



## Estudo de implementação dos ensaios fotobiológicos da iluminação LED

**ADRIANA NAIR LOPES PEREIRA**

agosto de 2019

# Estudo de implementação dos ensaios fotobiológicos da iluminação LED

Adriana Nair Lopes Pereira

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Orientador: Custódio Dias

Coorientador: Paulo Afonso

12 de julho de 2019

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de  
DSEE - Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de  
Energia

Candidato: Adriana Nair Lopes Pereira, Nº 1160421, 1160421@isep.ipp.pt

Orientação científica: Prof. Doutor Custódio Dias, cpd@isep.ipp.pt

Empresa: LIQ – Laboratório Industrial da Qualidade

Coorientação: Prof. Doutor. Paulo Afonso, email: pafnaa@ua.pt



## Agradecimentos

Não é fácil exprimir por palavras os agradecimentos pela total disponibilidade, dedicação, apoio, tolerância e ajudas que recebi ao longo da elaboração deste trabalho.

O primeiro agradecimento dirige-se ao LIQ – Laboratório Industrial da Qualidade por permitir a realização deste trabalho nas suas instalações. Em especial ao Professor Doutor Paulo Afonso pela disponibilidade demonstrada para coorientar esta dissertação. Ao Eng. Manuel Farias pelo tempo dispensado e partilha do conhecimento relativo ao tema.

Ao Eng. Custódio Dias, o meu orientador no ISEP pela sabedoria e objetividade ao longo do trabalho.

Um agradecimento à Lightenjin por toda a disponibilidade que mostraram ao longo da realização dos ensaios necessários para conclusão da dissertação. Em especial à Eng.<sup>a</sup> Vânia Teixeira e ao Eng.<sup>o</sup> Diogo Pinto por toda a atenção e ajuda cruciais para a finalização desta dissertação.

Aos meus pais e às minhas irmãs por todo o apoio, paciência e amor incondicional que sempre mostraram e também ao sacrifício que os meus pais fizeram ao longo dos anos.

Ao Diogo, Alexandre e Inês pelos momentos passados durante esta caminhada no Mestrado.

Muito obrigada a todos.



## Resumo

A presente dissertação enquadra-se no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto. A sua elaboração realizou-se em contexto empresarial, na empresa LIQ – Laboratório Industrial da Qualidade, e apresenta como tema: “Estudo de implementação dos ensaios fotobiológicos da iluminação LED”.

O LIQ – Laboratório Industrial de Qualidade, é uma Associação Técnico-Científica participada por várias empresas industriais e de serviços, por pessoas singulares e pela Universidade de Aveiro.

Os principais objetivos do estágio são a identificação dos efeitos nocivos da radiação ultravioleta (UV) na saúde humana, o estudo dos ensaios para determinar os efeitos fotobiológicos e o estudo de ferramentas de calibração e ajuste de equipamentos utilizados nos ensaios.

O LIQ é uma entidade certificada para elaborar ensaios de iluminação LED segundo a Norma IEC 62031, no entanto, não está habilitada para realizar o ensaio relativo Segurança Fotobiológica (secção 22) devido à indisponibilidade dos equipamentos necessários para os realizar.

Devido ao crescimento exponencial da iluminação LED, o LIQ sentiu necessidade de implementação do ensaio fotobiológicos aos LED. A fotobiologia consiste no estudo dos efeitos da radiação ótica nos organismos vivos.

A emissão de luz LED pode apresentar-se em luz visível, na radiação infravermelho ou ultravioleta, pelo que, se estes últimos forem emitidos em grande quantidade podem provocar efeitos negativos na saúde humana. Os olhos e a pele são os órgãos em maior risco porque estas radiações são absorvidas pelos tecidos em maior profundidade.

As normas representativas da iluminação LED são a IEC 62031, a IEC 62471 e a IEC 62778. Após uma análise das normas de referência será possível identificar quais os

equipamentos e as condições ambientais necessárias para a realização dos ensaios de segurança fotobiológica.

Estão em estudo duas soluções para realizar os ensaios. A primeira será a compra dos equipamentos e posterior construção do ambiente necessário para a realização dos ensaios e a segunda será a colaboração com uma empresa que implementará todas as condições necessárias ao ensaio.

### *Palavras-chave*

Efeitos fotobiológicos, LED, Radiação UV, Efeito da luz azul.

## Abstract

The present dissertation falls into the scope of the Master's Degree in Electrotechnical Engineering - Electric Systems of Energy at the ISEP. Its elaboration take place in a business context, in the company LIQ - Laboratório Industrial da Qualidade and presents as theme of the thesis "Study of the implementation of photobiological tests of LED lighting".

The LIQ - Industrial Quality Laboratory is a Technical-Scientific Association, which is owned by several industrial and service companies, by natural persons and by the University of Aveiro.

The main objectives of the stage are to identify the harmful effects of ultraviolet (UV) radiation on human health, study the tests to determine the photobiological effects and the study of equipment calibration and adjustment tools used in the tests.

LIQ is an entity certified to perform LED lighting tests according to IEC 62031, however, it is not capable of carrying out the test related to Section 22 Photobiological Safety due to the unavailability of the equipment necessary to carry out the test.

Due to the exponential growth of LED lighting, the LIQ felt the need to implement the photobiological LED test. Photobiology consists of the study between the optical radiation effects on living organisms.

The emission of LED light can be in visible, infrared radiation or ultraviolet light and, if the latter are emitted in large quantity, can have negative effects on human health. The eyes and skin are the organs at greatest risk because these radiations are absorbed by the tissues in greater depth.

The representative standards for LED lighting are IEC 62031, IEC 62471 and IEC 62778. After an analysis of the reference standards, it will be possible to identify the equipment and the environmental conditions necessary for carrying out the photobiological safety tests.

Two solutions are being studied to carry out the tests. The first will be the purchase of the equipment and subsequent construction of the environment necessary for the performance of the tests and the second will be the collaboration with a company that will implement all the necessary conditions for the test.

*Keywords*

Photobiological effects, LED, UV radiation, Blue light effect.

# Índice

Índice Figuras .....	XI
Índice Tabelas.....	XIII
Siglas e abreviaturas .....	XV
1. Introdução.....	1
1.1. Aspectos gerais .....	1
1.2. Contextualização.....	1
1.3. Apresentação da aluna .....	2
1.4. Empresa .....	2
1.5. Objetivos e Planificação do trabalho .....	4
1.6. Organização da dissertação.....	5
2. Radiação e Iluminação.....	7
2.1. Radiação.....	7
2.1.1. Espectro das radiações .....	7
2.1.2. Radiação Ionizante.....	8
2.1.3. Radiação Não Ionizante .....	12
2.1.4. Radiação UV.....	14
2.2. A iluminação.....	15
2.2.1. Espectro visível.....	15
2.2.2. Lâmpadas .....	16
2.2.3. Iluminação do passado.....	16
2.2.4. Iluminação do presente .....	17
2.2.5. Iluminação do futuro.....	20
3. Radiação emitida por LED e seus efeitos sobre o corpo humano .....	23

3.1.	LED.....	23
3.2.	Efeitos fotobiológicos .....	25
3.3.	O olho .....	27
3.3.1.	Interação entre a radiação e o olho .....	28
3.4.	A pele.....	29
3.4.1.	Interação entre a radiação e a pele .....	30
4.	Ensaaios fotobiológicos das lâmpadas .....	31
4.1.	Introdução .....	31
4.2.	IEC 62471: Segurança fotobiológica de lâmpadas e sistemas de lâmpadas....	31
4.2.1.	Medição de irradiância.....	32
4.2.2.	Medição de radiância .....	34
4.2.3.	Método alternativo .....	35
4.2.4.	Métodos de análise.....	36
4.2.5.	Grupos de risco .....	37
4.2.6.	Equipamentos necessários e calibrações.....	38
4.2.6.1.	Instrumentação.....	38
4.2.6.2.	Limitações dos instrumentos e calibrações .....	39
4.3.	IEC/TR 62778: Análise dos perigos da luz azul para luminárias e fontes de luz 40	
4.3.1.	Introdução .....	40
4.3.2.	Condições para medição de radiância.....	42
4.4.	Ambiente de ensaio.....	43
5.	Estabelecimento do sistema de ensaio.....	45
5.1.	Hipóteses de aquisição dos aparelhos .....	45
5.1.1.	Hipótese 1 – Aquisição dos equipamentos .....	45
5.1.2.	Hipótese 2 – Colaboração com empresa.....	45

5.1.3. Aquisição dos equipamentos .....	46
5.1.3.1. Equipamento para medições fotométricas e medições UV .....	46
5.1.3.2. Equipamento para medição de luz azul .....	47
5.2. Avaliação das hipóteses .....	49
5.2.1. Introdução .....	49
5.2.2. Contrato .....	49
5.2.3. Equipamentos a adquirir .....	50
5.2.3.1. Espectrómetro LMS-9000B .....	50
5.2.3.2. Goniómetro LSG-1800BCCD .....	51
5.2.3.3. Espectro-radiómetro ISR300-PSL.....	53
6. Apresentação de resultados .....	57
6.1. Introdução .....	57
6.2. Medições UV .....	58
6.3. Medições do perigo de luz azul .....	59
7. Conclusão .....	65
Bibliografia.....	67
Anexos.....	69
Anexo A – Planta canto de ensaios .....	a
Anexo B – Proforma Everfine .....	c
Anexo C – Proforma Lisun.....	e
Anexo D – Proforma Bentham .....	g
Anexo E – Acordo de cooperação .....	i
Anexo F – Relatórios.....	k



## Índice Figuras

Figura 1-1 - Organograma LIQ .....	3
Figura 2-1 - Tipos de radiação.....	7
Figura 2-2 - Espectro Eletromagnético [15].....	8
Figura 2-3 - Exemplo da emissão de partículas $\alpha$ [3].....	9
Figura 2-4 - Emissão partícula $\beta$ [3].....	10
Figura 2-5 - Decomposição do tório em hélio-3 [16].....	10
Figura 2-6 - Decomposição do Cobalto em Níquel [16] .....	11
Figura 2-7 - Profundidade de penetração das radiações ionizantes [1] .....	12
Figura 2-8 - Espectro da Radiação UV [17].....	14
Figura 2-9 - Espectro visível [6] .....	15
Figura 2-10 - Espectro luminoso de uma lâmpada incandescente [8].....	16
Figura 2-11 - Espectro luminoso da lâmpada de vapor de mercúrio [8].....	17
Figura 2-12 – Espectro luminoso da lâmpada FC [8] .....	18
Figura 2-13 - Espectro luminoso da lâmpada de VSAP [8] .....	18
Figura 2-14 - Espectro luminoso da lâmpada de VSBP [8] .....	19
Figura 2-15 - Espectro luminoso da lâmpada de IM [8] .....	19
Figura 3-1 – Emissão de luz num LED [7].....	23
Figura 3-2 - Cores emitidas pelo LED [9].....	24

Figura 3-3 - Princípio de funcionamento do LED através do sistema PC [18].....	25
Figura 3-4 - Secção longitudinal e vertical de um olho humano [11].....	27
Figura 3-5 - Penetração dos diferentes comprimentos de onda no olho [12].....	28
Figura 3-6 - Camadas da pele [19] .....	29
Figura 3-7 - Penetração dos diferentes comprimentos de onda na pele [12].....	30
Figura 4-1 - Medição de irradiância [20].....	33
Figura 4-2 - Medição de luminância [20].....	34
Figura 4-3 - Técnica alternativa [20].....	36
Figura 4-4 - Fluxograma da fonte de luz primária (azul) à luminária baseada na fonte de luz (laranja).....	43
Figura 5-1 – Sistema de coordenadas C .....	52
Figura 5-2 – Sistema de coordenadas B .....	52
Figura 5-3 - Espectrómetro ISR300 .....	53
Figura 5-5 – Padrão de Luminância .....	54
Figura 5-4 - Telescópio TEL309 .....	54

## Índice Tabelas

Tabela 2-1 - Comparação de alguns aspetos das LEP e outras tecnologias existentes ..	20
Tabela 3-1 - Riscos associados a cada comprimento de onda.....	26
Tabela 4-1 - Limites de exposição baseados em valores de irradiância.....	33
Tabela 4-2 - Limites de exposição baseados em valores de radiância .....	35
Tabela 4-3 - Largura de banda recomendada .....	39
Tabela 5-1 - Comparação de equipamentos da Lisun e da Everfine .....	47
Tabela 5-2 - Características do espectro-radiómetro.....	55
Tabela 6-1 - Características das fontes de luz ensaiadas .....	58
Tabela 6-2 - Resultados obtidos da medição do efeito da luz azul.....	60



## Siglas e abreviaturas

CB – *Certification Body*;

E – Irradiância;

EA – *European cooperation for Accreditation*;

E<sub>B</sub> – Limite de exposição ao risco de luz azul na retina;

E<sub>H</sub> – Limite de exposição de risco térmico na pele;

E<sub>IR</sub> – Limite de exposição IR;

ENEC – *European Mark of Conformity*;

E<sub>S</sub> – Limite de exposição ocular e da pele;

E<sub>thr</sub> – Limite da iluminância;

E<sub>UVA</sub> – Limite de exposição ocular;

FC – Fluorescentes Compactas;

IM – Lâmpadas de Iodetos Metálicos;

IPAC – Instituto Português de Acreditação;

IRC – Índice de Restituição de Cor;

L – Radiância;

L<sub>B</sub> – Limite de exposição de luz azul na retina;

LCIE – *Laboratoire Central Industrie Eletrique*;

LED – *Light Emitting Diode*;

LEP – *Light Emitting Plasma*;

LIQ – Laboratório Industrial de Qualidade;

$L_{IR}$  – Limite de exposição térmica na retina – fraco estímulo visual;

$L_m$  – Fluxo luminoso

$L_R$  – Limite de exposição térmica na retina;

OLED – *Organic Lighting Emitting Diode*;

PC – Phosphor Converted

Radiação IR – Radiação Infravermelha;

Radiação UV – Radiação Ultravioleta.

RG – Grupo de risco;

RGB – Red Green Blue

SPQ – Sistema Português da Qualidade;

USD – United States Dollar;

VSAP – Vapor de Sódio de Alta Pressão;

VSBP – Vapor de Sódio de Baixa Pressão;

$\alpha_{eff}$  – Ângulo maior ao qual os movimentos rápidos dos olhos começam a manchar a imagem da fonte

# 1. Introdução

## 1.1. Aspetos gerais

A descoberta do fogo no paleolítico, foi importante para a evolução da luminotécnica, visto ter sido o primeiro recurso utilizado para contrariar a da escuridão noturna e obtenção de claridade nos locais onde não havia luz natural. A evolução da luz encontra-se dividida, historicamente, em três fases.

A primeira fase foi aquando do domínio do fogo, em que eram utilizadas velas de cera, lampiões de petróleo, lampiões a óleo, ou seja, processos de queima de materiais diversos. Esta fase estendeu-se até 1878, em 1870 Thomas Edison apresenta a sua lâmpada incandescente com utilização prática, fazendo parte da segunda fase, a utilização da eletricidade. Durante esta fase surgiram variadas lâmpadas de incandescência melhorando a sua eficiência, tempo de vida e tecnologia. A última fase é denominada por choque do petróleo, onde aparecem, entre outros, a iluminação LED, sistemas integrados e lâmpadas de indução.

A função inicial dos LED era unicamente indicar estados de funcionamento de produtos eletrónicos passando mais recentemente a serem utilizados na iluminação. A primeira luminária LED foi introduzida na década de 1990.

## 1.2. Contextualização

A presente dissertação enquadra-se no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). A sua elaboração realizou-se em contexto empresarial, com a colaboração da empresa LIQ – Laboratório Industrial da Qualidade e apresenta como tema: “Estudo de implementação dos ensaios fotobiológicos da iluminação LED”.

### 1.3. Apresentação da aluna

A Adriana Nair Lopes Pereira nasceu em Guimarães a 17 de novembro de 1995.

Devido às influências de seu pai, empresário no ramo de instalações elétricas, a aluna apresenta, desde muito nova, interesse no ramo das instalações elétricas. O primeiro passo para a aprendizagem da referida área foi a inscrição na Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica, na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda, no ano de 2013, concluindo no ano de 2016 com uma média final de 16 valores.

No mesmo ano de finalização da Licenciatura inscreve-se no Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia, no ISEP, com o objetivo de dar continuidade à sua aprendizagem e consolidar os conhecimentos adquiridos.

### 1.4. Empresa

O LIQ – Laboratório Industrial de Qualidade é uma associação técnico-científica, participada por variadas empresas industriais e de serviços, por personalidades singulares e entidades públicas, onde se destaca a Universidade de Aveiro. Está vocacionado para prestação de serviços e apoio às atividades económicas, enquanto entidade integrada no Sistema Português da Qualidade (SPQ), pelo Instituto Português de Acreditação (IPAC), membro da *European Cooperation for Accreditation* (EA) e do EUROLAB, apresenta cerca de 30 anos de experiência nas áreas de ensaios, metrologia e inspeções técnicas.

O Laboratório de Ensaios do LIQ é um organismo notificado na União Europeia para a conformidade CE e tem acordos para certificação de produtos em esquemas internacionais *Certification Body* (CB) e *European Mark of Conformity* (ENEC), em colaboração com o organismo de certificação *Laboratoire Central Industrie Eletrique* (LCIE), em França.

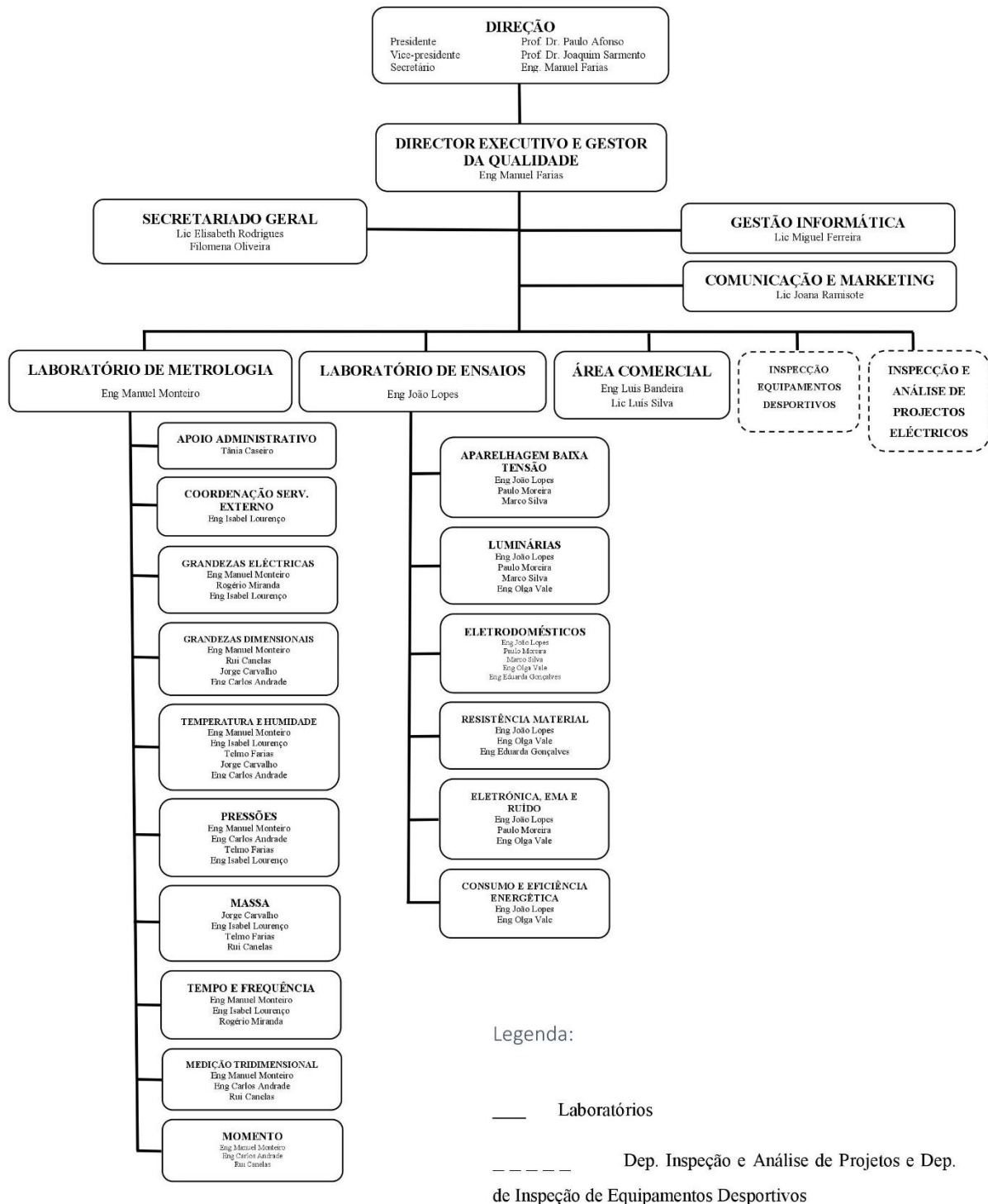


Figura 1-1 - Organograma LIQ

Como se pode verificar pela Figura 1-1 o LIQ está estruturado em 9 departamentos, sendo eles a Direção, Secretariado Geral, Gestão Informática, Comunicação e Marketing, Laboratório de Ensaios, Laboratório de Metrologia, Área Comercial, Inspeção de Equipamentos Desportivos e Inspeção e Análise de Projetos Elétricos.

O estágio que deu lugar a esta dissertação teve lugar num dos departamentos, o Laboratório de Ensaios, visto ser neste departamento que se realizam os ensaios à iluminação, entre outros.

### 1.5. Objetivos e Planificação do trabalho

Existe a necessidade de implementar no LIQ a realização de ensaios fotobiológicos em iluminação LED, devido ao elevado crescimento do mercado da iluminação LED nos últimos tempos. Para o efeito, é necessário proceder ao levantamento da instrumentação necessária, operacionalizá-la e estabelecer os procedimentos necessários à realização dos testes.

Sem prejuízo da realização de outras atividades, os objetivos principais da dissertação são:

- ◆ Identificar os efeitos nocivos que a radiação UV, emitida pela iluminação LED, apresenta na saúde;
- ◆ Estudo dos ensaios para efeitos fotobiológicos segundo a Norma IEC 60598-1;
- ◆ Desenvolvimentos de uma metodologia, no que concerne à infraestrutura e procedimentos de avaliação da conformidade de aparelhos de iluminação LED de acordo com os aspetos fotobiológicos;
- ◆ Estudo de ferramentas de calibração e ajuste de equipamentos utilizados nos testes experimentais.

## 1.6. Organização da dissertação

A presente dissertação divide-se em sete capítulos que integram uma repartição, o desenvolvimento do trabalho, uma conclusão e referências bibliográficas.

O primeiro capítulo de Introdução dedica-se à apresentação da aluna, da empresa na qual se realizou o estágio e dos objetivos a alcançar com o trabalho.

O segundo capítulo de “Radiação e Iluminação” desenvolve os vários tipos de radiação, assim como a iluminação do passado, do presente e do futuro próximo.

No terceiro capítulo “Radiação emitida por LED e seus efeitos sobre o corpo humano”, aborda-se o funcionamento do LED e os efeitos fotobiológicos provocados pelo LED no corpo humano.

No quarto capítulo “Ensaio fotobiológicos de lâmpadas”, depois de uma pesquisa extensiva, serão apresentados os ensaios que são realizadas à iluminação LED relativamente à radiação UV e “luz azul” e, também, serão apresentados os equipamentos necessários para a realização desses ensaios.

No quinto capítulo “Estabelecimento do sistema de ensaio”, são apresentadas as duas hipóteses encontradas de forma a selecionar os equipamentos para realizar os ensaios fotobiológicos, verificando as vantagens e desvantagens de cada uma. Aqui confrontam-se os dois fabricantes de equipamentos para ensaios fotométricos e fotobiológicos. Justifica-se qual das hipóteses é a mais fiável. Realiza-se uma breve descrição da empresa com quem o LIQ colaborará, do contrato realizado e, também, dos equipamentos a adquirir.

No sexto capítulo “Apresentação de resultados”, são apresentados resultados das medições fotobiológicas realizadas a vários tipos de luminárias LED.



## 2. Radiação e Iluminação

Para que seja possível falar sobre os níveis, efeitos e riscos da exposição da radiação é necessário ter conhecimento de alguns conceitos básicos da ciência da radiação. A humanidade descobriu a radioatividade e a radiação no final do século XIX. De facto, têm estado presentes no espaço desde o início do universo e os materiais radioativos fazem parte da terra desde o início da sua formação. [1]

### 2.1. Radiação

#### 2.1.1. Espectro das radiações

A radiação eletromagnética divide-se em dois tipos, a Radiação Ionizante e a Radiação Não Ionizante. Por sua vez, estas dividem-se em vários tipos, como se pode verificar no esquema da Figura 2-1, ao longo de uma extensa faixa de frequências denominada espectro eletromagnético.

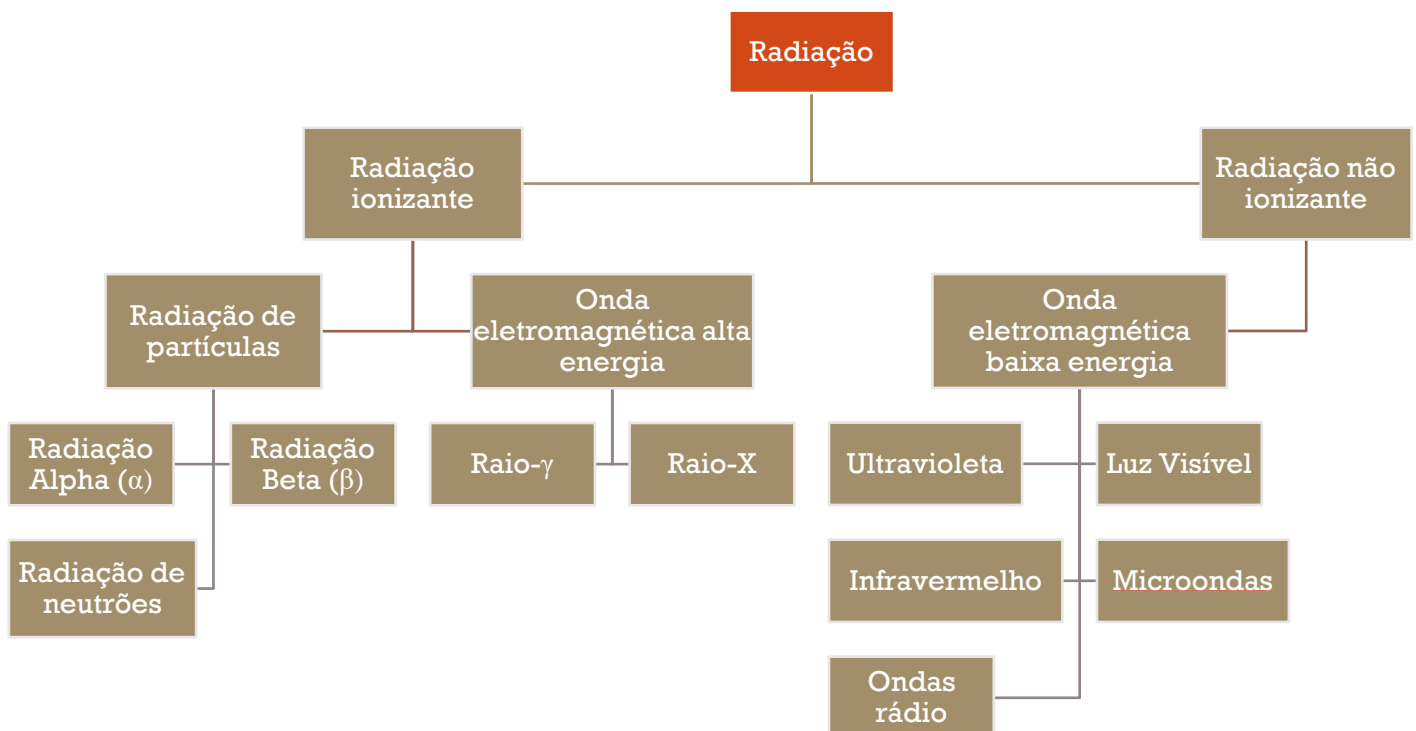


Figura 2-1 - Tipos de radiação

A radiação eletromagnética pode ter comprimentos de onda que vão desde quilómetros até à dimensão do núcleo atómico. As faixas do espectro eletromagnético estão divididas de acordo com as suas características.

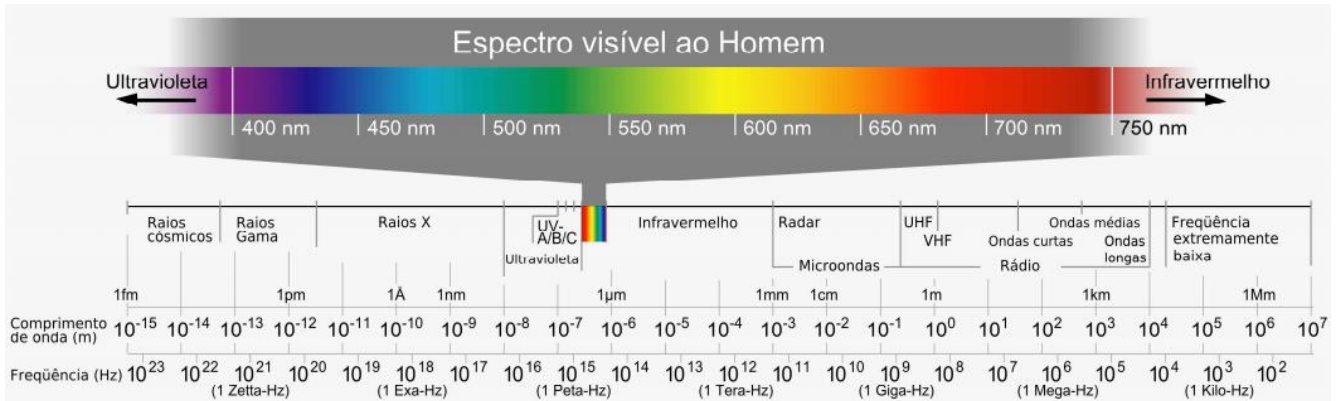


Figura 2-2 - Espectro Eletromagnético [18]

Como se pode verificar no espectro eletromagnético da Figura 2-2 a Radiação Ionizante está dentro da gama dos 10<sup>16</sup> Hz aos 10<sup>23</sup> Hz (10<sup>-8</sup> m aos 10<sup>-15</sup> m), enquanto que a Radiação Não Ionizante se encontra entre os 10<sup>4</sup> Hz até aos 10<sup>16</sup> Hz (10<sup>4</sup> m aos 10<sup>-8</sup> m). De seguida abordam-se estes dois tipos de Radiação mais aprofundadamente.

