

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Projeto de Iluminação Arquitetural

Joana Inês Serrasqueiro de Oliveira

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

Orientador: Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura
Coorientador: Engenheiro Norberto Ribeiro

21 de janeiro de 2019

© Joana Oliveira, 2019

Resumo

A energia é indispensável no quotidiano do Homem moderno, da mesma maneira que é fundamental para o desenvolvimento das suas atividades. A eficiência energética assume hoje uma importância decisiva constituindo-se como um pilar estratégico do desenvolvimento sustentável.

A iluminação artificial desempenha um papel cada vez mais relevante, não só em termos da segurança, mas também em termos do desenvolvimento da atividade económica das cidades. A economia vive em torno da energia, dependendo dela e das suas fontes. É de notar o aumento constante do consumo de energia ao longo dos anos. Assim sendo, há a necessidade de criar ações de sensibilização no sentido de promover um pensamento de sustentabilidade energética.

Na arquitetura, a iluminação deve ser capaz de valorizar os elementos arquiteturais, dar-lhes alma e espaço. A conceção de projetos de iluminação eficientes é um dos maiores desafios da atualidade. Contudo, graças aos contínuos avanços da tecnologia e dos equipamentos de iluminação, ou seja, com o surgimento de novos pontos de luz e luminárias de última geração é possível uma melhor gestão dos consumos de energia.

A presente dissertação tem como principal objetivo a elaboração de um Projeto de Iluminação Arquitetural, com aplicação prática no Edifício da Alfândega Nova do Porto, sensibilizando para a necessidade de valorização dos monumentos portugueses. É apresentada uma proposta de requalificação da iluminação existente no edifício acima mencionado, incluindo-se o orçamento da obra e o cálculo do respetivo retorno do investimento.

Palavras Chave: Balanço Energético, Eficiência Energética, Iluminação Arquitetural, Tecnologia

Abstract

Energy is indispensable for the daily life in the modern world, as much as it is needed for the development of its activities. Energetic efficiency is today a core factor in the foundation of sustainable development.

Artificial lighting is progressively more important, not only in terms of safety, but also in terms of economic activity development in the cities. Economy depends on energy, needing it and its sources. The consumption of energy has been increasing as time goes by. As such, there's a need of creating campaigns in order to promote an energetic sustainability thinking.

In architecture, lighting must be able to improve architectural elements, giving them soul and space. The conception of efficient lighting projects is one of today's biggest challenges. However, thanks to the technological and lighting equipment advances, that is, the creation of new light points and last generation lamps, a better management of energy consumption becomes possible.

This paper has as its main objective creating an Architectural Lighting Project, with practical application in the building "Edifício da Alfândega Nova do Porto", sensitizing to the need of valorizing Portuguese monuments. A proposal of requalification of the existent lighting of the said building is presented, including budget and respective return of investment calculations.

Keywords: Energetic Balance, Energetic Efficiency, Architectural Lighting, Technology

Agradecimentos

Uma tese de mestrado é uma longa jornada recheada de alegrias, tristezas, desafios e incertezas, no entanto, embora este seja um processo solitário reúne contributos de diversas pessoas.

Trilhar este caminho só foi possível com o grande apoio e esforço do meu pai e da minha mãe a quem tudo devo.

À minha irmã e ao meu irmão agradeço todos os momentos que comigo partilharam, pois, sem eles atingir esta meta era impossível. Também não poderia deixar de agradecer às minhas avós, avô, ao meu tio “Quim”, que tanto me ajudou a crescer, tios, primos e a toda a restante família.

Um abraço especial a todos os meus amigos Inês, Nair, Joana, Pedro, Mónica, Patrícia, Francisco, Jorge, Filipe, Eduardo e Nuno com quem muito aprendi. Um agradecimento especial à Rita, ao Mário, ao Ricardo e ao Moura por todo o carinho, todas as horas de estudo e amizade ao longo destes anos.

Quero agradecer ao Hugo, por toda a ajuda, toda a compreensão e apoio incondicional, acreditando sempre em mim.

Agradecer à Dona Fátima por todo o carinho e suporte motivacional que me deu ao longo deste percurso e à “Mária” pelo carinho e preocupação.

À Schréder Iluminação, SA, em especial ao Eng. Nuno Marques e à Eng. Susana Ferreira, pela simpatia e disponibilidade que me prestaram, o meu muito obrigada.

À Alfândega do Porto, na pessoa do Eng. Artur Rodrigues, por todo o apoio e por me disponibilizar as plantas necessárias e indispensáveis ao meu trabalho.

Ao meu orientador Prof. Doutor António Machado e Moura um agradecimento especial pelo seu humanismo, disponibilidade, profissionalismo e por me ter dado a oportunidade de trabalhar num projeto que tanto “gozo” me deu fazer.

Por fim, ao meu coorientador Eng. Norberto Ribeiro, responsável pela proposta prática realizada, por todo o conhecimento transmitido e por toda a ajuda na realização desta dissertação.

“ARCHITECTURA SINE LUCE NULLA ARCHITECTURA EST”

Alberto Campo Baeza

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xvii
Abreviaturas e Símbolos	xix
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Contextualização e Motivação.....	1
1.2 - Objetivos	2
1.3 - Estrutura	3
Capítulo 2	5
Sistemas e Controlos de Iluminação	5
2.1 - Conceitos e Grandezas Luminotécnicas.....	6
2.1.1 - Fluxo Luminoso	7
2.1.2 - Quantidade de Luz	7
2.1.3 - Intensidade Luminosa.....	7
2.1.4 - Iluminância	8
2.1.5 - Luminância	9
2.1.6 - Breve Síntese das Grandezas	9
2.2 - Visão e Captação da Luz.....	10
2.2.1 - Reflexão.....	11
2.2.1.1 - Reflexão Regular.....	12
2.2.1.2 - Reflexão Difusa.....	12
2.2.1.3 - Reflexão Mista	13
2.2.1.4 - Reflexão Composta	13
2.2.2 - Reflexão e Textura.....	14
2.2.3 - Saúde Visual	14
2.2.3.1 - Olho	14
2.3 - Luminárias	17
2.3.1 - Constituição	17
2.3.2 - Índices de Proteção das Luminárias.....	18
2.3.3 - Resistência aos Impactos.....	20
2.3.4 - Rácio de Saída de Fluxo Luminoso	21
2.3.4.1 - Fator de Manutenção da Luminária (FML)	22
2.3.5 - Lâmpadas	23
2.3.5.1 - Classificação	26
2.3.5.2 - Dispositivos Auxiliares.....	29
2.3.5.3 - Elementos de Eficiência Energética	30
2.3.6 - Tipos de Luminárias.....	31
2.3.7 - Fotometria das Luminárias	32

Capítulo 3	35
Projeto de Iluminação Arquitetural	35
3.1 - Objetivos e Enquadramento	35
3.2 - Impacto da Iluminação Arquitetural nos Monumentos	36
3.2.1 - Intervenções no Património Cultural	37
3.3 - Evolução da Arte de Iluminar	38
3.4 - Gestão de Manutenção e Gestão Energética	39
3.5 - Geometria, Densidade e Hierarquia	40
Capítulo 4	43
Projeto de Iluminação Arquitetural do Edifício da Alfândega Nova do Porto	43
4.1 - História e Memória	43
4.2 - Área de Intervenção	45
4.3 - Diagnóstico da Iluminação Existente	46
4.3.1 - Iluminação Fachada Principal	46
4.3.2 - Iluminação Fachada - Rua Nova da Alfândega	47
4.3.3 - Iluminação Edifício Lateral	48
4.3.4 - Iluminação Estrutura Lateral	49
4.3.5 - Iluminação Parque de Estacionamento	50
4.3.6 - Cadastro da Iluminação Existente	51
4.4 - Proposta de Requalificação da Iluminação Arquitetural Exterior	51
4.4.1 - Iluminação do Edifício	52
4.4.1.1 - Iluminação Fachada Principal	52
4.4.1.2 - Iluminação Fachada Virada à Rua Nova da Alfândega	62
4.4.1.3 - Iluminação Estrutura Lateral	70
4.4.2 - Iluminação do Guindaste	72
4.4.3 - Iluminação da “Gralha”	74
4.4.4 - Iluminação Plataforma Exterior	75
4.5 - Cálculos Luminotécnicos	83
4.6 - Estimativa Orçamental	87
4.7 - Balanço Energético	88
4.8 - Investimento	91
Capítulo 5	95
Conclusões e Trabalhos Futuros	95
5.1 - Conclusão	95
5.2 - Trabalhos Futuros	96
Referências	97
Anexos	101
Anexo A	101
Anexo B	102
Anexo C	107

Lista de figuras

Figura 2.1 - Ilustração do Conceito “Qualidade da iluminação” [12].....	6
Figura 2.2 - Representação do Fluxo Luminoso Emitido por uma Fonte de Luz [15]	7
Figura 2.3 - Representação da Intensidade Luminosa[16]	8
Figura 2.4 - Representação da Iluminância [14].....	9
Figura 2.5 - Representação da Luminância[19].....	9
Figura 2.6 - Representação da Interação dos Conceitos Básicos da Luminotecnica [20]	10
Figura 2.7 - Representação do Ângulo Incidente (i) e do Ângulo de Reflexão (r) [24]	11
Figura 2.8 - Representação da Reflexão Regular de um Feixe de Luz [23]	12
Figura 2.9 - Representação da Reflexão Difusa de um Feixe de Luz [23].....	13
Figura 2.10 - Representação da Reflexão Mista de um Feixe de Luz [23]	13
Figura 2.11 - Representação da Reflexão Composta de um Feixe de Luz [23].....	13
Figura 2.12 - Ilustração do Conceito "Acuidade Visual" [29]	15
Figura 2.13 - Gráfico da Sensibilidade Fotópica e Escotópica em Função de λ [30]	15
Figura 2.14 - Etiqueta Genérica de uma Luminária [32]	17
Figura 2.15 - Representação do ULOR e DLOR [31]	22
Figura 2.16 - Evolução Temporal do LOR Associado a uma Luminária [31]	22
Figura 2.17 - Classe de Eficiência Energética das Lâmpadas [14]	23
Figura 2.18 - - Ilustração da Diferença entre Índices de Restituição da Cor	24
Figura 2.19 - Visualização das Diferentes Temperaturas de Cor das Lâmpadas [18]	25
Figura 2.20 - Representação Lâmpada de Descarga [36]	26
Figura 2.21 - Representação Visual de uma Lâmpada Incandescente [39]	27
Figura 2.22 - Interior de um LED [40]	28
Figura 2.23 - Balastro Magnético [14]	29
Figura 2.24 - Balastro Eletrônico [14]	30
Figura 2.25 - Diagrama das Curvas Isolux [44]	32
Figura 2.26 - Demonstração de um Diagrama Polar [42].....	33

Figura 2.27 - Ficha Técnica da Luminária VOLDUE Schröder [45]	34
Figura 2.28 - Fotometrias da Luminária VOLDUE Schröder [45]	34
Figura 3.1 - Ilustração da Iluminação Efeito <i>Wall Washing</i> [55]	38
Figura 3.2 - Ilustração da Iluminação <i>Up Light</i> em Colunas [56]	39
Figura 4.1 - Edifício da Alfândega Nova do Porto [60]	43
Figura 4.2 - Ramal Ferroviário de Ligação Alfândega Porto - Porto Campanhã [62]	44
Figura 4.3 - Planta do Edifício da Alfândega do Porto [Outubro de 1992]	45
Figura 4.4 - Fachada da Alfândega do Porto Virada para o Rio Douro [67]	47
Figura 4.5 - Edifício Central da Fachada Virada para a Rua Nova da Alfândega [69]	48
Figura 4.6 - Edifício Lateral "Novo" da Alfândega [70]	49
Figura 4.7 - Estrutura Lateral da Alfândega [70]	50
Figura 4.8 - Parque de Estacionamento Figura 4.9 - Via de Trânsito [70]	50
Figura 4.10 - Planta do Edifício - Proposta de Requalificação [71]	52
Figura 4.11 - Representação da Iluminação Proposta [71]	53
Figura 4.12 - Alçado Fachada Principal - Distribuição das Luminárias [71]	53
Figura 4.13 - Luminária Terra Midi LED e Respetivas Características [72]	54
Figura 4.14 - Fotometria do Projetor Terra Midi LED Proposto [72]	54
Figura 4.15 - Ampliação do Alçado da Fachada Principal - Edifício Central [71]	55
Figura 4.16 - Luminária Enyo LED e Respetivas Características [73]	55
Figura 4.17 - Fotometria do Projetor Enyo LED Proposto [73]	56
Figura 4.18 - Uma das Lanternas do Gradeamento da Alfândega [Imagem Maio 2018]	56
Figura 4.19 - Exemplo de uma Lâmpada Proposta para as Lanternas [74]	57
Figura 4.20 - Representação da Distribuição da Iluminação Proposta [71]	57
Figura 4.21 - Representação da Distribuição da Iluminação Proposta [71]	58
Figura 4.22 - Alçado Fachada Principal - Distribuição das Luminárias [71]	58
Figura 4.23 - Alçado Fachada Principal - Distribuição das Luminárias [71]	58
Figura 4.24 - Luminária Neos LED 1 e Respetivas Características [75]	59
Figura 4.25 - Fotometria da Luminária Proposta [75]	59
Figura 4.26 - Representação da Disposição das Colunas Proposta [71]	60
Figura 4.27 - Alçado da Fachada Principal - Distribuição das Luminárias [71]	60

