

## **Eficiência energética em edifícios: Gestão do sistema iluminação**

**Nelson Ramos Louçano**

Relatório de estágio para obtenção do grau de Mestre em

**Engenharia Industrial**

Ramo **Engenharia Electrotécnica**

Relatório de estágio realizado sob a orientação de

Professora Doutora Fernanda de Oliveira Resende, do departamento de Electrotecnia

**Novembro de 2009**

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho aos meus pais.

## **Agradecimentos**

Na realização desta dissertação muitas foram as pessoas que me ajudaram, sem as quais este trabalho teria sido sem duvida muito mais difícil de realizar. A todas elas, as quais seria fastidioso aqui enumerar, a minha profunda gratidão.

Não posso deixar de expressar de uma forma particular a minha sentida gratidão:

À Professora Doutora Fernanda Oliveira Resende, minha orientadora, pela sua sabedoria e objectividade, apoio e incentivo ao longo do trabalho desenvolvido nesta tese e sem o qual não teria sido possível a sua conclusão.

À doutora Maria Del Rosario Heras Celemin, Investigadora titular e chefe da Unidade da Eficiência Energética na edificação do departamento de energia do Ciemat, pelo apoio prestado durante o meu estágio naquela unidade.

À minha namorada, pelo amor, incentivo, companheirismo, e paciência em todos os momentos.

Aos colegas e amigos, João Bulhosa, Joel Alves e Pedro Rodrigues, e pela pronta ajuda sempre que necessário.

À minha família, especialmente aos meus pais, por serem uma fonte inesgotável de confiança, pelo apoio, incentivo e compreensão, por me apoiarem sempre em todos os momentos difíceis.

A todos eles o meu

Muito Obrigado

## **Resumo**

Este relatório de estágio tem como principal objectivo abordar o tema da eficiência energética em edifícios, no que se refere a sistemas de iluminação energeticamente eficientes.

Numa fase inicial foram estudadas e analisadas, no Instituto Politécnico de Bragança, técnicas, componentes e tipos de controlo que permitem melhorar a eficiência energética em sistemas de iluminação.

Numa segunda fase, no âmbito do programa *Erasmus*, foi realizado um estágio no Ciemat - Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas- onde foram estudados os sistemas de iluminação existentes em dois dos edifícios.

Um deles foi projectado com o objectivo de ser eficiente em termos energéticos, possuindo, portanto, sistemas de monitorização e de regulação automática da intensidade luminosa em função da iluminação natural existente, proporcionando níveis de iluminação adequados para a realização das actividades pretendidas para cada espaço.

O outro não teve em conta as questões de eficiência energética na fase de projecto, tendo sido utilizadas soluções tecnológicas pouco eficientes e equipamentos que entretanto se tornaram obsoletos. A análise deste sistema de iluminação permitiu constatar que o seu desempenho não é adequado, na medida em que os níveis de iluminação não garantem o conforto visual nos espaços iluminados e, por outro lado, a iluminação natural não é aproveitada. Assim, foram propostas soluções para melhorar a eficiência energética deste sistema de iluminação, as quais são apresentadas neste relatório.

**Palavras-chave:** Eficiência energética, Sistemas de iluminação, Iluminação natural

## **Abstract**

The main objective of this traineeship report is to address the buildings efficiency concerning mainly the efficiency of illumination systems.

During the first stage, issues related with the improvement of the efficiency of illumination systems, such as techniques, components and control systems, were studied and analysed in the Polytechnic Institute of Bragança. During the second stage, a traineeship was realized in *Ciemat – Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*, under the framework of the study Erasmus programme and two existing illumination systems installed in two distinct buildings were studied and analyzed.

One of them was designed taking into account efficiency issues. So, it involves monitoring systems and systems for automatic regulation of the intensity of light taking into account the available daylight, in order to provide proper illumination levels concerning the activities to be carried out in the physical spaces of the building.

In contrast, the other was designed without efficiency concerns, so that less efficient technologies and equipments were used and today they are obsolete. The study and analysis of this illumination system allowed verifying that its performance is not suitable regarding the activities to be realized on the illuminated spaces, because the visual comfort was not assured. On the other hand, the daylight was not exploited. So, in order to improve the efficiency of this illumination system, technical solutions were proposed, which are presented in this report.

**Keywords:** Energetic efficiency, illumination system, daylight

## Índice

1.	Introdução .....	1
1.1.	Considerações preliminares .....	1
1.2.	Motivação e objectivos .....	2
1.3.	Organização do relatório de estágio .....	2
2.	Eficiência energética em edifícios: Sistemas de iluminação .....	3
2.1.	Eficiência energética em edifícios já existentes e em novos edifícios .....	4
2.2.	Projecto de sistemas de iluminação para melhoria da eficiência .....	4
2.2.1.	Condicionantes ao sistema de iluminação.....	4
2.2.1.1.	Dados arquitectónicos do local .....	5
2.2.1.2.	Dados de uso do local .....	5
2.2.1.3.	Dados lumínicos precisos.....	6
2.2.2.	Escolha do método de iluminação .....	6
2.2.3.	Escolha das fontes de luz .....	6
2.2.3.1.	Restituição de cores.....	7
2.2.3.2.	Temperatura de cor .....	7
2.2.3.3.	Eficiência energética das fontes de luz.....	8
2.2.4.	Características das luminárias .....	9
2.2.4.1.	Rendimento da luminária .....	9
2.2.4.2.	Curva de distribuição luminosa.....	10
2.2.4.3.	Curva de ofuscamento.....	10
2.2.5.	Determinação dos níveis de iluminação.....	10
2.2.6.	Programas computacionais .....	11
2.2.6.1.	ADELIN .....	12
2.2.6.2.	DAYLIGHT .....	12
2.2.6.3.	RADIANCE .....	12
2.2.6.4.	LUMEN .....	12
2.2.6.5.	DIALUX .....	12
2.2.7.	Principais componentes .....	15
2.2.7.1.	Fontes luminosas.....	15
2.2.7.1.1.	Princípios produtores de luz artificial .....	15
2.2.7.1.2.	Condições exigidas às fontes de luz.....	16
2.2.7.2.	Tipos de lâmpadas.....	20
2.2.7.2.1.	Lâmpadas incandescentes .....	20
2.2.7.2.2.	Lâmpadas de descarga .....	23
2.2.7.2.3.	Lâmpadas de indução.....	29
2.2.7.2.4.	LED's.....	30
2.2.7.3.	Balastros.....	31

2.2.7.3.1.	Balastros electromagnéticos.....	31
2.2.7.3.2.	Balastros electrónicos .....	32
2.2.7.4.	Luminárias .....	33
2.3.	Iluminação natural e sistemas de controlo de iluminação.....	33
2.3.1.	Iluminação natural .....	34
2.3.1.1.	Técnicas principais.....	34
2.3.1.2.	Projecto .....	34
2.3.1.3.	Vantagens económicas .....	35
2.3.1.4.	Métodos práticos .....	35
2.3.2.	Métodos de controlo .....	36
2.3.2.1.	Principais tipos de controlo .....	36
2.3.2.2.	Seleção do sistema de controlo.....	39
2.4.	Conclusões.....	41
3.	Avaliação da eficiência energética de sistemas de iluminação em edifícios .....	42
3.1.	Eficiência energética de sistemas de iluminação .....	42
3.2.	Eficiência energética de sistemas de iluminação em edifícios novos .....	45
3.2.1.	Requisitos principais.....	45
3.2.2.	Quantidade e qualidade da iluminação .....	46
3.2.2.1.	Ofuscamento .....	46
3.2.2.2.	Distribuição, difusão e sombras .....	47
3.2.2.3.	Uniformidade de distribuição.....	48
3.2.3.	Considerações de projecto .....	48
3.3.	Melhoria da eficiência energética nos sistemas de iluminação dos edifícios já existentes .....	49
3.3.1.	Auditorias energéticas.....	50
3.3.2.	Metodologias de avaliação.....	51
3.3.3.	Análise de custos .....	51
3.4.	Conclusões.....	52
4.	Caso de estudo: Eficiência do sistema de iluminação do edifício 70 do Ciemat .....	53
4.1	Especificações gerais do sistema de iluminação.....	54
4.1.1.	O protocolo DALI.....	54
4.1.2.	Bus de controlo .....	54
4.1.3.	Controlo das luminárias .....	55
4.1.4.	Sistema de gestão.....	56
4.1.5.	Sistema de automação.....	57
4.1.6.	Sistema de campo .....	57
4.2.	Medição da quantidade de iluminação nos locais de trabalho .....	60
5.	Caso de estudo: Sistema de iluminação do edifício 42 do Ciemat .....	64
5.1.	Caracterização do sistema de iluminação .....	64

5.1.1.	Custo da energia gasta em iluminação .....	66
5.1.2.	Análise individual do sistema de iluminação de cada gabinete .....	66
5.1.2.1.	Gabinete 16 .....	67
5.1.2.2.	Gabinete 17 .....	68
5.1.2.3.	Gabinete 15 .....	69
5.1.2.4.	Gabinete 18 A .....	70
5.1.2.5.	Gabinete 18 .....	72
5.1.2.6.	Gabinete 26 .....	73
5.1.2.7.	Gabinete 27 .....	74
5.1.2.8.	Gabinete 28 .....	76
5.1.2.9.	Gabinete 29 .....	77
5.1.2.10.	Gabinete 14 .....	78
5.1.3.	Análise dos níveis de iluminação .....	79
5.2.	Apresentação de soluções energeticamente eficientes o edifício 42 .....	83
5.2.1.	Solução 1: Substituição das lâmpadas .....	83
5.2.2.	Solução 2: Sistema de regulação de intensidade .....	84
5.2.3.	Solução tecnológica para o sistema de regulação .....	95
5.2.4.	Comparação das soluções apresentadas .....	97
6.	Conclusões .....	99
6.1.	Principais Conclusões .....	99
6.2.	Perspectivas de desenvolvimentos futuros .....	100
7.	Bibliografia .....	101



## Índice de figuras

Figura 2. 2-Curvas de Kruithof .....	8
Figura 2. 3-Evolução da eficiência das fontes de luz .....	9
Figura 2. 4-Curvas de distribuição luminosa.....	10
Figura 2. 5-Área de ofuscamento .....	10
Figura 2. 6-Representação 3D.....	13
Figura 2. 7-Mapa de curvas Isolux.....	13
Figura 2. 8-Mapa gama de cinzentos das iluminâncias .....	14
Figura 2. 9-Mapas de valores de iluminâncias .....	14
Figura 2. 10-Representação das curvas de Plank .....	16
Figura 2. 11-Constituição de uma lâmpada incandescente .....	21
Figura 2. 12- Desagregação da energia consumida por uma lâmpada incandescente .....	21
Figura 2. 13-Temperatura de cor e eficiência Luminosa das lâmpadas incandescentes.....	22
Figura 2. 14-Curva de distribuição espectral das lâmpadas incandescentes .....	22
Figura 2. 15-Construção e operação de lâmpadas de tungsténio de baixa tensão .....	23
Figura 2. 16- Desagregação da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio.....	24
Figura 2. 17- Construção e operação da Lâmpada de Vapor de Mercúrio .....	25
Figura 2. 18- Construção e operação da Lâmpada de Luz .....	25
Figura 2. 19- Construção e operação das lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão .....	26
Figura 2. 20- Desagregação da energia consumida .....	27
Figura 2. 21- Construção e operação das lâmpadas de Iodetos Metálicos .....	27
Figura 2. 22-Constituição das lâmpadas fluorescentes.....	28
Figura 2. 23- Desagregação da energia consumida por uma lâmpada fluorescente .....	28
Figura 2. 24- Construção e operação das lâmpadas fluorescentes compactas.....	29
Figura 2. 25-Sectorização de circuitos .....	36
Figura 2. 26-Sectorização de circuitos .....	36
Figura 2. 27- Temporizador analógico.....	37
Figura 2. 28- Temporizador digital .....	37
Figura 2. 29- Regulação a 1% dos níveis de iluminação artificial .....	39
Figura 2. 30-Regulação a 100% dos níveis de iluminação artificial .....	39
Figura 3. 1-Etapas essenciais da transformação da energia em iluminação .....	42
Figura 3. 2-Eficiência energética do sistema.....	43
Figura 3. 3-Ofuscamento directo.....	47
Figura 3. 4-Ofuscamento por reflexão .....	47
Figura 3. 5-Iluminação correcta sem ofuscamento .....	47
Figura 3. 6-Iluminação correcta sem ofuscamento .....	47
Figura 3. 7- Distribuição incorrecta do fluxo luminoso .....	48
Figura 3. 8- Distribuição uniforme do fluxo luminoso .....	48
Figura 3. 9-Auditoria energética .....	50
Figura 4. 1-Fachada norte .....	53

Figura 4. 2-Fachada sul .....	53
Figura 4. 3-Vista lateral superior .....	53
Figura 4. 4-Cobertura do edifício.....	53
Figura 4. 5-Sistema de gestão .....	56
Figura 4. 6-Equipamento de visualização do sistema de iluminação .....	57
Figura 4. 7-Sistema de aquisição de dados.....	57
Figura 4. 8-Eschema correspondente ao sistema de automação .....	57
Figura 4. 9-Sistema de campo.....	58
Figura 4. 10-Sensor de luz natural .....	59
Figura 4. 11-Sensor de presença .....	59
Figura 4. 12-Multi-sensor .....	60
Figura 4. 13-Medição da quantidade de iluminância nos postos de trabalho .....	60
Figura 4. 14-Wattímetro do circuito de tomadas.....	61
Figura 4. 15-Wattímetro do circuito de iluminação .....	61
Figura 4. 16- Vista superior dos escritórios em estudo .....	61
Figura 4. 17-Consumo de energia eléctrica no circuito de iluminação dia 16-03-2009.....	61
Figura 4. 18-Consumo de energia eléctrica no circuito de iluminação dia 20-04-2009.....	62
Figura 4. 19-Consumo de energia eléctrica no circuito de iluminação dia 08-05-2009.....	62
Figura 4. 20-Consumo de energia eléctrica no circuito de iluminação dia 19-06-2009.....	62
Figura 5. 1- Fachada sudeste e este.....	64
Figura 5. 2- Vista aérea do edifício 42.....	64
Figura 5. 3- Planta esquemática do edifício 42 .....	64
Figura 5. 4- Esboço geral do edifício 42 .....	66
Figura 5. 5-Vista 3D padrão gabinete 16 .....	67
Figura 5. 6- Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 16 .....	67
Figura 5. 7-Linhas isográficas de iluminação gabinete 16 .....	68
Figura 5. 8- Vista 3D padrão gabinete 17 .....	68
Figura 5. 9- Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 17 .....	69
Figura 5. 10-Linhas isográficas de iluminação .....	69
Figura 5. 11-Vista 3D padrão gabinete 15 .....	69
Figura 5. 12-Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 15 .....	70
Figura 5. 13-Linhas isográficas de iluminação gabinete 15 .....	70
Figura 5. 14- Vista 3D padrão gabinete 18 A.....	71
Figura 5. 15- Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 18 A .....	71
Figura 5. 16-Linhas isográficas de iluminação gabinete 18 A .....	71
Figura 5. 17-Vista 3D padrão gabinete 18 .....	72
Figura 5. 18-Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 18.....	72
Figura 5. 19-Linhas isográficas de iluminação gabinete 18 .....	73
Figura 5. 20-Vista 3D padrão gabinete 26 .....	73
Figura 5. 21-Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 26.....	74

Figura 5. 22-Linhas isográficas de iluminação gabinete 26 .....	74
Figura 5. 23-Vista 3D padrão gabinete 27 .....	75
Figura 5. 24-Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 27 .....	75
Figura 5. 25-Linhas isográficas de iluminação .....	75
Figura 5. 26-Vista 3D padrão gabinete 28 .....	76
Figura 5. 27-Planta geral plano X-Y simbólico .....	76
Figura 5. 28-Linhas isográficas de iluminação .....	76
Figura 5. 29-Vista 3D padrão gabinete 29 .....	77
Figura 5. 30-Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 29 .....	77
Figura 5. 31-Linhas isográficas de iluminação gabinete 29 .....	78
Figura 5. 32-Vista 3D padrão gabinete 14 .....	78
Figura 5. 33-Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 14 .....	79
Figura 5. 34-Linhas isográficas de iluminação gabinete 14 .....	79
Figura 5. 35-Iluminância resultante do sistema de iluminação artificial .....	80
Figura 5. 36-Iluminância proporcionada pelo sistema de iluminação natural e artificial 8:30h .....	80
Figura 5. 37- Iluminância proporcionada pelo sistema de iluminação natural e artificial 10:30h .....	81
Figura 5. 38-Iluminância proporcionada pelo sistema de iluminação natural e artificial 17:30h .....	81
Figura 5. 39-Iluminância proveniente do sistema de iluminação natural 8:30h .....	82
Figura 5. 40-Iluminância proveniente do sistema de iluminação natural 10:30h .....	82
Figura 5. 41- Iluminância proveniente do sistema de iluminação natural 17:30h .....	82
Figura 5. 42-Lâmpada TL-D 36W vs TL-D Eco .....	84
Figura 5. 43-Lâmpada fluorescente TL-D 36W vs TL-D Eco reflex .....	84
Figura 5. 44-Lâmpada TL-D ECO reflex 36 W .....	84
Figura 5. 45-Mapa de gama de cinzentos contribuição luz natural .....	85
Figura 5. 46-Mapa de valores de iluminâncias .....	85
Figura 5. 47-Mapa de gama de cinzentos contribuição de luz natural e artificial .....	86
Figura 5. 48-Mapa de valores de iluminâncias .....	87
Figura 5. 49-Mapa de gamas de cinzento contribuição de luz natural com luz artificial regulada .....	88
Figura 5. 50-Mapa de valores de iluminâncias .....	88
Figura 5. 51-Média de consumos de energia esperados com o sistema de regulação para os equinócios e solstícios .....	94
Figura 5. 52-Consumos médios de energia diários esperados com o sistema de regulação .....	94
Figura 5. 53-Poupança de energia prevista diária em € .....	95
Figura 5. 54-Sistema ActiLume da Philips .....	95
Figura 5. 55-Exemplo da aplicação do sistema ActiLume da Philips .....	97
Figura 5. 56-Emissões de Co <sub>2</sub> para as soluções apresentadas .....	97
Figura 5. 57-Comparação de consumos anuais de potência para as soluções apresentadas .....	98

## Índice de tabelas

Tabela 3. 1- Valores máximos e recomendados para a potência luminosa instalada por unidade de área ( $\text{W/m}^2$ ) em função das Iluminâncias requeridas .....	43
Tabela 4. 1-Dados técnicos do sensor de luz .....	58
Tabela 4. 2- Dados técnicos do sensor de presença.....	59
Tabela 4. 3- Características técnicas multi-sensor .....	60
Tabela 5. 1- Características do sistema de iluminação do edifício 42 .....	65
Tabela 5. 2- Levantamento dos níveis de Iluminâncias .....	65
Tabela 5. 3- Custo energético do sistema de iluminação artificial .....	66
Tabela 5. 4- Custos associados dos 3 tipos de lâmpadas.....	83
Tabela 5. 5- Iluminância luz natural.....	86
Tabela 5. 6- Iluminâncias luz natural e artificial.....	87
Tabela 5. 7- Iluminâncias luz natural com luz artificial regulada .....	88
Tabela 5. 8- Regulação do sistema de iluminação dia 21-03-2009 .....	89
Tabela 5. 9- Consumo diário dos gabinetes em estudo .....	89
Tabela 5. 10- Consumo energético com regulação dia 21-03-2009 .....	90
Tabela 5. 11- Poupanças energéticas dia 21-03-2009 .....	90
Tabela 5. 12- Regulação do sistema de iluminação dia 22-06-2009 .....	90
Tabela 5. 13- Consumo energético dia 22-06-2009 .....	91
Tabela 5. 14- Poupanças energéticas dia 22-06-09 .....	91
Tabela 5. 15- Regulação do sistema de iluminação dia 21-09-2009 .....	92
Tabela 5. 16- Consumo energético dia 21-09-2009 .....	92
Tabela 5. 17- Poupança energética dia 22-06-2009 .....	92
Tabela 5. 18- Regulação do sistema de iluminação 22-09-2009.....	93
Tabela 5. 19- Consumo energético dia 22-12-2009 .....	93
Tabela 5. 20- Poupança energética dia 22-12-2009 .....	93
Tabela 5. 21- Custo dos componentes do sistema ActiLume .....	96
Tabela 5. 22- Potência e $\text{KgCo}_2$ consumidos .....	97

## Lista de abreviaturas

EIB	European Installation Bus
BEF	Ballast efficacy factor
CEN	Comité Europeu de Normalização
CFL	compact fluorescent lamp (CFL)
CRC	Cyclic redundancy check
CSMA/CA	Carrier sense multiple access with collision avoidance
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
IEC	International Electrotechnical Commission
IEE	Indicador de Eficiência Energética
IEEI	Indicador de Eficiência Energética de aquecimento
IEEV	Indicador de Eficiência Energética de Arrefecimento
IES	Institute for Environment and Sustainability
OLED	Organic Light Emitter Diode
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
UE	União Europeia

# **1. Introdução**

## **1.1. Considerações preliminares**

Desde o início da Humanidade que uma das maiores preocupações do Homem é arranjar um meio de colmatar a ausência da luz natural, e de vencer a barreira da obscuridade nocturna. Ao dominar o fogo o Homem iniciou a história da iluminação artificial. Desde cedo que o Homem sentiu que a iluminação artificial requeria grandes gastos de energia, inicialmente grandes quantidades de madeira, carvão e mais tarde petróleo, sendo hoje em dia uma grande preocupação a nível mundial, pois grande parte da energia eléctrica produzida globalmente é consumida na iluminação. Assim sendo, surge a necessidade de adoptar sistemas de iluminação energeticamente eficientes, ou seja, transformar a menor quantidade de energia eléctrica possível, para a gerar a máxima quantidade de iluminação.

A utilização eficiente de energia e a consequente poupança nos custos são, nos dias de hoje, uma preocupação constante não só dos governos e das entidades oficiais como também da população em geral. Esta preocupação aumenta quando se toma consciência que não é apenas uma mera questão de poupar ou, se preferir, de não gastar, mas também de se preservar o meio que nos rodeia. Assim, as preocupações ambientais, como por exemplo as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e o consequente aumento da temperatura (efeito de estufa) do planeta e aumento do “buraco de ozono”, tomam uma importância primordial nas nossas preocupações diárias [1].

Na UE a 27, o consumo de energia eléctrica em iluminação no sector residencial representa mais de 12% do consumo total deste sector. Cerca de 20% da factura de electricidade de uma habitação é devida à iluminação e no sector dos serviços, essa percentagem, pode chegar até 60% [2].

No nosso país, a situação é análoga. No sector doméstico a iluminação representa em termos médios cerca de 12% do consumo de energia eléctrica e no sector dos serviços sobe para 20%, existindo em ambos os sectores um elevado potencial de economia de energia que devemos explorar [3].

A nível internacional, 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 [4].

A Directiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios, estabelece que os Estados membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo também que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público [3].

Neste âmbito foram criados no nosso país, novos regulamentos para os sistemas energéticos e de climatização nos edifícios (RSECE), e para as características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE), bem como a criação do sistema de certificação energética e qualidade do ar interior dos edifícios (SCE).

Estes, vieram posteriormente a ser complementados com a publicação do Decreto-Lei nº 108/2007 e das Portarias nº 54/2008 e nº 63/2008 que estabelecem e regulamentam a aplicação de uma taxa nas lâmpadas de baixa eficiência energética. A eficiência energética da iluminação, devendo incluir-se na eficiência energética global do edifício, levou a Comissão da UE a solicitar ao Comité Europeu de Normalização (CEN) o desenvolvimento de uma metodologia de eficiência energética para a iluminação [4].

Por outro lado não se poderá falar em eficiência energética e em sistemas de iluminação energeticamente eficientes se não forem normalizados os níveis mínimos de iluminação para as mais diversas tarefas. Assim sendo, foi publicada a norma EN 12464-1 sobre a iluminação interior na qual são estabelecidos os níveis de iluminância recomendáveis nos locais de trabalho. A norma, não é de seguimento obrigatório pelos Estados membros, contudo, estes são obrigados a ter normas nacionais que obriguem a eficiência energética da iluminação a ser incluída nos parâmetros de avaliação da eficiência energética global dos edifícios [5].

Torna-se, portanto, necessário apostar em tecnologias mais eficientes para melhorar a eficiência dos sistemas de iluminação.

## **1.2. Motivação e objectivos**

Tendo em conta o contexto europeu e em particular o contexto português, no que se refere à eficiência energética de edifícios, nomeadamente a eficiência dos sistemas de iluminação, torna-se necessário adoptar medidas urgentes que contribuam para a redução de consumos de electricidade em sistemas de iluminação.

Nos edifícios novos o projecto dos sistemas de iluminação deve ter em conta a adopção de tecnologias mais eficientes e permitir o aproveitamento de iluminação natural devido ao reduzido custo associado e assegurar o nível de conforto visual.

No caso de edifícios já existentes, o procedimento a seguir passa pela análise da eficiência do sistema de iluminação e, no caso de ser economicamente viável, pela substituição de equipamentos menos eficientes e possivelmente aquisição e instalação de equipamentos para controlo do sistema.

Neste contexto, o objectivo principal deste relatório de estágio consiste no estudo da eficiência energética dos sistemas de iluminação em edifícios. Foram abordadas as questões relacionadas com o projecto de sistemas de iluminação tendo em conta a utilização da iluminação natural. Posteriormente foram realizadas análises aos sistemas de iluminação de dois edifícios e propostas soluções que contribuem para a melhoria da sua eficiência.

## **1.3. Organização do relatório de estágio**

Este relatório encontra-se dividido portanto em seis capítulos. No capítulo 1 é feita uma introdução que inclui o enquadramento do estágio no panorama legislativo nacional e europeu.

No capítulo 2, é efectuado um estudo sobre a eficiência energética em edifícios existentes e em novos edifícios, sendo referido os principais componentes de um projecto de um sistema de iluminação eficiente. Neste capítulo é abordada de igual modo a importância do contributo da iluminação natural assim como sistemas de controlo que visem a eficiência energética do sistema de iluminação.

No capítulo 3, são abordados temas, que visem a melhoria de sistemas de iluminação em edifícios novos, e em edifícios já existentes, assim como as principais características que definem um sistema de iluminação energeticamente eficiente.

No capítulo 4, é apresentado um caso de estudo relativo ao sistema de iluminação do edifício do CIEMAT, em Madrid.

No capítulo 5 é feita uma análise da área de gestão de energia no edifício 42 do CIEMAT e propostas soluções que contribuem para a melhoria da eficiência energética deste sistema de iluminação.

Finalmente, no Capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões e perspectivas e desenvolvimentos futuros.

## **2. Eficiência energética em edifícios: Sistemas de iluminação**

O aparecimento de novos regulamentos, tais como o SCE e o RSECE veio impor novas regras e medidas de eficiência energética no projecto de novos edifícios.

Nos grandes edifícios de serviços, estas medidas têm que ser tomadas visando a instalação de sistemas de climatização e iluminação que tenham rendimentos elevados. Assim, só os edifícios cujo projecto tenha em atenção estes condicionantes e optem por tecnologias de baixo consumo poderão, além de obter licenciamento, pertencer a uma classe eficiente energética alta [4].

Deste modo o engenheiro electrotécnico responsável pelo projecto de iluminação dos edifícios assume um papel importante pois tem que saber conciliar eficiência energética e qualidade de iluminação. O conceito de eficiência energética em iluminação torna-se insignificante se o sistema de iluminação não fornecer as condições adequadas à realização das diversas tarefas por parte dos seus utilizadores. A adopção de tecnologias energeticamente eficientes não deve, sob nenhuma hipótese, prejudicar o conforto e a satisfação dos utilizadores. Na sua forma mais simples, um sistema de iluminação energeticamente eficiente pode ser obtido através da minimização de duas variáveis, o tempo de utilização e a potência instalada. A minimização da potência instalada é obtida através da utilização de componentes do sistema de iluminação artificial energeticamente eficientes como lâmpadas com alta eficiência luminosa, luminárias reflexivas, balastros com elevado factor de potência e circuitos de distribuição e controlo.

O aproveitamento da iluminação natural através da utilização de sistemas de controlo da iluminação artificial pode minimizar o tempo de utilização do sistema de iluminação artificial. O mesmo se verifica com o uso de sensores de presença e temporizadores para áreas com ocupação intermitente.

Ambientes que apresentem maiores reflectâncias, ou seja, que apresentem superfícies claras, também contribuem consequentemente para a diminuição da potência instalada. Os sistemas de iluminação energeticamente eficientes, quando não são entendidos claramente podem parecer caros e causar a sensação de proporcionar condições de trabalho luxuosas, porém na realidade este deveria ser entendido como um investimento com retorno financeiro garantido. O investimento inicial pode custar mais do que uma instalação ineficiente. No entanto, o retorno do investimento ocorre geralmente em poucos anos através da poupança da energia eléctrica consumida e da redução de custos da reposição de equipamentos.

O sistema de iluminação deverá proporcionar um ambiente visual adequado que forneça os níveis de iluminação mínimos necessários à realização das tarefas visuais.

A luz deverá ser fornecida e direccionada à superfície de trabalho para que os ocupantes consigam desenvolver as suas actividades. Além disto, a iluminação deverá ter em consideração as exigências de cada ocupante nos momentos em que este realiza as suas tarefas visuais. Estas exigências normalmente são determinadas pelo período de ocupação.

Nas subsecções seguintes são abordadas questões relacionadas com a eficiência energética de edifícios particularmente em sistemas de iluminação. Assim na secção 2.1 são apresentadas algumas considerações sobre a eficiência energética de sistemas de iluminação em edifícios novos e nos edifícios existentes. Na secção 2.2 são abordadas as questões de projecto de sistemas de iluminação tendo em vista a melhoria da sua eficiência. As técnicas de iluminação natural e os sistemas de controlo de iluminação são apresentadas na secção 2.3. Por fim, na secção 2.4 são apresentadas as principais conclusões.



## **2.1. Eficiência energética em edifícios já existentes e em novos edifícios**

Para sistemas existentes, os “*retrofits*”, termo utilizado para definir qualquer tipo de reforma, poderão ser economicamente vantajosos. A substituição de equipamentos ineficientes e a instalação de sistemas de controlo de iluminação artificial através do uso de iluminação natural ou sensores de presença são alternativas eficientes a serem consideradas nos sistemas existentes. A iluminância necessária para a realização da tarefa visual e o nível desejado de melhoria, bem como as metas de redução de consumo de electricidade e os custos, determinarão as medidas a serem adoptadas no *retrofit* em sistemas de iluminação.

Para se efectuar uma estimativa do consumo total de electricidade destinada ao sistema de iluminação, as exigências de cada tarefa deverão ser consideradas, ou seja, diferentes ambientes com diferentes actividades visuais necessitam de iluminâncias diferentes. Os espaços deverão ser iluminados de acordo com esta necessidade [5].

Deve-se atentar, ao facto de que alguns ambientes deverão ser iluminados durante todo o tempo de utilização, enquanto outros necessitam de iluminação apenas em certos períodos do dia. Estes detalhes deverão ser conhecidos para que se possa adoptar soluções que permitam uma utilização mais eficiente do sistema de iluminação artificial.

## **2.2. Projecto de sistemas de iluminação para melhoria da eficiência**

De acordo com as exigências dos novos Regulamentos em vigor, o RSECE e o SCE, surge a necessidade de criar uma metodologia que permita aos projectistas dimensionar sistemas de iluminação energeticamente eficientes que satisfaçam as restrições impostas pelos novos regulamentos e mantenham os padrões de qualidade recomendados.

Antes de se iniciar um projecto luminotécnico energeticamente eficiente é necessário recolher previamente uma série de dados específicos, que irão interferir directamente na iluminação. Estes dados encontram-se apresentados na subsecção 2.2.1. Além disso, é necessário proceder à escolha do método de iluminação e da fonte de luz. Assim, na subsecção 2.2.2 e 2.2.3 é apresentada uma breve descrição das questões a ter em conta na escolha destes. As principais características das luminárias são apresentadas na subsecção 2.2.4.

Na subsecção 2.2.5 são apresentados os principais componentes de um sistema de iluminação, e na subsecção 2.2.6 programas computacionais que permitem determinar e analisar os níveis de iluminação existentes num determinado espaço.

### **2.2.1. Condicionantes ao sistema de iluminação**

Os dados que interferem directamente com o sistema de iluminação podem ser divididos em vários grupos. Nas subsecções seguintes encontra-se uma breve descrição de cada um deles.

Os dados que interferem directamente com o sistema de iluminação podem ser divididos em vários grupos. Nas subsecções seguintes encontra-se uma breve descrição de cada um deles.

### 2.2.1.1. Dados arquitectónicos do local

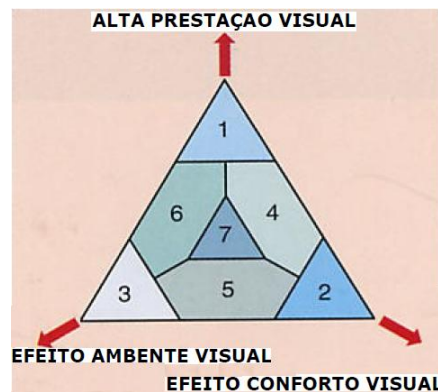
Os dados arquitectónicos dizem respeito a forma geométrica do local, a altura, largura e comprimento do compartimento, elementos presentes no espaço como pilares, vigas, janelas ou outros envidraçados, disposição do mobiliário e objectos presentes no espaço.

É também importante analisar o tipo de luminárias que o local pode receber, isto é, saber se o local permite a montagem de armaduras suspensas ou encastradas.

### 2.2.1.2. Dados de uso do local

Também é importante saber qual a actividade a desempenhar no local a iluminar, a idade das pessoas que ocuparão o local de forma a fixar um nível de iluminação adequado às suas necessidades, assim como a altura do plano de trabalho e o período de funcionamento. Normalmente em locais de trabalho como escritórios e escolas a altura do plano de trabalho ronda os 0,85m. Em locais de passagem como corredores o plano de trabalho estará próximo do chão [6].

O diagrama a seguir indicado permite-nos relacionar a prestação visual e efeito do ambiente visual e o conforto.



**Figura 2. 1-**Prestações exigidas para os diferentes ambientes [7]

A descrição do diagrama é apresentado na figura 2.1 encontra-se na tabela 2.1, onde está apresentado o grau de exigência e os locais tipo dessas exigências visuais

Número	Exigência	Exemplo do local
1	Alta prestação Visual	Local com terminais de vídeo
2	Elevado Conforto	Sala de reuniões ou local onde se desenvolvam conversações
3	Ambiente visual	Ambiente com um certo prestígio (sala de direcção, por exemplo)
4	Prestação visual + conforto visual	Local cuja actividade principal é a leitura ou a escrita
5	Efeito Visual+conforto visual	Recepção ou hall de entrada
6	Efeito ambiente + prestação visual	Gabinetes de projectos com certo prestígio
7	Efeito visual + conforto visual+ prestação visual	Gabinetes de trabalho em geral

**Tabela 2.1-**Prestações exigidas para os diferentes ambientes [7]

### **2.2.1.3. Dados lumínicos precisos**

Devemos ter em atenção os dados lumínicos de maior rigor pois são estes que terão mais influência para o projecto. Nestes estão inseridos a reflexão da luz nas paredes, tecto, chão e superfícies envidraçadas, a necessidade de reprodução cromática dos objectos que farão parte do ambiente. Estes dados irão ditar a escolha da fonte luminosa, o nível de iluminação necessária, o tipo de iluminação, o grau de difusão das luminárias e por último a escolha do conjunto lâmpada-luminária [6].

### **2.2.2. Escolha do método de iluminação**

A escolha do método de iluminação a ser utilizado é determinado pela análise do ambiente a ser iluminado e da tarefa a ser executada. Em relação à concentração de luz necessária para a realização de determinada tarefa, os métodos de iluminação podem ser divididos em 3 sistemas:

- **Iluminação geral**

Consiste em conseguir uma iluminação uniforme, sobre toda a superfície a iluminar com os níveis necessários, em função da tarefa a desenvolver dentro do local. As luminárias são distribuídas regularmente no tecto e a iluminância média deve ser igual a exigida pela tarefa.

- **Iluminação localizada**

É obtida através de uma concentração maior de luminárias em determinadas posições de trabalho onde se exige uma iluminância suficientemente elevada. É um sistema de uso mais restrito como por exemplo para ambientes de trabalho e exposições.

- **Iluminação geral localizada**

Consiste na realização de uma iluminação geral de toda a superfície do local, com níveis de iluminação relativamente baixos, e potenciar mediante uma iluminação localizada, pequenas superfícies ou zonas, com os níveis adaptados às necessidades específicas dessas superfícies de trabalho ou planos de trabalho, adaptando-se perfeitamente às tarefas visuais precisas em cada caso.

### **2.2.3. Escolha das fontes de luz**

A segunda etapa do projecto luminotécnico é a escolha das fontes de luz, estas devem ser escolhidas de acordo com a sua eficácia, temperatura de cor, forma física, tempo de vida e o tempo necessário a operar no fluxo nominal. A escolha da fonte de luz irá ser decisiva para a escolha da luminária, do tipo de controlo e das futuras operações de manutenção da instalação.

Deverão ser escolhidas lâmpadas que cumpram os requisitos de iluminação adequados ao local e armaduras adequadas às lâmpadas. Desta simbiose depende grande parte da qualidade da iluminação, assim como da eficiência energética do sistema [8].

Os factores que devem ser levados em conta para a escolha das lâmpadas e das luminárias são apresentados nas subsecções seguintes.

### 2.2.3.1. Restituição de cores

Devem ser escolhidas lâmpadas com o índice de restituição de cor (IRC) mínimo adequado à tarefa a desempenhar. Assim para locais em que tarefa a desempenhar necessite de uma boa fidelidade de reprodução de cor devem ser escolhidas lâmpadas com IRC perto de 100.

A tabela seguinte mostra os valores mínimos de índices de restituição de cor (IRC) aceitáveis para um local em função do tipo de actividade que ocorre neste.

Qualidade desejada	Valor Limite de IRC	Exemplos de aplicação
A apreciação das cores tão exacta quanto possível, é essencial. Excelente restituição de cores.	IRC > 90	Controle, selecção, exame Laboratórios Indústria têxtil Tipografias Produtos agrícolas
Restituição de cores de boa qualidade. Necessidade de uma iluminação agradável.	IRC > 80	Escritórios; escolas Estabelecimentos Comerciais
Restituição de cores aceitável	IRC > 70	Escritórios; escolas Estabelecimentos Comerciais
Restituição de cores medíocre mas aceitável.	60 < IRC < 70	Indústria: armazém, mecânica
Nenhuma exigência de restituição de cores.	IRC < 60	Industria: fundições, armazéns de peças

**Tabela 2. 2-**Classificação das lâmpadas de acordo com o seu IRC [8]

### 2.2.3.2. Temperatura de cor

A temperatura de cor é medida em Kelvin (K) e caracteriza a aparência da cor de uma fonte de luz. É uma das características que deve ser considerada para a escolha das lâmpadas. A sua escolha depende de inúmeros factores, tais como a iluminância, as cores do local e do mobiliário, a tarefa a desempenhar e o próprio clima.

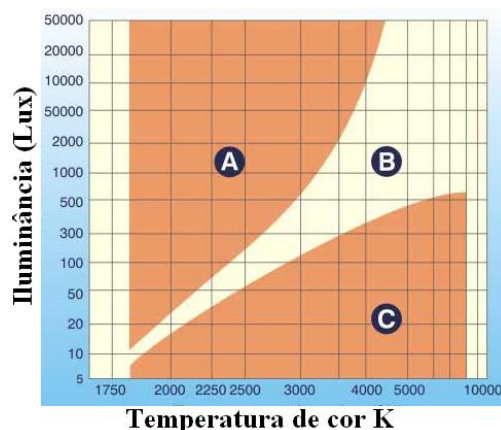
Em climas mais quentes geralmente é preferida uma aparência de cor da luz mais fria e em climas mais frios é preferida uma aparência de cor da luz mais quente. Em locais de trabalho deve ser usada uma tonalidade de cor intermédia como branco-neutro e em locais de descanso deve-se optar por uma tonalidade branco quente.

De acordo com a temperatura da cor, as lâmpadas podem ser divididas em três categorias, fria, neutra e quente, como mostra a tabela 2.3.

Temperatura da cor (K)	Aparência da cor
>4000	Fria (branca azulada)
3000-4000	Neutra (branca)
<3000	Quente (branca avermelhada)

**Tabela 2. 3-**Temperatura de cor/Aparência de cor da lâmpada [8]

Para uma iluminação de qualidade, a aparência de cor da fonte de luz deve estar relacionada com a iluminância. Quanto maior a iluminância do ambiente, maior deve ser a temperatura da cor e consequentemente mais fria a aparência da cor. A escolha da temperatura de cor da lâmpada deve ser também condicionada pelo nível de iluminância pretendido para o local. Essa relação é dada pela figura 2.2 que representa o diagrama de Kruithof.



