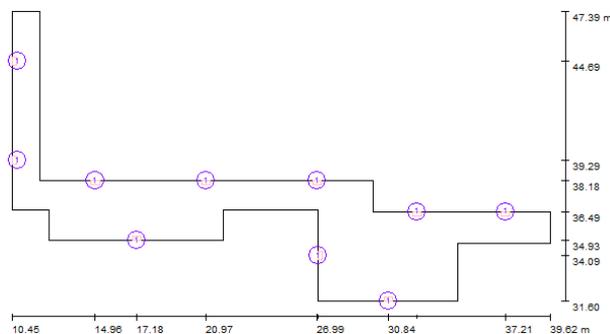


Figura 3.26 – Posição dos apliques de parede na circulação não recta

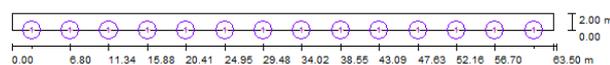


Figura 3.27 – Posição dos apliques de parede na circulação recta

Os valores obtidos foram (à cota 0,8 m acima do solo):

Tabela 3.17 – Resultados da simulação de circulação

Zona – altura do aplique	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Circulação não recta – 1,8 m</b>	126	0,45	12	7,02	10
<b>Circulação não recta – 2,0 m</b>	125	0,46	11		
<b>Circulação não recta – 2,2 m</b>	124	0,47	11		
<b>Circulação recta – 1,8 m</b>	96	0,56	< 10	8,27	14
<b>Circulação recta – 2,0 m</b>	95	0,58	< 10		
<b>Circulação recta – 2,2 m</b>	95	0,59	< 10		

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....superfície de tráfego

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.18 – Consumo energético anual da iluminação da circulação

Zona	Sem detector de presença (kWh/ano)	Com detector de presença (kWh/ano)	Redução energética
<b>Circulação não recta</b>	1.237,50	495,00	60%
<b>Circulação recta</b>	1.732,50	693,00	60%

### 3.3.4.1. Análise da simulação das circulações

A cota de instalação dos apliques de parede neste espaço não apresenta diferenças significativas de valor tornando-se mais importante para o projecto das referidas instalações compatibilizar essa variável com a altura dos utilizadores, de modo a evitar choques com aparelhos salientes nas vias de circulação.

A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) permite reduções de energia da ordem dos 60% tal como apresentado na Tabela 3.18, calculado de acordo com a Equação 3.1:

$$\text{Redução energética (\%)} = \frac{(\text{Consumo com detector} - \text{Consumo sem detector})}{\text{Consumo com detector}} \times 100$$

Equação 3.1 – Cálculo da percentagem de redução energética

O projecto de iluminação das áreas técnicas de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de 9 W/m<sup>2</sup>
- Utilizar detectores de presença

### 3.3.4.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo a zona de circulação tem a mesma configuração em todos os pisos. Esta circulação apresenta uma área de 110 m<sup>2</sup> e é iluminada com 16 aparelhos de iluminação encastrados no tecto, cada um dos quais com duas lâmpadas de 26 W, totalizando assim 8,32 W/m<sup>2</sup> (lâmpada mais balastro, com uma potência de 57,2 W).

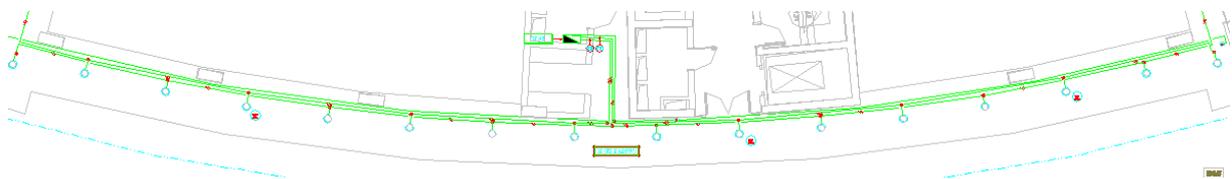


Figura 3.28 – Planta da circulação de piso do edifício em estudo

Em termos de eficiência energética não são encontradas opções que reduzam a potência instalada, uma vez que os valores de potência por m<sup>2</sup> se encontram de acordo com o limite máximo simulado. Contudo, não foram encontrados detectores de presença, os quais, caso fossem instalados, poderiam reduzir o consumo de energia em cerca de 60%.

### 3.3.5. Escadas

As escadas apresentam-se como as zonas de circulação vertical do edifício e muitas vezes os únicos caminhos de evacuação em caso de emergência, requerendo um pouco mais de iluminação devido à dificuldade acrescida de utilizar degraus. As escadas devem garantir níveis de iluminação adequados ao reconhecimento de obstáculos e pessoas.

A simulação foca uma situação típica entre dois pisos diferentes de um edifício, tendo-se considerado 3,7 m de diferença de cota entre dois patamares de pisos diferentes (Figura 3.29).

Os índices de reflexão utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, foram:

- Tecto .....0,50
- Paredes.....0,50
- Pavimento .....0,50



Figura 3.29 – Escadas (imagem virtual)

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos de iluminação estanques equipados com balastro electrónico e uma lâmpada fluorescente tubular T5 do seguinte tipo:

- Lâmpada fluorescente tubular, T5, com 28 W, 2.600 lumen (lâmpada mais balastro com 31 W)
- Instalação saliente justaposta ao tecto

A posição dos aparelhos de iluminação é de difícil representação a 2D. Prevê-se um aparelho de iluminação em cada patamar e um em cada lanço de escadas (Figura 3.29).

Os valores obtidos foram (à cota do pavimento):

Tabela 3.19 – Resultados da simulação de iluminação das escadas

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Escada</b>	188	0,76	11	6,34	1
<b>Patamar</b>	152	0,45	12	7,83	

Considerando duas escadas e dois patamares, necessários para passar de um piso para o outro, chega-se a uma potência instalada de 124 W entre cada passagem de piso a piso.

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....superfície de tráfego

Para este perfil de utilização, os valores calculados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.20 – Consumo energético anual da iluminação das escadas

Zona	Sem detector de presença (kWh/ano)	Com detector de presença (kWh/ano)	Redução energética
<b>Escadas</b>	204,60	81,84	60%

### 3.3.5.1. Análise da simulação das escadas

A iluminação das escadas deverá apresentar-se como uma solução robusta e de fácil implementação. A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença) permite reduções de energia da ordem dos 60%.

O projecto de iluminação das circulações verticais de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada de 8 W/m<sup>2</sup>
- Utilizar detectores de movimento

### 3.3.5.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontram-se, na interligação entre pisos, 3 aparelhos de iluminação do tipo aplique de parede com lâmpadas de 18 W. Por cada piso existe uma potência instalada (lâmpada + balastro) de 59,4 W.

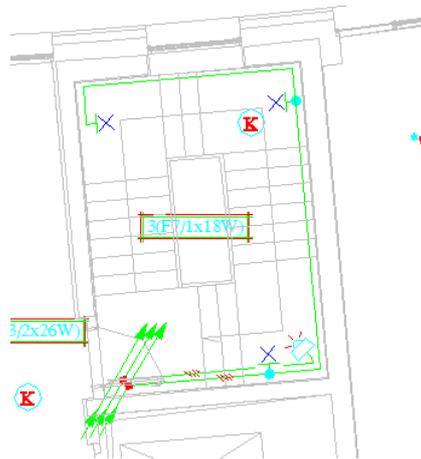


Figura 3.30 – Planta das escadas do edifício em estudo

Em termos de eficiência energética não são encontradas opções que reduzam a potência instalada, uma vez que os valores de potência por metro quadrado se encontram abaixo do limite máximo simulado. O edifício foi já dotado de detectores de presença e as escadas foram colocadas numa zona do edifício que permite a existência de janelas, pelo que a solução é ideal para a finalidade prevista.

### 3.3.6. Estacionamento

O estacionamento deverá garantir níveis de iluminação adequados à segurança do trânsito de veículos e pessoas. Convém salientar que os automóveis deverão circular com os faróis acesos e que a iluminação do edifício não serve para os substituir. O índice de restituição cromática das lâmpadas não é muito exigente (cerca de 20), mas deverá permitir o reconhecimento das diferentes cores de segurança utilizadas nas regras de trânsito, tais como o vermelho e o azul.

Tomando como base o edifício real em estudo, simula-se parte do estacionamento, realizando duas subdivisões: zona de estacionamento e circulação (Figura 3.31) e zona de rampa (Figura 3.35). Considera-se um parque de estacionamento com as seguintes características:

- Espaço para 10 lugares de estacionamento (5 de cada lado e uma faixa de circulação de 6 m);
- área total: 392 m<sup>2</sup> (24,5 m x 16 m)
- Pé direito de 2,5 m;

Não tendo sido possível medir os valores de reflexão reais nas várias superfícies do edifício em estudo, foram utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, os seguintes valores:

- Tecto .....0,60
- Paredes.....0,50
- Pavimento .....0,30

Os equipamentos luminosos utilizados foram aparelhos estanques, equipados com balastro electrónico e lâmpada fluorescente tubular T5, com 54 W, 4.450 lumen (potência do conjunto lâmpada mais balastro de 59 W). A instalação simulada é idêntica à encontrada no edifício, ou seja, instalação saliente, justaposta ao tecto.

Na fase de desenvolvimento dos projectos de iluminação de edifício, muitas vezes surge a dúvida de qual será a melhor orientação para os aparelhos de iluminação: perpendiculares à circulação automóvel ou paralelos à circulação automóvel? Esta simulação abarca ambas as situações de modo a permitir a sua comparação. A distribuição e orientação das luminárias em cada uma das zonas está representadas nas figuras seguintes (Figura 3.33, Figura 3.34, Figura 3.36, Figura 3.37).