Figura 4.28 - Coluna Focus da Schröder [76].....	61
Figura 4.29 - Luminária Focal LED e Respetivas Características [77].....	61
Figura 4.30 - Lente Proposta para a Luminária Focal LED [77]	62
Figura 4.31 - Uma das Lanternas da Fachada da Alfândega.....	62
Figura 4.32 - Alçado Fachada - Distribuição das Lanternas [71].....	63
Figura 4.33 - Distribuição das Luminárias Propostas [71].....	63
Figura 4.34 - Fotometria da Luminária Proposta [78]	64
Figura 4.35 - Ampliação do Alçado Fachada Principal - Edifício Central [71].....	64
Figura 4.36 - Marco "Centro de Congressos" do Arquiteto Souto Moura [70]	65
Figura 4.37 - Ilustração das Luminárias Deslocadas [71].....	65
Figura 4.38 - Distribuição das Luminárias Propostas [71].....	66
Figura 4.39 - Luminária Ponto LED e Respetivas Características [79]	66
Figura 4.40 - Fotometria da Luminária Proposta [79]	67
Figura 4.41 - Representação da Iluminação Proposta [71]	67
Figura 4.42 - Representação da Iluminação Proposta [71]	68
Figura 4.43 - Alçado da Fachada - Lado Drt.- Distribuição das Luminárias [71]	68
Figura 4.44 - Alçado da Fachada - Lado Esq. - Distribuição das Luminárias [71]	69
Figura 4.45 - Representação da Iluminação Proposta [71]	69
Figura 4.46 - Representação da Iluminação Proposta [71]	69
Figura 4.47 - Luminária IlumWall LED e Respetivas Características [80]	70
Figura 4.48 - Fotometria da Luminária Proposta [80]	70
Figura 4.49 - Estrutura Lateral ao Edifício [70]	71
Figura 4.50 - Estrutura em Ferro Trabalhada [70]	71
Figura 4.51 - Distribuição das Luminárias Propostas [71].....	71
Figura 4.52 - Guindaste - a "Girafa" [82].....	72
Figura 4.53 - Fotometria do Projetor Enyo Proposto [83]	73
Figura 4.54 - Fotometria da Luminária Proposta [78]	73
Figura 4.55 - Ilustração do Resultado Esperado do Guindaste	73
Figura 4.56 - Elemento Escultórico - a "Gralha"	74
Figura 4.57 - Representação da Iluminação Proposta [71]	74

Figura 4.58 - Luminária MY1 LED e Respetivas Características [84]	75
Figura 4.59 - Fotometria do Projetor MY1 Proposto [84]	76
Figura 4.60 - Representação da Iluminação Proposta [71]	76
Figura 4.61 - Exemplo Prático da Valentino LED sem Vidro [85]	77
Figura 4.62 - Alçado da Luminária Valentino LED [85]	77
Figura 4.63 - Luminária Valentino LED e Respetivas Características [85]	78
Figura 4.64 - Fotometria da Lanterna Valentino Proposta [85].....	78
Figura 4.65 - Área de Intervenção no Parque de Estacionamento [71]	79
Figura 4.66 - Representação da Iluminação Proposta [71]	79
Figura 4.67 - Luminária Dexo LED e Respetivas Características [86]	80
Figura 4.68- Fotometria da Luminária Proposta [86]	80
Figura 4.69 - Distribuição da Iluminação Proposta [71].....	81
Figura 4.70 - Distribuição das Colunas de Iluminação Propostas [71]	82
Figura 4.71 - Direção do Fluxo Luminoso dos Neos LED 1 Presentes nas Colunas [71]	83
Figura 4.72 - Proposta de Iluminação da Fachada da Rua Nova da Alfândega	84
Figura 4.73 - Entrada Principal da Fachada da Rua Nova da Alfândega.....	84
Figura 4.74 - Fachada Direita.....	84
Figura 4.75 - Fachada - Esquerda	85
Figura 4.76 - Gráfico de Valores de Iluminância Fornecidos pelo DiaLux.....	85
Figura 4.77 - Proposta de Iluminação da Fachada Virada para o Rio Douro	86
Figura 4.78 - Entrada Principal da Fachada virada a Rio	86
Figura 4.79 - Fachada Direita.....	86
Figura 4.80 - Fachada - Esquerda	86
Figura 4.81 - Gráfico de Valores de Iluminância Fornecidos pelo DiaLux.....	87
Figura 4.82 - Proposta de Iluminação da Fachada da Rua Nova da Alfândega	87
Figura 0.1 - Níveis Médios de Iluminância Recomendados para Interiores, Segundo a Norma Europeia EN 12464-1.....	101
Figura 0.2 - Fotomontagem Realizada para a Comemoração dos 150 Anos do Edifício [81] ..	107

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Quadro Resumo Grandezas Fundamentais Luminotecnia [14]	10
Tabela 2.2 - Fatores de Reflexão para Paredes e Tetos [14]	11
Tabela 2.3 - Legenda da Etiqueta Genérica da Luminária Ilustrada Acima [32].....	17
Tabela 2.4 - Tabela Referente ao 1º Dígito do IP [31]	19
Tabela 2.5 - Tabela Referente ao 2º Dígito do IP [31]	20
Tabela 2.6 - Classificação da Resistência aos Impactos - IK [31].....	21
Tabela 2.7 - Correspondência entre a Classificação e a Eficiência Energética [31]	24
Tabela 2.8 - Restituição Verdadeira da Cor do Objeto Iluminado [14].....	24
Tabela 2.9 - Grupos de Cor e a sua Gama de Temperaturas [14]	25
Tabela 4.1 - Levantamento do Equipamento Existente (Fachada Rio Douro)	47
Tabela 4.2 - Levantamento do Equipamento Existente	48
Tabela 4.3 - Levantamento do Equipamento Existente no Edifício Lateral	49
Tabela 4.4 - Levantamento do Equipamento Existente na Estrutura Lateral	50
Tabela 4.5 - Cadastro das Luminárias do Edifício	51
Tabela 4.6 - Legenda das Luminárias Propostas [72]	53
Tabela 4.7 - Legenda das Luminárias Enyo Propostas	55
Tabela 4.8 - Legenda das Luminárias Propostas.....	58
Tabela 4.9 - Legenda das Luminárias Propostas.....	60
Tabela 4.10 - Legenda das Luminárias Propostas	63
Tabela 4.11 - Legenda das Luminárias Propostas	64
Tabela 4.12 - Legenda das Luminárias Propostas	67
Tabela 4.13 - Legenda das Luminárias Propostas	68
Tabela 4.14 - Legenda das Luminárias Propostas	69
Tabela 4.15 - Legenda das Luminárias Propostas	72
Tabela 4.16 - Legenda das Luminárias Propostas	74
Tabela 4.17 - Legenda das Luminárias Propostas	76

Tabela 4.18 - Legenda das Luminárias Propostas	79
Tabela 4.19 - Legenda das Luminárias Propostas	82
Tabela 4.20 - Legenda das Luminárias Propostas	83
Tabela 4.21 - Estimativa Orçamental Dividida por Áreas de Intervenção	88
Tabela 4.22 - Potência Instalada Referente à Proposta de Requalificação	89
Tabela 4.23 - Potência Instalada Referente à Atual Instalação	89
Tabela 4.24 - Balanço Energético Relativo à Requalificação de Toda a Iluminação	90
Tabela 4.25 - Balanço Energético Relativo à Requalificação da Iluminação Arquitetural	91
Tabela 4.26 - Investimento Estimado	92
Tabela 4.27 - Poupanças e Anos de Retorno do Investimento	92

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

AMTC	Associação do Museu dos Transportes e Comunicações
CEI	Comissão Eletrotécnica Internacional
DLOR	<i>Downward Light Output Ratio</i>
EN	<i>European Norm</i>
EVRS	<i>European Viteorientinal Society</i>
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FML	Fator de Manutenção da Luminária
FMLL	Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada
IEE	Índice de Eficiência Energética
IK	Índice de Proteção Mecânica
IP	Índice Proteção
IP	Iluminação Pública
IRC	Índice de Restituição da Cor ou Cromática
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LOR	<i>Light Output Ratio</i>
OLED	<i>Organic Light Emitting Diode</i>
RA/RC	Índice de Restituição da Cor ou Índice de Reprodução Cromática
RCM	Resolução de Conselho de Ministros
Tc	Temperatura de Cor
ULOR	<i>Upward Light Output Ratio</i>

Lista de símbolos

Hu	Altura Útil
ω	Ângulo Sólido
S	Área de Superfície
cd	Candela
cm	Centímetro
sr	Esterradiano ou Estereorradiano
€	Euro
$\emptyset$	Fluxo Luminoso
E	Iluminância

IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
I	Intensidade Luminosa
I_{med}	Intensidade Luminosa Média
t	Intervalo de Tempo
K	Kelvin
lm	Lumén
L	Luminância
lx	Lux
m	Metros
nm	Nanómetro
nt	Nit
Q	Quantidade de Luz
Kg	Quilograma
rad	Radianos
r	Raio
s	Segundos
V	Volt
W	Watt

Capítulo 1

Introdução

O presente trabalho foi realizado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, sendo o primeiro capítulo da dissertação reservado à contextualização, estrutura e apresentação dos objetivos da mesma.

1.1 - Contextualização e Motivação

No início dos tempos a única luz conhecida era a luz natural. Foi no Período Paleolítico que testemunhou a descoberta do fogo pelo Homem, aparecendo assim uma nova fonte de luz natural [1][2].

Durante a Antiguidade existiu evolução da iluminação, a utilização de objetos refletores permitiu aproveitar a luz solar em ambientes fechados, bem como nos teatros da altura, gregos e romanos. Nessa época eles começavam as cenas teatrais com o nascer do sol e seguiam o astro ao longo de toda a peça. Com o mesmo intuito, milhares de anos mais tarde as igrejas da idade média disponham de enormes vitrais para aproveitar ao máximo a luz solar e tinham, no seu interior, tochas que com à noite mantinham as mesmas iluminadas [3]. Nesta altura, surgiram velas fabricadas a partir de gordura animal (sebo), uma outra opção eram velas feitas a partir de cera de abelha [4].

A fonte de luz artificial mais sofisticada surgiu em 1780 com o físico e químico suíço Aimé Argand que aperfeiçoou a lâmpada a óleo na sua invenção denominada por lâmpada de Argand. Esta criação permitia não só obter uma luz mais brilhante do que a de uma vela convencional (a sua luz era equivalente à de 10 velas), mas também tinha uma combustão mais limpa e económica do que a das velas convencionais [5] [6].

Após esta invenção, com o passar dos tempos foram surgindo diversas obras que, de algum modo, contribuíram para o impulsionar de novas obras no âmbito da iluminação de entre as quais se pode salientar:

- 1799: o inventor alemão Friedrich Winzer patenteia um Thermolampe a gás destilado da madeira. Anos depois, em 1804, é a primeira pessoa a patentear a iluminação a gás de carvão [7];
- 1879: Thomas Edison, um cientista norte-americano, inventa a primeira lâmpada elétrica incandescente comercialmente viável [8];
- 1938: surge a lâmpada fluorescente pela mão do sérvio Nikola Tesla com uma eficiência bastante mais elevada do que a das lâmpadas de filamento uma vez que emitia mais energia eletromagnética em forma de luz do que em calor [9];
- 1962: o norte-americano Nick Holonyak Jr. veio modernizar e revolucionar a arte de iluminar com o diodo emissor de luz que chegou até aos nossos dias com constantes evoluções temporais e tecnológicas [9]

Em contraste com os primórdios da Humanidade, atualmente, a iluminação tem um papel mais abrangente, sendo fulcral para o bem-estar dos utilizadores dos espaços iluminados. Assim, um projeto de iluminação deverá albergar, de entre os demais serviços necessários à sua implementação, a planificação da iluminação que será empregue e deverá estar em concordância com as normas nacionais estabelecidas a aplicar e as tecnologias disponíveis no mercado [10].

1.2 - Objetivos

A iluminação pública e arquitetural, em Portugal, é uma área bastante negligenciada, quer por parte dos projetistas de iluminação, quer pela generalidade dos responsáveis do planeamento urbano.

Se, no primeiro dos casos, ela é vista como uma mera necessidade de garantir as condições de segurança noturna na cidade, no segundo, a iluminação dos monumentos e de alguns exemplares de referência do património edificado, é frequentemente realizada de forma minimalista, com recurso a projeção de luz à distância, a partir das áreas envolventes - com a consequente anulação das sombras - em prejuízo da estética da arquitetura.

A presente dissertação tem como objetivo a metodologia de abordagem de um Projeto de Iluminação Arquitetural, visando objetivos de valorização do ambiente urbano e do património cultural, histórico e arquitetónico, atratividade turística, iluminação eficiente e da consequente diminuição da fatura energética.

Como exemplo de aplicação prática, será elaborado um Projeto de Requalificação da Iluminação Exterior do emblemático e histórico edifício da Alfândega Nova do Porto, hoje

Centro de Congressos e Museu dos Transportes e Comunicações, cujo desenvolvimento do projeto envolveu:

- Elaboração de plantas em AutoCad;
- Elaboração da memória descritiva de toda a instalação;
- Escolha cuidada da melhor solução de projeto;
- Análise técnico-económica das tecnologias escolhidas.

1.3 - Estrutura

Na presente dissertação foram considerados cinco capítulos, sendo este primeiro capítulo um breve resumo e enquadramento do tema.

O segundo capítulo permite elucidar os fundamentos teóricos indispensáveis ao estudo de qualquer tipo de projeto de iluminação. Neste ponto são identificados os diferentes tipos de lâmpadas, apesar de algumas estarem a entrar em desuso, bem como os conceitos fundamentais da luminotecnia.