**Figura 2. 2-Curvas de Kruithof [6]**

No diagrama da figura 2.2, a zona B corresponde a uma zona em que a iluminação provoca uma sensação agradável. Na zona A, a impressão de cores é irreal, demasiado cálido, e na zona C o ambiente luminoso é do tipo crepuscular, demasiado frio [6].

### **2.2.3.3. Eficiência energética das fontes de luz**

As lâmpadas diferenciam-se entre si não só pelos diferentes fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências e pela energia que consomem. Para poder compará-las, é necessário que se saiba quantos lúmen são gerados por watt absorvido. A essa grandeza dá-se o nome de Eficiência Energética [9].

Quando há dúvidas entre fontes de luz, que permitam obter uma iluminação de qualidade idêntica e apresentem valores de rendimento luminosos diferentes deve-se optar sempre pelo mais eficiente. Se a diferença de investimento inicial ou os tempos de vida útil forem muito diferente recomenda-se fazer o projecto para as diferentes opções e mais tarde fazer uma opção por critérios económicos.

Por motivos de eficiência e de eliminação de efeitos indesejáveis, como o efeito *flicker* ou o efeito estroboscópico deve-se optar sempre por uma tecnologia que recorra a balastros electrónicos.

A figura 2.3 mostra a eficácia da gama de fontes de luz incluindo as perdas nos balastros, tendo em consideração um conjunto de características de forma a se obter o rendimento máximo do sistema.

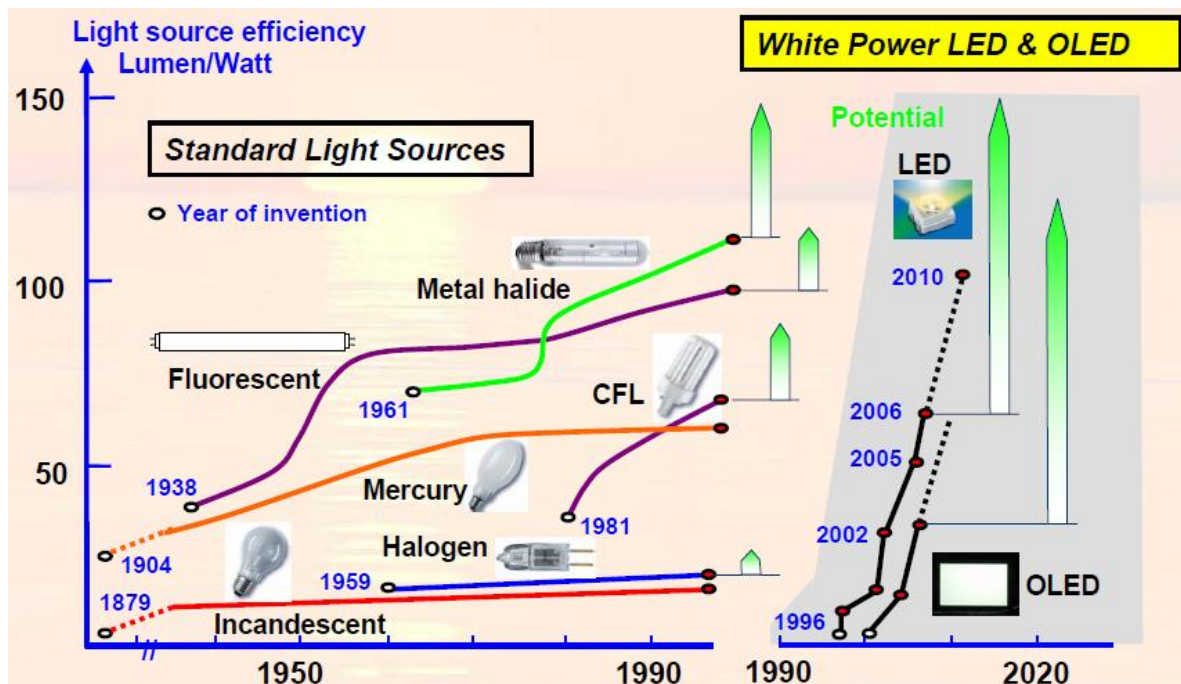


Figura 2. 3-Evolução da eficiência das fontes de luz [10]

À excepção das lâmpadas incandescentes e das lâmpadas de halogéneo cada um destes tipos de fontes de luz necessita de um balastro. Ao se escolher um balastro deverão ser tomados em consideração alguns aspectos essenciais que irão ditar a eficiência do sistema de iluminação [12]. Assim na escolha de um balastro é necessário ter em atenção o factor do balastro. Trata-se de uma medida relativa que representa a quantidade de lúmen resultante do conjunto Lâmpada/Balastro. O factor de balastro tem de ser considerado para o conjunto Lâmpada/Balastro e não individualmente, pois se um destes componentes for modificado o factor de balastro irá sofrer modificações.

Existe um método de comparação da eficiência energética do conjunto Lâmpada/Balastro, este é denominado por BEF. Trata-se da razão do factor do balastro (BF) dividido pela potência de entrada do balastro.

$$BEF = \frac{BF}{BIP} \quad (1)$$

Valores elevados de BEF indicam mais eficiência do sistema do conjunto Lâmpada/Balastro [11], [13].

#### 2.2.4. Características das luminárias

É necessário conhecer as características da luminária que se irá empregar no projecto de forma a saber a quantidade e a forma como a luz chega ao plano de trabalho.

O rendimento, curva de distribuição luminosa, curva de ofuscamento são algumas das características essenciais a ter em consideração no momento de escolha da luminária. Nas subsecções seguintes é apresentada uma breve descrição destas características.

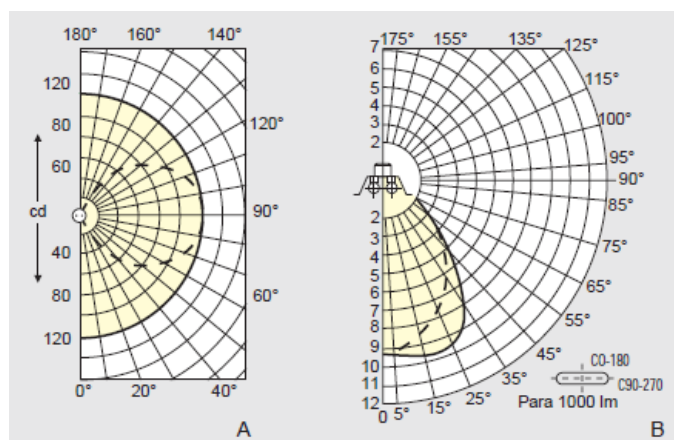
##### 2.2.4.1. Rendimento da luminária

O rendimento da luminária é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela luminária medido sob condições práticas especificadas e a soma dos fluxos luminosos individuais das lâmpadas operando fora das luminárias em

condições também específicas. Em suma, a lâmpada tem 100% de rendimento e ao ser aplicada a luminária existirá uma perda, que quanto menor esta perda, maior será o rendimento da luminária [10].

#### 2.2.4.2. Curva de distribuição luminosa

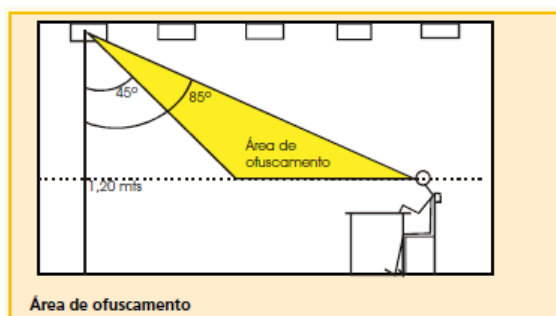
A curva de distribuição luminosa é a representação da intensidade luminosa em todos os ângulos em que ela é direccionada num plano. Esta curva indica se a lâmpada ou luminária têm uma distribuição de luz concentrada, difusa, simétrica, assimétrica etc. Deverá ser apresentada, no mínimo, nos planos, longitudinal e transversal. É muito importante que observemos o conjunto rendimento vs distribuição. Podemos ter uma luminária com 90% de rendimento, mas parte deste rendimento está situado numa área que não nos interessa. A figura 2.4 representa a curva de intensidade luminosa no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a uma luminária com um reflector (B).



**Figura 2. 4**-Curvas de distribuição luminosa [10]

#### 2.2.4.3. Curva de ofuscamento

A curva de ofuscamento permite realizar uma avaliação do controlo de ofuscamento da luminária nos planos longitudinal e transversal. A figura 2.5 enquadra o comportamento da luminária na área de ofuscamento mais crítica que se dá entre 45° e 85°, ou seja, nesta faixa é extraída uma relação entre a área luminosa da luminária e a intensidade luminosa gerada neste mesmo ponto, o resultado é expresso em  $\text{cd}/\text{m}^2$ .



**Figura 2. 5**-Área de ofuscamento [12]

### 2.2.5. Determinação dos níveis de iluminação

A actividade a desempenhar e o local onde esta se vai realizar, são preponderantes para determinar o nível de iluminância a obter. Neste âmbito o *Parlamento Europeu*, legislou em Setembro de 2002, a *Norma EN 12464-1*, relativa a “*Iluminação nos postos trabalho*”. Esta norma não faz referência apenas ao interior de locais de

trabalho, mas define também níveis de iluminação para passeios, estacionamento, jardins, etc. Esta deverá ser tomada em consideração para todos os projectos de iluminação, em locais de trabalho. O uso de fontes luminosas, com um índice de rendimento de cor inferior a 80% para recintos em que a ocupação seja de permanente ou de grande duração também foi proibido após esta ser decretada.

Alguns dos valores de iluminâncias médias recomendados pela norma, podem ser consultados na tabela 2.4

Nível de iluminação	Aplicação	Exemplo
30 Lux (geral)	Zonas públicas com zonas escuras	Jardins
75 Lux (geral)	Para simples orientações por períodos curtos	Passeios
150 Lux (geral)	Lugares não destinados a trabalhos contínuos	Zonas de armazenagem
300 Lux (geral)	Tarefas com necessidades visuais limitadas	Salas de conferência. Zonas de maquinaria pesada
750 Lux (geral)	Tarefas com necessidades visuais normais	Escritórios. Zonas de maquinaria média
1.500 Lux (geral)	Tarefas com necessidades visuais especiais	Laboratórios, Salas de medida
3.000 Lux (Localizado)	Tarefas prolongadas de precisão visual	Electrónica. Relojoaria
7.500 Lux (Localizado)	Tarefas visuais excepcionalmente exactas	Montagens microscópicas
15.000 Lux (Localizado)	Tarefas visuais muito especiais	Operações cirúrgicas

**Tabela 2. 4-Níveis de iluminância média recomendada para diferentes ambientes/Tarefas [9]**

Para determinar o nível correcto de iluminação não basta encontrar na norma o nível de iluminância para a tarefa em questão. É importante que haja preocupação com outros factores tais como o ofuscamento, as sombras, as cores do ambiente, os efeitos psicológicos, a necessidade ou não de uma alta reprodução de cores. A norma fornece uma base importante, mas trata apenas de aspectos quantitativos, o que dependendo da situação e finalidade do projecto de iluminação, a análise qualitativa poderá ser mais importante.

### 2.2.6. Programas computacionais

A utilização de ferramentas de simulação para o projecto de iluminação artificial é extremamente importante para auxiliar o projectista no uso eficiente da energia de modo a reduzir custos e proporcionar conforto.

Os programas computacionais fornecem resultados quer quantitativos quer qualitativos do projecto de iluminação. Os aspectos quantitativos referem-se aos valores de iluminância do ambiente, que podem ser comparados com os valores necessários para a actividade desenvolvida, dados pela Norma EN 12464-1.

Os aspectos qualitativos consideram, por sua vez, a percepção visual através da visualização do espaço iluminado por meio de imagens texturizadas que podem ou não ser fotorrealistas.

A simulação computacional auxilia a compreensão de fenómenos físicos da luz, avaliando o impacto decorrente da manipulação dos materiais, das cores, das lâmpadas e luminárias nos níveis de iluminação. Dessa forma, a simulação serve para dar apoio técnico a julgamentos ou suposições feitas durante o processo de projecto.

Os programas computacionais permitem obter uma visualização realista do espaço antes de este ser projectado. É um aliado do projectista luminotécnico, pois permite modificar ambientes, obter representações fotorrealistas, resultados numéricos e efectuar cálculos precisos de iluminação em menor tempo e com maior precisão, além de que permitem facilmente determinar a concordância do projecto com a legislação em vigor.



Existem vários programas computacionais para dar suporte ao projecto luminotécnico. Os mais utilizados encontram-se descritos de forma sucinta nas subsecções seguintes.

#### **2.2.6.1. ADELIN**

A ferramenta *ADELIN* (*Advanced Day and Electric Lighting Integrated New environment*), foi desenvolvida pelo Fraunhofer Institut for Buildings na Suíça). Permite simular o comportamento e a performance da iluminação natural e artificial em ambientes internos, simples ou complexos. Tem capacidade de produzir informações gráficas e numéricas precisas através do processamento de dados geométricos, fotométricos, climáticos e ópticos. Possui interface com as ferramentas CAD e utiliza ferramentas de iluminação natural.

#### **2.2.6.2. DAYLIGHT**

A ferramenta *DAYLIGHT* foi desenvolvida por Ian Frame e Sheila Birch, no Anglia Polytechnic em Cambridge. Esta ferramenta permite gerar e avaliar a distribuição da iluminação natural em espaços com aberturas para o exterior.

#### **2.2.6.3. RADIANCE**

A ferramenta *RADIANCE* (*Plataforma Linux/Mac OSX/SGI*), foi desenvolvido por Greg Ward no Lawrence Berkeley Laboratory, na Califórnia. Esta ferramenta permite obter com elevada precisão folhas de dados, informações gráficas e o comportamento fotométrico de geometrias complexas de um determinado ambiente, seja este interno ou externo. É um software livre e utiliza um motor de cálculo Ray Tracing.

#### **2.2.6.4. LUMEN**

A ferramenta *LUMEN* foi desenvolvida pela Lighting Technologies INC. Esta ferramenta permite simular a iluminação artificial e natural que é criado num ambiente interno e externo e apresenta uma biblioteca própria com grande variedade de luminárias e objectos de mobiliário. Todavia apresenta limitações, de entre as quais se destaca o facto de não importar modelos de CAD de outras ferramentas. A saída dos resultados pode ser avaliada por meio de valores de iluminação para cada ponto, através de curvas isolux, de áreas sombreadas e com textura.

#### **2.2.6.5. DIALUX**

A ferramenta *DIALUX*, foi desenvolvida pela *Exportlux*. Trata-se de uma das ferramentas mais utilizadas. Esta foi a ferramenta utilizada para efectuar estudo luminotécnicos no âmbito deste trabalho. O programa possui uma interface de rápida aprendizagem, possuindo comandos de fácil assimilação, importa formatos de arquivos gráficos, como o DXF, DWG e 3DS e aceita sólidos e superfícies modeladas em outros programas. A ferramenta utiliza dois algoritmos de iluminação global: o *radiosity*, usado para modelar a interacção da luz entre superfícies difusoras e o *Ray Tracing* que é uma técnica que permite adicionar destaque, reflexões e transparências. O programa permite calcular com precisão a maneira como a luz se propaga no ambiente, produzindo imagens realísticas, e têm como principais aplicações a simulação dos efeitos da iluminação e a análise fotométrica quantitativa. Possui ainda uma vasta biblioteca de texturas de materiais, de lâmpadas e de luminárias.

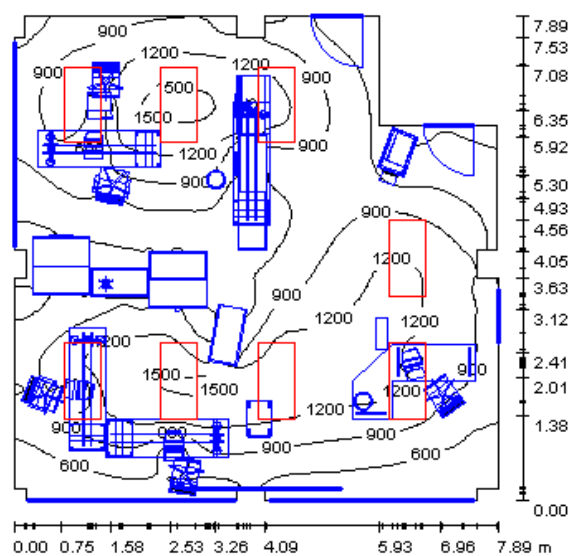
Como limitações, pode destacar-se que para ter a iluminação simulada, o ambiente deve estar totalmente caracterizado, ou seja com formas, materiais, cores, lâmpadas e luminárias especificadas da mesma forma como

será quando executado. Sendo o sistema de iluminação artificial, o sistema que mais energia consome, a simulação pode vir a ser um factor de análise dos projectos dando um enfoque maior para o conforto ambiental numa época onde há uma crescente preocupação com a poupança de energia.

As imagens 2.6, 2.7, 2.8 e 2.9 mostram alguns dados de saída desta ferramenta, nomeadamente uma representação 3D de um ambiente, o mapa de curvas isolux e o mapa da gama de cinzentos, respectivamente, e um mapa de valores de iluminâncias.

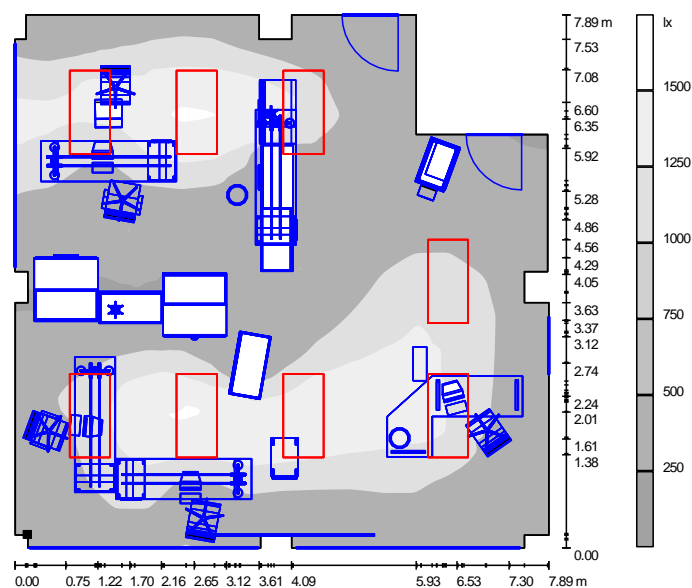


**Figura 2. 6-Representação 3D**



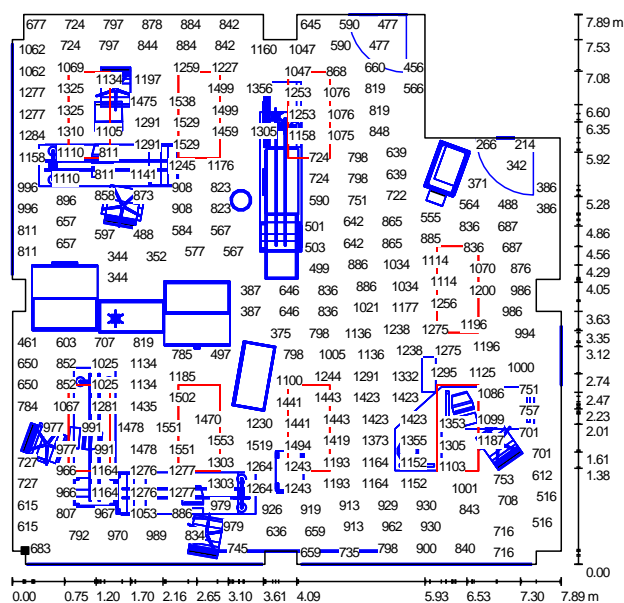
**Figura 2. 7-Mapa de curvas Isolux**

As curvas Isolux representam o lugar geométrico dos pontos que têm a mesma iluminância.



**Figura 2. 8-**Mapa gama de cinzentos das iluminâncias

O mapa de gama de cinzentos define lugares geométricos onde os níveis de iluminância são iguais, permitindo visualizar a distribuição da iluminação, determinar se se trata de uma distribuição com zonas onde existem reflexos através da existência de extremidades agudas, ou verificar se existe uma iluminação difusa através da existência de zonas circulares.



**Figura 2. 9-**Mapas de valores de iluminâncias

Os mapas de valores de iluminâncias são também um excelente dado de saída do *Dialux*. Este permite com clareza verificar qual o nível exacto de iluminância de um determinado ponto da zona de trabalho. O estudo destes três dados de saída permite analisar o ambiente lumínico de uma determinada zona com precisão.

Esta ferramenta foi escolhida para a realização do trabalho apresentado neste relatório, visto se tratar de uma ferramenta de acesso livre, com poderosos outputs de saída, e por ser a ferramenta computacional que utilizam os investigadores do CIEMAT, nomeadamente os da secção da eficiência energética.

## 2.2.7. Principais componentes

Os principais componentes de um sistema de iluminação artificial que influenciam a eficiência energética do sistema de iluminação, tal como foi referido anteriormente, são as fontes de luz, luminárias, e balastros.

As fontes de luz, neste caso as lâmpadas, são os únicos dos componentes do sistema de iluminação que podem converter energia eléctrica em luz visível. Porém, para que esta luz possa ser produzida e eficientemente distribuída torna-se necessário a utilização de balastros (dependendo da lâmpada utilizada) e de luminárias. Os balastros são acessórios necessários à operação das lâmpadas de descarga, sendo a sua principal função limitar a corrente de funcionamento, produzir uma tensão adequada de arranque e pré-aquecer os eléctrodos de modo a facilitar a emissão de electrões para iniciar a descarga. Trata-se de um componente do sistema de iluminação, decisivo para a eficiência do sistema, de tal forma que uma das medidas tomadas pela UE, em virtude do protocolo de Quioto, foi a proibição de balastros de baixa eficiência energética em sistemas de iluminação [14].

As luminárias servem para direccionar e distribuir a luz para a zona desejada. Nesta estão alojadas as lâmpadas e balastros. Possui uma zona onde está localizado um reflector, o qual deverá maximizar a reflexão da luz produzida pela lâmpada. A sua escolha é feita de acordo com as necessidades de iluminação do local e poderá contribuir para a eleição de lâmpadas com menor potência.

Nas subsecções 2.2.7.1, 2.2.7.2 e 2.2.7.3 é apresentada uma breve descrição de cada um destes componentes principais.

### 2.2.7.1. Fontes luminosas

Durante mais de dezassete séculos, a humanidade esteve na escuridão. Somente em finais do século XVIII, se começaram a desenvolver os primeiros procedimentos tecnológicos fiáveis com vista a iluminar cidades e habitações. Aproveitando o desenvolvimento da tecnologia eléctrica foi possível chegar as fontes de luz que dispomos na actualidade, que nos possibilitam exercer qualquer actividade, tanto no interior como no exterior de um edifício, de igual modo independentemente da existência ou não de iluminação natural.

Nas subsecções seguintes são descritos os principais produtores de luz artificial e apresentadas as condições exigidas às fontes de luz.

#### 2.2.7.1.1. Princípios produtores de luz artificial

A luz conseguida artificialmente deve-se à transformação de um tipo de energia em energia radiante. De acordo com o tipo de energia convertida, este processo apresenta diferentes designações. Desta forma temos os três princípios fundamentais no qual se baseia a produção de luz artificial das diversas fontes luminosas que utilizamos hoje em dia. São elas a incandescência a luminescência e a piroluminiscencia.

Através da incandescência, a luz é obtida por meio de um processo de agitação térmica dos átomos, do material do qual está feito o filamento da lâmpada. Este toma um comportamento como um radiador térmico, com uma emissividade espectral muito próxima da unidade, a qual se pode determinar através da fórmula de Plank [6]:

$$M_{\lambda} = \xi(\lambda) \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1} \quad (2)$$

Sendo:

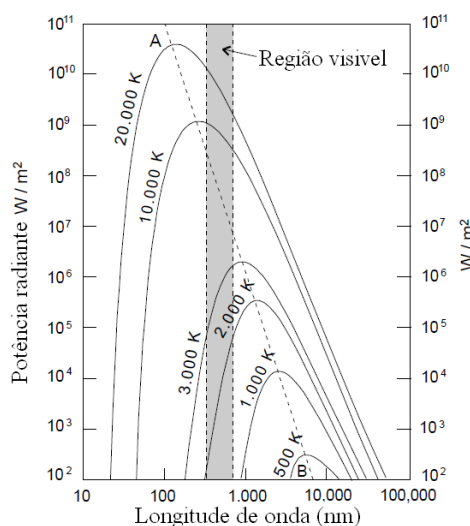
$\xi(\lambda)$  = Emissividade espectral

$C_1 = 3,74141774 \times 10^{-16} \text{ Wm}^2$  (Primeira constante da radiação);

$C_2 = 1,438769 \times 10^{-2} \text{ mk}$  (Segunda constante da radiação);

T = Temperatura absoluta do filamento

O elemento fundamental da lâmpada de incandescência é o filamento. Este deverá ser de um material que tenha um elevado ponto de fusão, como por exemplo o tungsténio, visto que este funde a 3.378°C. O filamento ao ar livre fundiria muito rapidamente, pelo que este deverá estar numa atmosfera de vácuo, ou envolto em gases nobres, como por exemplo o árgon o nitrogénio e o cripton. À medida que aumenta a temperatura do corpo emissor, a quantidade de energia radiante é maior e a longitude de onda na qual é emitida a maior quantidade de energia torna-se mais curta, isto é, mais próxima do espectro visível, tal como se pode ver na figura 2.10.



**Figura 2. 10-**Representação das curvas de Plank [15]

A luminescência consiste na emissão da radiação óptica produzida por átomos ou moléculas de um determinado material. A luminescência é o resultado da excitação de átomos por diversas formas de energia, (excluindo a térmica). No que se refere a fontes de luz a electroluminescência é a mais utilizada em sistemas de iluminação e consiste na luminescência resultante da passagem da energia eléctrica sobre um gás ou um material sólido [15]. É através deste princípio que funcionam todas as lâmpadas de descarga.

A Piroluminescência trata-se da obtenção da luz, a partir da combustão de uma substância, na qual é produzida uma radiação. É a técnica mais antiga para produzir luz artificial. A luz emitida é o resultado de uma mistura da radiação térmica das partículas de carbono e da luminescência de átomos livres.

#### **2.2.7.1.2. Condições exigidas às fontes de luz**

À medida que as novas tecnologias se desenvolvem, é cada vez mais alargada a variedade de fontes de luz que existem no mercado. Assim sendo, terá de existir um conhecimento mais profundo de todas as características e potencialidades que cada tipo de lâmpada nos poderá oferecer, pois apenas a aplicação correcta de cada uma delas a cada caso concreto nos permitira alcançar um projecto de iluminação energeticamente eficiente.

Para qualquer que seja o projecto luminotécnico existirá sempre um conjunto de exigências e de condições que as fontes de luz eleitas para integrar o projecto deverão reunir. As principais são as exigências luminotécnicas e as exigências técnicas e de funcionamento.

As exigências luminotécnicas afectam de modo directo o projecto de iluminação, pelo que as principais são referidas a seguir:

a) Máxima radiação visível dentro do espectro electromagnético

Na transformação da energia eléctrica em luz, o rendimento da transformação será tanto maior quanto maior o número de radiações que caiam dentro da gama de valores que denominamos espectro visível, pois toda a transformação de energia eléctrica que não caia dentro da região visível será perdida. Por outro lado, também interessa que as radiações resultantes desta transformação que caiam na zona do visível sejam as mais contínuas possíveis, o que significa que deverão abarcar todos os comprimentos de onda para se aproximar da luz branca, na qual a reprodução cromática é óptima, como ocorre com a luz do dia.

O rendimento da transformação da energia eléctrica em luz, terá de ser o maior possível, isto é, a transformação deverá ocorrer dentro do espectro visível da luz.

b) Luminância controlada

A luminância de uma fonte de luz exprime o brilho da fonte luminosa em função das suas dimensões, de acordo com a expressão (3) [6].

$$L = \frac{I}{A} (cd / m^2) \quad (3)$$

Sendo:

*I* a Intensidade luminosa na direcção dos olhos do observador

*A* a Área visível da fonte luminosa (vista a partir do ponto de observação)

Uma fonte luminosa com uma pequena superfície emissora de luz deverá ter uma maior luminância do que uma fonte luminosa que tenha uma maior superfície emissora. A presença de fontes luminosas de elevada luminância no campo visual aumenta o risco de encadeamento.

c) Emissão de radiações não perigosas

Tendo em conta o envelhecimento das fontes de luz escolhidas, com o envelhecimento não deverão emitir radiações perigosas quer para o Homem quer para os animais, nem a curto nem a longo prazo. A radiação proveniente das fontes luminosas não deverá sair dentro da gama das radiações do espectro visível.

Em algumas fontes de luz, como por exemplo, nas lâmpadas incandescentes esta situação nunca ocorre. Porém, nas lâmpadas de descarga, tais como nas fluorescentes e luminescentes, esta situação poderá surgir, visto que este tipo de lâmpadas contém radiações ultravioletas. Para que tal facto não suceda dever-se-á ter sempre em atenção o estado dos tubos, verificando se aparentam envelhecimento ou se se encontram queimados, pois estes possuem vidros específicos e coberturas fluorescentes que absorvem

as radiações que passam além da gama do visível. Se estas não forem inspeccionadas com alguma regularidade poderá tornar-se bastante prejudiciais a saúde do Homem.

d) Fluxo luminoso adequado as condições de funcionamento

O fluxo luminoso é a quantidade de radiação emitida em todas as direcções por unidade de tempo, e é uma grandeza luminotécnica importante representando a potência luminosa de uma lâmpada.

O fluxo luminoso que é dado pelos fabricantes nos seus catálogos corresponde à tensão de funcionamento com uma variação de 5%, a uma temperatura de 25°C. Esta característica é referida no caso de lâmpadas incandescentes, lâmpadas que nunca funcionaram e no caso de lâmpadas de descarga com 100 horas de funcionamento. O fluxo luminoso das lâmpadas incandescentes é muito influenciado pela variação da tensão, e muito pouco influenciado pela variação da temperatura ambiente, contrariamente ao que acontece com as lâmpadas fluorescentes [6]. O fluxo luminoso dado pelo fabricante para uma determinada lâmpada vai-se alterando ao longo do tempo de vida da lâmpada e quando este fluxo chegar aos 85% do seu valor inicial a lâmpada terá que ser substituída.

e) Qualidade da cor para cada aplicação

A cor dos corpos é uma característica da luz que os ilumina, visto que os corpos apenas tem a capacidade de absorver ou reflectir as radiações de luz que recebem, sendo a combinação das radiações reflectidas a característica que lhe confere a cor.

A cor da luz de uma lâmpada é determinada pela composição espectral da radiação. A sua cor vem definida pela temperatura de cor em graus Kelvin (K), e por um índice que expressa a % de aproximação à reprodução cromática perfeita da cor.

A *NORMA DIN-5035* estabelece que as fontes luminosas “quase brancas” aplicadas à iluminação, em geral, se encontram inseridas num destes 3 grupos:

- Branco Luz Dia= 6.000K
- Branco Neutral = 4.000K
- Branco Cálido = 3.000K

A lâmpada incandescente devido à grande concentração de vermelho considera-se como luz Branca Cálida [16].

As lâmpadas de descarga classificam-se segundo os vapores metálicos que fazem parte da sua constituição. Lâmpadas de descarga de vapor de mercúrio produzem cores azuis pálidas e lâmpadas de descarga de vapor de sódio produzem cores amareladas. As lâmpadas fluorescentes permitem obter qualquer cor, bastando para isso escolher uma mistura adequado das substâncias luminiscentes que revestem o tubo. Por isso é esta a gama de lâmpadas que abrange uma maior diversidade de temperaturas de cor.

f) Correcta distribuição da intensidade luminosa

A intensidade luminosa é outra das grandezas luminotécnicas a ter em consideração num projecto luminotécnico. Define-se como a quantidade de fluxo luminoso emitido num determinado sentido por unidade de tempo e representa de alguma forma a maneira de distribuir o fluxo luminoso da fonte de luz [6]. Deve-se ter em conta que cada lâmpada, de acordo com a sua forma, tem uma distribuição diferente do fluxo luminoso, sendo a forma a principal responsável da uniformidade da intensidade luminosa. Se uma lâmpada vem acompanhada de uma determinada luminária, deve-se ter em conta que ao alterar a luminária se altera a curva de distribuição. Por este motivo, lâmpada e luminária formam um conjunto inseparável. A curva de distribuição do fluxo luminoso deve-se referir a esse conjunto, pois a mesma fonte de luz com outra luminária modificará a distribuição do fluxo luminoso.

Relativamente às exigências técnicas e de funcionamento das fontes luminosas, existem alguns condicionalismos que poderão influenciar as fontes. Alguns deste encontram-se descritos a seguir:

a) Adaptação às condições da rede eléctrica

Trata-se de uma condição indispensável para uma fonte de luz que esta seja totalmente compatível com as condições da rede eléctrica onde vai ser instalada, nomeadamente no que se refere ao tipo de corrente eléctrica utilizado. É assim imprescindível a adaptação à tensão da rede. Neste sentido há lâmpadas que trabalham a outros níveis de tensões, em serviço ou no arranque. Por este motivo em certos casos será necessário dispor de equipamentos eléctricos como transformadores, balastros ou elementos eléctricos necessários a esta adaptação, o que na maioria dos casos estão incluídos na própria fonte de luz. A qualidade da tensão da rede também influencia significativamente a fonte luminosa. Por exemplo, em lâmpadas do tipo incandescente a variação da tensão da rede influencia drasticamente a seu rendimento, o que não é significativo quando se trata de lâmpadas de descarga.

b) Minimização da influência da fonte de luz sobre a rede eléctrica

Pode-se resumir em dois os efeitos que afectam a rede eléctrica como consequência da classe da fonte de luz escolhida: A ocorrência de picos de corrente e alteração do factor potência. A ocorrência de picos de corrente no momento em que se acende a fonte de luz ocorre sempre, independentemente da escolha da fonte de luz. Porém a sua influência nas lâmpadas incandescentes é menor do que nas lâmpadas de descarga, devido à variação de tensão ocorrida nas reactâncias do balastro. Dever-se-á ter em consideração, no dimensionamento dos circuitos de iluminação, um factor multiplicativo de 1,8 para a intensidade nominal e com o novo valor dimensionar os circuitos, seleccionando os elementos de protecção e segurança [6].

Em relação à alteração do factor de potência, este deve-se às reactâncias indutivas dos balastros das lâmpadas de descarga, o que é conveniente que este se encontre compensado, através de condensadores, além de que se deverá medir o factor potência de toda a instalação e se este tomar valores inferiores a 0.75, deverá ser corrigido instalando baterias de condensadores.

c) Possibilidade de acender e apagar imediatamente as fontes luminosas

Considera-se o acendimento imediato de uma lâmpada quando “A iluminação da lâmpada atinge toda a sua intensidade de fluxo luminoso, instantaneamente, no momento em que se fecha o interruptor do seu circuito” [6]. Isto ocorre com as lâmpadas incandescentes. As lâmpadas de descarga necessitam um



pouco mais de tempo de forma a poderem proceder ao arranque e atingir o limite de máximo fluxo luminoso em regime normal de funcionamento. Estes tempos podem durar desde vários segundos em lâmpadas fluorescentes normais a vários minutos nas lâmpadas de vapor de mercúrio e vapor de sódio (tempo necessário para que os vapores metálicos adquiram a pressão de funcionamento). Por este motivo é necessário ter em conta esta precisão, que pode ser um factor determinante no momento de escolha da fonte luminosa.

d) Possibilidade de regulação do fluxo luminoso

Cada dia é mais importante poder regular o fluxo luminoso das lâmpadas. Além de se conseguir um maior nível de conforto, existem situações em que esta regulação em função da luz natural, permite alcançar poupanças energéticas significativas. Esta característica não é comum em todas as fontes de luz existentes. Para o caso das lâmpadas incandescentes a regulação do fluxo é feito através da utilização de um reóstato, para lâmpadas fluorescentes a regulação do fluxo luminoso é feito, através de equipamentos de regulação electrónica, por sua vez para lâmpadas de descarga de vapores metálicos ainda não é possível regular o fluxo luminoso.

e) Ausência de efeitos perturbadores para o utilizador (efeito estroboscópico e interferências)

Os efeitos estroboscópicos ocorrem devido à passagem por valores zero da corrente alterna, o que equivale ao “corte” de energia da fonte de luz. Como consequência, alguns elementos iluminados que se encontram em movimento ou afastados aparentam estar parados ou com movimentos intermitentes, o que se pode traduzir num perigo em determinadas situações. Por este motivo há que ter em consideração a escolha das fontes de luz no momento que se pensa em iluminar um espaço. Este efeito não é produzido pelas lâmpadas incandescentes, mas sim pelas lâmpadas fluorescentes e em geral por todas as lâmpadas de descarga através de vapores metálicos.

### **2.2.7.2. Tipos de lâmpadas**

Desde a invenção das lâmpadas incandescentes que foram desenvolvidas várias tecnologias para sistemas de iluminação, sendo que a indústria e os mecanismos de produção de luz acompanharam esse desenvolvimento com o fabrico de lâmpadas mais eficientes. As lâmpadas podem assim ser agrupadas nas seguintes categorias:

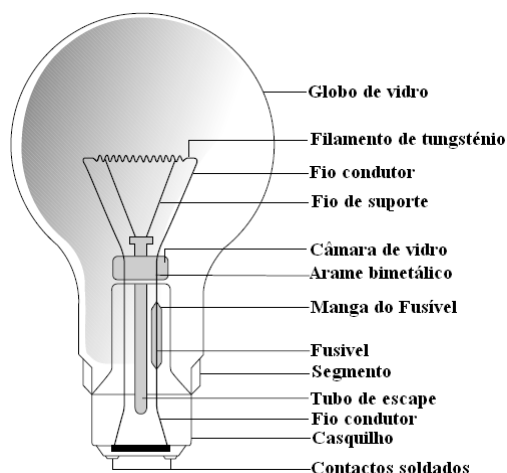
- Lâmpadas incandescentes;
- Lâmpadas de descarga;
- Lâmpadas de indução;
- Led's.

Na subsecção 2.2.7.2.1 são apresentadas e mencionadas as principais características das lâmpadas incandescentes. Na subsecção 2.2.7.2.2 são apresentadas as principais lâmpadas de descarga, as lâmpadas de descarga a alta pressão e lâmpadas de descarga a baixa pressão. Na subsecção 2.2.7.2.3 são apresentadas as lâmpadas de indução e finalmente na subsecção 2.2.7.2.4 a tecnologia Led.

#### **2.2.7.2.1. Lâmpadas incandescentes**

Trata-se da mais antiga fonte de luz e consequentemente da mais conhecida sobretudo em iluminações de interiores. A luz que esta fonte emite vem sempre acompanhada de uma radiação térmica bastante considerável,

a qual representa um desperdício de energia em termos energéticos. O funcionamento de uma lâmpada incandescente ocorre pela passagem de corrente eléctrica por um fio fino (filamento da lâmpada), com alta resistência eléctrica que é levado à incandescência produzindo luz e calor. O filamento está contido numa ampola de vidro preenchida por um gás inerte (árgon, cripton, nitrogénio, etc.) ou em vácuo. No caso de lâmpadas de potências inferiores a 40W, de modo a retardar a sublimação do filamento [17]. Este tipo de lâmpada encontra-se ilustrado na figura 2.11.

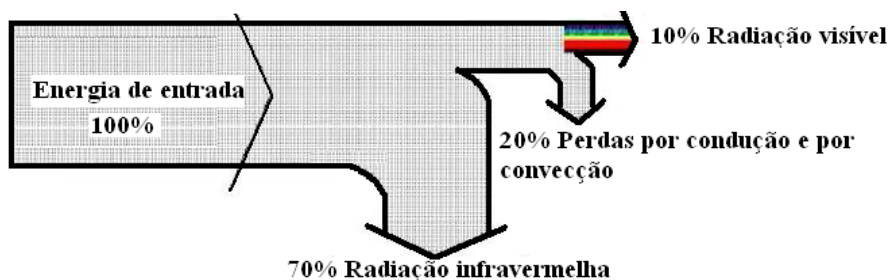


**Figura 2. 11-**Constituição de uma lâmpada incandescente [17]

É obtido um aumento do rendimento, espiralando-se o filamento. O filamento duplamente espiralado, permite aumentar mais o rendimento e diminuir, ao mesmo tempo, o seu tamanho sendo usado em muitos tipos de lâmpadas incandescentes. Um filamento espiralado apresenta uma menor superfície efectiva de contacto com o gás, sendo portanto reduzidas as perdas de calor por condução e convecção. Dentro deste tipo de lâmpadas distinguem-se as de filamento de tungsténio e as de halogéneo, que apesar de terem filamento do mesmo material, diferem no gás usado para encher a ampola. Algumas destas lâmpadas possuem um espelho na parte interior da ampola. Este reflector interno não está sujeito a corrosão ou contaminação, elevando o rendimento luminoso médio da lâmpada ao longo do seu tempo de vida. Este tipo de lâmpada é denominada de lâmpada incandescente reflectora.