### 2.1.2. Radiação Ionizante

A Radiação Ionizante é capaz de expulsar eletrões da sua órbita em volta do átomo, interferindo com o equilíbrio eletrões/protões e concedendo ao átomo uma carga positiva. Ou seja, radiação ionizante é a radiação cuja energia é superior à energia de ligação dos eletrões do átomo com o núcleo, radiação cuja energia é suficiente para arrancar eletrões das órbitas. [2]

De todo o espectro eletromagnético os Raios-X e os Raios-γ são os únicos exemplos de Radiação Ionizante. A Radiação Ultravioleta é considerada não ionizante para efeitos da fotobiologia. Isto deve-se ao facto de esta não apresentar energia suficiente para conseguir extrair os eletrões dos átomos principais que constituem o corpo humano como o hidrogénio, oxigénio, carbono e azoto além de não conseguir penetrar profundamente os tecidos vivos.

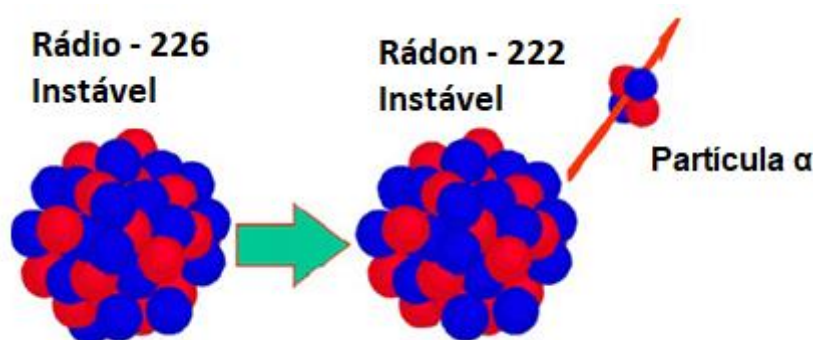
De seguida são apresentados os tipos de radiações ionizantes existentes:

### Radiação alfa ( $\alpha$ ):

Radiação  $\alpha$  é constituída por partículas  $\alpha$ , que são compostas por dois prótons e dois neutrões cada e carregam uma carga positiva. Estas partículas são também designadas como núcleos de He (hélio), visto que este elemento possui no seu núcleo dois prótons e dois neutrões. No que concerne à penetração em matéria, esta radiação é bastante limitada devido à sua carga e grande massa. A radiação  $\alpha$  pode ser parada por uma folha de papel ou pela camada externa de células mortas da pele.

A radiação  $\alpha$  de substâncias nucleares não apresenta qualquer perigo fora do corpo. No entanto, aquando da sua inalação ou ingestão é completamente absorvida pelos tecidos corporais. Por este motivo, a radiação  $\alpha$  é unicamente um perigo interno.

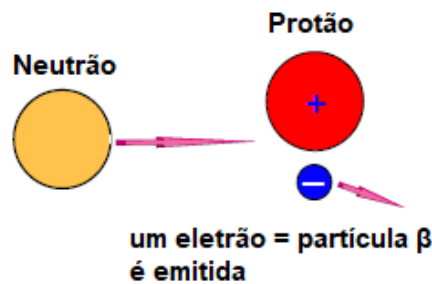
Uma fonte radioativa que emite partículas  $\alpha$  é designada emissor  $\alpha$ . A maior parte das fontes naturais compostas por elementos pesados como o rádio e tório são emissores  $\alpha$ . O rádio apresenta um núcleo instável, pesando 266 unidades atómicas. Decompõe-se emitindo uma partícula  $\alpha$  tornando-se num novo elemento o Rádion (Rn-222), como mostra a Figura 2-3, pesando 222 unidades atómicas. No entanto, este elemento é instável pelo que se irá decompor em Pólio, Po-218. [3]



*Figura 2-3 - Exemplo da emissão de partículas  $\alpha$  [3]*

## Radiação beta ( $\beta$ ):

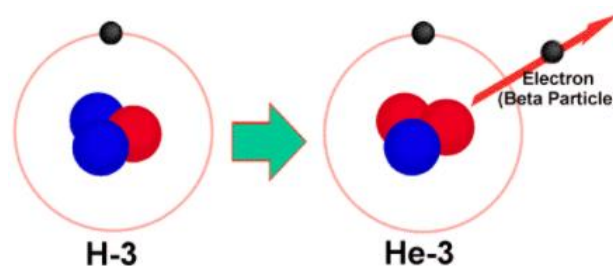
A radiação  $\beta$  é a ejeção de partículas carregadas do núcleo de um átomo. Um núcleo instável emitindo uma partícula  $\beta$  poderá tornar-se mais estável, esta é fisicamente idêntica ao eletrão, ou seja, as partículas  $\beta$  têm normalmente carga negativa. Neste processo um neutrão do núcleo é transformado num próton e num eletrão como mostra a Figura 2-4.



*Figura 2-4 - Emissão partícula  $\beta$  [3]*

As partículas  $\beta$ , por serem muito pequenas, conseguem mais facilmente e profundamente penetrar em materiais do que as partículas  $\alpha$ . No entanto, a energia das partículas  $\beta$  emitida é normalmente muito inferior à das partículas  $\alpha$ . Grande parte da radiação  $\beta$  pode ser travada por pequenas camadas de folhas de plástico, vidro ou metal.

Quando a radiação se encontra no exterior do corpo poderá apresentar energia suficiente para penetrar a camada de células mortas no exterior da pele e deposita assim a energia dentro das células da pele. Contudo, a radiação  $\beta$  é bastante limitada no que concerne à capacidade de penetração mais profunda em tecidos e órgãos. Não obstante, a radiação  $\beta$  no interior do corpo pode ser perigosa. Um exemplo de uma substância nuclear que emite partículas  $\beta$  é o trítio (hidrogénio-3) que se decompõe em hélio-3, como se pode verificar na Figura 2-5. [2]



*Figura 2-5 - Decomposição do trítio em hélio-3 [19]*

### Radiação de neutrões (n):

A fissão espontânea é uma fonte natural de neutrões, para além da radiação cósmica. A produção de energia nuclear é baseada no seguinte princípio: os neutrões emitidos por uma fissão podem atacar o núcleo de um átomo adjacente e causar outra fissão originando assim uma reação em cadeia. Uma fonte comum de neutrões é o reator nuclear, em que a decomposição de urânio e plutónio é seguida da emissão de neutrões. Todas as outras fontes de neutrões dependem de reações em que o núcleo é bombardeado com uma radiação emitindo assim neutrões.

Os neutrões apresentam a capacidade de penetrar em tecidos e órgãos do corpo humano quando a fonte de radiação é exterior ao mesmo. Dentro do corpo são perigosos. A radiação de neutrões pode ser travada ou absorvida por materiais que contenham átomos de hidrogénio como a cera de parafina e plásticos. [2]

### Raios – $\gamma$ :

Radiação de fotões é um tipo de radiação eletromagnética. A radiação  $\gamma$  é um exemplo da radiação de fotões, que consiste em fotões originados a partir do interior do núcleo. Esta radiação apresenta menor produção de iões do que a radiação  $\alpha$  e a radiação  $\beta$ .

Esta radiação é considerada muito penetrante sendo, por isso, a blindagem difícil, conseguindo-se só com materiais muito densos como o chumbo ou aço. Alcança distâncias muito superiores à radiação  $\alpha$  e à radiação  $\beta$ , conseguindo penetrar tecidos e órgãos do corpo quando a radiação é exterior ao corpo. Dentro do corpo também é perigosa. Um exemplo de uma substância que emite fotões é o Cobalto-60 que se decompõe em Níquel-60, como mostra a Figura 2-6. [2]

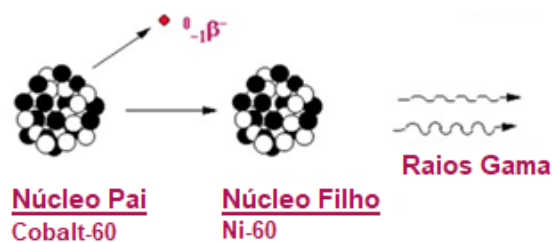


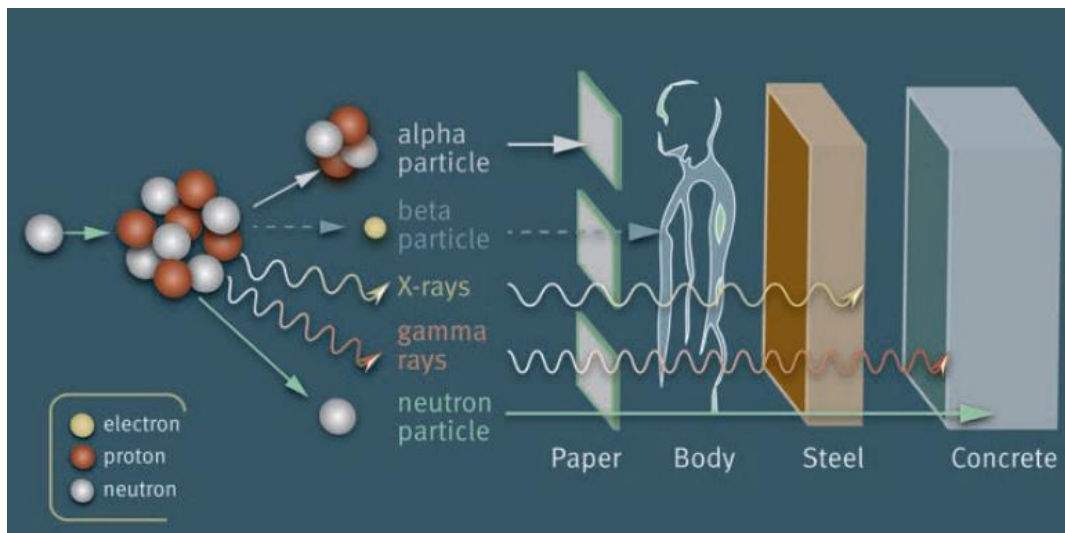
Figura 2-6 - Decomposição do Cobalto em Níquel [19]

## Raios – X:

A radiação raios- x é outro exemplo de radiação de fótons. No entanto, esta consiste em fótons originados fora do núcleo e apresenta energia inferior à radiação  $\gamma$ , normalmente. Os raios – x podem também ser produzidos pelo impacto de elétrons sobre um alvo, as máquinas de raio – x seguem este princípio.

A penetração é semelhante ao da radiação  $\gamma$  e a blindagem apresenta bastantes dificuldades.

A Figura 2-7 apresenta a profundidade de penetração dos vários tipos de Radiação Ionizante em relação ao papel, corpo humano, aço e cimento.



*Figura 2-7 - Profundidade de penetração das radiações ionizantes [1]*

### 2.1.3. Radiação Não Ionizante

A Radiação Não Ionizante possui menos energia que a Radiação Ionizante. Por isso, não é capaz de realizar a ionização, ou seja, não apresenta energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos.

Como se pode verificar na Figura 2-2 a Radiação Não Ionizante é composta por frequências mais baixas. Exemplos desta radiação são: Ultravioleta, Infravermelho, Radiofrequência, Micro-ondas e Luz Visível.

De seguida, apresentam-se vários tipos de Radiação Não Ionizante, a Radiação UV será apresentada no Subcapítulo 2.1.4.

### **Radiação Infravermelha:**

A radiação infravermelha IR é emitida por corpos em que a sua superfície se encontra a qualquer temperatura. Quando elevada, esta radiação é perceptível como uma sensação de calor na pele podendo causar queimaduras na pele, lesões nos olhos, entre outros, dependendo da intensidade e do comprimento de onda. A radiação IR divide-se em IRA comprimento de onda entre 760 nm – 1400nm, IRB comprimento de onda entre 1400 – 3000 nm e IRC com comprimento de onda entre 3000 nm – 1 mm.

A radiação infravermelha para não apresentar efeitos negativos na saúde terá de se compreender entre os seguintes comprimentos de onda de 770 nm e 1400 nm. [4]

### **Radiação Radiofrequência:**

As ondas de radiofrequência conseguem transportar-se no ar, água, fibras óticas, etc, a sua velocidade de transporte é igual à velocidade da luz pelo ar. As radiações de baixas frequências são utilizadas na radionavegação, radiofaróis, entre outros e não apresentam efeitos nocivos na saúde humana.

### **Micro-ondas:**

Os efeitos das micro-ondas dependem da frequência e da potência. Relativamente aos efeitos térmicos, quanto menor for a frequência maior é o risco em órgãos internos devido ao facto destas ondas conseguirem penetrar no organismo. Quanto maior a potência e o tempo de exposição a probabilidade de os expostos às micro-ondas ficarem doentes é mais elevada.

No que concerne aos efeitos dos campos elétricos e magnéticos, as pessoas expostas aos mesmos poderão apresentar a longo prazo alterações na pressão sanguínea, perturbações do sistema nervoso, distúrbios mentais etc. [4]

### 2.1.4. Radiação UV

A radiação ultravioleta UV é outro exemplo da Radiação Não-Ionizante no espectro eletromagnético e encontra-se entre os comprimentos de onda de 100 nm e 400 nm. A radiação UV é dividida em 3 tipos de radiação a UVA (315-400 nm), a UVB (280-315 nm) e a UVC (100-280 nm) como podemos verificar na Figura 2-8.

A radiação UVA tem uma penetração de 1% no tecido sub-cutâneo, com aproximadamente 300  $\mu\text{m}$ . Por outro lado, a radiação UVB tem a sua penetração máxima em torno dos 200  $\mu\text{m}$  atingindo a derme com 9,5% da sua energia radiante. Por fim, a radiação UVC tem a capacidade de penetrar até a epiderme atingindo em profundidade 80  $\mu\text{m}$ .

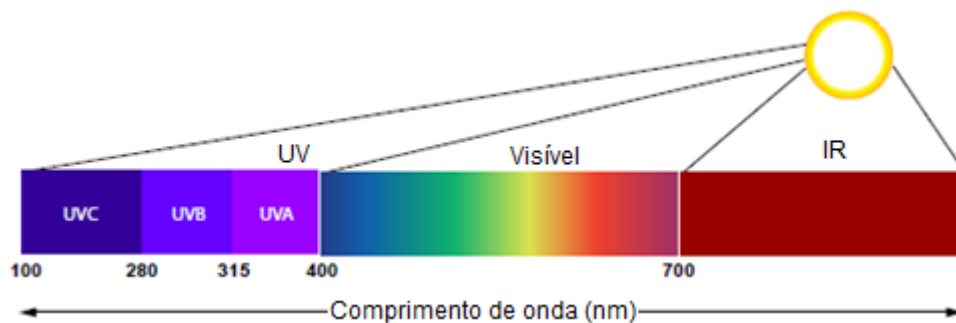


Figura 2-8 - Espectro da Radiação UV [20]

A radiação UV pode ser proveniente de fontes naturais e artificiais. As fontes naturais são o Sol, as radiações que penetram a camada de ozono são a radiação UVA e a radiação UVB. Fontes artificiais de radiação UV são, por exemplo, instrumentos cirúrgicos, equipamentos para soldar a arco e descarga e certos tipos de lâmpadas, como lâmpadas fluorescentes e lâmpadas LED.

A radiação UV provoca efeitos negativos na saúde humana sendo, entre muitos, danos na pele e nos olhos. No que concerne à pele, esta pode provocar cancro na pele e envelhecimento prematuro. Em relação aos olhos a radiação UV pode provocar cataratas, cancro da pele ao redor dos olhos, degeneração macular e fotoqueratite.[5]

## 2.2. A iluminação

### 2.2.1. Espectro visível

O espectro visível é uma parte do espectro eletromagnético que foi apresentado no ponto 2.1. Os olhos, órgãos recetores, são sensíveis à radiação eletromagnética denominada espectro visível, que se estende por uma banda estreita de comprimentos de onda, pois estes órgãos interpretam como luz a radiação dentro desta banda. Dependendo da espécie, os limites do espectro visível são diferentes. Para o olho humano o espectro visível encontra-se entre 350 nm e 700 nm.

As cores que apresentam comprimentos de onda determinadas são denominadas cores espectrais. Como se pode observar na Figura 2-9, nem todas as cores visíveis se encontram no espectro visível, estas não estão presentes devido ao facto de isso equivaler a ligar comprimentos de onda menores (azuis) aos maiores (vermelhos) sem passar pelos comprimentos de onda intermédio (verde e amarelo).

A cor branca também não é uma cor do espectro visível, pois não corresponde a nenhum comprimento de onda preciso, mas sim da deteção simultânea de radiação visível em muitos comprimentos de onda. [6]

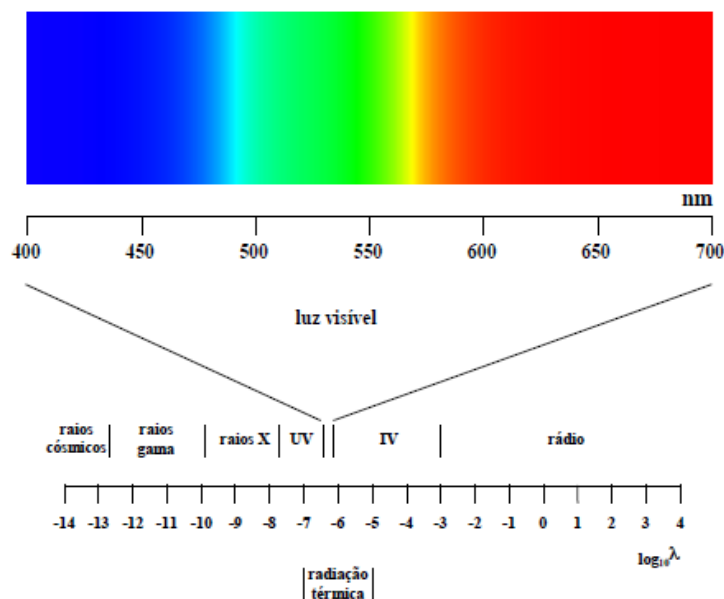


Figura 2-9 - Espectro visível [6]

## 2.2.2. Lâmpadas

A lâmpada é um componente que produz radiação eletromagnética dentro do espectro visível. Ao longo dos anos foram-se desenvolvendo várias tecnologias de iluminação e, conseqüentemente, novas lâmpadas.

### 2.2.3. Iluminação do passado

Uma das lâmpadas que dominou o passado foi a lâmpada de incandescência. A incandescência é realizada através de um aparelho emissor de radiação por elevação de temperatura, resultando numa passagem de corrente elétrica por um condutor. A vantagem deste tipo de lâmpadas é a reprodução de cores, representada na Figura 2-10, e baixo custo. No entanto, apresenta uma eficiência luminosa muito baixa, tempo de vida médio-curto, elevado consumo e maior degradação do fluxo luminoso. [7] [8]

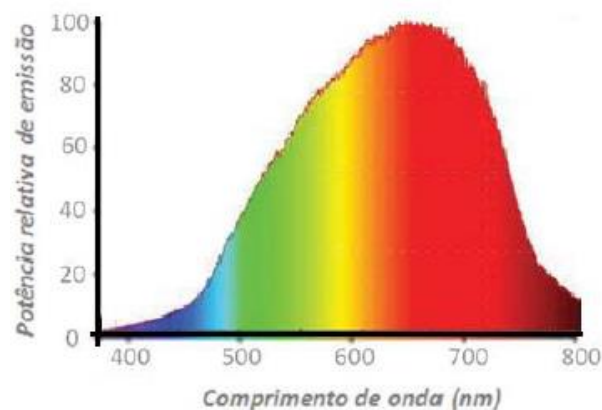


Figura 2-10 - Espectro luminoso de uma lâmpada incandescente [8]

Outro tipo de lâmpada, que foi bastante utilizado no passado, é a lâmpada vapor de mercúrio de alta pressão. Esta tem como princípio de funcionamento a descarga de dois eletrodos imersos numa atmosfera de Árgon, com uma pequena quantidade de Mercúrio. Esta apresenta uma eficiência luminosa muito baixa, mas superior às lâmpadas de incandescência, e a quantidade de Mercúrio presente é prejudicial para o meio ambiente. O espectro luminoso da lâmpada de vapor de Mercúrio está apresentado na Figura 2-11. [8]

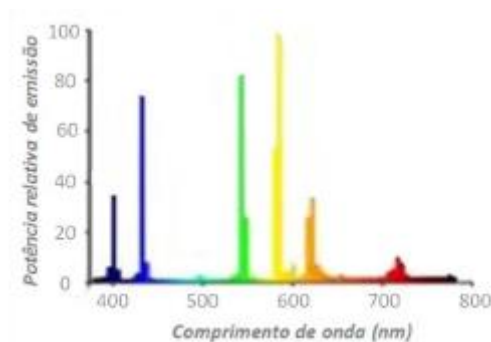


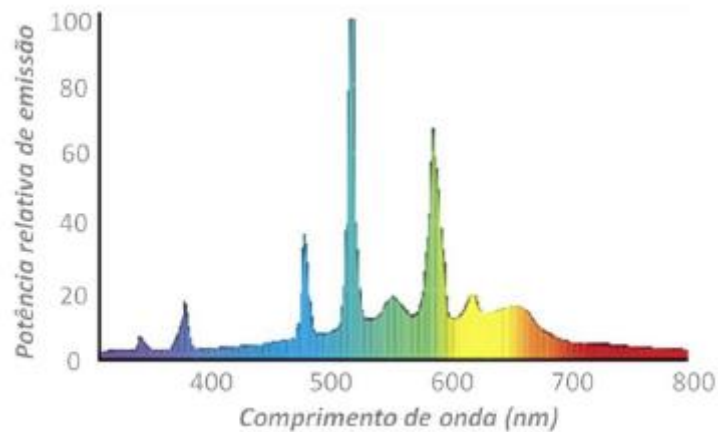
Figura 2-11 - Espectro luminoso da lâmpada de vapor de mercúrio [8]

## 2.2.4. Iluminação do presente

No presente as lâmpadas utilizadas são as Fluorescentes Compactas (FC), Vapor de Sódio de Alta Pressão (VSAP), Vapor de Sódio de Baixa Pressão (VSBP), Iodetos Metálicos (IM) e LED.

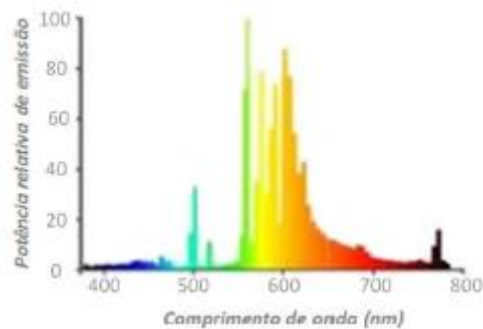
Relativamente às lâmpadas FC, o seu princípio de funcionamento é o mesmo que as lâmpadas Fluorescentes, ou seja, estas trabalham com vapor de mercúrio a baixa pressão, em que a maior parte da radiação que é produzida é UV. Excitando substâncias fluorescentes depositadas nas paredes do tubo de descarga com a radiação UV há emissão de radiação visível para o exterior. O que diferencia as lâmpadas FC das outras é a sua constituição, pois apresentam tamanho mais reduzido e um tubo de descarga curvado ou um conjunto de tubos de menor dimensão. [7]

Estas lâmpadas apresentam vantagens como maior rendimento, comparando com as de incandescência, elevada duração e baixo custo. No entanto, apresentam à saída um valor baixo de fluxo luminoso. O espectro de emissão da lâmpada fluorescente é o presente na Figura 2-12. [8]



*Figura 2-12 – Espectro luminoso da lâmpada FC [8]*

A lâmpada de VSAP assemelha-se à lâmpada de Mercúrio, tanto no que concerne à constituição como ao funcionamento. Para que a corrente a fornecer à lâmpada seja apropriada é necessária a utilização de uma fonte de alimentação e um balastro em série. Quanto maior é a potência maior é a temperatura no interior e, conseqüentemente, maior será a pressão do vapor e menor a resistência elétrica da lâmpada. Esta lâmpada apresenta elevada durabilidade e elevado rendimento. A Figura 2-13 ilustra o espectro luminoso desta lâmpada. [7][8]

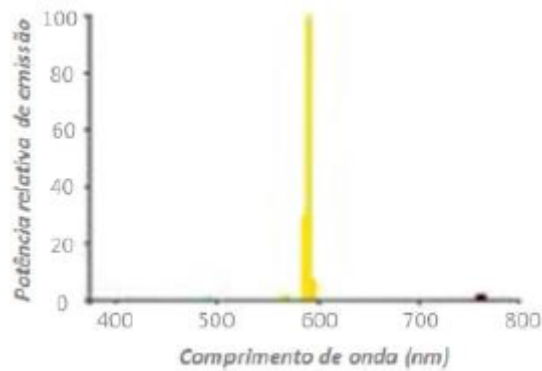


*Figura 2-13 - Espectro luminoso da lâmpada de VSAP [8]*

A lâmpada de VSBP assemelha-se à lâmpada Fluorescente, a diferença é o vapor utilizado, passando de mercúrio para sódio. O arranque, devido ao facto de o sódio se apresentar no estado sólido, é mais difícil. No entanto, com o recurso aos componentes gasosos Árgon e Néon o arranque é conseguido. [7]

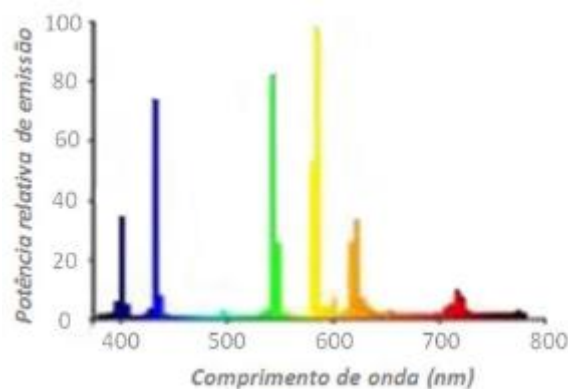
Esta lâmpada apresenta algumas desvantagens como o longo tempo de arranque, tempo de vida útil baixo e elevada tensão de arranque. No entanto, apresenta o mais elevado

índice de eficiência energética. Como se pode verificar pela Figura 2-14 a lâmpada de VSBP apresenta um espectro luminoso praticamente monocromático na região do amarelo, apresentando assim o pior Índice de Restituição de Cor (IRC) de todas as fontes luminosas.



*Figura 2-14 - Espectro luminoso da lâmpada de VSBP [8]*

A lâmpada de IM apresenta semelhanças com a lâmpada de vapor de Mercúrio, exceto a presença de Iodetos Metálicos, e melhor desempenho em termos de IRC. O arranque deste tipo de lâmpadas não se consegue unicamente com o eletrodo auxiliar, pelo que é necessária a utilização de aparelhagem auxiliar, o ignitor. Apresenta vantagens como boa eficiência e restituição de cores. No entanto, tem um tempo de vida útil e rendimento baixos. A Figura 2-15 apresenta o espectro luminoso da lâmpada de Iodetos Metálicos. [8]



*Figura 2-15 - Espectro luminoso da lâmpada de IM [8]*

A lâmpada LED será apresentada no subcapítulo 3.1.

### 2.2.5. Iluminação do futuro

A lâmpada de Plasma (LEP) é uma fonte luminosa de estado sólido, que utiliza um gerador de altas frequências para ionizar uma ampola carregada de Árgon. Dois fatores problemáticos desta tecnologia que se terão de avaliar, são: a emissão de Interferências Eletromagnéticas e a temperatura. Ou seja, terá de se garantir que a emissão das Interferências Eletromagnéticas seja mantida dentro da luminária e que haja uma correta dissipação do calor.

As vantagens da LEP passam pela excelente eficiência na distribuição da luz, iluminação muito próxima da natural, redução do consumo de energia, integração de qualquer sistema de controlo e IRC excelente. De seguida é apresentada a Tabela 2-1 que mostra as diferenças e semelhanças da lâmpada LEP com outros tipos de lâmpada.

*Tabela 2-1 - Comparação de alguns aspetos das LEP e outras tecnologias existentes*

<b>Tecnologia</b>	<b>Semelhanças</b>	<b>Diferenças</b>
<i>LEP vs LED</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fiabilidade elevada devido à utilização de eletrónica de estado sólido;</li> <li>▪ Direccionalidade da luz;</li> <li>▪ Níveis de eficiência;</li> <li>▪ Capacidade de <i>dimming</i>;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espectro visível total, logo os plasmas possuem um IRC mais elevado;</li> <li>▪ O plasma demora mais tempo a atingir a potência máxima e mais tempo de rendimento.</li> </ul>
<i>LEP vs Indução</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Não necessita de elétrodos para transferência de energia;</li> <li>▪ Bolbo de elevada durabilidade, completamente selado e livre de contaminações.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Maior brilho;</li> <li>▪ Mais compacta;</li> <li>▪ Maior IRC.</li> </ul>
<i>LEP vs Lâmpada de descarga de alta intensidade</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Maior fiabilidade;</li> <li>▪ Controlo mais preciso;</li> <li>▪ Não necessita de elétrodos;</li> <li>▪ Custos menores de operação.</li> </ul>

A lâmpada OLED é caracterizada pela sua constituição fina e plana composta por camadas de plásticos e outros materiais orgânicos que, através de uma área potencialmente grande, emitem luz. No que concerne ao funcionamento, os eletrões e as

lacunas são injetados no cátodo e no ânodo, sendo emitidos fótons quando as cargas portadoras se combinam na camada orgânica. São adicionadas Camadas Transportadoras de Eletrões e Camadas Transportadoras de Lacunas à estrutura da lâmpada para diminuir a complexidade de injeção dos portadores dos contactos inorgânicos para a camada orgânica.