O terceiro capítulo apresenta o Projeto de Iluminação Arquitetural, bem assim como os vários aspetos a ter em consideração aquando da realização deste tipo de projetos.

O quarto capítulo retrata os procedimentos necessários para a elaboração da requalificação da iluminação arquitetural do edifício da Alfândega Nova do Porto, tendo-se optado pela divisão da mesma nas seguintes vertentes: iluminação arquitetural e iluminação funcional. Neste ponto da dissertação são ainda apresentados os balanços energéticos e a estimativa orçamental correspondente a toda a área de intervenção. No final deste capítulo é apresentado o retorno do investimento.

No quinto, e último, capítulo são referidas as conclusões tiradas no desenrolar do projeto e possíveis recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Sistemas e Controlos de Iluminação

Os sistemas de iluminação devem ser pensados, projetados e executados por profissionais para que sejam ajustados à função que vão realizar. Fazendo uma analogia, com a construção de uma casa, do mesmo modo que um edifício habitacional deve ser edificado, tendo em conta o local em que este irá ser implantado, quem irá usufruir do espaço e ainda de que tipo de habitação se trata. A iluminação tem de ser abordada de forma idêntica, pois irá influenciar o dia-a-dia do Ser Humano. Assim, a iluminação de um espaço deve ser adaptada ao fim desejado, uma vez que, se for bem instalada e eficiente, leva a um bom usufruto, a uma melhor qualidade de vida e, complementarmente, a uma poupança energética.

O primeiro grande objetivo da iluminação artificial é a obtenção de boas condições de visão, associadas à segurança, orientação e conforto, sendo o segundo objetivo mais direcionado para o tema desta dissertação, ou seja, a utilização da luz como um instrumento de criação de ambientes, realçando objetos e edifícios [11].

Os sistemas e controlos da iluminação, devem seguir determinados critérios técnicos, no caso específico da iluminação arquitetural, prosseguirão igualmente um objetivo estético e emocional, visto que a iluminação afeta as reações humanas em face do ambiente iluminado [11].

O estudo da adequação é realizado por análise de parâmetros relativos às lâmpadas e luminárias existentes no mercado que definem a sua performance no local onde serão instaladas. Assim, dada a importância de se entender os parâmetros fundamentais a ter em conta na fase de seleção dos materiais luminotécnicos a utilizar, este 2º Capítulo foi reservado para o efeito.

2.1 - Conceitos e Grandezas Luminotécnicas

A iluminação é a ação e o efeito de iluminar. Contudo, na prática este conceito vai muito mais além do “ato e efeito de iluminar”, compreendendo, ainda, o conforto e o bem-estar, que se agregam na expressão “Qualidade da Iluminação”. Este “novo” conceito é apoiado na interseção de três grandes grupos (Figura 2.1): [12]

Necessidades Humanas: deve existir uma boa visibilidade de modo a promover a segurança, sem pôr em causa o conforto visual do Ser Humano e o bom desempenho das tarefas para as quais o local em causa é pensado.

Economia, Eficiência Energética e Meio Ambiente: uma boa iluminação deve igualmente incorporar tecnologias energeticamente eficientes, de modo a reduzir custos operacionais e emissões de carbono.

Respeito Arquitetural: a iluminação arquitetural deve seguir normas e códigos de modo a proteger os utentes da via, bem como deve respeitar o monumento a iluminar.

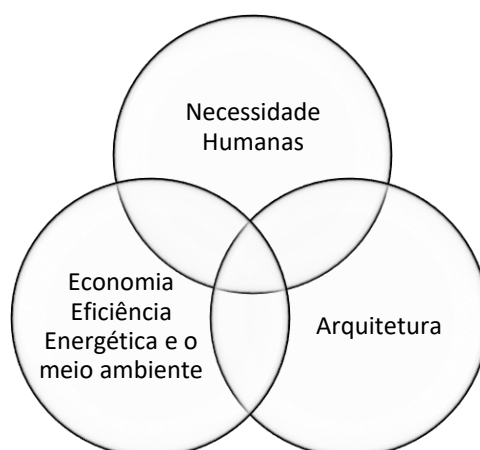


Figura 2.1 - Ilustração do Conceito “Qualidade da iluminação” [12]

No início de um projeto de iluminação são levantadas três questões essenciais:

- Qual é o objetivo primordial do espaço a iluminar?
- Como deverá a luz ser distribuída nesse local?
- Como irá o equipamento de iluminação distribuir a luz?

Para dar resposta a cada uma das questões suscitadas, é necessário ter em mente as noções básicas da luminotecnia.

As grandezas que se seguem foram desenvolvidas por dois ramos da ótica: o ramo da radiometria, que contempla um conjunto de técnicas de medição da radiação eletromagnética, e o ramo da fotometria que se dedica a medir a luz [13]. Assim, temos as seguintes grandezas:

- Fluxo Luminoso;
- Quantidade de luz;
- Intensidade Luminosa;
- Iluminância;
- Luminância.

2.1.1 - Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma dada fonte, em todas as direções, por segundo, sendo essa característica fornecida pelos fabricantes das lâmpadas [14].

A unidade de medida é o lúmen (lm) e o seu símbolo é o 'Ø'. A fonte de luz emite o fluxo luminoso representado pela Figura 2.2.



Figura 2.2 - Representação do Fluxo Luminoso Emitido por uma Fonte de Luz [15]

2.1.2 - Quantidade de Luz

A quantidade de luz é o fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz num determinado período de tempo, cujo seu símbolo é o 'Q' e a unidade de medida o lúmen * segundo. O seu valor numérico é dado pela seguinte expressão [14] :

$$Q = \varnothing * t \quad (2.1)$$

Em que:

Q - Quantidade de Luz [lm*s]

Ø - Fluxo Luminoso [lm]

t - Período de Tempo [s]

2.1.3 - Intensidade Luminosa

A unidade de medida da intensidade luminosa é a candela (cd) e é representada por 'I', sendo esta a quantidade de fluxo luminoso emitido numa determinada direção. A distribuição no espaço das intensidades luminosas define o chamado Diagrama Polar (representa a

distribuição das intensidades luminosas nas várias direções) das luminárias e das lâmpadas refletoras [14]. A Figura 2.3, que se apresenta abaixo, demonstra a diferença entre o fluxo luminoso e a intensidade luminosa.

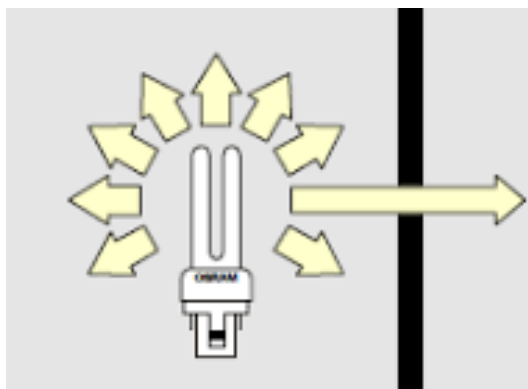


Figura 2.3 - Representação da Intensidade Luminosa[16]

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad (2.2)$$

Em que:

I - Intensidade Luminosa [cd]

ϕ - Fluxo Luminoso [lm]

ω - Ângulo sólido esterradiano [sr]

Nota: Ângulo sólido esterradiano - Tem o vértice no centro de uma esfera e intersecta a superfície da mesma.

Se uma fonte de luz emitir radiação de modo à intensidade luminosa ser igual em todas as direções estamos perante uma repartição isotrópica.

Se uma fonte pontual for capaz de emitir luz em todas as direções do espaço, é possível dar a intensidade luminosa média (I_{med}) por [14]:

$$I_{med} = \frac{\phi}{4\pi} \quad (2.3)$$

2.1.4 - Iluminância

O papel da iluminância num projeto luminotécnico é fundamental, uma vez que é o cálculo do valor desta grandeza que nos caracteriza a necessidade da iluminação de um determinado local. Os valores dos níveis de iluminância médios recomendados para os diversos locais estão representados numa tabela inserida na Norma Europeia EN 12464-1 “*Light and Lighting-Lighting of Indoor Workplaces*” (Anexo A) [17]. Assim, a iluminância é o fluxo luminoso recebido por unidade de área, considerando-a uniforme. É representada pela letra ‘E’ e a sua unidade de medida é o lux. A expressão que o caracteriza apresenta-se na equação 2.4 [14]:

$$E = \frac{\phi}{S} \quad (2.4)$$

Em que:

E - Iluminância [lux]

ϕ - Fluxo Luminoso [lm]

S - Área de Superfície Iluminada [m^2]

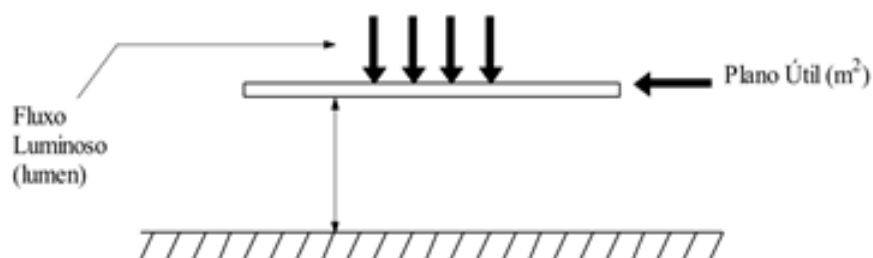


Figura 2.4 - Representação da Iluminância [14]

2.1.5 - Luminância

A luminância é a sensação de claridade ou brilho que o olho humano recebe de uma superfície. Desse modo, este conceito está diretamente ligado à intensidade luminosa e ao fator de reflexão de uma superfície [18].

Esta grandeza é expressa em candela por metro quadrado (cd/m^2) ou nit (nt), representada por 'L' [14]. A Figura 2.5 representa a luminância.

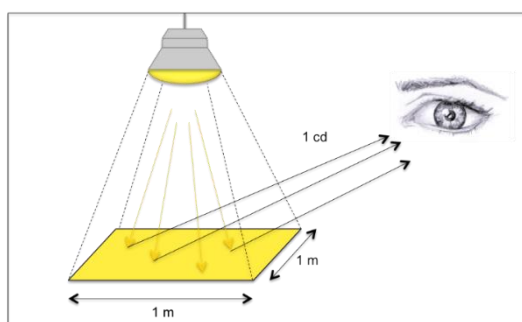


Figura 2.5 - Representação da Luminância[19]

2.1.6 - Breve Síntese das Grandezas

De forma a compreender os diversos conceitos básicos da luminotecnica e o lugar que estes ocupam no espaço, surge abaixo a Figura 2.6 que retrata a interação dos quatro conceitos já explicados anteriormente: fluxo luminoso, iluminância, intensidade luminosa e luminância.



Figura 2.6 - Representação da Interação dos Conceitos Básicos da Luminotecnica [20]

A Tabela 2.1, abaixo apresentada, resume as quatro grandezas fundamentais da luminotecnica que foram aludidas anteriormente.

Tabela 2.1 - Quadro Resumo Grandezas Fundamentais Luminotecnica [14]

<i>Grandeza</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidade</i>	<i>Expressão de Cálculo</i>
Fluxo Luminoso	Φ	Lumen (<i>lm</i>)	
Intensidade Luminosa	I	Candela (<i>cd</i>)	Φ / ω
Iluminância (Iluminação)	E	Lux (<i>lux</i>)	Φ / S
Luminância	L	Candela/m ² (<i>cd/m²</i>)	I / S

Nota: ω : Ângulo sólido ; S : Secção

2.2 - Visão e Captação da Luz

Quando se realiza um projeto de iluminação, seja ele de interior ou exterior, deve-se ter em conta as propriedades óticas dos materiais, já que a luz quando incide num objeto pode ser refletida, refratada, absorvida ou transmitida pelo mesmo.

Os acabamentos das superfícies e a sua cor influenciam a capacidade de visão e absorção, sendo que essa influencia pode ser medida através do fator de reflexão.

- **Fator de Reflexão:**

O fator de reflexão é essencial para a realização de um projeto luminotécnico. É inferior à unidade e quanto maior o valor deste índice maior, em princípio, a economia da luz artificial, uma vez que a superfície devolve uma maior quantidade de luz incidente. Este fator é dado pela seguinte expressão [14]:

$$\text{Fator Reflexão} = \frac{\text{Fluxo Luminoso Refletido}}{\text{Fluxo Luminoso Incidente}} \quad (2.5)$$

A Tabela 2.2, que se segue, apresenta a generalização dos diversos fatores de reflexão de paredes e tetos, tendo em conta as cores dos mesmos.

Tabela 2.2 - Fatores de Reflexão para Paredes e Tetos [14]

Factor de Reflexão (Valores indicativos)		
Cores	tectos	paredes
branco / muito claras	70%	50%
claras	50%	30%
médias	30%	10%

Analisando a Tabela 2.2 verifica-se que as cores claras têm uma grande capacidade de reflexão, tendo um fator de reflexão igual ou superior a 70%, enquanto que as cores escuras têm um fator de reflexão muito inferior, de 5% a 15%, absorvendo maiores quantidade de luz e calor [21].

2.2.1 - Reflexão

A reflexão da luz é um fenómeno ótico que ocorre quando um feixe luminoso incide numa superfície, sendo parte absorvido e parte refletido, continuando a propagar-se no mesmo meio, mantendo o mesmo sentido de propagação ou mudando a direção [22].

Existem quatros tipos de reflexão de um feixe de luz [23]:

- Reflexão Regular;
- Reflexão Difusa;
- Reflexão mista;
- Reflexão Composta.