Uma das vantagens destas lâmpadas é arrancarem instantaneamente. [7].

Estas lâmpadas apesar de garantirem uma iluminação de qualidade são pouco eficientes pois grande parte da energia consumida é dissipada sob a forma de calor ou em radiações não visíveis pelo olho humano, como se pode observar na figura 2.12.



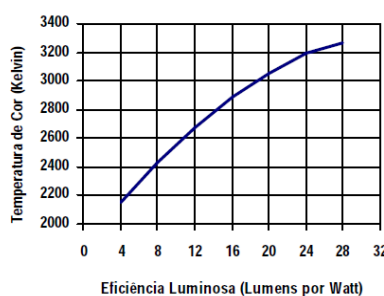
**Figura 2. 12-** Desagregação da energia consumida por uma lâmpada incandescente [18]

As lâmpadas incandescentes são as de menor eficiência luminosa e substituí-las pelas fluorescentes torna-se numa boa alternativa. Porém, em situações onde as incandescentes devem ser utilizadas, as halogéneas oferecem uma boa alternativa pois são um tipo de lâmpadas incandescentes com maior eficiência luminosa.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [18], [16]:

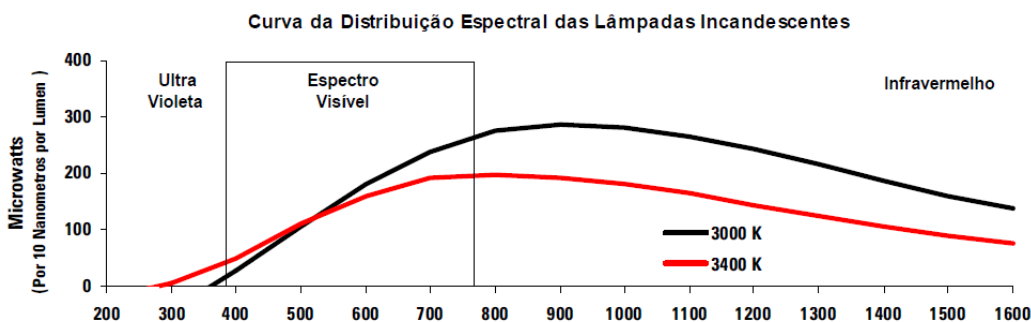
- Rendimento Luminoso: 9 a 25 lm/W;
- IRC: 100;
- Temperatura de cor: 2700 K;
- Tempo de vida útil: 1000 horas;

A temperatura de cor está intrinsecamente relacionada com a eficiência luminosa, como se pode visualizar no gráfico ilustrado na figura 2.13.



**Figura 2. 13-**Temperatura de cor e eficiência Luminosa das lâmpadas incandescentes [17]

A energia radiante produzida pelas lâmpadas incandescentes é distribuída no que é chamado de espectro contínuo. Desde o ultravioleta mais próximo até o mais distante infravermelho não existe nenhuma banda, região ou comprimento de onda no qual a radiação não ocorra, tal como se pode observar na figura 2.14.



**Figura 2. 14-**Curva de distribuição espectral das lâmpadas incandescentes [17]

#### • Lâmpadas de halogéneo

As lâmpadas incandescentes foram insuperáveis por cerca de meio século até ao advento das lâmpadas fluorescentes e de descarga mais eficientes. Contudo, nos anos 60, as lâmpadas incandescentes tiveram um significativo progresso com o aparecimento das lâmpadas de halogéneo.

Por volta dos anos 60 descobriram-se processos para evitar o enegrecimento da ampola, eliminando-se o depósito de tungsténio no vidro através da adição de um halogéneo ao gás de enchimento. As lâmpadas de halogéneo contêm assim iodo, flúor ou bromo adicionado ao gás normal e funcionam sob o princípio do ciclo de

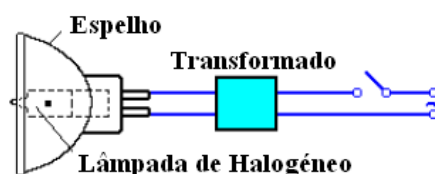
halogéneo regenerativo, para evitar escurecimentos. O tungsténio vaporizado é combinado com o halogéneo para formar um componente tungsténio-halogéneo sob a forma de gás. Esse gás por efeito das correntes de convecção aproxima-se do filamento sendo decomposto, pela alta temperatura do mesmo, em tungsténio que se volta a depositar no mesmo e o halogéneo que continua regenerativo. O invólucro da lâmpada é feito de quartzo especial resistente às altas temperaturas necessárias ao funcionamento do ciclo de halogéneo [19].

O preço de aquisição deste tipo de lâmpadas é superior ao preço de aquisição das lâmpadas incandescentes. Todavia, o fluxo luminoso mantém-se próximo dos 95% do seu valor inicial até ao final da sua vida útil. Este tipo de lâmpadas apresenta normalmente cerca de 2000 horas de vida e índices de eficiência energética ligeiramente superior à lâmpada standard incandescente.

Algumas possuem também reflectores incorporados, sendo estas denominadas de lâmpadas de halogéneo com reflector [20]. Este tipo de lâmpada encontra-se ilustrado na figura 2.15.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [17], [18], [19]:

- Rendimento Luminoso: 13 a 40 lm/W;
- Temperatura de cor: 2900 a 3000 K;
- IRC: 100;
- Tempo de vida útil: 2000 a 4000 horas.



**Figura 2. 15-**Construção e operação de lâmpadas de tungsténio de baixa tensão [18]

#### **2.2.7.2.2. Lâmpadas de descarga**

Este tipo de lâmpadas é constituído por um tubo de descarga contendo um gás ou vapor metálico e dois eléctrodos colocados nos extremos de um tubo. Quando uma tensão é aplicada aos eléctrodos dá-se uma descarga eléctrica produzindo excitação dos electrões o que leva à ionização do gás existente que, por sua vez, dá origem à emissão de luz. A ionização do gás dá-se apenas quando a descarga eléctrica é elevada, pelo que estas lâmpadas necessitam de um arrancador que gera uma sobretensão quando se liga a lâmpada. Os eléctrodos podem também ser aquecidos previamente reduzindo a sobretensão necessária ao arranque. Outro equipamento necessário para o uso deste tipo de lâmpadas é o balastro, que limita a corrente fornecida à lâmpada após o arranque. Após a formação do arco a impedância da lâmpada desce e o balastro impede a ocorrência de um curto-circuito.

As lâmpadas de descarga possuem um gás ou vapor de metálico de alta pressão ou de baixa pressão [18].

Das lâmpadas de descarga de alta pressão fazem parte os seguintes tipos:

- Lâmpadas de vapor de mercúrio;
- Lâmpadas de luz mista;
- Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
- Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos.

Nas lâmpadas de descarga de baixa pressão incluem-se os seguintes tipos:

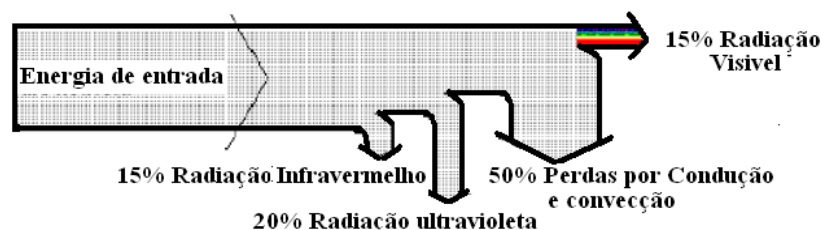
- Lâmpadas fluorescentes (lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão);
- Lâmpadas fluorescentes compactas;

É possível encontrar lâmpadas de descarga com rendimentos luminosos entre 30 lm/W e 140 lm/W, temperaturas de cor entre 2000K e 6000K, tempos de vida entre 2000 horas e 12000 horas e fluxo luminosos entre 1800 lm e 300000 lm [19].

Quando se opta por lâmpadas de descarga, especialmente em sistemas grandes, deve-se optar por balastros electrónicos pois são mais eficientes e não tem implicações no factor de potência do sistema.

- **Lâmpadas de vapor de mercúrio**

Nas lâmpadas de descarga de alta pressão empregou-se durante muitos anos, como fonte de descarga, o vapor de mercúrio, ao qual se adicionava uma pequena quantidade de gás inerte de fácil vaporização a fim de facilitar o arranque, uma vez que à temperatura ambiente o mercúrio é líquido. Desta forma, estas lâmpadas não precisam de arrancador. A lâmpada de vapor de mercúrio emite uma luz de aparência branca-azulada, com uma emissão na região visível dos comprimentos de onda do amarelo, verde e azul, faltando porém a radiação vermelha. Neste tipo de lâmpadas 50% da potência é transformada em radiação, dos quais 15% correspondem a radiação visível, 15% correspondem a radiação infravermelha e 20% a radiação ultravioleta. A outra metade da potência consumida corresponde a perdas como indica a figura 2.16. Através do emprego de uma fina camada de pó fluorescente na superfície interna do invólucro exterior, parte da radiação ultravioleta é convertida em radiações visíveis. Para tal finalidade utiliza-se uma composição química fluorescente especialmente rica na emissão de radiações vermelhas, o que contribui para melhorar bastante a aparência de cor da luz emitida por estas lâmpadas. A melhoria do rendimento não é apreciável (cerca de 10%) dado que a sensibilidade da vista à radiação vermelha é fraca [18].

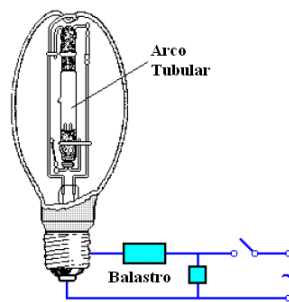


**Figura 2. 16-** Desagregação da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio [7]

Este tipo de lâmpada ilustrada na figura 2.17 é utilizado para iluminação de ruas, locais públicos, áreas industriais e recintos desportivos. O tempo de arranque é de 4 minutos e o pré-arranque faz-se em 6 minutos.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [17] [18]:

- Rendimento Luminoso: 36 a 60 lm/W;
- Temperatura de cor: 3550 a 4200 K;
- IRC: 50;
- Tempo de vida útil: 10000 a 24000 horas.



**Figura 2. 17-** Construção e operação da Lâmpada de Vapor de Mercúrio [18]

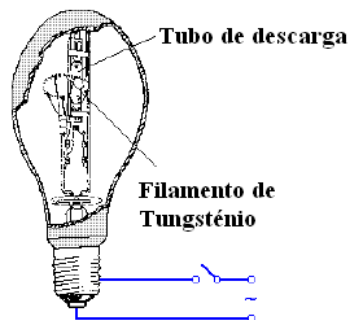
- **Lâmpadas de luz mista**

Esta lâmpada junta a uma lâmpada de vapor de mercúrio um filamento de tungsténio no interior do tubo de descarga. Deste modo, após a formação do arco o filamento mantém a impedância da lâmpada pelo que o uso de balastro é desnecessário, podendo ser directamente ligada à rede. No entanto, para que o tempo de vida útil da lâmpada seja razoável, a temperatura de funcionamento do filamento tem que ser baixa, o que reduz o rendimento luminoso da lâmpada [7]. As lâmpadas de luz mista são usadas para a iluminação de locais que necessitem de grande quantidade de luz, simplicidade na instalação e baixo custo inicial sem preocupações com a eficiência do sistema.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [18], [20]:

- Rendimento Luminoso: 19 a 28 lm/W;
- Temperatura de cor: 3400 a 4100 K;
- IRC: 60 a 69;
- Tempo de vida útil: 10000 horas

Na figura 2.18 encontra-se ilustrada a lâmpada de luz mista.



**Figura 2. 18-** Construção e operação da Lâmpada de Luz [18]

- **Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão**

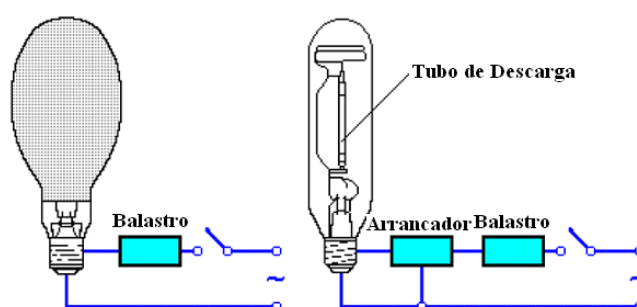
Estas lâmpadas são idênticas às de mercúrio de alta pressão com a vantagem de o vapor de sódio emitir uma maior percentagem de radiação visível. O tubo de descarga numa lâmpada de vapor de sódio de alta pressão contém um excesso de sódio para dar condições de saturação do vapor quando a lâmpada se encontra em funcionamento.

Também é usado um excesso de mercúrio para proporcionar um gás de protecção e o xénon é incluído sob baixa pressão para facilitar o arranque e limitar a condução do arco de descarga para a parede do tubo. Tal como na lâmpada de vapor de mercúrio, também na de vapor de sódio metade da potência é convertida em radiação. Mas enquanto a energia da radiação visível obtida é de cerca de 15% no caso da descarga de vapor de mercúrio, no

caso da de sódio é o dobro: cerca de 30%. Além disso esta radiação apresenta uma cor amarelo-alaranjada característica que a torna mais sensível à nossa vista, pelo que, de um modo geral, a iluminação resultante do emprego desta lâmpada causa uma impressão muito mais agradável do que a lâmpada de vapor de mercúrio [7]. Embora o preço da lâmpada de vapor de sódio de alta pressão seja um pouco mais elevado do que a de vapor de mercúrio, o seu elevado rendimento torna-a gradualmente mais solicitada em numerosas aplicações. O tempo de arranque deste tipo de lâmpadas é de 5 minutos e o pré-arranque demora aproximadamente 1 minuto. Na figura 2.19 está ilustrado este tipo de lâmpadas.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [18], [20]:

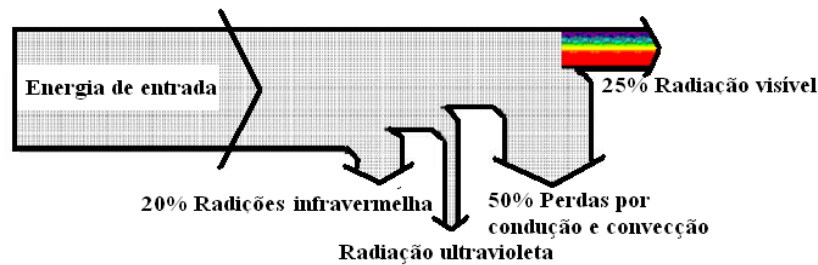
- Rendimento Luminoso: 80 a 150 lm/W;
- Temperatura de cor: 2000 a 2500 K;
- IRC: 60 a 69; 80 para as lâmpadas de luz branca;
- Tempo de vida útil: 8000 horas.



**Figura 2. 19-** Construção e operação das lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão [18]

#### • Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos

As lâmpadas de vapor de mercúrio e as lâmpadas de vapor de sódio não são apropriadas sempre que seja exigido um elevado índice de restituição de cores. As investigações técnicas permitem concluir que pode obter-se uma boa restituição de cores quando a fonte de luz emite radiação nas três cores primárias: vermelho, verde e azul. Então introduziu-se no tubo de descarga uma mistura de iodetos de sódio, índio e tálio. O mercúrio mantém-se no tubo de descarga mas pouco contribui para que seja obtida a radiação desejada. O resultado é uma fonte de luz com uma razoável restituição de cores. Devido ao custo de fabricação da lâmpada o seu emprego fica limitado à iluminação exterior por projectores, nomeadamente de estádios e campos desportivos, nos casos em que seja importante obter um bom índice de restituição de cores. Este tipo de lâmpadas pode atingir um nível de restituição de cores próximo do ideal sendo portanto utilizada em todas as circunstâncias que exijam a necessidade de uma boa restituição de cores, incluindo a iluminação de interiores. No entanto o seu custo de fabrico é também elevado [7]. Na figura 2.20 está representado a desagregação da energia consumida por este tipo de lâmpada.



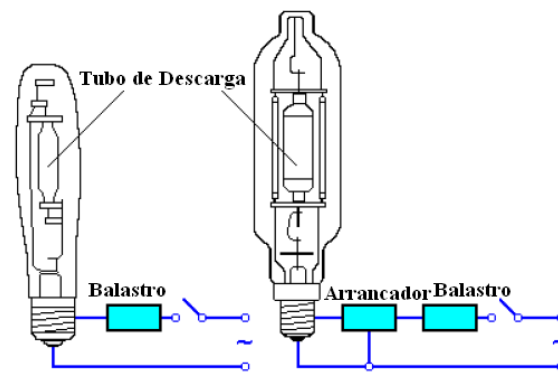
**Figura 2. 20-** Desagregação da energia consumida [7]

Este tipo de lâmpada tem um tempo de arranque de 4 minutos e tempo de pré-arranque de 10 minutos.

As principais características deste tipo de lâmpadas são: [17]

- Rendimento Luminoso: 50 a 100 lm/W; • Temperatura de cor: 3000 a 7000 K;
- IRC: 80 a 100;
- Tempo de vida útil: 3000 a 12000 horas.

A constituição deste tipo de lâmpada encontra-se ilustrada na figura 2.21.



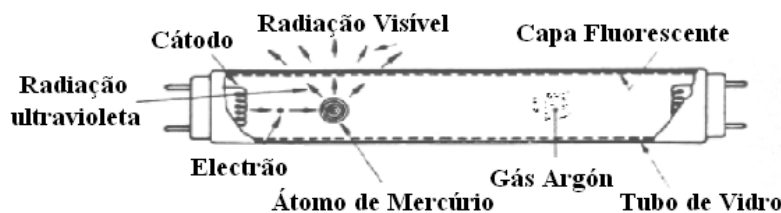
**Figura 2. 21-** Construção e operação das lâmpadas de Iodetos Metálicos [18]

De seguida apresenta-se algumas lâmpadas de descarga de baixa pressão

- **Lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão**

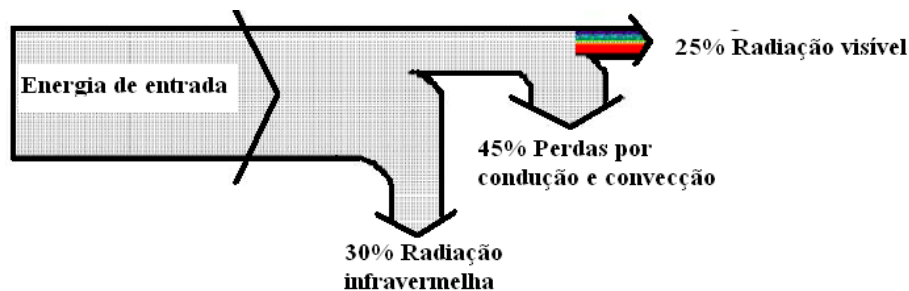
As lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão são constituídas por um tubo de descarga alongado com um eléctrodo em cada extremidade. O gás usado para encher o tubo inclui um gás inerte, o qual arranca com facilidade e controla a descarga, incluindo uma pequena quantidade de mercúrio, cujo vapor produz radiação ultravioleta quando excitado. O exemplo mais vulgar deste tipo de lâmpadas é a lâmpada fluorescente. A superfície interior do tubo de descarga está revestida com uma substância fluorescente que transforma a radiação ultravioleta produzida pela lâmpada em luz visível por intermédio da fluorescência como se pode visualizar na figura 2.22. Podem ser conseguidas diferentes aparências de cor com a utilização de materiais fluorescentes apropriados, sendo possível produzir luz branca com qualquer temperatura de cor combinando diferentes substâncias fluorescentes, mas esta luz ainda tem propriedades de restituição de cores mais fracas do que a luz proveniente de um espectro contínuo devido à falta de componentes espectrais [7].





**Figura 2. 22-**Constituição das lâmpadas fluorescentes [18]

A figura 2.23 ilustra a desagregação da energia consumida por este tipo de lâmpadas.



**Figura 2. 23-** Desagregação da energia consumida por uma lâmpada fluorescente [7]

Para facilitar o arranque das lâmpadas fluorescentes os eléctrodos têm a forma de filamentos revestidos com um óxido metálico (material emissor) que facilita a libertação de electrões. Os eléctrodos são pré-aquecidos no período de arranque e a lâmpada arranca quando a tensão é aplicada [7].

Este tipo de lâmpadas tem maior rendimento quanto menor for o diâmetro do tubo de descarga, devido ao aumento do número de reflexões. O arranque e o pré-arranque são praticamente instantâneos.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [18], [20]:

- Rendimento Luminoso: 60 a 90 lm/W;
- Temperatura de cor: 3700 a 7000 K;
- IRC: 70 a 100;
- Tempo de vida útil: 6000 a 18000 horas.

#### • **Lâmpadas fluorescentes compactas**

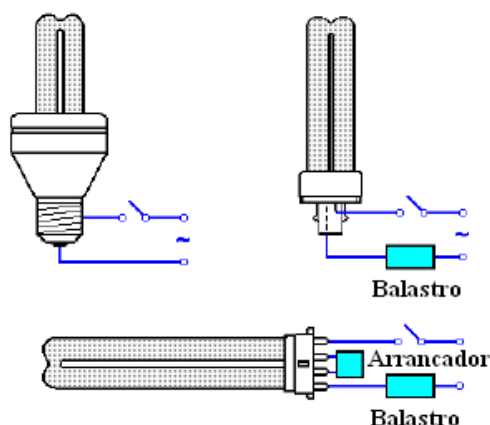
O funcionamento das lâmpadas fluorescentes compactas não é diferente do das lâmpadas fluorescentes convencionais, embora tenham uma forma mais compacta e sejam constituídas por um tubo de descarga curvado ou por uma combinação de vários tubos de menor dimensão.

Estas lâmpadas são fabricadas em duas tipologias, fluorescentes compactas integradas com alimentação incorporada, geralmente electrónica, não necessitando de acessórios externos para o seu funcionamento (balastro, arrancador e condensador) e fluorescentes compactas não integradas, que necessitam de acessórios externos. A vantagem das segundas em relação às integradas é que, assim que a lâmpada necessitar de ser trocada, apenas é substituída a lâmpada. O balastro permanece em operação por um grande período de tempo, o que torna o sistema mais económico [19].

As principais características deste tipo de lâmpadas são [18], [20]:

- Rendimento Luminoso: 50 a 90 lm/W;
- Temperatura de cor: 2700 a 5400 K;
- IRC: 80 a 95;
- Tempo de vida útil: 5000 a 6000 horas.

Este tipo de lâmpada encontra-se ilustrado na figura 2.24.



**Figura 2. 24-** Construção e operação das lâmpadas fluorescentes compactas [18]

- **Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão**

As lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão são comparáveis às lâmpadas fluorescentes na forma como são construídas mas funcionam usando vapor de sódio em vez do vapor de mercúrio. Nestas lâmpadas o arranque apenas pode ser efectuado com a ajuda de um gás inerte. Apenas quando a descarga no gás inerte produz calor suficiente para vaporizar o sódio se iniciará a descarga pelo que requerem uma tensão de arranque elevada e um tempo de arranque relativamente longo antes de ser atingido o rendimento máximo. Outra característica que as distingue das lâmpadas fluorescentes de vapor de mercúrio é o tipo de luz que a lâmpada produz, o vapor de mercúrio a baixa pressão excitado produz principalmente radiação ultravioleta, a qual é transformada em luz visível à custa de substâncias fluorescentes, enquanto que neste tipo de lâmpadas o vapor de sódio produz luz directamente.

A mais interessante característica das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão consiste no seu extremamente elevado rendimento luminoso. Como estas lâmpadas têm uma duração de vida muito longa constituem a fonte de luz mais eficiente e económica. A desvantagem óbvia destas lâmpadas consiste na sua restituição de cores extremamente pobre, sendo praticamente nula [17].

Estas lâmpadas têm tempo de arranque de 10 minutos e são usadas em iluminação pública.

As principais características deste tipo de lâmpadas são:

- Rendimento Luminoso: 80 a 200 lm/W;
- Temperatura de cor: 2800 K;
- IRC: 0;
- Tempo de vida útil: 5000 a 6000 horas.

### **2.2.7.2.3. Lâmpadas de indução**

A lâmpada de indução electromagnética apresenta uma inovação fundamental para o próprio conceito de sistemas de iluminação, pois trata-se de uma fonte luminosa que apresenta interessantes aspectos práticos e de fiabilidade e emite luz instantaneamente, mesmo após uma interrupção de funcionamento.

Baseada no princípio da descarga de gás a baixa pressão, a principal característica desta lâmpada é o facto de prescindir da necessidade de eléctrodos para originar a ionização do gás.

Existem na actualidade dois sistemas distintos para produzir esta nova ionização do gás sem eléctrodos:

- Lâmpadas fluorescentes de alta potência sem eléctrodos;
- Lâmpada de descarga em gás a baixa pressão por indução.

- **Lâmpadas fluorescentes de alta potência sem eléctrodos**

A descarga nesta lâmpada não começa e acaba em dois eléctrodos como numa lâmpada fluorescente convencional. A forma de anel fechado do vidro da lâmpada permite obter uma descarga sem eléctrodos, já que a energia é fornecida a partir do exterior por um campo magnético.

O campo magnético é produzido em dois anéis de ferrite, o que constitui uma vantagem importante para a duração da lâmpada.

As principais características deste tipo de lâmpadas são: [18]

- Rendimento Luminoso: até 80 lm/W;
- Temperatura de cor: 2700 a 4000 K;
- IRC: 80;
- Tempo de vida útil: 60000 horas.

- **Lâmpada de descarga em gás a baixa pressão por indução**

Este tipo de lâmpada consta de um recipiente de descarga que contém gás a baixa pressão e por um núcleo cilíndrico de ferrite, que cria um campo magnético induzindo uma corrente eléctrica no gás provocando a sua ionização.

A energia suficiente para iniciar e manter a descarga é fornecida à antena por um gerador de alta frequência (2,65 MHz), mediante um cabo coaxial de comprimento determinado, já que faz parte do circuito oscilador.

As principais características deste tipo de lâmpadas são: [18]

- Rendimento Luminoso: 65 a 81 lm/W;
- Temperatura de cor: 2700 a 4000 K;
- IRC: 80;
- Tempo de vida útil: 60000 horas

#### **2.2.7.2.4. LED's**

Devido ao baixo consumo de energia, robustez, tempo de vida útil longo e ao facto de não conterem mercúrio, os díodos emissores de luz (LED's) representam novas oportunidades nas aplicações para iluminação. Há duas maneiras diferentes de obter luz branca com LED's. Uma das formas consiste numa combinação de fósforo excitado por uma emissão de radiação azul ou ultravioleta. A outra forma resulta da combinação de LEDs monocromáticos com diferentes cores como mostra a figura 3.21. Este segundo método revela-se mais eficiente e flexível, uma vez que variando os comprimentos de onda de cada LED monocromático obtêm-se diferentes resultados no que diz respeito a rendimento, fluxo luminoso e IRC [18].

Os LED's podem ser de baixa (0,1W), média (0,2W a 0,5W) e de alta potência (acima de 0,5W). Em geral, os de baixa e média potência são utilizados para sinalização e efeitos decorativos. Os de alta potência já podem ser aplicados em iluminação geral.

As principais vantagens dos LED's, relativamente às restantes fontes de luz são:

- Tamanho reduzido
- Funcionamento em corrente contínua para tensões compreendidas entre 10 e os 24V.
- Baixos consumos (entre 0.75 e 3A).
- Maior tempo de vida útil e consequente baixa manutenção (até 50.000horas);
- Funcionamento fiável a todas as temperaturas (desde os -30°C aos +60°C);
- Eficiência energética (40 a 85 lm/Watt);
- Temperatura de cor: 3000 a 6000 K;
- Não emitem luz ultra-violeta (sendo ideais para aplicações onde este tipo de radiação é indesejada, como por exemplo, locais onde existam quadros e obras de arte);
- Não emitem radiação infravermelha, fazendo por isso que o feixe luminoso seja frio;
- Resistência a impactos e vibrações: Utiliza tecnologia de estado sólido, portanto, sem filamentos e sem vidro, aumentando a sua robustez.
- Maior segurança, já que trabalham em baixa tensão (<33V). Proporcionam segurança para os utilizadores durante a sua instalação e utilização.

Por outro lado, as desvantagens apresentadas são: [20]

- Custo de aquisição elevado, caso a aplicação seja desadequada;
- O índice de restituição de cor (IRC) pode não ser o mais adequado (60 a 90);
- Necessidade de fonte de alimentação ou *interface* (transformador ou um “driver”) que converta as características de alimentação de uma tomada comum para um padrão adequado ao funcionamento do led.
- Necessidade de dispositivos de dissipação de calor nos leds de alta potência (a quantidade de luz emitida pelo led diminui com o aumento da temperatura).

### **2.2.7.3. Balastros**

Os balastros são equipamentos necessários para o funcionamento de lâmpadas de descarga. A função destes equipamentos passa por limitar a corrente de funcionamento, produzir a tensão de arranque e pré-aquecer os eléctrodos de modo a facilitar a emissão de electrões para iniciar a descarga.

Os balastros podem ser de dois tipos: electromagnéticos ou electrónicos. Nas subsecções seguintes são apresentadas as questões relacionadas com cada um deles.

#### **2.2.7.3.1. Balastros electromagnéticos**

Estes balastros são constituídos por um núcleo laminado de aço silício (com baixas perdas) e bobinas de fio de cobre esmaltado, impregnados com resina de poliéster adicionado com carga mineral, tendo um grande poder de isolamento e dissipação térmica [17].

Devido à presença de bobinas estes apresentam um factor de potência baixo. Assim nas instalações onde exista grande número de lâmpadas fluorescentes e se opte por este tipo de balastros é necessário o uso de equipamentos auxiliares para compensação do factor de potência.

Em relação às perdas os balastros magnéticos podem ser classificados em 3 Classes: B

(baixas perdas), C (standard), e D (altas perdas) [25]. Uma das medidas da UE em resposta ao protocolo de Quioto foi a redução da energia consumida pelos sistemas de iluminação fluorescente, banindo gradualmente e até ao ano 2005 os balastros electromagnéticos de menor eficiência, substituindo-os por outros de maior eficiência energética. Os balastros da classe D, de maior consumo energético, deixaram de poder ser utilizados a partir de 20 de Maio de 2002 e desde de Novembro de 2005 passou a ser proibida a venda dos balastros da classe C (magnéticos standard) [14].

A tabela 5 mostra o consumo das várias classes de balastros em conjunto com as lâmpadas respectiva.

Tipo de lâmpada	Potência da lâmpada	B1	B2	C	D
Fluorescente Linear (Casquilho G13)	18 W	<=24W	<=26W	<=28W	>28W
	36 W	<=41W	<=43W	<=45W	>45W
	58 W	<=64W	<=67W	<=70W	>70W
Fluorescentes compactas (Casquilho 2G11)	13 W	<=17W	<=19W	<=21W	>21W
	18 W	<=24W	<=26W	<=28W	>28W
	26 W	<=32W	<=34W	<=36W	>36W
Fluorescentes compactas (Casquilho G24)	18 W	<=24W	<=26W	<=28W	>28W
	24 W	<=32W	<=30W	<=34W	>34W
	36 W	<=41W	<=43W	<=45W	>45W

**Tabela 2. 5-** Consumo Lâmpada/balastro [18]

#### 2.2.7.3.2. Balastros electrónicos

Os balastros electrónicos são constituídos por condensadores e bobinas para alta frequência, resistências, circuitos integrados e outros componentes electrónicos. Operam em alta frequência (de 20 kHz a 50 kHz), o que proporciona maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, transformando assim os balastros electrónicos em produtos economizadores de energia e com maior eficiência que os electromagnéticos [18].

Estes balastros podem ser classificados nas seguintes classes: A1 (balastros electrónicos com regulação), A2 (balastros electrónicos com baixas perdas) e A3 (balastros electrónicos standard).

As principais vantagens dos balastros electrónicos, relativamente aos electromagnéticos são [25], [18]:

- Aumento do rendimento luminoso;
- Eliminação do denominado efeito de *flicker*: numa lâmpada funcionando a 50 Hz a luz extingue-se duas vezes por ciclo na passagem da corrente por zero. Isto produz o *flicker*, o qual provoca cansaço visual, assim como o efeito estroboscópico. Com o funcionamento da lâmpada a alta frequência a emissão de luz é contínua, eliminando-se portanto o *flicker*;
- Eliminação do ruído audível: Os balastros electrónicos funcionam acima da gama audível de frequências, pelo que o problema do ruído é eliminado. O familiar ruído dos balastros convencionais é provocado pelas vibrações mecânicas das chapas laminadas do seu núcleo, e possivelmente também pela bobine, vibrações estas que se propagam à armadura e à superfície na qual está fixada, ampliando ainda mais o ruído;
- Menor potência absorvida: um balastro electrónico consome menos potência e portanto dissipa menos calor do que um balastro magnético convencional. Esta redução de potência é possível porque a alta frequência, a lâmpada pode funcionar a uma potência mais baixa, com a mesma emissão de fluxo; as

perdas num balastro electrónico são muito menores do que as perdas num balastro magnético. Podem conseguir-se reduções de custo da energia de 20 a 25%;

- Aumento do tempo de vida da lâmpada: um balastro electrónico efectua um pré-aquecimento dos eléctrodos antes de aplicar um impulso controlado de tensão, diminuindo o desgaste do material emissor de electrões dos eléctrodos, facto que aumenta o tempo de vida da lâmpada;
- Controlo versátil do fluxo luminoso: existem balastros electrónicos que permitem a regulação do fluxo luminoso. Isto permite uma poupança considerável de energia nas situações em que a iluminação está ligada a um sistema de controlo automático;
- Diminuição de peso e de tamanho;
- Não necessitam de equipamento para compensação do factor de potência.

#### **2.2.7.4. Luminárias**

Uma luminária ou armadura tem como funções o controle da distribuição da luz emitida por uma ou mais lâmpadas. Deve incluir todos os elementos necessários para a fixação e protecção das lâmpadas e para a sua ligação ao circuito de alimentação [12], isto é, lâmpadas, balastros, reflectores, arrancadores, reflectores, difusores, etc.

Existem no mercado diversos modelos de armaduras, diferindo no tipo de lâmpadas que usam, na maneira como distribuem a luz e no tipo de montagem.

O IES (*Institute for Environment and Sustainability*) classifica a iluminação produzida por uma luminária pelo modo como esta a distribuiu:

- Directa: mais de 90% da luz é distribuída para baixo (*downlighting*);
- Indirecta: mais de 90 % da luz é distribuída para cima (*uplighting*);
- Semi-directa: entre 60 a 90% da luz é distribuída para baixo e o restante para cima;
- Difusa: percentagens semelhantes de luz são distribuídas para cima e para baixo;
- Destaque: A direcção e abertura de projecção são ajustadas para cada objectivo.

Outra propriedade das armaduras é o seu ângulo de *cut-off*, que é o ângulo formado entre a horizontal do tecto e uma recta imaginária que, sendo tangente à lâmpada, passe pelo extremo do reflector.

Uma das principais características das armaduras a ter em conta pelos projectistas no momento do projecto luminotécnico é o índice de protecção da armadura, que deve ser adequado ao local onde esta será montada. O índice de protecção de uma armadura indica a forma como está protegida contra os agentes externos, tais como a humidade, a água e a poeira. Segundo o sistema de índice de protecção de armaduras, este é indicado por dois algarismos, sendo que o primeiro indica o grau de protecção contra a penetração de corpos sólidos e o segundo indica o grau de protecção contra a água [12].

### **2.3. Iluminação natural e sistemas de controlo de iluminação**

Um elevado potencial de economia de energia pode ser alcançado se a iluminação natural for utilizada como fonte de luz para iluminar os ambientes internos. No entanto, a iluminação natural não resulta directamente em economia de energia. A economia de energia só ocorre quando a carga de iluminação artificial é reduzida através

da sua utilização. Existem poucas edificações em que a iluminação natural possa suprir o total de iluminância necessária, da mesma forma que existem poucas edificações em que a iluminação natural não possa contribuir significativamente para a iluminância do ambiente. A utilização da iluminação natural deve ser avaliada na concepção inicial do projecto e deve levar em consideração a variação diária e sazonal da luz para fornecer iluminação adequada por maior tempo e menos carga térmica possível [21].

Por outro lado, a utilização da iluminação natural recomenda a utilização de sistemas de controlo de iluminação artificial. Assim, as questões relacionadas com a iluminação natural são apresentadas na subsecção 2.3.1 e as questões relacionadas com os sistemas de controlo da iluminação artificial são abordadas na subsecção 2.3.2.

### **2.3.1. Iluminação natural**

A Iluminação natural, apesar de variável ao longo do ano, dos meses, dos dias e de minuto a minuto deve ser avaliada de forma a poder elaborar projectos luminotécnico energeticamente eficientes, em que a iluminação artificial seja utilizada apenas como forma de suprir as necessidades de iluminação quando a luz natural não for capaz de o fazer. Neste contexto, devem ser tidas em conta um conjunto de aspectos que abrangem vários níveis. Estes aspectos são apresentados nas subsecções seguintes.

#### **2.3.1.1. Técnicas principais**

Existem duas técnicas de iluminação natural, sendo estas denominadas de iluminação lateral e iluminação zenital. A escolha do sistema adequado de iluminação deve ser determinada em função das características do edifício nomeadamente da sua forma, orientação e da disposição dos elementos que constituirão o seu interior.

A técnica de iluminação lateral é a mais comum e localiza-se nas paredes verticais das edificações. Em ambientes com este tipo de iluminação, o nível de iluminância decresce rapidamente com o afastamento da janela. Associado a este tipo de aberturas está a carga térmica, visto que um recinto com janelas de grandes dimensões facilitará a troca de calor por condução e convecção com o exterior. Deverá necessariamente existir uma simbiose entre o tamanho das aberturas e as trocas de calor com o exterior de forma que a energia poupada em iluminação não seja desperdiçada no sistema de climatização. Superfícies interiores claras e de alta refletância resultarão numa combinação mais adequada de luz reflectida, possibilitando uma maior economia de energia.

A eficácia da iluminação natural é limitada a uma distância dentro do compartimento afastada das janelas de aproximadamente 2.5 vezes a altura da abertura (um pouco superior com bloco de vidro) [21].

Nos sistemas de iluminação zenital, as aberturas localizam-se nos planos horizontais ou de cobertura das edificações. Esta técnica é utilizada quando se pretende obter uma iluminação mais uniforme ou quando o uso das aberturas laterais é inadequado. Esta técnica fornece, em geral, uma maior uniformidade na distribuição da luz sobre o campo de trabalho, comparativamente à técnica lateral, mas não fornece no entanto uma visão do entorno, necessidade básica na grande maioria dos ambientes [22].

#### **2.3.1.2. Projecto**

Para desenvolver um sistema de iluminação natural adequado, que aproveite os benefícios desta luz, é preciso compreender como a luz natural penetra na edificação através da sua forma, orientação, ou localização de

aberturas, interagindo com os outros sistemas complementares. O caminho com que a luz incide numa edificação depende basicamente da sua forma, da sua localização e das suas aberturas. As janelas são as principais aberturas sendo portanto importantes componentes de entrada da luz natural, radiação solar, possibilitando a visão do meio externo e a ventilação natural.

O excesso de luminâncias na realização de uma tarefa pode causar ofuscamento com a redução da sensibilidade ao contraste e/ou a saturação dos olhos à luz. Para evitar o excesso é necessário reduzir a iluminação directa do sol sobre as superfícies de trabalho através de dispositivos de controlo, que podem ser internos como cortinas ou externos como persianas e vegetação.

O Projecto de iluminação natural tem beneficiado de alguns desenvolvimentos tecnológicos recentes (materiais envidraçados avançados e sistemas avançados/ inovadores de iluminação natural).

Até há pouco tempo, o uso eficaz de luz natural em edifícios apresentava três dificuldades principais:

- A desigualdade indesejável das iluminâncias com iluminação lateral (falta de uniformidade ao longo da profundidade dos compartimentos);
- A luz solar directa indesejável, que pode ser causa de encadeamentos e de sobreaquecimentos;
- O facto de apenas compartimentos com uma parede exterior ou coberta poderem ser eficientemente iluminadas por luz natural.