A lâmpada OLED apresenta algumas vantagens como a estrutura fina e de material flexível e transparente, utilização de picos de intensidade luminosa baixos numa área alargada, bom IRC e possibilidade de *dimming*. No entanto, é muito sensível à humidade, apresenta eficiência luminosa baixa e o brilho não se mantém durante muito tempo. [8]



## 3. Radiação emitida por LED e seus efeitos sobre o corpo humano

### 3.1. LED

O LED (*Light Emitting Diode*) é um díodo semiconductor que ao ser atravessado por uma corrente elétrica emite luz. O semiconductor é um material que se encontra entre os extremos de um isolante e um condutor no que concerne ao nível de condutividade. Os LED são compostos por camadas de diferentes semicondutores em estado sólido.

O cristal que forma o semiconductor será constituído por um material de um composto químico normalmente com três elétrons na camada exterior ou de valência, como o alumínio ou gálio. A região do tipo n será a fonte de cargas negativas e é obtida através da substituição de átomos do material principal por átomos de um elemento químico com um número superior de elétrons de valência, neste caso quatro. A região do tipo p é onde o elemento introduzido terá um elétron a menos na camada exterior, originando, assim, um défice de elétrons (lacunas), logo será a fonte de cargas positivas.

Entre a região p e a região n existe a região ativa, que é onde se irá produzir a luz, sendo constituída por camadas extremamente finas de material semiconductor. Aquando da aplicação de uma tensão elétrica entre as regiões n e p, os elétrons livres e as lacunas são transportados para a região ativa pelo que, ficando aí confinados, há a possibilidade destes se recombinarem, o que acontecendo leva à libertação de um fóton e, conseqüentemente, à emissão de luz. A Figura 3-1 ilustra o fenómeno descrito. [7]

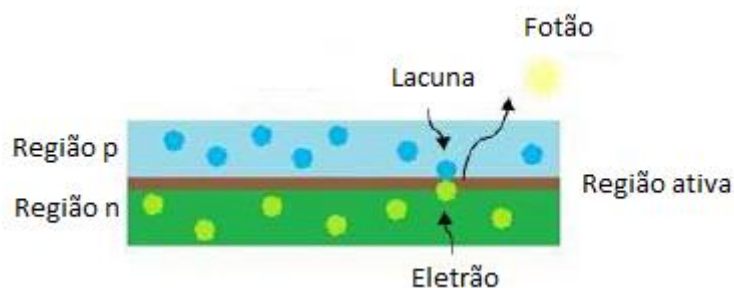


Figura 3-1 – Emissão de luz num LED [7]

A luz emitida pelo LED poderá ser visível, infravermelho ou ultravioleta. A cor da radiação emitida depende do comprimento de onda dominante e do tipo de material semiconductor da junção p-n do díodo e da região ativa. Como se pode verificar pela Figura 3-2, para comprimentos de onda elevados emite cores mais frias, para comprimentos de onda menores emite as cores mais quentes. A figura também mostra os tipos de material semiconductor utilizado para a emissão das várias cores.

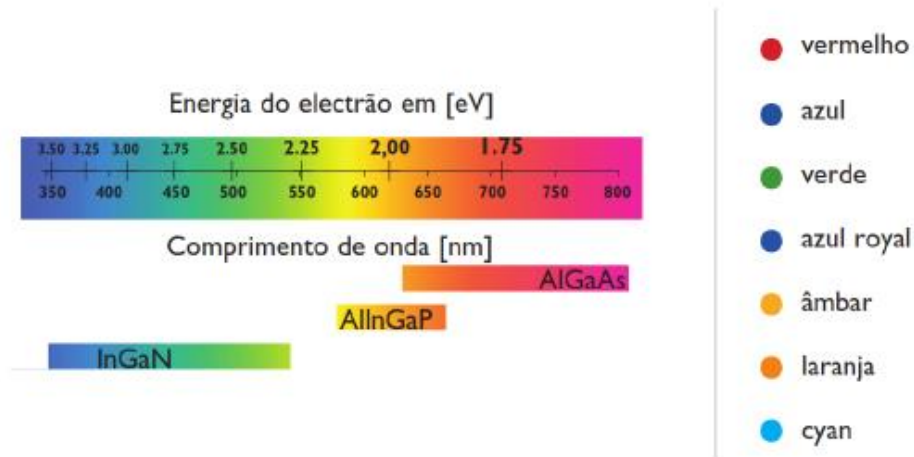


Figura 3-2 - Cores emitidas pelo LED [9]

A luz branca pode ser gerada através de duas formas, sendo que as duas utilizam o LED de cor azul: pelo sistema RGB (*red green blue*) ou pelo sistema PC (*phosfor converted*). O sistema PC é mais utilizado, pois apresenta menos custo, maior eficácia luminosa com maior fluxo luminoso comparativamente ao sistema RGB. [9]

O sistema RGB consiste na mistura de radiações com diferentes comprimentos de onda que formam os componentes principais do espectro visível da radiação, ou seja, utilizando o LED de cor vermelha, verde e azul em determinadas proporções consegue-se obter a luz branca.

O sistema PC consiste no uso de um conversor fosfórico. Este é colocado sob a luz azul proveniente do LED e, ao ser excitada pela luz incidente, emite luz amarela à qual seguidamente é adicionada a luz azul não absorvida pelo conversor fósforo produzindo assim a luz branca. A Figura 3-3 mostra o fenómeno apresentado anteriormente. [7]

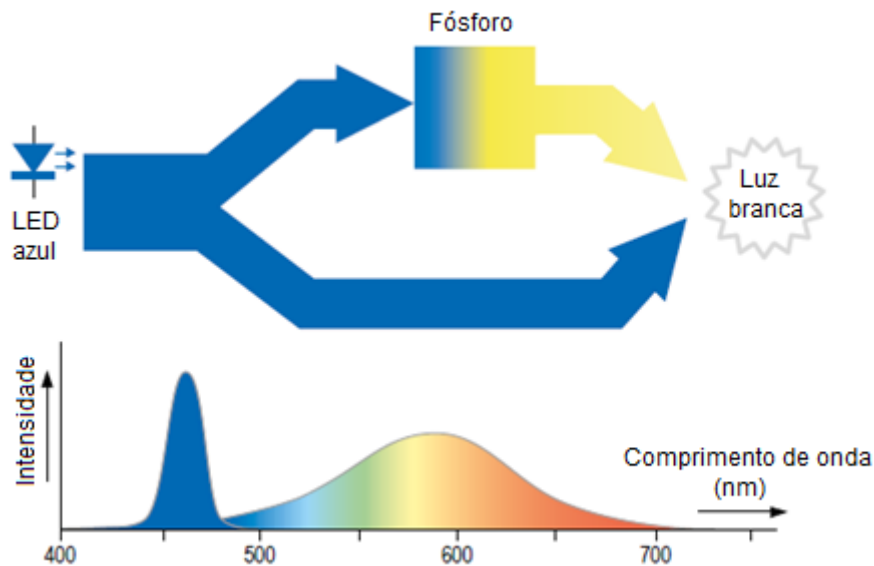


Figura 3-3 - Princípio de funcionamento do LED através do sistema PC [21]

### 3.2. Efeitos fotobiológicos

Como referido, a emissão de luz LED poderá apresentar-se na forma de infravermelho, luz visível ou ultravioleta. A emissão de infravermelho e ultravioleta, se em grandes quantidades, poderá provocar efeitos negativos na saúde humana. De seguida apresentam-se os efeitos fotobiológicos que os LED apresentam e também os limites impostos para a emissão destas radiações.

Fotobiologia é o estudo da interação de radiação ótica com os organismos vivos. A radiação ótica é definida como a radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre 100 nm (UV) a 1 mm (IR). Como a radiação ótica é absorvida pelos tecidos, com penetração profundas de poucos micrómetros para UV e milímetros para IR implicando que a pele e os olhos são os órgãos que estão em maior risco de exposição.

A resposta biológica à exposição resulta de uma variedade de processos de transformação de energia, geralmente categorizados em interações fotoquímicas ou térmicas. Enquanto

que a interação fotoquímica domina na faixa dos comprimentos de onda curtos, onde a energia dos fótons é maior, os efeitos térmicos tendem a dominar nos comprimentos de onda mais elevadas. [10]

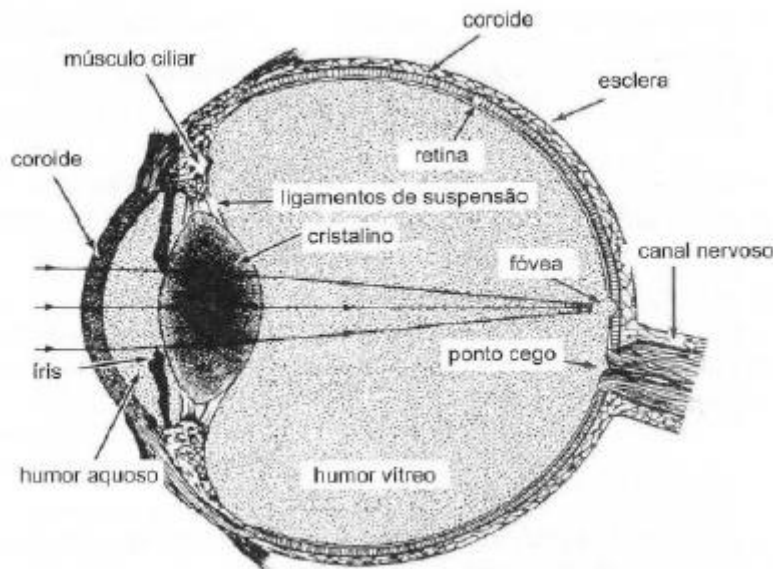
De seguida é descrito o funcionamento e constituição do olho e da pele para melhor compreensão de como as radiações os afetam. Segundo a diretiva 2006/25/CE os efeitos fotobiológicos potencialmente perigosos associados aos LED no olho e na pele apresentam-se resumidos na Tabela 3-1.

*Tabela 3-1 - Riscos associados a cada comprimento de onda*

<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Olho</b>	<b>Pele</b>
<i>180-400 (UVA, UVB E UVC)</i>	Fotoqueratite Conjuntivite Cataratogénese	Eritema Elastose Cancro da pele
<i>315-400 (UVA)</i>	Cataratogénese	---
<i>300-700 (Luz azul)</i>	Foto-retinite	---
<i>380-1400 (Visível e IRA)</i>	Queimadura da retina	---
<i>780-1400 (IRA)</i>	Queimadura da retina	---
<i>7800-3000 (IRA e IRB)</i>	Queimadura da córnea Cataratogénese	---
<i>380-3000 (Visível, IRA e IRB)</i>	---	Queimadura

### 3.3. O olho

A imagem real de um objeto é produzida pelo cristalino, que recebe a luz de objetos exteriores, sobre uma região sensível à luz que se designa de retina. Na Figura 3-4 encontra-se representado esquematicamente o interior do olho.



*Figura 3-4 - Secção longitudinal e vertical de um olho humano [11]*

O exterior do olho é constituído pela esclerótica, a coróide e a córnea transparente. A esclerótica tem uma função de proteção, a coróide alimenta os tecidos do olho através dos vasos sanguíneos e a córnea é a região de contacto com o exterior.

O interior do olho é formado por três regiões distintas o cristalino, a íris e a retina. O cristalino é a lente principal do sistema ótico com distância focal variável, a íris é a região que dá cor aos olhos e a retina é constituída por milhões de células sensíveis à luz.

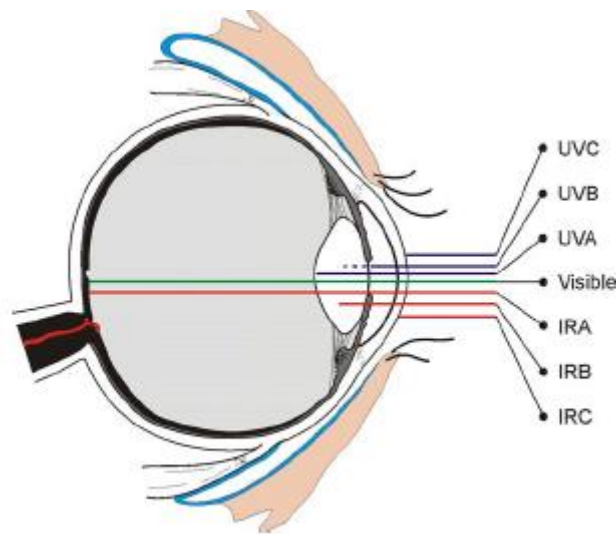
Existem dois tipos de células sensíveis à luz, os cones e os bastonetes. Os cones são responsáveis pela visão da cor, existem os cones sensíveis ao vermelho, ao azul e ao verde. Os bastonetes não detetam qualquer cor sendo unicamente sensíveis à intensidade luminosa.

Através do nervo ótico, os cones e os bastonetes enviam impulsos elétricos ao cérebro. Este tem como função inverter a informação que recebe da imagem que se forma na

retina, imagem que é real e invertida, e processá-la. A visão em profundidade é conseguida através da sobreposição no cérebro de duas imagens quase iguais, cada uma delas é proveniente de um dos olhos. [11]

### 3.3.1. Interação entre a radiação e o olho

A incidência da luz visível no olho passa pela córnea, humor aquoso, pupila e retina. Os nervos óticos carregam sinais dos fotorreceptores da retina até ao cérebro. A Figura 3-5 apresenta as diferenças entre as radiações no que concerne à penetração no olho.



*Figura 3-5 - Penetração dos diferentes comprimentos de onda no olho [12]*

A radiação UVC é absorvida pela camada superficial da córnea, a radiação UVB passa a córnea e é absorvida pela lente e a radiação UVA ultrapassa a córnea e é absorvida pelo cristalino. Quando o olho humano é submetido a superexposição de radiação ultravioleta pode surgir o aparecimento de foto queratites e foto conjuntivites, inflamação da córnea podendo levar à cegueira.

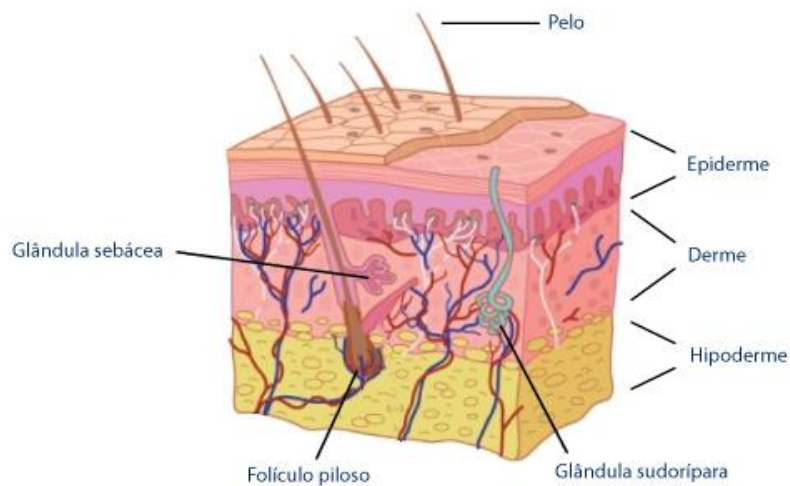
No que concerne à luz visível o dano é mais profundo em comprimentos de onda na gama dos 435-440 nm, na zona da luz azul designando-se por isso como “perigo da luz azul”. [12]

A radiação IRC é que menos impacto tem, sendo absorvida pela camada superficial da córnea, a radiação IRB penetra até à lente e por fim a que mais impacto tem é a radiação IRA, que consegue penetrar todas as camadas do olho.

### 3.4. A pele

O maior órgão do corpo humano é a pele, equivalendo a 16 % do peso do corpo com uma área de superfície de 1,8 m<sup>2</sup>. A sua função mais importante é a de proteção contra o meio ambiente, permitindo e limitando a passagem de água para o interior e para o exterior, assim como os eletrólitos. Protege contra micro-organismos, radiações ultravioleta e agentes tóxicos.

A pele é dividida em três camadas, a epiderme a derme e a hipoderme, como se pode observar na Figura 3-6.



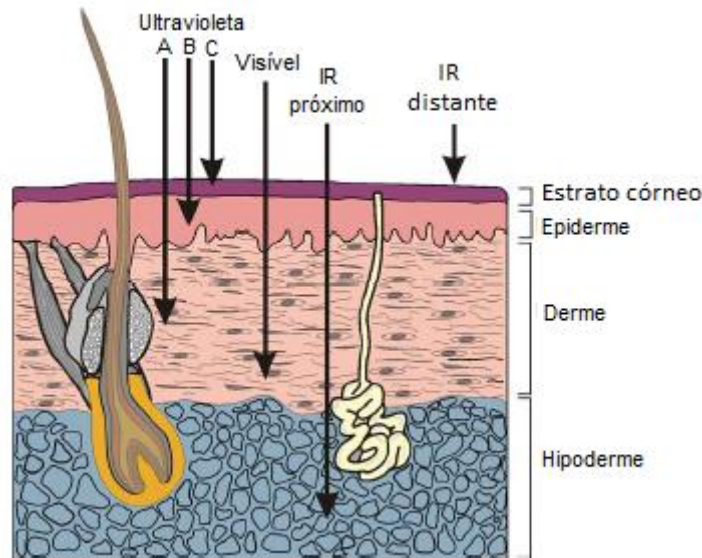
*Figura 3-6 - Camadas da pele [22]*

A pele é um órgão dinâmico, que se encontra sempre em constante mudança, as células da camada superficial estão em constante substituição pelo movimento das células internas para a superfície.

A melanina e os melanócitos desempenham um papel importante no que concerne à função de barreira, protegendo contra danos da radiação UV. A radiação UV induz a proliferação de queratinócitos o que promove o aumento da espessura da epiderme. [13]

### 3.4.1. Interação entre a radiação e a pele

No que concerne à penetração da radiação ótica na pele, esta depende significativamente do comprimento de onda da radiação como se pode verificar na Figura 3-7.



*Figura 3-7 - Penetração dos diferentes comprimentos de onda na pele [12]*

Através da Figura 3-7 pode-se concluir que as radiações UVB e UVC são absorvidas pelas duas primeiras camadas da pele e que a radiação UVA consegue penetrar até à derme. Relativamente à luz visível, esta é também absorvida pela derme. No que concerne à radiação IR quando a emissão é próxima da radiação visível consegue penetrar até à hipoderme. No entanto, se a emissão for distante da radiação visível a radiação é absorvida pela primeira camada da pele.

## 4. Ensaaios fotobiológicos das lâmpadas

### 4.1. Introdução

A obrigação de ensaios fotobiológicos a LED advém da norma IEC 62031 [14]. Esta norma internacional especifica os requisitos gerais e de segurança dos módulos LED. A norma está dividida em 22 capítulos, sendo o último relacionado com a segurança fotobiológica.

A norma IEC 62031 – “Módulos LED para iluminação em geral” apresenta os requisitos gerais e os requisitos de segurança relativos aos módulos LED. Apresenta, ainda, os limites de emissão/exposição das radiações emitidas por estes módulos. Relativamente à radiação UV, a norma declara que a eficiência do perigo UV da radiação luminosa dos módulos LED não deve exceder 2 mW/klm. Os módulos LED que não dependam da conversão da radiação UV espera-se que não excedam o valor máximo da eficiência do perigo UV e, por isso, não requerem medições.

No que concerne ao efeito da luz azul a norma IEC 62031 faz referência à norma IEC TR 62778 [15] para ensaios do efeito da luz azul nos módulos LED. No que diz respeito à radiação IR, a norma informa que os módulos LED não são expectáveis de alcançar o nível da radiação IR, por isso, não necessitam de ensaios relativamente a essa radiação.

### 4.2. IEC 62471: Segurança fotobiológica de lâmpadas e sistemas de lâmpadas

A norma IEC 62471 – “Efeitos Fotobiológicos das Lâmpadas” [16] orienta relativamente à avaliação da segurança fotobiológica, especificando os limites de exposição, técnicas de referência de medição e esquemas de classificação para a avaliação e controlo dos efeitos fotobiológicos para todas as fontes de radiação ótica, ou seja, esta é a norma utilizada para a realização dos ensaios.

Segundo a norma existem dois métodos para a medição da radiação ótica para avaliar os efeitos fotobiológicos, a medição de irradiância e a medição de radiância. A radiância (L), é o fluxo luminoso por unidade de ângulo sólido, que é emitido ou transmitido por unidade de área projetada. É uma grandeza que indica o maior, ou menor, brilho da fonte

luminosa, ou luminária. A irradiância ( $E$ ), é o fluxo por unidade de área incidente numa superfície elementar. Esta grandeza indica a quantidade de luz emitida pela fonte luminosa, ou luminária, por unidade de superfície iluminada.

Enquanto a medição de irradiância é realizada frequentemente, a medição de radiância não é tão frequente e, por vezes, difícil de realizar, especialmente no que diz respeito a riscos fotobiológicos, porque envolvem um campo de visão que se altera dependendo da evolução do perigo.

### 4.2.1. Medição de irradiância

Na norma os ensaios de irradiância descritos aplicam-se à medição de irradiância banda larga e de irradiância espectral. O instrumento ideal para medição da irradiância envolve um detetor de área circular plana com diâmetro  $D$ , suficiente para atingir a razão sinal-ruído desejada e que:

- ◆ Aceite radiação num raio em cone circular, cuja linha central é perpendicular ao plano da área do detetor;
- ◆ Tenha uma resposta espacial angular que varia com o cosseno do ângulo formado pela perpendicular e a área do detetor;
- ◆ Tenha uma resposta espectral que é constante com a posição, dentro de uma gama de comprimentos de onda especificados.

O esquema da Figura 4-1 apresenta os principais conceitos que a medição de irradiância ou irradiância espectral envolve, incluindo, se necessário, a abertura para limitar o campo de visão, do semiângulo,  $A$ , a uma distância,  $H$ , do recetor que será maior que o diâmetro do detetor ( $D$ ).

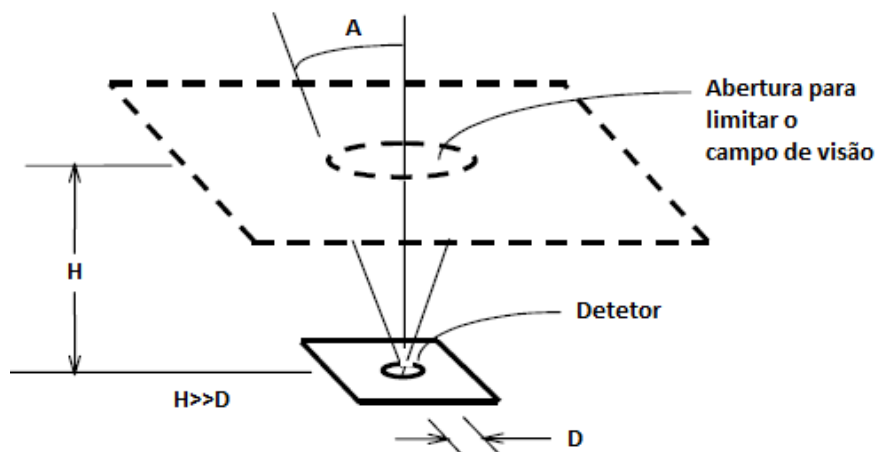


Figura 4-1 - Medição de irradiância [16]

As medições de irradiância aplicam-se aos perigos de 315 nm – 400 nm limite de exposição ocular ( $E_{UVA}$ ), limite de exposição IR ( $E_{IR}$ ) e limite de exposição de risco térmico na pele ( $E_H$ ).

As medições de irradiância espectral aplicam-se aos perigos de 200 nm – 400 nm limite de exposição ocular e da pele ( $E_S$ ) e limite de exposição ao risco de luz azul na retina ( $E_B$ ). A Tabela 4-1 resume os limites de exposição para a superfície da pele e da córnea.

Tabela 4-1 - Limites de exposição baseados em valores de irradiância

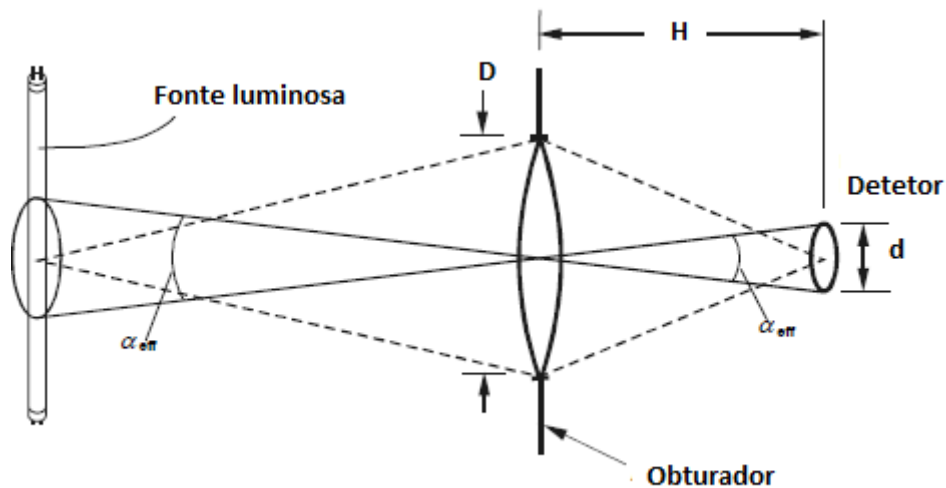
Perigo	Comprimento de onda (nm)	Duração de exposição (s)	Limite de exposição ( $W.m^{-2}$ )
<b>UV pele e olho</b>	200-400	< 30 000	30/t
<b>Olho UVA</b>	315-400	$\leq 1\ 000$	10 000/t
		$> 1\ 000$	10
<b>Luz azul</b>	300-700	$\leq 100$	100/t
		$> 100$	1
<b>Olho IR</b>	780-3 000	$\leq 1\ 000$	$18\ 000/t^{0,75}$
		$> 1\ 000$	100
<b>Térmico na pele</b>	380-3 000	< 10	$20\ 000/t^{0,75}$

## 4.2.2. Medição de radiância

Na norma os ensaios de radiância descritos aplicam-se à medição de radiância banda larga e de radiância espectral. As medições de radiância são executadas com um sistema ótico que:

- ◆ Reproduza a fonte de radiação num detetor;
- ◆ Tenha um obturador de campo circular para estabelecer o ângulo recomendado de forma a cobrir todo o campo de visão  $\alpha_{\text{eff}}$ ;
- ◆ Tenha um obturador que aja como uma abertura média como nas medições de irradiância. Para ângulos pequenos, a relação entre o diâmetro do detetor e a distância focal do dispositivo de imagem é  $d = \alpha_{\text{eff}} H$ .

Como nas medições de irradiância, o diâmetro mínimo do obturador  $D$ , da Figura 4-2, corresponde a um diâmetro de 7 mm para fontes pulsadas. O obturador poderá apresentar um diâmetro inferior a 7 mm se o perfil de radiância incidente for suficientemente uniforme.



*Figura 4-2 - Medição de luminância [16]*

As medições de radiância espectral aplicam-se aos riscos de limite de exposição de luz azul na retina ( $L_B$ ), limite de exposição térmica na retina ( $L_R$ ) e limite de exposição térmica na retina – estímulo visual fraco ( $L_{IR}$ ).

A Tabela 4-2 resume os limites de exposição da radiação na retina, sendo  $\alpha$  a posição angular.

*Tabela 4-2 - Limites de exposição baseados em valores de radiância*

Perigo	Comprimento de onda (nm)	Duração de exposição (s)	Limite de exposição ( $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ )
<b>Luz azul</b>	300-700	0,25-10	$10^6/t$
		10-100	$10^6/t$
		100-10 000	$10^6/t$
		$\geq 10\ 000$	100
<b>Térmico na retina</b>	380-1 400	< 0,25	$50\ 000/(\alpha.t^{0,25})$
		0,25-10	$50\ 000/(\alpha.t^{0,25})$
<b>Térmico na retina (estímulo visual fraco)</b>	780-1 400	> 10	$6\ 000/\alpha$

### 4.2.3. Método alternativo

As medições de radiância podem ser concebidas como uma medição de irradiância realizada com um campo de visão bem definido, em que o valor de irradiância medido é dividido pelo campo de visão de medição para obter o valor de radiância. Como alternativa a uma configuração de radiação da Figura 4-2, pode ser utilizada uma montagem com um obturador de área circular colocado na fonte pode ser usada para realizar medições de radiância, ver Figura 4-3. O tamanho do obturador de área,  $F$ , e a distância deste até ao obturador,  $r$ , definem o campo de visão:

$$\gamma = \frac{F}{r}$$

Esta configuração implica que o obturador de área possa ser colocado suficientemente próximo da fonte para produzir o campo de visão requerido. A relação entre a irradiância medida,  $E$ , e a radiância da fonte,  $L$ , para deteção paralela à área da fonte, para ângulos pequenos, é dada como:

$$E = L . \Omega$$

Onde  $\Omega$ , ângulo em sr, é o campo de visão de medição, ou seja, o ângulo sólido subtendido pelo ângulo plano,  $\gamma$ , mostrado na Figura 4-3. Além disso, para ângulos pequenos, a relação entre o ângulo do plano  $\gamma$  e o ângulo do sólido  $\Omega$  é:

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4}$$

Ou seja,

$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L \cdot \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2}$$

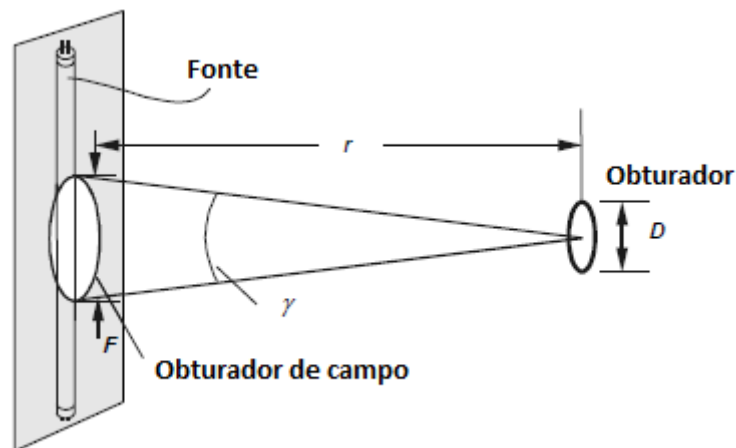


Figura 4-3 - Técnica alternativa [16]

#### 4.2.4. Métodos de análise

A norma IEC 62471 apresenta 3 métodos de análise dos resultados obtidos através dos ensaios, interpolação da curva de ponderação, cálculos e determinação da incerteza. Relativamente ao primeiro método, as curvas de ponderação não são, normalmente, suficientes para cálculos ponderados de emissão de fontes. As funções são razoavelmente lineares em qualquer região local, expressas em coordenadas semi-logarítmicas. Portanto, para padronizar os valores interpolados, usa-se a interpolação linear do logaritmo dos valores dados. A exponencial dos números interpolados resulta nos valores necessários para os fatores de ponderação.