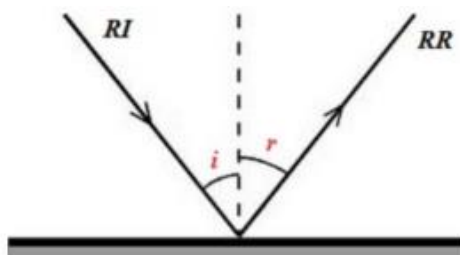


Figura 2.7 - Representação do Ângulo Incidente (i) e do Ângulo de Reflexão (r) [24]

Em que:

- RI - Raio incidente;
- i - Ângulo incidente;
- RR - Raio Refletido;
- r - Ângulo de Reflexão.

A Figura 2.7 representa o raio e ângulo incidente, assim como o raio e ângulo refletido. Deste modo, é possível interpretar estas quatro grandezas, distinguindo o ângulo incidente do ângulo de reflexão.

Nas subalíneas que se seguem será feita uma descrição pormenorizada das quatro reflexões existentes, de forma a ser possível distinguir esses mesmos conceitos.

2.2.1.1 - Reflexão Regular

A chamada reflexão regular ocorre quando a luz incide numa superfície plana, com irregularidades muito pequenas (como por exemplo superfícies polidas e espelhadas: espelhos ou metais), e os raios refletidos ficam paralelos uns aos outros [22].

Tomando como referência a Figura 2.7, na reflexão regular, o ângulo de incidência (i) é igual ao ângulo de reflexão (r) [23]. Este comportamento é descrito pela lei da reflexão que refere que a direção da luz de entrada e a direção da luz refletida de saída, em relação à superfície normal, fazem o mesmo ângulo [18]. O fenómeno ótico descrito está ilustrado, devidamente, na Figura 2.8.

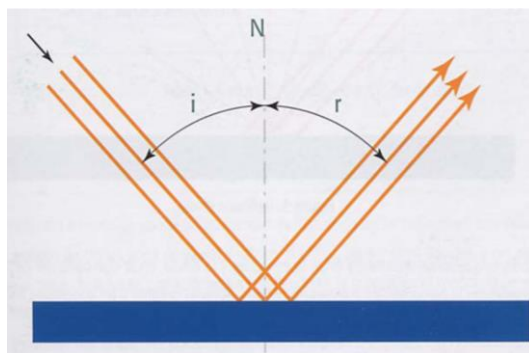


Figura 2.8 - Representação da Reflexão Regular de um Feixe de Luz [23]

2.2.1.2 - Reflexão Difusa

No caso de se tratar de uma superfície irregular, a luz incidente é refletida em todas as direções com um máximo perpendicular à superfície, satisfazendo à lei de Lambert. A este fenómeno de difusão da luz dá-se o nome de reflexão difusa, como é ilustrado na Figura 2.9 [23].

Os raios de luz refletidos propagam-se em direções diferentes. Este fenómeno ótico é extremamente comum, pois a grande maioria dos objetos visíveis são observados principalmente pela reflexão difusa da luz na sua superfície [25].

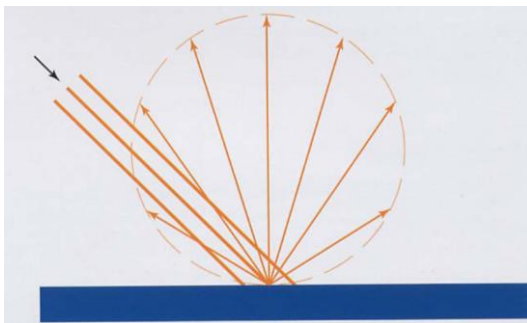


Figura 2.9 - Representação da Reflexão Difusa de um Feixe de Luz [23]

2.2.1.3 - Reflexão Mista

A reflexão mista está compreendida entre a reflexão regular e a reflexão difusa, acima apresentadas. Este fenómeno ótico ocorre quando um feixe de luz incide numa dada superfície e uma parte da radiação é refletida e a outra parte é difundida (Figura 2.10) [23].

Os metais não polidos, o papel brilhante e as superfícies envernizadas são alguns dos exemplos de uma reflexão mista [23].

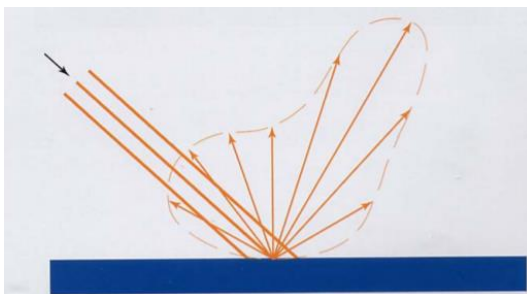


Figura 2.10 - Representação da Reflexão Mista de um Feixe de Luz [23]

2.2.1.4 - Reflexão Composta

A reflexão composta ocorre quando estamos na presença de uma superfície irregular ou rugosa. O ângulo de intensidade máxima refletida é igual ao ângulo de incidência, no entanto, ao contrário do que acontece com a reflexão regular, não há imagem da fonte de luz [26] [23]. A Figura 2.11 que se segue ilustra o fenómeno ótico da reflexão composta.

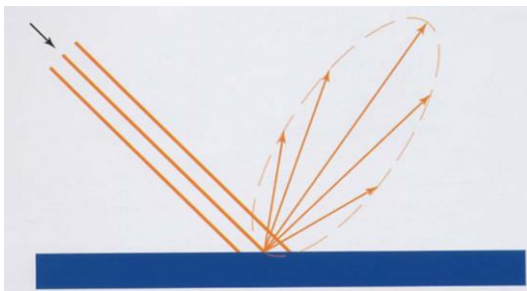


Figura 2.11 - Representação da Reflexão Composta de um Feixe de Luz [23]

2.2.2 - Reflexão e Textura

Os materiais sentem-se pelo toque e pela visão. É extremamente importante para a realização de um projeto de iluminação, pública ou arquitetural, avaliar até que ponto um dado material reflete, absorve ou filtra a luz. Por outro lado, também a textura dos materiais assume uma elevada importância num Projeto de Iluminação Arquitetural, uma vez que esta está diretamente relacionada com a qualidade cromática [21].

Numa superfície arquitetónica com acabamento liso, a graduação da luz e sombra revela-se melhor em comparação com uma superfície arquitetónica rugosa texturada que dispersa a luz. Desta forma, aquando da projeção da iluminação de um edifício arquitetural é necessário ter em consideração o tipo de material que será iluminado para retirar melhor partido do mesmo, não prejudicando, com a iluminação da superfície, o conforto visual dos utentes da via [21].

2.2.3 - Saúde Visual

Quando o olho humano é sujeito a bruscas variações de luminância tem dificuldades em adaptar-se. O sentido de mudança de luminância também influencia o tempo de adaptação do olho, sendo que, quando se passa de luminâncias baixas para luminâncias altas o olho ajusta-se mais rapidamente do que no caso oposto, de altas para baixas luminâncias [21].

Uma iluminação deficiente pode comprometer a saúde, segurança e bem-estar dos usuários do local mal iluminado. O desconforto visual torna o ambiente doentio, podendo gerar dores de cabeça, cansaço visual e, mais tarde, perda de visão [21].

A iluminação permite extrair informações e emoções do mundo que nos rodeia. Uma iluminação arquitetural exterior bem ajustada ao meio e dinâmica melhora o ambiente envolvente e, dessa forma, permite realçar pormenores dos monumentos, concedendo experiências visuais únicas a habitantes e turistas [27].

2.2.3.1 - Olho

Os olhos, órgãos que nos dão o sentido da visão, desempenham um papel fundamental no controlo das atividades e movimentos realizados pelo Homem. Como havia sido referido, anteriormente, uma iluminação deficiente pode resultar em consequências graves para a saúde visual.

O complexo processo de visão envolve diversos fenómenos físicos, fisiológicos e psicofisiológicos, com a formação da imagem, transformação da imagem no cérebro e transformação dessa mesma imagem sob a forma de sinais codificados em perceção visual [28].

O olho tem potencialidades muito específicas e de elevado interesse. Uma dessas capacidades é a de reconhecer separadamente, com nitidez e precisão, objetos muito

pequenos e próximos de si, designada por acuidade visual. Esta característica é expressa, quantitativamente, pelo inverso do ângulo mínimo sob o qual os olhos conseguem distinguir um pormenor, tal como ilustra a Figura 2.12 [29].

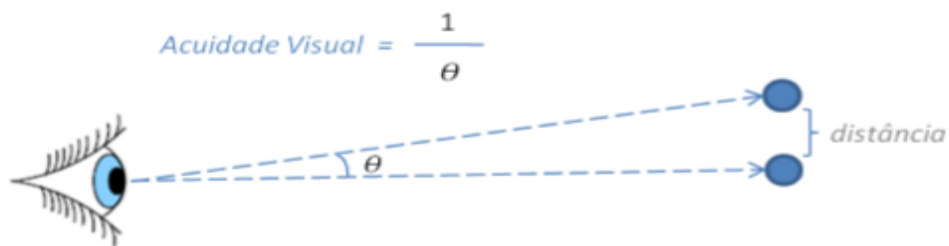


Figura 2.12 - Ilustração do Conceito "Acuidade Visual" [29]

As potencialidades do olho conferem-lhe [21]:

- **Elevada sensibilidade às diferenças de tonalidade** - Percepção para variações de 100 K;
- **Visão adaptável** - Capacidade de adaptação de 1 lx (Luz da lua) até 100.000 lx (Luz do sol) dentro do campo visual;
- **Elevada sensibilidade às variações de luminância;**
- **Incapacidade de detetar diferenças de iluminação inferiores a 35%;**
- **Afetação da Capacidade visual** - pode ser afetada negativamente com luz direta e positivamente com a luz adequadamente refletida;
- **Visibilidade a radiações luminosas com comprimentos de onda entre os 380nm e os 770 nm** (Figura 2.13).

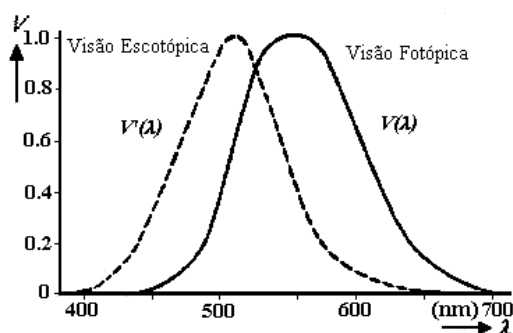


Figura 2.13 - Gráfico da Sensibilidade Fotópica e Escotópica em Função de λ [30]

O gráfico presente na Figura 2.13, representa a curva de sensibilidade do olho humano, sendo a curva da esquerda referente à sensibilidade escotópica e a curva à direita referente à sensibilidade fotópica.

Para que se entenda da melhor forma os vocábulos, acima referidos, optou-se por fazer uma breve explicação do tipo de sensibilidades que existem a nível ocular:

Sensibilidade fotópica - é a designação dada à sensibilidade do olho correspondente à visão diurna, ou seja, nas condições em que a intensidade luminosa permite a distinção das cores (Curva à direita) [21];

Sensibilidade escotópica - é a visão produzida pelo olho num regime de baixa intensidade luminosa (Curva à esquerda) [21];

Sensibilidade mesópica - combinação entre as visões escotópica e fotópica que ocorre em situações de baixa intensidade luminosa [18].

No que toca à eficácia luminosa máxima para os dois tipos de visão, denota-se que os valores são bastante díspares. Deste modo, enquanto a máxima eficácia na curva de sensibilidade da visão fotópica é de 683 lm/W, para um comprimento de onda de 555 nm, a máxima eficácia na curva de sensibilidade escotópica é de 1700 lm/W, para um comprimento de onda de 507 nm. Contudo, a eficácia máxima, em condições de visão mesópica, varia a sua curva de acordo com o nível de luminosidade ambiente pelo efeito de Purkinje. Este fenómeno consiste no deslocamento do máximo de sensibilidade da visão sensível às cores para o máximo de sensibilidade à luz, com a diminuição da luz recebida pelo olho [18] [31].

A saúde ocular é de facto uma área de cuidado aquando a realização de um projeto luminotécnico, como referido anteriormente, pois é esse o sentido explorado pelos jogos de luzes que se criam em projetos dessa natureza. Neste âmbito torna-se interessante, não só estudar o modo como o olho funciona e o processo da obtenção da imagem captada, mas também os diversos fatores que afetam a saúde ocular, como é o caso [31]:

- **Idade** - A capacidade visual de um indivíduo diminui com a idade, uma vez que, com o passar dos anos, o cristalino endurece e vai perdendo a sua elasticidade, levando a pessoa tenha uma maior dificuldade em focar objetos;
- **Adaptação** - Capacidade de adaptação ocular às diferenças de intensidades luminosa;
- **Acomodação** - Ajuste das lentes do cristalino do olho de modo a que a imagem recebida se mantenha focada na retina;
- **Contraste** - Diferença da luminância entre um objeto que se observa e o seu espaço envolvente.

Após analisadas as características da luz natural e da respetiva adaptação do olho humano, é possível estabelecer parâmetros, de modo a optar por uma iluminação, neste caso de um monumento português, de excelência e saudável, de forma a realçar todos os pormenores do edifício, sem comprometer a segurança e a saúde visual dos utentes da via, embelezando a vista para o edifício.

2.3 - Luminárias

A luminária é um conjunto de peças que serve para repartir, filtrar ou transformar luz emitida por uma ou várias lâmpadas. Compreende, para além das lâmpadas, todas as peças necessárias à sua fixação e proteção, ou seja, a luminária, para além de sustentar a fonte de luz e garantir a alimentação elétrica, deve dirigir o fluxo luminoso, de modo a evitar o encandeamento e garantir a máxima eficiência [18].