Todavia, têm surgido recentemente novas tecnologias e soluções de forma a que a luz natural possa ser utilizada mais eficazmente em todos os tipos de edifícios, com distribuição melhorada de luz natural, maior conforto visual para os ocupantes e um controlo solar mais eficiente. De entre essas novas tecnologias, relacionadas com uma melhor e mais eficaz utilização da luz natural nos edifícios, destacam-se os materiais envidraçados avançados, sistemas de iluminação natural avançados e inovadores [21].

#### **2.3.1.3. Vantagens económicas**

Um dos objectivos de qualquer estratégia energeticamente eficiente de aproveitamento da iluminação natural nos edifícios deverá ser a diminuição dos consumos energéticos em energia eléctrica de iluminação. Os sistemas de fenestração deverão ser projectados e dimensionados de modo a poderem proporcionar as necessidades de iluminação nos espaços interiores durante a maior parte dos períodos de utilização do edifício [21].

Um espaço iluminado adequadamente através de iluminação natural e sistemas de controlo de iluminação artificial pode contribuir para a obtenção de 30 a 70% de economia de energia [21].

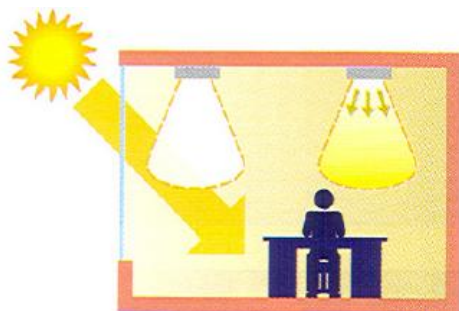
#### **2.3.1.4. Métodos práticos**

Embora o aproveitamento da luz natural exterior num edifício dependa fortemente de factores arquitectónicos cabe ao projectista da instalação de iluminação decidir como aproveitar a iluminação natural que chega ao interior deste e fazer a combinação desta com a iluminação artificial como se ilustra na figura 2.25. Este aproveitamento depende essencialmente do sistema de comando escolhido e da maneira como se dividem os circuitos de iluminação. Dividir a iluminação artificial em vários sectores comandados separadamente, como ilustra a figura 2.26, permite que as diferentes partes de um edifício possam ser ligadas selectivamente em função da iluminação natural, estabelecendo zonas com a mesma actividade ou período de ocupação, de acordo com a escolha efectuada.

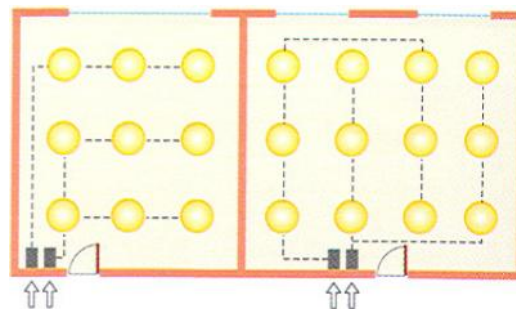


Em locais com iluminação natural através de uma abertura lateral, a distribuição da luz natural é pouco uniforme. Pode-se então pensar numa subdivisão do espaço em circuitos de iluminação comandados separadamente, em função das suas posições em relação à iluminação natural, sendo preferível neste caso colocar as armaduras paralelamente à fachada do edifício [22].

As lâmpadas da mesma zona são comandadas de tal forma que possam fornecer um fluxo luminoso diferente das localizadas noutros sectores. Para que este sistema seja óptimo é preferível colocar as armaduras paralelamente à fachada. Esta solução oferece a possibilidade de não iluminar certas zonas desocupadas, principalmente no início e no fim do dia.



**Figura 2. 25-**Sectorização de circuitos



**Figura 2. 26-**Sectorização de circuitos [22]

### 2.3.2. Métodos de controlo

As necessidades de evitar os desperdícios de energia eléctrica, seja mantendo lâmpadas acesas em ambientes desocupados ou em ambientes onde a luz natural supre as necessidades durante alguns períodos ou durante todo o dia, tornou necessária a evolução e o aperfeiçoamento de alguns mecanismos de controlo. Os principais tipos de controlo são apresentados na subsecção 2.3.2.1 e as questões relacionadas com a selecção do tipo de controlo são abordadas na subsecção 2.3.2.2.

#### 2.3.2.1. Principais tipos de controlo

Os sistemas de controlo de iluminação permitem economizar uma considerável quantidade de energia. Não só garantem que a energia não seja desnecessariamente consumida como possibilitam, na maior parte dos casos, que os níveis de iluminância de um determinado local sejam homogéneos ao longo da variação das horas dos dias em função da presença de luz natural. Para se fazer uso da iluminação natural num ambiente controlando a iluminação artificial pode-se utilizar diversos métodos entre os quais:

- **Liga e desliga manual**

A utilização do simples sistema “on /off” é a estratégia mais primitiva de regulação do fluxo das lâmpadas em função da luz natural disponível. Não há economia de energia nos edifícios bem iluminados com luz natural se não se pensar em apagar a luz quando ela não é necessária. A probabilidade de se ligar a iluminação artificial quando se entra num dado local está directamente ligada à disponibilidade de luz natural nesse momento. É um sistema pouco eficiente pois depende do bom senso dos ocupantes.

- **Controlo manual do fluxo**

Através do controlo do fluxo luminoso, evita-se alterações abruptas no nível de iluminação e permite melhorar a adaptação visual. No entanto, o controlo ainda depende do bom senso do ocupante.

- **Sistemas automáticos de controlo**

Por muito rígida que seja a implementação de procedimentos manuais, o recurso a sistemas automáticos de controlo é, na maioria dos casos, a forma mais eficiente de gerir os circuitos de iluminação. Estes sistemas permitem otimizar a utilização das instalações de iluminação, resultando normalmente em economias de energia significativas, sem prejuízo dos níveis de conforto visual necessários em cada local.

Os sistemas de comando automático dividem-se em tipos “tudo ou nada”, isto é, a iluminação ou está ligada e à potência máxima ou está desligada. Os sistemas de controlo por regulação do fluxo luminoso, embora de maior custo, constituem muitas vezes a solução mais eficiente, quer do ponto de vista energético, quer da produtividade e até da própria segurança.

Dentro dos sistemas “On/Off” temos os interruptores horários, os interruptores crepusculares e os detectores de presença e de movimento. Nos sistemas de regulação de fluxo temos a associação de reguladores de fluxo com sensores de luz natural.

- **Liga desliga automático: interruptores horários**

Os interruptores horários permitem comandar circuitos de iluminação num horário pré-determinado. Existem interruptores horários analógicos e digitais ilustrados nas figuras 2.27 e 2.28 respectivamente. Estes últimos são mais caros, mas permitem guardar o programa em memória, com 1 ou mais canais, permitindo comandar mais do que um circuito.



**Figura 2. 27-** Temporizador analógico



**Figura 2. 28-** Temporizador digital [23]

- **Interruptores crepusculares**

Os interruptores crepusculares, permitem comandar circuitos de iluminação a partir de um dado nível de iluminância medido com uma célula fotoelétrica. Estes dispositivos permitem fazer um aproveitamento da luz natural e devem ser usados em conjunto com interruptores horários nas situações em que o horário de trabalho não coincida com as horas em que a iluminação é suficiente.

- **Sensores de ocupação**

Os sensores de ocupação são detectores de movimento que desligam as lâmpadas automaticamente em ambientes desocupados, acendendo-as, da mesma forma, quando o ambiente é ocupado o que se traduz numa poupança de energia. O tempo de ocupação e o desperdício de energia por ambiente encontra-se na tabela 2.4.

<b>Ambiente</b>	<b>Tempo de ocupação (%)</b>	<b>Desperdício (%)</b>
Salas particulares	55	45
Salas de descanso	35	65
Salas de reunião	50	50
Corredores	60	40
Salas de computação	40	60
Salas de aula	60	40
Salas de refeições	50	50

**Tabela 2. 6-**Tempo de ocupação e desperdício de energia em vários ambientes [24]

- **Sensores passivos de infravermelhos**

Este sensor reage à energia do calor infravermelho emitida pelas pessoas. São considerados passivos porque apenas detectam radiação, não a emitem.

São extremamente sensíveis a objectos que emitem radiação em comprimento de onda à volta de 10  $\mu\text{m}$ , aproximadamente, o mesmo valor do comprimento de onda de calor emitido pelo corpo humano. A sua sensibilidade diminui com o afastamento; o movimento de mãos é percebido a uma distância de 3,5 metros, o movimento do braço e do tronco até 7 metros e o movimento de todo o corpo até 14 metros. Os sensores de embutir substituem directamente o interruptor de parede ou o de tecto e são os mais indicados para pequenos ambientes. Em ambientes com ar condicionado, deve ser tomado algum cuidado para que o ar não incida directamente sobre o sensor [25].

- **Sensores ultra-sónicos**

Os sensores de ocupação ultra-sónicos activam um cristal de quartzo que emite ondas ultra-sónicas em frequências superiores ao limite da percepção humana (entre 25 e 45Khz), por meio do espaço, para detectar a presença de ocupantes. Este sinal em alta frequência é comparado com a frequência do sinal reflectido (efeito Doppler) e qualquer diferença é interpretada como a presença de alguém no espaço de cobertura. Este tipo de sensor é o mais indicado para uso em espaços abertos, espaços com obstáculos de superfície dura e para altura de montagem inferior a 5 metros [25].

- **Sensores híbridos**

Um outro sensor encontrado no mercado é o que utiliza as duas tecnologias, infravermelho e ultra-som. Neste caso, o sistema de iluminação é activado somente quando ambos detectam a presença de pessoas, o que aumenta a fiabilidade do sistema, evitando que o sistema de iluminação se acenda ou apague desnecessariamente. Por terem um custo maior, são indicados para ambientes em que é necessário um alto grau de detecção, como em salas de aula, salas de conferência, entre outros [18].

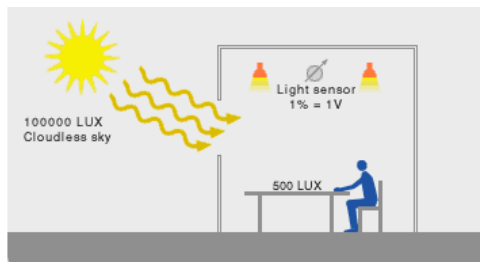
- **Sensores de outras tecnologias**

Existem ainda outros tipos de sensores, como por exemplo os sensores a microondas, que trabalham de maneira muito parecida com os de ultra-som e os de detecção de ruído (apropriados para ambientes industriais), na medida em que emitem, recebem e comparam alterações da frequência [25].

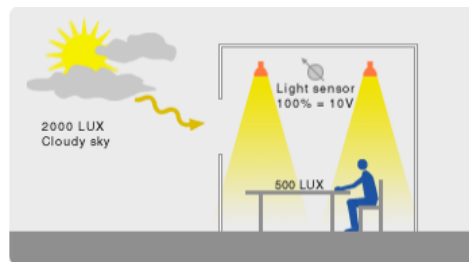
- **Sensores de luz natural e reguladores de fluxo “dimming”**

Neste sistema os níveis de iluminância provenientes da iluminação natural são detectados por uma foto célula que ajusta e controla o fluxo da iluminação artificial em função deste nível de iluminância de forma a ter o nível

de iluminância desejado. Neste caso o sistema de iluminação artificial é desligado de forma contínua à medida que os níveis de iluminação natural aumentam como se pode visualizar nas figuras 2.29 e 2.30. Com este procedimento evitam-se os problemas dos sistemas “liga/desliga”.



**Figura 2. 29-** Regulação a 1% dos níveis de iluminação artificial



**Figura 2. 30-**Regulação a 100% dos níveis de iluminação artificial [26]

- **Sistemas de Gestão de iluminação**

Este tipo de sistemas de domótica, como o DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) e o EIB (*European Installation Bus*), permitem combinar as tecnologias atrás referidas, como o ajuste da iluminação pela quantidade de luz natural que chega ao local, o controlo por sensores de movimento e a programação horária com a vantagem de ser o utilizador a escolher o método de controlo. Apresenta ainda novas funcionalidades como a possibilidade de criação e memorização de cenários, isto é, o utilizador tem a possibilidade de adaptar a iluminação de um local à actividade a realizar no momento.

Este tipo de tecnologias pode ser usado em grandes edifícios de serviços como escolas, hospitais, edifícios comerciais mas também em edifícios industriais e residenciais.

As vantagens da utilização deste tipo de sistemas são: [27]

- Poupança de energia;
- Soluções flexíveis;
- Expansibilidade;
- Design atractivo;
- Rápida amortização de investimento;
- Variedade de Configurações;

### **2.3.2.2. Selecção do sistema de controlo**

A escolha de um sistema de gestão da iluminação revela-se particularmente difícil porque depende de numerosos parâmetros tais como a iluminação natural disponível, os tipos de lâmpadas utilizadas e a disposição das armaduras, o modo de ocupação do espaço, as dimensões do local e o número de ocupantes.

Na tabela 2.7 encontra-se uma comparação de vários tipos de controlo de iluminação:

	Sensibilidade ocupação	Seleção do nível de luz	Potencial de poupança de energia	Gestão de dados	Capacidade de integração	Adaptabilidade ao espaço	Custo
<b>Interruptores (on/off) (escritórios individual)</b>	Bom	Razoável	Razoável	Não	Não	Fraco	Médio
<b>Sistemas de controlo (on/off) automático de edifícios</b>	Fraco	Fraco	Fraco	Sim	Sim	Bom	Baixo
<b>Controladores à base de temporizadores programáveis</b>	Excelente	Razoável	Bom	Sim	Sim	Bom	Médio
<b>Reguladores de fluxo baseados em controlos programáveis</b>	Excelente	Excelente	Excelente	Sim	Sim	Bom	Elevado
<b>Sistema baseado em Sensor de ocupação</b>	Razoável	Fraco	Bom	Não	Não	Fraco	Elevado

**Tabela 2. 7-** Comparação de vários controlos de ocupação [11]

- **Gestão centralizada da iluminação**

A arquitectura dos novos sistemas de iluminação caracteriza-se por um controlo local por grupos de armaduras, livremente definidos pelo utilizador, e por uma gestão centralizada da iluminação que recebe sinais de diferentes sondas, por exemplo de células fotoeléctricas ou de detectores de presença. Este tipo de instalação permite um registo inicial de cenários luminosos na memória da unidade de gestão, como por exemplo, a colocação em serviço de diferentes grupos de armaduras de iluminação a diferentes horas do dia.

Um sistema de gestão centralizada apresenta três grandes vantagens:

- Confere uma grande flexibilidade ao sistema. No caso de modificação dos locais, por exemplo uma deslocação das paredes, basta compor os grupos de armaduras, as quais são comandadas por simples programação da unidade central de gestão, não sendo necessária qualquer modificação dos cabos e das ligações eléctricas;
- Permite registar muitas informações úteis para a gestão energética e para a manutenção das fontes luminosas (horas de funcionamento, hábitos dos utilizadores, consumos energéticos, etc.). Estas informações, quando exploradas correctamente, permitem economias de energia suplementares, assim como um melhor conforto visual;
- Assegura a integração do sistema de iluminação no sistema de gestão centralizada do edifício, em associação com a gestão do aquecimento, da climatização, etc.

Este sistema de gestão centralizado da iluminação apresenta no entanto 2 defeitos: [7], [12], [26]

- O seu investimento inicial é elevado;
- Requer uma separação dos circuitos de potência e de comando, o que origina um grande número de ligações e portanto mais cablagem.

- **Escolha do sensor de ocupação**

Há uma infinidade de particularidades e modelos de sensores que podem determinar a escolha do sensor apropriado para um determinado ambiente. A tabela 1 apresentada no Anexo I, tem como objectivo de orientar o projectista na fase de projecto [25].

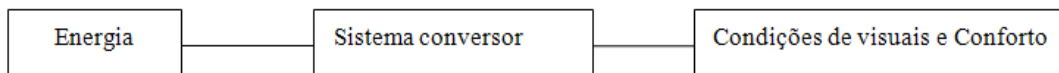
## **2.4. Conclusões**

Desde o aparecimento da lâmpada mais rudimentar preconizado pelo invento do inglês Josep Wilson Swan em 1877, formada por uma ampola de vidro e um filamento de algodão carbonizado e 2 anos mais tarde da invenção da primeira lâmpada incandescente de filamentos de carbono de Thomas Alva Edison, vários foram os progressos feitos na indústria de fontes luminosas, de tal modo que nos dias de hoje a grande preocupação não é somente iluminar, mas iluminar bem quantitativamente e qualitativamente, com poucos gastos energéticos. A ânsia por sistemas, componentes e métodos de controlo que aumentem a eficiência energética dos sistemas de iluminação que proporcionam uma iluminação de qualidade estão a desenvolver e a revolucionar a arte e ciência de iluminar. Actualmente, a eficiência dos aparelhos e componentes que constituem um sistema de iluminação não poderá ser o único factor a ter em consideração na elaboração de um projecto luminotécnico. Parâmetros como o índice de restituição de cor, a temperatura da cor e sua adequação ao espaço a iluminar, assim como a eleição da armadura e o tipo de fonte luminosa têm que ser ponderados na elaboração do projecto. O projectista deverá também analisar e avaliar, recorrendo ao uso de programas computacionais, a quantidade de iluminação natural existente no interior dos edifícios durante o seu período de ocupação. O sistema de comando e a divisão de circuitos de iluminação deverá ser escolhido de modo a aproveitar a maior quantidade de radiação solar, visto esta se tratar de uma fonte energética grátis, inesgotável e não poluente, além disso trata-se da fonte luminosa que melhor proporciona uma iluminação de qualidade.

### 3. Avaliação da eficiência energética de sistemas de iluminação em edifícios

O objectivo da avaliação da eficiência energética de sistemas de iluminação em edifícios é, em geral, analisar a situação actual das instalações e equipamentos, identificar as necessidades e oportunidades de intervenção, definindo a ordem de grandeza da economia e dos custos com a utilização de todos os equipamentos que consomem energia. O uso eficiente de energia deve estar voltado para a implementação de um conjunto integrado de acções que induzam a um aumento da eficiência do consumo de energia, transformando resultados em lucros.

A iluminação pode ser considerada como um sistema conversor no qual a energia de origem eléctrica se transforma em iluminação de modo a proporcionar um ambiente visual adequado à realização cada tarefa, de acordo com a figura 3.1.



**Figura 3. 1**-Etapas essenciais da transformação da energia em iluminação

A conversão da energia eléctrica em luz deve ser realizada utilizando a menor quantidade de energia possível, mas assegurando, simultaneamente, as condições de visão e conforto adequadas.

Se as condições visuais e de conforto de um determinado espaço forem satisfeitas então poder-se-á avaliar a eficiência do sistema de iluminação mediante a quantidade de energia dissipada pelo sistema.

Assim, na secção 3.1 são apresentados os conceitos gerais relacionados com a eficiência energética em sistemas de iluminação. Na secção 3.2 é tratado o problema da eficiência energética em sistemas de iluminação de edifícios novos e na secção 3.3, o problema da eficiência energética em sistemas de iluminação dos edifícios já existentes. Por último na secção 3.4 são apresentados as principais conclusões deste capítulo.

#### 3.1. Eficiência energética de sistemas de iluminação

Um sistema será tanto mais eficiente quanto menor é a energia nele dissipada ou por ele consumida. Este consumo de energia poderá ser calculado momentaneamente através da expressão 4 [28].

$$dE = P \cdot dt \quad (4)$$

Em que:

E é a energia dissipada pelo sistema de iluminação (kWh) e d.E a sua derivada;

P é a Potência do sistema de iluminação (kW);

t é o período de tempo considerado (Horas) e dt a sua derivada.

Tendo em conta que o consumo associado a um sistema de iluminação acompanha as necessidades e uso dos locais, este não é constante ao longo do tempo (período t), pelo que a potência, P, também não o é. Assim, para calcular a energia dissipada pelo sistema é necessário proceder à integração da potência em ordem do tempo de acordo com a equação (5).

$$E = \int_0^T P(t) dt \quad (5)$$

Em que:

E é a energia dissipada pelo sistema de iluminação (kWh) num período entre 0 e T (horas);

P (t) é a potência instantânea do sistema de iluminação (KW);

Se o valor médio da potência P (t) for conhecido, por exemplo através de um diagrama de cargas, a equação (5) poderá assumir a seguinte forma:

$$E = P_p T \quad (6)$$

Sendo:

$P_p$  = Valor médio de P (T);

Um diagrama de carga é um registo contínuo, diário, mensal ou anual da carga associada ao sistema de iluminação (kW), indicando a variação temporal da potência instantânea no sistema de iluminação [28].

Através da análise da equação (6) pode-se afirmar que a eficiência de um sistema de iluminação dependerá portanto de duas variáveis, a Potência (P) e o Período de Tempo (T). Uma das variáveis está intrinsecamente relacionada com a instalação, a potência (P), e a outra com o tempo que se encontra em funcionamento (T). Logo aqui se pode extrair uma premissa importante sobre a eficiência energética nos sistemas de iluminação: A eficiência energética de um sistema de iluminação dependerá por um lado da eficiência energética da instalação e por outro lado da eficiência do seu uso.

$\text{Eficiência do sistema} = \text{Eficiência da instalação} + \text{Eficiência de uso}$
---------------------------------------------------------------------------------------------

**Figura 3. 2-Eficiência energética do sistema**

A eficiência da instalação prende-se com o mínimo de potência requerido da instalação em questão para se obter as condições mínimas de visibilidade necessárias, enquanto que a eficiência de uso diz respeito ao tempo de uso da instalação, que deve ser mínimo.

A eficiência energética da instalação é definida pela potência necessária para obter as condições de visão adequadas e é o resultado da eficiência energética dos seus componentes, como lâmpadas e equipamentos auxiliares.

Ao se considerar potência em vez de energia, premissa que resultou da equação (6), não é necessária uma integração temporal da energia. O conhecimento da potência de uma instalação de iluminação de um determinado local é essencial, pois este poderá ser comparado com o de outras instalações de referência de modo a analisar a sua eficiência. Para se poder efectuar esta comparação de sistemas é necessário utilizar a mesma escala, convertendo valores absolutos em específicos ou relativos. Estes valores podem ser referidos em relação à superfície dos locais ( $\text{W/m}^2$ ), ao número de utilizadores da instalação (W per capita), ou às condições visuais do local (W/lux). A limitação da potência luminosa instalada por unidade de área, traduzida pelos valores indicados na tabela 3.1, não deverá colocar em causa os valores das iluminâncias mantidas e necessárias à realização das tarefas visuais em condições de segurança e conforto para os ocupantes.



Iluminâncias (Lux)	Potência luminosa instalada por unidade de área (W/m <sup>2</sup> )	
	Máxima	Recomendada
50	3,2	2,5
100	4,5	3,5
300	10,0	7,5
500	15,0	11,0
750	20,0	16,0
1000	25,0	21,0

**Tabela 3. 1-** Valores máximos recomendados para a potência luminosa instalada por unidade de área (W/m<sup>2</sup>) em função das iluminâncias requeridas [21]

A introdução de sistemas de iluminação eficiente em edifícios novos constitui um esforço importante para alcançar o objectivo comunitário de redução das emissões de CO<sub>2</sub> e, ao mesmo tempo, contribuir para reduzir a dependência das importações energéticas. Neste âmbito foram legisladas no parlamento europeu, várias normas das quais resultou na criação do regulamento dos sistemas energéticos de climatização de edifícios (RSECE), o qual impõe que novos edifícios de serviços sejam avaliados por cálculo do indicador de eficiência energética (IEE), por simulação dinâmica, pelo que, no que diz respeito á iluminação, apenas se leva em conta a potência instalada. O IEE é calculado pela expressão (7):

$$IEE = IEE1 + IEEV + \frac{Q_{out}}{A_p} \quad (7)$$

Em que:

IEEI é o indicador de eficiência energética de aquecimento;

IEEV é o indicador de eficiência energética de arrefecimento;

Qout é o consumo energético de outros equipamentos;

Ap é a área útil de um edifício.

A parcela Qout pode ser dividida entre consumos energéticos com equipamentos típicos (definidos pelo RSECE para cada tipologia de edifício) e consumos para iluminação (neste caso o RSECE só define os perfis de utilização). Deste modo, conhecendo o IEEref que é o valor máximo que o RSECE impõe para cada tipologia de edifício e os consumos necessários para climatização, facilmente se calcula o valor máximo de potência a instalar para iluminação.

A parcela  $Q_{out}/A_p$  corresponde aos consumos energéticos não ligados a processos de climatização. Esta parcela pode ser dividida em duas partes, uma relativa aos consumos de equipamentos típicos para cada tipologia de edifício, designadamente para aquecimento de águas sanitárias e elevadores, entre outros, e outra relativa aos consumos do sistema de iluminação. Podemos então calcular o valor de Qout pela seguinte expressão: [29]

$$\frac{Q_{out}}{A_p} = \frac{Q_{equipamentos}}{A_p} + \frac{Q_{iluminação}}{A_p} \quad (8)$$

Em que:

$Q_{equipamentos}/A_p$  corresponde aos consumos energéticos relativos a equipamentos típicos para cada tipologia de edifício (kgep/m<sup>2</sup>.ano);

$Q_{iluminação}/A_p$  corresponde aos consumos energéticos para iluminação (kgep/m<sup>2</sup>.ano).

A parcela  $Q_{equipamentos}/A_p$  é facilmente obtida uma vez que o RSECE define, para cada tipologia de edifício, os valores típicos de potência instalada para estes equipamentos (kW/m<sup>2</sup>), assim como os perfis de utilização,

isto é, a percentagem de utilização dos equipamentos para cada hora do dia, diferenciada por dias úteis, sábados, domingos e feriados, ou, para algumas tipologias de edifícios, por estações do ano, o que permite calcular o equivalente ao número de horas por ano de utilização à potência máxima dos equipamentos. Assim o produto destes dois valores (kWh/m<sup>2</sup>.ano), multiplicado pelo “mix” energético dá-nos o valor da energia primária necessária para o consumo destes equipamentos (kgep/ano.m<sup>2</sup>). Para a parcela *Qiluminação/Ap* o RSECE só define os perfis de utilização, não definindo limites para a potência a instalar. Assim este valor será limitado pelos outros equipamentos consumidores de energia e pela tipologia do edifício [30].

Para aumentar a eficiência energética dos sistemas de iluminação deve-se optar por sistemas com regulação automática em função da iluminação natural, e que se desliguem na presença/ausência de pessoas, assim como eleger componentes energeticamente eficientes, como fontes luminosas com elevado rendimento energético, balastros electrónicos.

### **3.2. Eficiência energética de sistemas de iluminação em edifícios novos**

Nas subsecções seguintes é feita uma descrição dos principais aspectos a ter em consideração em edifícios novos de modo a tornar mais eficiente o sistema de iluminação. Na subsecção 3.2.1 são descritos os requisitos principais a ter em conta em edifícios novos e na subsecção 3.2.2 a quantidade e qualidade de iluminação resultantes do sistema de iluminação.

#### **3.2.1. Requisitos principais**

Nos edifícios a iluminação, como já foi referido no capítulo anterior, pode ser proporcionada de três modos distintos: i) apenas com recurso a iluminação natural, ii) apenas com recurso à iluminação artificial, iii) mediante a combinação e articulação entre a iluminação natural e artificial. Numa perspectiva de conforto e de eficiência energética é desejável que a iluminação dos espaços interiores com ocupação humana seja efectuada, preferencialmente, com recurso à luz natural, devendo esta ser suplementada por sistemas de iluminação artificial eficazes e flexíveis quando as necessidades de iluminação não se possam satisfazer apenas à custa da luz natural.

As características da iluminação dos espaços, os diferentes níveis de iluminância, as diferentes luminosidades, os possíveis encandeamentos, os factores de reflexão, entre outras, exigem um estudo aprofundado, de forma a garantir a máxima utilização da iluminação natural e a optimização o funcionamento dos sistemas de iluminação artificial.

Para avaliar as condições de um sistema de iluminação deve-se conhecer as características e condições dos equipamentos instalados, bem como os actuais níveis de iluminação proporcionados pelos equipamentos e as características do ambiente interno.

Através de vistorias aos locais é possível quantificar a quantidade e a qualidade das fontes de luz e determinar a potência instalada. Depois disto é necessário atender ao tipo de ambiente que está a ser alvo de estudos, às suas necessidades de iluminação, ao tipo de iluminação, à disponibilidade de luz natural, à refletância das paredes e idade das pessoas que frequentam o edifício. Só assim se poderá avaliar correctamente a eficiência energética de sistemas de iluminação em edifícios [32].

### **3.2.2. Quantidade e qualidade da iluminação**

A quantidade de luz desejada e necessária para qualquer instalação depende, em primeiro lugar, da tarefa a ser executada. O grau de habilidade requerida, a minuciosidade do detalhe a ser observado, a cor e a reflectividade da tarefa, assim como os arredores imediatos, afectam as necessidades de iluminâncias, que produzirão as condições de visibilidade máxima. Os níveis de iluminação recomendados são baseados nas características das tarefas visuais e nos requerimentos de execução das diversas tarefas, sendo maiores para o trabalho que envolve muitos detalhes, trabalhos precisos e trabalhos de baixos contrastes. Para trabalhos mais intermitentes as iluminâncias necessárias são menores.

As tarefas visuais são classificadas de acordo com a norma UNE 124641-1, que estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores onde se realizam actividades específicas. Esta norma permite flexibilidade na determinação dos níveis de iluminância, sendo que são consideradas 3 variáveis:

- A idade do observador: pessoas mais velhas precisam de mais luz para desenvolver a mesma actividade que uma pessoa jovem;
- Velocidade e acuidade do desempenho visual: necessidades críticas exigem mais luz que as casuais, ou seja, quanto maior o grau de precisão requerido para executar a tarefa, maiores serão os níveis de iluminação exigidos;
- Refletâncias da tarefa em relação ao fundo: grandes diferenças de refletâncias entre a tarefa e o seu entorno próximo podem reduzir o contraste e a performance visual e/ou causar desconforto visual.

Além da quantidade de iluminação necessária para a realização da actividade, um sistema de iluminação energeticamente eficiente deve proporcionar iluminação de qualidade, ou seja, a visibilidade na superfície de trabalho não deve ser afectada pela distribuição das luminárias, pela sua posição relativa à actividade e pelas propriedades específicas da tarefa e da superfície de trabalho. Desta forma, a qualidade da iluminação envolve aspectos que procuram evitar distúrbios na visão de objectos, como o controlo de ofuscamentos, difusão, uniformidade de distribuição, sombras e cor.

Visto anteriormente que é fundamental quantificar o correcto nível de iluminação é apresentado nas subsecções 3.2.2.1, 3.2.2.1 e 3.2.2.3 aspectos a ter em consideração no momento da projecção de sistemas de iluminação artificial que proporcionem qualidade na iluminação tais como o evitar o ofuscamento, distribuição e difusão de sombras e a uniformidade da distribuição da iluminação respectivamente.

#### **3.2.2.1. Ofuscamento**

Da mesma forma como certos detalhes não podem ser percebidos pela falta de iluminação, o excesso de brilho também impede a visão destes detalhes. Isto ocorre quando o processo de adaptação do olho não se faz de forma conveniente em virtude das diferenças de brilho entre a fonte e o fundo ou entre o objecto e seu entorno. Essa interferência produzida pela luz no processo visual é chamada de ofuscamento.

Como a retina apresenta grande sensibilidade num círculo de 30° a partir do eixo óptico, deve-se evitar o posicionamento de fontes de luz dentro de um ângulo de 30° com a linha de visão horizontal, evitando o ofuscamento.

Ainda alerta que, para visão directa de uma fonte luminosa, o máximo tolerado pelo olho humano é  $7.500 \text{ cd/m}^2$ . (por fonte) [6].

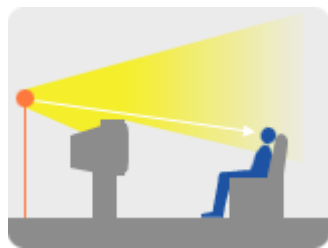
A proporção entre as diferentes luminâncias apresenta um efeito significativo para a visibilidade e habilidade de ver facilmente, com acuidade e rapidez.

Ao escolhermos e posicionarmos as luminárias devemos levar em conta o ofuscamento. Um posicionamento desfavorável pode levar a um ofuscamento directo (visualização directa da lâmpada) ou um ofuscamento reflectido (através de superfícies reflectoras ou brilhantes), prejudicando a visão [32].

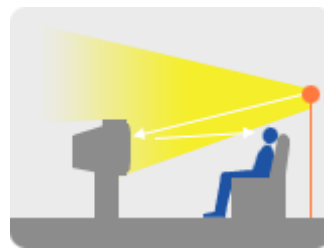
O ofuscamento pode-se apresentar de duas formas distintas:

- Ofuscamento directo, devido a uma fonte luminosa situada na mesma ou aproximadamente na mesma direcção do objecto observado na figura 3.3;
- Ofuscamento por reflexão produzido por reflexões especulares provenientes de fontes luminosas, especialmente quando as imagens reflectidas aparecem na mesma ou aproximadamente na mesma direcção do objecto observado na figura 3.4.

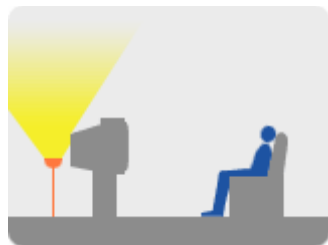
Nas figuras 3.5, 3.6 encontram-se exemplos de posicionamentos correctos da fonte luminosa de modo a evitar ofuscamento [32].



**Figura 3. 3-**Ofuscamento directo



**Figura 3. 4-**Ofuscamento por reflexão



**Figura 3. 5-**Iluminação correcta sem ofuscamento



**Figura 3. 6-**Iluminação correcta sem ofuscamento

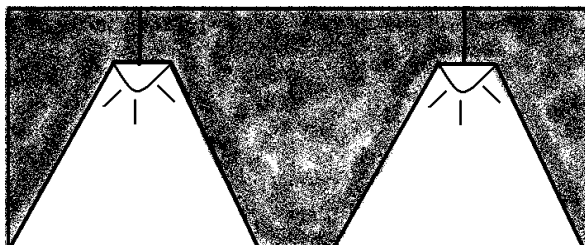
#### **3.2.2.2. Distribuição, difusão e sombras**

Uma iluminação uniformemente distribuída na superfície de trabalho é geralmente desejada para interiores industriais e comerciais, de modo a permitir um arranjo flexível das operações e equipamentos, bem como ajudar a assegurar uma luminância mais uniforme em toda a área. A iluminação difusa reduz a possibilidade de ofuscamento em virtude da melhor distribuição de luz. Porém, as sombras são ténues e podem dificultar o reconhecimento das formas dos objectos.

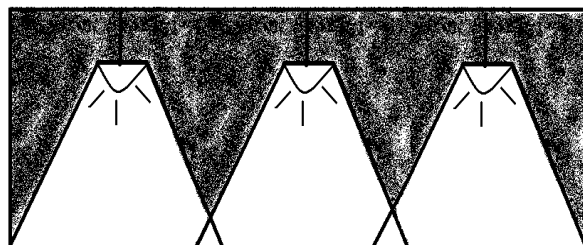
Alguns efeitos direccionais e sombras da iluminação geral são desejados para acentuar a profundidade e forma dos objectos. Sombras acentuadas devem ser evitadas, principalmente na superfície de trabalho.

### 3.2.2.3. Uniformidade de distribuição

Outro factor importante da qualidade de iluminação é o equilíbrio de iluminâncias, denominado por “uniformidade da iluminação”. O fluxo luminoso terá de estar repartido o mais uniforme possível sobre a superfície a iluminar, evitando zonas com sombras, como se pode ver na figura 3.7 e 3.8, este pode ser corrigido colocando as luminárias mais próximas umas das outras, o que implica ter de colocar mais pontos de luz. Todavia o fluxo luminoso da luminária será menor.



**Figura 3. 7-** Distribuição incorrecta do fluxo luminoso



**Figura 3. 8-** Distribuição uniforme do fluxo luminoso

A uniformidade de iluminâncias, numa instalação de iluminação, nunca será totalmente garantida nem no tempo nem no espaço. A uniformidade média pode ser traduzida pela expressão (9) [6]:

$$U_m = \frac{E_{\min}}{E_m} \quad (9)$$

Em que:

$U_m$  é a uniformidade média;

$E_{\min}$  é a iluminância Mínima;

$E_m$  é a iluminância média;

No anexo II, encontra-se uma lista de verificação que permite fazer a avaliação da qualidade do sistema de iluminação. Esta lista de verificação foi adaptada de um modelo proposto pela CIE, para avaliação da iluminação em ambientes existentes. Embora elaborado para a avaliação da iluminação de escritórios, esta pode ser aplicada a ambientes destinados a outras funções. Sempre que possível o inquérito deve ser distribuído pelos funcionários ou pelas pessoas que frequentem o ambiente em questão.

### 3.2.3. Considerações de projecto

O objectivo de um bom projecto de iluminação nos edifícios está para além do exercício puramente formal de proporcionar uma iluminação suficiente que permita aos ocupantes desses edifícios desempenhar as suas tarefas em segurança e em conforto. Embora este deva ser sempre um objectivo fundamental, um projecto de iluminação (natural e artificial) adequado e bem sucedido deverá ainda proporcionar um ambiente interior visual agradável que contribua para a satisfação e bem-estar dos ocupantes e que realce a forma do edifício em harmonia com o projecto de arquitectura, funcionando como elemento valorizador do edifício. Proporcionar uma boa iluminação requer que se consagre igual atenção aos aspectos quantitativos e qualitativos da iluminação.

Na fase de concepção de um projecto de iluminação devem ser tidos em conta os seguintes factores [11]:

- Determinar a quantidade e a qualidade de iluminação para o ambiente em questão;

- Seleccionar equipamentos de iluminação que satisfaçam os requisitos da quantidade e qualidade de iluminação, através da análise das características fotométricas e mecânicas;
- Seleccionar equipamentos com fácil manutenção;
- Assegurar as mais adequadas condições de articulação e complementaridade entre os sistemas de iluminação natural e de iluminação artificial de modo a que o recurso aos últimos só tenha lugar quando as necessidades de iluminação não possam ser satisfeitas apenas pela luz natural. Essa articulação deverá ser efectuada mediante a escolha criteriosa dos sistemas de controlo da iluminação artificial;
- Analisar e estudar a viabilidade económica de todos os componentes do sistema de iluminação, incluindo custos iniciais e custos de manutenção e reparação.

### **3.3. Melhoria da eficiência energética nos sistemas de iluminação dos edifícios já existentes**

Em edifícios já existentes, e como medida de diminuição imediata do consumo energético, sugere-se a substituição de candelabros com inúmeras fontes luminosas por uma única fonte de luz e a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas e as lâmpadas fluorescentes de balastros electromagnéticos por balastros electrónicos, especialmente em salas que estão acesas mais tempo. Deve também evitar-se ter lâmpadas voltadas para o tecto. Apesar da agradável luminosidade provocada, esta é bastante baixa consumindo assim mais energia em relação à luminosidade produzida. A manutenção do sistema de iluminação, como a limpeza regular de lâmpadas e armaduras, aumenta os níveis de iluminação, o que em espaços industriais se poderá traduzir numa redução de potência das lâmpadas instaladas.

Sugere-se como medida mais profunda a elaboração de um *retrofit* do sistema de iluminação. Este constitui uma excelente forma de determinação e implementação de sistemas de iluminação energeticamente eficientes em edificações visando a conservação de energia eléctrica sem prejuízo de conforto do utilizador. Torna-se assim necessário determinar as actuais condições de iluminância do ambiente, bem como a potência instalada por unidade e área, o seu estado de conservação e de manutenção. O seu conhecimento permite a determinação da eficiência luminosa do actual sistema de iluminação e o seu eventual potencial de redução através da utilização de tecnologias eficientes. Outro factor importante no *retrofit* de sistemas de iluminação diz respeito ao levantamento das condições de iluminação natural. Um sistema de iluminação artificial projectado de modo a manter as lâmpadas apagadas durante períodos em que a iluminação natural supre total ou parcialmente as necessidades de iluminação requeridas para a realização da actividade visual permite economias significativas de energia eléctrica. Levantadas as condições existentes do sistema de iluminação parte-se para a etapa de projecto, onde, inicialmente, se deve fazer um levantamento dos equipamentos existentes no mercado. Através de alguma ferramenta de cálculo computacional determina-se a quantidade de lâmpadas e luminárias que atendam a iluminância especificada pela norma.