No método de análise através do cálculo, os cálculos dos valores de perigo da fonte obtidos devem ser realizados ponderando a gama espectral através da função apropriada e calculando a energia total ponderada. Para fornecer um método eficaz, a norma sugere a interpolação ou o somatório de um nanómetro (1 nm) para os espectros abaixo de 400 nm. A ponderação e os somatórios são, então, realizados nesta resolução de 1 nm. Acima de 400 nm, recomenda-se uma escala de 5 nm.

Na determinação das incertezas, a qualidade de todos os resultados de medição deve ser quantificada por uma análise da incerteza. Todos os resultados calculados devem ser acompanhados pelos valores de incerteza, que estejam em conformidade com as recomendações das normas. A incerteza de cada resultado será relatada como a incerteza expandida, que é calculada a partir da incerteza padrão combinada,  $uc$ , pelo uso de um fator de abrangência,  $k = 2$ , conforme definido no guia ISO. Os valores de incerteza devem ser reproduzidos a partir das incertezas de calibração, através dos cálculos.

#### 4.2.5. Grupos de risco

Com o objetivo de classificar as lâmpadas de acordo com os efeitos fotobiológicos a norma divide a classificação em quatro os grupos de risco.

O primeiro grupo de risco é o Grupo Isento, as lâmpadas inserem-se neste grupo quando não representem:

- ◆ Perigo UV ( $E_S$ ) em exposição de 30 000 s;
- ◆ Perigo UV próximo ( $E_{UVA}$ ) em 1 000 s;
- ◆ Risco de luz azul na retina ( $L_B$ ) em 10 000 s;
- ◆ Perigo térmico da retina ( $L_R$ ) em 10 s;
- ◆ Risco de radiação IR para o olho ( $E_{IR}$ ) em 1 000 s.

O Grupo de Risco 1, risco baixo, baseia-se em lâmpadas que não representam um risco devido a limitações comportamentais normais durante a exposição. Este requisito é cumprido por qualquer lâmpada que exceda os limites do Grupo Isento, mas que não apresenta:

- ◆ Perigo UV ( $E_S$ ) em exposição de 10 000 s;
- ◆ Perigo UV próximo ( $E_{UVA}$ ) em 300 s;
- ◆ Risco de luz azul na retina ( $L_B$ ) em 100 s;
- ◆ Perigo térmico da retina ( $L_R$ ) em 10 s;
- ◆ Risco de radiação IR para o olho ( $E_{IR}$ ) em 100 s.

O Grupo de Risco 2, risco moderado, é fundamentado para lâmpadas que não representam risco devido à resposta de aversão a fontes de luz muito brilhante ou devido ao desconforto térmico. Este requisito é cumprido por qualquer lâmpada que exceda os limites do Grupo de Risco 1, mas que não represente:

- ◆ Perigo UV ( $E_S$ ) em exposição de 1000 s;
- ◆ Perigo UV próximo ( $E_{UVA}$ ) em 100 s;
- ◆ Risco de luz azul na retina ( $L_B$ ) em 0,25 s;
- ◆ Perigo térmico da retina ( $L_R$ ) em 0,25 s;
- ◆ Risco de radiação IR para o olho ( $E_{IR}$ ) em 10 s.

O último grupo de risco é o Grupo de Risco 3, risco alto. Neste caso, a lâmpada pode representar um risco, mesmo para exposição momentânea ou breve. As lâmpadas inseridas neste grupo de risco são todas as que excedem os limites do Grupo de Risco 2.

## 4.2.6. Equipamentos necessários e calibrações

### 4.2.6.1. Instrumentação

Monocromador duplo, dispositivo ótico que emite uma gama de comprimentos de onda, é o equipamento recomendado pela norma. A recomendação deve-se ao facto de a medição de uma fonte, para classificação de perigo, requerer uma precisão durante a calibração e o ensaio. A vasta resposta espectral do detetor e a alta resolução espectral necessária para fornecer ponderação precisa levam a requisitos rigorosos de rejeição de luz dispersa fora de banda. O monocromador duplo é o único instrumento que fornece a seletividade necessária, no entanto, apresenta limitações de velocidade. Os LED devido à sua limitação da faixa de emissão espectral o uso de um único monocromador pode ser suficiente para realização dos ensaios.

Detetores de banda larga, quando calibrados contra o espectro de ação apropriado podem ser utilizados para a realização dos ensaios. Quando a resposta do detetor e o espectro da fonte são conhecidos, os cálculos diretos podem gerar um fator de correção. Usado com um fator de correção apropriado, o detetor de banda larga fornece um método válido para medições.

#### 4.2.6.2. Limitações dos instrumentos e calibrações

A norma aborda os limites dos instrumentos relativamente à resposta espectral e à precisão do comprimento de onda.

No que concerne à resposta espectral, o resultado das avaliações de risco será influenciado pelas características do instrumento. A largura de banda do monocromador mudará os resultados ponderados de qualquer espectro com níveis variados. Todos os instrumentos de largura de banda finita emitem sinal no comprimento de onda errado, levando a erros na soma ponderada. A Tabela 4-3 mostra a largura de banda recomendada para o limite superior de incerteza de 2% em somas ponderadas.

*Tabela 4-3 - Largura de banda recomendada*

<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Largura de banda (nm)</b>
200 nm – 400 nm	$\leq 4$ nm
400 nm - 600 nm	$\leq 8$ nm
600 nm – 1400 nm	$\leq 20$ nm
> 1400 nm	Sem limitação

A precisão do comprimento de onda do instrumento usado para determinar a forma espectral de uma fonte tem um grande impacto nos valores ponderados. A precisão do comprimento de onda do monocromador usado para os ensaios dos efeitos fotobiológicos deve ser suficiente para fornecer resultados ponderados com um erro resultante da imprecisão do comprimento de onda inferior a 3%. A precisão necessária depende, portanto, da região do espectro e da função de ponderação utilizada.

## 4.3. IEC/TR 62778: Análise dos perigos da luz azul para luminárias e fontes de luz

### 4.3.1. Introdução

A norma IEC 62778 – “Aplicação da IEC 62471 para a avaliação dos efeitos da luz azul para fontes de luz e luminárias” proporciona clarificação e orientação no que diz respeito à verificação da luz azul dos produtos luminosos que emitem maioritariamente no espectro da luz visível. Nesta norma são apresentados alguns conceitos e recomendação relativos aos ensaios descritos na IEC 62471.

No negócio de iluminação, existe uma hierarquia de produtos baseada no nível de integração. Para todas as tecnologias de iluminação que existiam antes do aparecimento da tecnologia LED, existem dois níveis: a lâmpada e a luminária. A lâmpada é a principal fonte de luz, que é colocada na luminária.

Para a tecnologia LED, a situação é mais diversificada. Existe uma cadeia de níveis de produto, este pode ser composto apenas por alguns níveis, onde existe uma convenção na indústria para numerá-los da seguinte maneira:

- ◆ Nível 0: o chip LED;
- ◆ Nível 1: o pacote de LED, permitindo a soldadura e manuseio fora de um ambiente de sala limpa. Para pacotes de LED brancos, o material de fósforo que converte a luz azul do chip em outros comprimentos de onda que juntos produzem luz branca está contido no pacote.
- ◆ Nível 2: módulo LED básico, composto por um ou mais pacotes de LED numa placa de circuito impresso.
- ◆ Nível 3: Módulo de LED com funcionalidade estendida, geralmente consistindo numa placa de nível 2 com recursos adicionais para permitir montagem mecânica, ligação elétrica ou função ótica.
- ◆ Nível 4: a luminária, o produto LED utilizado na aplicação.

As considerações que permitem o fluxo de informações de um nível para o próximo são baseadas na “lei da conservação da radiância”. A "lei da conservação da radiância" afirma

que, se a radiância da fonte de luz primária é conhecida, permite obter o limite superior para a radiância de qualquer produto que contenha essa fonte de luz primária.

Devido à "lei da conservação da radiância", o melhor ponto de partida do fluxo de informação é a medição de radiância. Este valor de radiância pode ser transmitido ao longo da cadeia, desde a fonte de luz primária até à luminária, sem necessidade de medições adicionais, desde que a fonte de luz seja operada na luminária em condições semelhantes às testadas como componente.

Somente quando medidas óticas são tomadas na luminária para reduzir a radiância (como um difusor), uma medição adicional pode ser realizada para verificar o valor de radiância reduzido. Se esta medição não for realizada, o valor original da radiância permanecerá como uma estimativa de pior caso, o que está sempre no lado seguro.

Se a medição de radiância na fonte de luz primária fornecer um valor  $L_B$  no RG0 ou RG1, esta informação pode passar para todos os produtos baseados nesta fonte de luz primária. Ela nunca pode estar no RG2, independentemente do tipo de ótica e independentemente da distância de visualização no aplicativo.

Se a medição de radiância na fonte de luz primária fornecer um valor  $L_B$  na região RG2, existe a possibilidade de o produto final também estar na região RG2, dependendo da situação na aplicação. Na aplicação, só haverá uma situação de RG2 quando a irradiância na posição de visualização estiver acima de um valor de limiar  $E_{thr}$ , que pode ser calculado usando o limite superior de RG1 para  $E_B$  ( $1 \text{ W} / \text{m}^2$ ). Este valor pode ser calculado usando o espectro adquirido na medição de radiância.

Componentes óticos passivos, como lentes e refletores, não vão mudar  $E_{thr}$ . Se a radiância da fonte de luz primária estiver acima de  $10.000 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{sr})$ , o valor de  $E_{thr}$  pode ser passado ao longo da cadeia, a fim de determinar a classificação real do grupo de risco na aplicação.

A medição de radiância da fonte de luz primária pode dar três resultados possíveis:

a) RG0 ilimitado: a fonte de luz primária dá origem ao máximo RG0 em todas as luminárias a todas as distâncias;

b) RG1 ilimitado: a fonte de luz primária dá origem ao máximo de RG1 em todas as luminárias a todas as distâncias;

c)  $E_{thr}$  para RG2: a fonte de luz primária dá origem a RG2 a distâncias onde a luminária que contém a fonte de luz produz uma irradiância acima de  $E_{thr}$ , RG1 em distâncias onde a luminária que contém a fonte de luz produz uma irradiância abaixo de  $E_{thr}$ .

### 4.3.2. Condições para medição de radiância

Para a implementação das informações de medição descritas em 4.3.1, devem ser estabelecidas as condições de medição padrão para a medição de radiância na fonte de luz primária. Estas condições devem, pelo menos, especificar uma distância de medição e um campo de visão sobre o qual a radiância é verificada. De acordo com a prática existente na IEC 62471, um campo de visão de 200 mm e em ângulo de 0,011 rad fornece um bom ponto de partida. Essas condições fornecem um valor real de radiância se o campo de visão preencher a área emissora da fonte. Como isso corresponde a um diâmetro de apenas 2,2 mm, esse é o caso de muitas fontes de luz.

Se o campo de visão de 0,011 rad transbordar a fonte de luz, mesmo a uma distância de 200 mm, a medição não fornece um verdadeiro valor de radiação. Nesse caso, existem duas opções:

a) O campo de visão da medição pode ser reduzido de tal forma que suba a fonte de luz. Nesse caso, um valor de radiância  $L_B$  é determinado;

b) A medição é executada como medição de irradiância, fornecendo assim os dados para calcular o  $E_{thr}$ .

Algumas fontes de luz podem gerar tanta luz que é tecnicamente impossível produzir a medição a 200 mm, devido ao sobreaquecimento ou saturação do equipamento de medição. Nestes casos, a distância de medição pode ser aumentada para o valor, mínimo, onde uma medição se torna possível. Novamente, terá que ser avaliado se o campo de visão transbordar ou sobrecarregar a fonte de luz. Se ela preencher a fonte de luz, a medição produzirá um verdadeiro valor de radiância. Se sobrecarregar a fonte de luz,

haverá novamente a opção de reduzir o ângulo de visão ou de realizar uma medição de irradiância.

A Figura 4-4 mostra o fluxograma que resume as medições necessárias e as informações que precisam ser transmitidas da cadeia a partir da fonte de luz primária, a fim de classificar corretamente o grupo de risco da luminária.

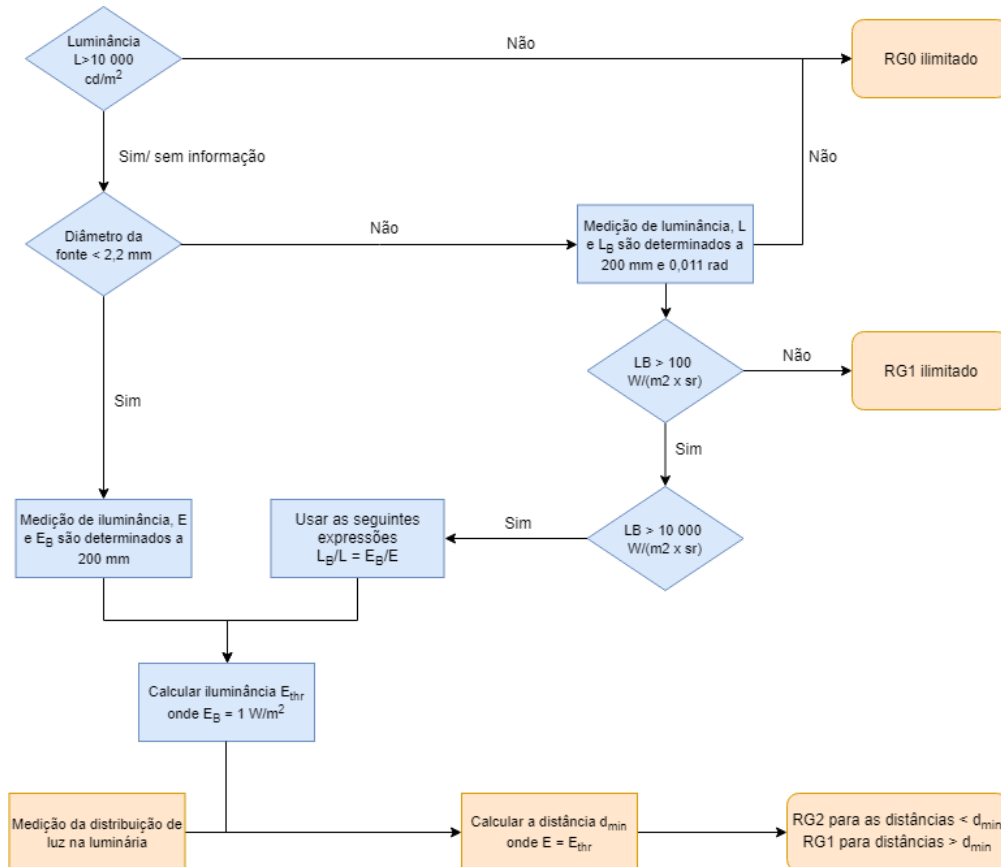


Figura 4-4 - Fluxograma da fonte de luz primária (azul) à luminária baseada na fonte de luz (laranja)

A norma de segurança do produto aplicável à luminária deve fornecer orientações sobre a que distância ou a que nível de irradiância o grupo de risco deve ser avaliado. Isto não é relevante para todas as fontes de luz primárias ilimitadas RG0 e RG1, mas é necessário no caso de uma fonte de luz primária com um valor  $E_{thr}$  para RG2

#### 4.4. Ambiente de ensaio

Segundo a Norma IEC 62471, o ambiente de ensaio tem de ser controlado de modo a que as medições das fontes de luz sejam precisas. A temperatura ambiente poderá influenciar

significativamente o output de certas fontes de luz. A norma IEC 62031 recomenda que a temperatura dos ensaios se encontre entre os 10 °C e os 30 °C.

Outro fator que influencia as características das fontes de luz são as correntes de ar. O movimento do ar na superfície da amostra, outro que o causado pela convecção natural da amostra, deve ser minimizado.

O ambiente de ensaio será preto mate de forma a reduzir as influências das fontes de radiação e das reflexões externas. As dimensões serão de 11,70x3,75x2,50 m como se pode verificar no Anexo A onde se encontra a planta do ambiente de ensaio.

## 5. Estabelecimento do sistema de ensaio

### 5.1. Hipóteses de aquisição dos aparelhos

#### 5.1.1. Hipótese 1 – Aquisição dos equipamentos

Existem duas possibilidades no que concerne à implementação do ensaio de efeitos fotobiológicos dos LED no LIQ. A primeira hipótese apresentada é a aquisição dos equipamentos e construção do canto de ensaios por conta própria. Ou seja, o LIQ iria suportar com todo o investimento necessário para isso.

As vantagens desta hipótese são o facto de os equipamentos serem do LIQ, não havendo, assim, problemas no que diz respeito aos contratos de confidencialidade dos ensaios realizados, à gestão dos equipamentos e conseguir utilizar os equipamentos sempre que se necessitar a qualquer momento.

As desvantagens serão o investimento inicial necessário, que é bastante elevado como se irá verificar de seguida, aquando da descrição dos equipamentos, e a falta de espaço no LIQ para construção de um novo canto de ensaios para instalação dos equipamentos.

#### 5.1.2. Hipótese 2 – Colaboração com empresa

A outra hipótese que se considerou foi a colaboração com uma empresa do ramo de iluminação, que irá adquirir os equipamentos ou que os tenha adquirido, ficando o LIQ responsável pela gestão das calibrações dos equipamentos.

Como os equipamentos para medições fotométricas são importantes para as empresas de iluminação para a obtenção do fluxo luminoso, índice de restituição de cor, temperatura de cor e do diagrama polar, se a empresa adquirir equipamentos para ensaios fotométricos pode-se obter complementos para as medições de radiação UV e medição de luz azul, sendo, por isso, um fator competitivo importante.

Outra vantagem é que com esta colaboração o LIQ já não necessitaria de investir nos equipamentos nem no canto de ensaios, visto que estes custos serão suportados pela empresa.

As desvantagens são a não utilização dos equipamentos no preciso momento em que se necessita, sendo necessário agendar com a empresa os ensaios e a garantia da confidencialidade dos ensaios. Esta última questão terá de ser ponderada visto ser importante para os clientes do LIQ, possivelmente ultrapassar-se-á com um contrato de confidencialidade dos ensaios com a empresa responsável dos equipamentos.

### 5.1.3. Aquisição dos equipamentos

#### 5.1.3.1. Equipamento para medições fotométricas e medições UV

A Everfine e a Lisun Group são dois dos fabricantes mais reconhecidos no que concerne ao fornecimento de equipamento de medição fotoelétrica. Desse modo foi realizado um pedido de orçamento a cada um dos fabricantes para avaliar a escolha da empresa fornecedora dos equipamentos a adquirir.

Relativamente ao orçamento da Everfine, Anexo B, a primeira parte contém material fotoelétrico para ensaios de fotometria. Este é o equipamento que normalmente as empresas de iluminação possuem. Ensaios fotométricos são ensaios para obtenção da, por exemplo, curva fotométrica das luminárias ou do fluxo luminoso das lâmpadas. A segunda parte do orçamento é o material necessário a acrescentar de modo a realizar as medições dos ensaios fotobiológicos, principalmente no que concerne à medição da radiação UV. Como se pode verificar o custo da aquisição dos equipamentos da Everfine é de 74 300 USD (63 977,13 €).

O orçamento da Lisun, indicado no Anexo C, apresenta os equipamentos destinados a serem instalados de forma a se conseguir realizar os ensaios fotométricos e fotobiológicos das luminárias. Verifica-se que o custo associado à Lisun é de 57 430 USD (49 450,96 €)

Os dois equipamentos que se destacam são o goniómetro e o espectrómetro, sendo os mais importantes para as medições fotobiológicas e fotométricas. Na Tabela 5-1 são apresentadas as características de cada um destes equipamentos para cada um dos fabricantes.

*Tabela 5-1 - Comparação de equipamentos da Lisun e da Everfine*

<b>Goniómetro</b>		<b>Espectrómetro</b>	
Lisun	Everfine	Lisun	Everfine
<b>Rotação</b>		<b>Precisão espectral</b>	
±180 °	±180 °	±0,3 nm	±0,1 nm
<b>Precisão ângulo</b>		<b>Tempo de integração</b>	
0,1 °	0,1 °	0,1 ms – 20 s	9 ms – 60 s
<b>Gama espectral</b>		<b>Gama espectral</b>	
380 nm – 780 nm	350nm – 1000 nm	380 nm – 780 nm	200 nm – 450 nm
<b>Preço</b>		<b>Preço</b>	
31 800 USD	31 000 USD	16 380 USD	16 600 USD

O preço do goniómetro da Lisun inclui os detetores de radiação UVA, UVB e UVC que são vendidos separadamente para se conseguir ter uma gama espectral mais próxima do goniómetro da Everfine. Da Tabela 5-1 conclui-se que os equipamentos têm características semelhantes e preços igualmente semelhantes.

A diferença de custos entre os dois fornecedores deve-se aos custos dos equipamentos auxiliares necessários para os ensaios. Como se pode verificar nos proformas, em Anexo B e Anexo C, a Lisun apresenta um maior número de acessórios ao goniómetro e ao espectrómetro em relação à Everfine. No entanto, os custos dos acessórios da Lisun são substancialmente inferiores aos da Everfine.

### 5.1.3.2. Equipamento para medição de luz azul

Para o estudo dos efeitos fotobiológicos da iluminação LED é necessário equipamentos que meçam irradiância, para o caso da radiação UV, e radiância, para o caso de luz azul. Por isso, é necessário complementar os equipamentos da Lisun ou Everfine com um espectro-radiómetro, de modo a que se consiga obter medições de radiância.

Depois de uma pesquisa de mercado optou-se por pedir um orçamento, para a compra do espectro-radiómetro, à empresa Bentham. A Bentham fabrica instrumentação que é utilizada para a caracterização ótica de fontes, detetores e materiais.

Como podemos verificar no Anexo D, o preço do equipamento é de 28 770,75 €. Este preço inclui um monocromador (ISR300), um fotomultiplicador, um telescópio (TEL309) e uma esfera integradora de quartzo de halogéneo para calibração e o software necessário para operar dos mesmos.

## 5.2. Avaliação das hipóteses

### 5.2.1. Introdução

Analisando as vantagens e desvantagens de cada uma das hipóteses optou-se pela hipótese 2 – Colaboração com empresa. Os motivos que levaram à decisão foram, principalmente, a falta de espaço no LIQ para a construção de um novo canto de ensaio para a instalação dos equipamentos para realizar os ensaios fotobiológicos. A empresa, com quem o LIQ irá colaborar, a Lightenjin, necessita de adquirir equipamentos para realizar os ensaios fotométricos, podendo, por isso, acrescentar equipamentos de forma a se conseguir realizar ensaios fotobiológicos.

A Lightenjin II – Indústria de Iluminação atua no sector da iluminação desde 2006 e pretende estabelecer-se como uma referência na eficiência em soluções de iluminação. Todas as gamas de produtos incorporam a materialização dos conceitos e ideologias da empresa e são desenvolvidos com o objetivo de oferecer os melhores resultados aos clientes. Fabricam vários produtos para a iluminação interior, exterior e pública.

### 5.2.2. Contrato

De forma a potenciar uma utilização adequada dos equipamentos, de que a Lightenjin é detentora, foi elaborado um acordo de cooperação entre o LIQ e a Lightenjin. No acordo, ver Anexo E, são abordados os seguintes assuntos:

- ◆ Apresentação dos equipamentos que as duas empresas detêm;
- ◆ Gestão metrológica dos equipamentos a utilizar pelo LIQ;
- ◆ Preservação da confidencialidade dos ensaios a realizar com os equipamentos descritos;
- ◆ Planificação dos trabalhos a realizar nas instalações da Lightenjin;
- ◆ Investimentos de atualização tecnológica assegurados pela Lightenjin;
- ◆ Descrição dos recursos laboratoriais disponibilizados;
- ◆ Validade do protocolo.

Em conclusão, o LIQ ficará responsável pela gestão metrológica do conjunto de equipamentos que a Lightenjin adquirirá, nomeadamente o planeamento e a análise de calibrações inerentes. A Lightenjin manterá a segregação física do local de implantação dos equipamentos, em relação às demais atividades e locais de trabalho, assim como a responsabilidade de proporcionar as condições de isolamento necessárias.

### 5.2.3. Equipamentos a adquirir

No que concerne aos equipamentos a adquirir, a Lightenjin optou pela Lisun. Os motivos que conduziram a esta escolha foram, principalmente, o custo, substancialmente inferior ao da Everfine, e o facto de a Lisun disponibilizar a manutenção e calibração anual dos equipamentos sem custos adicionais. A Lisun faculta também uma formação inicial aos técnicos da empresa sobre a utilização dos equipamentos.

Para realização dos ensaios fotométricos e fotobiológicos são necessários vários equipamentos, tais como: o espectrómetro, medidor de potência, gerador de sinal, esferas de integração, fontes de luz, goniómetro, fonte de alimentação, conversor de percurso ótico, detetores UVA, UVB e UVC e o espectro-radiómetro.

#### 5.2.3.1. Espectrómetro LMS-9000B

O espectrómetro é capaz de produzir qualquer distribuição espectral visível, imitando várias fontes de luz na região visível pelo controlo de retroalimentação da energia radiante emitida por LED. O aparelho está apto a realizar as seguintes medições:

- ◆ Colorimétrica: coordenadas de cromaticidade, temperatura de cor correlacionada, proporção de cores, comprimento de onda de pico, meia largura de banda, comprimento de onda dominante, pureza da cor, índice de reprodução de cor e teste de espectro;
- ◆ Fotométrico: fluxo luminoso, eficiência luminosa, potência radiante, fluxo de pupila, eficiência de fluxo de pupila e fator de pupila;
- ◆ Elétrica: tensão, corrente, potência e fator de potência.

O espectrómetro apresenta as seguintes características:

- ◆ Gama do comprimento de onda: 380 nm – 800 nm;
- ◆ Precisão do comprimento de onda:  $\pm 0.3$  nm;
- ◆ Reprodutibilidade do comprimento de onda:  $\pm 0.1$  nm;
- ◆ Precisão das coordenadas de cromaticidade:  $\pm 0.002$ ;
- ◆ Temperatura de cor correlacionada: 1500 K – 100 000 K;
- ◆ Linearidade fotométrica:  $\pm 0.3$  %;
- ◆ Luz dispersa:  $<0.015\%$  (600nm) e  $<0.03\%$  (435nm);
- ◆ Tempo de integração 0.1 ms – 20 ms;

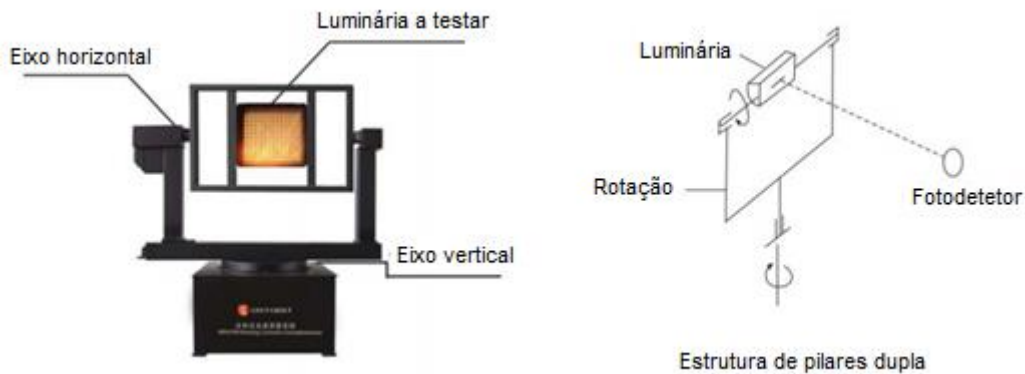
### 5.2.3.2. Goniómetro LSG-1800BCCD

O sistema goniómetro realiza medições em luminárias fixas e luminárias rotativas. A luminária medida é instalada no suporte rotativo, cujo centro está alinhado com o centro de suporte rotativo, com a ajuda do laser. O detetor de fotometria fixa testa a intensidade luminosa em várias direções horizontais, enquanto a fonte de luz roda. O equipamento mecânico permite a rotação das luminárias testadas em torno de um eixo vertical e horizontal.

Quando as luminárias giram em torno do eixo horizontal, o detetor, que está no mesmo nível da mesa rotativa, mede a intensidade de cada direção nessa superfície. Quando giram em torno do eixo vertical o detetor mede a intensidade na superfície vertical. Os eixos vertical e horizontal podem girar continuamente a  $-180^\circ$   $+180^\circ$ .

De acordo com os requisitos de medição, o sistema pode ser operado em coordenadas A, B e C. Ao obter dados de distribuição de intensidade, o computador calcula outros parâmetros fotométricos automaticamente.

Existem dois sistemas de coordenadas, o sistema B e o sistema C. O sistema B, da Figura 5-2, é aplicado a lâmpadas de grelha. O eixo de simetria da lâmpada e a horizontal do suporte rotativo é coaxial, no sistema de coordenadas B.