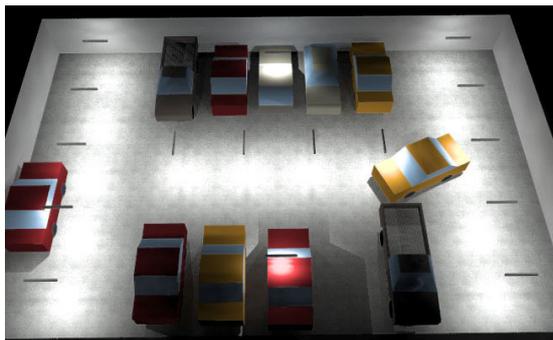


Figura 3.31 – Estacionamento automóvel (imagem virtual)

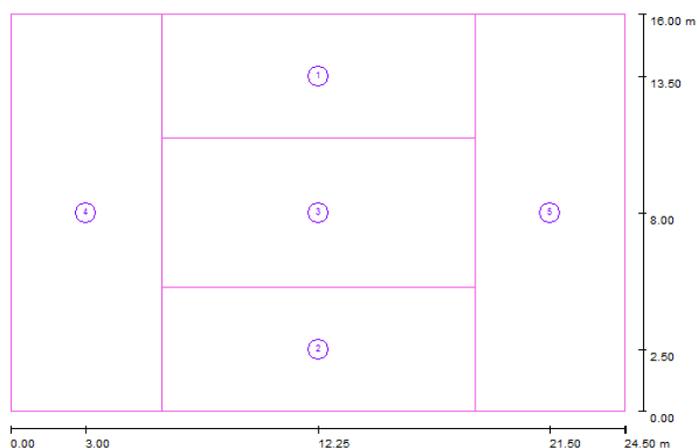


Figura 3.32 – Zonas de cálculo de estacionamento

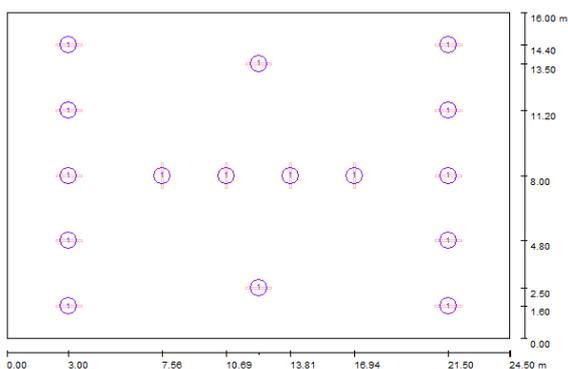


Figura 3.33 – Localização das luminárias no estacionamento

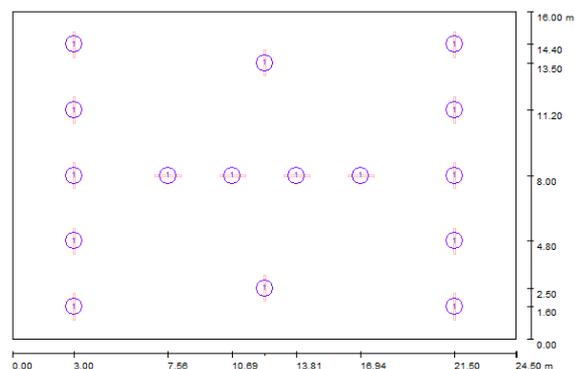


Figura 3.34 – Luminárias do estacionamento a 90°

No parque foram consideradas 2 zonas de estacionamento e 3 zonas de circulação como indicado na Figura 3.32, em que:

- Zona 1 e 2.....Estacionamento
- Zona 3, 4 e 5.....Circulação



Figura 3.35 – Rampa (imagem virtual)

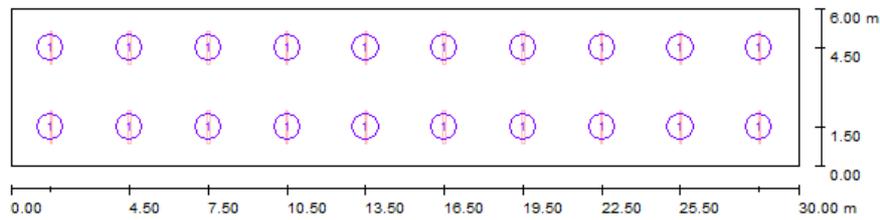


Figura 3.36 – Localização das Luminárias na rampa

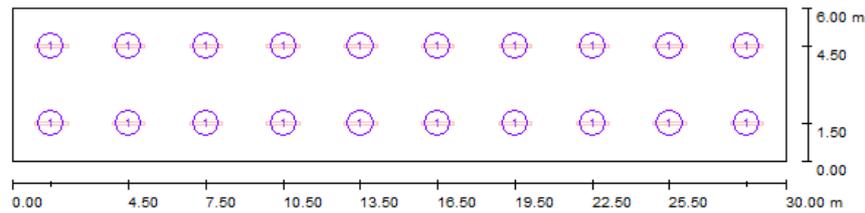


Figura 3.37 – Localização das luminárias a 90° na Rampa

À cota do pavimento, os valores obtidos foram:

Tabela 3.21 – Resultados da simulação do estacionamento

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Estacionamento 1</b>	79	0,41	23	0,94	1
<b>Estacionamento 2</b>	79	0,41	23	0,94	1
<b>Circulação 1</b>	163	0,48	25	3,15	4
<b>Circulação 2</b>	158	0,36	24	3,07	5
<b>Circulação 3</b>	158	0,36	23	3,07	5
<b>Rampa</b>	311	0,51	24	6,56	20
<b>Estacionamento 1 – 90°</b>	77	0,42	25	0,94	1
<b>Estacionamento 2 – 90°</b>	77	0,42	25	0,94	1
<b>Circulação 1 – 90°</b>	165	0,44	25	3,15	4
<b>Circulação 2 – 90°</b>	158	0,31	25	3,07	5
<b>Circulação 3 – 90°</b>	158	0,31	25	3,07	5
<b>Rampa – 90°</b>	311	0,50	23	6,56	20

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2.543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....estacionamento comercial

Para este perfil os valores calculados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.22 – Consumo energético anual da iluminação do estacionamento

Zona	Energia anual (kWh)
<b>Estacionamento sem detector de movimento</b>	1.363
<b>Rampa sem detector de movimento</b>	1.704
<b>Estacionamento com detector de movimento</b>	253
<b>Rampa com detector de movimento</b>	316

### 3.3.6.1. Análise da simulação do estacionamento

A orientação perpendicular à circulação automóvel (Figura 3.33) apresenta melhores valores de uniformidade ( $E_{m,min}/E_{m,med}$ ), contudo as diferenças não são significativas, mostrando que num espaço destes a orientação dos aparelhos não tem grande importância.

A utilização de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de movimento) permite reduções de energia da ordem dos 80%, traduzindo-se, nesta simulação, numa poupança de cerca de 111 kWh/ano por cada lugar de estacionamento. Estes valores baseiam-se em perfis de utilização obtidos por uma observação sumária da utilização do edifício em estudo. Na realidade existem vários factores que poderão condicionar estes valores, tais como a regulação do detector (tempo até voltar a apagar a iluminação), localização dos detectores, número de detectores e a efectiva utilização do parque de estacionamento durante o ano. Estes condicionalismos da configuração dos detectores são válidos para todos os espaços em estudo neste trabalho.

Em termos teóricos, e tendo como objectivo o projecto de iluminação energeticamente eficiente de um estacionamento de um edifício de serviços deverão seguir-se as seguintes regras:

- Potência instalada na zona de estacionamento de  $1 \text{ W/m}^2$
- Potência instalada na zona de circulação de  $3 \text{ W/m}^2$
- Potência instalada nas rampas de circulação  $7 \text{ W/m}^2$
- Orientação dos aparelhos perpendiculares à circulação automóvel
- Utilização recomendada de detectores de presença em todos os locais

### 3.3.6.2. Situação encontrada no edifício tipo

O edifício real utilizado no presente estudo apresenta 2 pisos enterrados de estacionamento, com a seguinte distribuição:

#### Piso -2:

- Área total..... 1.731 m<sup>2</sup>
- Estacionamento ..... 1.463 m<sup>2</sup> (53 lugares de estacionamento)

#### Piso -1

- Área total..... 1.641 m<sup>2</sup>
- Estacionamento ..... 1.548 m<sup>2</sup> (60 lugares de estacionamento)



Figura 3.38 – Planta de projecto da circulação e estacionamento do edifício em estudo

Para além de estacionamento, nos pisos enterrados pode encontrar-se uma sala de informática, depósito de água e respectivas bombagens, arrumos e zonas técnicas, escadas e elevadores. Estes restantes locais serão analisados em capítulos próprios. A zona de estacionamento dos dois pisos é idêntica e como tal aprofunda-se a análise apenas do piso -1.

A Tabela 3.23 apresenta os valores obtidos no piso -1, distribuídos pelas zonas consideradas na simulação anterior.

A iluminação foi realizada com aparelhos de iluminação fluorescentes tubulares equipados com uma lâmpada de 36 W e balastro electrónico com uma potência de 3,6 W. Existem 102 aparelhos deste tipo no piso -1, correspondendo a uma potência total de iluminação instalada para o estacionamento de 4.039,2 W.

Tabela 3.23 – Caracterização do estacionamento do edifício em estudo

Zona	Área (m <sup>2</sup> )	N.º de aparelhos de iluminação	Potência instalada (W)	Densidade de potência (W/m <sup>2</sup> )
Lugares de Estacionamento	690	25	990	1,43
Circulação	678	57	2.257	3,33
Rampa	180	20	792	4,40

Na zona de lugares de estacionamento e circulação a densidade de potência encontra-se acima dos valores simulados anteriormente. Seria assim possível reduzir cerca de 7 aparelhos na zona de lugares de estacionamento e 5 aparelhos na zona de circulação. Já na rampa, o valor está abaixo do esperado, sendo necessário acrescentar 12 aparelhos para chegar aos valores previstos. Curiosamente as alterações anular-se-iam uma à outra.

Na visita ao edifício foi possível constatar que efectivamente a iluminação das rampas é inferior ao recomendado pela norma EN 12464-1. Esta situação deve-se à opção do dono de obra não a cumprir por achar que tem aqui oportunidade de gastar menos energia. Não existe normalização obrigatória neste âmbito em Portugal e a norma EN 12464-1 serve apenas como recomendação, possibilitando esta situação.

Uma vez que o estacionamento já se encontra dotado de dispositivos de controlo automático de iluminação (detectores de presença), em termos globais não se apresenta nenhuma oportunidade de melhoria de consumo energético do referido espaço.

### 3.3.7. Gabinetes

Os gabinetes são a zona mais importante de um edifício de serviços. É aqui que os utilizadores passam a maior parte do tempo e para os quais é reservada a maior área do edifício. Os gabinetes apresentam requisitos importantes de iluminação, sendo necessário garantir um nível de iluminação adequado à tarefa de leitura, cálculo, utilização de computador, desenho, escrita e outras tarefas de acordo com a especificidade do serviço analisado.

Em termos de normas europeias, recomenda-se uma iluminância de 500 lux no plano de trabalho (uniformidade 0,7) e 300 lux num limite até 0,5 m anexo ao plano de trabalho. O índice de restituição cromática não deverá ser inferior a 80%, o UGR não poderá ultrapassar os 19 e os aparelhos de iluminação não deverão produzir uma luminância superior a 1.000 cd/m<sup>2</sup>.