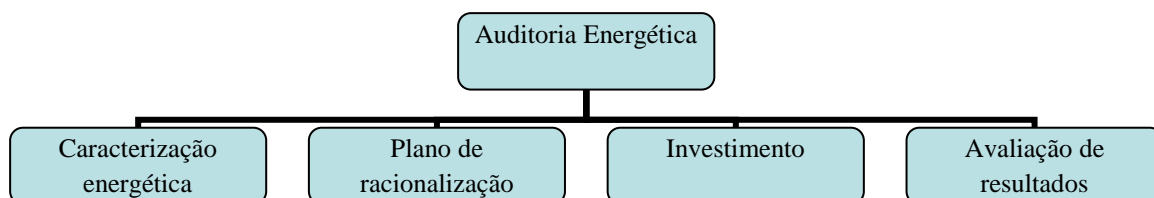
Na subsecção 3.3.1 é abordado o tema da auditoria energética, os dados a ter em consideração numa análise energética a sistemas de iluminação e os principais objectivos que se pretendem atingir com o resultado das propostas de melhoria energética.

Na subsecção 3.3.2 são apresentados as principais considerações que permitem avaliar e determinar a eficiência energética de um sistema de iluminação.

Por último na subsecção 3.2.3 é feito um estudo sobre os principais métodos económicos que permitem determinar o período de retorno de um investimento de um retrofit em sistemas de iluminação.

### 3.3.1. Auditorias energéticas

Uma auditoria energética consiste no levantamento e análise crítica das condições de utilização da energia com vista à detecção de oportunidades de racionalização energética através de medidas com uma viabilidade técnico-económica aliciente. Na figura 3.9 está ilustrado as principais etapas de uma auditoria energética.



**Figura 3. 9-Auditoria energética**

O relatório de uma auditoria de um sistema de iluminação deverá conter as seguintes informações [11]:

Dados de projecto:

- Número e potência dos equipamentos existentes;
- Consumo energético em kW do sistema de iluminação;
- kW/h de consumo;
- Número de horas em que o sistema de iluminação se encontra ligado;
- Custos de manutenção, onde devem ser incluídos os custos de substituição de equipamentos, lâmpadas e balastros;

O novo sistema de iluminação deverá fazer referência aos seguintes pontos:

- Número e potência do sistema de iluminação;
- Consumo energético em kW;
- Número de horas em que o sistema se encontra ligado;
- kW/h de consumo;
- Custos de manutenção, incluídos os custos de substituição de equipamentos, lâmpadas, balastros.

Resultados da proposta de melhoria:

- Redução no consumo de potência em kW;
- Redução de kWh;
- Poupanças em energia eléctrica;
- Redução da potência instalada;
- Análise do custo de manutenção.

Esta metodologia foi a adoptado no capítulo 5. No anexo III encontra-se um formulário que deve ser preenchido com os principais requisitos no momento de fazer a avaliação do sistema de iluminação.

### 3.3.2. Metodologias de avaliação

A eficácia energética de sistemas de iluminação carrega um significado mais amplo do que eficiência energética dos vários componentes que compõem o sistema de iluminação.

A eficiência energética de um sistema de iluminação só pode ser alcançada através da aplicação e implementação das seguintes considerações [11]:

- Determinação exacta das necessidades visuais do ambiente;
- Elaboração de um projecto apropriado que evite surpresas quando o ambiente que esta a ser projectada sofra modificação;
- Selecção correcta dos componentes existentes no mercado com melhor eficiência energética para o projecto;
- Integração apropriada da luz natural no sistema de iluminação quando é possível fazer uso da iluminação natural.

### 3.3.3. Análise de custos

Para identificar os benefícios económicos de um sistema de iluminação energeticamente eficiente devem ser considerados os custos iniciais e os custos de manutenção. O custo inicial engloba todos os aspectos necessários para colocar o sistema de iluminação operacional. Custos de equipamentos, instalação e comissões, são gastos iniciais. Custos de manutenção são aqueles que mantêm o sistema em funcionamento. Incluem os custos de energia, limpeza, reposição de lâmpadas e balastros e manutenção adequada de todos os equipamentos. Em termos económicos o objectivo geral de um sistema é minimizar os custos de manutenção para permitir que o dinheiro economizado equilibre os gastos iniciais, que se têm na escolha de um sistema deste género. O tempo total para que ocorra este equilíbrio é expresso através do período de retorno.

A avaliação do tempo esperado para o retorno do investimento realizado para o *Retrofit* num sistema de iluminação é realizada através dos seguintes métodos:

- **Método do valor presente líquido (VPL)**

Este método baseia-se no conceito de equivalência monetária na data presente dos fluxos de caixa ocorrentes em diferentes datas. É obtido através da diferença existente entre as saídas de caixa (investimento) e as entradas de caixa (recibos), descontados a uma determinada taxa, geralmente a Taxa Mínima de Atractividade (TMA). Considera-se atraente o projecto que possui um valor presente líquido maior ou igual a zero [34].

- **Relação benefício custo**

Este método apresenta o objectivo principal de qualquer investimento, ou seja, verificar se os benefícios são maiores do que o dos custos. Portanto, o investimento é viável para relações benefício/custo maiores que 1 [35].

- **Método da taxa interna de retorno (TIR)**

Este método consiste em calcular a taxa necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respectivos retornos futuros ou saldos de caixa. Os investimentos com taxa interna de retorno maiores que a taxa mínima de actividade (TMA) são considerados rentáveis e são possíveis de análise. A taxa mínima de actividade (TMA) representa a taxa à partir da qual o investidor considera que terá lucros [36].



- **Período de retorno de investimento**

Neste método é verificado o período em que o investidor tem o seu capital recuperado, ou seja, o tempo em que o investimento começa a proporcionar lucros [11].

Para esta análise, torna-se necessária a avaliação do potencial de conservação de energia eléctrica verificado para cada proposta. Com base no uso final do actual sistema de iluminação e do potencial de redução deste consumo para cada opção, determina-se a economia total de energia eléctrica na edificação e, consequentemente, o consumo da edificação pós *retrofit*.

O preço das luminárias, lâmpadas e balastros têm necessariamente de ser conhecidos, bem como o custo da pintura das paredes e tecto para aumento da sua reflexão. Deve-se avaliar, também o custo de reposição de equipamentos, de manutenção e da mão-de-obra.

### **3.4. Conclusões**

Quando se está a projectar um sistema de iluminação energeticamente eficiente, há que ter em conta vários parâmetros, destacando: a qualidade do sistema de iluminação, a quantidade de iluminação, a eficiência dos equipamentos, o tipo de controlo e o contributo da iluminação natural. Porém, de nada servem estes parâmetros se não se estudar a viabilidade económica do projecto. É necessário verificar se vale a pena investir num projecto em que o investimento inicial seja elevado em detrimento de outro mais barato mas menos eficiente. Além do investimento inicial, é essencial prever os consumos diários, mensais e anuais, o tempo de vida útil das tecnologias aplicadas e consequentemente estudar a viabilidade económica do projecto, apresentando alternativas económicas viáveis. Só assim se poderá saber efectivamente se se deve investir em equipamentos que sejam baratos na sua aquisição e dispendiosos energeticamente ao longo da sua vida útil ou, numa perspectiva contrária, investir em equipamentos caros e rentáveis energeticamente.

#### 4. Caso de estudo: Eficiência do sistema de iluminação do edifício 70 do Ciemat

O edifício em estudo situa-se em Madrid, Avenida Complutense, nº 42. É um edifício recentemente remodelado, resultante da ampliação de um edifício já existente, com a mesma forma e dimensões. Trata-se de um edifício com três pisos, nos quais estão alojados no primeiro piso escritórios e nos restantes pisos laboratórios de biomedicina. A nível da arquitectura bioclimática o edifício caracteriza-se por apresentar fachadas grossas e ventiladas na orientação norte e fachadas finas na orientação sul, a fim de evitar trocas de calor do edifício com o exterior. Além de apresentar fachadas ventiladas, o edifício apresenta diferentes isolamentos no seu interior de acordo com a orientação das fachadas. Predomina a pedra e o tijolo, materiais de eleição que visam a integração arquitectónica do edifício com a sua envolvente. Na parte superior do edifício encontra-se uma estrutura metálica com dupla finalidade, primeiramente a de suportar os captadores solares térmicos com uma área aproximada de 180m<sup>2</sup>, e por outro lado a de produzir sombra à cobertura do edifício, evitando que o edifício atinja temperaturas elevadas no verão. A fachada sul apresenta painéis fotovoltaicos no lugar das persianas, a fim de produzir energia eléctrica e evitar a incidência directa da radiação solar nas aberturas do edifício. Nas figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 estão apresentadas algumas fotografias do edifício onde se podem ver as características mencionadas.



**Figura 4. 1-Fachada norte**



**Figura 4. 2-Fachada sul**



**Figura 4. 3-Vista lateral superior**



**Figura 4. 4-Cobertura do edifício**

O campo solar fotovoltaico apresenta uma potência instalada de 5,7kW. Todo o edifício se encontra munido de sensores de temperatura, monóxido de carbono, humidade e de insolação solar que minuto a minuto enviam sinais a uma central para, numa fase posterior, serem analisados.

Dado que o objectivo deste trabalho se prende com a eficiência do sistema de iluminação, na secção 4.1 é apresentada uma caracterização e especificações gerais do sistema de iluminação do edifício 70 do Ciemat, o protocolo e o meio de comunicação que permitem controlar as luminárias e os componentes que o constituem.

São também apresentados os principais sistemas responsáveis pela regulação da iluminação em função da luz natural, o sistema de gestão, automação e de campo. Na subsecção 4.2 são monitorizados o consumo de energia eléctrica de dois gabinetes com orientações diferentes, a mesma área e arquitectura para alguns dias do ano. A monitorização de consumos é realizada com o objectivo de demonstrar as poupanças energéticas resultantes da adopção do sistema de regulação da intensidade de iluminação artificial em função da luz natural.

#### **4.1 Especificações gerais do sistema de iluminação**

Trata-se de um sistema de iluminação extremamente eficiente que se regula em função da luz natural existente no interior do edifício e da sua ocupação. O edifício é percorrido por um bus de controlo que percorre o edifício todo, enviando informações às luminárias. O edifício está em permanente monitorização, sabendo-se a cada instante o consumo de energia eléctrica destinada ao sistema de iluminação.

##### **4.1.1. O protocolo DALI**

É um protocolo de comunicação padrão que foi criado e adoptado pelos principais fabricantes de produtos de iluminação. O nome é um acrónimo de *Digital Addressable Lighting Interface*, que significa Interface para Iluminação com Endereçamento Digital. Trata-se de um protocolo dedicado exclusivamente ao controlo de iluminação, ou seja, este não pode ser usado para controlar outros componentes de outro sistema a não ser o de iluminação. Porém a sua interacção com outros sistemas de automação pode ser uma mais-valia para a supervisão remota e emissão de ordens de serviço. Cada unidade na rede DALI possui um endereço físico, o qual torna possível a comunicação directa com cada componente. Com o sistema DALI é possível, controlar em tempo real diferentes grupos de luminárias. O fluxo de informação deste sistema é bidireccional, permitindo enviar e receber ordens, assim como ter acesso a informações relativas ao estado das luminárias. A reconfiguração do sistema é fácil, pelo que uma vez instalado se pode mudar o seu funcionamento facilmente. As mudanças de cenários e de níveis de iluminação são apenas objectos de programação e não necessitam de nenhuma mudança na estrutura física dos cabos. É fácil adicionar novos componentes, podendo estes ser adicionados em qualquer ponto do sistema.

Este sistema tem possibilidades limitadas da expansão, sendo o número máximo de endereços individuais disponíveis de 64, embora diversos sistemas possam ser interligados por *software* de forma a operarem em conjunto. A corrente máxima da fonte DALI é de 250 mA [37].

##### **4.1.2. Bus de controlo**

O edifício é percorrido por um bus de controlo, alimentado a uma tensão de 15 volts de corrente contínua, no qual estão ligados todos os equipamentos que compõem o sistema de iluminação. Trata-se de um cabo bipolar de par entrançado, H05VV-U2x0,75 e em certos troços do cabo H05VV-U2x1,5. O bus de controlo opera a uma velocidade de 4800 bauds e apresenta um CRC (*Cyclic Redundancy Check*) de 16 bits para segurança de transmissão de dados na rede, sendo que, após a detecção de um erro na transmissão de dados, a estação emissora repete a emissão de dados. A transmissão de um bit na rede demora  $208,33 \times 10^{-6}$  segundos, sendo que a cada conjunto de oito bits se forma um byte informativo. A transmissão de um byte informativo apresenta uma duração de  $2,3 \times 10^{-3}$  segundos. O bus apresenta como protocolo de comunicação o CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), ou seja, antes de transmitir um pacote, a estação avisa sobre a

transmissão e quanto tempo a mesma irá demorar a realizar a transmissão. Deste modo, outras estações não tentarão transmitir simultaneamente, pois entendem que o canal já está a ser usado para outra transmissão. A comunicação no bus de controlo é de igual para igual, pelo que não existe uma hierarquia mestre escravo sendo a comunicação realizada perante objectos programados. Os módulos de entrada e de saída do bus de controlo apresentam vários canais distintos, sendo cada canal identificado por três números de dois dígitos cada, compreendidos entre 1e 99. O primeiro número corresponde ao gabinete lógico para o qual foi direccionado o bus, o número seguinte identifica o grupo a que pertence o circuito dentro do gabinete e o último número corresponde ao circuito do grupo de luminárias/luminária a controlar, sendo que este número não se poderá repetir no sistema, pois identifica inequivocamente o componente no universo do sistema. Deste modo poder-se-á controlar de forma rápida e prática o sistema de iluminação de um edifício, de um conjunto de gabinete, um grupo de luminárias ou apenas uma luminária se assim se desejar, recorrendo para isso a objectos de programação. As cenas de luz dos gabinetes, assim como o tempo e a quantidade de iluminação predominante poderão ser guardadas em memórias EPROM em cada módulo. Mediante cada módulo podem-se armazenar até vinte cenas de iluminação distintas, as quais se poderão rapidamente evocar em qualquer momento. No caso de ser evocada uma cena de iluminação, as saídas variam progressivamente desde o valor da cena actual até à cena em questão, passando por todos os níveis de iluminação anteriormente configurados. O período de tempo que demorará em cada cena durante a mudança de cenas de iluminação também é objecto de controlo [37].

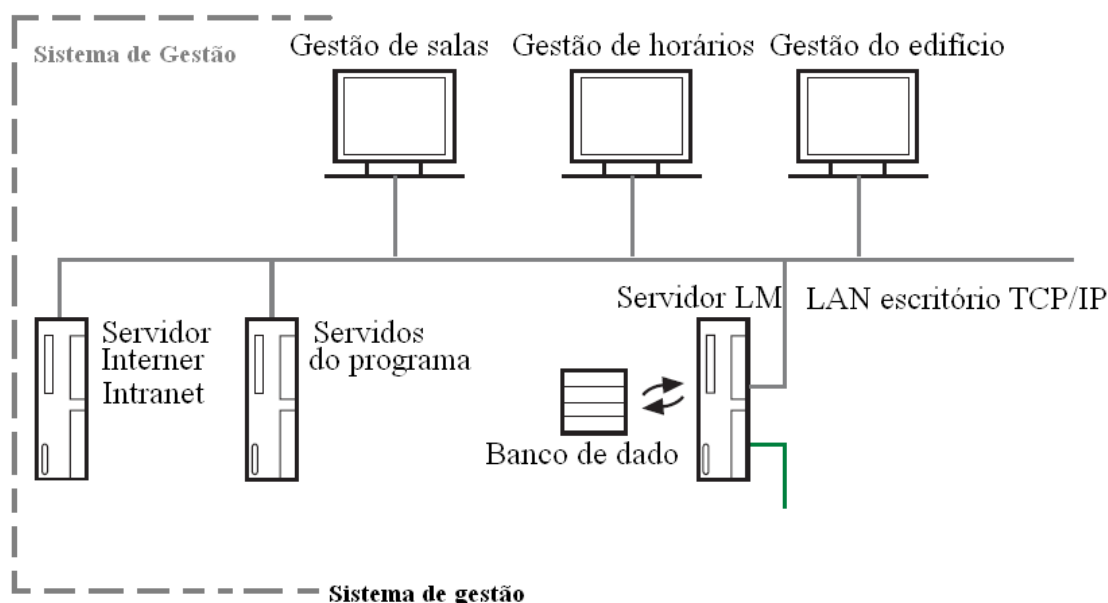
#### **4.1.3. Controlo das luminárias**

Para se proceder à regulação das luminárias encontram-se integrados no sistema transformadores digitais que permitem regular a intensidade luminosa das lâmpadas. Com o envio de sinais digitais, pode-se obter mediante cada luminária fluorescente um controlo mínimo de 1% e um máximo de 100% da luminosidade e para luminárias fluorescentes compactas uma regulação de 3% até 100%. A regulação da luminária para valores baixos não origina quaisquer efeitos não desejados. A visão humana é muito sensível a variações entre 0% até 10% de fluxo luminoso, porque este tipo de alterações são um foco de distracção e facilmente perceptíveis. Cada luminária apresenta também um serviço de vigilância das suas saídas. Estas são capazes de enviar códigos de erros ao sistema em caso de mau funcionamento como por exemplo no caso de ocorrência de curto-circuitos ou em situação de circuito aberto [37].

#### 4.1.4. Sistema de gestão

O sistema de gestão é responsável pela gestão e controlo do sistema de iluminação do edifício. O sistema inclui três subsistemas de gestão, que permite controlar a iluminação dos escritórios existentes no edifício, por grupos de luminárias ou de forma individual, em função da quantidade de luz natural existente, medida no plano de trabalho. O sistema foi desenvolvido visando não só a eficiência energética do sistema de iluminação mas também o conforto do utilizador. Apesar de se tratar de um sistema automático de controlo, os cenários de iluminação podem ser activados/controlados através de simples interruptores de parede, ou através de um comando de infravermelhos por parte dos ocupantes do espaço de trabalho de forma a adaptar a intensidade luminosa às suas necessidades visuais.

Trata-se de um sistema automático suportado por uma rede LAN (*Local Area Network*), que utiliza o protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), como se pode observar na figura 4.5.



**Figura 4. 5-**Sistema de gestão

O sistema de gestão inclui também três servidores como se pode verificar na figura 4.5. O servidor de programa contém o software que suporta o sistema de gestão e controlo. Trata-se do programa Luxmat-windows LMW-Go que é utilizado para visualizar e vigiar a instalação através de um computador com sistema operativo Windows. Este software permite visualizar não só mensagens de erros e alarmes como também o estado dos diferentes equipamentos do sistema de iluminação. O programa permite um controlo interactivo de toda a instalação, permitindo visualizar a instalação por sectores ou circuitos de iluminação ou através da planta do edifício. Nas figuras 4.6 e 4.7 são apresentadas fotografias de alguns equipamentos que compõem o sistema de monitorização presente no edifício.



**Figura 4. 6-**Equipamento de visualização do sistema de iluminação



**Figura 4. 7-**Sistema de aquisição de dados

#### **4.1.5. Sistema de automação**

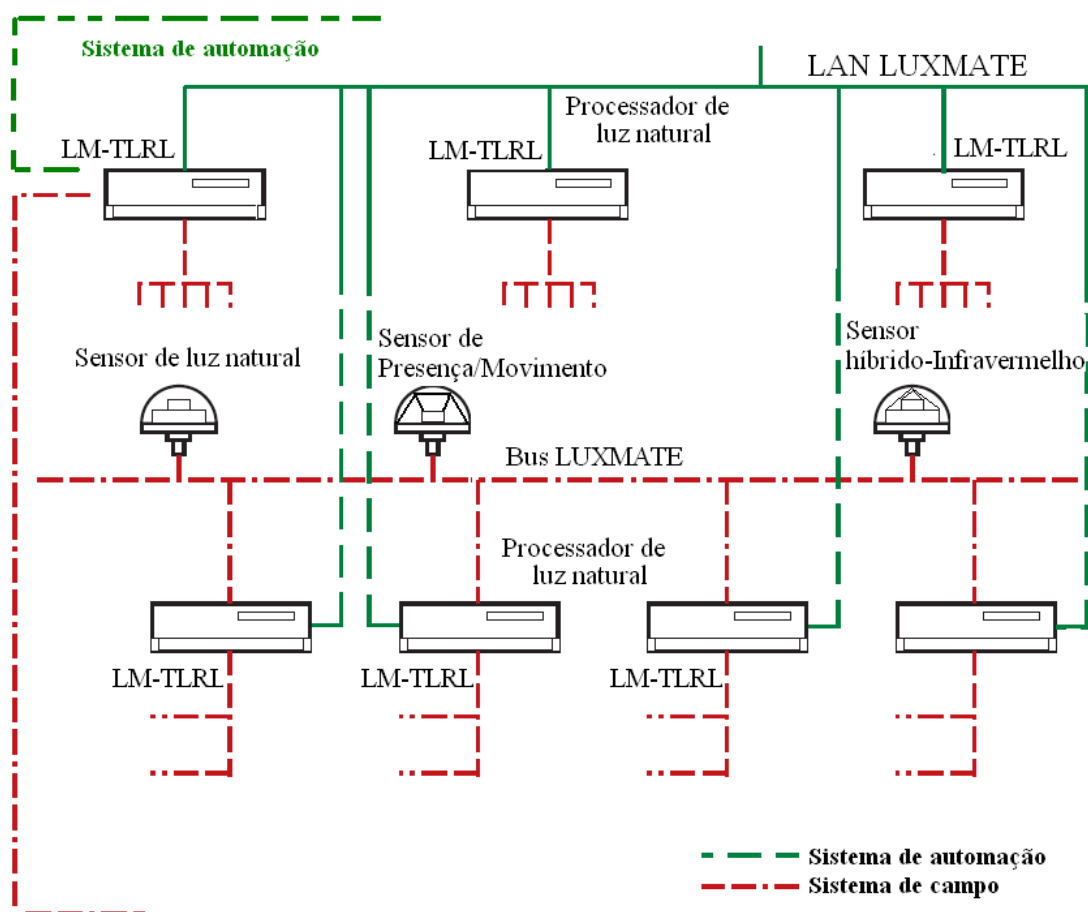
O sistema de automação é responsável por todas as funcionalidades relacionadas com o sistema de automação do sistema de iluminação, a nível da regulação horária ou em função da quantidade de luz natural existente. Como se pode verificar na figura 4.8, o sistema de automação é composto vários processadores de luz natural, LM-TLRL.O Processador de luz natural LM-TLR, regula a intensidade de luz artificial no edifício, mediante as condições de luminosidade existente. O sensor de luz natural, LM-TLM elemento fundamental do sistema de campo, detecta a intensidade de luz do sol e envia sinais para o processador. Este reúne os dados da luminosidade e calcula individualmente, para cada luminária, os sinais adequados a enviar de forma a se proceder o ajuste de iluminação aos níveis de Iluminâncias anteriormente configurados. O processador de luz natural pode controlar vários escritórios e vários grupos de luminárias, podendo também ser configurado para acender ou apagar as luminárias num determinado período horário. Este poderá ainda ajustar o período de funcionamento das luminárias com a presença/ausência de pessoas, podendo de igual modo o utilizador do espaço interferir na regulação e controlo da quantidade de iluminação regulando, apagando/acendendo as luminárias. O esquema de ligações do processador LM-TLR encontra-se apresentado no anexo IV.

v

**Figura 4. 8-**Esquema correspondente ao sistema de automação

#### **4.1.6. Sistema de campo**

Ao nível de campo encontram-se os sensores de luz natural, movimento/presença e sensores de infravermelhos e dispositivos que executam as ordens do utilizador como interruptores de parede. Este nível encontra-se dividido por áreas de actuação de espaços físicos como se pode visualizar na figura 4.9. Existem três tipos de sensores presentes no tecto dos gabinetes e corredores.



**Figura 4. 9-Sistema de campo**

- **Sensor de luz natural**

O sensor de luz natural ilustrado na figura 4.10 mede a radiação solar que penetra no escritório através das aberturas laterais. É enviado ao bus um valor médio de iluminação natural, o qual é utilizado para controlar a iluminação artificial. Os dados técnicos do sensor de luz encontram-se apresentados na tabela 4.1.

Saídas	15V
Bornes de conexão	0,75...1,5mm <sup>2</sup>
Montagem	Embutido no tecto
Temperatura ambiente	0...50°C
Tipo de Protecção	IP20
Classe de Protecção	SKII
Vários	Mudança de sensibilidade de 0...5000lux. Comportamento espectral, sensibilidade espectral com filtro de correcção de cor integrada para o olho humano

**Tabela 4. 1-Dados técnicos do sensor de luz [37]**





**Figura 4. 10-Sensor de luz natural**

O sensor quantifica a luz natural existente no escritório, todavia não mede a luz artificial. Para que o controlo da iluminação em função da luz natural se efectue correctamente é extremamente importante instalar o sensor na posição correcta. Por este motivo é que os sensores se encontram instalados direccionados para as aberturas de entrada de luz natural, sem obstruções entre ambos. A distância horizontal do sensor à abertura lateral é menor ou igual à altura da janela e menor ou igual que o comprimento da janela.

- **Sensor de presença**

O sensor de presença ilustrado na figura 4.11 é um equipamento electrónico capaz de identificar a presença de pessoas dentro do seu raio de acção e acender a lâmpada do ambiente. Este sensor pode ser encontrado nos ambientes de passagem, os seus dados e características técnicas estão apresentadas na tabela 4.2.



**Figura 4. 11-Sensor de presença**

Número de contactos	1 NA
Tensão de alimentação V AC (50/60 Hz)	120V...230V
Potência nominal AC/DC VA (50 Hz) /W	2.5/—
Campo de funcionamento AC (50/60 Hz)	96...253V
Vida eléctrica a carga nominal em AC1 ciclos	100 · 10 <sup>3</sup>
Ajuste do tempo de retardo dos contactos	10 s...12 Mím
Raio de acção	10m
Ângulo de operação	110°
Ajuste do tempo de retardo dos contactos	10 s...12 Mím
Temperatura ambiente °C	– 10...+50
Grau de protecção	IP 40
Homologações (segundo o tipo)	CE

**Tabela 4. 2-** Dados técnicos do sensor de presença [37]

- **Sensor híbrido-Infravermelho**

Os sensores híbridos juntam as três funcionalidades num sensor único, detector de presença, sensor luminosidade e receptor infra-vermelhos. Estes sensores encontram-se presentes em menor número comparativamente com os outros sensores. Na figura 4.12 está ilustrada uma fotografia deste tipo de sensor e na tabela 4.3 enumeradas as características e dados técnicos.





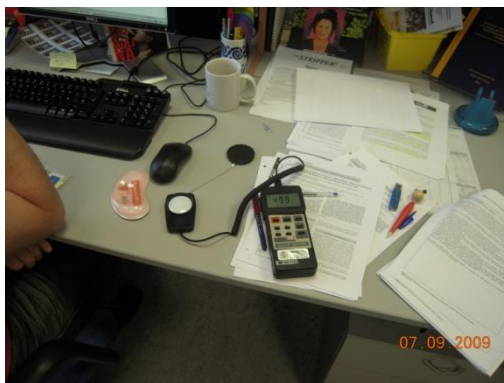
**Figura 4. 12-Multi-sensor**

Tensão de alimentação V AC (50/60 Hz)	120V...230V
Potência nominal AC/DC VA (50 Hz) /W	2.5/—
Frequência de operação	40kHz
Dimensões	118x96 (Φ×H)
Peso	0.53kg
Temperatura de operação	-10°C...+50°C
Humidade relativa	95% Max
Grau de protecção	IP 40

**Tabela 4. 3- Características técnicas multi-sensor [37]**

#### **4.2. Medição da quantidade de iluminação nos locais de trabalho**

De modo a aferir sobre a eficiência do sistema de iluminação existente procedeu-se à medida da quantidade de iluminação nos postos de trabalho, com o auxílio de um luxímetro, tal como se pode observar na figura 4.13.



**Figura 4. 13-Medição da quantidade de iluminância nos postos de trabalho**

Os resultados foram os esperados, o sistema de iluminação efectua a regulação da intensidade luminosa em função da luz natural disponível e da ocupação dos espaços. As medidas registadas situam-se no intervalo [489...510] lux, o que vai ao encontro dos valores estabelecidos na norma UNE 12464-1.

O sistema de iluminação dispõe ainda de dois wattímetros extra, ilustrados nas fotografias das figuras 4.14 e 4.15, que se encontram integrados no sistema de iluminação. A sua finalidade é efectuar as medições do consumo de energia eléctrica no circuito de iluminação minuto a minuto, de dois escritórios de arquitectura análoga mas com orientações geográficas distintas. Um deles tem abertura lateral virada a sul, com identificação PO.20, e um outro escritório com abertura lateral voltada a norte com identificação PO.13. A finalidade da sua instalação foi a de comparar o consumo de ambos os escritórios e o peso que o projecto arquitectónico representa

no consumo de energia eléctrica destinada à iluminação. Encontra-se também instalado um outro wattímetro de modo a medir a quantidade de energia eléctrica consumida no circuito de tomadas de ambos os escritórios.



**Figura 4. 14-**Wattímetro do circuito de tomadas



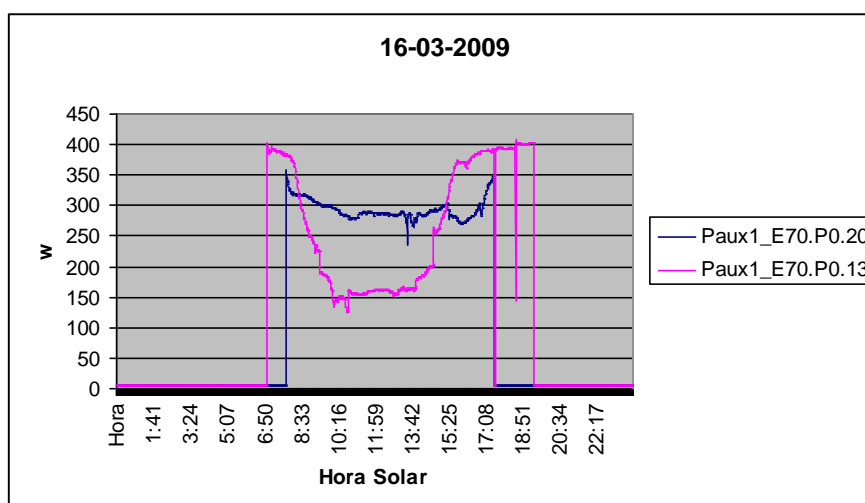
**Figura 4. 15-**Wattímetro do circuito de iluminação

O sistema de iluminação é constituído por balastros electrónicos e lâmpadas fluorescentes *T5 ODEL-Lux*, de 14 watt, e por luminárias de embutir no tecto formada por 4 lâmpadas, apresentando uma potência por luminária de 56 watt. Cada escritório apresenta na totalidade 448 Watt de potência em lâmpadas tubulares fluorescentes. Na figura 4.16 pode-se visualizar parte do conjunto de luminárias destinadas à iluminação.

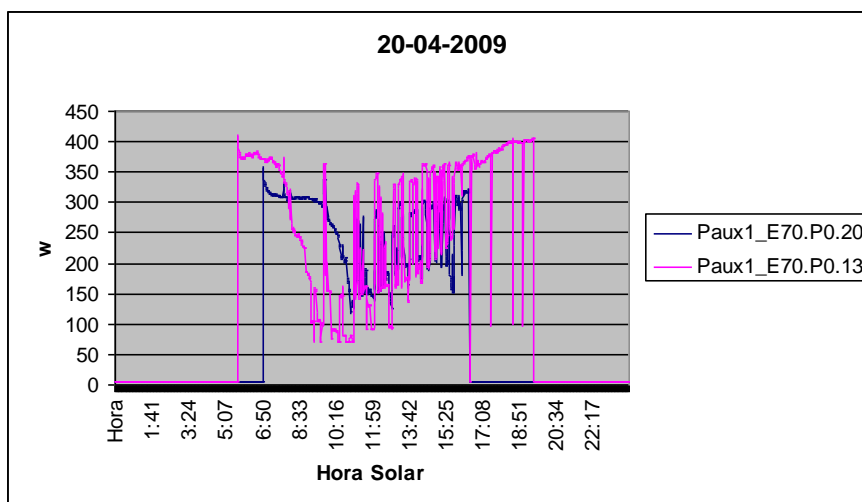


**Figura 4. 16-** Vista superior dos escritórios em estudo

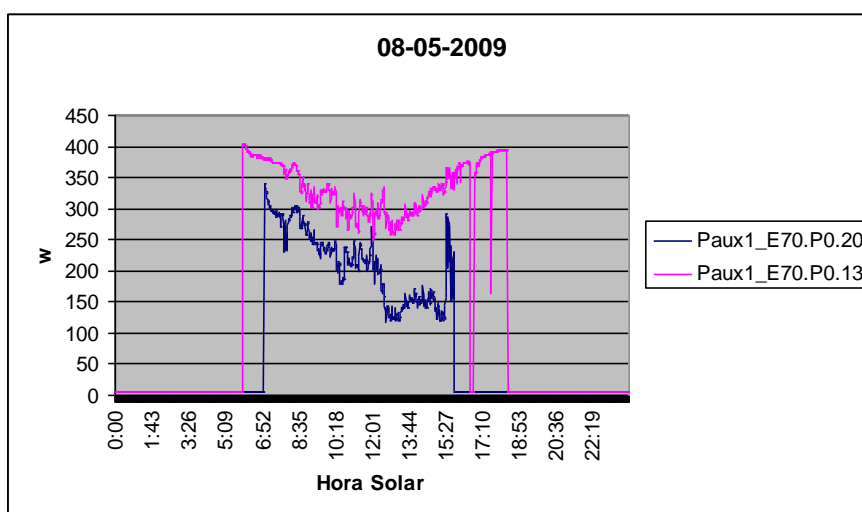
Alguns resultados das medições efectuadas com os wattímetros encontram-se apresentados nas figuras 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20.



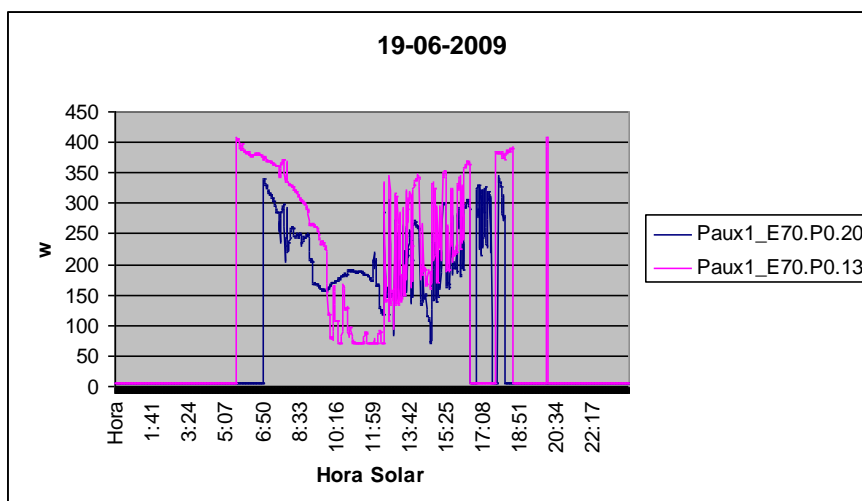
**Figura 4. 17-**Consumo de energia eléctrica no circuito de iluminação dia 16-03-2009



**Figura 4. 18-**Consumo de energia eléctrica no circuito de iluminação dia 20-04-2009



**Figura 4. 19-**Consumo de energia eléctrica no circuito de iluminação dia 08-05-2009



**Figura 4. 20-**Consumo de energia eléctrica no circuito de iluminação dia 19-06-2009

Como se pode verificar nas figuras 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20, o consumo de energia destinada ao sistema de iluminação diz respeito ao período laboral, que se inicia por volta das 06:50 e termina por volta das 18:00, hora solar, para o caso do gabinete P0.13 e das 05:25 as 17:15, hora solar, no caso do gabinete P0.20 visto que é neste

período em que o sistema de iluminação se encontra a consumir energia, resultado da presença de algum ocupante ou do accionamento de algum interruptor manual de parede. Como se pode visualizar nas figuras anteriormente ilustradas o consumo de energia eléctrica destinada ao sistema de iluminação está dependente da quantidade de iluminação natural disponível nos gabinetes.

Com a monitorização de consumos minuto a minuto é possível também saber o tempo de ocupação dos gabinetes e concluir que o consumo das reactâncias do sistema em *stand by* é insignificante.

Fazendo uma análise pormenorizada aos consumos do dia 19-06-2009, o escritório voltado a norte, PO.13 apresenta uma média de consumo no período de trabalho de 182, 688 watt, e o escritório voltado a sul apresenta uma média de consumo em período análogo, de 225, 455W. Destas médias e considerando que a potência total instalada é de 448 watt, obtêm-se uma poupança para o escritório voltado a norte de 222,54W, e para o edifício voltado a sul de 265,312W. Para o dia em questão, admitindo que o preço do KW/h esta fixado em 0,11€, obtiveram-se poupanças energéticas no sistema de iluminação nos dois escritórios aproximadamente de 0,58€ por dia.

Com utilização deste sistema é possível obter grandes poupanças energéticas. Uma outra premissa a reter com esta análise é que o escritório com a abertura lateral, orientação sul, apresenta em média menores consumos que o escritório voltado a norte.

## 5. Caso de estudo: Sistema de iluminação do edifício 42 do Ciemat

De modo a proceder ao estudo do sistema de iluminação do edifício 42 do Ciemat, é efectuada na subsecção 5.1 uma caracterização e uma análise do consumo de energia eléctrica para cada gabinete do sistema de iluminação artificial. Na subsecção 5.2 são apresentadas e comparadas soluções energeticamente eficientes a implementar no sistema de iluminação do edifício 42 do Ciemat para o sistema de iluminação.

### 5.1. Caracterização do sistema de iluminação

O edifício 42 do Ciemat situa-se em Madrid. Trata-se de um edifício cuja data de construção remonta para os anos 80, apresentando uma construção típica da altura. Apresenta vegetação ao seu redor, sobretudo árvores de grandes dimensões na fachada norte do edifício, tal como se pode ver nas fotografias apresentadas nas figuras 5.1 e 5.2.



**Figura 5. 1-** Fachada sudeste e este



**Figura 5. 2-** Vista aérea do edifício 42 [38]

Trata-se de um edifício com uma grande superfície de janelas, e com um pátio situado no centro do edifício, o que favorece a entrada da luz natural. O seu maior gasto energético situa-se no período de trabalho, que se situa entre as 8:30h e as 16:30 horas. Os trabalhadores apresentam idades compreendidas entre os 30 e os 55 anos, factor que não influencia a iluminação. Os estudos realizados neste edifício focam os gabinetes correspondentes á zona da eficiência energética identificados na figura 5.3.



**Figura 5. 3-** Planta esquemática do edifício 42

A caracterização do sistema de iluminação artificial envolve o levantamento dos equipamentos instalados, a medição e a avaliação dos níveis de iluminação. Durante várias as visitas foram observadas características físicas dos locais de trabalho e do sistema de iluminação artificial. A análise da iluminação não se restringiu a observar o tipo de lâmpada e sua potência. Observou-se, também, o tipo de luminária, os reflectores utilizados, e a divisão de circuitos eléctricos existentes.

Durante as visitas técnicas constatou-se que o sistema de iluminação do edifício é composto na sua maioria por lâmpadas fluorescentes tubulares de marca Philips, de 18W e 36W e por luminárias com reflectores brancos. Em todos os gabinetes existe um conjunto de iluminação artificial, *Philips IMPALA TBS160 4xTL-D36W/840*, com as dimensões de 1,239 x 0,596 x 0,080m (CxLxH) e da marca *Osram* de características técnicas homólogas. Os balastros são convencionais, o que reduz o tempo de vida de uma lâmpada, e as luminárias instaladas apresentam uma potência de 170W, valor este que é o resultado do conjunto lâmpada, balastro e outras perdas. As principais características luminotécnicas do sistema de iluminação artificial do edifício 42 estão apresentadas na tabela 5.1.

Gabinete	Nº de luminárias	Potência de cada lâmpada (W)	Potência por luminária (W)	Potência total instalada (W)
14	2	36	170	340
15	2	36	170	340
16	8	36	170	1360
17	3	36	170	510
18	2	36	170	510
18a	3	36	170	510
26	2	36	170	340
27	2	36	170	340
28	2	36	170	340
29	2	36	170	340
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>36000</b>	<b>170000</b>	<b>4930</b>

**Tabela 5. 1-**Características do sistema de iluminação do edifício 42

Os níveis de iluminação nos diferentes postos de trabalho foram medidos com o auxílio de um luxímetro. Os resultados encontram-se apresentados na tabela 5.2.

Gabinetes	Nível médio de iluminação (lux)
14	1570
15	1100
16	999
17	917
18	920
18 A	800
26	1250
27	1220
28	1200
29	1180

**Tabela 5. 2-**Levantamento dos níveis de Iluminâncias

Estes resultados foram realizados no período da manhã de céu nublado e com algumas nuvens, com os dois sistemas de iluminação natural e artificial em simultâneo. Os resultados obtidos revelam que o sistema de iluminação se encontra sobredimensionado, visto que os valores médios da iluminância dos gabinetes se encontram excessivamente elevados tendo em conta o valor recomendado na norma UNE 12464.