A Figura 2.14 representa um aspeto caracterizador das luminárias, a sua etiqueta. Através deste item é possível obter as características técnicas referentes às mesmas [32][18].

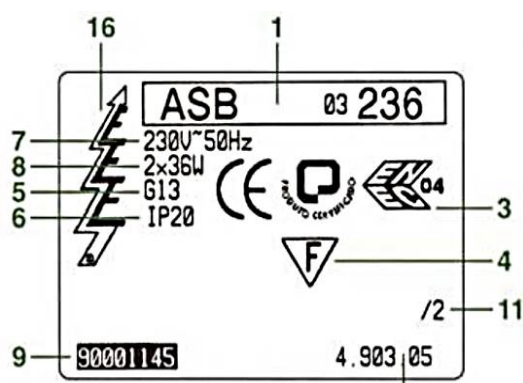


Figura 2.14 - Etiqueta Genérica de uma Luminária [32]

Tabela 2.3 - Legenda da Etiqueta Genérica da Luminária Ilustrada Acima [32]

1 - Referência da luminária	3 - Marca de conformidade
4 - Idem	5 - Referência casquilho da lâmpada
6 - Índice de proteção	7 - Tensão e frequência de alimentação
9 - Número lâmpadas X potência de cada lâmpada.	

Estas informações são normalmente fornecidas pelo fabricante, nomeadamente, a referência da luminária, a referência do casquilho da lâmpada, a tensão e frequência de alimentação e o índice de proteção.

2.3.1 - Constituição

Normalmente, uma luminária é composta por um conjunto ótico, elétrico e mecânico representados na seguinte lista de elementos [18]:

- **Corpo da Luminária/Carcaça** - pode ser simples ou composta, albergando elementos dissociáveis. As suas formas, dimensões e disposições construídas não são genéricas, uma vez que estas dependem da potência das lâmpadas, da estética

e, por fim, das condições de funcionamento. Usualmente, o corpo da luminária é construído de modo a facilitar a substituição da fonte de luz, proteger convenientemente essa mesma fonte e assegurar uma boa resistência não só à corrosão, como aos choques mecânicos e às vibrações;

- **Sistema Ótico** - elemento responsável por controlar e distribuir o fluxo luminoso da fonte de luz. Pode incluir os seguintes componentes:
 - **Refletores** - Dirigem a luz para o ângulo sólido desejado, localizando a maior percentagem possível de luz emitida na zona a iluminar. A eficiência destes depende da resistência do material e da refletância do mesmo;
 - **Difusores** - Proporcionam a estanqueidade do sistema ótico, têm como principal função modificar a distribuição espacial do fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa (direta + refletida), melhorando o conforto visual.
- **Refratores** - utilizam o princípio da refração dos corpos transparentes servindo para direcionar o fluxo luminoso. São, em geral, em vidro ou plástico. A nível construtivo deverão ter uma resistência suficiente contra choques mecânicos e térmicos, conservando o seu aspeto estético e funcional;
- **Suporte das Lâmpadas** - Deve assegurar a posição correta das fontes luminosas, para condições de utilização distintas, e possuir um contacto elétrico eficiente, particularmente quando as luminárias estão sujeitas a vibrações.

No que toca ao mercado, existe atualmente uma infinidade de soluções de iluminação, com tipos de projeção de luz diferentes (iluminação direta/indireta, luz branca, amarela, etc), com modos de aplicação diferentes (interior/exterior, habitação/jardim, chão/parede, etc), entre outras variantes que definem uma melhor adequabilidade aos locais de instalação. Pegando no caso da iluminação exterior de um edifício, as luminárias a aplicar deverão apresentar um nível adequado de proteção em relação às possíveis agressões externas, para assim garantir a circulação segura dos utentes da via, não apresentando risco elétrico e/ou mecânico.

Uma das principais características a ter em conta aquando a escolha de um equipamento de iluminação para exteriores é o seu índice de proteção (IP). Tudo isto será explicado pormenorizadamente no ponto 2.3.2 desta dissertação, que se segue.

2.3.2 - Índices de Proteção das Luminárias

O código IP é o indicativo do grau de proteção de produtos eletrónicos, neste caso da luminária, que indica a resistência e adequação do equipamento para uso num determinado ambiente (interior ou exterior) exposto a uma atmosfera com determinadas condições variáveis de temperatura, humidade, ruído e vapores tóxicos. É um padrão internacional definido pela

Comissão Eletrotécnica Internacional (CEI) e que se encontra definido na norma IEC 60529, na qual são tabelados os valores assumidos pelos parâmetros do IP [33] [34].

O índice de proteção é expresso por dois algarismos, estes seguem-se à abreviatura IP que indicam o grau de proteção contra diferentes agentes [31] [33]:

- **1º Dígito:** Grau de proteção contra contacto e a penetração de corpos sólidos. Pode assumir um valor entre 0 (significa que o equipamento não apresenta nenhuma proteção) e 6 (significa que o equipamento apresenta a máxima proteção contra poeiras e completa proteção contra contacto);
- **2º Dígito:** Grau de proteção contra entrada de água. Este parâmetro pode assumir um valor entre 0 (significa que o equipamento não apresenta nenhuma proteção) e 8 (significa que o equipamento apresenta o máximo de proteção contra a infiltração de líquidos), pelo que nesta última situação caso o equipamento esteja imerso em água não revela problemas de funcionamento.

Este índice, habitualmente indicado pelo fabricante, deve ser respeitado uma vez que o mau uso e o incumprimento das recomendações podem comprometer o bom funcionamento do equipamento. Na Tabela 2.4 e na Tabela 2.5, que se seguem, é possível observar os diferentes níveis de proteção dos equipamentos eletrónicos.

Tabela 2.4 - Tabela Referente ao 1º Dígito do IP [31]

Dígito	Tamanho do Objecto tamanho protegidos contra	Protecção
0	---	Nenhuma protecção contra o contacto e a penetração de objectos
1	> 50 milímetros	De qualquer grande superfície do corpo, tais como mãos, mas sem nenhuma protecção contra penetração liberal no instrumento
2	> 12,5 milímetros	Dedos ou objectos de comprimento maiores que 80 mm cuja menor secção transversal é maior que 12mm.
3	> 2,5 milímetros	Ferramentas, fios grossos, etc. de comprimento maiores que 2,5 mm cuja menor secção transversal é maior que 2,5mm.
4	> 1 milímetro	A maioria dos arames, parafusos, etc. de comprimento maiores que 1,0 mm cuja menor secção transversal é maior que 1,0mm.
5	Protecção relativa contra poeira e contacto com as partes internas ao invólucro	A entrada de poeira não é totalmente impedida, mas não devem entrar em quantidade suficiente para interferir com o funcionamento satisfatório do equipamento; completa protecção contra o contacto
6	Totalmente protegido contra penetração e poeira e contacto com as partes internas do invólucro	Não é esperada nenhuma infiltração de poeira e completa protecção contra contacto

Tabela 2.5 - Tabela Referente ao 2º Dígito do IP [31]

Dígito	Protecção	Descrição
0	Não protegido	Nenhuma protecção especial. Invólucro aberto
1	Gotas de água	Protecção contra gotas de água devida condensação caindo verticalmente (90°) não exercerá qualquer efeito nocivo ao funcionamento do equipamento.
2	Gotas de água quando inclinado até 15 °	Verticalmente gotas de água não devem ter qualquer efeito nocivo, quando o equipamento é inclinado em um ângulo de até 15 ° em relação a sua posição normal.
3	Água pulverizada	Água caindo como um spray, em qualquer ângulo até 60 ° em relação à vertical não deve ter qualquer efeito nocivo.
4	Projecções contra água aspergida	Projecção leve de água contra de qualquer direcção não deve ter qualquer efeito nocivo.
5	Jactos de água	Água projectada por um bico contra recinto de qualquer direcção não deve ter efeitos nocivos.
6	Poderosos jactos de água	Água projectada em jactos potentes contra a qualquer direcção não deve ter efeitos nocivos.
7	Imersão até 1 m	A entrada da quantidade de água não será prejudicial quando o equipamento estiver imerso em água sob condições definidas de pressão e do tempo (até 1 m de submersão).
8	Imersão após 1 m	A protecção do equipamento é adequada para imersão contínua em água, em condições que devem ser especificados pelo fabricante. NOTA: Normalmente, isto significa que o equipamento é hermeticamente fechado. No entanto, com determinados tipos de equipamentos, que pode significar que a água possa entrar, mas só de forma tal que não produz efeitos nocivos.

A título de curiosidade, o índice máximo de protecção contra humidades é o IP 68. O ideal seria conseguir ter todos os equipamentos de iluminação exterior com um IP máximo, no entanto, isso iria aumentar os custos de desenvolvimento e de produção.

2.3.3 - Resistência aos Impactos

O índice de protecção contra impacto, conhecido pela sigla “IK”, é um indicador da capacidade que um dado material resistir à força de um impacto repentino [31].

Na hora de escolher um produto é importante ter em consideração o índice de protecção contra impacto (IK), pois é necessário que o produto seja adequado ao meio a que se destina.

A partir da Tabela 2.6 é possível aferir os valores assumidos pelo indicador de acordo com a resistência contra impactos a que o produto pode ser submetido mantendo a segurança, sendo que a sua classificação pode ir de 0 a 10. Como tal, o índice de protecção mecânica com a designação ‘IK 00’ indica que o produto não tem protecção, enquanto o ‘IK 10’ indica que o produto é resistente contra um impacto de um objeto de 5 Kg a partir de uma distância de

40 cm, ou seja, suporta um impacto de 20,00 joules, possuindo o máximo de resistência contra impactos [31].

Tabela 2.6 - Classificação da Resistência aos Impactos - IK [31]

IK número	Energia	Equivalente impacto
00	Não-protegidos	Nenhum teste
01	Impacto energia: 0.150 joules	Resistente contra um impacto de um objecto de 200 gramas a partir de uma distância de 7,5 cm
02	Impacto energia: 0.200 joules	Resistente contra um impacto de um objecto de 200 gramas a partir de uma distância de 10 cm
03	Impacto energia: 0.350 joules	Resistente contra um impacto de um objecto de 200 gramas a partir de uma distância de 17,5 cm
04	Impacto energia: 0.500 joules	Resistente contra um impacto de um objecto de 200 gramas a partir de uma distância de 25 cm
05	Impacto energia: 0.700 joules	Resistente contra um impacto de um objecto de 200 gramas a partir de uma distância de 35 cm
06	Impacto da energia: 1,00 joules	Resistente contra um impacto de um objecto de 500 gramas a partir de uma distância de 20 cm
07	Impacto da energia: 2,00 joules	Resistente contra um impacto de um objecto de 500 gramas a partir de uma distância de 40 cm
08	Impacto da energia: 5,00 joules	Resistente contra um impacto de um objecto de 1,7 kg a partir de uma distância de 29,5 cm
09	Impacto energia: 10,00 joules	Resistente contra um impacto de um objecto de 5 kg, a partir de uma distância de 20 cm
10	Impacto energético: 20,00 joules	Resistente contra um impacto de um objecto de 5 kg, a partir de uma distância de 40 cm

2.3.4 - Rácio de Saída de Fluxo Luminoso

O rácio de saída do fluxo luminoso (em inglês *Light Output Ratio* - LOR) é dado pela expressão, 2.6, que se segue:

$$LOR = \frac{\phi_{Saída Luminária}}{\sum \phi_{lâmpadas Individuais}} \quad (2.6)$$

O LOR é dado pelo quociente entre o fluxo luminoso total de uma luminária e o somatório dos fluxos luminosos individuais das suas lâmpadas [31].

Para proceder à elaboração de um plano eficiente de iluminação, é necessário conhecer dois conceitos derivados do LOR:

- ULOR (*Upward Light Output Ratio*);
- DLOR (*Downward Light Output Ratio*).

Estes termos encontram-se inteiramente relacionados com o fluxo luminoso de uma luminária, pelo que matematicamente designam fenómenos diferentes, tal como mostra a Figura 2.15 [31]:

ULOR - Rácio entre o fluxo luminoso emitido pela luminária para cima (Ascendente) com a soma dos fluxos luminosos individuais das lâmpadas quando operadas fora das luminárias;

DLOR - Rácio entre o fluxo emitido pela luminária para baixo (Descendente) com a soma dos fluxos luminosos individuais das lâmpadas quando operadas fora da luminária.

Para uma iluminação eficiente, o ideal é aumentar até ao máximo de conforto dos utentes do local o DLOR e diminuir o máximo possível o ULOR.

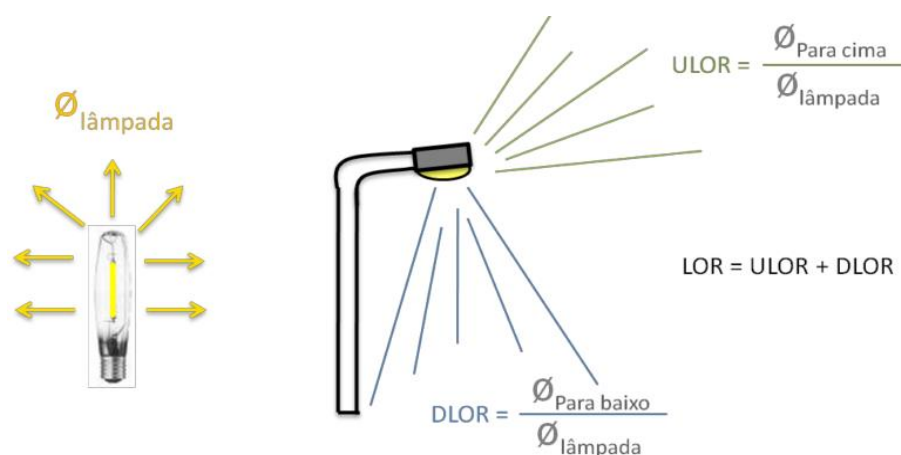


Figura 2.15 - Representação do ULOR e DLOR [31]

2.3.4.1 - Fator de Manutenção da Luminária (FML)

O Rácio de Saída de Fluxo Luminoso não é um valor constante ao longo do tempo de vida útil das luminárias, pelo que o gráfico que se apresenta na Figura 2.16 representa a evolução temporal do LOR (LOR(t)) [31].