*Figura 5-2 – Sistema de coordenadas B*

O sistema C, da Figura 5-1, a estrutura de coluna única é obtida quando a coluna de assistente for removida da estrutura de colunas duplas. Este tipo de sistema é aplicado a luminária de tubo fixa, luminária de foco. O eixo de radiação da lâmpada e o eixo horizontal do suporte rotativo é coaxial.



*Figura 5-1 – Sistema de coordenadas C*

O goniómetro é utilizado para medir parâmetros fotométricos de luminárias para iluminação de estradas, luminária de salas e para projetar luminárias, determinar curvas de distribuição de intensidade espacial, curva de iso-intensidade espacial, curva de distribuição de intensidade em cada seção, curva de limitação de radiância, eficiência de luminárias, grau de brilho, ângulo de feixe efetivo, relação de fluxo luminoso ascendente, relação de fluxo luminoso descendente, fluxo luminoso total, fluxo luminoso efetivo, fator de utilização e parâmetros de tensão elétrica, corrente, potência e fator de potência.

Os dados medidos respondem ao formato padrão da IEC e podem ser aplicados para projetos de iluminação por *software* de projeto de iluminação.

O goniómetro apresenta as seguintes características:

- ◆ Gama do comprimento de onda: 380 nm – 780 nm;
- ◆ Precisão do comprimento de onda:  $\pm 0.5$  nm;
- ◆ Precisão das coordenadas de cromaticidade:  $\pm 0.0015$ ;
- ◆ Precisão do ângulo:  $0,1^\circ$
- ◆ Precisão do ensaio: 2 %;
- ◆ Luz dispersa: inferior a 0,1 %.

### 5.2.3.3. Espectro-radiómetro ISR300-PSL

O ISR300-PSL é constituído por um espectrómetro e um telescópio. O espectrómetro ISR300, da Figura 5-3, incorpora um monocromador com componentes eletrónicos de deteção integrados à base da unidade. É formado por dois detetores fotoelétricos que oferecem uma faixa ampla, permitindo a medição de todos os tipos de produtos, como luminárias decorativas de interior ou de exterior de alta potência.



*Figura 5-3 - Espectrómetro ISR300*

O telescópio TEL 309, da Figura 5-5, é um telescópio de visão direta controlado por computador, foi dimensionado para a medição de radiância espectral em campos de visão específicos detalhados pelas normas de segurança fotobiológica. É possível realizar medições a distâncias entre 200 mm a 10 m.



*Figura 5-5 - Telescópio TEL309*

De forma a garantir uma elevada precisão nas medições é também fornecido o Padrão de Radiância SRS12, como podemos verificar na Figura 5-4. Este é composto por uma fonte de halogéneo de quartzo numa esfera integradora revestida com sulfato de bário. O Padrão de radiância é uma fonte estável e com uma excelente uniformidade.[17]



*Figura 5-4 – Padrão de Luminância*

De seguida, na Tabela 5-2, são apresentadas as características do espectro-radiómetro ISR300-PSL.

*Tabela 5-2 - Características do espectro-radiómetro*

<b>Gama espectral de operação</b>	300-780 nm
<b>Intervalo de dados</b>	5 nm
<b>Largura de banda espectral</b>	5 nm
<b>Precisão do comprimento de onda</b>	$\pm 0,3$ nm
<b>Reprodutibilidade do comprimento de onda</b>	$\pm 0,05$ nm
<b>Tipo de medição</b>	Luminância espectral
<b>Distância mínima de medição</b>	200 mm
<b>Distância máxima de medição</b>	> 10 m
<b>Campo de visão</b>	11,5 e 1,7 mrad
<b>Gama de luminância da luz azul</b>	10-100 000 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$



## 6. Apresentação de resultados

### 6.1. Introdução

As luminárias LED dividem-se em duas grandes famílias, as luminárias de interior e as luminárias de iluminação pública. Os ensaios realizados foram divididos em 5 tipos de fontes de luz:

- ◆ Luminária de iluminação pública;
- ◆ Luminária de interior;
- ◆ Fita LED;
- ◆ Módulo LED;
- ◆ Lâmpada LED E27.

No que respeita às medições do perigo de luz azul, foi importante perceber qual o impacto do difusor nos diferentes tipos de fonte de luz. Por isso, foram realizadas as medições às fontes de luz descritas com difusor e sem difusor.

Segundo a norma das luminárias EN 60598-1 as medições de UV não se aplicam a luminárias LED, apenas a luminárias com lâmpadas de tungsténio halogéneo e de halogenetos metálicos.

Segundo a norma EN 62031, referente aos ensaios aos módulos LED, a radiação UV não é aplicável aos módulos LED se estes não dependerem de uma conversão de radiação UV. No entanto, informa que, se existir radiação UV, não deve exceder os 2 mW/km. No que respeita ao perigo de luz azul, faz referência à norma IEC TR 62778 para realização dos ensaios. Relativamente à radiação IR, prevê-se que os módulos LED não consigam atingir esse nível de radiação e, por isso, não são realizados ensaios para esta radiação.

## 6.2. Medições UV

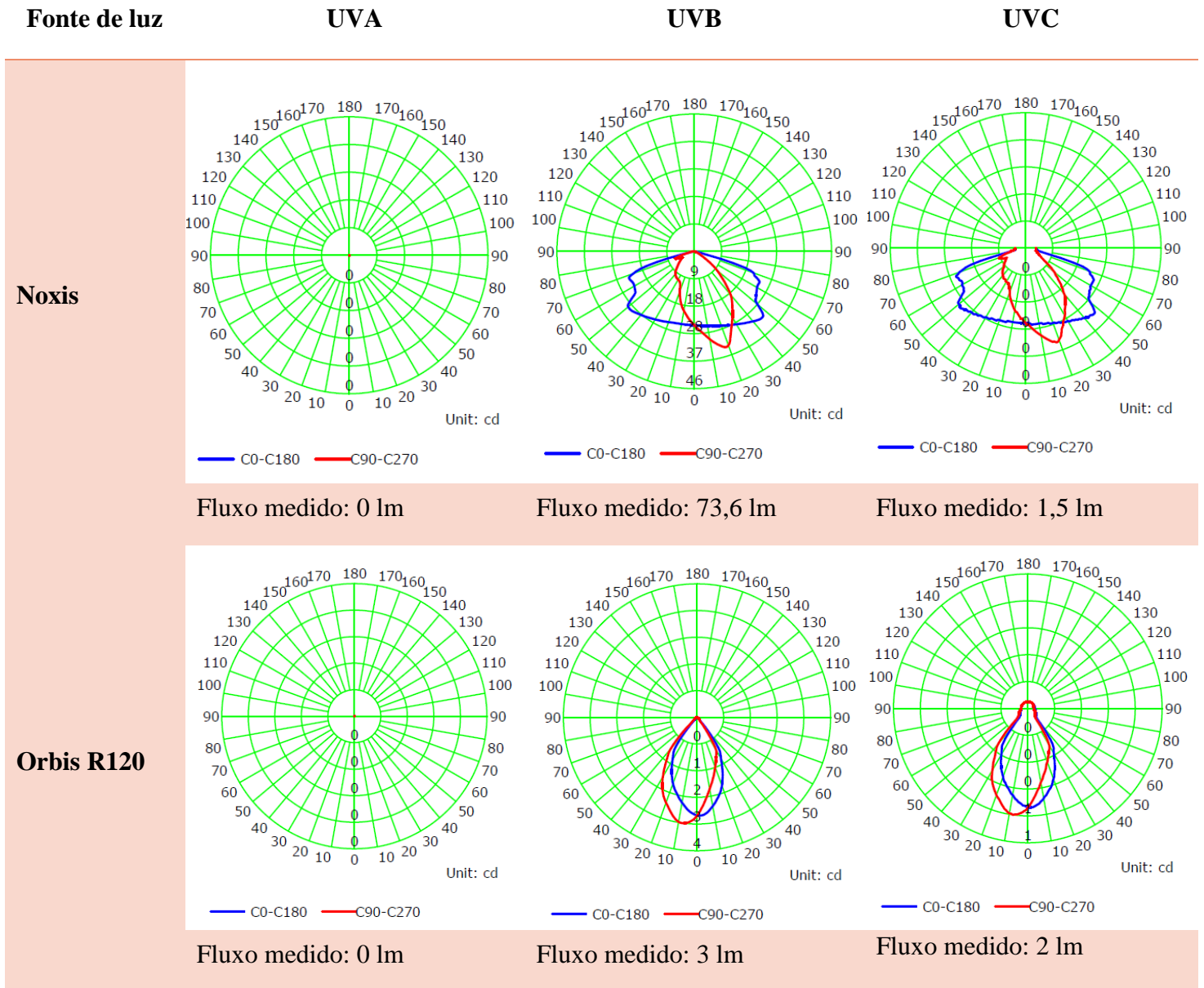
Para as fontes de luz LED o único perigo fotobiológico que se aplica é o perigo da luz azul, que está referido no subcapítulo 0. A Tabela 6-1 descreve as fontes de luz utilizadas para os ensaios do perigo de luz azul. No entanto, foram realizadas medições de radiação UV com o objetivo de explorar o equipamento e confirmar que a emissão é inferior aos 2 mW/klm referidos.

*Tabela 6-1 - Características das fontes de luz ensaiadas*

Fonte de luz	Marca	Modelo	Potência (W)	Cor (K)
<b>Fita Led</b>	TLJINRUN	3528-600LEDS	4,16	4500
<b>Módulo LED</b>	Lightenjin	STRADELLA 16LED	31	5000
<b>Lâmpada LED</b>	Philips	Master DT 6W	6	2700
<b>Lâmpada LED c/ difusor</b>	Eurodin	---	4	4000
<b>Luminária indoor</b>	Lightenjin	Orbis R 120	36	3000
<b>Luminária iluminação pública</b>	Lightenjin	Noxis	55	4000

A medição da radiação UV é dividida em 3 partes: UVA, UVB e UVC. Isto deve-se ao facto de o equipamento ser constituído por três detetores, um para cada tipo de radiação (UVA, UVB e UVC). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6-2.

Tabela 6-2 - Medições de radiação UV



Depois da análise da Norma IEC 62471 e dos resultados obtidos conclui-se que o equipamento da Lisun não mede irradiância ( $W.m^{-2}$ ) mas sim o fluxo luminoso (lm). Pelo que não é possível concluir se as luminárias garantem a proteção contra radiação UV ou não, segundo a norma IEC 62471.

### 6.3. Medições do perigo de luz azul

O ensaio para medição do perigo da luz azul é realizado com o equipamento descrito, o Espectro-radiómetro ISR300-PSL, a distância do telescópio à fonte de luz é de 200 mm.

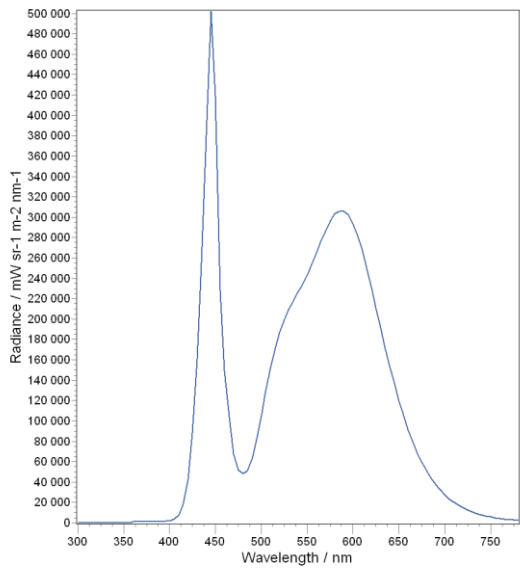
Se o led for visível, a distância de 200 mm é considerada desde a lente do telescópio até ao led, no entanto, se o led não for visível, ou seja, se tiver um difusor opaco, a distância a ser considerada é da lente do telescópio até ao difusor. O campo de visão a ser considerado é de 11 mrad como exige a norma IEC 62778.

No que concerne às medições do perigo de luz azul, foram realizados ensaios nas fontes de luz descritas e com e sem difusor. Os relatórios obtidos encontram-se no Anexo F. A Tabela 6-3 apresenta o espectro obtido e indica o grupo de risco da fonte de luz.

*Tabela 6-3 - Resultados obtidos da medição do efeito da luz azul*

Fonte de luz	Com difusor	Sem difusor
<b>Fita LED</b>		
	Grupo de risco: RG0	Grupo de risco: RG1

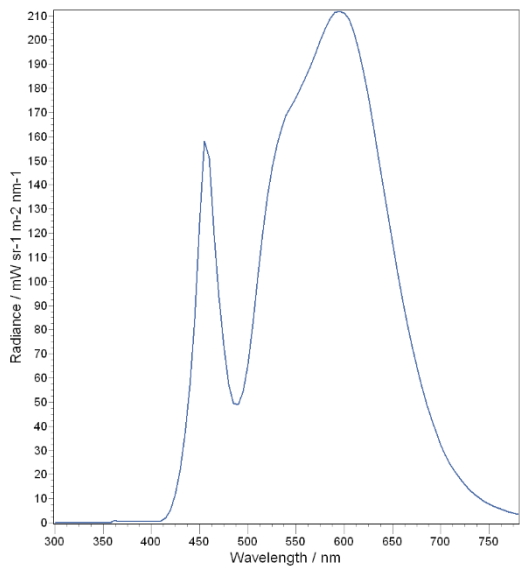
**Módulo LED**



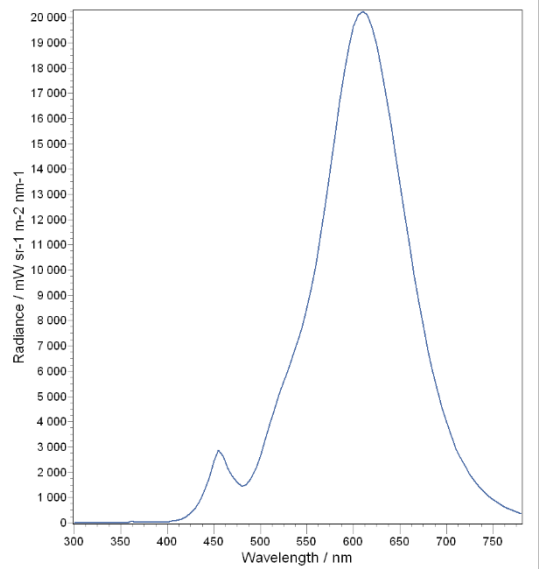
Grupo de risco: RG2

$D_{thr} : 0,85 \text{ m}$

**Lâmpada LED**

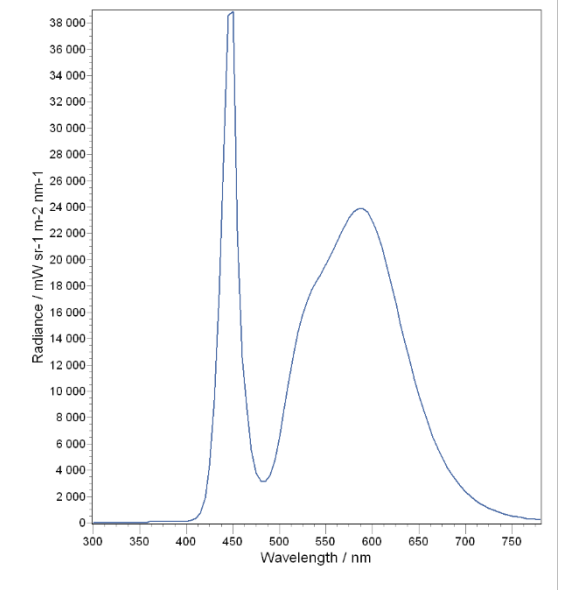
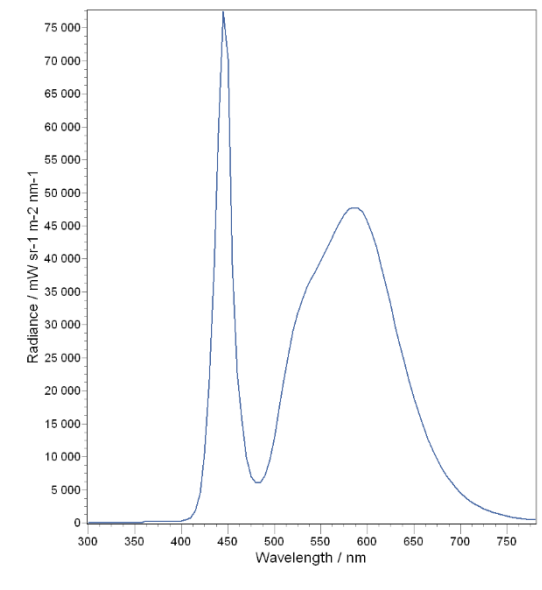


Grupo de risco: RG0



Grupo de risco: RG0

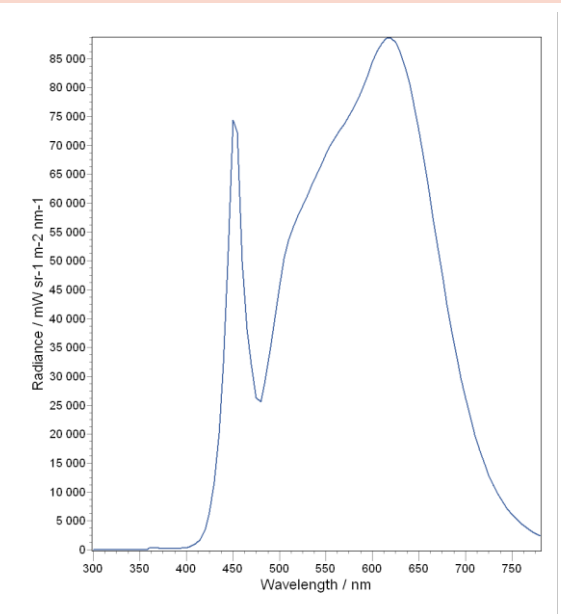
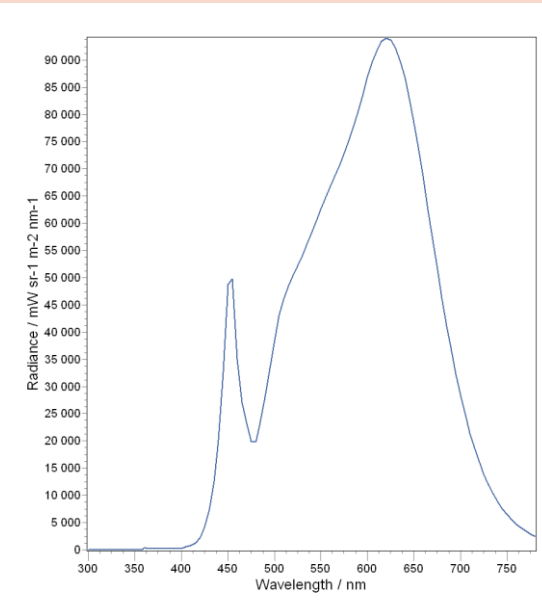
**Noxis**



Grupo de risco: RG1

Grupo de risco: RG1

**Orbis R120**



Grupo de risco: RG1

Grupo de risco: RG1

Dos resultados obtidos pode-se concluir que quanto maior for a temperatura de cor do LED maior será o valor de radiância medido e, por isso, maior será o Grupo de Risco. Conclui-se também que o difusor pode ter propriedade de dissipação da luz azul ou de propagação do efeito da luz azul. No caso da Noxis, o difusor propaga o perigo de luz azul, no entanto, no caso da Orbis R120, o difusor dissipa a luz azul tornando assim a luminária com difusor mais segura.

Quando se obtém um Grupo de Risco RG2 é necessário colocar o valor da intensidade luminosa da fonte de luz, este valor é obtido realizando uma medição com o goniómetro LSG-1800BCCD, para que o programa consiga calcular a irradiância ( $E_{thr}$ ) e o valor da distância,  $d_{thr}$ , a que a fonte de luz deve estar para se poder considerar um Grupo de Risco RG1. Ou seja, o módulo LED se for instalado a 0,85 m é considerado como tendo um Grupo de risco RG1, abaixo dessa distância é considerado RG2 pelo que não poderá ser utilizado.



## 7. Conclusão

O tema de estudo desta dissertação é importante para o setor de atividade do laboratório de ensaios, uma vez que, faculta informações técnicas/científicas sobre como são realizados os ensaios fotobiológicos e os equipamentos necessários.

Os efeitos provocados, no olho e na pele, pela emissão de radiação de certos comprimentos de onda podem ser observados a curto e médio prazo. Por isso, a verificação das medições dos níveis de exposição é tão importante para os laboratórios de certificação poderem aferir se o LED é ou não prejudicial para a saúde humana.

O LED tem vindo, cada vez mais, a ganhar notoriedade no mercado das fontes de luz, por isso, torna-se essencial a avaliação e certificação do seu desempenho em todas as vertentes. Segundo a norma IEC 62031, no que respeita à segurança fotobiológica e segundo a norma IEC 62778 relativa ao perigo de luz azul

Relativamente às hipóteses de criação das condições para o ensaio dos efeitos fotobiológicos no LIQ, a primeira solução apresenta algumas dificuldades, tais como: a construção do ambiente de ensaios e o investimento nos equipamentos de medição necessários. A segunda hipótese é mais viável, sendo por isso, necessário estabelecer um acordo com a empresa no que concerne à utilização dos equipamentos e confidencialidade dos resultados obtidos nas medições.

A escolha do método de ensaio, de entre os três apresentados, é realizado pelo fornecedor dos equipamentos. A Lisun irá informar e fundamentar a sua escolha dependendo dos equipamentos a serem utilizados para as medições. No que concerne à medição do perigo de luz azul, a Bentham tem como referência a norma IEC 62778.

Relativamente aos ensaios realizados pode-se concluir que dentro das três grandes famílias de fontes de luz LED, ou seja, lâmpadas, fita led e módulos LED existem diferentes Grupos de Risco. As lâmpadas maioritariamente são GR0, as fitas LED que podem ser utilizadas em vários tipos de luminárias (móveis, fixas etc) já se dividem entre o RG0 e o RG1, no entanto, os módulos LED quando utilizados para iluminação pública chegam ao RG2 devido à elevada potência que têm.

O trabalho futuro desta dissertação insere-se na finalização da montagem dos equipamentos e homologação dos ensaios fotobiológicos segundo a norma IEC TR 62778. É importante a certificação do laboratório de ensaios do LIQ para realização de ensaios certificados, segundo a norma IEC TR 62778 relativa ao perigo da luz azul e segundo as normas EN 13032-4 e EN 13031-1 para certificados de medições fotométricas. Relativamente à norma IEC 62471, no que respeita à medição de radiação UV, terá de se entrar em contacto com o fornecedor Lisun de forma a tentar perceber se é possível modificar o sistema existente, de forma a que se consigam medições de irradiância.

## Bibliografia

- [1] U. Nations, E. Programme, and U. N. E. Programme, *EFFECTS and SOURCES*. 2016.
- [2] F. Ellis, *Introduction To Radiation Biology*, vol. 2, no. 4830. 1953.
- [3] G. DuS, *Radiation and health*, vol. 125, no. 3251. 1957.
- [4] M. W. Astete, “Radiações Não Ionizantes.”
- [5] U. S. P. Universidade, “Radiações ultravioletas e suas implicações na saúde humana no contexto da divulgação científica,” 2009.
- [6] J. M. B. Lopes, “Cor e Luz,” p. 47, 2013.
- [7] T. S. de A. P. Ribeiro, “Luminotecnia – Métodos de avaliação,” p. 104, 2010.
- [8] E. Superior, D. Tecnologia, and G. De Viseu, “Instituto Politécnico de Viseu Instituto Politécnico de Viseu Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu,” 2014.
- [9] N. F. V. DA SILVA, “Iluminação Led – Avaliação Económica e Ambiental,” *Fac. Eng. - Univ. do Porto*, pp. 1–3, 2013.
- [10] “Photobiological.pdf.” .
- [11] H. M. Furtado, “Fonte de Iluminação LED – Avaliação dos Efeitos Fotobiológicos no Olho e Pele.”
- [12] J. O’Hagan, M. Khazova, and A. Pearson, “A non-binding guide to the artificial optical radiation directive,” *World’s Lead. Conf. Laser Safety, ILSC 2009 - Int. Laser Saf. Conf.*, no. Vc, pp. 116–120, 2009.
- [13] L. a. Brodell, “Skin Structure and Function,” *Infect. Dis. Clin. Pract.*, vol. 27, no. 3, pp. 54–117, 2008.

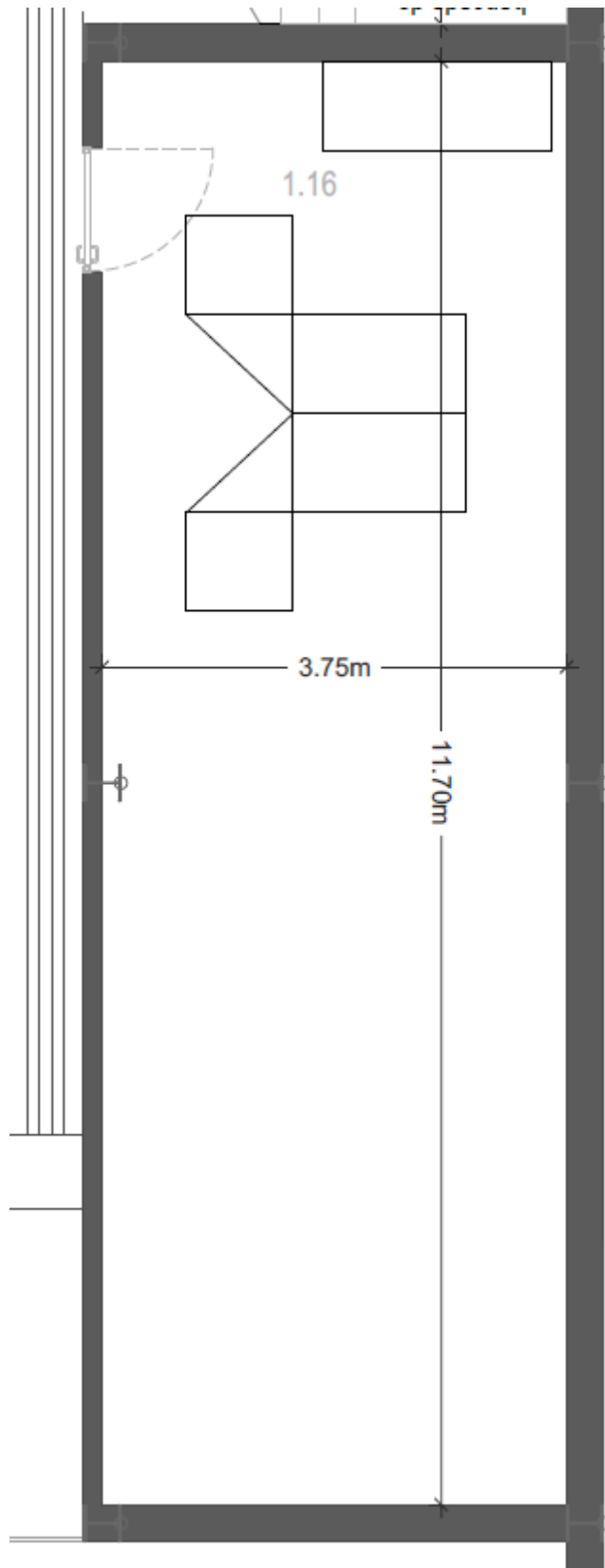
- [14] I. E. Commission, “IEC 62031 - LED modules for general Lighting,” 2014.
- [15] I. E. Commission, “IEC TR 62778 - Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires,” 2014.
- [16] I. E. Commission, “IEC 62471 - Photobiological safety of lamps and lamp systems,” 2006.
- [17] Bentham, “ISR300-PSL Blue Light Hazard Testing of Luminaires,” UK.
- [18] A. C. Carciofi, “Aula 5 Radiação Eletromagnética.”
- [19] “Unit II. Nuclear Chemistry.” [Online]. Available: [http://isite.lps.org/sputnam/chem\\_notes/UnitII\\_Radioactivity.htm](http://isite.lps.org/sputnam/chem_notes/UnitII_Radioactivity.htm). [Accessed: 02-Aug-2018].
- [20] U. V. a U. V. B. Uvc, “Uv Radiation and Light,” pp. 1–13, 2011.
- [21] “Phosphor blue LED white light.”
- [22] R. B. Lima, “A pele.” [Online]. Available: <http://www.dermatologia.net/a-pele/>. [Accessed: 02-Aug-2018].
- [23] J. Marchiori, *Luminotécnica*. .
- [24] HSG, *Lighting at Work*, Reprinted. Health and Safety Executive, 2000.
- [25] P. Giuseppe, L. Martirano, S. Member, M. Mitolo, and S. Member, “Electrical Safety of Street Light Systems,” no. August, 2011.
- [26] I. de S. B. Júnior, J. L. Silva, L. C. B. Ferreira, and M. H. G. de Oliveira, “Luminotécnica,” 2012.
- [27] C. Martinsons, *Handbook of Advanced Lighting Technology (Photobiological Safety)*. Springer, Cham, 2016.
- [28] N. W., K. B., W. U., and B. S., “Retinal damage by light in rats,” *Invest Ophthalmol*, 1966.