Na subsecção 5.1.1 é apresentado o custo da energia gasta no sistema de iluminação artificial e na subsecção 5.1.2 é feito um estudo individual do sistema de iluminação de cada gabinete sendo a análise apresentada na subsecção 4.1.3.

### 5.1.1. Custo da energia gasta em iluminação

Atendendo à potência instalada em cada gabinete e tendo em conta que cada local de trabalho está dependente do sistema de iluminação artificial aproximadamente 8,5 horas diárias, fez-se uma estimativa da energia gasta no sistema de iluminação para toda a instalação. Os resultados podem ser observados na tabela 5.3.

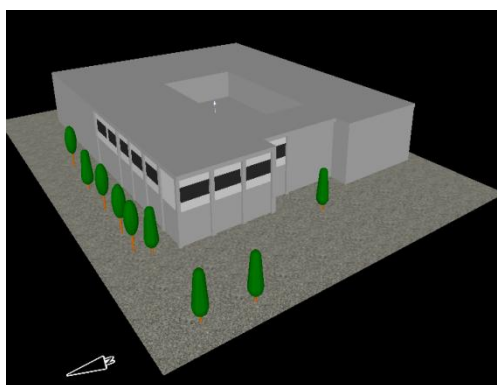
Gabinete	Potência total instalada W	Potência consumida por dia 8,5 horas kW	Custo total diário €	Consumo	Custo total anual €
14	340	2,890	0,317	867	95,370
15	340	2,890	0,317	867	95,370
16	1360	11,560	1,271	3468	381,480
17	510	4,335	0,476	1300,5	1300,500
18	510	4,335	0,476	1300,5	1300,500
18a	510	4,335	0,476	1300,5	1300,500
26	340	2,890	0,317	867	95,370
27	340	2,890	0,317	867	95,370
28	340	2,890	0,317	867	95,370
29	340	2,890	0,317	867	95,370
<b>Total</b>	<b>4930</b>	<b>41,905</b>	<b>4,609</b>	<b>12571,5</b>	<b>1382,865</b>

**Tabela 5. 3-**Custo energético do sistema de iluminação artificial

A estimativa do consumo anual e, por consequente do custo total, foi efectuada com base em 300 dias úteis por ano.

### 5.1.2. Análise individual do sistema de iluminação de cada gabinete

O sistema de iluminação do edifício foi projectado utilizando o *Dialux*. Esta ferramenta computacional permite realizar estudos luminotécnicos e simuladas condições de luminosidade existentes no interior do edifício, permitindo calcular com precisão a maneira como a luz se propaga no ambiente, produzindo imagens realistas e valores exactos de iluminâncias. O projecto do sistema de iluminação teve em conta a realidade existente, incluindo o mobiliário e outros objectos, visto que a sua disposição condiciona os níveis de iluminância da área de trabalho. A figura 5.4 mostra um esboço do edifício 42 desenvolvido no do Dialux.



**Figura 5. 4-** Esboço geral do edifício 42

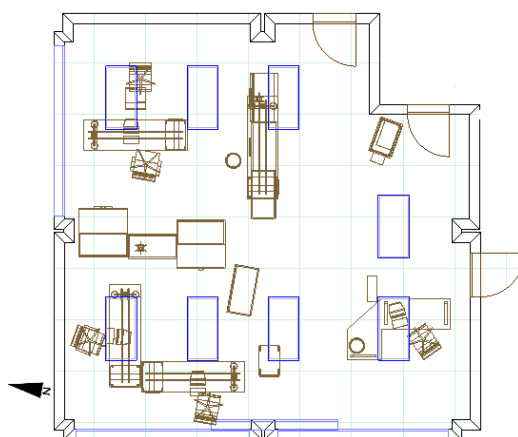
Nas subsecções seguintes é apresentada uma caracterização individualizada de cada um dos gabinetes projecto

### 5.1.2.1. Gabinete 16

Trata-se de um gabinete onde trabalham 5 pessoas com idades compreendidas entre os 30 e os 40 anos. Na figura 5.5 é apresentada uma visão tridimensional do gabinete e na figura 5.6 a disposição física dos postos de trabalho. Na figura 5.7 é mostrado o mapa de linhas isográficas do sistema de iluminação. O sistema de iluminação artificial é constituído por 2 circuitos independentes no qual estão inseridas 8 luminárias.



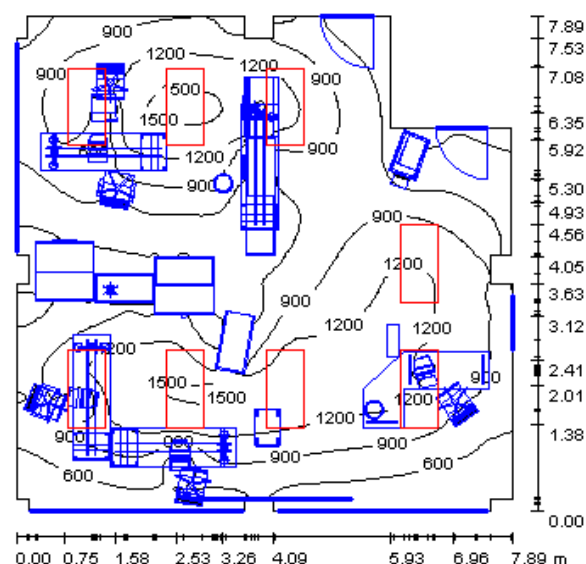
**Figura 5. 5-Vista 3D padrão gabinete 16**



**Figura 5. 6- Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 16**

Um outro dado importante de saída do *Dialux* que permite avaliar e visualizar o comportamento de iluminâncias de um determinado espaço é o mapa de linhas isográficas. Este representa zonas ou espaços em que os níveis de iluminância assumem os mesmos valores. A figura 5.7 mostra as linhas isográficas de iluminância para o gabinete 16.





**Figura 5. 7-Linhas isométricas de iluminação gabinete 16**

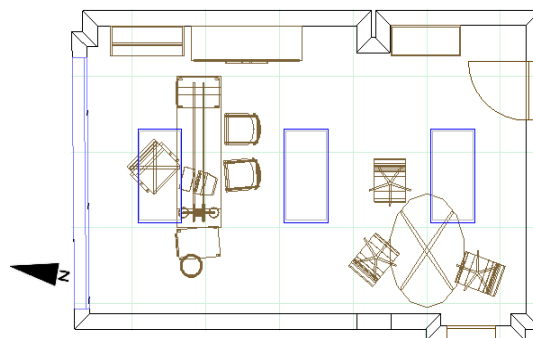
Através da análise das linhas isométricas de iluminação apresentadas na figura 5.7, pode verificar-se que os níveis de iluminação se encontram bastante acima do limite recomendado na norma UNE 12464, facto que permite concluir que o sistema se encontra sobredimensionado. Por outro lado, verifica-se uma certa uniformidade dos níveis de iluminação no interior do gabinete.

#### 5.1.2.2. Gabinete 17

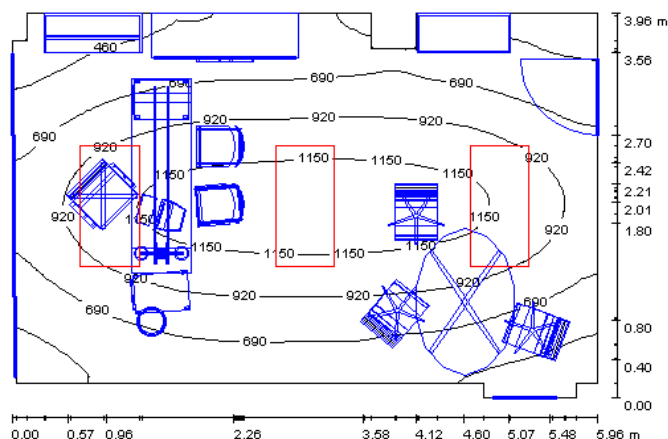
No gabinete 17 trabalha uma pessoa com deficiência visual e são realizadas reuniões de vez em quando. É apresentada uma visão tridimensional na figura 5.8 e a disposição física do posto de trabalho na figura 5.9. Na figura 5.10 é mostrado o mapa de linhas isométricas do sistema de iluminação. O sistema de iluminação artificial é constituído por 1 circuitos de iluminação no qual estão inseridas 3 luminárias.



**Figura 5. 8- Vista 3D padrão gabinete 17**



**Figura 5. 9-** Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 17



**Figura 5. 10-**Linhas isográficas de iluminação

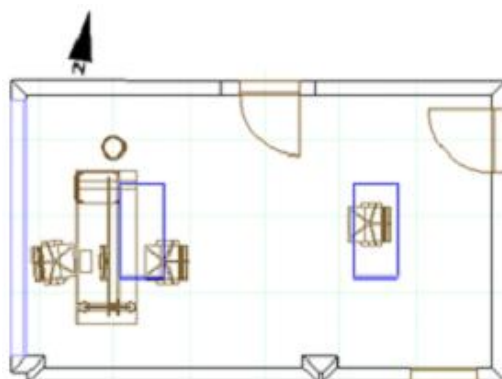
A análise das linhas isográficas de iluminação apresentadas na figura 5.10 permite constatar níveis de iluminação bastante elevados. Em particular, em algumas áreas de trabalho verifica-se iluminâncias de 1150 Lux, valor extremamente excessivo mesmo para ocupação noturna. Por outro lado, não há uniformidade dos níveis de iluminação.

### 5.1.2.3. Gabinete 15

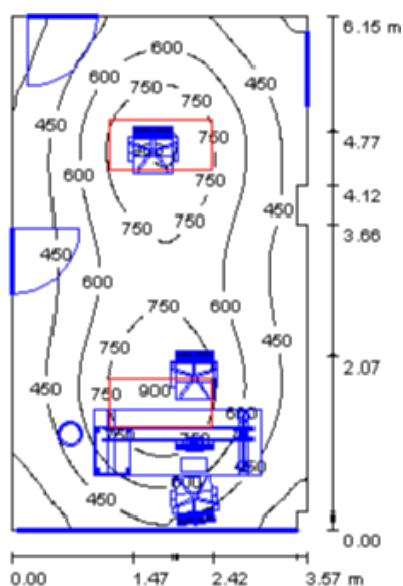
Trata-se de um gabinete onde trabalha uma pessoa com 37 anos. É apresentada uma visão tridimensional na figura 5.11 e a disposição física do posto de trabalho na figura 5.12. Na figura 5.13 é mostrado o mapa de linhas isográficas do sistema de iluminação. O sistema de iluminação artificial é constituído por 1 circuitos de iluminação no qual estão inseridas 2 luminárias.



**Figura 5. 11-**Vista 3D padrão gabinete 15



**Figura 5. 12-**Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 15

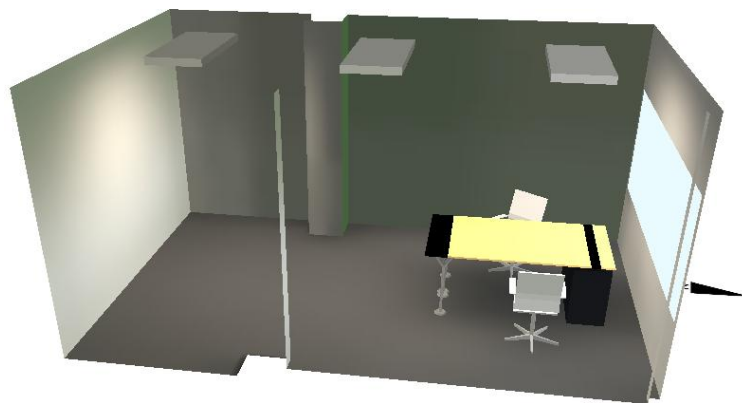


**Figura 5. 13-**Linhas isográficas de iluminação gabinete 15

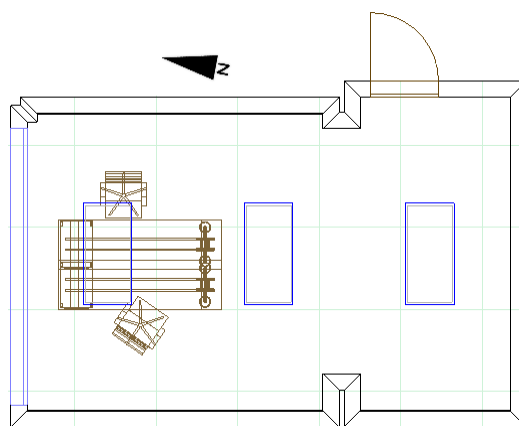
Através da análise das linhas isográficas de iluminação apresentadas na figura 5.13, pode verificar-se que os níveis de iluminação se encontram ligeiramente acima do limite recomendado na norma UNE 12464, facto que permite concluir que o sistema se encontra sobredimensionado. Por outro lado, verifica-se uma certa uniformidade dos níveis de iluminação no interior do gabinete, existindo zonas fora do plano de trabalho com iluminâncias excessivas, o que se traduz num desperdício de energia.

#### **5.1.2.4. Gabinete 18 A**

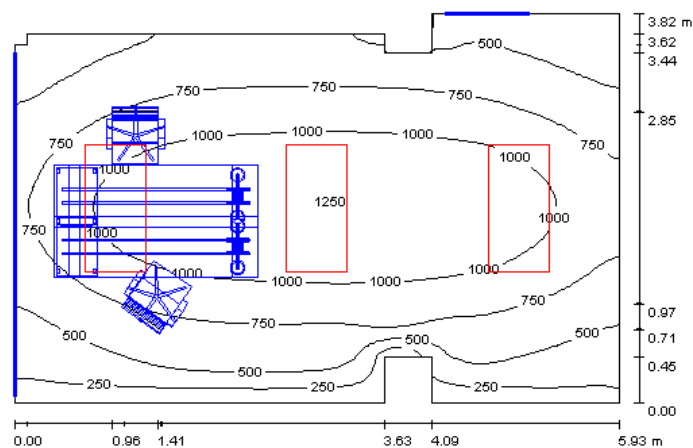
Trata-se de um gabinete onde trabalha uma pessoa. O sistema de iluminação artificial é constituído por 1 circuitos de iluminação no qual estão inseridas 3 luminárias. É apresentada uma visão tridimensional do gabinete na figura 5.14, a disposição física do posto de trabalho encontra-se apresentado na figura 5.15 e na figura 5.16 é mostrado o mapa de linhas isográficas do sistema de iluminação.



**Figura 5. 14-** Vista 3D padrão gabinete 18 A



**Figura 5. 15-** Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 18 A



**Figura 5. 16-**Linhas isogrâficas de iluminação gabinete 18 A

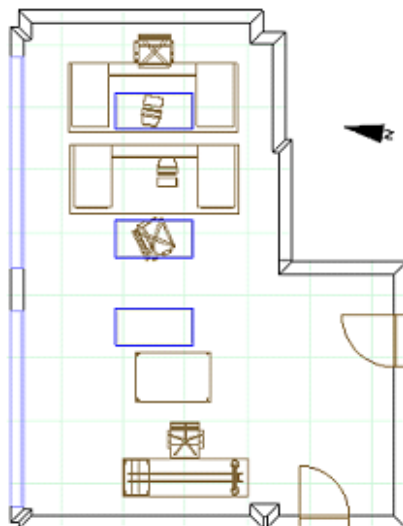
Através da análise das linhas isogrâficas de iluminação apresentadas na figura 5.16, pode verificar-se que os níveis de iluminação se encontram acima do limite recomendado na norma UNE 12464, facto que permite concluir que o sistema se encontra sobredimensionado. Por outro lado, verifica-se uma certa uniformidade dos níveis de iluminação no interior do gabinete existindo zonas em que a iluminância é de 1250 Lux e outras em que a luminância é de 250 Lux. Existe um nível de iluminância muito elevado, numa zona do gabinete onde não são necessárias exigências visuais tão grandes. Por sua vez, o plano de trabalho apresenta o dobro da iluminâncias recomendada na norma, o que se traduz num desperdício de energia.

#### 5.1.2.5. Gabinete 18

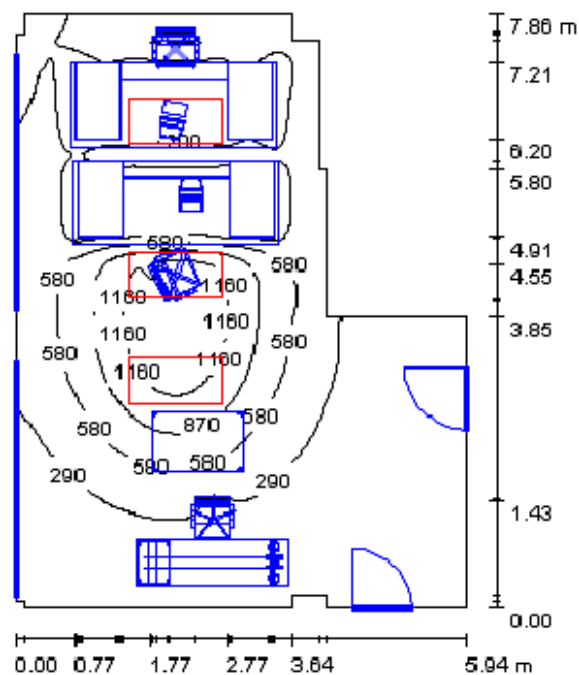
Trata-se de um gabinete onde trabalham três pessoas. O sistema de iluminação artificial é constituído por 1 circuito de iluminação no qual estão inseridas 3 luminárias. É apresentada uma visão tridimensional do gabinete na figura 5.17. A disposição física dos postos de trabalho encontram-se apresentados na figura 5.18 e na figura 5.19 é mostrado o mapa de linhas isográficas do sistema de iluminação.



**Figura 5. 17-**Vista 3D padrão gabinete 18



**Figura 5. 18-**Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 18



**Figura 5. 19-**Linhas isográficas de iluminação gabinete 18

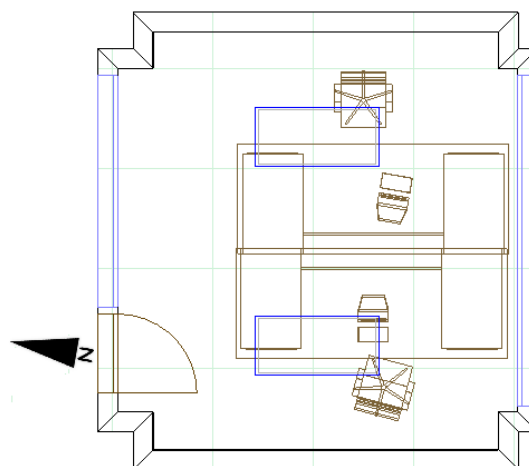
Através da análise das linhas isográficas de iluminação apresentadas na figura 5.19, pode verificar-se que existe uma uniformidade acentuada de iluminâncias, existindo zonas em que os níveis de iluminância assumem valores superiores ao dobro recomendado pela norma UNE 12464, como por exemplo 1160 Lux, e nos planos de trabalho zonas em que deveria existir bons níveis de iluminância uma deficiência de iluminâncias, chegando em algumas ocasiões a valores de 290 Lux.

#### 5.1.2.6. Gabinete 26

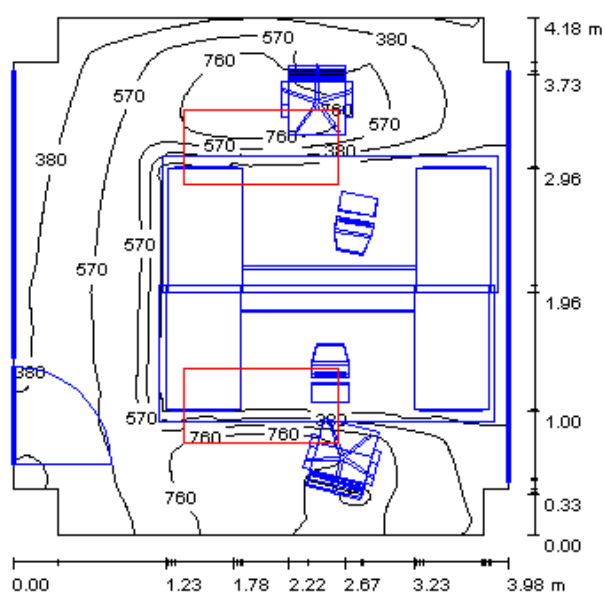
Trata-se de um gabinete onde trabalha duas pessoa com idades compreendidas entre os 40 e os 45 anos. É apresentada uma visão tridimensional na figura 5.20 e a disposição física dos postos de trabalho na figura 5.21. O sistema de iluminação artificial é constituído por 1 circuitos de iluminação no qual estão inseridas 2 luminárias.



**Figura 5. 20-**Vista 3D padrão gabinete 26



**Figura 5. 21-Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 26**



**Figura 5. 22-Linhas isográficas de iluminação gabinete 26**

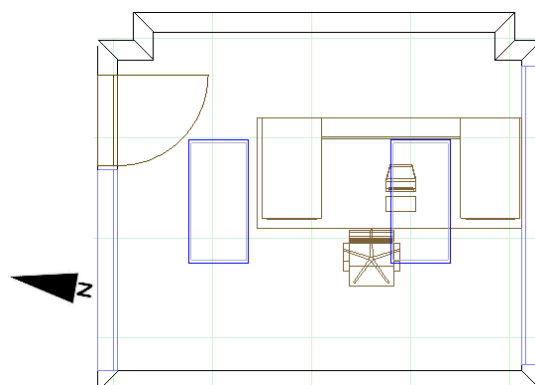
Através da análise das linhas isográficas de iluminação apresentadas na figura 5.22, pode verificar-se que os níveis de iluminação se encontram acima do limite recomendado na norma UNE 12464. Por outro lado, verifica-se uma certa uniformidade dos níveis de iluminâncias no interior do gabinete existindo zonas em que a iluminância é de 760 Lux e outras em que a luminância é de 380 Lux.

#### **5.1.2.7. Gabinete 27**

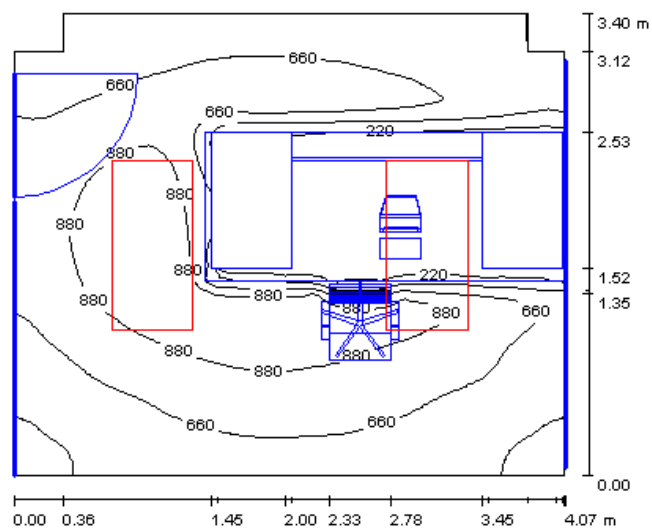
Trata-se de um gabinete onde trabalha uma pessoa. O sistema de iluminação artificial é constituído por 1 circuito de iluminação no qual estão inseridas 2 luminárias. É apresentada uma visão tridimensional do gabinete na figura 5.23. A disposição física do posto de trabalho encontram-se apresentados na figura 5.24 e na figura 5.25 é mostrado o mapa de linhas isográficas do sistema de iluminação.



**Figura 5. 23-Vista 3D padrão gabinete 27**



**Figura 5. 24-Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 27**



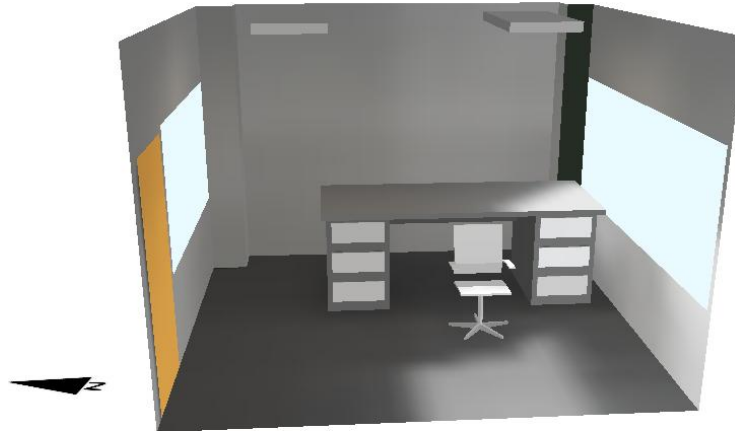
**Figura 5. 25-Linhas isográficas de iluminação**

Através da análise das linhas isográficas de iluminação apresentadas na figura 5.25, pode verificar-se que os níveis de iluminação se encontram bastante acima do limite recomendado na norma UNE 12464, facto que permite concluir que o sistema se encontra sobredimensionado, assumindo em algumas zonas do gabinete valores de 880 Lux.

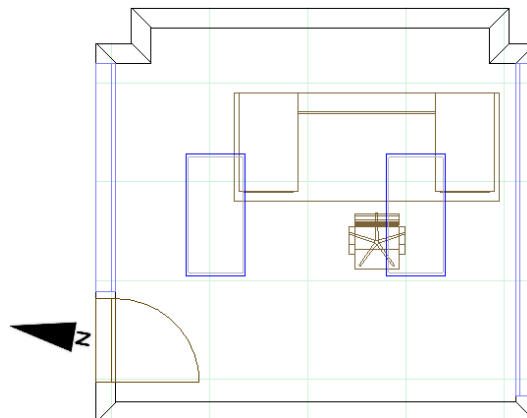


### 5.1.2.8. Gabinete 28

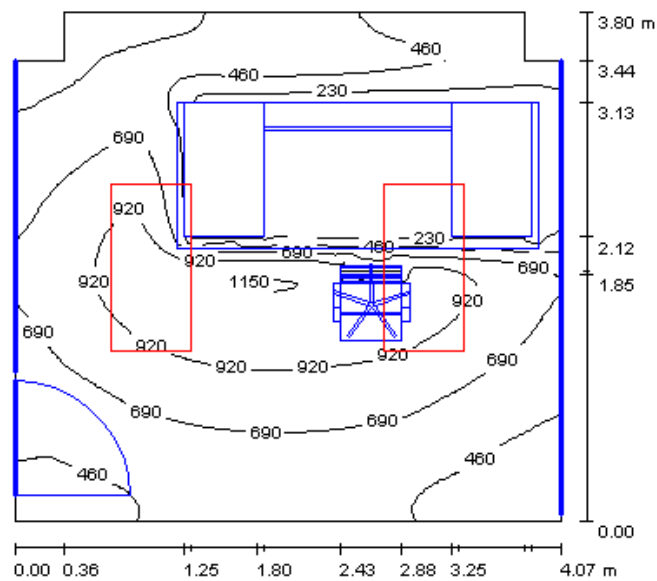
Trata-se de um gabinete onde trabalha uma pessoa com deficiência visual. É apresentada uma visão tridimensional na figura 5.26 e a disposição física do posto de trabalho na figura 5.27. Na figura 5.28 é mostrado o mapa de linhas isográficas do sistema de iluminação. O sistema de iluminação artificial é constituído por 1 circuitos independentes no qual estão inseridas 2 luminárias.



**Figura 5. 26-Vista 3D padrão gabinete 28**



**Figura 5. 27-Planta geral plano X-Y simbólico**



**Figura 5. 28-Linhas isográficas de iluminação**

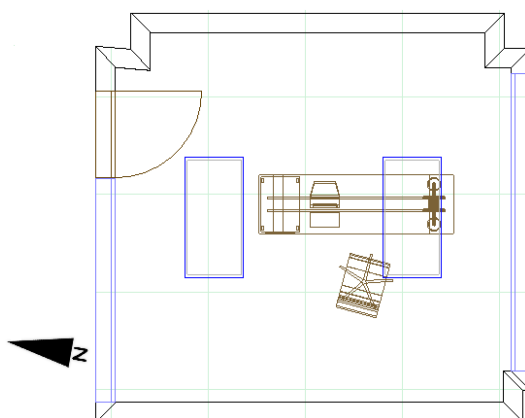
Através da análise das linhas isográficas de iluminação apresentadas na figura 5.28, pode verificar-se que os níveis de iluminação se encontram acima do limite recomendado na norma UNE 12464, facto que permite concluir que o sistema se encontra sobredimensionado. Por outro lado, verifica-se uma certa uniformidade dos níveis de iluminação no interior do gabinete existindo zonas em que a iluminância é de 1150 Lux e outras em que a luminância é de 460 Lux. Existe um nível de iluminância muito elevado sobretudo na zona envolvente às luminárias e, em zonas do gabinete onde não são exigidas grandes necessidades visuais, valores de iluminâncias extremamente elevados.

#### 5.1.2.9. Gabinete 29

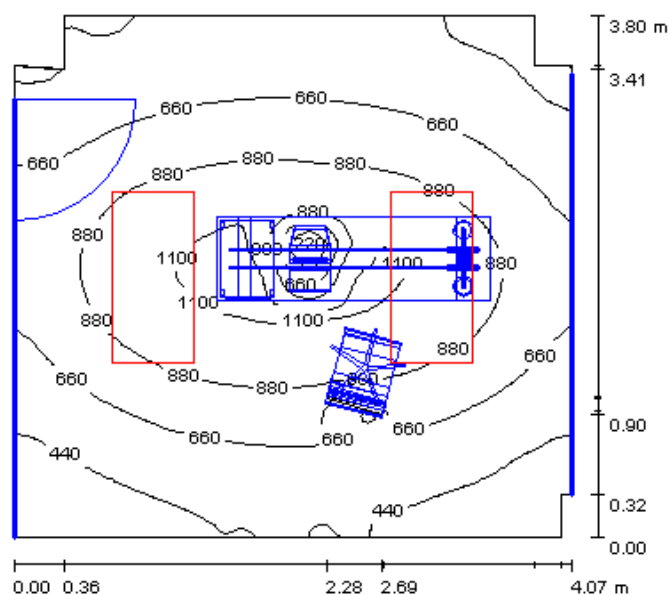
Trata-se de um gabinete onde trabalha uma pessoa com 35 anos. O sistema de iluminação artificial é constituído por 1 circuitos de iluminação no qual estão inseridas 2 luminárias. É apresentada uma visão tridimensional do gabinete na figura 5.29. A disposição física do posto de trabalho encontram-se apresentada na figura 5.30 e na figura 5.31 é mostrado o mapa de linhas isográficas do sistema de iluminação.



**Figura 5. 29-Vista 3D padrão gabinete 29**



**Figura 5. 30-Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 29**



**Figura 5. 31-Linhas isográficas de iluminação gabinete 29**

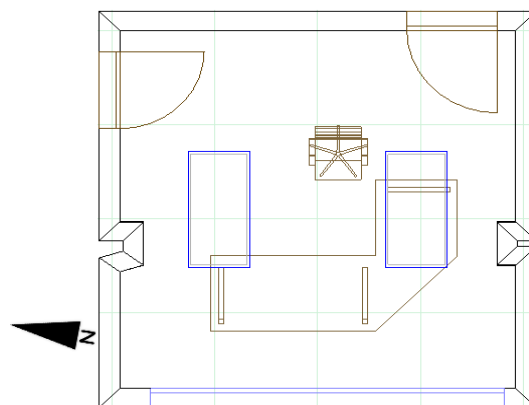
Através da análise das linhas isográficas de iluminação apresentadas na figura 5.31, pode verificar-se que os níveis de iluminação se encontram bastante acima do limite recomendado na norma UNE 12464. Este facto permite concluir que o sistema se encontra sobredimensionado, assumindo em algumas zonas do gabinete envolventes às luminárias valores de 1100 Lux.

#### 5.1.2.10. Gabinete 14

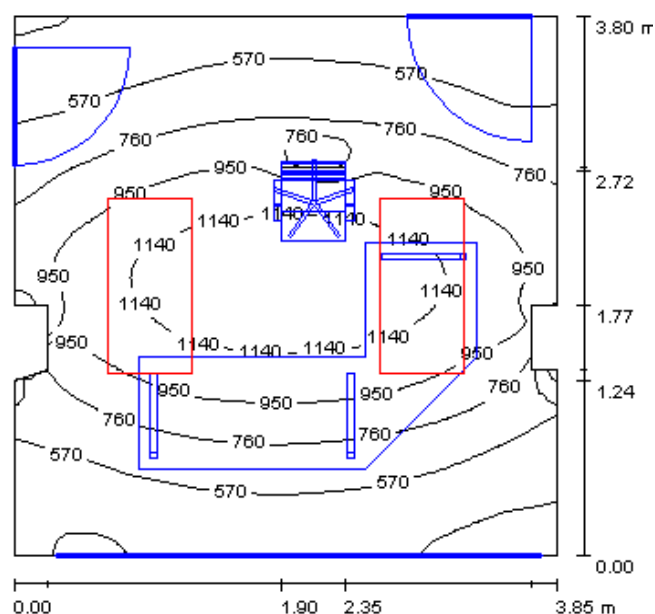
Trata-se de um gabinete onde trabalha uma pessoa com 33 anos. É apresentada uma visão tridimensional na figura 5.32 e a disposição física do posto de trabalho na figura 5.33. Na figura 5.34 é mostrado o mapa de linhas isográficas do sistema de iluminação. O sistema de iluminação artificial é constituído por 1 circuito independente no qual estão inseridas 2 luminárias.



**Figura 5. 32-Vista 3D padrão gabinete 14**



**Figura 5. 33-**Planta geral plano X-Y simbólico gabinete 14

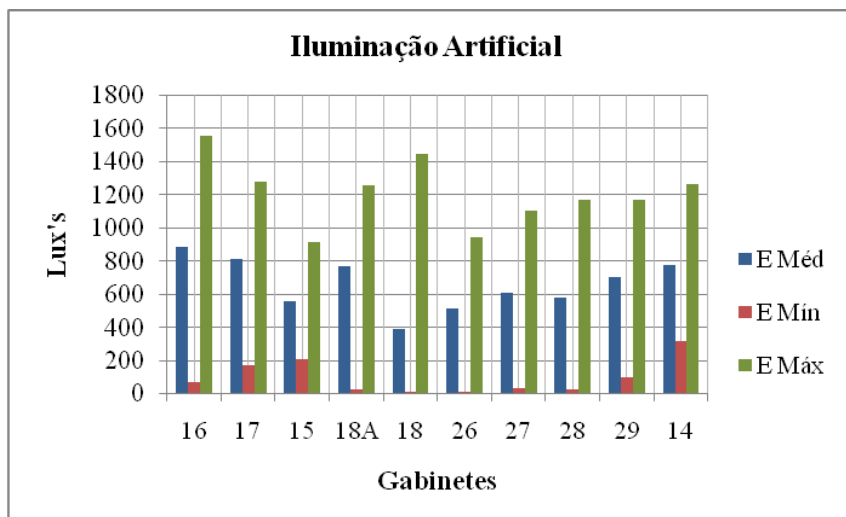


**Figura 5. 34-**Linhas isográficas de iluminação gabinete 14

Através da análise das linhas isográficas de iluminação apresentadas na figura 5.34, pode verificar-se que os níveis de iluminação se encontram bastante acima do limite recomendado na norma UNE 12464, chegando, em zonas envolventes às luminárias, a valores de 1140 Lux, e, em zonas mais afastadas, a valores de 570 Lux. Este facto permite concluir que o sistema se encontra sobredimensionado. Por outro lado, verifica-se uma certa uniformidade dos níveis de iluminação no interior do gabinete.

### 5.1.3. Análise dos níveis de iluminação

Utilizando a ferramenta computacional *Dialux* foram determinados, para cada gabinete, os níveis de luminosidade. Os resultados estão apresentados na figura 5.35.



**Figura 5. 35-**Iluminância resultante do sistema de iluminação artificial

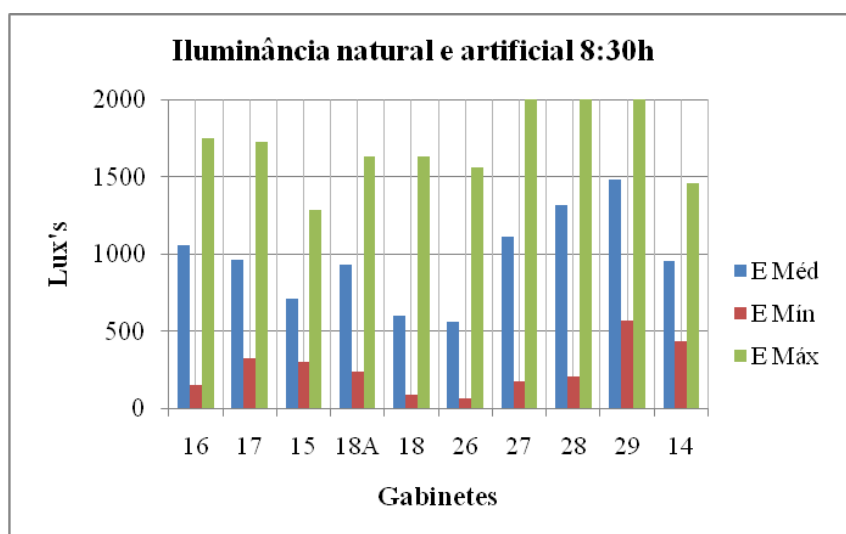
O gráfico apresentado na figura 5.35 mostra o nível de iluminação mínimo e máximo calculado para cada um dos gabinetes.

O valor médio de iluminação constitui um dado relevante na avaliação da qualidade do sistema de iluminação. No entanto, o conhecimento dos valores mínimo e máximo permite averiguar a homogeneidade do nível de iluminação.

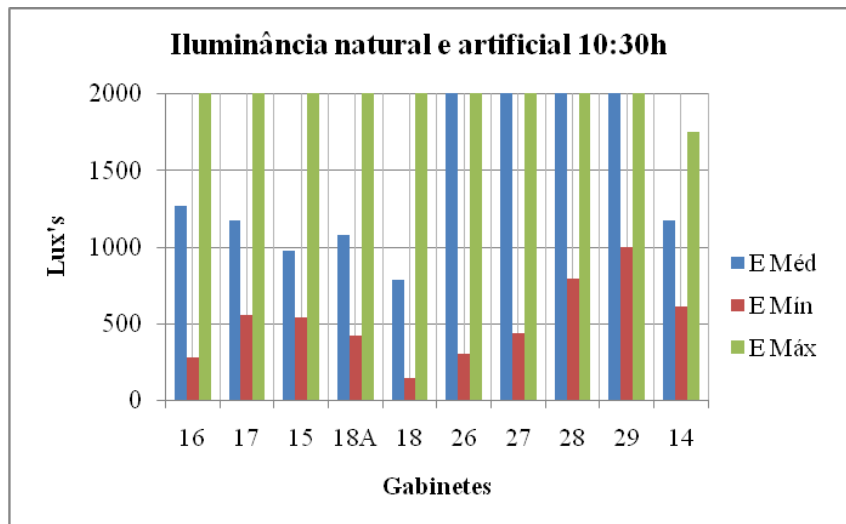
A análise do gráfico apresentado na figura 5.35 permite verificar que o sistema de iluminação artificial se encontra sobredimensionado em todos os gabinetes e que existe uma grande variação entre os limites mínimo e máximo do nível de iluminação, que se traduz na existência de reflexos.

De modo a determinar o nível de iluminação natural e artificial em todos os gabinetes, foram realizadas simulações utilizando o *Dialux* para três períodos horários. Para tal foi escolhido o dia 21 de Março de 2009, correspondente ao equinócio de Primavera no hemisfério Norte, em que os níveis de radiação solar são mais homogêneos, visto que o período do dia é igual ao período da noite. Os períodos horários correspondem ao período inicial de ocupação (08:30h), ao período mediano de ocupação (10:30h) e ao período de final de expediente (17:30h).

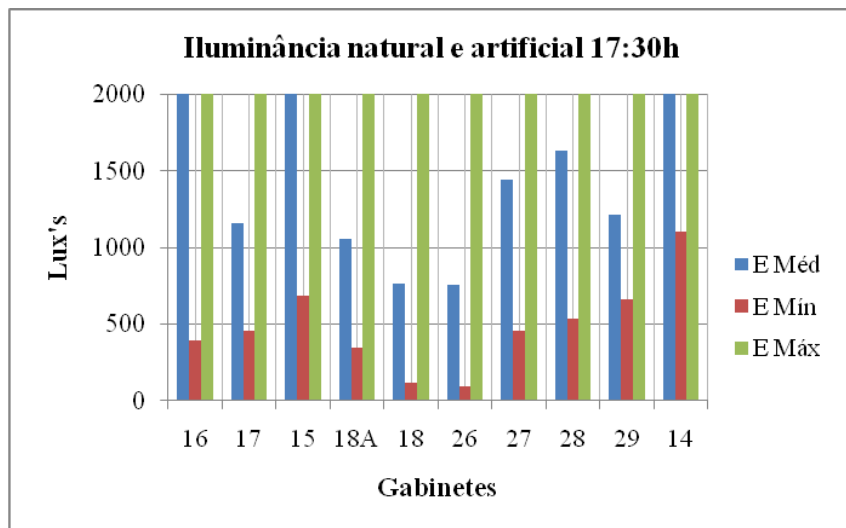
Os resultados obtidos estão apresentados nas figuras 5.36, 5.37, 5.38, 5.39, 5.40 e 5.41.