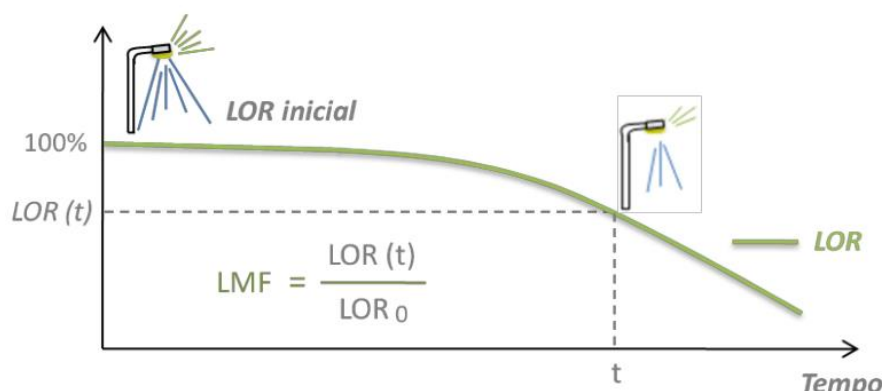


Figura 2.16 - Evolução Temporal do LOR Associado a uma Luminária [31]

O FML é o quociente entre o LOR de uma luminária num dado momento e o LOR dessa mesma luminária no início de vida [31].

2.3.5 - Lâmpadas

A evolução na área técnica da iluminação foi marcada, principalmente, pela inovação das lâmpadas, desde as lâmpadas incandescentes até às atuais lâmpadas LED.

Para além das características elétricas de funcionamento, como a tensão estipulada ou a potência absorvida, existem seis características luminotécnicas que, por norma, fazem parte da informação que os fabricantes incluem nos catálogos técnicos da especialidade. Elas são [14]:

- **Rendimento Luminoso** - relação entre o fluxo luminoso (Φ) e a potência absorvida (P) medindo-se em lm/W. Esta característica é importante para a comparação económica dos diferentes tipos de lâmpada;
- **Classe de Eficácia Energética** - classificação das lâmpadas segundo a eficiência energética das mesmas. Existem sete classes distintas identificadas de A a G, onde a classe 'A' é a mais eficiente e a classe 'G' é a de menor eficiência energética. A Figura 2.17 demonstra uma lista de lâmpadas correntes, distribuídas pelas diferentes classes de eficiência energética;

A Lâmpadas fluorescentes de trifóforo, tanto fluorescentes lineares como compactas de pino. Lâmpadas fluorescentes compactas integrais com compensação electrónica

B Lâmpadas fluorescentes lineares de halofosfato com compensação electrónica. Lâmpadas fluorescentes compactas integrais com compensação magnética

C Lâmpadas de halogéneo de eficácia elevada

D Outras lâmpadas de halogéneo

E/F Lâmpadas incandescentes normais

G Lâmpadas incandescentes decorativas e outras

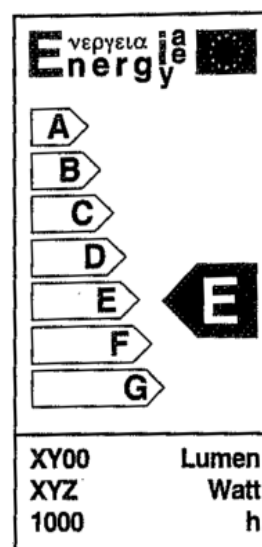


Figura 2.17 - Classe de Eficiência Energética das Lâmpadas [14]

Relativamente à Tabela 2.7, a coluna “Funcional” é referente às classes energéticas e a coluna “Eficiência Energética” permite perceber os limites das classes a nível do rendimento energético, sendo $\mathcal{E}$ - Eficiência Energética da Instalação.

Tabela 2.7 - Correspondência entre a Classificação e a Eficiência Energética [31]

Funcional	Eficiência Energética
A	$\mathcal{E} > 40$
B	$40 \geq \mathcal{E} > 35$
C	$35 \geq \mathcal{E} > 30$
D	$30 \geq \mathcal{E} > 25$
E	$25 \geq \mathcal{E} > 20$
F	$20 \geq \mathcal{E} > 15$
G	$\mathcal{E} \leq 15$

- **Índice de Restituição de Cor ou Índice de Reprodução Cromática** - dada pela abreviatura RA ou RC pretende quantificar o efeito da radiação emitida por uma lâmpada sobre o aspeto cromático do(s) objeto(s) por ela iluminado(s). Este índice varia entre 0 e 100, sendo que quanto mais perto de 100 mais natural será a aparência do objeto iluminado. O seu valor depende principalmente da composição espectral da luz que o ilumina [14]. A Tabela 2.8 dá conta dos diversos índices e o seu grau de naturalidade;

Tabela 2.8 - Restituição Verdadeira da Cor do Objeto Iluminado [14]

<i>Ra</i>	Restituição da verdadeira cor do objecto iluminado
Menor que 60	Pobre
Entre 60 e 80	Boa
Entre 80 e 90	Muito Boa
Entre 90 e 100	Excelente



Figura 2.18 - - Ilustração da Diferença entre Índices de Restituição da Cor

- **Temperatura de cor** - relacionada com a tonalidade da cor emitida pela lâmpada, cuja unidade de medida é o Kelvin (K) e a sua abreviatura é 'Tc'. Esta característica da luz visível é determinada pela comparação da sua saturação cromática com a de um corpo negro radiante ideal, isto é, é a temperatura a que um corpo negro irradia a mesma cor da fonte luminosa [31].

Na Tabela 2.9 é possível observar os três grupos de cor existentes nas lâmpadas com as respetivas gamas de temperaturas de cor [14];

Tabela 2.9 - Grupos de Cor e a sua Gama de Temperaturas [14]

Cor	Tc
Branco quente	Inferior a 3300 K
Branco neutro	Entre 3300 K e 5000 K
Luz fria	Superior a 5000 K

Quanto mais elevada for a temperatura da fonte luminosa, mais fria parecerá a luz por ela emitida. Quanto mais baixa for a temperatura mais quente parece a luz emitida pela fonte. A Figura 2.19 permite verificar, visualmente, a diferença de tons que um local sofre alterando a temperatura de cor das lâmpadas.



Figura 2.19 - Visualização das Diferentes Temperaturas de Cor das Lâmpadas [18]

- **Duração de vida** - valor dado pelo fabricante, que indica o número de horas após as quais 50% de um lote significativo de lâmpadas acesas deixa de emitir fluxo luminoso [35]. Este valor é um dado aproximado, pois depende de diversos fatores como a quantidade de vezes que a lâmpada se liga e desliga, a tensão de funcionamento, a presença de vibrações ou até mesmo da temperatura ambiente em que esta se encontra [14];
- **Tipo de casquilho** - o casquilho é a parte da lâmpada que permite a sua fixação da lâmpada à luminária. Para os identificar mais facilmente, estes têm associado um

código próprio que os caracteriza consoante o tipo de lâmpada. Existem códigos como E40, E25 e E14 que são casquilhos para lâmpadas incandescentes ou de descarga, bem como, por exemplo, G5 e G13 que são casquilhos para lâmpadas fluorescentes lineares [14].

Existem, porém, outras características que podem ser tomadas em consideração, no entanto, para este tipo de projeto de iluminação não existe necessidade de as realçar.

2.3.5.1 - Classificação

Desde os primórdios da Humanidade vários inventores tentaram dar o seu contributo na história da evolução das fontes de luz à base de energia elétrica. Foram realizadas diversas pesquisas e experiências na tentativa de melhorar o sistema de iluminação, que colaboraram no avançar das tecnologias existentes ao nível das lâmpadas. Esta evolução teve sempre como base a busca de uma maior eficiência energética e durabilidade das lâmpadas, a um preço competitivo a nível de mercado.

Existem então três grandes famílias de lâmpadas:

- Lâmpadas de Descarga;
- Lâmpadas de Filamento Incandescente;
- Lâmpadas com Tecnologia LED.

Lâmpada de Descarga - é constituída por um tubo onde se processa uma descarga entre elétrodos numa atmosfera gasosa. Como é visível na Figura 2.20 o tubo é envolvido, exteriormente, por um outro tubo ou ampola de vidro [14].

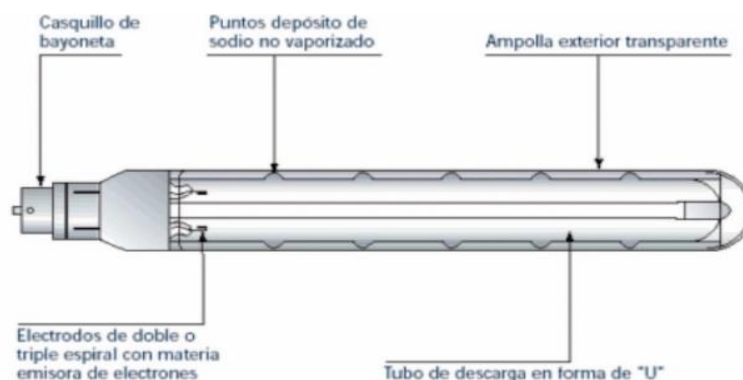


Figura 2.20 - Representação Lâmpada de Descarga [36]

Existem duas grandes famílias de lâmpadas de descarga que estão dependentes da pressão a que o gás está sujeito [14]:

- Lâmpadas de Descarga de Alta Pressão:
 - ✓ Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão;
 - ✓ Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
 - ✓ Lâmpadas de iodetos metálicos.
- Lâmpadas de Descarga de Baixa Pressão:
 - ✓ Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão;
 - ✓ Lâmpadas fluorescentes normais;
 - ✓ Lâmpadas fluorescentes compactas.

Lâmpadas de Filamento Incandescente - a luz é produzida aquando da passagem da corrente elétrica por um fino filamento, geralmente de tungsténio, que se torna incandescente, produzindo assim luz e calor. Este tipo de lâmpadas tem baixa eficiência energética, uma vez que grande parte da potência absorvida é transformada em calor [14].

A Figura 2.21 representa uma lâmpada muito usada na casa dos portugueses há 15/20 anos atrás. Com a evolução da tecnologia estas lâmpadas começaram a desaparecer do mercado europeu, existindo, por parte da Comissão Europeia, uma ordem de proibição de produção destas lâmpadas, de forma a ser possível a redução do consumo de energia e, consequentemente, a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera [37] [38].



Figura 2.21 - Representação Visual de uma Lâmpada Incandescente [39]

Lâmpada com Tecnologia LED - a base do funcionamento deste tipo de lâmpadas é o Díodo Emissor de Luz (em inglês *Light Emitting Diode*), um componente semicondutor que converte energia elétrica diretamente em luz. A cor da luz emitida depende da composição do material semicondutor usado, podendo ser ultravioleta, visível ou infravermelha. No mercado existem LED's bicolores, tricolores e intermitentes [35].

O LED não tem filamento e o seu funcionamento é bastante diferente em comparação com as outras lâmpadas. Ao ser-lhe aplicada uma tensão, a corrente que os percorre aquece estes semicondutores e este tipo de lâmpada gera luz devido ao movimento de eletrões dentro do material semicondutor. Se o material emissor de um LED for um composto orgânico, é conhecido por OLED (do inglês *Organic Light Emitting Diode*). Esta tecnologia tem sofrido

diversas melhorias ao longo dos últimos dez anos. Nesse seguimento o rendimento luminoso, de um LED atualmente, consegue atingir níveis superiores a 150 lm/W [40].

Em relação aos outros tipos de lâmpada, as lâmpadas com tecnologia LED têm as seguintes vantagens [35]:

- Maior rendimento;
- Podem emitir luz de qualquer cor sem a necessidade de filtros;
- Um LED pode ser desenhado de modo a focar a luz emitida, sem o uso de reflectores externos;
- Quando são usados LEDs com regulação de fluxo, não existe modificação da tonalidade da cor da luz emitida com a variação da corrente que os atravessa;
- São mais resistentes que os outros tipos de lâmpadas;
- Têm uma duração de vida útil superior a qualquer um dos outros tipos de lâmpadas (em média 50.000 horas);
- Atingem o seu fluxo nominal rapidamente (100ns);
- Podem ter dimensões muito reduzidas;
- Não contêm mercúrio.

Tal como a lista acima ilustra, são inúmeras as vantagens apresentadas face a todos os outros tipos de lâmpadas. Contudo, também apresentam algumas desvantagens, como o elevado custo de aquisição, o RC (índice de restituição de cor) pode não ser o mais adequado e, por fim, no caso de LED's de alta potência, pode ser necessário um dispositivo de dissipação de calor, visto que os LED's com o aumento da temperatura diminuem a quantidade de luz emitida [40].

As lâmpadas com tecnologia LED possuem ainda uma particularidade face a todos os outros tipos de lâmpadas, pois ao contrário das lâmpadas fluorescentes ou incandescentes que podem queimar com facilidade (humidade, mau contato, entre outros), o LED, em condições normais de temperatura e com instalação correta, não queima.