## Anexos



## Anexo A – Planta canto de ensaios







## Anexo B – Proforma Everfine




**EVERFINE Corporation ( Stock code: 300306 )**

#669 Binkang Road, National High-tech Park, Hangzhou, China

Tel: +86-571-86698333 (30 Lines)

Complaint: +86-571-86673398

E-mail: global@everfine.net    globalservice@everfine.net

Http: //www.everfine.net



Supportive Member of CIE


 ISO 9001: 2008  
 FM:1311Q10647ROM

TO: Lightenjin	ATTN:Vânia	C.C.:
E-mail:Vania.teixeira@lightenjin.pt	Tel:	FAX:
Date: 2018.04.14	No of pages: 4	Our Re: 1804141A
Re: RE: RE: Dimensions- Goniophotometer--JH0411		From: Jeff Jin

**QUOTATION LIST**

ITEM	COMMODITY	QTY.	AMOUNT (EX WORKS, USD)
1	HAAS-2000 High Accuracy Array Spectroradiometer (200nm~450nmUV absolute spectral irradiance meter, Laboratory Grade)	1SET	16000.00
2	0.15m sampling sphere	1SET	600.00
<b>TOTAL AMOUNT (USD)</b>			<b>16600.00</b>

**NOTE:**

1. THE VALIDITY OF ALL THE QUOTATION IS 3 MONTHS.
2. THE POWER SUPPLY REQUIREMENTS OF ALL THE INSTRUMENTS: **220V±10%, 50HZ/60HZ, THD<5%**, NO INTERFERENCE PULSE.
3. THE SELLER PROVIDES THE USERS' MANUALS AND SOFTWARE IN BOTH ENGLISH AND CHINESE.
4. THE BUYER PREPARES HIMSELF THE COMPUTER (P4 OR ABOVE, WIN2000/XP, 2 RS232 INTERFACES AND 1 USB INTERFACE) AND THE COLOR LASER PRINTER.
5. **THE BUYER PREPARES THE DARKROOM, THE SELLER PROVIDES THE TECHNICAL SUPPORT FOR THE LAYOUT.**

6. THE BUYER SHOULD KEEP ANY BUSINESS SECRETS INVOLVED IN THIS FILE INCLUDE TECHNOLOGY AND PRICE, AND ALL THE EQUIPMENT'S INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS OWE TO THE SELLER. UNCOVER THE SHELL OF THE INSTRUMENTS WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM THE SELLER IS FORBIDDEN, OR THE MAINTENANCE WILL BE INVALID.

**PAYMENT AND SHIPMENT:**

1. PAYMENT: 100% T/T IN ADVANCE
2. DELIVERY AND SHIPMENT: THE SELLER WILL FINISH PRODUCTION WITHIN 15 DAYS AFTER RECEIVING THE DEPOSIT AND DELIVER THE GOODS FROM SHANGHAI SEAPORT WITHIN ONE WEEK AFTER RECEIVING TOTAL AMOUNT.
3. BECAUSE THE VOLUME OF THE GOODS IS SMALL, THE SELLER CAN ACCEPT ONLY LCL SHIPMENT, AND PROVIDE ONLY THE BILL OF LADING NOT THE OCEAN/MARINE BILL OF LADING ACCORDINGLY.

**SERVICE ITEMS**

1. THE SELLER CAN SEND ONE ENGINEER TO THE BUYER'S FACTORY FOR INSTALLATION AND TRAINING. THE BUYER SHALL PAY THE VISA, TICKETS, HOTEL, FOOD AND SALARY, THE SALARY IS USD200.00/PERSON/DAY (INCLUDE THE TIME FOR WORK AND ON JOURNEY). THE BUYER ALSO CAN SEND THE ENGINEER TO THE SELLER'S FACTORY FOR TRAINING, THE TRAINING COSTS USD150.00/DAY, AND THE BUYER AFFORDS OTHER RELATED COST HIMSELF.
2. THE WARRANTY PERIOD IS 12 MONTHS AFTER THE BUYER RECEIVES THE INSTRUMENTS. THE BUYER CAN SEND THE INSTRUMENT TO THE SELLER'S FACTORY FOR REPAIR, AND PAY THE FEE FOR CUSTOMS AND FREIGHT. THE SELLER ALSO CAN SEND AN ENGINEER TO THE BUYER'S FACTORY FOR REPAIR, AND THE BUYER WILL PAY THE VISA, TICKETS, FOOD AND HOTEL FEE, SALARY. THE SALARY OF ENGINEER IS 200USD/DAY (INCLUDE THE TIME FOR WORK AND ON JOURNEY). THE REPAIR COST AND SELLER'S SALARY ARE FREE WITHIN THE WARRANTY PERIOD.

## TECHNICAL SPECIFICATION

### 1. HAAS-2000 High Accuracy Array Spectroradiometer (200~450nmUV absolute spectral irradiance meter, Laboratory Grade) 1PC

#### ➤ Overview:

- Panted in USA (US 7, 978,324 B2) and China, China Excellence Patent Award. Win the "Research Achievement of China National 863 High-tech Program", "The first batch of independent innovation products in China", "National key new products", etc awards.
- The performance and technical specification was recognized as the world leading, by national experts leading by Chinese Academy of Sciences.
- Adopts the highest quality flat-field concave grating (designed by EVERFINE and OEM from the top manufacturer) and scientific grade TE-cooled array CCDs (customized from HUMAMATSU), can achieve fast measurement speed (ms) and scientific measurement accuracy.

#### ➤ Measurement Functions:

- 1) Spectral Power Distribution  $P(\lambda)$
- 2) Peak Wavelength
- 3) Half length
- 4) Spectral radiance of UVA1 (320nm-390nm), UVA2 (UV365nm), UVB (290nm-320nm) and UVC (253.7nm)
- 5) Spectral radiance of a certain wave band.
- 6) It is the best solution with best accuracy for the UV spectral irradiance measurement.

#### ➤ Main specifications:

Items	Main Specification
<b>Detector</b>	
CCD	HAMAMATSU TE-cooled Back illuminated CCD

TE cold temperature	-10°C
Stability	±0.05°C
<b>Optical Bench</b>	
Grating	F2.0 Holographic grating with flat-field correction
Optical input	Silica optical fiber
<b>Spectrograph</b>	
Spectral range	200-450nm
Spectral resolution	1.0nm
Wavelength accuracy	± 0.1nm
Irradiance accuracy	±3% ( Specific UV irradiance calibrated, NIST traceable )
<b>Electrical Data</b>	
AD Converter	16bits/1.25MHz
Communication interface	USB2.0/RS485 (option: CAN)
Integration Time	9mS-60S



## 2. Ø0.15m LED INTEGRATING SPHERE (SPEKTRON coating R98) 1PC

- Diffuse reflectance coating, and appears nearly lambertian (perfectly diffuse) properties, non-toxic, durable and optically stable over time.
- Spektron™ inner coating R98,  $\rho(\lambda) = 94\% - 97\%$  (380nm~500nm),  $\rho(\lambda) = 96\% - 98\%$  (500nm~1500nm), meets the CIE standard requirements.
- Material of Shell: cool-crush steel.

## Anexo C – Proforma Lisun



**LISUN GROUP (HONG KONG) LIMITED**

Room C, 15/F Hua Chiao Commercial Center, 678 Nathan Road, Mongkok,  
Kowloon, Hong Kong

Tel: 00852-68852050 Fax: 00852-30785638

**P/I NO.:** PILS20180149

**DATE:** May 18, 2018

**DELIVERY:** By BY SEA

**TO: Lightenjin, Lda**

Joao Fonseca

Cruz do Almagre - Valongo do Vouga, 3750-802 Agueda, Portugal

**DELIVERY DATE:** Jun 29, 2018 The leading time is 6 weeks after confirmed order;

**PAYMENT TERM:** 90% Irrevocable L/C at 60 days and 10% after install & training;

**REMARK:**

No.	ITEM No / PRODUCT / DESCRIPTION:	QTY:	PRICE:	AMOUNT:
1	<b>LSG-1800BCCD High Precision Rotation Luminaire Goniospectroradiometer</b> Measure intensity distribution curve in 3D, export IES files for DiaLux and Spatial color & spectrum. Applied with Japanese motor, German Angle Coder and Constant Temperature Detector. Test all luminaires up to 1.6m	1 SET	31,800.000 USD/SET	31,800.00 USD
2	<b>LMS-9000B High Precision CCD Spectroradiometer</b> Both Spectral and Photometric test on 380~780nm, SMA905 optical fiber to Sphere and USB connect to PC, it can do the LED Optical Maintenance test such as flux VS time or CCT VS time	1 SET	4,980.000 USD/SET	4,980.00 USD
3	<b>CFO-1.5M Optical Fiber</b> SMA905 type 1.5m Optical fiber used to connect with Lisun Spectroradiometer to Integrating Sphere, MCVD producing technology reduce the light lose during transmit to make sure high test accuracy	1 SET	168.000 USD/SET	168.00 USD
4	<b>LS2010 Digital Power Meter (Harmonic Analyzer Model)</b> Measure AC parameters such as AC for U, I, P, PF and harmonic, has an independent software the accuracy can be 0.000 and can communicate Lisun Spectroradiometer to show the results in the test report	1 SET	495.000 USD/SET	495.00 USD
5	<b>DC3005 Digital CC and CV DC Power Supply</b> 30V/5A Digital Control for Constant Current and Constant Voltage, the accuracy is 0.0000, it can communicate with Lisun Spectroradiometer to control the output by the software	1 PC	630.000 USD/PC	630.00 USD
6	<b>LSP-500VAR Pure Sine Wave AC Power Source</b> Maximum output power: 500VA; Output current: 0~150V is 4.2A, 150~300V is 2.1A; Input 220V/50 or 60Hz. High precision and communicate with PC via RS-232	1 PC	1,180.000 USD/PC	1,180.00 USD
7	<b>IS-1.5MA Integrating Sphere with Holder Base</b> Diameter is 1.5M. High reflectivity coating and produced by A Molding Technology to keep high test accuracy. New design with adjustable sample stage can test E27/E40 lamps, T5/T8/T12 tubes and all LED luminaires. The price include the wooden package and freight cost to Shanghai port.	1 SET	1,480.000 USD/SET	1,480.00 USD

**LISUN GROUP (HONG KONG) LIMITED**

 Room C, 15/F Hua Chiao Commercial Center, 678 Nathan Road, Mongkok,  
 Kowloon, Hong Kong

Tel: 00852-68852050 Fax: 00852-30785638

**P/I NO.:** PILS20180149

**DATE:** May 18, 2018

**DELIVERY:** By BY SEA

**TO: Lightenjin, Lda**

Joao Fonseca

Cruz do Almagre - Valongo do Vouga, 3750-802 Agueda, Portugal

**DELIVERY DATE:** Jun 29, 2018 The leading time is 6 weeks after confirmed order;

**PAYMENT TERM:** 90% Irrevocable L/C at 60 days and 10% after install & training;

**REMARK:**

No.	ITEM No / PRODUCT / DESCRIPTION:	QTY:	PRICE:	AMOUNT:
8	<b>IS-0.3M Integrating Sphere</b> Diameter=0.3M. The coating is BaSO4 and produced by A Molding Technology which is high accuracy. The price include the wooden package and freight cost to Shanghai port.	1 SET	280.000 USD/SET	280.00 USD
9	<b>SLS-50W Standard Light Source</b> 24V50W DC OSRAM Standard Lamp used to calibrate Lisun Spectroradiometer and Integrating Sphere system to keep high test accuracy, the Calibrate Certificate is Class 1 according to JJG213-90 can be traced to NIM	2 SET	120.000 USD/SET	240.00 USD
10	<b>SLS-10W Standard Light Source</b> 6V10W DC OSRAM Standard Lamp used to calibrate Lisun Spectroradiometer and Integrating Sphere system to keep high test accuracy, the Calibrate Certificate is Class 1 according to JJG213-90 can be traced to NIM	2 SET	75.000 USD/SET	150.00 USD
11	<b>LS512A Optical Path Converter</b> It used to connect the optical path between two integrating spheres to LMS-9000B, it can be switched to the big sphere and small sphere but no need to change the optical fiber. Include an optical fiber and an detector.	1 SET	825.000 USD/SET	825.00 USD
12	<b>RLS-50W Auxiliary Lamp Test Set</b> 24V50W DC OSRAM Reference Lamp and auxiliary lamp fixtures in integrating sphere to do the flux self-absorption correction.	1 SET	82.000 USD/SET	82.00 USD
13	<b>CASE-19IN 19Inch Standard Instrument Cabinet</b> It combines the Spectroradiometer/Goniophotometric Controller, Digital Power Meter, AC or DC Power Source and other instruments in one 19inch cabinet. The price include the wooden package and freight cost to Shanghai port.	1 SET	680.000 USD/SET	680.00 USD
14	<b>UVA Detector</b> It work with LSG-1800B goniophotometer system to test 320~380nm range	1	3,800.000 USD/PC	3,800.00 USD



**LISUN GROUP (HONG KONG) LIMITED**

Room C, 15/F Hua Chiao Commercial Center, 678 Nathan Road, Mongkok, Kowloon, Hong Kong

Tel: 00852-68852050 Fax: 00852-30785638

**P/I NO.:** PILS20180149

**DATE:** May 18, 2018

**DELIVERY:** By BY SEA

**TO: Lightenjin, Lda**

Joao Fonseca

Cruz do Almagre - Valongo do Vouga, 3750-802 Agueda, Portugal

**DELIVERY DATE:** Jun 29, 2018 The leading time is 6 weeks after confirmed order;

**PAYMENT TERM:** 90% Irrevocable L/C at 60 days and 10% after install & training;

**REMARK:**

No.	ITEM No / PRODUCT / DESCRIPTION:	QTY:	PRICE:	AMOUNT:
15	<a href="#">PM400-A Double Channel &amp; High Precision Photometer</a> It work with UVA detector and LSG-1800B goniophotometer system together	1	580.000 USD/PC	580.00 USD
16	<a href="#">UVB Detector</a> It work with LSG-1800B goniophotometer system to test 275~320nm range	1	3,800.000 USD/PC	3,800.00 USD
17	<a href="#">PM400-B Double Channel &amp; High Precision Photometer</a> It work with UVB detector and LSG-1800B goniophotometer system together	1	580.000 USD/PC	580.00 USD
18	<a href="#">UVC Detector</a> It work with LSG-1800B goniophotometer system to test 200~275nm range	1	3,800.000 USD/PC	3,800.00 USD
19	<a href="#">PM400-C Double Channel &amp; High Precision Photometer</a> It work with UVC detector and LSG-1800B goniophotometer system together	1	580.000 USD/PC	580.00 USD

**LISUN GROUP (HONG KONG) LIMITED**Room C, 15/F Hua Chiao Commercial Center, 678 Nathan Road, Mongkok,  
Kowloon, Hong Kong

Tel: 00852-68852050 Fax: 00852-30785638

**P/I NO.:** PILS20180149**DATE:** May 18, 2018**DELIVERY:** By BY SEA**TO: Lightenjin, Lda**

Joao Fonseca

Cruz do Almagre - Valongo do Vouga, 3750-802 Agueda, Portugal

**DELIVERY DATE:** Jun 29, 2018 The leading time is 6 weeks after confirmed order;**PAYMENT TERM:** 90% Irrevocable L/C at 60 days and 10% after install & training;**REMARK:**

No.	ITEM No / PRODUCT / DESCRIPTION:	QTY:	PRICE:	AMOUNT:
			Sea Freight Cost USD	800.00
			Insurance Fees USD	500.00
			<b>TOTAL: CIF PORTO USD</b>	<b>57,430.00</b>

**L/C BANK INFORMATION:**

<b>COMPANY NAME:</b>	LISUN GROUP (HONG KONG) LIMITED
<b>COMPANY ADDRESS:</b>	Room C, 15/F Hua Chiao Commercial Center, 678 Nathan Road, Mongkok, KL, HK
<b>BANK NAME:</b>	PING AN BANK CO., LTD. (FORMERLY SHENZHEN DEVELOPMENT BANK CO., LT
<b>BANK ADDRESS:</b>	NO. 5047 SHEN NAN DONG ROAD, SHENZHEN, P.R.CHINA
<b>ACCOUNT NO:</b>	OSA11009384870201
<b>SWIFT CODE:</b>	SZBCNBS or SZBCNBSXXX

**According to Chinese Government Bank Latest Notice:**

1. The right benefit should be full company name: LISUN GROUP HONG KONG LIMITED. Don't made any short name or even made one word mistake, or the payment will be return but not go into the account
2. The above amount are only products net price but not include banking cost. All banking charges, if any, are to be borne by the Buyer.
3. Please double check our bank information when you make the payment transfer in your bank, the payment will be return if any mistakes.
4. The above bank account can't get the payment from Hong Kong. If you are planing to pay from Hong Kong bank, please contact your sales for another Lisun Electronics (Shanghai) Co., Ltd Bank information.
5. We will only accept the LCL delivery if the total is less than 20CBM



## Anexo D – Proforma Bentham



# OFERTA

Nº: 290019AG-B



Julián Camarillo 26, 1º 7-8; 28037 Madrid

Tel: 91 377 50 06 Fax: 91 407 36 24

Email: [info@lasing.com](mailto:info@lasing.com)

Web: [www.lasing.com](http://www.lasing.com)

LIGHTENJIN II - INDUSTRIA DE ILUMINAÇÃO Lda.  
Parque Empresarial do Casarão, Av. das 2 Rodas, lote 36A  
3750 Agueda (Portugal)  
NIPC PT513 904 409  
T: +351234612770

Fecha: 12/02/2019

Material: Bentham

Validez: 30 días

Ref:

Hoja: 1/1

Item	Ud	Modelo y Descripción	Precio Ud	Precio Total
1	1	<b>ISR300-PSL Luminaire Blue Light Hazard Spectroradiometer (300-780nm)</b> UV-Vis spectroradiometer configuration to measure spatially-averaged spectral radiance of luminaires (380-780nm). A key tool in designing lighting products for compliance. · Fully automated single monochromator-based spectroradiometer · NMI traceable calibration standards · Includes software guidance, calculation and report generation <u>System components:</u> · ISR300 single monochromator with DC signal recovery · Photomultiplier (S20 photocathode) and silicon detector · Motorised slits · Radiance: Direct view telescope permitting measurement from 200mm to 10m in key 1.7, 5 and 11mrad FOVs. · Quartz halogen, integrating sphere-based radiance standard, supplied with calibration traceable to PTB · Benwin+ Windows spectroradiometer control · PSL Wizard measurement guidance, calculation and reporting application  <u>Observations:</u> · Precision constant current supply NOT included, needed to run the radiance standard. The power supply needs to deliver power through banana type connectors. · PC not included. It is needed PC with Windows 7 or above · Included: Installation and basic training of practical use.	30.285,00 €	30.285,00 €
2	1	<b>Special discount...</b>		-1.514,25 €

#### Observaciones:

- \* One year warranty in parts and labour
- \* Installation and shipping expenses included
- \* Payment: Bank transfer 30% in advance, rest before delivery
- \* Estimated lead time: 14 weeks
- \* Taxes not included

PORTES

SUMA TOTAL

28.770,75 €

TOTAL

28.770,75 €



## Anexo E – Acordo de cooperação



# ***Acordo De Cooperação***

## ***LIQ / LIGHTENJIN***

Entre **LIQ – LABORATÓRIO INDUSTRIAL DE QUALIDADE, ASSOCIAÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA**, com sede na Rua do Portinho, Zona Industrial de Alagôa – Águeda, associação técnico-científica sem fins lucrativos, NIPC 502 336 790, devidamente representada neste acto pelo Senhor Professor Doutor Paulo Alexandre Neto Alves Afonso, na qualidade de Presidente da Direcção, adiante designada por **LIQ**, e a **LIGHTENJIN II - INDUSTRIA DE ILUMINAÇÃO Lda**, com sede em Parque Empresarial do Casarão, Av. das 2 Rodas, lote 36A - Aguada de Cima (Águeda), NIPC 513 904 409, devidamente representada neste acto pelo Senhor Engenheiro José Augusto Mota, na qualidade de CEO e adiante designada somente por **LIGHTENJIN**, ambas designadas por **Partes** e considerando:

**Primeiro:** Que o **LIQ** exerce a sua actividade desde 1987 nas áreas de prestação de serviços de calibração de equipamentos de medida e instrumentação, ensaios a material eléctrico de baixa tensão, inspecção técnica em instalações e equipamentos, coordenação de segurança em obra e análise de projectos eléctricos;

**Segundo:** Que a **LIGHTENGIN** exerce a sua actividade desde 2006 na área da iluminação, com projecto e fabrico de soluções de iluminação eficiente.

É estabelecido o presente Protocolo de Colaboração com o seguinte:

**Objectivo Geral:** Potenciar a promoção mútua e cruzada das actividades de cada uma das partes, bem como complementar as respectivas áreas de intervenção, em particular na utilização de recursos técnicos das infraestruturas de ensaio instaladas nas sedes respectivas, para verificação da conformidade normativa de produtos de iluminação, que as **Partes** reciprocamente aceitam e se rege pelas cláusulas seguintes.

### **Cláusula 1ª**

Para esta concretização do Objectivo Geral, cada uma das **Partes** compromete-se a disponibilizar a utilização dos equipamentos de ensaio descritos nas clausulas seguintes, detidos pela LIGHTENJIN e pelo LIQ, nas condições descritas no presente protocolo de cooperação.

# ***Acordo De Cooperação***

## ***LIQ / LIGHTENJIN***

§ único - Os equipamentos descritos nas clausulas 2ª e 3ª, são mutuamente disponibilizados nos termos descritos na clausula 12ª.

### **Cláusula 2ª**

A **LIGTENJIN** é detentora de um sistema de medição de fluxos luminosos e de deteção de radiações com comprimentos de onda entre 200 nm e 780 nm, composto por espectro-radiómetro sensível nas diversas gamas de comprimento de onda, goniómetro de posicionamento e medição de fluxos luminosos, esfera de alta reflexão para luminárias até 1.5 m (compatível com lâmpadas de referência em suportes E27/E40, T5/T8/T12 e led's) e respectivos acessórios e aplicações informáticas de aquisição e processamento de dados, de acordo com os requisitos no anexo P da norma EN 60598-1 instalados em sala com 12 m de extensão e estritamente dedicada a esta função de caracterização de fluxos luminosos na gama de comprimento de onda visível e de caracterização dos efeitos fotobiológicos das radiações UVA, UVB e UVC.

### **Cláusula 3ª**

O **LIQ** é detentor de um vasto conjunto de meios de ensaio de segurança eléctrica, incluindo os necessários para os ensaios de segurança eléctrica de luminárias de acordo com a normalização EN (Cenelec) e UL, mantido em condições que asseguram a acreditação de ensaios pelo IPAC e pelo IECEE, no âmbito dos acordos internacionais de certificação de produtos de iluminação.

### **Cláusula 4ª**

As duas **Partes** disponibilizam mutuamente os seus recursos e comprometem-se à planificações de actividades, de acordo com as clausulas seguintes.

### **Cláusula 5ª**

O **LIQ** compromete-se a efectuar a gestão metrológica do conjunto do equipamento referido na clausula 2ª, nomeadamente o planeamento e a análise das calibrações inerentes, asseguradas pela LIGHTENJIN, de modo a manter a rastreabilidade em relação ao sistema internacional de medidas e assim obter a validação dos resultados das medições efectuadas pelas duas partes.

# ***Acordo De Cooperação***

## ***LIQ / LIGHTENJIN***

### **Cláusula 6ª**

A **LIGHTENJIN** compromete-se manter a segregação física do local de implantação do equipamento referido na clausula 2ª, em relação às demais actividades e locais de trabalho, bem como proporcionar condições de isolamento, de modo a que a utilização que o **LIQ** solicite e planifique em concertação com a **LIGHTENJIN** seja realizável com a preservação da confidencialidade e independência a que o **LIQ** está sujeito de acordo com os requisitos da sua acreditação, em particular sempre que estas instalações e equipamento sejam usadas para o ensaio de amostras provenientes de outros fabricantes.

### **Cláusula 7ª**

A **LIGHTENJIN** compromete-se a disponibilizar os recursos referidos na clausula 2ª para a realização de auditorias no âmbito da acreditação do Laboratório de Ensaios do LIQ, sejam internas ou desencadeadas por organismos acreditadores nacionais ou internacionais.

### **Cláusula 8ª**

O **LIQ** compromete-se a conceber, aprovar e manter os procedimentos documentados e os registos dos ensaios a realizar com os equipamentos referidos na clausula 2ª, em particular todos os que sejam aplicáveis e exigíveis no contexto da acreditação do Laboratório de Ensaios do LIQ.

### **Cláusula 9ª**

O **LIQ** compromete-se a planificar os trabalhos a realizar nas instalações da **LIGHTENJIN** e a sua duração, com antecedência mínima de cinco dias úteis, concertando com esta a disponibilidade do equipamento referido na clausula 2ª.

### **Cláusula 10ª**

A **LIGHTENJIN** compromete-se a realizar os investimentos necessários à atualização tecnológica e operacional que decorra das alterações normativas na área da iluminação, com consequências nos dispositivos de ensaio referidos na clausula 2ª, nomeadamente em relação à EN 60598-1 e suas partes.

# ***Acordo De Cooperação***

## ***LIQ / LIGHTENJIN***

### **Cláusula 11ª**

O **LIQ** compromete-se a manter a gestão metrológica do conjunto do equipamento referido na clausula 2ª, perante as alterações que possam ocorrer em consequência das alterações normativas referidas na clausula nº10, bem como a actualização dos procedimentos e registos referidos na clausula 8ª.

### **Cláusula 12ª**

O **LIQ** compromete-se a disponibilizar à **LIGHTENJIN** os seus recursos laboratoriais próprios, sub-contratados ou sob protocolo com terceiros, no âmbito da acreditação do seu Laboratório de Ensaios, mediante a planificação e orçamentação dos serviços a prestar, salvaguardando a gratuidade dos ensaios a realizar nas instalações referidas na clausula 2ª, **bem como a celebração de uma avença anual que estabeleça as condições comerciais preferenciais para a realização de outros ensaios a realizar nas instalações do LIQ ou em outras distintas das referidas na clausula 2ª.**

### **Cláusula 13ª**

O **LIQ** compromete-se a envolver e abrir à participação de técnicos da **LIGHTENJIN** as acções de formação em que venham a ser desencadeadas pelos seus recursos nas áreas da compatibilidade electromagnética e dos efeitos fotobiológicos aplicáveis às luminárias, **bem como assegurar o treino e a formação necessárias aos recusus humanos da LIGTHENJIN, durante um período eficaz, no caso de tomar a decisão de adquirir e instalar na sua sede o equipamento referido na clausula 2ª, de modo a conferir a esta a necessária autonomia e competência técnica no uso destes equipamentos.**

### **Cláusula 14ª**

O **Protocolo** é válido pelo prazo de 2 (dois) anos a contar da presente data, automaticamente renovável por períodos sucessivos de 1 (um) ano, salvo em caso de denúncia por qualquer das **Partes**, com antecedência mínima de 60 dias relativamente ao termo do **Protocolo** ou da sua renovação, sem prejuízo da conclusão de trabalhos contratados e em curso, que possam decorrer para além do referido período de 60 dias.

# ***Acordo De Cooperação***

## ***LIQ / LIGHTENJIN***

### **Cláusula 15ª**

O incumprimento, total ou parcial, de quaisquer obrigações consignadas no **Protocolo** confere à **Parte** a quem não seja imputável o incumprimento, o direito de resolver o **Protocolo**, com todas as consequências legais que tal acção acarrete.

### **Cláusula 16ª**

Este Acordo poderá ser revisto e actualizado de modo concertado entre as **Partes**, ou por iniciativa de qualquer uma delas e aceite pela outra parte, sendo as notificações ou comunicações a efectuar consideradas válidas e eficazes, a partir da data da sua recepção, desde que feitas por escrito e enviadas por correio ou correio electrónico.

Feito em Águeda, em XX de Julho de 2018, em duas vias, ficando cada uma na posse de cada uma das **Partes**.

### **Pelo LIQ**

---

*Paulo Alexandre Neto Alves Afonso*

### **Pela LIGHTENJIN**

---

*José Augusto Mota*



## Anexo F – Relatórios



# Photobiological Safety Assessment- Primary Light Source



## 1. Product Details

Product Fita led  
Serial Number  
Applicable Standards IEC TR 62778

## 2. Measurement Conditions

Measurement System Bentham IDR300-PSL  
Operating Conditions  
Measurement Distance 200mm

## 3. Measurement Laboratory Details

Company: Bentham Instruments Limited  
Address: 2, Boulton Road,  
Reading, Berkshire  
RG2 0NH  
United Kingdom

## 4. Client Details

Company: Bentham Instruments Limited  
Address: 2, Boulton Road,  
Reading, Berkshire  
RG2 0NH  
United Kingdom

## 5. Blue Light Hazard

Spectral Range 300 – 780 nm  
Luminance 2.49E+05 cd m-2

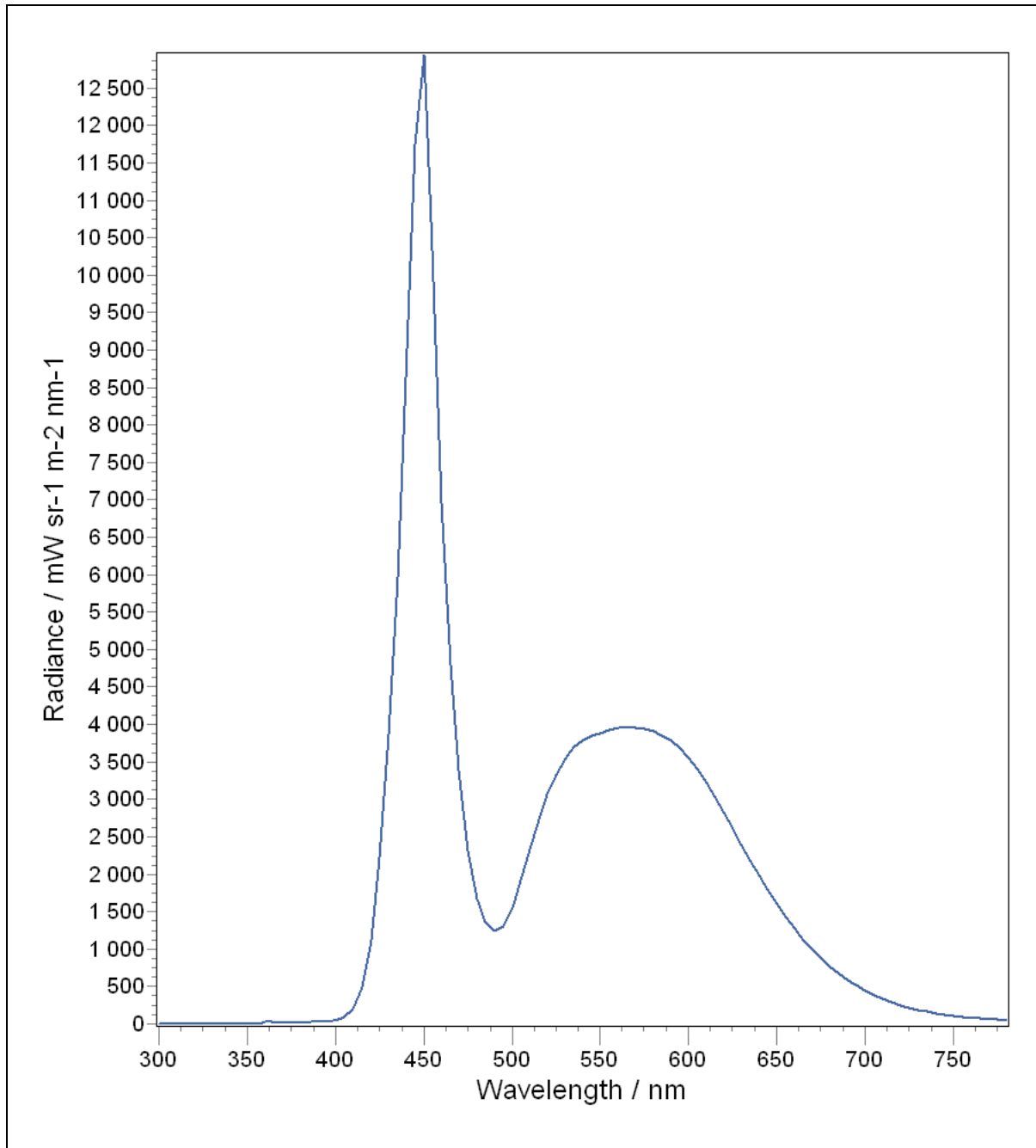
Hazard	Measured value	RG Limit	Classification <sup>1</sup>	E <sub>thr</sub> <sup>2</sup> (lx)
Blue Light Radiance 11mrad FOV (W.m <sup>2</sup> .sr <sup>-1</sup> )	351.105	1E+04	RG1 unlimited	n/a

<sup>1</sup> RG0 unlimited and RG1 unlimited classifications may be directly transferred to luminaires using this primary light source.