**Figura 5. 36-**Iluminância proporcionada pelo sistema de iluminação natural e artificial 8:30h



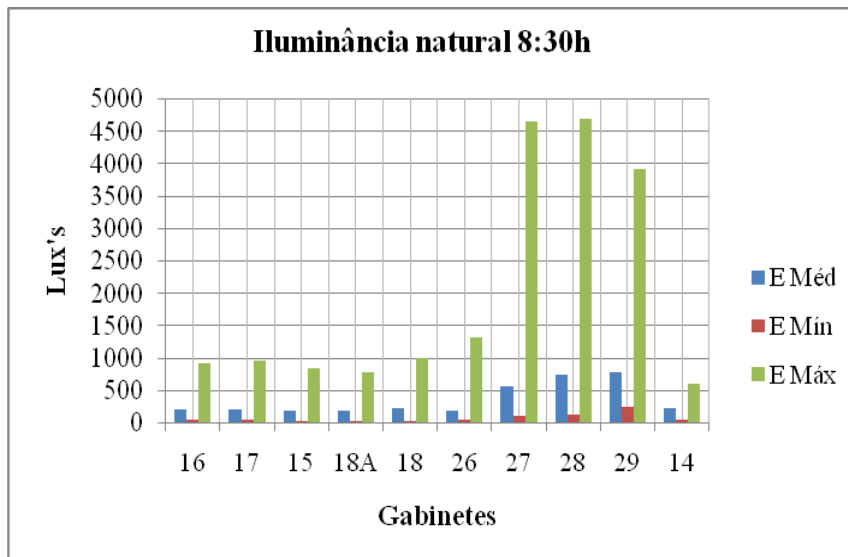
**Figura 5. 37-** Iluminância proporcionada pelo sistema de iluminação natural e artificial 10:30h



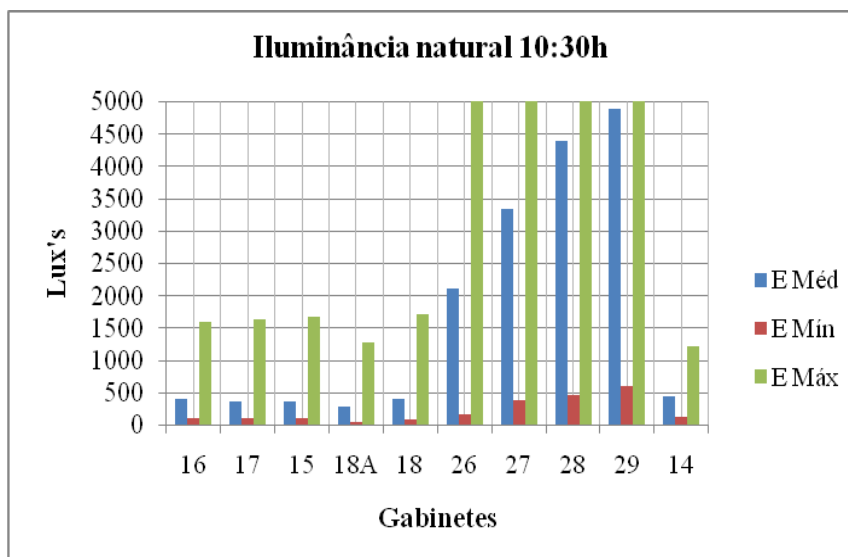
**Figura 5. 38-** Iluminância proporcionada pelo sistema de iluminação natural e artificial 17:30h

A análise dos resultados apresentados nas figuras 5.36, 5.37 e 5.38, correspondentes aos três períodos horários considerados, permite verificar níveis de luminosidade bastante superiores a 500 Lux, traduzidos num desperdício de energia.

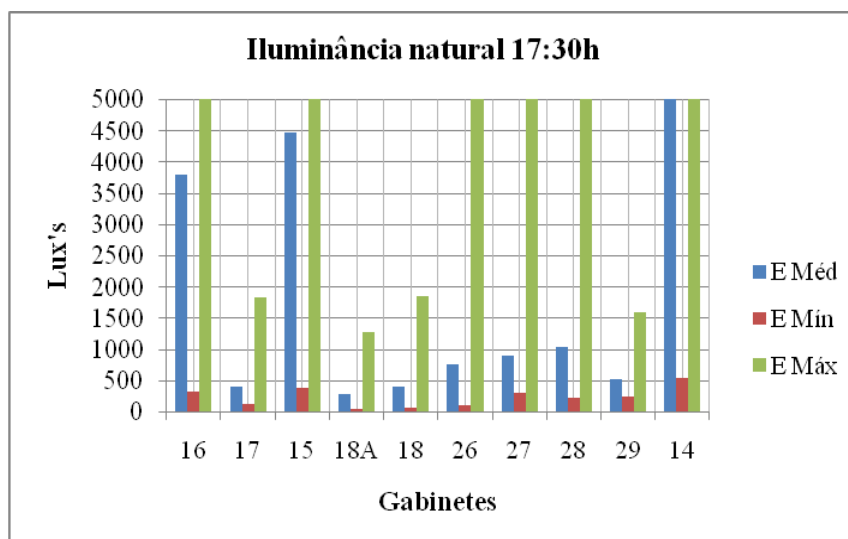
Atendendo que os valores de iluminâncias proveniente dos sistemas de iluminação natural e artificial são excessivamente elevados, como se pode verificar nas figuras 5.36, 5.37 e 5.38, determinou-se a quantidade de Iluminância proveniente do sistema de iluminação natural para três períodos diários diferentes, 08:30h, 10:30 e 17:30h, para o dia 21 de Março de 2009, com o objectivo de determinar a existência de períodos nos quais o nível de iluminância proveniente do sistema de iluminação natural supre as necessidades visuais dos ocupantes dos gabinetes. Os resultados obtidos encontram-se ilustrados nas figuras 5.39, 5.40 e 5.41.



**Figura 5. 39-**Iluminância proveniente do sistema de iluminação natural 8:30h



**Figura 5. 40-**Iluminância proveniente do sistema de iluminação natural 10:30h



**Figura 5. 41-** Iluminância proveniente do sistema de iluminação natural 17:30h

Através da análise das figuras 5.39, 5.40 e 5.41 pode concluir-se que existe um grande período durante o dia de trabalho em que o recurso à iluminação natural supre totalmente as necessidades visuais em alguns gabinetes para as actividades neles desenvolvidas. Pode concluir-se também que os gabinetes com aberturas laterais viradas a sul apresentam um nível maior de iluminância natural. Assim, a adopção de um sistema de iluminação com capacidade de regular a intensidade luminosa em função da iluminância natural será benéfica, principalmente para os gabinetes com aberturas laterais viradas a sul.

## 5.2. Apresentação de soluções energeticamente eficientes o edifício 42

Na sequência da análise do sistema de iluminação do edifício 42 do Ciemat, apresentada nas subsecções anteriores, nesta subsecção são propostas soluções com as quais se pretende melhorar a eficiência do sistema de iluminação da área de gestão de energia deste edifício. Uma das soluções consiste na substituição das lâmpadas TL-D 36W por lâmpadas mais eficientes. A outra solução consiste na adopção de um sistema de regulação da intensidade luminosa de forma automática em detrimento da iluminação natural de cada gabinete. Estas soluções são apresentadas nas subsecções seguintes.

### 5.2.1. Solução 1: Substituição das lâmpadas

Tal como referido anteriormente, esta solução consiste em substituir as lâmpadas existentes por outras mais eficientes. Para tal foram consideradas as lâmpadas da família TL-D Eco 32W e TL-D Eco reflex. Os custos associados a cada tipo de lâmpada estão apresentados na tabela 5.4. Convém referir que o custo associado à energia consumida anualmente foi calculado com base num período de utilização diária de 8,5h e que o preço do kW/h é de 0,11€.

Nome da luminaria	Nº de luminarias	Nº de lâmpadas	Custo por lâmpada (€)	Custo total (€)	Vida útil aproximada da lâmpada anos	Consumo anual (kW/h)	Custo anual de energia consumida (€)
TL-D 36W	28	112	4,80	537,6	3	10281,6	1130,98
TL-D ECO 32 W	28	112	6,84	766,08	4,7 a 7,8	9139,2	1005,31
TL-D 3reflex ECO 36W	28	56	14,97	838,32	4,7 a 7,8	5140,8	565,49

**Tabela 5. 4-**Custos associados dos 3 tipos de lâmpadas

A lâmpada TL-D ECO 32W gasta menos 4W/h que a lâmpada utilizada actualmente TL-D 36 W. A eficiência da lâmpada TL-D ECO provém da sua constituição física, uma vez que esta contém novos fósforos que permitem obter a mesma luminosidade que a lâmpada actualmente instalada com menor consumo de energia. A vida útil desta lâmpada que pode variar entre 4,7 anos para balastros convencionais e 7,8 anos para balastros electrónicos. Por outro lado, esta lâmpada apresenta um índice de restituição de cor acima dos 80%. Na figura 5.42 encontra-se representada à esquerda a lâmpada actualmente existente (TL-D 36W) e à direita a lâmpada proposta para substituição (TL-D Eco32W).

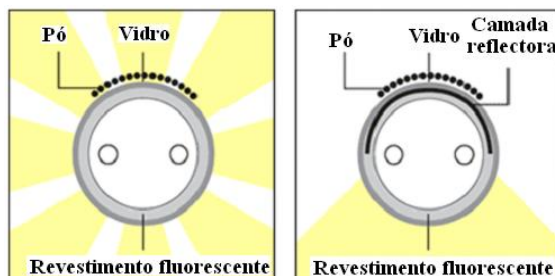




**Figura 5. 42-Lâmpada TL-D 36W vs TL-D Eco [16]**

A outra solução consiste na utilização da lâmpada TL-D ECO reflex 36W. Apesar de este tipo de lâmpadas apresentar a mesma potência, comparativamente com as lâmpadas instaladas actualmente, a lâmpada TL-D ECO reflex 36W apresenta o mesmo fluxo luminoso de 2 lâmpadas TL-D 36W, o que em termos de consumo representa metade do consumo de energia. A eficiência deste tipo de lâmpada advém da existência de uma capa reflectora no seu interior. O reflector dirige o fluxo luminoso para o plano de trabalho, o que se revela ser extremamente eficiente pois cerca de 85% do fluxo luminoso é reflectido para o local que se pretende. Trata-se da lâmpada indicada para utilizar em ambientes onde exista pó. Uma outra característica importante é o facto de esta lâmpada não necessitar de luminárias, para reflectir o seu fluxo luminoso. A vida útil desta lâmpada pode variar entre 4,7 anos para balastros convencionais e 7,8 anos para balastros electrónicos. Apresenta um índice de restituição de cor acima dos 80%.

Apesar das características referidas anteriormente, a adopção deste tipo de lâmpadas para o sistema existente não se apresenta como um hipótese totalmente aceitável em termos da qualidade da iluminação, visto que ao se estar a reduzir o número de lâmpadas no sistema de iluminação acentua-se a não uniformidade de nível de iluminação nas zonas de trabalho, o que provoca desconforto visual por parte dos ocupantes, a nível da existência de reflexos e fadiga visual. Na figura 5.43 encontra-se representada uma comparação estrutural da lâmpada existente (TL-D 36W) e da lâmpada proposta para a substituição TL-D Eco reflex.



**Figura 5. 43-Lâmpada fluorescente TL-D 36W vs TL-D Eco reflex [39]**

A figura 5.44 mostra o aspecto físico da lâmpada TL-D Eco reflex



**Figura 5. 44-Lâmpada TL-D ECO reflex 36 W [39]**

## **5.2.2. Solução 2: Sistema de regulação de intensidade**

Após se verificar que existe em todos os gabinetes um sobredimensionamento do sistema de iluminação artificial e averiguar o contributo do sistema de iluminação natural na subsecção 5.1.3, simulou-se novamente na ferramenta computacional *Dialux*, para cada gabinete, a regulação da intensidade do sistema de iluminação artificial para a qual em conjunto com o sistema de iluminação natural proporcionam um nível adequado de iluminação recomendado na norma UNE 12464.

As simulações foram realizadas tendo em consideração quatro datas anuais, 21 de Março, 22 de Junho, 21 de Setembro e 22 de Dezembro de 2009, correspondentes aos dois solstícios e aos dois equinócios existentes anualmente de forma a obter-se uma maior aproximação à realidade. Para cada uma das datas mencionadas anteriormente foram escolhidos quatro períodos inseridos no horário de ocupação laboral, 08:30h, 10:30h, 12:30h e 17:30h. A simulação foi realizada considerando a divisão individual dos circuitos eléctricos por gabinete e a participação do sistema de iluminação artificial foi determinada pela regulação da potência existente instalada, sendo esta regulação baseada na observação dos outputs de saída do *Dialux*, nomeadamente na observação de linhas isográficas de iluminâncias, gráficos de gamas de cinzentos e gráficos de iluminâncias. As figuras 5.45, 5.46, 5.47, 5.48, 5.49 e 5.50 e as tabelas 5.5, 5.6 e 5.7 mostram os resultados do dia 21 de Março de 2009 às 08:30h no gabinete 16.

Inicialmente simulou-se a situação em que o contributo do sistema de iluminação artificial é nulo, de modo a verificar se os valores de iluminância provenientes do sistema de iluminação natural suprem as necessidades visuais dos ocupantes. Os resultados encontram-se nas figuras 5.45, 5.46.

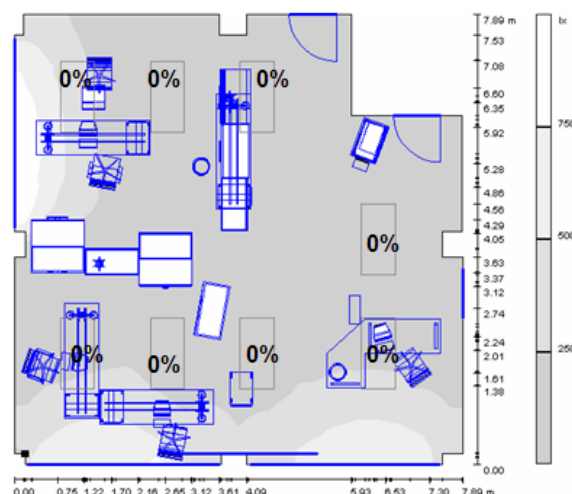


Figura 5. 45-Mapa de gama de cinzentos contribuição luz natural

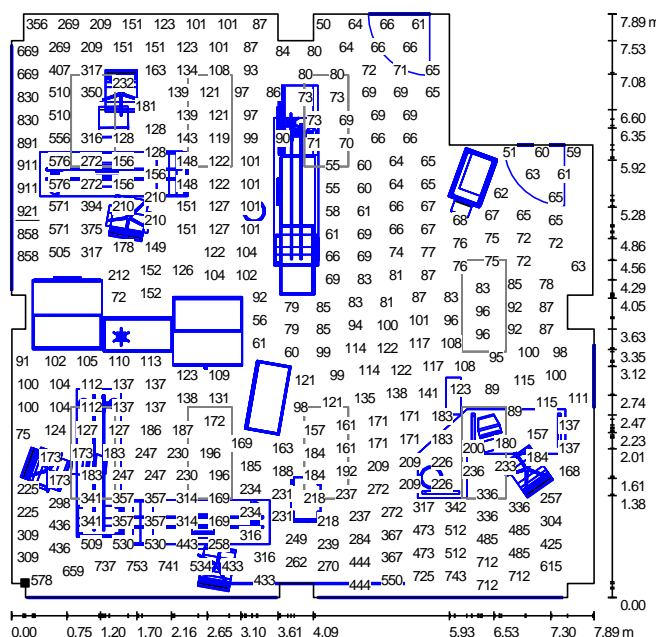


Figura 5. 46-Mapa de valores de iluminâncias

Através da análise da figura 5.45 e 5.56 verifica-se que o sistema de iluminação natural não supre as necessidades visuais impostas pela norma UNE 12464, visto que o nível de iluminância nos planos de trabalho não atinge os 500 Lux.

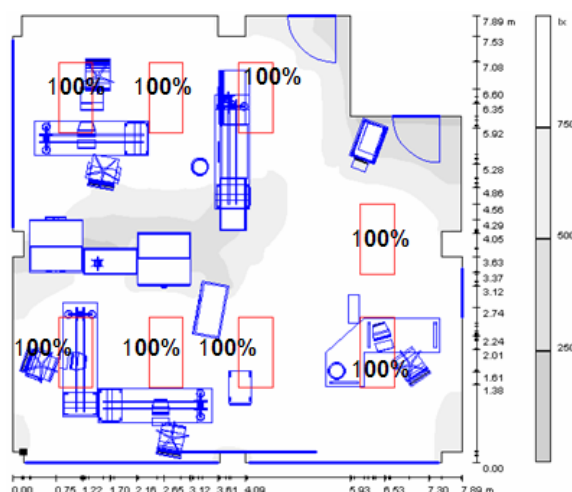
Na tabela 5.5 são apresentados alguns dados de saída do software como valores de iluminância média, mínima e máxima.

$E_m$ [lux]	215
$E_{\min.}$ [lux]	41
$E_{\max.}$ [lux]	921
$E_{\min.} / E_m$	0,190
$E_{\min.} / E_{\max.}$	0,044

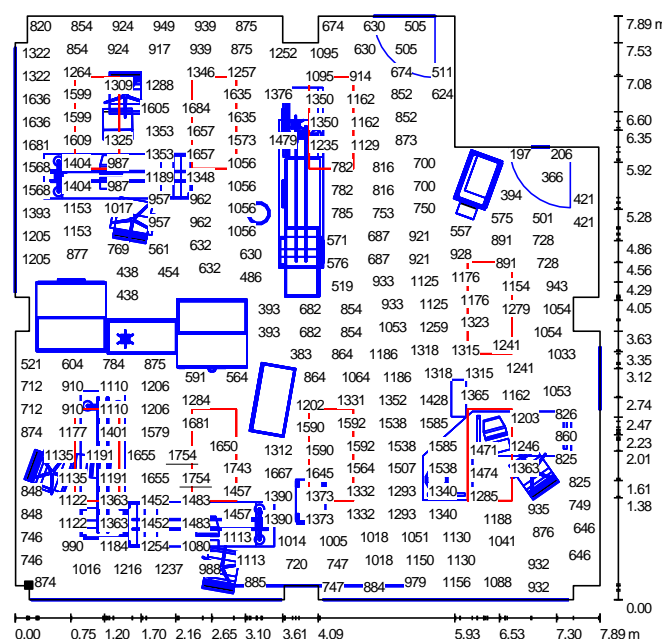
**Tabela 5. 5-Iluminância luz natural**

Através da análise da tabela 5.5 verifica-se que no gabinete 16, o nível médio de iluminâncias é de 215 Lux, muito inferior ao recomendado na norma UNE 12464.

De seguida e alterando os valores do reóstato no *Dialux* do sistema de iluminação artificial, simulou-se o gabinete para a situação em que o sistema de iluminação artificial se encontra regulado à potência máxima de funcionamento, agregado ao contributo do sistema de iluminação natural. Os resultados obtidos encontram-se ilustrados nas figuras 5.47, 5.48 e na tabela 5.6.



**Figura 5. 47-Mapa de gama de cinzentos contribuição de luz natural e artificial**



**Figura 5. 48-**Mapa de valores de iluminâncias

Através da análise da figura 5.45 e 5.56 verifica-se que o sistema de iluminação natural não supre as necessidades visuais impostas pela norma UNE 12464, visto que o nível de iluminância nos planos de trabalho não atinge os 500 Lux.

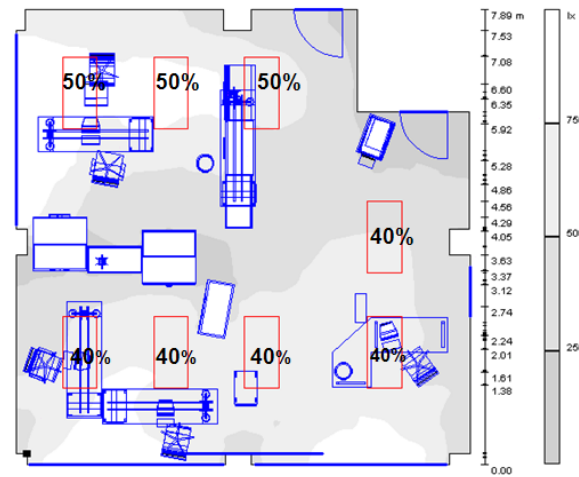
Na tabela 5.6 são apresentados alguns dados de saída do software como valores de iluminância média, mínima e máxima.

$E_m$ [lux]	1055
$E_{mín.}$ [lux]	154
$E_{máx.}$ [lux]	1754
$E_{mín.} / E_m$	0,146
$E_{mín.} / E_{máx.}$	0,088

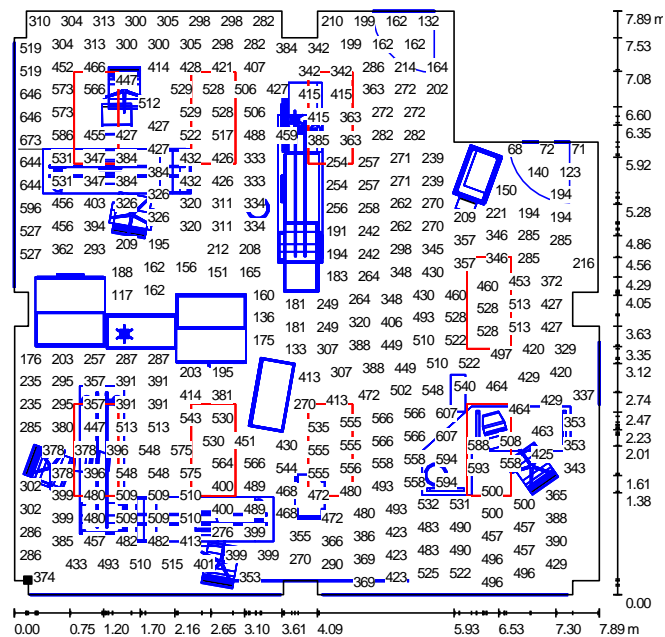
**Tabela 5. 6-**Iluminâncias luz natural e artificial

Através da análise da tabela 5.6 verifica-se que no gabinete 16 o nível médio de iluminâncias é de 1055 Lux, muito superior ao recomendado na norma UNE 12464 que é 500Lux.

Após analisar os resultados obtidos anteriormente, efectuaram-se várias simulações, regulando os níveis de intensidade luminosa das luminárias de modo a obter os valores adequados de regulação que proporcionam valores de iluminâncias recomendados na norma UNE 12464, a regulação do reóstato para o sistema de iluminação artificial do gabinete 16 que permite obter os níveis de iluminação recomendados encontram-se nas figura 5.49 5.50.



**Figura 5. 49-**Mapa de gamas de cinzento contribuição de luz natural com luz artificial regulada



**Figura 5. 50-**Mapa de valores de iluminâncias

Através da análise das figuras 5.49 e 5.50 verifica-se que existe uma regulação adequada do sistema de iluminação artificial/natural de modo que os valores de iluminâncias dos planos de trabalho correspondem aos valores recomendados na norma UNE 12464.

Na tabela 5.7 são apresentados alguns dados de saída do software como valores de iluminância média, mínima e máxima.

$E_m$ [lux]	523
$E_{mín.}$ [lux]	117
$E_{máx.}$ [lux]	1290
$E_{mín.} / E_m$	0,223
$E_{mín.} / E_{máx.}$	0,090

**Tabela 5. 7-**Iluminâncias luz natural com luz artificial regulada

Através da análise da tabela 5.6 verifica-se que no gabinete 16, o nível médio de iluminâncias é de 523Lux, muito próximo do valor ao recomendado na norma UNE 12464 que é 500Lux.

Os resultados dos valores de regulação da potência do sistema de iluminação artificial para o dia 21-03-2009 encontram-se resumidos na tabela 5.8.

Gabinetes	Horas			
	8:30	10:30	12:30	17:00
	% De regulação			
16	50 40 40	40 40 40	15 15 15	0 0 0
17	35 25	25 25	10 10	10 10
15	30 20	10 10	0	0
18 A	40 15	25 15	10 15	20 15
18	100 100	85 85	60 60	75 75
26	100	0	0	0
27	10	0	0	0
28	0	0	0	0
29	20	0	0	25
14	35	10	0	0

**Tabela 5. 8-**Regulação do sistema de iluminação dia 21-03-2009

A fim de determinar as poupanças energéticas resultantes da regulação simulou-se o consumo de energia e calculou-se o custo económico associado ao sistema de iluminação artificial para todos os gabinetes em estudo que corresponde ao consumo de energia das luminárias à potência máxima. Foi considerado um período de consumo de 8,5 horas por dia e que o custo do kW/h é de 0.11€. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na tabela 5.9.

Gabinete	W/h	KW/dia	€/Dia
16	1360	11,56	1,3002688
17	510	4,335	0,4876008
15	340	2,89	0,3250672
18 A	510	4,335	0,4876008
18	510	4,335	0,4876008
26	340	2,89	0,3250672
27	340	2,89	0,3250672
28	340	2,89	0,3250672
29	340	2,89	0,3250672
14	340	2,89	0,3250672
Total	4930	41,905	4,7134744

**Tabela 5. 9-** Consumo diário dos gabinetes em estudo

O consumo de energia assim como o custo económico associado à regulação do sistema de iluminação artificial foi calculado sendo os resultados apresentados na tabela 5.10.

Gabinete	W/h	KW/dia	€/Dia
16	334,424	2,842604	0,3197361
17	95,625	0,8128125	0,09142515
15	29,750	0,252875	0,02844338
18 A	98,838	0,840123	0,09449704
18	408	3,468	0,39008064
26	85	0,7225	0,0812668
27	8,500	0,07225	0,00812668
28	0	0	0
29	38,250	0,325125	0,03657006
14	38,250	0,325125	0,03657006
Total	1136,637	9,6614145	1,0867159

**Tabela 5. 10-** Consumo energético com regulação dia 21-03-2009

Através da análise da tabela 5.10 pode concluir-se que existem reduções de energia e poupanças económicas significativas. Para o caso do gabinete 28, o sistema de iluminação natural supre na totalidade as necessidades visuais dos ocupantes, sendo o consumo de energia nulo para a totalidade do horário de trabalho.

A tabela 5.11 resume as poupanças energéticas da adopção do sistema de regulação da intensidade luminosa em função da iluminação natural.

Gabinete	W/h	KW/Dia	€/ Dia
16	1025,576	8,717396	0,98053270
17	414,375	3,522187	0,39617565
15	310,250	2,637125	0,29662382
18 A	411,162	3,494877	0,39310376
18	102,000	0,867000	0,09752016
26	255,000	2,167500	0,24380040
27	331,500	2,817750	0,31694052
28	340,000	2,890000	0,32506720
29	301,750	2,564875	0,28849714
14	301,750	2,564875	0,28849714
Total	3793,363	32,243586	3,62675850

**Tabela 5. 11-**Poupanças energéticas dia 21-03-2009

Posteriormente foi efectuado o mesmo procedimento para os restantes dias tidos em consideração. Os resultados da regulação do sistema de iluminação artificial para o dia 22-06-2009 encontram-se na tabela 5.12.

Gabinetes	Horas			
	8:30	10:30	12:30	17:00
	% De regulação			
16	10 15 25	5 10 15	0 0 5	0
17	20 0	10 0	0	0
15	20	5	0	0
18 A	25 0	15 0	0	0
18	65	45 45	40 40	35 35
26	85	10	0	40
27	45	0	0	10
28	25	0	0	0
29	35	0	0	0
14	25	10	0	0

**Tabela 5. 12-** Regulação do sistema de iluminação dia 22-06-2009

Através da análise da tabela 5.12 verifica-se que existem períodos, nomeadamente a partir das 12:30h que o sistema de iluminação artificial se encontra desligado.

O consumo energético associado ao dia 22-06-2009 encontra-se apresentado na tabela 5.13 e as respectivas economias de energia encontram-se apresentados na tabela 5.14.

<b>Gabinete</b>	<b>W/h</b>	<b>KW/dia</b>	<b>€/Dia</b>
16	96,3333333	0,81883333	0,09210237
17	19,125	0,1625625	0,01828503
15	10,625	0,0903125	0,01015835
18 A	25,5	0,21675	0,02438004
18	235,875	2,0049375	0,22551537
26	114,75	0,975375	0,10971018
27	46,75	0,397375	0,04469674
28	21,25	0,180625	0,0203167
29	29,75	0,252875	0,02844338
14	29,75	0,252875	0,02844338
Total	629,708333	5,35252083	0,60205154

**Tabela 5. 13-**Consumo energético dia 22-06-2009

<b>Gabinete</b>	<b>W/h</b>	<b>KW/Dia</b>	<b>€/ Dia</b>
16	1263,66667	10,7411667	1,20816643
17	490,875	4,1724375	0,46931577
15	329,375	2,7996875	0,31490885
18 A	484,5	4,11825	0,46322076
18	274,125	2,3300625	0,26208543
26	225,25	1,914625	0,21535702
27	293,25	2,492625	0,28037046
28	318,75	2,709375	0,3047505
29	310,25	2,637125	0,29662382
14	310,25	2,637125	0,29662382
Total	4300,29167	36,5524792	4,11142286

**Tabela 5. 14-**Poupanças energéticas dia 22-06-09

Através da análise da tabela 5.14 verifica-se um total de poupança económica diária de 4,11€.Efectuando o mesmo procedimento para o dia 21-09-2009, obteve-se uma regulação do sistema de iluminação artificial cujos resultados se apresentam na tabela 5.15. Na tabela 5.16 é apresentado o consumo energético e respectivo custo económico associado ao sistema de regulação.



Gabinetes	Horas			
	8:30	10:30	12:30	17:00
	%De regulação			
16	30 30 40	10 15 30	0	0
17	45 45	25 25	5	0
15	40 40	15 15	0	0
18 A	15 15	10 10	0	0
18	100 100	65 65	60 60	85 85
26	80	30	0	0
27	65	0	0	0
28	55	0	0	0
29	45	0	0	0
14	55	25	0	0

**Tabela 5. 15-**Regulação do sistema de iluminação dia 21-09-2009

Gabinete	W/h	KW/dia	€/Dia
16	175,666667	1,49316667	0,16795139
17	95,625	0,8128125	0,09142515
15	46,75	0,397375	0,04469674
18 A	31,875	0,2709375	0,03047505
18	395,25	3,359625	0,37789062
26	93,5	0,79475	0,08939348
27	55,25	0,469625	0,05282342
28	46,75	0,397375	0,04469674
29	38,25	0,325125	0,03657006
14	68	0,578	0,06501344
Total	1046,91667	8,89879167	1,00093609

**Tabela 5. 16-**Consumo energético dia 21-09-2009

As reduções de potência consumida e consequentemente os ganhos económicos estão apresentados na tabela 5.17.

Gabinete	W/h	KW/Dia	€/ Dia
16	1184,33333	10,0668333	1,13231741
17	414,375	3,5221875	0,39617565
15	293,25	2,492625	0,28037046
18 A	478,125	4,0640625	0,45712575
18	114,75	0,975375	0,10971018
26	246,5	2,09525	0,23567372
27	284,75	2,420375	0,27224378
28	293,25	2,492625	0,28037046
29	301,75	2,564875	0,28849714
14	272	2,312	0,26005376
Total	3883,08333	33,0062083	3,71253831

**Tabela 5. 17-** Poupança energética dia 22-06-2009

Efectuando o mesmo procedimento para o dia 22-09-2009, obteve-se uma regulação do sistema de iluminação artificial cujos resultados se apresentam na tabela 5.18. Na tabela 5.19 é apresentado o consumo energético e respectivo custo económico associado ao sistema de regulação.

Gabinetes	Horas			
	8:30	10:30	12:30	17:00
	% De Regulação			
16	70 65 55	60 55 45	45 45 45	55 45 40
17	55 55	40 40	25 25	50 50
15	70 65	50 50	40 40	45 45
18 A	50 50	30 30	20 20	45 45
18	100 100	100 100	80 80	100 100
26	100	95	75	100
27	95	85	55	85
28	90	70	50	85
29	60	40	35	45
14	70	40	25	45

**Tabela 5. 18-**Regulação do sistema de iluminação 22-09-2009

Gabinete	W/h	KW/dia	€/Dia
16	719,666667	6,11716667	0,68805891
17	216,75	1,842375	0,20723034
15	172,125	1,4630625	0,16456527
18 A	184,875	1,5714375	0,17675529
18	408	3,468	0,39008064
26	314,5	2,67325	0,30068716
27	272	2,312	0,26005376
28	250,75	2,131375	0,23973706
29	153	1,3005	0,14628024
14	153	1,3005	0,14628024
Total	2844,66667	24,1796667	2,71972891

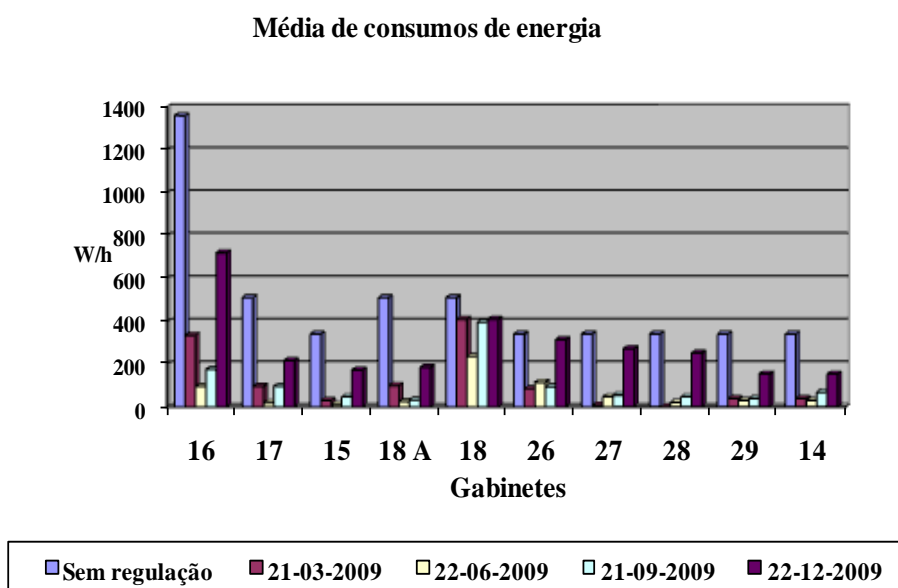
**Tabela 5. 19-** Consumo energético dia 22-12-2009

Gabinete	W/h	KW/Dia	€/ Dia
16	640,333333	5,44283333	0,61220989
17	293,25	2,492625	0,28037046
15	167,875	1,4269375	0,16050193
18 A	325,125	2,7635625	0,31084551
18	102	0,867	0,09752016
26	25,5	0,21675	0,02438004
27	68	0,578	0,06501344
28	89,25	0,758625	0,08533014
29	187	1,5895	0,17878696
14	187	1,5895	0,17878696
Total	2085,33333	17,7253333	1,99374549

**Tabela 5. 20-**Poupança energética dia 22-12-2009

Através da análise da tabela 5.20 verifica-se um ganho económico de 1.93 € adoptando um sistema de regulação de iluminação em função da luz natural. É de referir que se trata do mês e do dia do ano em que a quantidade de iluminâncias proveniente do sistema de iluminação natural é menor.

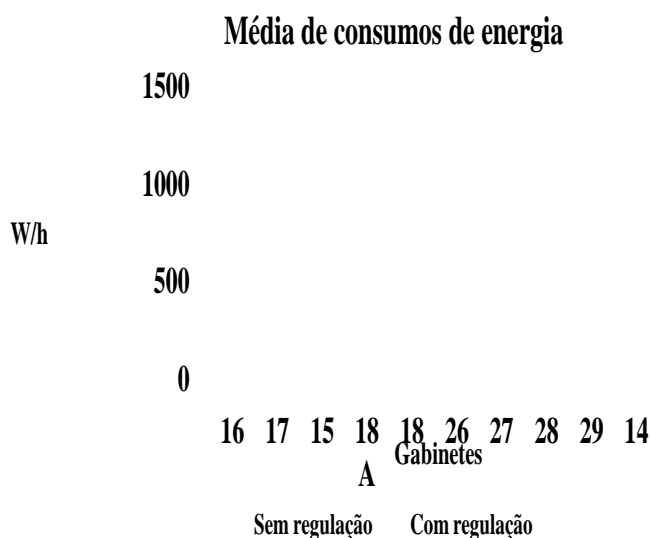
De modo a interpretar os resultados obtidos para os quatro dias em análise foi elaborado um gráfico de consumos médios de energia o qual é ilustrado na figura 5.51.



**Figura 5. 51-**Média de consumos de energia esperados com o sistema de regulação para os equinócios e solstícios

Da análise do gráfico ilustrado na figura 5.51 verifica-se que a adopção do sistema de regulação da intensidade luminosa em função da iluminação natural permite obter reduções significativas do consumo de energia. Os dias 22-06-2009 e o dia 21-03-2009 são os que apresentam menores médias de consumo.

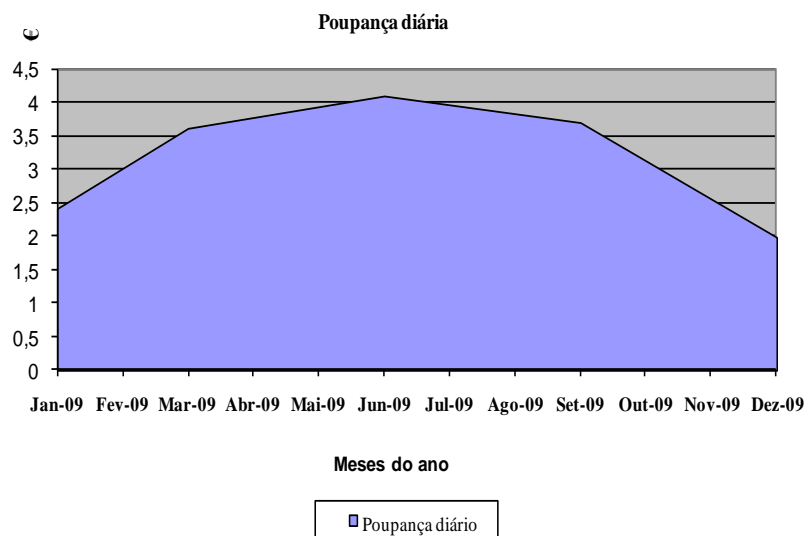
Foi elaborado o gráfico ilustrado na figura 5.52 que mostra a média de consumo actual de energia e o consumo de energia consumido adoptando o sistema de regulação em função da luz natural em cada gabinete.



**Figura 5. 52-**Consumos médios de energia diários esperados com o sistema de regulação

Através da análise da figura 5.52 verifica-se que existe uma redução significativa no consumo de energia principalmente nos gabinetes cujas aberturas laterais se encontram voltadas a sul. Com a adopção de um sistema

de regulação de intensidade em função da luz natural atingem-se poupanças diárias na ordem dos 3,61€ e na ordem dos 1083 € num horizonte anual. O gráfico ilustrado na figura 5.44 apresenta as poupanças económicas resultantes da adopção deste sistema mensalmente.

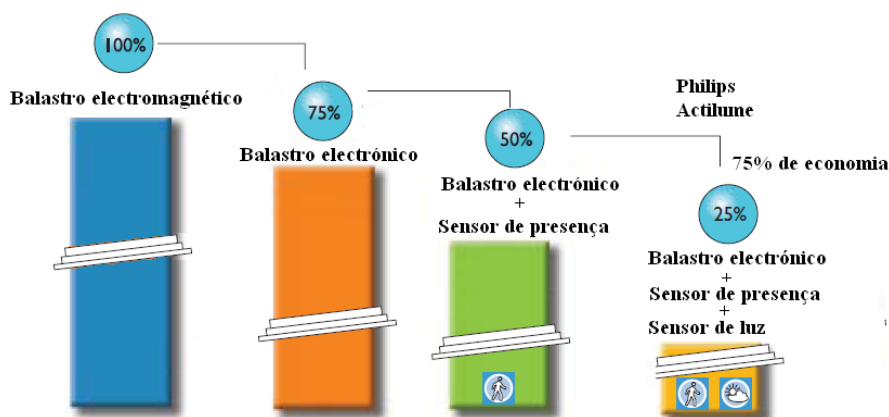


**Figura 5. 53-Poupança de energia prevista diária em €**

Analisando o gráfico ilustrado na figura 5.53 conclui-se que se obtêm maiores poupanças económicas nos meses do ano em que a disponibilidade da radiação solar é maior.