A Figura 2.22 apresenta o interior de um LED comum.

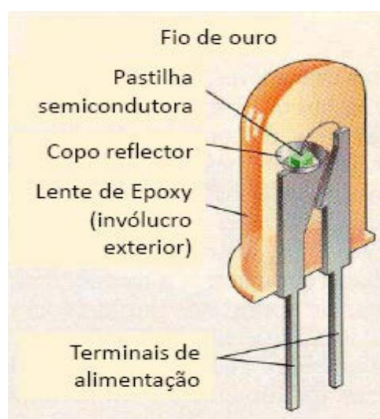


Figura 2.22 - Interior de um LED [40]

As tensões para o funcionamento de um Led são, normalmente, muito baixas, variando entre 10V e 24V. Assim, para ser possível serem alimentados a partir da rede necessitam de um transformador, conhecido como driver, este, normalmente, já faz parte dos aparelhos de iluminação adaptados para LED [14].

2.3.5.2 - Dispositivos Auxiliares

No caso particular das lâmpadas de descarga existe a necessidade de utilizar dispositivos auxiliares para que estas funcionem corretamente, nomeadamente o balastro e o arrancador [14].

Balastros - são dispositivos que servem para limitar a corrente que atravessa a lâmpada de descarga, evitando, assim, o excesso de elétrons no interior da lâmpada, pois a situação contrária levaria à destruição da lâmpada.

Existem dois tipos de balastros:

- **Balastros magnéticos** - são bobinas de limitação de corrente, cujos valores de resistência e de indutância conferem ao dispositivo um fator de potência bastante baixo, tipicamente, entre 0,3 e 0,5 (Figura 2.23). Existem balastros convencionais e balastros de perdas reduzidas (obviamente de menor consumo) [14].



Figura 2.23 - Balastro Magnético [14]

- **Balastros Eletrônicos** - são especialmente usados em lâmpadas fluorescentes normais. A Figura 2.24 representa um exemplo comum deste tipo de equipamento eletrônico. Estes aparelhos apresentam diversas vantagens em relação aos balastros magnéticos [14] [41]:
 - Perdas reduzidas com uma economia energética de até 25%;
 - As lâmpadas fluorescentes quando associadas a balastros eletrônicos produzem, aproximadamente, mais 20%;

- A tremulação dos balastros magnéticos corresponde à frequência de 50 ciclos/segundo, nos eletrônicos é de cerca de 40 000 ciclos/segundo, desse modo, durante o funcionamento não existe cintilação;
- Fluxo constante independente da tensão de alimentação;
- Impõem arranques suaves das lâmpadas, o que permite que estas apresentem um do tempo de vida útil maior, em cerca de 50%, e com custos de manutenção mais reduzidos;
- Não necessitam de arrancadores;
- Podem operar duas vezes mais lâmpadas que o balastro convencional;
- Apresentam um controlo mais preciso em termos de potência da lâmpada e corrente;
- Temperaturas de funcionamento mais baixas;
- São mais leves, eliminam ruídos e reduzem o consumo de energia;
- Evita o uso de condensadores, uma vez que o fator de potência é mais elevado, superior a 0,95.



Figura 2.24 - Balastro Eletrónico [14]

A questão das perdas devido aos balastros deve ter-se em conta, dado que esta é a principal causa da baixa eficiência das lâmpadas. Deste modo, foi criada uma classificação diferente para os diversos tipos de balastros existentes, albergando seis classes de eficiência energética distintas: A1, A2, A3, B1, B2, C. Estas classes correspondem a um índice de eficácia energética (IEE) decrescendo da classe A1 para a classe C [14].

O índice de eficácia energética é uma classificação calculada com base no valor de potência total (expresso em Watts) do conjunto balastro/lâmpada de uma determinada luminária [14].

2.3.5.3 - Elementos de Eficiência Energética

A utilização racional de energia é a noção mais sucinta do termo eficiência energética, sendo este é um processo de poupança energética.

As lâmpadas têm uma tabela de eficiência energética associada ao seu rendimento luminoso. Os parâmetros luminotécnicos que se seguem expressam os níveis de eficiência energética de uma fonte luminosa (lâmpada):

- **Eficácia Luminosa** - é a relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida. Expressa-se em lúmen por watt (lm/W) e representa a avaliação da eficiência. Em termos comportamentais denota-se que quanto maior for o valor da relação lm/W maior será a luz produzida por unidade de potência consumida. Esta potência deve incluir os consumos dos auxiliares de funcionamento (os balastros) [21];
- **Rendimento** - é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma luminária e o fluxo luminoso das lâmpadas que a equipam [21]. Exprime-se em lm/W e, por exemplo no caso das lâmpadas de incandescência é de cerca de 8 lm/W [35];
- **Refletância** - indica a percentagem de fluxo luminoso refletido por uma dada superfície. É um fator determinante no cálculo de níveis de iluminação [21].

O conhecimento profundo das características das lâmpadas usadas nos projetos de iluminação permite obter um projeto eficiente e funcional, evitando a poluição luminosa e favorecendo um ambiente confortável e seguro.

2.3.6 - Tipos de Luminárias

Após a análise cuidada das características das lâmpadas e da tecnologia disponível no mercado é necessário saber que manchas de luz desejamos imprimir num dado espaço e fazer a escolha adequada de todo o material.

O uso incorreto de uma luminária poderá condicionar o resultado do projeto de iluminação, seja ele arquitetural de interior/exterior, ou de iluminação pública. Nesse sentido, para simplificar a procura de uma luminária, existem diversas formas, no mercado, de as catalogar [42]:

- **Luminárias encastradas (Apliques de parede/chão exterior)** - A superfície da luminária apresenta-se ao nível da parede/teto que a contem, ficando o restante no interior da parede/teto;
- **Luminárias salientes (Apliques de parede/chão exterior)** - A superfície da luminária não fica ao nível da parede/teto onde é colocada, existindo uma saliência;
- **Luminária de pavimento** - Poderão fazer um varrimento de iluminação de uma fachada, sendo denominadas de *Up-Light*;

- **Luminárias decorativas** - Simples apontamentos luminosos, podendo ser meramente decorativo, ou ter presença na iluminação principal de um espaço;
- **Projetores de exterior** - Utilizados para a iluminação de monumentos.

2.3.7 - Fotometria das Luminárias

A maneira como representamos a forma como uma luminária projeta o fluxo luminoso no espaço, as direções e as intensidades são medidas e expressas por meio de curvas e diagramas fotométricos [43].

A fotometria de uma luminária é caracterizada pelo estudo da intensidade luminosa de uma luminária onde é colocada uma lâmpada de potência definida, de forma a ser possível criar um sistema padrão de comparação direta [43] [44].

Os diagramas luminotécnicos são auxiliares importantes para o projeto de iluminação. O desempenho fotométrico está relacionado com a eficiência e a eficácia da luminária ao direcionar luz para o alvo desejado, que é determinado pelas propriedades fotométricas da lâmpada, da luminária e pela qualidade dos componentes de controle da luz. Assim, os diagramas luminotécnicos fazem uma representação gráfica de grandezas luminotécnicas num plano e num espaço [44].

Existem dois diagramas de elevada importância:

- **Diagrama de Curvas Isolux:**

O diagrama de curvas isolux pode ser obtido recorrendo a qualquer programa destinado a projetos luminotécnicos. Este consiste na exibição de um conjunto de curvas, conseguidas através da união de todos os pontos de igual valor de iluminância num plano de trabalho pré-definido pelo projetista [44].

A Figura 2.25 é um exemplo de um diagrama de curvas isolux.

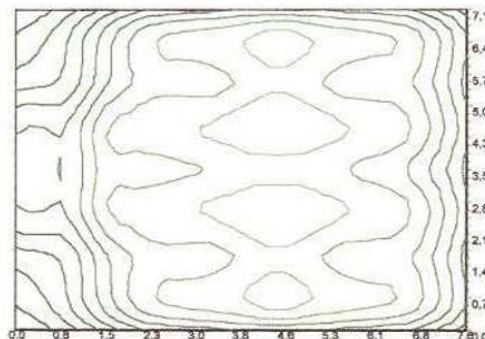


Figura 2.25 - Diagrama das Curvas Isolux [44]

- **Diagrama Polar:**

O diagrama polar, também conhecido por “Diagrama de Distribuição da Intensidade Luminosa”, permite visualizar a distribuição da intensidade luminosa (I) de uma luminária no espaço mediante uma representação em coordenadas polares [44].

Os diagramas polares pretendem descrever qual a direção ou a intensidade de distribuição da luz ao redor de diversos ângulos verticais da fonte.

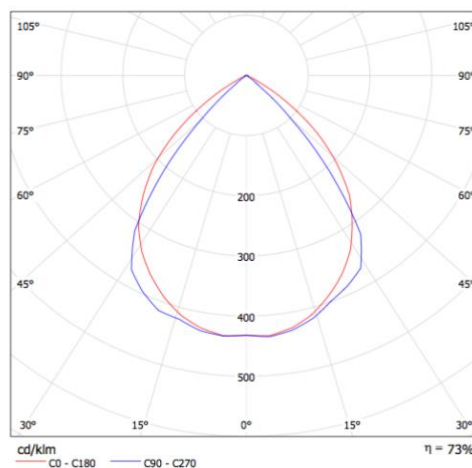


Figura 2.26 - Demonstração de um Diagrama Polar [42]

A ilustração acima é um exemplo de um diagrama polar referente a uma determinada luminária. Este acompanha habitualmente a informação técnica das luminárias, incluída nos catálogos de fabricantes, sendo constituído por mais do que uma curva. Na Figura 2.26 verificamos que existe uma curva vermelha e uma curva azul, uma vez que nestes diagramas são indicados valores de intensidade luminosa para mais que um plano de referência [42].

Plano de referência - são planos verticais, onde é feito o traçado das curvas. Os mais usados são o plano transversal e o longitudinal [44].

A fotometria de uma luminária, como havia sido referido anteriormente, é uma característica muito importante, pois é através da fotometria que o projetista consegue ter uma noção mais nítida do que a luminária irá fazer no terreno e perceber como a luminária irá iluminar.

O desempenho fotométrico está relacionado com a eficiência e a eficácia da luminária ao direcionar a luz para o alvo desejado, que é determinado pelas propriedades fotométricas da lâmpada e da luminária. Contudo, a mesma luminária pode ter diferentes fotometrias, como o exemplo demonstrado na Figura 2.27 e Figura 2.28.



Figura 2.27 - Ficha Técnica da Luminária VOLDUE Schröder [45]

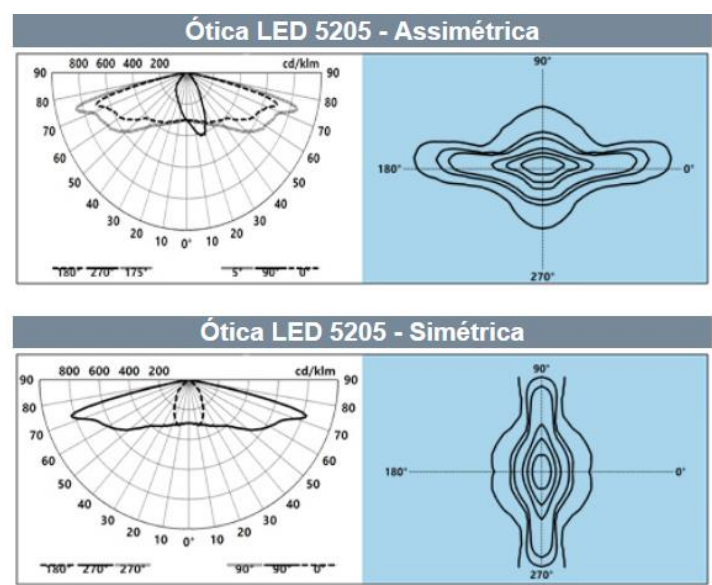


Figura 2.28 - Fotometrias da Luminária VOLDUE Schröder [45]

Como é possível verificar na Figura 2.28, a configuração da fotometria assimétrica é completamente distinta da fotometria simétrica. A luminária é a mesma, no entanto, a configuração da distribuição da luz é diferente, o que permite adaptar a luminária ao destino pretendido e, desse modo, alargar a área de ação da mesma.

Capítulo 3

Projeto de Iluminação Arquitetural

“Com a luz, vê-se e sente-se mas é preciso aprender a olhar para poder ver” [21].

Segundo o Engenheiro Vítor Vajão, a luz é um elemento importante e é necessário aprender a ver e a sentir o que ela nos transmite. A iluminação de monumentos concilia conhecimento técnico, sensibilidade pessoal e aspetos emocionais. O maior desafio que os “desenhadores” da luz tem em mãos é o de bons resultados, visto estes serem subjetivos.

A cor e a textura que o objeto possui estão diretamente relacionadas com a luz, pois esta em si é invisível, o que vemos é o objeto iluminado. Como cada pessoa tem uma sensibilidade díspar à cor e à quantidade de luz, a sensação psicológica transmitida é diferente para cada indivíduo. Deste modo, um bom resultado depende de vários fatores, como o tipo de ambiente e a linguagem arquitetónica do monumento [21].

A arte de iluminar fachadas de monumentos cria uma poética da luz e realça a edificação histórica, proporcionando e enaltecendo o elemento que resistiu durante anos à passagem do tempo. Por ser um marco de uma época, transmite às gerações futuras a sua história e o seu momento.

A iluminação arquitetónica é uma forma de interpretação da arquitetura, abrangendo a área da iluminação e design, exigindo técnica e criatividade por parte do projetista. A luz transforma o ambiente e é perceptível claramente a diferença entre a iluminação diurna e noturna.