Pretendeu-se simular 4 realidades distintas de acordo com os seguintes parâmetros:

Tabela 3.24 – Dimensões dos gabinetes a simular

Gabinetes	Área (m <sup>2</sup> )	Comprimento (m)	Largura (m)	Índices de reflexão (de acordo com os materiais e recomendações do Dialux)			Pé direito (m)
				Tecto	Paredes	Pavimento	
Para 1 pessoa	30	6,0	5,0	0,70	0,50	0,20	3,0
Para 2 pessoas	39	7,1	5,5				
Para 4 pessoas	53	4,0	13,3				
Open Space	100	10,0	10,0				



Figura 3.39 – Gabinete 1 pessoa (imagem virtual)



Figura 3.40 – Gabinete 2 pessoa (imagem virtual)



Figura 3.41 – Gabinete 4 pessoa (imagem virtual)

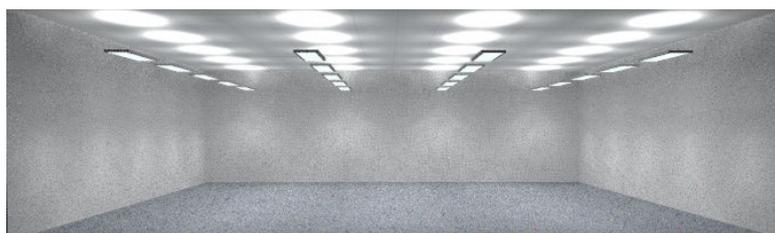
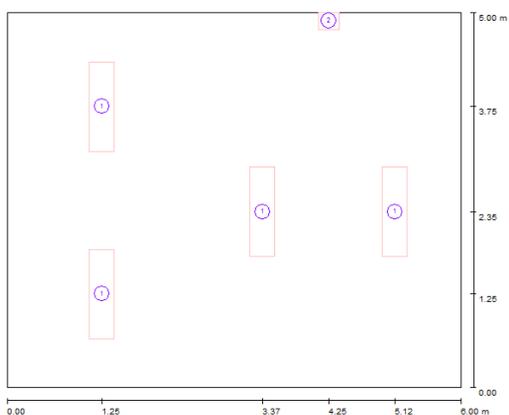


Figura 3.42 – Open Space (imagem virtual)

Os aparelhos de iluminação utilizados foram:

- Aparelho de iluminação suspensos do tecto, com balastro electrónico regulável;
- 2 lâmpadas fluorescentes tubulares, T5, com 28 W, 5.200 lumen (lâmpada mais balastro com 63 W);
- 2 lâmpadas fluorescentes tubulares, T5, com 35 W, 6.600 lumen (lâmpada mais balastro com 77 W);
- Aplique de parede com 2 lâmpadas fluorescentes compactas de 18 W, 2.300 lumen (lâmpada mais balastro com 38 W).

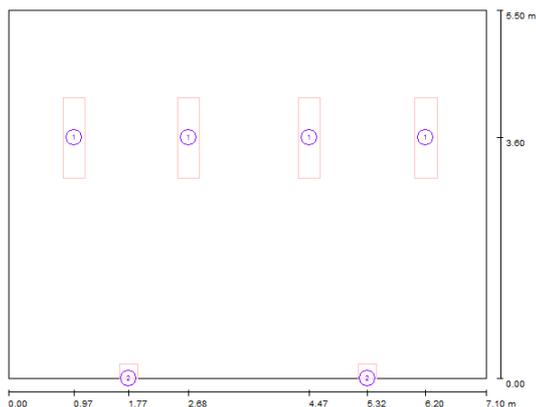
A distribuição dos aparelhos de iluminação em cada um dos gabinetes é apresentada nas figuras seguintes.



Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W

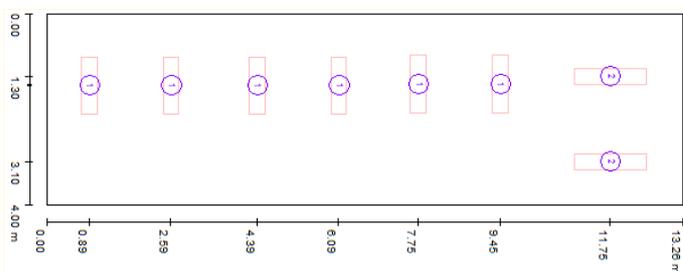
Tipo 2 – Aplique de parede de 38 W

Figura 3.43 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 1 pessoa



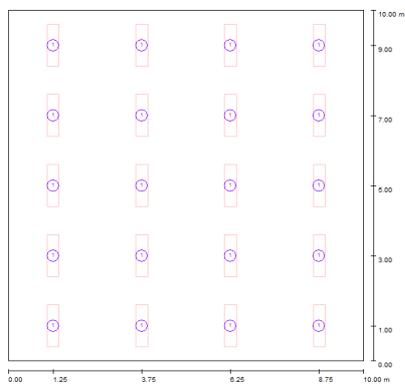
Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W  
 Tipo 2 – Aplique de parede de 38 W

Figura 3.44 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 2 pessoas



Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W  
 Tipo 2 – 2 lâmpadas de 35 W

Figura 3.45 – Distribuição da iluminação do gabinete utilizado por 4 pessoas



Tipo 1 – 2 lâmpadas de 28 W

Figura 3.46 – Distribuição da iluminação do *Open Space*

Em termos de colocação dos aparelhos de iluminação, foram consideradas quatro situações distintas de acordo com a realidade encontrada em projectos tipo de edifícios de serviços [14]:

- Sol. 1.....Aparelhos de iluminação instalados de acordo com as figuras apresentadas (paralelamente ao sentido de visão do utilizador) à altura de 2,3 m do solo;
- Sol. 2.....Aparelhos de iluminação instalados 20 cm mais altos que a primeira solução;
- Sol. 3.....Aparelhos de iluminação instalados 20 cm mais baixos que a primeira solução;
- Sol. 4.....Aparelhos de iluminação instalados rodados 90° relativamente à primeira situação (perpendicularmente ao sentido de visão do utilizador).

Em todos os gabinetes foi considerada uma área de trabalho limitada pela secretária e respectiva zona adjacente (banda com 0,5 m em torno da área de trabalho) por cada posto de trabalho. Como exemplo, a Figura 3.47 representa as áreas de cálculo para o gabinete de 2 pessoas (área de trabalho 1 e área de trabalho 2 representadas pelos rectângulos interiores) e a zona adjacente representada pelo rectângulo exterior. Para o *open space*, considerou-se como área de trabalho toda a área da sala, excepto a 0,5 m da parede (Figura 3.48).

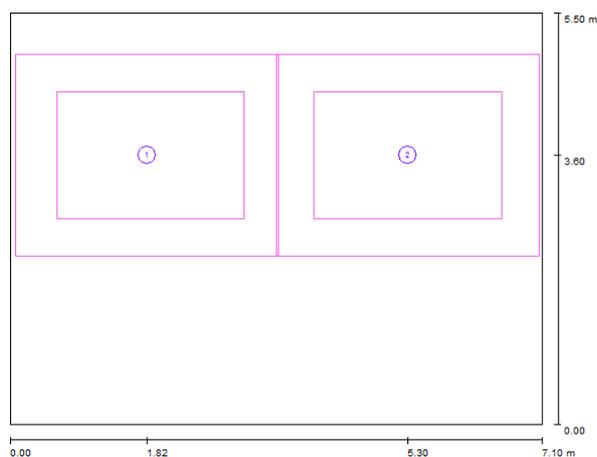


Figura 3.47 – Áreas de trabalho do gabinete para 2 pessoas

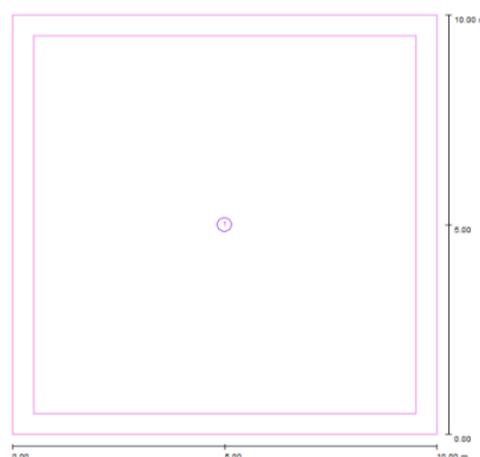


Figura 3.48 – Área de trabalho considerada no *Open Space*

Os valores obtidos foram:

Tabela 3.25 – Resultados da simulação de iluminação para o gabinete de 30 m<sup>2</sup>

Gabinete 1 pessoa	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
<b>Sol. 1 – Secretária 1</b>	476	0,72	13
<b>Sol. 1 – Envoltente da secretária 1</b>	344	0,44	
<b>Sol. 2 – Secretária 1</b>	438	0,72	12
<b>Sol. 2 – Envoltente da secretária 1</b>	330	0,47	
<b>Sol. 3 – Secretária 1</b>	511	0,70	14
<b>Sol. 3 – Envoltente da secretária 1</b>	346	0,41	
<b>Sol. 4 – Secretária 1</b>	493	0,57	13
<b>Sol. 4 – Envoltente da secretária 1</b>	317	0,39	

O gabinete de 30 m<sup>2</sup> apresenta uma densidade de potência de 9,67 W/m<sup>2</sup> (quatro aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W e um aparelho de iluminação com uma potência de 38 W).

Tabela 3.26 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 39 m<sup>2</sup>

Gabinete 2 pessoa	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
Sol. 1 – Secretária 1	474	0,69	13
Sol. 1 – Envolvente da secretária 1	347	0,52	
Sol. 1 – Secretária 2	470	0,70	13
Sol. 1 – Envolvente da secretária 2	351	0,53	
Sol. 2 – Secretária 1	438	0,69	12
Sol. 2 – Envolvente da secretária 1	335	0,56	
Sol. 2 – Secretária 2	436	0,70	13
Sol. 2 – Envolvente da secretária 2	338	0,58	
Sol. 3 – Secretária 1	509	0,69	14
Sol. 3 – Envolvente da secretária 1	349	0,47	
Sol. 3 – Secretária 2	505	0,69	14
Sol. 3 – Envolvente da secretária 2	354	0,48	
Sol. 4 – Secretária 1	471	0,59	13
Sol. 4 – Envolvente da secretária 1	296	0,50	
Sol. 4 – Secretária 2	471	0,59	13
Sol. 4 – Envolvente da secretária 2	298	0,53	

Tabela 3.27 – Resultados da simulação de iluminação do gabinete de 53 m<sup>2</sup>

Gabinete 4 pessoa	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{mín}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
Sol. 1 – Secretária 1	542	0,73	10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 1	422	0,55	
Sol. 1 – Secretária 2	518	0,78	< 10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 2	418	0,70	
Sol. 1 – Secretária 3	511	0,77	< 10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 3	415	0,68	
Sol. 1 – Secretária 4	477	0,72	< 10
Sol. 1 – Envolvente Secretária 4	361	0,55	
Sol. 2 – Secretária 1	502	0,73	12
Sol. 2 – Envolvente Secretária 1	403	0,61	
Sol. 2 – Secretária 2	483	0,81	< 10
Sol. 2 – Envolvente Secretária 2	405	0,74	
Sol. 2 – Secretária 3	480	0,81	< 10
Sol. 2 – Envolvente Secretária 3	405	0,71	
Sol. 2 – Secretária 4	441	0,72	< 10
Sol. 2 – Envolvente Secretária 4	346	0,59	
Sol. 3 – Secretária 1	578	0,73	11
Sol. 3 – Envolvente Secretária 1	430	0,49	
Sol. 3 – Secretária 2	553	0,75	< 10
Sol. 3 – Envolvente Secretária 2	418	0,65	
Sol. 3 – Secretária 3	544	0,75	< 10
Sol. 3 – Envolvente Secretária 3	416	0,62	
Sol. 3 – Secretária 4	516	0,71	< 10
Sol. 3 – Envolvente Secretária 4	365	0,49	
Sol. 4 – Secretária 1	569	0,61	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 1	374	0,49	
Sol. 4 – Secretária 2	545	0,64	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 2	395	0,64	
Sol. 4 – Secretária 3	522	0,64	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 3	348	0,63	
Sol. 4 – Secretária 4	497	0,60	< 10
Sol. 4 – Envolvente Secretária 4	313	0,52	

A simulação do gabinete de 39 m<sup>2</sup> (Tabela 3.26) apresenta a densidade de potência menor das quatro simulações, conseguindo-se iluminar o espaço com 8,40 W/m<sup>2</sup>, utilizando quatro aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W e dois aparelhos de iluminação com uma potência de 38 W).