### 5.2.3. Solução tecnológica para o sistema de regulação

De modo a encontrar a solução tecnológica adequada para o sistema de iluminação com regulação automática de intensidade luminosa foi realizado um estudo de mercado. Tendo em conta a caracterização ao edifício, foi escolhido o sistema *Actilume* da *Philips*. Este sistema tem a capacidade de auto-ajustar o nível de iluminação artificial às condições de entrada de luz natural no edifício, de forma a proporcionar em todos os instantes e para todos os locais de trabalho um nível de iluminação mínimo recomendado pela CIE. Possui também a capacidade de desligar, de uma forma automática, o sistema de iluminação na ausência de movimento, o que em termos práticos se traduz em 75% economia de energia como se pode verificar na figura 5.54 [39].



**Figura 5. 54-Sistema ActiLume da Philips [39]**

O sistema ActiLume é constituído por um sensor e uma unidade de controlo, instalados na luminária, sendo que o sensor combina três funções: sensor de luz, sensor de movimento e sensor infra-vermelho para uso opcional com controlo remoto. O nível de iluminação pode também ser controlado manualmente através de um interruptor de parede e também por controlo remoto. Este novo sistema possui balastros electrónicos do tipo Touch&Dim DALI. Além disso, o sensor ActiLume está pré-programado para manter um fluxo luminoso 30% maior nas luminárias mais afastadas da janela, mantendo assim uma iluminação uniforme no ambiente de trabalho.

- **Componentes do sistema**

O sistema *ActiLume* da Philips é composto por um controlador *ActiLume* (LCC 1653/00) e um sensor *ActiLume* (LRI 1653/00). Para tornar mais simples a configuração do sistema, o Kit ActiLume (LRC 1653/00) contempla os dois itens acima. Sendo que cada *Kit ActiLume* pode comandar até 11 balastros.

- **Sensor ActiLume LRI 1653/00**

O sensor *ActiLume* possui cinco características específicas: sensor de movimento, sensor de luz, receptor infra-vermelho, botão de serviço e um cabo para conexão ao controlador. O sensor *ActiLume* é indicado para aplicações internas sendo este normalmente embutido na luminária para uma altura de montagem entre 2.5 e 3.5 metros.

Na tabela 5.21 encontram-se referidos os componentes do sistema ActiLume, os seus preços unitários de mercado e preços totais para a implementação do projecto.

Tipo	Descrição	Unidades requeridas	Preço por unidade (€)	Preço (€)
Sensor LRI 1653/00	Sensor ActiLume	13	66,25	861,25
Controlador LCC 1653/00	Controlador ActiLume	13	73,85	960,05
LRM 8118/00	Sensor de ampliação para ActiLume	13	101,50	1319,50
IRT	Comando de selecção de modos simples	13	139,26	1810,38
ACTL	ActiLume (luminaria com balastro electrónico HF-D	26	125,00	3250
ECO pilhas		13	0,55	7,15
Outros		Condutores e interruptores de parede		292
Total				8500

**Tabela 5. 21-** Custo dos componentes do sistema ActiLume

O custo do sistema *ActiLume* da Philips é de 8500€. O custo de mão-de-obra para a instalação do sistema não foi incluído porque o Ciemat integra nos seus quadros pessoal técnico qualificado para proceder à instalação do sistema. Assim sendo e considerando que o sistema se desliga automaticamente na ausência de movimento, prevê-se um retorno do investimento a partir dos 7,8 anos, tendo sido tomado como base para este cálculo o gasto actual de energia em todos os gabinetes (o valor temporal do dinheiro não foi tomado em consideração para o período de retorno de investimento).

Na figura 5.55 está representada a aplicação do sistema *ActiLume* da Philips. A imagem realista do sistema foi desenvolvida em *ArchiCAD*. O projecto para a instalação do sistema, elaborado em *AutoCad*, encontra-se no anexo V.



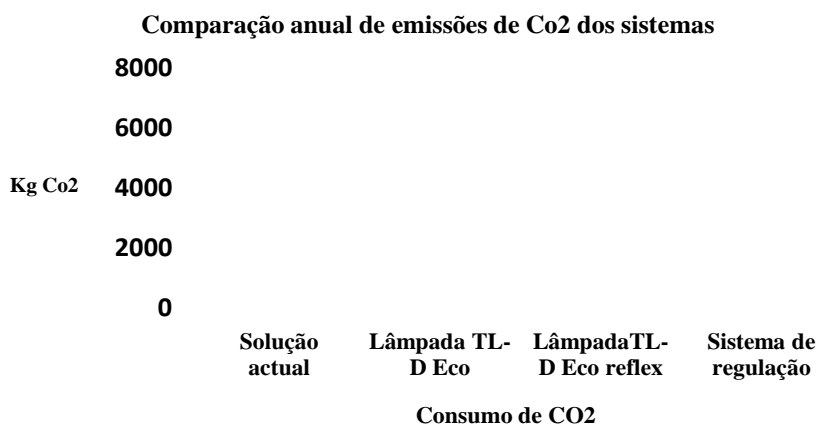
**Figura 5. 55-**Exemplo da aplicação do sistema ActiLume da Philips

#### 5.2.4. Comparação das soluções apresentadas

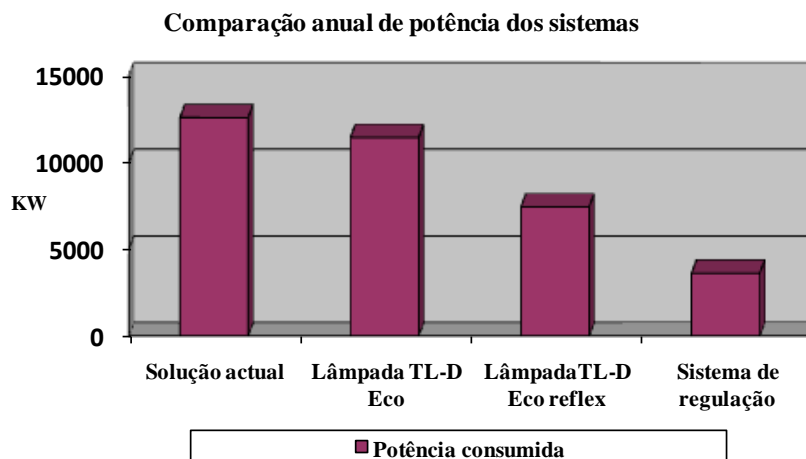
De acordo com as soluções apresentadas na secção anterior, foi calculada a potência consumida assim como a quantidade de kg de Co<sub>2</sub> libertada anualmente para cada solução. Os cálculos obtidos encontram-se apresentados na tabela 5.22. e ilustrados nos gráficos das figuras 5.57. e 5.58.

Soluções	Potência consumida	Kg Co <sub>2</sub> consumidos
Sistema actual	12571,5	7542,9
Substituição por lâmpadas TL-D Eco	11429,1	6857,46
Substituição por lâmpadas TL-D Eco reflex	7430,7	4458,42
Sistema de regulação	3606,9	2207,42

**Tabela 5. 22-**Potência e KgCo<sub>2</sub> consumidos



**Figura 5. 56-**Emissões de Co<sub>2</sub> para as soluções apresentadas



**Figura 5. 57-**Comparação de consumos anuais de potência para as soluções apresentadas

Através dos gráficos ilustrados nas figuras 5.56 e 5.57 pode-se concluir que a adopção de sistemas automáticos de regulação de intensidade luminosa em complemento à iluminação natural conduz a reduções significativas dos custos associados à energia consumida em iluminação de edifícios. Por sua vez, a redução do consumo traduz-se numa redução significativa de emissões de  $\text{CO}_2$ , graças ao contributo da iluminação natural.

Assim, na fase de concepção de edifícios, os arquitectos deverão privilegiar a entrada de luz natural através da presença de grandes aberturas laterais orientadas a sul.

A iluminação natural deve também ser considerada na elaboração do projecto luminotécnico de novos edifícios e no caso da reforma de sistemas de iluminação dos edifícios existentes.

## 6. Conclusões

### 6.1. Principais Conclusões

Actualmente há claras evidências científicas que provam que as mudanças climáticas são fruto da actividade do homem e são atribuídas à emissão de gases em efeito de estufa, principalmente produzidas pela utilização de energia proveniente de combustíveis fósseis. Os efeitos dessas mudanças já se fazem sentir a nível global e é urgente tomar medidas que possam no mínimo estabilizar os seus efeitos.

No princípio da década de 80 do século passado, o petróleo estava cotado a aproximadamente 10 dólares o barril. Mesmo com a actual recessão, o petróleo está cerca de quatro vezes mais caro sendo que a sua transacção já rondou os 100 euros por barril. Se o consumo desta fonte de energia continuar em crescimento as reservas de petróleo num futuro próximo irão chegar ao fim, e por muito que nos custe, e se não se verificar uma mudança tecnológica que altere significativamente a situação actual, o tempo da energia barata chegou ao fim. A tomada de consciência desta realidade levou os responsáveis pelas políticas energéticas a implementar uma série de medidas que têm por objectivo a utilização eficiente dos recursos disponíveis neste âmbito - as energias renováveis e a adopção de sistemas energeticamente eficientes são a chave para a mitigação do problema energético e das mudanças climáticas. O aumento da eficiência energética em toda a cadeia, desde a produção até ao consumo de energia eléctrica, também é extremamente importante, pois permitirá reduzir o consumo de energia primária.

A elaboração deste documento permitiu alertar para a necessidade da utilização de componentes energeticamente eficientes a serem empregues num projecto luminotécnico que vise, além da diminuição da potência instalada, a necessidade de iluminâncias mínimas requeridas por parte dos utilizadores nas tarefas desenvolvidas. Foi feito um levantamento inédito no Ciemat, através do qual foram identificados os tipos de equipamentos de iluminação actualmente instalados em dois edifícios com sistemas de iluminação completamente distintos. Um sistema que visa a obtenção da eficiência energética tirando proveito da iluminação natural resultante das aberturas laterais e um outro um sistema de iluminação energeticamente ineficiente e sobredimensionado. Neste último, foram encaminhadas várias propostas à direcção do Ciemat de modo a converter o sistema actual num sistema de iluminação energeticamente mais eficiente reduzindo a potência instalada e o consumo de energia eléctrica através de um *retrofit*.

O ganho energético e consequentemente o económico-financeiro, assim como a emissão da quantidade de CO<sub>2</sub> foram calculados, para cada uma das soluções apresentadas. Com este estudo e esta análise pode-se mencionar que a eficiência energética requer o planeamento a longo prazo para, desse modo, atingir o tão desejado desenvolvimento sustentável.

Um projecto novo ou um *retrofit* de um sistema de iluminação que vise a obtenção energética terá que atender as seguintes premissas: Iluminação “quando”, “onde” e na “quantidade” certa. A primeira delas pode ser obtida através de utilização de sistemas de comando automatizados para que deste modo a iluminação seja desligada nos períodos de inutilização ou quando se verifique que a iluminação natural satisfaz as necessidades visuais. No que respeita à questão “onde”, pode-se solucionar esta premissa recorrendo à divisão de circuitos e do seu comando, focalizando dessa forma o alvo da energia a aplicar. A última destas premissas está intrinsecamente relacionada com os níveis de iluminância indispensáveis ao local que se pretende iluminar, sendo que a poupança energética é, em grande parte, o resultado da escolha das fontes de luz. Além destas, é imprescindível



que o sistema de iluminação dê garantias de qualidade na iluminação de modo a oferecer conforto visual ao utilizador na execução das suas tarefas. Esta qualidade na iluminação é alcançada tendo em consideração vários parâmetros no momento da eleição das fontes de luz, tais como a temperatura da cor e da restituição de cores.

A uniformidade de iluminâncias do espaço a iluminar é de igual modo um factor preponderante a ter em consideração no projecto luminotécnico, visto que a correcta homogeneidade da iluminância diminui a fadiga visual dos seus ocupantes. Para completar estas exigências todas, o projectista deverá ter em consideração a viabilidade económico-financeira do projecto, calculando o período de retorno do investimento.

## **6.2. Perspectivas de desenvolvimentos futuros**

Como perspectivas de desenvolvimentos futuros para este trabalho, sugere-se a monitorização do consumo do sistema de iluminação artificial de modo a comprovar e avaliar as informações técnicas fornecidas pelos fabricantes do sistema de regulação adoptado.

Um outro aspecto que poderá ser analisado numa fase posterior será a medição dos níveis de iluminâncias na área de trabalho para os gabinetes para os quais foi proposto o *retrofit* da instalação de modo a comprovar a viabilidade económico-financeira do investimento para o sistema de regulação adoptado.

Sugere-se de igual modo a validação da saída de dados da ferramenta computacional utilizada, assim como a simulação do projecto noutras ferramentas computacionais.

Um outro aspecto que poderá ser analisado numa fase posterior será a avaliação do grau de satisfação dos ocupantes dos espaços em que o sistema de regulação será adoptado.

Atendendo que a eficiência energética do sistema de iluminação e a diminuição do consumo de energia eléctrica do sistema de iluminação artificial se deve substancialmente à integração do sistema de iluminação natural como se pode concluir neste documento e que por sua vez este se relaciona directamente com a área das aberturas laterais existentes nas edificações, seria interessante complementar o trabalho desenvolvido e determinar a área envidraçada a partir da qual os ganhos provenientes do sistema de iluminação natural deixam de ser vantajoso em detrimento do consumo energético do sistema de aquecimento/arrefecimento, visto que à medida que aumenta a área envidraçada num edifício aumentam as trocas de calor entre o seu interior e exterior.

## 7. Bibliografia

- [1] Pedro José Franco Marques, Potencial de poupança de energia em Edifícios Escolares Metodologia de Abordagem com um caso de estudo, dissertação de mestrado, Universidade de Coimbra, 2002
- [2] <http://www.edp.pt/>
- [3] <http://www.dgge.pt/>
- [4] <http://www.erse.pt/>
- [5] [http://www.lighting.philips.com/pt\\_pt/trends/legislation/](http://www.lighting.philips.com/pt_pt/trends/legislation/)
- [6] Franco Martin, Manual Práctico de Iluminación, 1ªEdición, A.Madrid Vicente,Ediciones, 2005
- [7] Teixeira, Armínio., *Iluminação Interior - O Projecto Luminotécnico*. Porto : FEUP, 2006.
- [8] <http://paginas.fe.up.pt/~arminio/teci/MetFU.pdf>
- [9] Norma UNE 12464-1, Artificial lighting of interiors; lighting of rooms with VDU work stations or VDU assisted workplaces
- [10] Lightingand Displays, Osram, 2006
- [11] Kao Chen, Energy Management in Illuminating Systems, CRC Press, Inc., 2001;
- [12] Manual pratico de iluminação, osram
- [13] Ballast and the generation of light, Illuminating Engineering society of North America, 1996
- [14] Decreto-Lei nº 327/2001." Diário da República. 2001.
- [15] Salazar Luís Fernandes, Técnicas e aplicações da iluminação
- [16] Guia de iluminação Philips, 2006
- [17] Lâmpadas Incandescentes. s.l. : OSRAM, 2008
- [18] Teixeira, Armínio., *Iluminação Interior – Fontes luminosas*. Porto: FEUP, 2006
- [19] Fundamentos, Dimensionado, y aplicaciones de la energia solar Fotovoltaica, Ciemat, series ponenciais, volumen II, 2006
- [20] Osram, Iluminación Eficiente, 2006
- [21] Santos, António José, A iluminação nos edifícios uma abordagem no contexto da sustentabilidade e eficiência energética, LNEC, 2007
- [22] Fuller Moore, Enviromental Control Systems, heating cooling lighting, 1993
- [23] <http://www.lenave.pt/FileStorage/>
- [24] Craig DiLouie, The lighting Management Handbook, 2<sup>nd</sup> Edition, Fairmont Press, in., 1994
- [25] [http://www.exatron.com.br/exatron/downloads/pdf\\_produtos/128\\_AULA.pdf](http://www.exatron.com.br/exatron/downloads/pdf_produtos/128_AULA.pdf)
- [26] [www.illuminazione.philips.it/.../actilume/.../actilume\\_application\\_direct\\_indirect\\_sp.pdf](http://www.illuminazione.philips.it/.../actilume/.../actilume_application_direct_indirect_sp.pdf)
- [27] Dali Control. [Online] Maio de 2009. <http://www.dalicontrol.com>
- [28] Leonardo Assaf, Procediemntos de Auditorias para la Evaluación de Instalaciones de Iluminación de Edificios No Residenciales, andima, 2008
- [29] Perguntas & Respostas sobre o RSECE – Energia, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios D.L. 79/2006 de 4 de Abril
- [30] Fernandes, Rúben Filipe de Carvalho, Moura, António Machado, Eficiência Energética de Edifícios versus Qualidade de Iluminação, Feup, 2008
- [31] <http://www.inescc.pt/projectos/pemob/index.htm>

- [32] [[http://br.osram.info/casavirtual/ambientes/sala\\_de\\_estar/dicas.html](http://br.osram.info/casavirtual/ambientes/sala_de_estar/dicas.html)]
- [33] [http://ygo.pesqueira.ifpe.edu.br/didaticos/cee\\_artigo1.pdf](http://ygo.pesqueira.ifpe.edu.br/didaticos/cee_artigo1.pdf)
- [34] Eder C.F, Meneses G., Fiterman L., Tinoco M.A.C, Avaliação dos métodos da taxa Interna de retorno modificada: Uma aplicação Prática, porto alegre, 2004
- [35] [Http://miltonborba.org/MAT/Cust\\_Ben.htm](Http://miltonborba.org/MAT/Cust_Ben.htm)
- [36] <www.financasnaweb.hpg.ig.com.br/tirm.htm>
- [37] Memória técnica do projecto luminotécnico do edifício 70
- [38] <http://earth.google.com/intl/pt/>
- [39] Manual Philips iluminação energeticamente eficiente

## **Anexos**

## Anexo I

A tabela seguinte apresenta o tipo de sensor recomendado para instalação em projectos luminotécnicos mediante o tipo de ambiente, perfil de utilização e condições de utilização.

<b>Tipo de ambientes</b>	<b>Perfil de utilização</b>	<b>Condições</b>	<b>Recomendações</b>
Salas de aula	Normalmente ocupada	Execução de múltiplas tarefas, como apresentações em multimédia, anotações em quadros-negros, leitura, anotações, etc.	Dimmer manual
	Ocasionalmente ocupada	Ocupadas por grupos de estudantes ou professores com intervalos	Sensor de ocupação, parede ou teto, com sensibilidade para pequenos movimentos
Sala de computador	Normalmente desocupada	Luzes mantidas acesas	Sensor de ocupação, parede ou teto, se possível com dimmer e sensibilidade para pequenos movimentos. Certifique-se de que barulhos ocasionados pelos aparelhos não vão interferir no funcionamento do sensor.
Sala de conferência	Ocasionalmente ocupada	Execução de múltiplas tarefas, como apresentações em multimédia	Dimmer manual
		Salas pequenas	Sensor de parede com sensibilidade para pequenos movimentos
		Salas grandes	Sensor de teto com sensibilidade para pequenos movimentos
Sala de hotel	Ocasionalmente ocupada	Utilizadas em horários específicos, como a sala de relaxamento	Dimmer manual
Lavandaria	Ocasionalmente ocupada	Uso de máquinas automáticas	Sensor de ocupação, teto ou parede. Certifique-se de que barulhos ou máquinas que geram aquecimento não vão interferir no funcionamento do sensor
Escritório	Normalmente ocupado	Com presença de luz natural Todas as luzes são apagadas no final do expediente	Sensor com dimmer que opera em função da luz natural Sensores controlados por centrais
Salas de fotocópias	Ocasionalmente ocupadas	Luzes ficam constantemente acesas	Sensor de presença. Certifique-se de que os barulhos das máquinas não vão sensibilizar os sensores.
Quartos de banho	Ocasionalmente ocupados	Instalação geral em que as luzes ficam constantemente acesas	Sensor ultra-sónico de tecto
		Quartos de banho individuais	Sensor de parede

[25]

## **Anexo II**

Lista de verificação da qualidade de um sistema de iluminação

### **Primeira parte**

#### **Impressão geral sobre o ambiente**

Sabe-se que nem sempre a primeira impressão sobre um espaço construído é a que prevalece após algum tempo de ambientação e da escolha definitiva da posição de trabalho. O objectivo desta primeira etapa é conhecer a primeira impressão sobre o espaço escolhido. Portanto, neste caso não há resposta correcta ou errada. Recolha as impressões ao percorrer o espaço considerado, olhando em diferentes direcções e fazendo um reconhecimento geral. Depois, sente-se na posição normal de um funcionário (aluno, ou paciente) e responda às seguintes questões, que não estão condicionadas aos aspectos luminosos apenas, mas dizem respeito à percepção geral do ambiente considerado:

1. Tente descrever, em poucas linhas, da maneira mais completa possível, sua primeira impressão.

2. As suas primeiras impressões podem ser classificadas como sendo:

Desfavoráveis

Indiferentes

Boas

Excelentes

3. Qual parece ser, sem a menor dúvida, a melhor qualidade do ambiente?

4. Qual parece ser, sem a menor dúvida, a pior qualidade do ambiente?

## Segunda parte

### Análise do observador sobre o ambiente luminoso, quando executa uma tarefa padrão

Depois de permanecer algum tempo sentado na posição normal de trabalho, você deverá ser capaz de fazer um juízo mais fundamentado sobre a tarefa executada e as condições visuais no ambiente. Para tanto, responda às seguintes questões:

Assinale nesta coluna somente a palavra que melhor expresse sua opinião		Nesta coluna descreva a razões que o levaram a assinalar a palavra da coluna à esquerda. Faça comentários e dê sugestões que possam melhorar o aspecto considerado.
1. O layout da sala parece:		Por quê?
Desorganizado		
Satisfatório		
Eficiente		
<i>Para responder esta questão, tome em consideração, além da distribuição do mobiliário, a de outros equipamentos, bem como as dimensões da sala, divisões, etc.</i>		
2. A aparência do mobiliário é:		Por quê?
Repugnante		
Aceitável		
Agradável		
3. Qual sua opinião sobre o esquema geral de cores deste ambiente?		Por quê?
Repugnante		
Aceitável		
Agradável		
<i>Para responder esta questão tome em consideração as cores das paredes, pisos, teto,</i>		

<i>mobiliário, portas, etc., e a harmonia entre elas</i>		
4. Consegue ver as partes essenciais da tarefa (do campo de visão imediato)		Por quê?
Com dificuldade		
Não tão bem		
Relativamente bem		
Facilmente		
5. As superfícies dos objectos da sala são vistas		Por quê?
Com dificuldade		
Não tão bem		
Relativamente bem		
Facilmente		
Você pode, com facilidade e rapidamente perceber: a) O tamanho e a forma da sala? b) Sua própria posição em relação às paredes, teto, etc. c) As características dos materiais das superfícies?		
<i>Para formar sua opinião, deverá caminhar pelo ambiente para se certificar que os objectos são o que parecem ser do ponto considerado e olhe, por exemplo, para suas próprias mãos.</i>		
6. Em relação à concentração, o ambiente visual		
Estimula a concentração		
É indiferente		
Estimula a distracção		
7. Ao olhar ao redor para descansar e movimentar os seus olhos, encontra algum ponto de descanso visual?		Por quê?
Sim		



Não		
<i>Caso não considere importante esta questão, desconsidere-a</i>		
8. Qual é, na sua opinião, a qualidade da luz neste ambiente?		Por quê?
Desconfortável		
Indiferente		
Boa		
Excelente		
<i>A luz pode ser opaca ou clara, dura ou suave fria ou quente, variada ou uniforme</i>		
9. A aparência das instalações de luz é:		Por quê?
Desconfortável		
Indiferente		
Boa		
Excelente		
10. O brilho das instalações de luz é		Por quê?
Intolerável		
Desconfortável		
Aceitável		
Agradável		
11. Há reflexões especulares no ambiente?		Por quê?
Ofuscantes		
Irritantes		
Dispersivas		
Sem importância		
Contribuindo com a “vida” do ambiente		

12. Como são as cores do ambiente?		Por quê?
Pobre		
Razoavelmente bom		
Bom		
<i>Com relação a este ponto, eventualmente você pode prestar atenção à reacção de outras pessoas</i>		
13. Qual sua impressão sobre a distribuição da luminosidade?		Por quê?
Desagradável		
Neutra		
Agradável		
14. Você acabou de analisar a natureza deste ambiente, a sua composição, as condições visuais e de iluminação. Considerando todos esses detalhes, como qualificaria agora, em termos de impressão geral		
Desagradável		
Indiferente		
Bom		
Excelente		
15. Depois de uma análise mais detalhada, e de uma permanência mais prolongada no ambiente, provavelmente há diferença entre a primeira impressão e a que acabou de ser registrada. Tente descrever estas diferenças		
16. Se houver diferenças significativas nas respostas dos trabalhadores a respeito da qualidade visual do espaço, anote quais seriam elas.		

**Informações sobre as discussões e diferenças nas respostas.**

Depois de respondidas a primeira e a segunda parte, e depois de comparadas as respostas, poderão ser notadas diferenças nas respostas às mesmas questões. Pode haver razões para tais diferenças: por exemplo, cada questão cobre os efeitos de mais de uma propriedade física do espaço considerado e pode ter peso diferente para os vários observadores, uma vez que cada qual pode reagir de forma diferente aos mesmos estímulos. As razões para as diferentes respostas podem ser encontradas numa discussão entre os observadores. Assinale os principais pontos desta discussão

## Terceira parte

### Comentários dos utilizadores (funcionários) do ambiente

Considerando que os funcionários do ambiente não são observadores treinados em iluminação, é impossível solicitar-lhes o preenchimento da terceira parte sem nenhuma assistência.

Além disso, muitas das questões a seguir não podem, em poucas palavras, ser explicadas e dar uma resposta adequada. Por esta razão decidiu-se seleccionar algumas questões da segunda parte e utilizá-las numa entrevista com o funcionário. O entrevistador tem que ter o cuidado de não influenciar a resposta (por exemplo, o entrevistado pode dar as respostas negativas pelo simples fato de o entrevistador demonstrar descontentamento com o trabalho que está executando). Além disso, o funcionário tem que se sentir absolutamente à vontade, sem receio de que alguma resposta possa comprometer o seu emprego, ou sua aceitação no estabelecimento em ocasiões futuras.

Nesta coluna simplesmente marque a palavra que melhor expresse a opinião do utilizador (funcionário)		Nesta coluna escreva as razões pelas quais o utilizador (funcionário) optou por esta classificação, e as prováveis diferenças entre iluminação diurna e nocturna
1 Consegue ver as partes essenciais da tarefa (do campo de visão imediato):		
Com dificuldade		
Não muito bem		
Razoavelmente bem		
Com facilidade		
2. Quando está concentrado, o ambiente visual:		
É dispersivo		
É indiferente		
Facilita a concentração		
3. Quando olha ao redor para descansar, encontra facilmente um ponto de descanso visual?		
Sim		
Não		
<i>Se o funcionário não sente esta necessidade, desconsidere esta questão</i>		
4. Como é o brilho das instalações de		

luz?		
Intolerável		
Desconfortável		
Aceitável		
Indiferente		
5. As reflexões especulares na sala são		
Ofuscantes		
Irritantes		
Dispersivas		
Sem importância		
Contribuem para dar “vida” ao ambiente		
6. Como são as cores do ambiente?		
Pobre		
Razoavelmente bom		
Bom		
<i>Com relação a este ponto, o funcionário pode prestar atenção à reacção de outras pessoas</i>		
7. Qual a impressão geral do funcionário sobre este ambiente?		
Desconfortável		
Bom		
Excelente		

## Quarta parte

### Descrição objectiva do ambiente

Nome e localização do ambiente: \_\_\_\_\_

Tipo de espaço: \_\_\_\_\_

Descrição das actividades desenvolvidas no ambiente considerado: \_\_\_\_\_

População: \_\_\_\_\_

(número de utilizadores, funcionários. Proporção masculina / feminina. Distribuição etária)

Análise do observador: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_ Hora: das \_\_\_\_\_ às \_\_\_\_\_

De onde veio antes de entrar no ambiente objecto da avaliação? \_\_\_\_\_

(exterior: escuro, brilhante; outra sala; corredor, etc.)

### Apresentação da sala – neste item deve ser indicadas:

- Layout do mobiliário e equipamentos
- Coeficientes de reflexão do mobiliário e do piso
- Cores e texturas de mobiliário, piso, paredes e teto
- Valores da iluminação horizontal (conforme EN 12464-1)

### Desenho do tecto – no qual deve ser indicado:

- Layout das luminárias
- Coeficiente de reflexão
- Cores e texturas
- Valores da iluminação horizontal

### Desenho das quatro paredes – no qual deve ser indicado:

- Layout das janelas, portas, elementos decorativos, armários, etc.
- Coeficientes de reflexão das paredes, portas elementos decorativos
- Cores e texturas das paredes, portas, elementos decorativos, etc.
- Valores da iluminação vertical, ou iluminâncias.

### Fotografias, de preferência slides coloridos mostrando:

- Vista geral do espaço considerado
- O campo visual a partir do local em que se desenvolve a actividade
- Qualquer outra fotografia que possa ajudar a ilustrar as características do espaço considerado.

### Sistema de iluminação

- Tipo e aparência de cor das lâmpadas, bem como seu fluxo luminoso
- Tipo das luminárias, distribuição da luz, dimensões.
- A instalação de iluminação artificial é usada como complementar à iluminação natural ou é accionada somente quando anoitece?

### Anexo III

Formulário de avaliação de um sistema de iluminação

#### Dados gerais

---

Potência Instalada em Iluminação: \_\_\_\_\_kW  
anterior): \_\_\_\_\_kWh

Consumo Eléctrico em iluminação (ano

#### Características técnicas e energéticas

---

Tipo de edifício:

☐ Unifamiliar    ☐ Edifício de vivendas    ☐ Centro desportivo    ☐ Centro docente    ☐ Edifício de  
Escritórios    ☐ Restaurante    ☐ Hospital    ☐ Hotel    ☐ Outros

Tipos de zonas reformadas (Corredores, habitações, aulas, gabinetes,): \_\_\_\_\_

Substituição das luminárias, lâmpadas e equipamentos por outras mais eficientes.

Situação actual									
Nº Luminárias	Marca e Modelo luminárias	η (%) *	Nº lâmpadas por luminária	Tipo Lâmpada	Potência (W) *	Marca e Modelo lâmpada	Superfície iluminada (m <sup>2</sup> )	Horas Funcionament o Anuais	Tipo Equipamento aceso *

Situação prevista									
Nº Luminárias	Marca E Modelo luminária	η (%) *	Nº lâmpadas por luminária	Tipo Lâmpada	Potência (W) *	Marca E Modelo lâmpada	Superfície iluminada (m <sup>2</sup> )	Horas Funcionament o Anuais	Tipo Equipamento Aceso *

Nº total de luminárias e/o equipamentos substituídos: \_\_\_\_\_ Redução Potência Total (kW): \_\_\_\_\_

Percentagem Redução (%):  $= (1 - (Potência\ Prevista / Potência\ Actual))$  \_\_\_\_\_



## Instalação de Sistemas de Controlo de fluxo e de regulação

Nº Unidades	Tipo Controlo *	Marca e Modelo	Potência (kW) *

Nº total de unidades de controlo: \_\_\_\_\_

Potência total controlada (kW): \_\_\_\_\_

Percentagem Potência controlada/Potência Total (%): \_\_\_\_\_

## Instalação de Sistemas de Gestão

Instalação de um sistema de Gestão centralizada?

☐ SIM

☐ NÃO

Instalação de um sistema de Gestão parcial?

☐ SIM

☐ NÃO

(Indicar a zona ou zonas a controlar)

zona: \_\_\_\_\_

---

---

## Outras actuações

--

## Outros dados

Tipo de tarifa de facturação:

Tarifa actual (€/kWh – IVA incluido):

## **Descrição das actuações propostas e cálculos justificativo das poupanças energéticas obtidas**

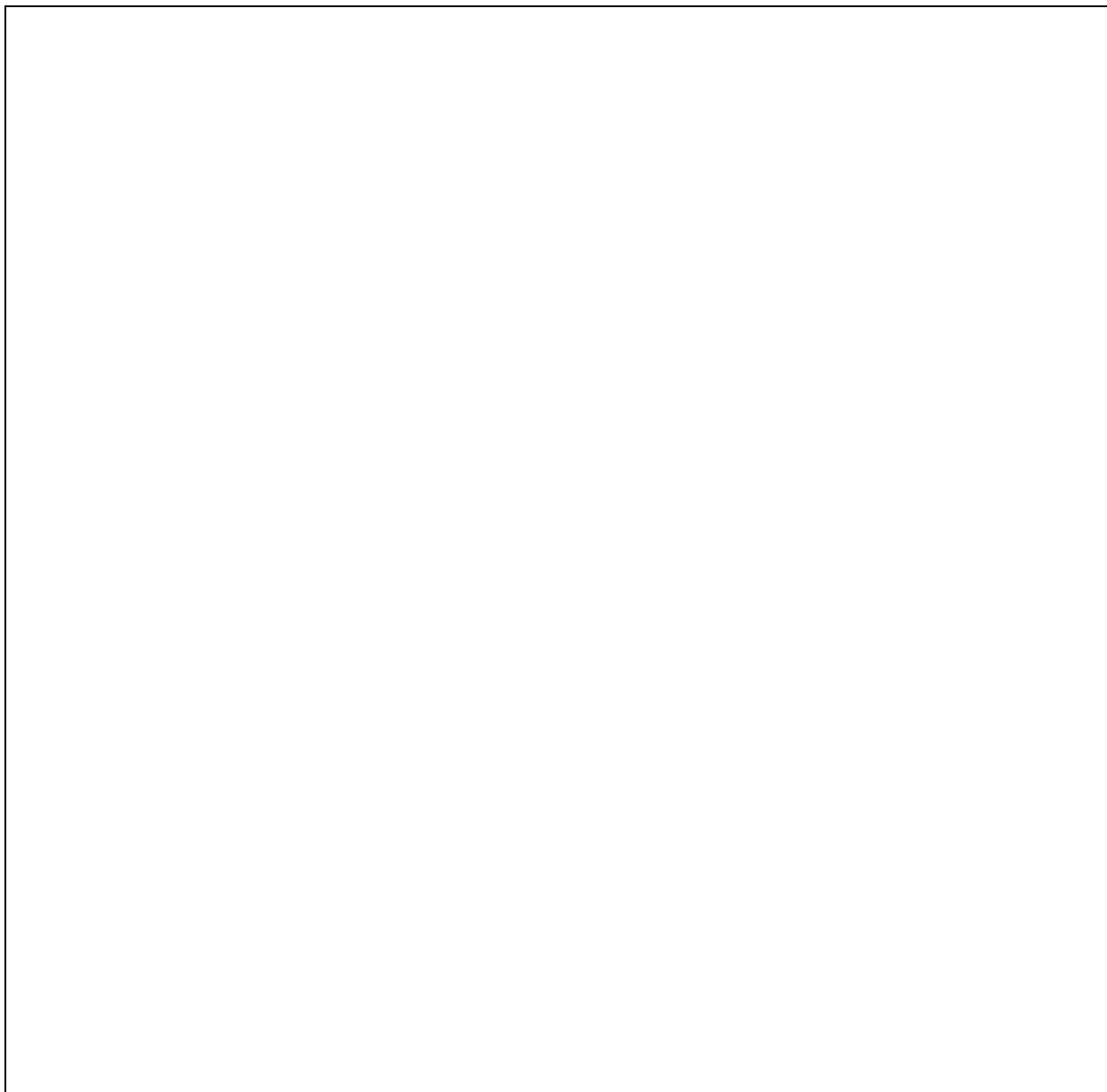
Descrição das actuais propostas

Breve descrição das actuações propostas indicando as características técnicas das novas tecnologias instaladas.

Em caso de se tratar de uma instalação de iluminação grande, anexar uma memória descritiva mais adequada.

### **Cálculo justificativo da poupança energética**

- Poupança de energia eléctrica
- Redução das emissões de CO<sub>2</sub>



\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ De \_\_\_\_\_ de 200\_\_

O solicitante,

\_\_\_\_\_

Instalador autorizado o técnico competente,

\_\_\_\_\_

Ajuda de preenchimento do questionário

Características técnicas e energéticas de actuação

Substituição de luminárias, lâmpadas e equipamentos por outras más eficientes.

Marca e modelo luminária: Indicar marca, modelo, fabricante, referencia

Rendimento da luminária: Indicar rendimentos luminosos

Tipo Lâmpada: Incandescente, Halógena, Iodetos metálicos, Vapor de Sódio, Alta Pressão, Vapor de Sódio Baixa Pressão, Vapor Mercúrio, Fluorescente Compactas, LED, etc.

Potência: Indicar suma de potência da lâmpada e equipamentos auxiliares

Tipo Equipamento: standard, Regulável, Electrónico,

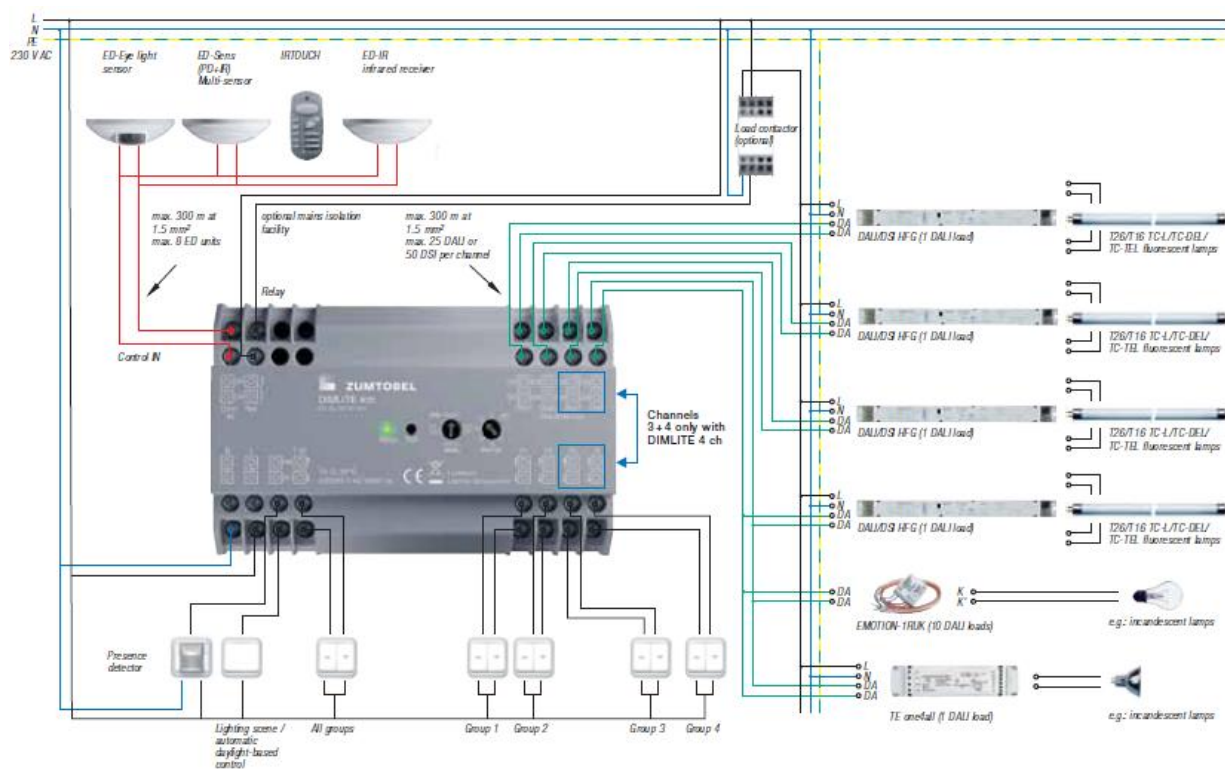
Instalação de Sistemas de Controlo de fluxo luminoso e regulação

Tipo Controlo: Detector de presença, Interruptores Temporizados, Foto célula, Dimmer's, Interruptores Horários,

Potência (kW): Introduzir a potência controlada pelo dispositivo, incluindo a potência dos equipamentos auxiliares

## Anexo IV

### Esquema de ligações do processador LM-TLR



Anexo V

Planta Projecto para a implementação do sistema *Actilume* da *Philips* no edifício 42 do Ciemat