<sup>2</sup> Where a luminaire employs a primary light source having a result an E<sub>thr</sub> value, the corresponding distance at which this illuminance is found, d<sub>thr</sub>, should be determined.

DATE OF TEST	TESTED BY	APPROVED BY
31-05-2019	Nair Pereira	
	.....	.....

## 6. Spectrum



## 7. Spectral Data

Wavelength (nm)	Radiance (mW/sr/m <sup>2</sup> /nm)
300	8.58E-03
302	5.05E-03
304	7.92E-03
306	7.41E-03
308	1.06E-02
310	6.78E-03
312	6.91E-03
314	3.22E-03
316	5.18E-03
318	1.13E-04
320	4.58E-03
322	2.74E-03
324	4.56E-03
326	4.03E-03
328	3.90E-03
330	4.32E-03
332	1.19E-03
334	3.42E-03
336	5.36E-03
338	3.35E-04
340	1.89E-03
342	2.87E-03
344	4.14E-03
346	3.36E-03
348	5.97E-03
350	2.30E-03
352	2.90E-03
354	2.83E-03
356	3.79E-03
358	3.54E-03
360	2.61E+01
362	2.48E+01
364	2.38E+01
366	2.29E+01
368	2.23E+01
370	2.19E+01
372	2.17E+01
374	2.15E+01
376	2.12E+01
378	2.12E+01
380	2.14E+01
382	2.19E+01
384	2.26E+01
386	2.34E+01
388	2.46E+01
390	2.60E+01
392	2.78E+01
394	3.04E+01
396	3.38E+01
398	3.93E+01
400	4.70E+01
405	8.76E+01
410	2.00E+02
415	4.93E+02
420	1.12E+03

425	2.22E+03
430	3.86E+03
435	5.97E+03
440	8.64E+03
445	1.17E+04
450	1.29E+04
455	1.03E+04
460	6.95E+03
465	4.80E+03
470	3.39E+03
475	2.32E+03
480	1.67E+03
485	1.36E+03
490	1.23E+03
495	1.30E+03
500	1.55E+03
505	1.91E+03
510	2.33E+03
515	2.73E+03
520	3.07E+03
525	3.33E+03
530	3.54E+03
535	3.69E+03
540	3.78E+03
545	3.84E+03
550	3.89E+03
555	3.92E+03
560	3.95E+03
565	3.95E+03
570	3.96E+03
575	3.95E+03
580	3.92E+03
585	3.85E+03
590	3.78E+03
595	3.68E+03
600	3.55E+03
605	3.40E+03
610	3.22E+03
615	3.03E+03
620	2.82E+03
625	2.61E+03
630	2.40E+03
635	2.18E+03
640	1.98E+03
645	1.79E+03
650	1.61E+03
655	1.43E+03
660	1.27E+03
665	1.12E+03
670	9.93E+02
675	8.74E+02
680	7.66E+02
685	6.70E+02
690	5.87E+02
695	5.14E+02
700	4.43E+02
705	3.84E+02

710	3.34E+02
715	2.90E+02
720	2.53E+02
725	2.20E+02
730	1.91E+02
735	1.65E+02
740	1.44E+02
745	1.26E+02
750	1.09E+02
755	9.54E+01
760	8.36E+01
765	7.32E+01
770	6.38E+01
775	5.57E+01
780	4.85E+01

# Photobiological Safety Assessment- Luminaire



## 1. Product Details

Product lampada  
 Serial Number  
 Applicable Standards IEC TR 62778

## 2. Measurement Conditions

Measurement System Bentham IDR300-PSL  
 Operating Conditions  
 Measurement Distance 200mm

## 3. Measurement Laboratory Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 4. Client Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 5. Blue Light Hazard

Spectral Range 300 – 780 nm  
 Luminance 1.22E+04 cd m-2

Hazard	Measured value	RG1 Limit	Classification	E <sub>thr</sub> (lx)
Blue Light Radiance 11mrad FOV (W m-2 sr-1)	4.499	1E+04	RG0	n/a

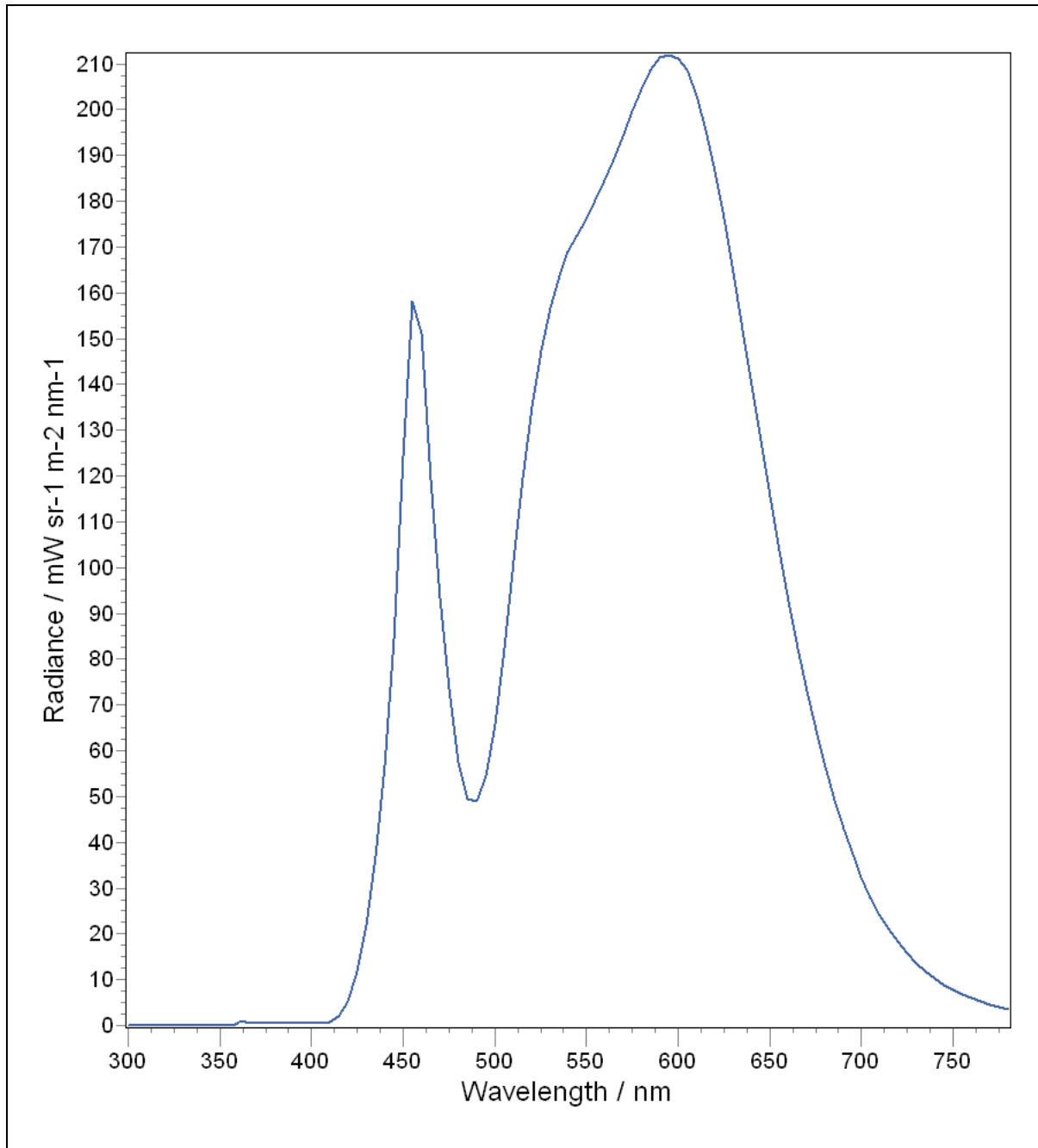
## 5. Determination of d<sub>thr</sub>

Method of determination	d <sub>thr</sub> <sup>1</sup> (m)
n/a	n/a

<sup>1</sup> Where angular subtense of source at d<sub>thr</sub> > 11mrad, value of d<sub>thr</sub> conservative.

DATE OF TEST	TESTED BY	APPROVED BY
31-05-2019	.....	.....

## 6. Spectrum



## 7. Spectral Data

Wavelength (nm)	Radiance (mW/sr/m <sup>2</sup> /nm)
300	6.30E-03
302	1.16E-03
304	0.00E+00
306	0.00E+00
308	0.00E+00
310	2.48E-03
312	1.02E-03
314	0.00E+00
316	0.00E+00
318	1.95E-03
320	2.37E-03
322	0.00E+00
324	6.21E-05
326	1.15E-03
328	3.58E-03
330	3.76E-03
332	1.25E-03
334	0.00E+00
336	0.00E+00
338	1.53E-03
340	5.62E-03
342	1.98E-03
344	3.26E-03
346	4.46E-03
348	6.64E-03
350	3.16E-03
352	4.01E-03
354	6.49E-03
356	1.24E-03
358	0.00E+00
360	7.29E-01
362	6.76E-01
364	6.41E-01
366	6.08E-01
368	5.91E-01
370	5.70E-01
372	5.55E-01
374	5.47E-01
376	5.34E-01
378	5.33E-01
380	5.26E-01
382	5.19E-01
384	5.17E-01
386	5.16E-01
388	5.13E-01
390	5.10E-01
392	5.16E-01
394	5.21E-01
396	5.25E-01
398	5.37E-01
400	5.50E-01
405	6.24E-01
410	8.64E-01
415	1.96E+00
420	5.27E+00

425	1.17E+01
430	2.19E+01
435	3.69E+01
440	5.66E+01
445	8.44E+01
450	1.24E+02
455	1.58E+02
460	1.51E+02
465	1.19E+02
470	9.34E+01
475	7.35E+01
480	5.75E+01
485	4.95E+01
490	4.90E+01
495	5.45E+01
500	6.59E+01
505	8.24E+01
510	1.01E+02
515	1.20E+02
520	1.35E+02
525	1.47E+02
530	1.57E+02
535	1.64E+02
540	1.69E+02
545	1.73E+02
550	1.76E+02
555	1.80E+02
560	1.85E+02
565	1.89E+02
570	1.94E+02
575	2.00E+02
580	2.04E+02
585	2.09E+02
590	2.11E+02
595	2.12E+02
600	2.11E+02
605	2.09E+02
610	2.03E+02
615	1.96E+02
620	1.87E+02
625	1.76E+02
630	1.64E+02
635	1.52E+02
640	1.40E+02
645	1.28E+02
650	1.16E+02
655	1.04E+02
660	9.27E+01
665	8.24E+01
670	7.30E+01
675	6.45E+01
680	5.64E+01
685	4.92E+01
690	4.29E+01
695	3.75E+01
700	3.24E+01
705	2.80E+01

710	2.42E+01
715	2.10E+01
720	1.82E+01
725	1.58E+01
730	1.36E+01
735	1.18E+01
740	1.02E+01
745	8.87E+00
750	7.75E+00
755	6.75E+00
760	5.93E+00
765	5.15E+00
770	4.53E+00
775	3.96E+00
780	3.46E+00

# Photobiological Safety Assessment- Primary Light Source



## 1. Product Details

Product Lâmpada  
Serial Number  
Applicable Standards IEC TR 62778

## 2. Measurement Conditions

Measurement System Bentham IDR300-PSL  
Operating Conditions  
Measurement Distance 200mm

## 3. Measurement Laboratory Details

Company: Bentham Instruments Limited  
Address: 2, Boulton Road,  
Reading, Berkshire  
RG2 0NH  
United Kingdom

## 4. Client Details

Company: Bentham Instruments Limited  
Address: 2, Boulton Road,  
Reading, Berkshire  
RG2 0NH  
United Kingdom

## 5. Blue Light Hazard

Spectral Range 300 – 780 nm  
Luminance 8.01E+05 cd m-2

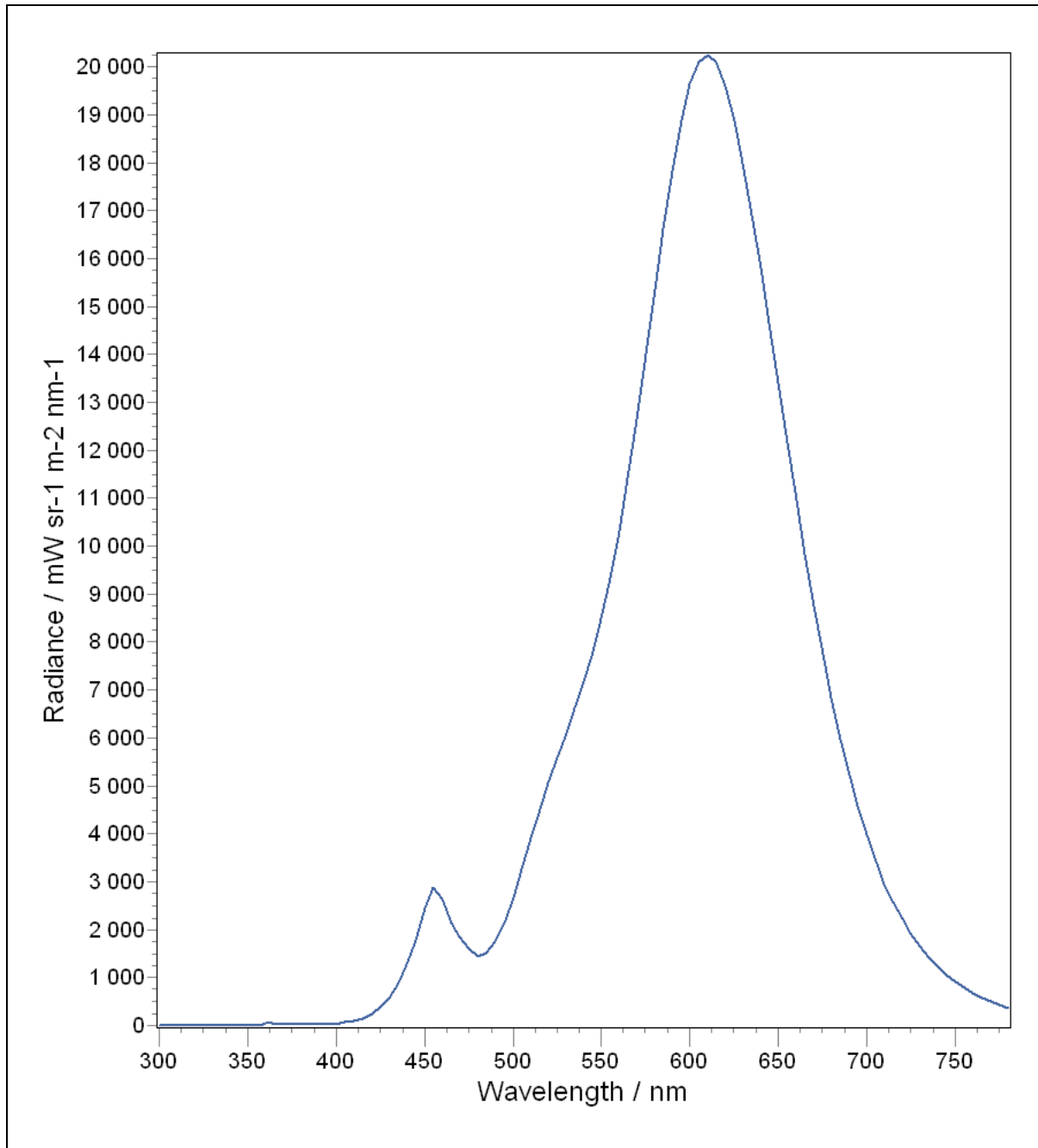
Hazard	Measured value	RG Limit	Classification <sup>1</sup>	E <sub>thr</sub> <sup>2</sup> (lx)
Blue Light Radiance 11mrad FOV (W.m <sup>2</sup> .sr <sup>-1</sup> )	101.368	1E+04	RG1 unlimited	n/a

<sup>1</sup> RG0 unlimited and RG1 unlimited classifications may be directly transferred to luminaires using this primary light source.

<sup>2</sup> Where a luminaire employs a primary light source having a result an E<sub>thr</sub> value, the corresponding distance at which this illuminance is found, d<sub>thr</sub>, should be determined.

DATE OF TEST	TESTED BY	APPROVED BY
04-06-2019	Nair Pereira	
	.....	.....

## 6. Spectrum



## 7. Spectral Data

Wavelength (nm)	Radiance (mW/sr/m <sup>2</sup> /nm)
300	1.91E-02
302	1.89E-02
304	1.15E-02
306	1.39E-02
308	1.26E-02
310	8.59E-03
312	1.16E-02
314	8.36E-03
316	1.05E-02
318	1.22E-02
320	6.13E-03
322	7.74E-03
324	7.88E-03
326	7.97E-03
328	9.28E-03
330	4.18E-03
332	7.98E-03
334	6.05E-03
336	5.41E-03
338	5.42E-03
340	6.47E-03
342	8.15E-03
344	8.68E-03
346	6.99E-03
348	8.36E-03
350	7.79E-03
352	7.13E-03
354	5.89E-03
356	7.69E-03
358	4.71E-03
360	4.12E+01
362	3.85E+01
364	3.64E+01
366	3.44E+01
368	3.29E+01
370	3.16E+01
372	3.06E+01
374	2.99E+01
376	2.91E+01
378	2.85E+01
380	2.79E+01
382	2.75E+01
384	2.70E+01
386	2.67E+01
388	2.64E+01
390	2.62E+01
392	2.60E+01
394	2.59E+01
396	2.60E+01
398	2.63E+01
400	2.72E+01
405	6.91E+01
410	9.03E+01
415	1.39E+02
420	2.30E+02

425	3.73E+02
430	5.87E+02
435	8.85E+02
440	1.26E+03
445	1.77E+03
450	2.44E+03
455	2.89E+03
460	2.63E+03
465	2.14E+03
470	1.85E+03
475	1.61E+03
480	1.44E+03
485	1.50E+03
490	1.74E+03
495	2.13E+03
500	2.66E+03
505	3.27E+03
510	3.90E+03
515	4.51E+03
520	5.06E+03
525	5.58E+03
530	6.10E+03
535	6.62E+03
540	7.17E+03
545	7.79E+03
550	8.49E+03
555	9.34E+03
560	1.03E+04
565	1.14E+04
570	1.26E+04
575	1.40E+04
580	1.54E+04
585	1.66E+04
590	1.78E+04
595	1.89E+04
600	1.96E+04
605	2.01E+04
610	2.02E+04
615	2.01E+04
620	1.96E+04
625	1.89E+04
630	1.80E+04
635	1.69E+04
640	1.58E+04
645	1.46E+04
650	1.34E+04
655	1.22E+04
660	1.10E+04
665	9.83E+03
670	8.75E+03
675	7.76E+03
680	6.83E+03
685	5.98E+03
690	5.24E+03
695	4.59E+03
700	3.98E+03
705	3.43E+03

710	2.95E+03
715	2.56E+03
720	2.23E+03
725	1.92E+03
730	1.65E+03
735	1.41E+03
740	1.21E+03
745	1.04E+03
750	9.03E+02
755	7.80E+02
760	6.75E+02
765	5.82E+02
770	5.01E+02
775	4.30E+02
780	3.70E+02

# Photobiological Safety Assessment- Luminaire



## 1. Product Details

Product Noxis  
 Serial Number  
 Applicable Standards IEC TR 62778

## 2. Measurement Conditions

Measurement System Bentham IDR300-PSL  
 Operating Conditions  
 Measurement Distance 200mm

## 3. Measurement Laboratory Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 4. Client Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 5. Blue Light Hazard

Spectral Range 300 – 780 nm  
 Luminance 2.67E+06 cd m-2

Hazard	Measured value	RG1 Limit	Classification	E <sub>thr</sub> (lx)
Blue Light Radiance 11mrad FOV (W m-2 sr-1)	1.86E+03	1E+04	RG1	n/a

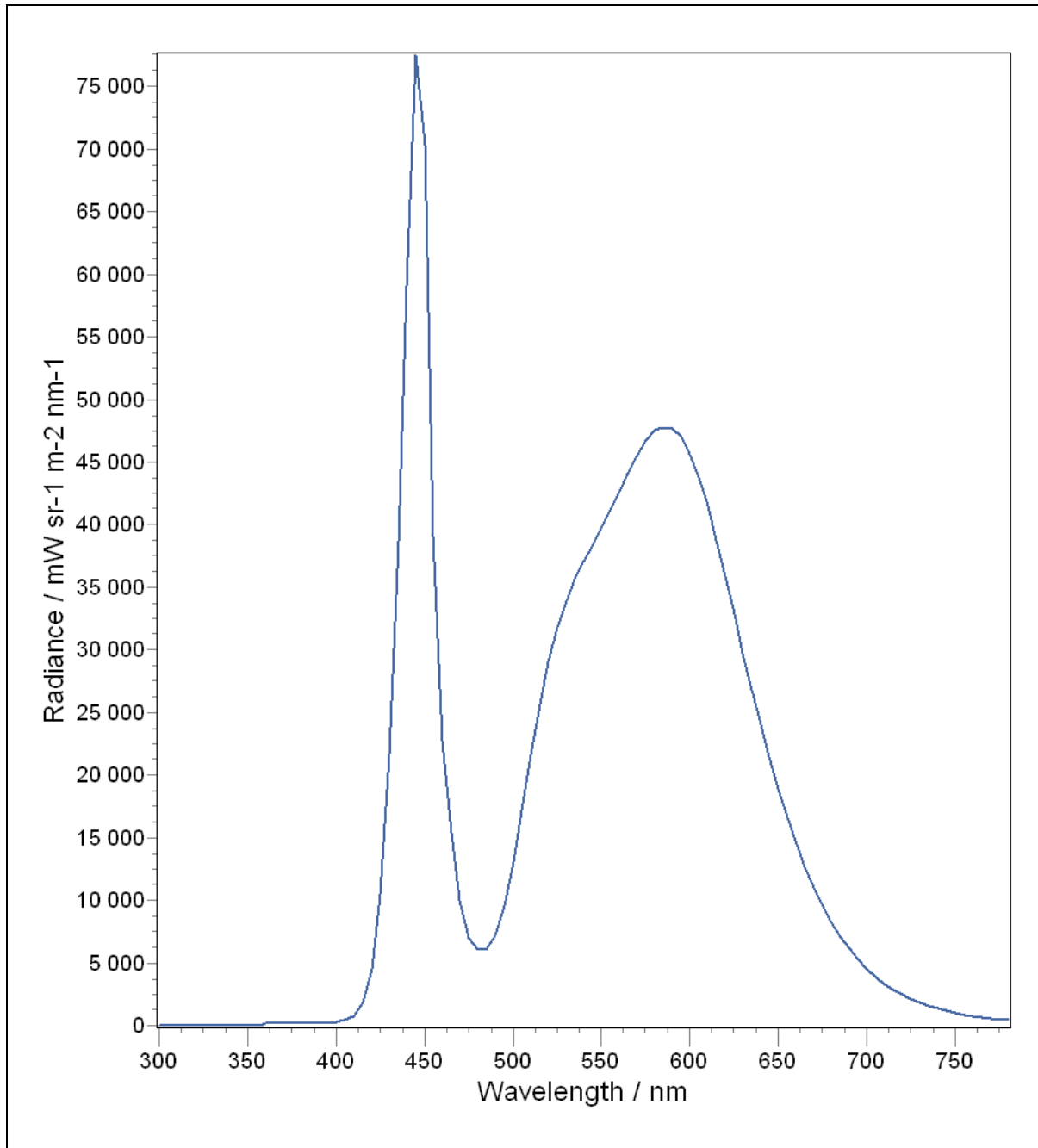
## 5. Determination of d<sub>thr</sub>

Method of determination	d <sub>thr</sub> <sup>1</sup> (m)
n/a	n/a

<sup>1</sup> Where angular subtense of source at d<sub>thr</sub> > 11mrad, value of d<sub>thr</sub> conservative.

DATE OF TEST	TESTED BY	APPROVED BY
04-06-2019	Nair Pereira	
	.....	.....

## 6. Spectrum



## 7. Spectral Data

Wavelength (nm)	Radiance (mW/sr/m2/nm)
300	1.83E-02
302	1.83E-02
304	2.27E-02
306	1.79E-02
308	1.33E-02
310	1.51E-02
312	1.36E-02
314	1.26E-02
316	9.71E-03
318	9.61E-03
320	9.23E-03
322	9.21E-03
324	1.13E-02
326	8.74E-03
328	1.03E-02
330	9.19E-03
332	7.48E-03
334	7.37E-03
336	1.19E-02
338	1.17E-02
340	8.31E-03
342	1.06E-02
344	1.21E-02
346	6.80E-03
348	9.86E-03
350	1.12E-02
352	9.22E-03
354	1.12E-02
356	6.87E-03
358	9.48E-03
360	2.00E+02
362	1.90E+02
364	1.82E+02
366	1.75E+02
368	1.70E+02
370	1.65E+02
372	1.60E+02
374	1.57E+02
376	1.54E+02
378	1.53E+02
380	1.54E+02
382	1.57E+02
384	1.61E+02
386	1.68E+02
388	1.75E+02
390	1.83E+02
392	1.90E+02
394	1.98E+02
396	2.07E+02
398	2.22E+02
400	2.47E+02
405	4.14E+02
410	7.78E+02
415	1.83E+03
420	4.50E+03

425	1.05E+04
430	2.17E+04
435	3.87E+04
440	5.91E+04
445	7.75E+04
450	7.04E+04
455	3.92E+04
460	2.28E+04
465	1.54E+04
470	9.98E+03
475	7.01E+03
480	6.05E+03
485	6.07E+03
490	7.15E+03
495	9.54E+03
500	1.31E+04
505	1.72E+04
510	2.16E+04
515	2.56E+04
520	2.90E+04
525	3.17E+04
530	3.39E+04
535	3.56E+04
540	3.71E+04
545	3.84E+04
550	3.97E+04
555	4.11E+04
560	4.27E+04
565	4.41E+04
570	4.55E+04
575	4.67E+04
580	4.76E+04
585	4.78E+04
590	4.77E+04
595	4.70E+04
600	4.57E+04
605	4.38E+04
610	4.15E+04
615	3.88E+04
620	3.59E+04
625	3.29E+04
630	2.98E+04
635	2.68E+04
640	2.40E+04
645	2.15E+04
650	1.89E+04
655	1.66E+04
660	1.45E+04
665	1.27E+04
670	1.10E+04
675	9.56E+03
680	8.25E+03
685	7.11E+03
690	6.13E+03
695	5.30E+03
700	4.52E+03
705	3.87E+03

710	3.31E+03
715	2.85E+03
720	2.45E+03
725	2.10E+03
730	1.80E+03
735	1.55E+03
740	1.34E+03
745	1.15E+03
750	9.97E+02
755	8.61E+02
760	7.49E+02
765	6.50E+02
770	5.62E+02
775	4.87E+02
780	4.22E+02

# Photobiological Safety Assessment- Luminaire



## 1. Product Details

Product Noxis sem vidro  
 Serial Number  
 Applicable Standards IEC TR 62778

## 2. Measurement Conditions

Measurement System Bentham IDR300-PSL  
 Operating Conditions  
 Measurement Distance 200mm

## 3. Measurement Laboratory Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 4. Client Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 5. Blue Light Hazard

Spectral Range 300 – 780 nm  
 Luminance 1.33E+06 cd m-2

Hazard	Measured value	RG1 Limit	Classification	E <sub>thr</sub> (lx)
Blue Light Radiance 11mrad FOV (W m-2 sr-1)	931.511	1E+04	RG1	<i>n/a</i>

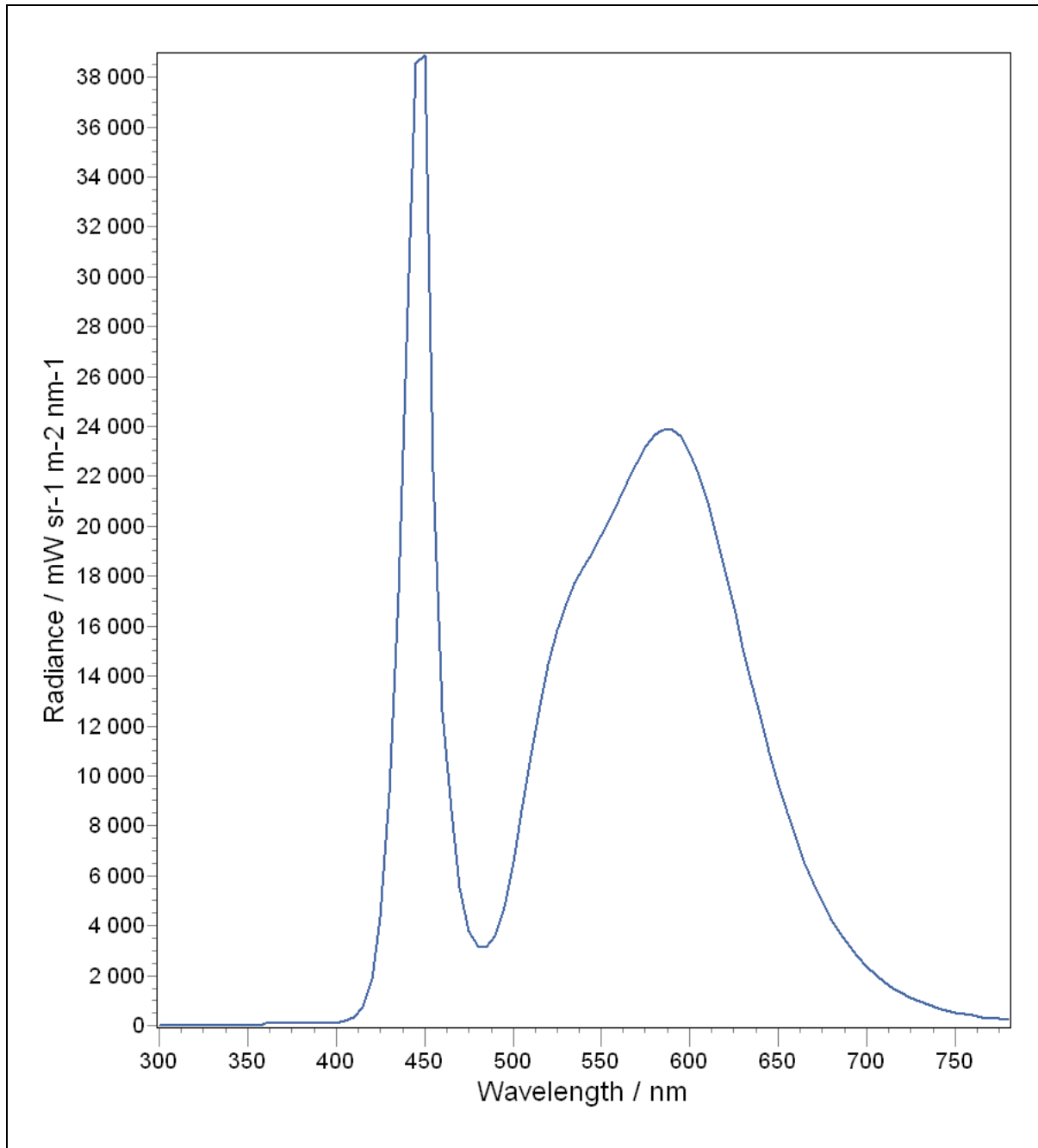
## 5. Determination of d<sub>thr</sub>

Method of determination	d <sub>thr</sub> <sup>1</sup> (m)
n/a	n/a

<sup>1</sup> Where angular subtense of source at d<sub>thr</sub> > 11mrad, value of d<sub>thr</sub> conservative.