O gabinete de 4 pessoas (Tabela 3.27) apresenta uma densidade de potência superior à da simulação do gabinete de apenas 1 pessoa, obtendo-se a valores de 10,03 W/m<sup>2</sup> de iluminação com uma solução de seis aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W e dois aparelhos de iluminação com uma potência de 38 W.

Tabela 3.28 – Resultados da simulação da iluminação do *Open Space*

<i>Open Space</i>	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR
<b>Sol. 1 – Cota das secretárias</b>	512	0,74	< 10
<b>Sol. 1 – Envolveinte (junto parede)</b>	380	0,65	
<b>Sol. 2 – Cota das secretárias</b>	459	0,69	10
<b>Sol. 2 – Envolveinte (junto parede)</b>	342	0,70	
<b>Sol. 3 – Cota das secretárias</b>	527	0,79	< 10
<b>Sol. 3 – Envolveinte (junto parede)</b>	382	0,61	
<b>Sol. 4 – Cota das secretárias</b>	513	0,70	< 10
<b>Sol. 4 – Envolveinte (junto parede)</b>	373	0,64	

O *open space* (Tabela 3.28) apresenta a densidade de potência maior das quatro simulações. O facto de não ser possível antecipar os locais onde realmente é necessária a grande maioria da incidência luminosa, torna o espaço envolvente muito pequeno (apenas junto da parede), sendo necessários valores de 12,60 W/m<sup>2</sup> para iluminação o espaço (utilizando 20 aparelhos de iluminação com uma potência de 63 W cada).

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização (gabinete de 30 m<sup>2</sup>) .....Escritório individual
- Tipo de utilização (gabinete de 39 m<sup>2</sup> e 53 m<sup>2</sup>).....Escritório de 2 a 6 pessoas
- Tipo de utilização (open-space).....Escritório aberto

Para a comparação da energia anual utilizada, foram calculas cinco situações distintas:

- Sem domótica
- Com detector de presença
- Com detector de luminosidade (sem capacidade para regular 0% de iluminação)
- Com detector de luminosidade (com capacidade para regular 0% de iluminação)
- Com domótica (detector de presença + detector de luminosidade com regulação 0%)

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.29 – Consumo energético anual da iluminação dos gabinetes

Tipo de comando	Gabinete 1 pessoa (kWh/ano)	Gabinete 2 pessoas (kWh/ano)	Gabinete 4 pessoas (kWh/ano)	Open Space (kWh/ano)
<b>Sem domótica</b>	393,17	382,79	576,17	3.465,00
<b>Com detector de presença</b>	330,73	321,99	484,66	
<b>Com detector de luminosidade (sem 0%)</b>	367,49	320,63	457,31	
<b>Com detector de luminosidade (com 0%)</b>	358,93	305,83	429,01	
<b>Com domótica (combinação de detector de presença e luminosidade 0%)</b>	301,92	257,26	360,88	

### 3.3.7.1. Análise da simulação dos gabinetes

Mantendo a iluminância exigida pela norma europeia, sobram 2 variáveis possíveis de controlar em projecto (para além da normal exigência de alta tecnologia utilizada nos aparelhos de iluminação) que são orientação e altura dos aparelhos de iluminação.

Pelas simulações realizadas é notório que o facto de colocar os aparelhos de iluminação numa posição perpendicular à área de trabalho, aumenta a iluminância, mas reduz a uniformidade. O valor da uniformidade tem de ser mantido acima dos 0,7 na área de trabalho.

Em termos de altura de montagem, quanto mais altos os aparelhos forem montados, menor a iluminância na área de trabalho, mas maior será a uniformidade.

A utilização de dispositivos automáticos de controlo é sinónima de reduções significativas no consumo energético associado à iluminação dos gabinetes. O detector de presença apresenta-se como o dispositivo mais eficaz, uma vez que simplesmente desliga a iluminação quando o gabinete não está a ser utilizado.

Os detectores de luminosidade deverão ser dotados de dispositivos que permitam desligar a iluminação totalmente e não apenas reduzi-la. A maior parte das soluções de mercado têm um valor de regulação mínimo na ordem dos 5%. Estes 5% traduzem-se num desperdício de energia anual próximo dos 30 kWh no caso do gabinete de 4 pessoas.

Idealmente, a solução de dotar os aparelhos de iluminação com detectores de luminosidade (com tecnologia que permita 0% de iluminação) associados a detectores de presença, proporcionam ganhos na ordem dos 37% de energia anual (valores simulados com base num gabinete com janelas na zona de Lisboa).

O projecto de iluminação de gabinetes de edifícios de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada não superior a  $10 \text{ W/m}^2$  ( $12 \text{ W/m}^2$  no caso dos *open space* quando não é possível prever soluções focadas na área de trabalho real);
- Utilização de aparelhos de iluminação instalados paralelamente à direcção de visão do utilizador;
- Ajuste da altura de instalação dos aparelhos em função do nível de iluminação e uniformidade pretendidos (sistemas de iluminação ajustáveis);

### 3.3.7.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo vários gabinetes e algumas zonas previstas em projecto como *open space*.

Os gabinetes são (na sua generalidade) dimensionados para uma pessoa, têm cerca de  $22 \text{ m}^2$ , e a existência de dois pontos de iluminação (Figura 3.49) onde é instalado (em cada ponto) um candeeiro de chão equipado com 3 lâmpadas de 55 W. No *open space* (com  $167 \text{ m}^2$ ) foi também utilizada esta solução mas, neste caso, com 16 pontos de iluminação (Figura 3.50). Estas soluções permitem obter a potência de  $17,4 \text{ W/m}^2$  para os *open space* e  $16,5 \text{ W/m}^2$  para os gabinetes individuais (utilizando no cálculo a potência do sistema lâmpada e balastro).

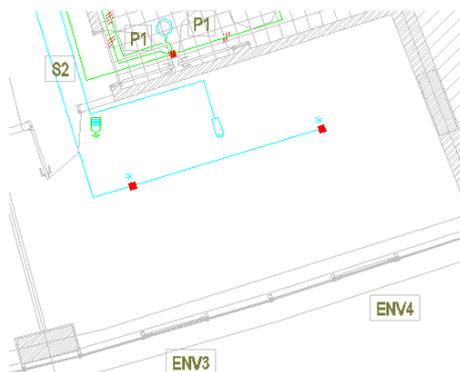


Figura 3.49 – Planta de gabinete individual do edifício em estudo



Figura 3.50 – Planta do *open space* do edifício em estudo

Em termos de comando de iluminação, os gabinetes estão dotados de um sistema de controlo associado a monitorizações gerais ao edifício, não tendo sido previsto nenhum detector de movimento ou de luminosidade específico para cada espaço.

Os gabinetes poderão ser dotados de dispositivos de detecção de movimento, assim como de detecção de luminosidade, reduzindo o consumo energético do edifício associado à iluminação.

A potência dos candeeiros utilizados (dotados com 3 lâmpadas de 55 W) poderá também ser reduzida. Esta solução deverá ser analisada conjuntamente com a solução de instalação de equipamento de regulação de fluxo luminoso.

O edifício apresenta uma área de cerca de 3.700 m<sup>2</sup> dedicados a gabinetes e *open-spaces*. Considerando o exemplo do gabinete com capacidade para 2 pessoas em cerca de 40 m<sup>2</sup>, a redução possível é de cerca de 3,14 kWh/m<sup>2</sup>/ano, chegando-se assim a uma oportunidade de redução de cerca de 11.618 kWh/ano (para toda a área de escritórios do edifício). Tratando-se de um cliente de média tensão e atribuindo um custo de cerca de 0,10 € por cada kWh, a redução anual seria de cerca de 1.160 Euros.

Para que esta redução fosse possível teriam de ser realizadas (considerando a instalação de dispositivos de controlo por cada 4 pontos de iluminação - quatro candeeiros - após análise à estrutura do edifício) beneficiações em cerca de 60 pontos, ou seja, teriam de ser instalados cerca de 60 sensores mistos (de movimento e luminância) no edifício. A instalação de cada detector custaria cerca de 150 Euros (custo de equipamento e instalação), permitindo estimar o custo da beneficiação em cerca de 9.000 Euros, obtendo um retorno de investimento (calculado na forma simples) de cerca de 8 anos.

O custo dos equipamentos electrónicos de comando e optimização das soluções de iluminação (detectores de movimento, detectores de luminância, regulação de fluxo, entre outros), associado ao preço de mão-de-obra de montagem é muito superior ao custo relativo da poupança energética de cada um dos aparelhos, uma vez que se trata de equipamentos de baixo consumo quando comparados com outros equipamentos do edifício.

### 3.3.8. Instalações Sanitárias

As instalações sanitárias não apresentam grandes requisitos de iluminação, sendo necessário garantir um nível de iluminação adequado à utilização e correcta higienização da mesma.

Na simulação deste espaço considera-se lugar para 2 sanitas numa área total de 10 m<sup>2</sup> (4,0 x 2,5 m) e 3 m de pé direito (Figura 3.51).

Os índices de reflexão utilizados, de acordo com os materiais e cores encontrados no edifício e recomendações do software Dialux, foram:

- Tecto .....0,70
- Paredes.....0,60
- Pavimento .....0,30

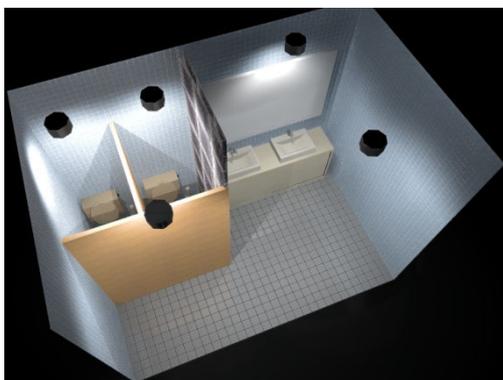


Figura 3.51 – Instalações Sanitárias (imagem virtual)

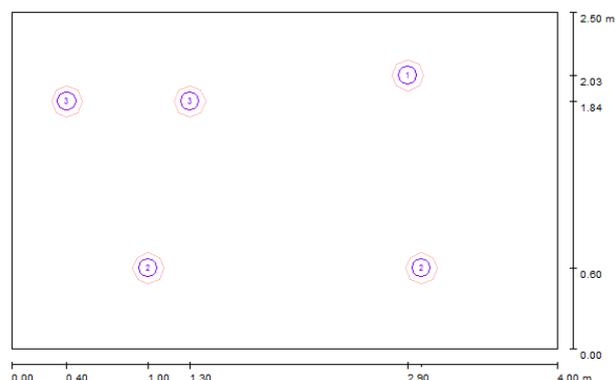


Figura 3.52 – Diferentes tipos de luminárias consideradas nas instalações sanitárias

Os aparelhos de iluminação utilizados foram distribuídos de acordo com a Figura 3.52 prevendo-se o seguinte:

- Aparelho de iluminação encastrado no tecto falso, com balastro electrónico
- Lâmpada fluorescente compacta de 13 W, 900 lumen (lâmpada mais balastro com 16 W (tipo 1 da Figura 3.52)
- Lâmpada fluorescente compacta, com 26 W, 1.800 lumen (lâmpada mais balastro com 28 W (tipo 3 da Figura 3.52)
- Lâmpada fluorescente compacta, com 32 W, 2.400 lumen (lâmpada mais balastro com 35 W (tipo 2 da Figura 3.52)
- 2x lâmpada fluorescente compacta, com 13 W, 1.800 lumen (lâmpada mais balastro com 25 W (tipo 3 da Figura 3.52)

Foram consideradas 3 zonas de cálculo, de acordo com a distribuição apresentada na Figura 3.53:

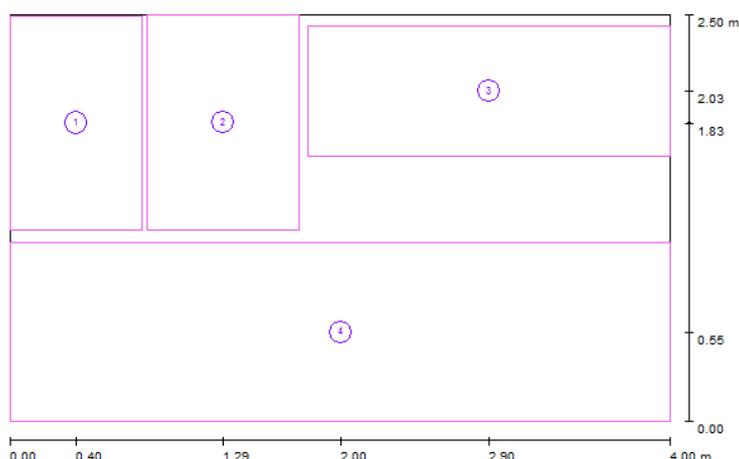


Figura 3.53 – Zonas de cálculo instalações sanitárias

Em que:

- Zona 1 .....Cabine 1
- Zona 2 .....Cabine 2
- Zona 3 .....Lavatórios
- Zona 4 .....Circulação

Pretende-se com esta simulação concluir sobre o que será mais vantajoso entre prever equipamentos com duas lâmpadas ou equipamentos com apenas uma lâmpada com o dobro da potência.

Os valores obtidos foram (à cota 0,9 m acima do solo para as cabines; a 1,0 m para os lavatórios e à cota de pavimento nas circulações):

Tabela 3.30 – Resultados da simulação de iluminação das instalações sanitárias

Zona	$E_m$ (lux)	Relação entre $E_{min}/E_m$	Índice de brilho máximo - UGR	Densidade de potência ( $W/m^2$ )	N.º luminárias no espaço
<b>Cabine 1</b>	193	0,84	< 10	26,67	1
<b>Cabine 2</b>	195	0,76		23,81	
<b>Cabine 1 – duas lâmpadas</b>	163	0,48		22,95	
<b>Cabine 2 – duas lâmpadas</b>	158	0,36		20,49	
<b>Lavatórios</b>	200	0,60		9,09	
<b>Circulação</b>	188	0,63		15,91	

Para a avaliação energética (norma DIN 18599), utilizaram-se as seguintes informações de acordo com a realidade do edifício em estudo:

- Horas de utilização anual no período diurno .....2543 h
- Horas de utilização anual no período nocturno .....207 h
- Tipo de utilização .....WC e sanitários em edifício comercial

Nesta fase da simulação, foi criada uma pequena entrada de luz natural (pequena janela visível na Figura 3.54) de modo a permitir aferir a energia que é possível poupar (anualmente) pela introdução desse elemento na arquitectura do edifício. Para o caso da existência da janela, considera-se também um sistema de regulação automática de fluxo luminoso.



Figura 3.54 – Instalações sanitárias com iluminação normal (imagem virtual)

Para este perfil de utilização os valores estimados para o consumo anual de energia são:

Tabela 3.31 – Consumo energético anual da iluminação das instalações sanitárias

Zona	Situação normal (sem janelas) (kWh/ano)	Com luz natural (com janela) (kWh/ano)	Redução energética
<b>Instalação Sanitária</b>	56,62	30,00	47%

### 3.3.8.1. Análise da simulação das instalações sanitárias

Os aparelhos de iluminação dotados de duas lâmpadas apresentam uma potência global inferior para o mesmo fluxo luminoso (a utilização de apenas um balastro para duas lâmpadas reduz a potência do sistema), mas também oferecem níveis de iluminação mais reduzidos. Isto deve-se ao facto de uma das lâmpadas bloquear a distribuição de luz da outra (uma lâmpada faz sombra na outra).

É assim notório que, para praticamente a mesma potência, o aparelho apenas com 1 lâmpada favorece uma iluminância entre 18% e 23% superior ao aparelho com 2 lâmpadas (cada uma com metade da potência do aparelho objecto da comparação.)

A iluminação natural associada a um mecanismo de controlo automático do nível de iluminação, proporciona reduções de energia da ordem dos 47%.

O projecto de iluminação das instalações sanitárias de um edifício de serviços deverá seguir as seguintes regras:

- Potência instalada não superior a  $15 \text{ W/m}^2$  (totalidade das instalações sanitárias típicas de escritórios)
- Utilização de aparelhos de iluminação de apenas 1 lâmpada

### 3.3.8.2. Situação encontrada no edifício tipo

No edifício em estudo encontram-se instalações sanitárias com cerca de  $9,8 \text{ m}^2$  e cerca de  $193,6 \text{ W}$  (sistema de iluminação lâmpada mais balastro), obtendo-se uma potência de  $17,96 \text{ W/m}^2$ . Em termos de comando de iluminação, as instalações sanitárias foram dotadas de um dispositivo de detecção de presença que faz com que a iluminação esteja apagada quando não é necessária.

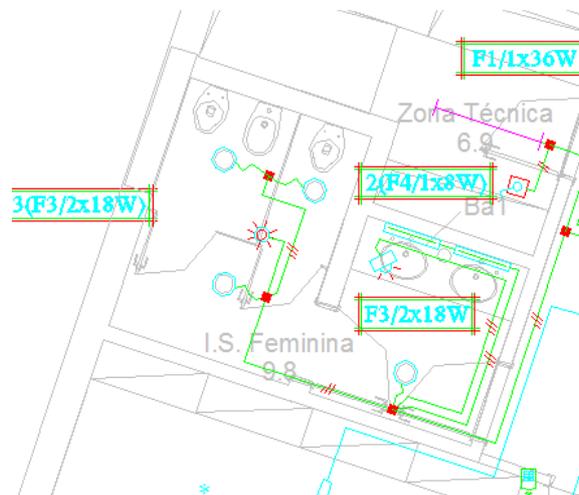


Figura 3.55 – Planta de uma das instalações sanitárias do edifício em estudo

A potência instalada nas instalações sanitárias é mais elevada do que a considerada nas simulações realizadas. É possível reduzir o consumo energético substituindo os dois aparelhos de iluminação utilizados para iluminar o espelho por apenas 1 aparelho.

## 4. Tomadas de energia eléctrica

As tomadas de energia eléctrica permitem a ligação de equipamentos eléctricos de baixa potência (tipicamente até 3,7 kVA). Nos edifícios de serviços a sua utilização centra-se essencialmente em equipamento informático (computadores, impressoras, monitores), transformadores (carregadores de telemóvel, portáteis ou pilhas), refrigeradores/filtradores de água potável e máquinas de venda de produtos (comes e bebes).

Todos estes equipamentos apresentam uma particularidade em comum: só são necessários aquando da presença de pessoas no edifício mas é comum encontrarem-se sempre ligados, tanto em funcionamento normal como em modo de espera (“*standby*”).

O presente estudo, no âmbito de edifícios de serviços, abordará uma carga em particular: a carga informática.

Existe hoje em dia uma panóplia de produtos de diferentes características e diferente consumo energético. Um computador pessoal, composto por uma central de processamento, periféricos (teclado e rato) e monitor poderá ter uma potência eléctrica entre os 20 W (computador portátil com a bateria carregada [15]) e os 670 W (computador de secretária normal [16]).

### 4.1. Situação encontrada no edifício

Na análise de consumo eléctrico das cargas informáticas, ao invés de relacionar as respectivas cargas com a área de ocupação, utilizar-se-á uma relação ao número de pessoas que trabalham no edifício. No edifício em estudo trabalham 200 pessoas distribuídas por 6 pisos, possuindo todas um computador pessoal e um monitor.

Em cada um dos pisos existe um núcleo de impressão composto por 2 impressoras, não existindo por isso impressoras locais (salvo raras excepções – secretariado do director financeiro – desprezáveis para o presente estudo).

O parque informático utilizado é bastante recente, com uma metodologia assente em processamento e armazenamento centralizado, conseguindo consumos de energia muito reduzidos.

Tabela 4.1 – Potências eléctricas do parque informático do edifício [17]

Equipamento	Em funcionamento (W)	Em espera (W)	Poupança de energia (W)	Desligado (W)
<b>Computador pessoal (HP Compact T5720)</b>	20,1	-	-	0,00
<b>Monitor (HP 1940)</b>	70,0	2,0	-	0,00
<b>Impressora profissional (HP 4345 mfp)</b>	800,0	49,0	15,0	0,25

A Tabela 4.1 mostra que o computador pessoal não tem modo de espera (tipicamente conhecido por “Standby”) e quando desligado tem consumo nulo. O monitor também tem consumo nulo quando desligado, mas já possui um modo de espera. Por último, a impressora profissional, que mesmo desligada apresenta uma potência residual de 0,25 W, possui três modos de funcionamento: a imprimir (ou copiar), modo de espera de trabalho de impressão e modo de poupança de energia. O modo de poupança de energia desliga os sistemas principais da impressora, obrigando a que a religação automática aquando da recepção de um trabalho de impressão seja mais demorada.

Após algumas visitas ao edifício, onde foram realizados levantamentos de hábitos de utilização por parte dos colaboradores da empresa, foi possível aferir que 59% dos utilizadores nunca desligam o monitor e 27% dos utilizadores nunca desligam os computadores. As impressoras ao fim de, sensivelmente, 1 hora entram automaticamente em modo de poupança de energia, mas nunca são desligadas.

#### 4.1.1. Consumos eléctricos estimados

A impossibilidade de medição de energia consumida nos circuitos dos quadros eléctricos, impede que os valores aqui estimados sejam realmente aferidos. Contudo, é possível realizar uma estimativa com base na utilização que no capítulo de conclusões será validada pelos consumos mensais totais de energia durante o ano de 2006.