DATE OF TEST	TESTED BY	APPROVED BY
04-06-2019	Nair Pereira	
	.....	.....

## 6. Spectrum



## 7. Spectral Data

Wavelength (nm)	Radiance (mW/sr/m <sup>2</sup> /nm)
300	1.66E-02
302	1.15E-02
304	1.10E-02
306	1.29E-02
308	1.31E-02
310	9.82E-03
312	6.14E-03
314	7.85E-03
316	5.16E-03
318	9.69E-03
320	9.32E-03
322	9.27E-03
324	8.82E-03
326	6.39E-03
328	7.48E-03
330	7.37E-03
332	1.04E-02
334	5.95E-03
336	7.83E-03
338	6.37E-03
340	8.33E-03
342	9.28E-03
344	9.03E-03
346	7.55E-03
348	9.25E-03
350	8.00E-03
352	6.36E-03
354	6.51E-03
356	8.64E-03
358	4.45E-03
360	9.79E+01
362	9.31E+01
364	8.93E+01
366	8.59E+01
368	8.33E+01
370	8.09E+01
372	7.88E+01
374	7.69E+01
376	7.52E+01
378	7.43E+01
380	7.44E+01
382	7.53E+01
384	7.72E+01
386	7.98E+01
388	8.31E+01
390	8.67E+01
392	9.08E+01
394	9.52E+01
396	9.97E+01
398	1.06E+02
400	1.14E+02
405	1.86E+02
410	3.22E+02
415	7.38E+02
420	1.83E+03

425	4.35E+03
430	9.32E+03
435	1.73E+04
440	2.73E+04
445	3.86E+04
450	3.89E+04
455	2.22E+04
460	1.26E+04
465	8.62E+03
470	5.55E+03
475	3.77E+03
480	3.19E+03
485	3.13E+03
490	3.60E+03
495	4.76E+03
500	6.53E+03
505	8.61E+03
510	1.08E+04
515	1.28E+04
520	1.45E+04
525	1.58E+04
530	1.69E+04
535	1.77E+04
540	1.84E+04
545	1.90E+04
550	1.96E+04
555	2.03E+04
560	2.11E+04
565	2.18E+04
570	2.25E+04
575	2.32E+04
580	2.37E+04
585	2.39E+04
590	2.39E+04
595	2.36E+04
600	2.30E+04
605	2.21E+04
610	2.10E+04
615	1.97E+04
620	1.82E+04
625	1.67E+04
630	1.52E+04
635	1.37E+04
640	1.23E+04
645	1.10E+04
650	9.70E+03
655	8.53E+03
660	7.46E+03
665	6.52E+03
670	5.67E+03
675	4.92E+03
680	4.25E+03
685	3.67E+03
690	3.18E+03
695	2.75E+03
700	2.34E+03
705	2.01E+03

710	1.73E+03
715	1.49E+03
720	1.28E+03
725	1.10E+03
730	9.47E+02
735	8.15E+02
740	7.04E+02
745	6.08E+02
750	5.26E+02
755	4.56E+02
760	3.97E+02
765	3.45E+02
770	2.99E+02
775	2.60E+02
780	2.25E+02

# Photobiological Safety Assessment- Luminaire



## 1. Product Details

Product Orbis  
 Serial Number  
 Applicable Standards IEC TR 62778

## 2. Measurement Conditions

Measurement System Bentham IDR300-PSL  
 Operating Conditions  
 Measurement Distance 200mm

## 3. Measurement Laboratory Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 4. Client Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 5. Blue Light Hazard

Spectral Range 300 – 780 nm  
 Luminance 5.03E+06 cd m-2

Hazard	Measured value	RG1 Limit	Classification	E <sub>thr</sub> (lx)
Blue Light Radiance 11mrad FOV (W m-2 sr-1)	2.13E+03	1E+04	RG1	n/a

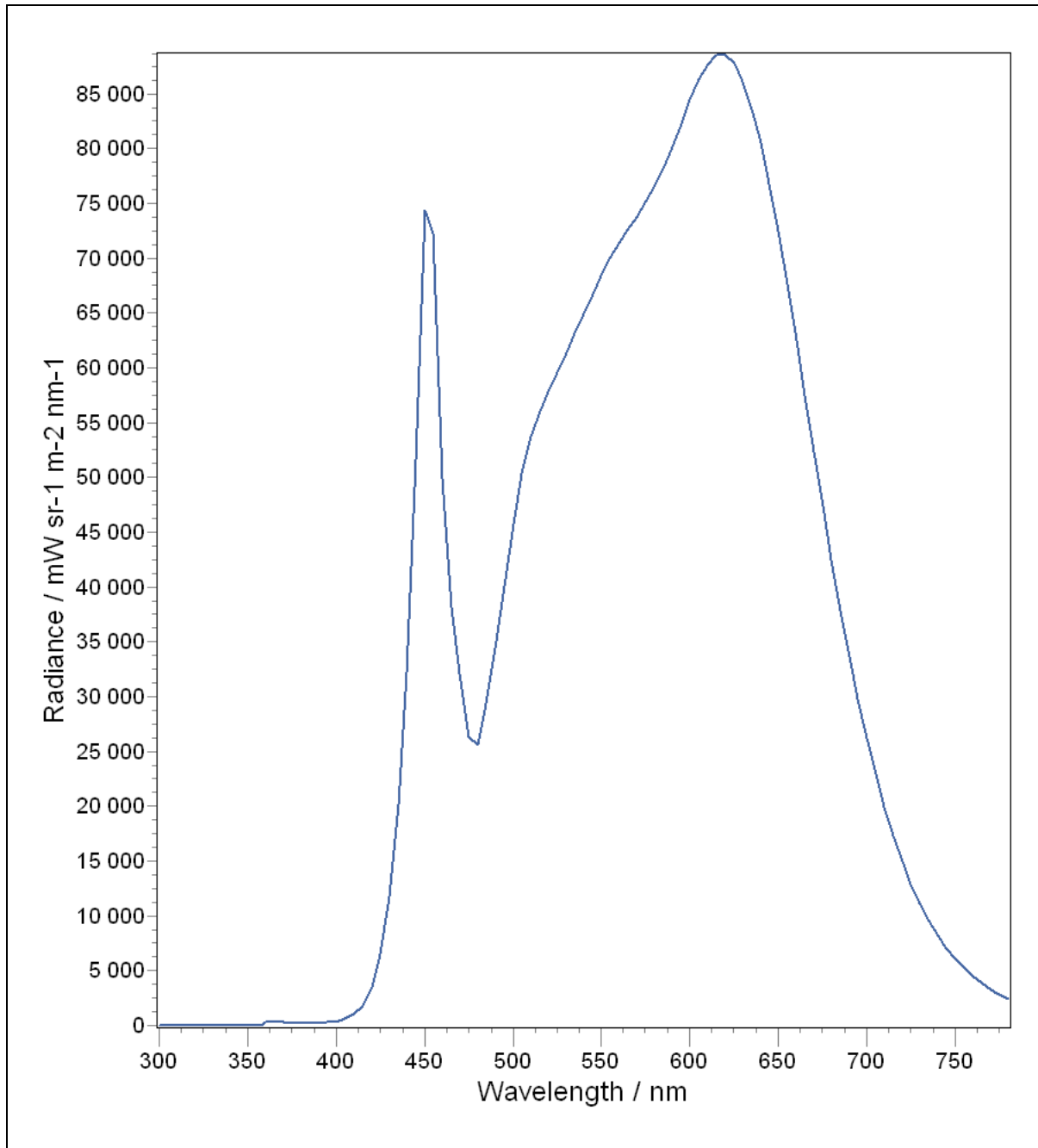
## 5. Determination of d<sub>thr</sub>

Method of determination	d <sub>thr</sub> <sup>1</sup> (m)
n/a	n/a

<sup>1</sup> Where angular subtense of source at d<sub>thr</sub> > 11mrad, value of d<sub>thr</sub> conservative.

DATE OF TEST	TESTED BY	APPROVED BY
04-06-2019	Nair Pereira	
	.....	.....

## 6. Spectrum



## 7. Spectral Data

Wavelength (nm)	Radiance (mW/sr/m <sup>2</sup> /nm)
300	8.46E-02
302	9.50E-02
304	9.29E-02
306	9.02E-02
308	8.32E-02
310	7.12E-02
312	6.64E-02
314	6.82E-02
316	5.84E-02
318	5.53E-02
320	4.82E-02
322	4.87E-02
324	4.77E-02
326	4.74E-02
328	4.99E-02
330	4.75E-02
332	4.31E-02
334	4.69E-02
336	4.46E-02
338	5.00E-02
340	5.02E-02
342	4.89E-02
344	4.52E-02
346	4.46E-02
348	4.32E-02
350	4.60E-02
352	4.61E-02
354	5.00E-02
356	4.70E-02
358	4.57E-02
360	3.28E+02
362	3.09E+02
364	2.95E+02
366	2.82E+02
368	2.72E+02
370	2.65E+02
372	2.60E+02
374	2.57E+02
376	2.53E+02
378	2.48E+02
380	2.45E+02
382	2.43E+02
384	2.41E+02
386	2.41E+02
388	2.42E+02
390	2.46E+02
392	2.53E+02
394	2.62E+02
396	2.76E+02
398	2.97E+02
400	3.26E+02
405	6.64E+02
410	1.01E+03
415	1.81E+03
420	3.47E+03

425	6.52E+03
430	1.18E+04
435	2.01E+04
440	3.22E+04
445	5.16E+04
450	7.44E+04
455	7.23E+04
460	4.99E+04
465	3.82E+04
470	3.21E+04
475	2.64E+04
480	2.56E+04
485	2.93E+04
490	3.44E+04
495	4.00E+04
500	4.57E+04
505	5.04E+04
510	5.37E+04
515	5.60E+04
520	5.78E+04
525	5.96E+04
530	6.13E+04
535	6.32E+04
540	6.50E+04
545	6.67E+04
550	6.84E+04
555	7.00E+04
560	7.15E+04
565	7.26E+04
570	7.37E+04
575	7.52E+04
580	7.67E+04
585	7.81E+04
590	8.01E+04
595	8.22E+04
600	8.45E+04
605	8.63E+04
610	8.77E+04
615	8.85E+04
620	8.85E+04
625	8.78E+04
630	8.61E+04
635	8.36E+04
640	8.05E+04
645	7.68E+04
650	7.24E+04
655	6.77E+04
660	6.25E+04
665	5.75E+04
670	5.24E+04
675	4.74E+04
680	4.25E+04
685	3.79E+04
690	3.37E+04
695	2.98E+04
700	2.62E+04
705	2.29E+04

710	1.99E+04
715	1.73E+04
720	1.50E+04
725	1.30E+04
730	1.12E+04
735	9.57E+03
740	8.22E+03
745	7.05E+03
750	6.07E+03
755	5.20E+03
760	4.47E+03
765	3.83E+03
770	3.28E+03
775	2.80E+03
780	2.38E+03

# Photobiological Safety Assessment- Luminaire



## 1. Product Details

Product Orbis R 120  
 Serial Number  
 Applicable Standards IEC TR 62778

## 2. Measurement Conditions

Measurement System Bentham IDR300-PSL  
 Operating Conditions  
 Measurement Distance 200mm

## 3. Measurement Laboratory Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 4. Client Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 5. Blue Light Hazard

Spectral Range 300 – 780 nm  
 Luminance 4.81E+06 cd m-2

Hazard	Measured value	RG1 Limit	Classification	E <sub>thr</sub> (Ix)
Blue Light Radiance 11mrad FOV (W m-2 sr-1)	1.48E+03	1E+04	RG1	n/a

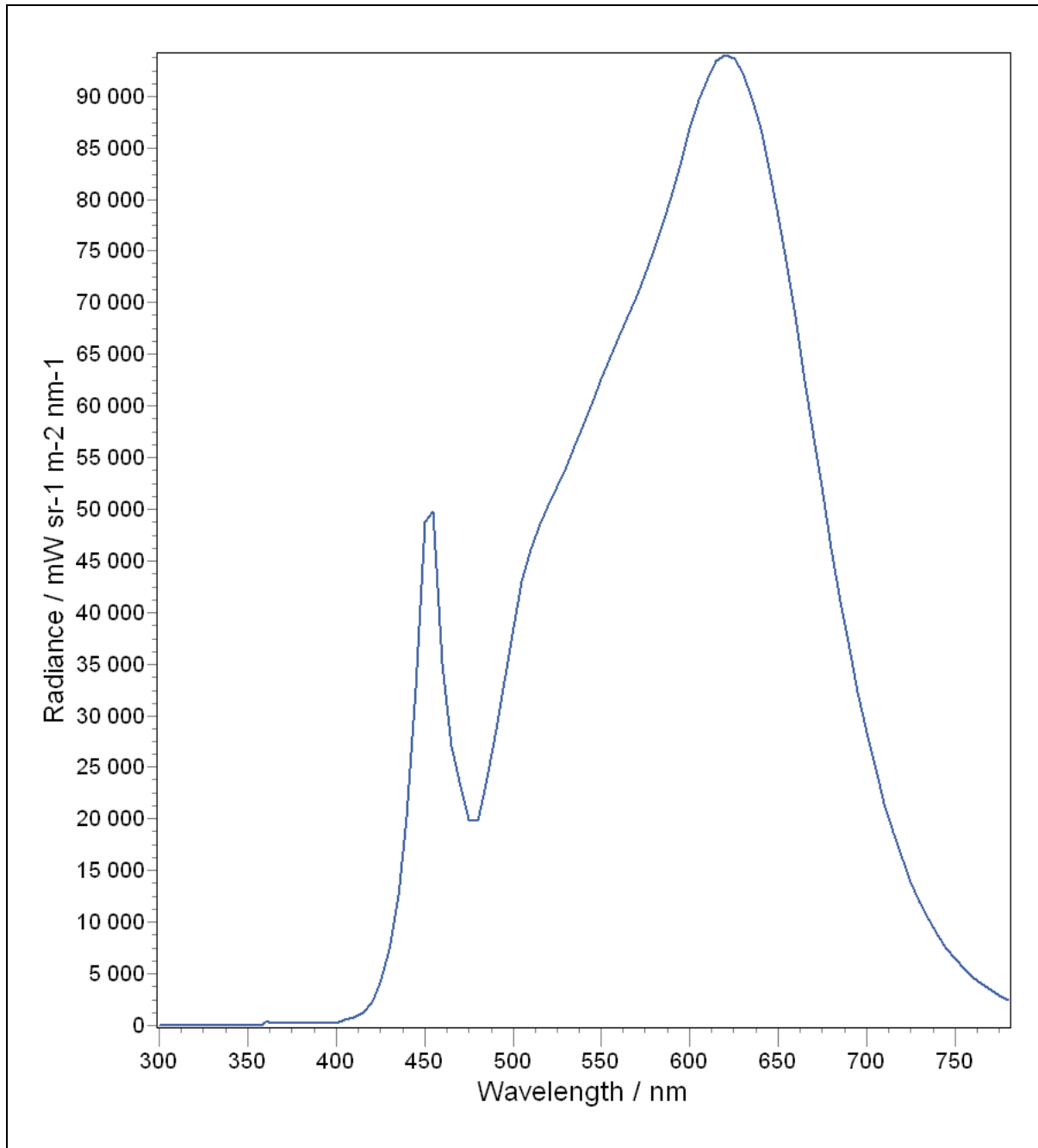
## 5. Determination of d<sub>thr</sub>

Method of determination	d <sub>thr</sub> <sup>1</sup> (m)
n/a	n/a

<sup>1</sup> Where angular subtense of source at d<sub>thr</sub> > 11mrad, value of d<sub>thr</sub> conservative.

DATE OF TEST	TESTED BY	APPROVED BY
04-06-2019	Nair Pereira	
	.....	.....

## 6. Spectrum



## 7. Spectral Data

Wavelength (nm)	Radiance (mW/sr/m <sup>2</sup> /nm)
300	1.04E-01
302	1.05E-01
304	1.03E-01
306	1.02E-01
308	8.89E-02
310	8.09E-02
312	7.50E-02
314	7.20E-02
316	6.77E-02
318	6.19E-02
320	5.70E-02
322	5.60E-02
324	5.43E-02
326	5.42E-02
328	5.26E-02
330	5.43E-02
332	5.08E-02
334	5.58E-02
336	5.66E-02
338	5.41E-02
340	5.46E-02
342	5.94E-02
344	5.30E-02
346	5.39E-02
348	5.42E-02
350	5.31E-02
352	5.26E-02
354	5.45E-02
356	5.23E-02
358	5.38E-02
360	3.00E+02
362	2.83E+02
364	2.69E+02
366	2.56E+02
368	2.47E+02
370	2.40E+02
372	2.34E+02
374	2.31E+02
376	2.27E+02
378	2.23E+02
380	2.19E+02
382	2.16E+02
384	2.14E+02
386	2.13E+02
388	2.12E+02
390	2.14E+02
392	2.17E+02
394	2.22E+02
396	2.30E+02
398	2.43E+02
400	2.61E+02
405	5.43E+02
410	7.54E+02
415	1.25E+03
420	2.27E+03

425	4.14E+03
430	7.35E+03
435	1.25E+04
440	2.01E+04
445	3.26E+04
450	4.88E+04
455	4.98E+04
460	3.51E+04
465	2.71E+04
470	2.36E+04
475	1.99E+04
480	1.98E+04
485	2.34E+04
490	2.81E+04
495	3.33E+04
500	3.86E+04
505	4.29E+04
510	4.61E+04
515	4.85E+04
520	5.04E+04
525	5.22E+04
530	5.41E+04
535	5.62E+04
540	5.83E+04
545	6.04E+04
550	6.26E+04
555	6.47E+04
560	6.68E+04
565	6.86E+04
570	7.06E+04
575	7.30E+04
580	7.53E+04
585	7.77E+04
590	8.06E+04
595	8.37E+04
600	8.69E+04
605	8.97E+04
610	9.18E+04
615	9.34E+04
620	9.40E+04
625	9.36E+04
630	9.23E+04
635	8.99E+04
640	8.69E+04
645	8.31E+04
650	7.84E+04
655	7.34E+04
660	6.79E+04
665	6.24E+04
670	5.69E+04
675	5.15E+04
680	4.62E+04
685	4.11E+04
690	3.65E+04
695	3.23E+04
700	2.84E+04
705	2.48E+04

710	2.15E+04
715	1.87E+04
720	1.61E+04
725	1.39E+04
730	1.19E+04
735	1.02E+04
740	8.74E+03
745	7.47E+03
750	6.41E+03
755	5.47E+03
760	4.69E+03
765	4.00E+03
770	3.41E+03
775	2.89E+03
780	2.46E+03

# Photobiological Safety Assessment- Luminaire



## 1. Product Details

Product Fita LED  
 Serial Number  
 Applicable Standards IEC TR 62778

## 2. Measurement Conditions

Measurement System Bentham IDR300-PSL  
 Operating Conditions  
 Measurement Distance 200mm

## 3. Measurement Laboratory Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 4. Client Details

Company: Bentham Instruments Limited  
 Address: 2, Boulton Road,  
 Reading, Berkshire  
 RG2 0NH  
 United Kingdom

## 5. Blue Light Hazard

Spectral Range 300 – 780 nm  
 Luminance 2.25E+03 cd m-2

Hazard	Measured value	RG1 Limit	Classification	E <sub>thr</sub> (lx)
Blue Light Radiance 11mrad FOV (W m-2 sr-1)	1.313	1E+04	RG0	n/a

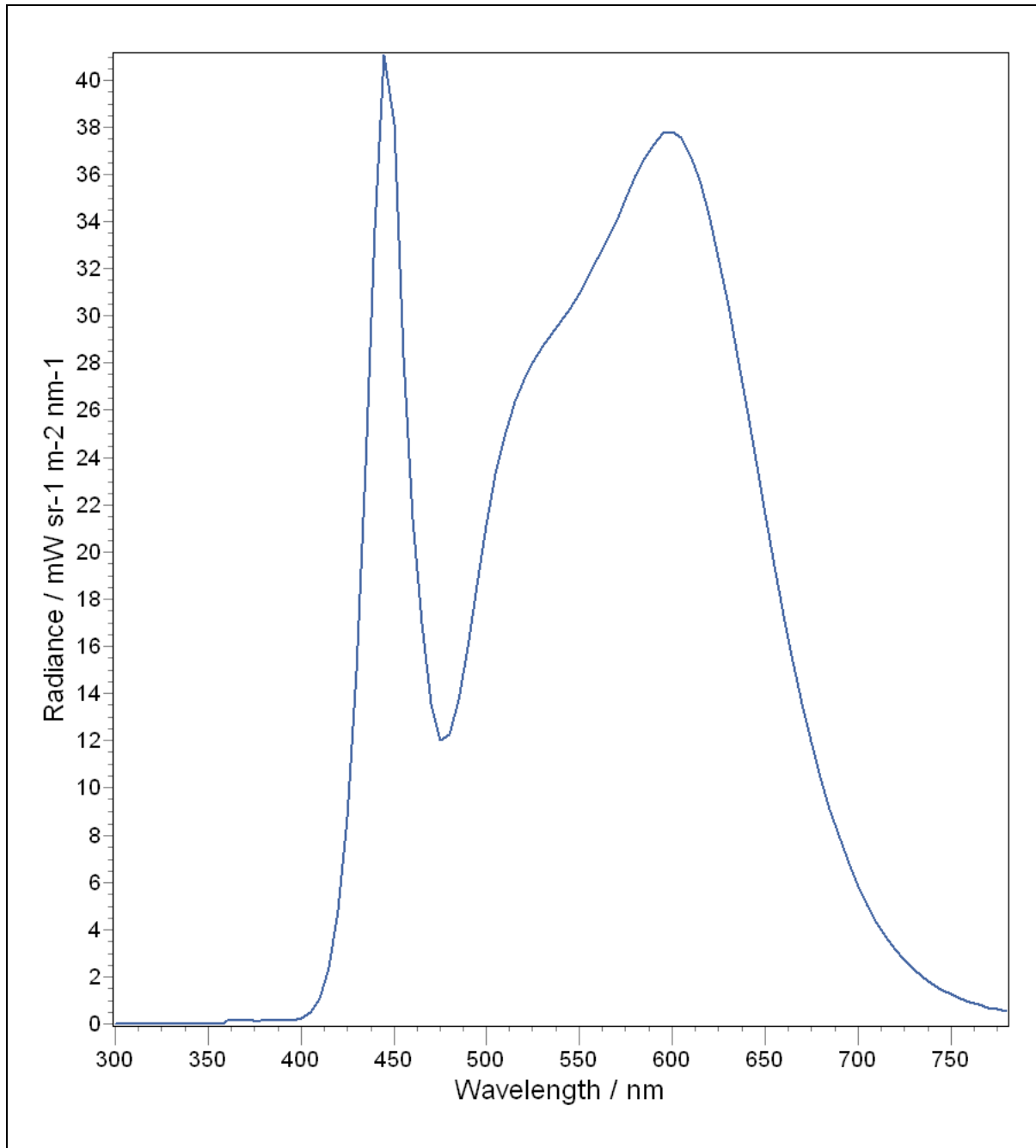
## 5. Determination of d<sub>thr</sub>

Method of determination	d <sub>thr</sub> <sup>1</sup> (m)
n/a	n/a

<sup>1</sup> Where angular subtense of source at d<sub>thr</sub> > 11mrad, value of d<sub>thr</sub> conservative.

DATE OF TEST	TESTED BY	APPROVED BY
04-06-2019	Nair Pereira	
	.....	.....

## 6. Spectrum



## 7. Spectral Data

Wavelength (nm)	Radiance (mW/sr/m <sup>2</sup> /nm)
300	7.21E-03
302	6.83E-05
304	0.00E+00
306	1.49E-03
308	2.91E-03
310	1.38E-03
312	0.00E+00
314	0.00E+00
316	0.00E+00
318	9.63E-04
320	0.00E+00
322	0.00E+00
324	7.01E-04
326	0.00E+00
328	0.00E+00
330	0.00E+00
332	0.00E+00
334	9.15E-04
336	1.32E-03
338	0.00E+00
340	6.29E-04
342	8.37E-04
344	1.64E-03
346	0.00E+00
348	2.47E-03
350	5.78E-04
352	3.10E-03
354	2.31E-03
356	0.00E+00
358	0.00E+00
360	1.61E-01
362	1.51E-01
364	1.45E-01
366	1.38E-01
368	1.35E-01
370	1.33E-01
372	1.26E-01
374	1.24E-01
376	1.22E-01
378	1.23E-01
380	1.23E-01
382	1.23E-01
384	1.25E-01
386	1.27E-01
388	1.30E-01
390	1.34E-01
392	1.41E-01
394	1.49E-01
396	1.61E-01
398	1.89E-01
400	2.27E-01
405	4.72E-01
410	1.08E+00
415	2.40E+00
420	4.79E+00

425	8.75E+00
430	1.49E+01
435	2.37E+01
440	3.37E+01
445	4.11E+01
450	3.81E+01
455	2.83E+01
460	2.14E+01
465	1.70E+01
470	1.36E+01
475	1.20E+01
480	1.22E+01
485	1.37E+01
490	1.60E+01
495	1.86E+01
500	2.11E+01
505	2.33E+01
510	2.51E+01
515	2.63E+01
520	2.73E+01
525	2.81E+01
530	2.87E+01
535	2.92E+01
540	2.98E+01
545	3.03E+01
550	3.09E+01
555	3.17E+01
560	3.24E+01
565	3.32E+01
570	3.41E+01
575	3.50E+01
580	3.59E+01
585	3.67E+01
590	3.73E+01
595	3.77E+01
600	3.78E+01
605	3.75E+01
610	3.68E+01
615	3.57E+01
620	3.43E+01
625	3.25E+01
630	3.04E+01
635	2.83E+01
640	2.61E+01
645	2.39E+01
650	2.16E+01
655	1.94E+01
660	1.73E+01
665	1.54E+01
670	1.36E+01
675	1.19E+01
680	1.04E+01
685	9.08E+00
690	7.86E+00
695	6.82E+00
700	5.82E+00
705	5.00E+00

710	4.28E+00
715	3.68E+00
720	3.16E+00
725	2.70E+00
730	2.33E+00
735	1.98E+00
740	1.71E+00
745	1.47E+00
750	1.26E+00
755	1.08E+00
760	9.40E-01
765	8.07E-01
770	7.00E-01
775	6.09E-01
780	5.32E-01