Em média, os colaboradores da empresa utilizam os seus computadores, de 2<sup>a</sup> a 6<sup>a</sup> Feira, entre as 8 horas e as 19 horas, ou seja, pode considerar-se que durante 11 horas diárias é necessário que os computadores estejam a funcionar e durante 13 horas poderão estar desligados. A potência eléctrica do parque informático (excluído o centro informático principal) é de, prevendo o funcionamento normal de um computador mais monitor, igual a 90,1 W.

$$\begin{aligned} 200 \text{ pessoas} \times [11 \text{ h} \times 90,1 \text{ W} + 13 \text{ h} \times (0,59 \times 2,0 \text{ W} + 0,27 \times 20,1 \text{ W})] = \\ = 200 \times (991,1 + 85,891) = \\ = 215.398 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Equação 4.1 – Consumo de energia eléctrica dos computadores do edifício nos dias úteis

A Equação 4.1 chega ao valor de 215 kWh de consumo eléctrico, associado à informática em cada dia útil. Nos dias não úteis (fins-de-semana) é possível calcular o consumo eléctrico originado pelo facto dos utilizadores não desligarem os computadores.

$$\begin{aligned} 200 \text{ pessoas} \times 2 \text{ dias} \times [24 \text{ h} \times (0,59 \times 2,0 \text{ W} + 0,27 \times 20,1 \text{ W})] = \\ = 200 \times 2 \times 158,568 = \\ = 63.427 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Equação 4.2 – Consumo de energia eléctrica dos computadores do edifício ao fim-de-semana

Num ano típico de 52 semanas (261 dias úteis e 52 fins-de-semana), excluindo os feriados fora dos fins-de-semana e as férias dos colaboradores (que servem para acentuar a diferença a calcular) é possível calcular a estimativa de consumo do edifício e a estimativa de consumo caso os colaboradores desligassem os computadores à noite e os mantivessem desligados durante o fim-de-semana.

$$200 \text{ pessoas} \times (11 \text{ h} \times 90,1 \text{ W}) = \\ = 198.220 \text{ Wh}$$

Equação 4.3 – Energia eléctrica desligando os computadores e monitores fora de horas

Multiplicando o valor obtido na Equação 4.3 pelos dias úteis do ano (261 dias), obtemos o valor de consumo anual caso os utilizadores desligassem os computadores e monitores ao fim do dia e os voltassem a ligar no dia seguinte quando retomam o trabalho (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Consumo de energia eléctrica real e desligando os computadores

Equipamento	Consumo anual (kWh)
<b>Realidade actual do edifício</b>	59.517
<b>Desligando os computadores e monitores</b>	51.735

É assim possível poupar cerca de 7.700 kWh anualmente (cerca de 13%), a que, de acordo com a tarifa eléctrica utilizada no capítulo de iluminação (0,10 €/kWh), corresponde um custo de 770 € anuais.

Esta diferença é proporcional ao consumo dos equipamentos e inversamente proporcional às horas de trabalho dos colaboradores. Computadores mais potentes e menos horas de trabalho fazem aumentar este cálculo, uma vez que a energia desperdiçada durante as horas em que ninguém os está a utilizar é maior.

## 4.2. Alterações ao edifício

O sucesso da implementação de alterações que proporcionem as referidas poupanças tem de passar pela introdução de sistemas automáticos que possibilitem desligar os circuitos eléctricos não utilizados.

O utilizador tem vindo a habituar-se a um conforto crescente na utilização dos sistemas e, como tal, não pretende regredir nesse conforto. Por esta razão, as campanhas realizadas com o intuito dos utilizadores não deixarem os equipamentos no modo de “standby”, não têm surtido efeitos consideráveis. Os valores investidos nestas campanhas deveriam ser direccionados para o desenvolvimento de sistemas de alimentação que apresentem consumos cada vez mais reduzidos no modo de “standby”, ou outros métodos de redução do consumo eléctrico.

Um televisor poderia ao fim de um intervalo de tempo (por exemplo 1 hora), caso tivesse sido colocado em modo de espera, comutar automaticamente para um estado de consumo nulo que

obrigasse o utilizador a deslocar-se até ao próprio para carregar num botão quando o quisesse voltar a ligar. Os computadores já deram esse passo com a introdução do modo de “hibernação” (sem qualquer consumo) que poderá ser configurado para automaticamente ocorrer passado algum tempo após o modo de suspensão ter sido activado (modo de espera – “*standby*”).

No caso dos edifícios, os projectos de instalações eléctricas devem começar a adaptar-se às novas realidades. Deverão prever contadores de energia em vários circuitos de modo a localizar os consumidores mais intensivos e deverão dotar os circuitos de dispositivos de corte e religação automática.

Só com a ajuda destes mecanismos se torna possível comandar o consumo do edifício, conhecendo os valores envolvidos e permitindo parametrizar o consumo permitido.

## 5. Climatização

Os sistemas de climatização apresentam uma crescente adesão por parte dos utilizadores. Nos anteriores capítulos abordam-se cargas essenciais ao funcionamento de um edifício de serviços (sem iluminação não é possível ver o que temos para fazer e hoje em dia sem computador não é possível organizar e realizar o trabalho), reservando-se este capítulo para um equipamento que fornece conforto em troca de consumo de energia eléctrica.

As condições climatéricas tornam necessária a existência de uma protecção contra o frio e o calor. Um edifício de serviços, para além da normal protecção contra o clima, possui obrigatoriamente outras comodidades: casa-de-banho, esgotos, água corrente, fontes energéticas directamente disponíveis, temperatura e humidade relativa dentro de parâmetros de conforto e finalmente a qualidade do ar em termos de concentração de gases, poeiras e de microorganismos. [18]

Todas estas comodidades foram postas à disposição pelos avanços tecnológicos, mas estas melhorias têm um custo: as comodidades traduzem-se num acréscimo de investimento, num maior consumo de recursos e num aumento da poluição do planeta.

Estando Portugal inserido numa zona de clima temperado, torna-se necessário o aquecimento no Inverno e o arrefecimento no Verão para manter as condições de conforto genéricas para os utilizadores.

Actualmente a evolução tecnológica permite a utilização de uma grande diversidade de equipamentos que podem constituir uma instalação de climatização: caldeiras, bombas de calor, unidades de arrefecimento de ar, unidades produtoras de água refrigerada e equipamentos “verdes” tais como painéis solares, fachadas ventiladas ou aproveitamentos geotérmicos.

### 5.1. Escolha de equipamentos

O consumo dos equipamentos de climatização está relacionado com diversos parâmetros internos e externos ao sistema, tais como a temperatura ambiente e a temperatura pretendida para o espaço (regulada pelo utilizador). A influência destes factores externos acaba por ser mais significativa do que a influência dos factores internos (tecnologia, número de tubos para o trânsito do fluido térmico, entre outros), traduzindo-se em variações de consumo que podem ser superiores a 40% [18]. Qualquer que seja a solução de climatização adoptada torna-se evidente que apenas com um sistema de comando centralizado (gestão técnica) é possível moderar os consumos, uma vez que é a forma mais fácil de controlar num mesmo ponto a temperatura pretendida no espaço (vulgo “set point”).

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da eficiência energética em termos de energia eléctrica e, por essa razão, neste capítulo exclui-se a análise de eficiência de uma caldeira (consumo de

combustível e não de energia eléctrica) ou de um painel solar e foca-se o estudo no consumo eléctrico dos sistemas de arrefecimento mais comuns: grupo produtor de água refrigerada arrefecido a ar ou água (vulgo “Chiller”), equipamentos de Volume de Refrigerante Variável (VRV) e os normais equipamentos com compressores de ciclo frigorífico (vulgo “split” do tipo inverter ou do tipo normal). O “split” do tipo “inverter” permite adequar a produção de frio ou calor à necessidade momentânea através da regulação do consumo eléctrico dos compressores.

A partir de alguns catálogos de marcas de ar condicionado, foi possível elaborar as seguintes tabelas:

Tabela 5.1 – Características técnicas de “Splits” [19]

	“Split” - Bomba de calor				“Split” - Power Inverter					
Potência frio (kW)	7,60	9,80	12,30	14,20	5,40	6,70	8,10	11,40	14,00	15,30
Potência eléctrica frio (kW)	2,84	3,55	4,52	5,44	1,67	1,63	2,14	2,92	3,88	4,65
Potência calor (kW)	8,80	11,50	14,30	17,00	6,60	8,20	10,20	14,00	16,00	18,00
Potência eléctrica calor (kW)	2,76	3,45	4,72	5,22	1,71	2,03	2,23	3,26	4,11	4,60
kW Eléctrico /kW térmico (frio)	0,37	0,36	0,37	0,38	0,31	0,24	0,26	0,26	0,28	0,30
kW Eléctrico /kW térmico (calor)	0,31	0,30	0,33	0,31	0,26	0,25	0,22	0,23	0,26	0,26

Tabela 5.2 – Características técnicas de sistema VRV [20]

	VRV				
Potência frio (kW)	28,00	55,90	82,50	111,00	138,00
Potência eléctrica frio (kW)	7,42	15,20	25,80	33,20	44,80
Potência calor (kW)	31,50	62,50	94,00	126,00	158,00
Potência eléctrica calor (kW)	7,70	15,30	24,70	32,40	41,90
kW Eléctrico /kW térmico (frio)	0,27	0,27	0,31	0,30	0,32
kW Eléctrico /kW térmico (calor)	0,24	0,24	0,26	0,26	0,27

Tabela 5.3 – Características técnicas de Chillers [20]

	Chiller a Ar						Chiller a Agua					
Potência frio (kW)	111	144	164	199	285	349	186	223	276	306	366	408
Potência eléctrica (kW)	41,9	51,8	64,3	78,1	108,0	140,00	39,70	48,10	59,30	71,40	79,30	87,20
kW Eléctrico /kW térmico	0,38	0,36	0,39	0,39	0,38	0,40	0,21	0,22	0,21	0,23	0,22	0,21

Na Tabela 5.1 é possível verificar que os sistemas Inverter (com variação da potência fornecida ao compressor) apresentam um rendimento superior quando comparados com as potências dos sistemas normais, permitindo poupar cerca de 100 W na produção de cada kW de frio e 70 W na produção de cada kW de calor.

Para potências grandes (como é o caso do edifício de serviços em estudo), a melhor solução é o grupo produtor de água refrigerada (Chiller) arrefecido a água.

## 5.2. Equipamento instalado no edifício

No edifício em estudo foram instalados 2 grupos produtores de água refrigerada refrigerados a ar, com uma potência de 600 kW cada um. Contudo trata-se de um equipamento mais caro que os restantes e que obriga a uma manutenção também mais dispendiosa.

Analisando as tabelas acima apresentadas concluir-se-ia que teria sido mais vantajoso utilizar um sistema composto por um GPAR de refrigeração a água. Contudo, esta análise apenas está correcta

em termos de eficiência (rendimento), mas não em termos de eficácia (utilidade prática para a função pretendida).

Os sistemas de climatização utilizados hoje em dia são complexos e envolvem diversos equipamentos distintos. Mais importante do que a simples análise da condição óptima de funcionamento apresentada em catálogo, é o ponto de funcionamento de todo o sistema. Para isso é importante definir a potência necessária, os elementos de acumulação, a utilização prevista, entre outros. Um GPAR pode ser muito eficiente à potência nominal e ser muito pouco eficiente à potência em que realmente vai funcionar na instalação. Isto torna o sistema pouco eficaz: é preferível ter um equipamento a funcionar no seu ponto de eficiência máxima (por exemplo a 100% da potência nominal) durante menos tempo do que a funcionar durante todo o tempo a uma potência mais baixa e num ponto de eficiência reduzida. Para isso, é necessário ponderar a utilização de, por exemplo, depósitos de acumulação de água fria (ou bancos de gelo) que aumentam a inércia do sistema permitindo que, mesmo com o GPAR desligado, continue a ser possível controlar a temperatura dos espaços.

Assim, em termos de climatização, o importante é analisar o edifício na sua fronteira com a envolvente, prevendo a utilização de um sistema que, com um consumo mínimo de energia eléctrica, dissipe o mínimo dessa energia para o exterior tanto em forma de calor (quando a produzir frio) como o contrário quando a produzir calor. A utilização de depósitos de acumulação, recuperadores de calor e a total utilização da energia para outros fins (por exemplo, um GPAR pode servir para aquecer águas sanitárias quando está a produzir água fria para a climatização) torna o sistema não só eficiente (bom rendimento) como eficaz (permite originar boas condições de conforto).

## 6. Consumos reais do edifício

Foi possível obter os valores de energia eléctrica e consumo de gás do edifício dos anos 2006 e 2007. Os valores apresentados nas tabelas seguintes são os valores constantes das facturas e não valores obtidos por medição real dos contadores instalados nos edifícios.

Tabela 6.1 – Facturas energéticas do edifício em estudo

	2006		2007	
	Electricidade (kWh)	Gás (m <sup>3</sup> )	Electricidade (kWh)	Gás (m <sup>3</sup> )
Jan	35.567	443	81.451	376
Fev	45.496	-	76.802	-
Mar	35.847	495	68.846	389
Abr	34.282	-	74.459	-
Mai	36.469	446	74.506	-
Jun	47.277	-	80.065	-
Jul	78.452	370	80.587	1.100
Ago	80.534	-	83.911	915
Set	78.401	340	86.227	-
Out	82.921	-	74.576	-
Nov	81.699	337	67.176	42.996
Dez	77.199	-	69.395	-
<b>Total</b>	<b>714.144</b>	<b>2.431</b>	<b>918.001</b>	<b>45.776</b>

Torna-se pouco rigoroso tirar conclusões dos resultados apresentados devido ao facto das medições possuírem um carácter contratual e não de medição rigorosa dos consumos desse mês (por exemplo, em Novembro de 2007 o consumo de mais de 42.000 m<sup>3</sup> de gás deveu-se a um acerto que o fornecedor do gás achou que deveria fazer face a medições anteriores).

Transformando os valores da Tabela 6.1 em custo e em valores de energia primária, utilizando para o efeito a média de 0,08 Euros/kWh de electricidade e 0,55 Euros/m<sup>3</sup> de gás (não foi possível o acesso aos valores reais de custo das facturas, mas apenas aos valores de energia) e utilizando os valores de conversão de energia referidos no Decreto-Lei n.º 80/2006 (0,290 kgep/kWh para a electricidade e 0,086 kgep/kWh para o gás), obtêm-se os seguintes valores:

Tabela 6.2 – Custo e energia primária associada às facturas energéticas de 2006 do edifício

	Custo		Energia primária	
	Electricidade (€)	Gás (€)	Electricidade (kgep)	Gás (kgep)
Jan	2.845	244	10.314	38
Fev	3.640	-	13.194	-
Mar	2.868	272	10.396	43
Abr	2.743	-	9.942	-
Mai	2.918	245	10.576	38
Jun	3.782	-	13.710	-
Jul	6.276	204	22.751	32
Ago	6.443	-	23.355	-
Set	6.272	187	22.736	29
Out	6.634	-	24.047	-
Nov	6.536	185	23.693	29
Dez	6.176	-	22.388	-
<b>Total</b>	<b>57.132</b>	<b>1.337</b>	<b>207.102</b>	<b>209</b>

Na Tabela 6.2 não se considerou o ano 2007, uma vez que apresenta valores não normais que mascarariam a veracidade dos resultados.

Em 2006, o edifício em estudo, relativamente ao seu consumo energético, contribuiu para a libertação de cerca de 248,8 toneladas de CO<sub>2</sub> (considerando a conversão de 0,0012 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada kgep) com a parcela de energia eléctrica a atingir os 98% em termos de custos totais e mais de 99,89% em termos de consumo de energia primária.

Nos meses de Inverno (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), o GPAR fica desligado e, como tal, o consumo apresentado nesses meses refere-se apenas ao consumo normal do edifício e do aquecimento (que é realizado com caldeiras que apenas consomem gás). Já nos meses de Verão (Julho, Agosto e Setembro), as caldeiras não são utilizadas e apenas o GPAR funciona. Não é fácil notar esta diferença de funcionamento nas facturas apresentadas no que diz respeito ao consumo de gás, mas é possível fazê-lo no que diz respeito ao consumo de electricidade.

Foi também dada a informação (pela equipa de manutenção do edifício) de que, no mês de Julho de 2006, o centro informático principal da seguradora (ramo de serviço do edifício em estudo) passou para o referido edifício, sendo este facto notório no consumo de energia eléctrica (equipamento com um total de 30 kW e de funcionamento ininterrupto). O centro informático deste edifício consome mensalmente cerca de 22.000 kWh (Equação 6.1) mais cerca de 8.000 kWh no sistema de climatização para refrigerar o espaço, o que perfaz cerca de 30.000 kWh por mês para o centro informático (valor confirmado pela diferença de consumo entre as facturas de Julho e Junho de 2006).

$$\begin{aligned} 30 \text{ kW} \times 24 \text{ horas} \times 31 \text{ dias} &= \\ &= 22.320 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Equação 6.1 – Energia eléctrica consumida pelo sistema informático

Para os computadores pessoais, de acordo com os cálculos feitos na Tabela 4.2, obtêm-se um consumo de cerca de 5.000 kWh mensais.

O consumo dos GPAR é pouco notório nas facturas, não chegando a 10.000 kWh (relacionando a diferença de consumo da média de meses frios com a média de consumo dos meses quentes).

O consumo de iluminação é estimado com base na observação da utilização do espaço. O edifício possui cerca de 300 candeeiros equipados com 4 lâmpadas de 55 W (iluminação dos postos de trabalho). Os respectivos candeeiros estão acesos cerca de 6 horas por dia, consumindo mensalmente cerca de 8.700 kWh de energia eléctrica (dados recolhidos a partir de observações feitas no edifício e prevendo 22 dias úteis).

No estacionamento existem 198 aparelhos de iluminação, dos quais apenas 170 estão a funcionar (o dono de obra optou por desligar metade dos aparelhos de iluminação das rampas). Durante um dia de trabalho, os aparelhos de iluminação estão acesos (somando todos os períodos de funcionamento), cerca de 10 horas. O funcionamento nos dias não úteis é desprezável para a

estimativa realizada neste estudo. Os aparelhos de iluminação apresentam uma potência de 39,6 W e consomem mensalmente cerca de 1.500 kWh de energia eléctrica (dados recolhidos a partir de observações feitas no edifício e prevendo 22 dias). A parcela do consumo eléctrico mensal imputada à iluminação é de 10.200 kWh.

Tomando assim os 80.000 kWh do mês de Junho de 2007 como referência é possível prever uma distribuição de energia pelas diferentes cargas anteriormente referidas (Tabela 6.3 e Figura 6.1).

Tabela 6.3 – Distribuição absoluta de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura)

	Consumo eléctrico	
	(kWh)	
Iluminação	10.200	
GPAR	10.000	
Centro Informática	30.000	
Computadores Pessoais	5.000	
Remanescente	24.800	
<b>Total</b>	<b>80.000</b>	

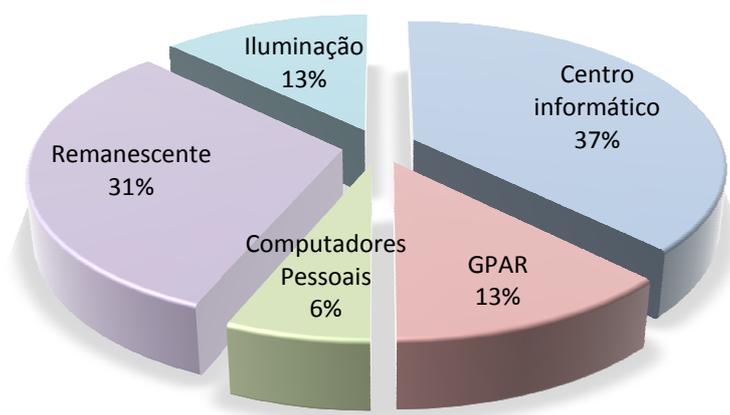


Figura 6.1 – Distribuição relativa de consumo de energia eléctrica (estimada pela factura)

São responsáveis pelo consumo previsto na fatia denominada “remanescente”, os consumos das cargas cuja quantificação não foi possível estimar tais como, os equipamentos secundários de climatização (unidades de tratamento de ar, ventiloconvectores, ventiladores), iluminação, tomadas de usos gerais e elevadores.

A iluminação, apesar de apresentar uma potência instalada muito inferior à do sistema de climatização, toma assim uma importância energética equivalente, uma vez que funciona durante períodos alargados de tempo. Os computadores pessoais e principalmente o próprio centro informático do edifício toma também uma proporção muito grande no consumo eléctrico (devido principalmente ao sobredimensionamento das fontes de alimentação desses equipamentos). A parcela dos equipamentos restantes é também muito significativa o que indica que deverá ser dada uma maior atenção aos demais equipamentos e não só aos sistemas de climatização e iluminação como tem acontecido quando se discute o tema da eficiência energética em edifícios.

## 7. Conclusão

O tema da eficiência energética dos equipamentos utilizados nos edifícios é actualmente abordado por diversos analistas e consultores, que cometem o erro de afirmar que o problema do consumo exagerado acontece na especialidade técnica que menos se domina. Os Engenheiros Mecânicos culpam a iluminação dos altos consumos energéticos e afirmam que os seus sistemas estão optimizados para os espaços; os Engenheiros Electrotécnicos culpam os potentes sistemas de climatização pelos altos consumos energéticos e afirmam que a iluminação atingiu um auge tecnológico dificilmente ultrapassável.

Na verdade todos os sistemas têm o seu contributo no consumo energético dos edifícios e todos existem nos edifícios por necessidade. Por esta razão, torna-se fundamental que os projectos de instalações técnicas especiais de edifícios comecem por prever a instalação de contadores de energia eléctrica individualizados por tipo de instalação, nomeadamente:

- Iluminação
  - o Posto de Trabalho
  - o Circulações
  - o Exterior
- Climatização
  - o GPAR
  - o Bombas
  - o Unidades de tratamento de ar
  - o Ventiladores
  - o Desumidificadores e humidificadores
- Tomadas eléctricas;
- Elevadores;
- Portas eléctricas
- Estores motorizados
- Etc.

Apenas com o conhecimento real do consumo energético destes sistemas, e não pela potência instalada, será possível monitorizar e controlar as variáveis envolvidas, definindo soluções de optimização dos sistemas utilizados e prevendo novas soluções para os novos projectos.

O edifício em estudo, por exemplo, instalou um sistema de controlo dos elevadores muito interessante e que permite uma parametrização optimizada no que se refere aos consumos. Antes de entrar no elevador, o utilizador é obrigado a definir para que piso se pretende deslocar, estando parametrizada a impossibilidade de se deslocar para os pisos adjacentes. Apesar de este ser um edifício que serviu de substituição a um outro já existente em que os elevadores não possuíam este sistema, a direcção do edifício não tem qualquer conhecimento se realmente este investimento está a

contribuir para a poupança energética ou não. Isto deve-se à inexistência de um contador de energia que contabilize os consumos eléctricos dos elevadores.

Para este tipo de edifícios (edifícios de serviços) é importante também referir que os LED, ao contrário do que é publicitado por muitos fabricantes, não são uma solução eficiente. Os LED têm realmente um consumo muito baixo, mas dão origem a um fluxo luminoso também muito baixo quando comparado com as lâmpadas fluorescentes. A grande vantagem de utilização do LED reside na sua longevidade o que o torna ideal para sinalização (por exemplo em semáforos) e não para iluminação. A tecnologia está a evoluir muito rapidamente e prevê-se que num futuro próximo ultrapassem o fluxo luminoso (por watt consumido) de uma lâmpada fluorescente. Até lá, a sua utilização deverá ser cuidadosamente ponderada.

Ainda em termos de iluminação, é também necessário sensibilizar os projectistas, no sentido em que, a metodologia de iluminar uniformemente todos os espaços de uma sala não é uma boa prática e origina um dispêndio de energia muito grande. Na natureza a iluminação não é uniforme. A existência de nuvens que causam sombras, árvores, e outros obstáculos à luz que fazem com que existam diferenças de iluminância muito grandes (100.000 lux num dia soalheiro de verão em local aberto para 3.000 lux num dia escuro de inverno). O olho humano evoluiu durante milhares de anos para responder a estas variações e os ambientes de iluminação uniforme causam sensação de desconforto por se tratar de uma situação não natural.

A luz deve ser dirigida para onde é realmente necessária, ou seja, para o plano de trabalho. No espaço remanescente deverá existir uma iluminação ambiente adequada mas obtida à custa de um consumo menor de energia e por essa razão, com uma iluminância mais baixa. Nesta iluminação periférica ambiente os LED poderão ser utilizados com moderação, por exemplo para iluminar um quadro, onde a aplicação de um LED de última geração de 3 W poderá ser suficiente em vez de utilizar uma lâmpada de halogéneo de 50 W. Apesar de a lâmpada de halogéneo originar uma intensidade luminosa muito superior, para a finalidade em causa, a intensidade criada pelo LED é suficiente e assim é possível poupar energia.

A utilização de sistemas de gestão automáticos toma também uma importância muito grande. A tecnologia pretende facilitar a vida ao ser humano, tornando as suas actividades diárias mais confortáveis. Não se estará no bom caminho ao exigir que se comece a desligar a televisão no botão da mesma e não no telecomando, pois estar-se-ia a assistir a um retrocesso do objectivo final da tecnologia. A tecnologia tem de evoluir de forma a, automaticamente, realizar a acção de desligar a televisão sem que a mesma continue a consumir energia eléctrica (seja no botão local seja no telecomando). Também na iluminação, na informática (hardware) e em outros dispositivos eléctricos, não se está a fomentar o desenvolvimento tecnológico ao exigir que o utilizador não se esqueça de desligar a luz, que não se esqueça de desligar o computador ou que não se esqueça de desligar o ar condicionado.

A tecnologia terá de evoluir de forma a dotar os edifícios de mecanismos que detectem as necessidades de utilização de cada um e se adaptem ao estado de energia mínima para satisfazer essa necessidade. É assim que a natureza se rege e é nesse sentido que os equipamentos de controlo e comando de dispositivos eléctricos devem evoluir também.

Esta tecnologia já existe mas não é aplicada nos edifícios. O ramo automóvel há muito tempo que desenvolveu dispositivos, extremamente robustos, que realizam todas estas tarefas pelo ser humano. Caso não existissem, os automóveis ficariam sem bateria num instante quando ficavam estacionados, uma vez que as mesmas pessoas que utilizam os edifícios são aquelas que utilizam o automóvel que também dispõe de sistemas de iluminação, climatização, som e hoje em dia já autênticos computadores a bordo com leitura centros multimédia e GPS. No automóvel um simples rodar de chave (ou mais recentemente a simples utilização de um botão de pressão) activa ou desactiva todos estes sistemas, deixando-os, quando desactivados, sem qualquer consumo eléctrico. Porque não seguir o mesmo exemplo nos edifícios? Se estes sistemas são economicamente viáveis na indústria automóvel, também poderão vir a ser na construção de edifícios.

No capítulo de iluminação e no capítulo de tomadas é possível verificar que se conseguem obter reduções da ordem dos 80% na iluminação e 13% na utilização de computadores apenas utilizando dispositivos que permitam a regulação automática desses equipamentos (sensores de presença, sensores de iluminação ou relógios e temporizadores a controlarem, contactores nos quadros a desligarem circuitos que não estejam a ser utilizados, entre outros). O retorno de investimento destes sistemas é longo quando se pretende que a sua implementação seja realizada após a construção do edifício, mas poderá reduzir-se significativamente no tempo se estes sistemas estiverem previstos à partida no projecto.

A utilização de motores eficientes é também um objectivo que deverá estar presente na concepção dos sistemas que deles fazem uso. Ao escolher um simples ventilador de extracção ou insuflação de ar num espaço é necessário que o projectista passe a determinar um equipamento altamente eficiente. A regulação nacional obriga a que a sua classificação mínima seja EFF2 (eficiência normal), mas a nível de projecto de edifícios de serviços, principalmente na definição de equipamentos que funcionam continuamente (ou durante os períodos de utilização dos edifícios que no caso dos serviços é um período normalmente longo), devem começar a ser definidos motores com classificação EFF1 (eficiência elevada). Adquirir um motor EFF1 é mais dispendioso no início, mas pode dar origem a um retorno de investimento num curto intervalo de tempo.

O equipamento informático costuma ser dotado de fontes de alimentação construídas em série de milhares e por essa razão adaptadas a inúmeras variáveis (de potência, temperatura de funcionamento, etc.). É usual encontrar nos computadores fontes de alimentação de 300 ou 400 W, quando seriam apenas necessários 100 W ou 150 W. Acontece que essas fontes de energia estão preparadas para estarem e funcionar em ambientes tropicais a fornecer 150 W sem avariarem (uma vez que estão sobredimensionadas para um funcionamento normal de 300 W). É assim também muito importante a escolha do parque informático do edifício de serviços. Os portáteis têm ganho a

fama de equipamentos eficientes quando comparados com os normais computadores de secretária apenas, porque as suas fontes de alimentação estão adaptadas para as necessidades objectivas desse portátil em particular e não para todos os computadores do mundo. Na realidade, os portáteis apresentam um desempenho mais moderado quando comparado com um computador de secretária, assim como apresentam um componente não desprezável numa análise ambiental: a bateria de acumulação de energia.

O centro informático, que no caso do edifício em estudo é responsável por 37% do consumo energético, apresenta o mesmo problema. São instalados inúmeros servidores cada um dos quais com a sua fonte de alimentação sobredimensionada. A solução passaria por um só rectificador com a potência necessária aos equipamentos que, por sua vez, eram alimentados directamente a corrente contínua de acordo com as suas necessidades. Desta forma, o sobredimensionamento da fonte de energia seria partilhado por todos os servidores e não seria a soma dos sobredimensionamentos existentes em cada fonte de energia. As empresas de telecomunicações adoptaram este método há muito tempo, utilizando redes de 48 V de corrente contínua que alimentam os diversos comutadores telefónicos digitais, com a vantagem inerente ao consumo optimizado de energia e a facilidade de dotar o sistema de baterias que servem de fonte redundante em caso de avaria.

O aparecimento da computação Grid (criação de um “supercomputador virtual” através da integração em rede de centenas ou milhares de computadores normais) aumenta a importância deste assunto. Neste momento está a ser construída uma sala de computação GRID em Lisboa onde se prevê que a potência eléctrica instalada num espaço de 200 m<sup>2</sup> chegue aos 2 MVA (sistema informático e sistema de climatização) com consumos anuais na ordem dos 600 MWh (projecto electrotécnico da responsabilidade do autor desta dissertação).

A actual legislação que rege o consumo energético associado à climatização de edifícios obriga a um controlo rigoroso da solução a adoptar em função da utilização e tipo de edifício previsto. Esta legislação foca-se num sistema de certificação energética que peca pela grande importância dada aos sistemas de climatização em detrimento da análise a que deveria obrigar para os restantes sistemas (nomeadamente iluminação e sistemas informáticos). Por esta razão, neste trabalho procurou-se explorar as boas regras a implementar nos sistemas de iluminação e controlo de tomadas em prejuízo dos sistemas complexos de climatização que estão já a ser abordados por muitos especialistas dessa área de conhecimento.

## 8. Bibliografia

- [1]. **Comissão Europeia**, 29 de Maio de 2008, <http://ec.europa.eu>.
- [2]. **Wikipédia - A enciclopédia livre**, 6 de Junho de 2008, <http://pt.wikipedia.org>.
- [3]. **ERSE**, Portal Erse, Citação: 10 de Junho de 2008, <http://www.erse.pt>.
- [4]. **Ministerio de Industria, Turismo y Comercio**, *Código Técnico de la Edificación - REAL DECRETO 314/2006*, Espanha, 2006.
- [5]. **Araújo, Lucínio Preza de**. Electrotecnica e Electrónica, 07 de Novembro de 2006, <http://www.prof2000.pt/users/lpa/>.
- [6]. *1º Congresso da Luz - Inovação e Evolução. CPI - Centro Português de Iluminação*, Lisboa, 2007.
- [7]. *Política de "Relamping" em escritórios*, **Cardoso, Rogério Paulo**, Lisboa, 2007.
- [8]. *A Eficácia Subestimada da Tecnologia T5*, **Grebe, Manfred**, Lisboa, 2007.
- [9]. **Philips**, Led Tour 2007, Lisboa, 2007.
- [10]. **EEE - Empresa de Equipamento Eléctrico, S.A.**, Catálogo Geral, Águeda, Portugal, 2007.
- [11]. *ADASY – Sistema de iluminação natural*, **Rodríguez, Lucas García**, 2007.
- [12]. *Monitorização e controlo de sistemas de iluminação por software*, **Pereira, Miguel**, Lisboa, 2007.
- [13]. **Soares, Marco**, MSPC Informações técnicas, Abril de 2008, <http://www.mspc.eng.br>.
- [14]. **Graucelsius, Lda**, Projectos realizados a edifícios de serviços entre os anos 2000 e 2008, Rinchoa, 2008.
- [15]. **Coker, Russel**, Computer Power Use, 12 de Maio de 2008, <http://doc.coker.com.au>.
- [16]. **Ertl, M. Anton**, Computer Power Consumption, *How much electricity does a Computer consume?*, 09 de Julho de 2008, <http://www.complang.tuwien.ac.at/anton/computer-power-consumption.html>.
- [17]. **Hewlett-Packard**, HP United States, *Download de manuais de utilização*, 2008.
- [18]. **Roriz, Luis**, *Climatização*, Amadora, Orion, 2006.
- [19]. **Mitsubishi Electric**, Catálogo de Produtos, Carnaxide, 2008.
- [20]. **Daikin**, General Catalogue, Bélgica, 2008, Vols, Heating, Air Conditioning, Applied Systems, Refrigeration.