3.1 - Objetivos e Enquadramento

A valorização noturna dos monumentos é uma prática cada vez mais comum. Um dos principais objetivos da iluminação, arquitetural ou pública, é o usufruto das cidades 24 horas por dia.

Procurar uma iluminação eficiente, em termos energéticos, parte da escolha de equipamentos com a tecnologia mais recente do mercado, bem como da implementação de projetos que respeitem os locais a iluminar e a sua história, diminuindo a fatura energética e, por consequência, os custos de manutenção associados.

Dentro dos múltiplos cuidados a ter na aplicação de novas tecnologias nos projetos de iluminação arquitetural encontra-se: a necessidade de garantir segurança aos utilizadores, o seu bem-estar e conforto visual e acima de tudo, valorização da arquitetura existente, criando contrastes sombra luz.

É necessário evitar a visualização direta das fontes de luz, devendo por isso estas serem o mais discretas possível. Existe ainda a necessidade de avaliar a utilização de acessórios para que seja possível controlar o fluxo luminoso, de forma a prevenir a iluminação intrusiva nas áreas adjacentes, evitando a manifestação de fenómenos de poluição luminosa.

Verifica-se assim uma mudança positiva em que a tendência é aliar uma perspetiva artística a este tipo de iluminação arquitetural, tradicionalmente técnica, valorizando os monumentos culturais através de novos conceitos de iluminação, possibilitando assim, para além de um monumento devidamente iluminado, uma poupança energética que se traduz na fatura da luz e na sustentabilidade ambiental.

3.2 - Impacto da Iluminação Arquitetural nos Monumentos

Existem diversas questões importantes levantadas no âmbito da iluminação, nomeadamente no que toca à iluminação de locais de convívio, como ruas, centros históricos ou praças: os seus projetos de iluminação devem centrar-se unicamente na eficiência energética? Ou deverão ser um meio para obter uma iluminação confortável, promovendo espaços seguros e de elevado índice de restituição cromática, evitando a poluição luminosa?

A iluminação de monumentos, fachadas e ruas, entre outros espaços públicos, quando é bem planeada, apresenta um impacto positivo no bem-estar dos seres vivos, caso contrário pode revelar-se nefasto em diversas vertentes, como por exemplo a alteração da perceção do céu, e do brilho das estrelas [46].

Atualmente, verifica-se um “descontrolo” na intensidade da iluminação, de que resultam monumentos exageradamente iluminados, com reduzida legibilidade e diferenciação no meio urbano, cujo brilho da iluminação excessiva é perturbador e causador de desconforto visual ao observador. A resolução deste problema passa por uma maior aposta em projetos de iluminação conscientes que promovam a redução da poluição luminosa. Estes projetos devem dar, desde o início, uma especial atenção ao espaço envolvente do monumento a iluminar, bem como ter em consideração as tecnologias mais recentes e que melhor se ajustam ao meio em estudo, permitindo, desse modo, diminuir o desperdício energético e chegar a um resultado naturalmente mais eficiente, visualmente confortável e mais legível [46].

3.2.1 - Intervenções no Património Cultural

“Património: onde o passado encontra o futuro”

[47]

O Património Cultural Português abrange todos os bens, manifestações populares, cultos e tradições materiais ou imateriais que, reconhecidos de acordo com a sua ancestralidade, importância histórica e cultural de Portugal adquirem um valor único e de durabilidade representativa simbólica [48].

O reconhecimento do valor cultural é imprescindível na nossa sociedade, devendo ser preservado e transmitido às gerações futuras. O Património Cultural, embora possa ser considerado algo improgressivo ou do passado, na verdade, através do nosso empenho, evoluiu. Este não deve ser deixado ao abandono e a sua destruição deve ser evitada [47].

Em Portugal, bem como acontece na grande maioria dos países europeus, existem monumentos protegidos. As intervenções nesses bens protegidos são submetidas a uma autoridade competente, sendo feita uma avaliação rigorosa das propostas de operação, que devem pautar-se pela preservação dos elementos que conferem aos bens interesse patrimonial [49].

Neste enquadramento, as principais competências da Direção Regional de Cultura do Norte são [49]:

- Emitir pareceres sobre trabalhos e intervenções de iniciativa pública ou privada nas zonas de proteção dos imóveis classificados ou em vias de classificação;
- Emitir pareceres sobre estudos, projetos, relatórios, obras ou intervenções sobre bens classificados como monumento nacional ou interesse público, ou em vias de classificação;
- Acompanhar as ações de salvaguarda e valorização do património arqueológico;
- Gerir os bens culturais afetos à Direção Regional de Cultura do Norte, incluindo ações de conservação e restauro nos monumentos e acervo museológico;
- Prestar apoio técnico para intervenções ou obras nos bens culturais.

Na contemporaneidade, com a transformação social no âmbito global, o uso da luz nos monumentos culturais e nos seus meios de interação com a sociedade, propõem novas formas de intervenção tecnológicas, que influenciam novos olhares perante a interação com a luz sobre o Património Cultural. A requalificação da iluminação dos espaços públicos das cidades, inseridos num contexto coletivo de interesse comum, traz uma nova leitura e proveito do local [50].

Assim sendo, aquando da realização de um Projeto de Iluminação Arquitetural para um monumento protegido, existe a necessidade de reunir com este órgão, uma vez que a comple-

xidade da avaliação das intervenções leva a que os projetos sofram um estudo rigoroso e global antes do veredito final [49].

3.3 - Evolução da Arte de Iluminar

“Ser *lighting designer* é construir arquitetura com luz; poder contribuir para valorizar qualidades essenciais dos ambientes internos e urbanos; proporcionar conforto e bem estar para as pessoas nos diversos cenários da vida, porque luz, assim como a própria arquitetura, nada mais é que a conjunção entre técnica e arte.” [51]

Segundo o artigo publicado na Revista Lume Arquitetura, um *lighting designer* tem a sensibilidade e a habilidade de juntar competência com a qualidade dos equipamentos existentes no mercado, de forma a alcançar o seu objetivo. Assim sendo, um bom *lighting designer* é alguém que entende o significado da luz para saúde física e mental da sociedade. Este tem em consideração os gostos e as diferenças culturais, e pode incorporar todos estes aspetos no seu projeto de iluminação, de forma a criar espaços agradáveis e a realçar as características do objeto iluminado. Além disso, o design precisa ser tecnicamente praticável e sustentável, no sentido em que os produtos e a energia devem ser ajustados [52].

Quando é pretendido iluminar o exterior de um monumento existem algumas técnicas que se podem pôr em prática [53]:

- **Wall Washing**: o efeito assemelha-se a um “banho de luz” na parede. Este promove um contraste de luz e sombra, de forma a dar destaque à textura e cor da parede, valorizando os detalhes arquitetónicos. Para a criação deste efeito podem ser usadas luminárias de chão embutidas ou projetores de pequeno porte fixados nas superfícies, como demonstrado na Figura 3.1 [54];



Figura 3.1 - Ilustração da Iluminação Efeito *Wall Washing* [55]

- **Up Light**: são as luzes instaladas no solo e viradas diretamente para os objetos. É um artifício muito utilizado para iluminar elementos de um ambiente de forma vertical, como por exemplo árvores, arbustos, estátuas ou colunas. Ilustrado na Figura 3.2.



Figura 3.2 - Ilustração da Iluminação *Up Light* em Colunas [56]

Nos efeitos de luz demonstrados existe a necessidade do equipamento escolhido estar próximo do edifício. Essa proximidade permite, além de embelezar a construção, controlar todos os possíveis encandeamentos para os peões bem como condutores da via.

Com o passar dos anos os projetores de iluminação tornaram-se mais eficientes e mais discretos. Contudo, a colocação de pequenos projetores próximos dos monumentos pode dar origem a possíveis constrangimentos que podem comprometer o seguimento do projeto de iluminação, nomeadamente o local de implantação e o modo de instalação dos projetores.

O avanço da tecnologia, no ramo da luminotecnica, permitiu a utilização de dispositivos com tecnologia LED. A sua constante evolução permitiu que até aos dias de hoje se conseguisse obter equipamentos mais compactos e com uma elevada eficiência, em relação às restantes lâmpadas, para um mesmo valor de fluxo luminoso. Assim sendo, na maioria das situações de iluminação de monumentos, a solução passa pela utilização de projetores equipados com LEDs que possuem diversos tamanhos e formas.

Através da luminotécnica é possível ampliar ou reduzir a sensação de tamanho de um espaço, valorizar os seus detalhes e elementos funcionais e decorativos e gerar a sensação de conforto.

3.4 - Gestão de Manutenção e Gestão Energética

A iluminação tem um impacto substancial no consumo de energia em edifícios não-residenciais (cerca de 40% da eletricidade utilizada). Dependendo da situação, entre 30% a 50% da eletricidade utilizada na iluminação poderá ser economizada investindo em sistemas de iluminação energeticamente eficientes [41]. Neste sentido, é determinante não só fazer uma

correta escolha das lâmpadas, das luminárias e do material acessório (sistema de controlo), mas também haver manutenção preventiva das luminárias e uma gestão energética consciente e sustentável. As soluções luminosas que se procuram são estéticas, mas também económicas e energéticas.

A manutenção preventiva e periódica da instalação permite o seu correto funcionamento durante mais tempo, minimizando defeitos de serviço, prevenindo-os e eventualmente corrigindo-os. Uma gestão de manutenção adequada aos equipamentos do projeto é importante, uma vez que, desse modo, é promovida uma maior longevidade da instalação, preservando-a no seu estado de maior eficiência.

Um plano de gestão energético pretende dar a conhecer o elevado potencial de redução do consumo de energia que se consegue obter através de uma gestão eficiente e racional do uso de energia, bem como evidenciar a diferença de consumo aquando da adoção de uma série de medidas sustentáveis. Sabendo que a fatura energética de uma dada instalação resulta de duas vertentes principais: a energia consumida e o respetivo custo, sendo este último determinado por diversos fatores que não nos é possível controlar, conclui-se desde logo que a gestão energética dita diretamente o custo faturado ao nível energético para uma dada instalação [41].

Contudo, a gestão energética consiste não só num meio de reduzir os custos, mas também de se racionalizar a energia que usamos, sendo indispensável elaborar planos energéticos adequados às instalações.

Assim sendo, no seguimento desta perspetiva, é oportuno que o plano de gestão energético adapte a iluminação aos ciclos de ocupação do espaço, e desse modo, considerar algumas recomendações, como a instalação de luminárias eficientes equipadas com “relógios” programáveis, bem como sensores automáticos.

3.5 - Geometria, Densidade e Hierarquia

A iluminação exterior de monumentos tem a finalidade de desviar a atenção para a fachada de uma edificação, criando uma impressão agradável.

O projeto de iluminação de um monumento exige um estudo detalhado desse local. Uma das tarefas do projetista de iluminação é decidir quais as características do edifício que são mais atraentes e, assim, desenvolver o projeto procurando realçar essas mesmas características. A correta técnica de iluminar uma fachada não se prende somente em princípios de Engenharia, mas também na compreensão dos valores estéticos da arquitetura local.

A beleza de iluminar edificações passa pelo planeamento da geometria da implantação, densidade da iluminação e hierarquia da distribuição, em que:

- **Geometria da implantação:** consiste na disposição total dos equipamentos necessários para a iluminação de um determinado monumento. A seleção do local de instalação deve ser feita de forma cuidada, pois uma má escolha pode traduzir-se em perigo para os cidadãos que usufruem do espaço iluminado, bem como na danificação do equipamento de iluminação;
- **Densidade da iluminação:** é a densidade da luz de uma superfície recebida pelo observador e medida pela luminância. Na arte da iluminação arquitetural este conceito tem uma elevada relevância pois através da densidade de luz é possível obter contrastes e destacar atributos;
- **Hierarquia da distribuição:** a hierarquia é, como o próprio nome indica, a ordenação da distribuição dos poderes com subordinação sucessiva de uns aos outros. No que concerne à iluminação também pode existir uma hierarquia, ou seja, iluminação principal e iluminação adjacente.

Capítulo 4

Projeto de Iluminação Arquitetural do Edifício da Alfândega Nova do Porto

Após uma análise cuidada dos termos técnicos a utilizar na fase de projeto, segue-se uma apresentação dos elementos práticos da presente dissertação. A história do edifício em estudo será igualmente tratada neste capítulo.

4.1 - História e Memória

O edifício da Alfândega do Porto foi construído no século XIX segundo um projeto inicial do francês Jean François Colson [57]. O aspeto atual do mesmo está representado na Figura 4.1. Começou a ser edificado no ano de 1859, ficando a responsabilidade da obra a cargo do Engenheiro Francisco de Carvalho Mourão Pinheiro, e a obra do cais a cargo do Engenheiro Faustino José da Victória [58]. Contudo, na fase de construção o projeto sofreu algumas alterações, nomeadamente a inserção de um terceiro piso nos corpos laterais e por consequência, dada a dimensão do conjunto, a obra apenas ficou concluída 10 anos mais tarde, em 1869 [59].



Figura 4.1 - Edifício da Alfândega Nova do Porto [60]

O edifício da Alfândega Nova do Porto apresenta uma extensa e importante estrutura de granito que se estende por 36 mil metros quadrados ao longo da margem do Rio Douro. É um importante monumento exemplar da arquitetura oitocentista, que reúne em si características da época: geometria, simetria e ortogonalidade. Contudo, é de salientar que a construção atual não é a que se havia criado no século XIX, dado que esta veio a sofrer alterações de forma a adequar o edifício às atividades que se promovem neste mesmo espaço [61].

A Alfândega do Porto, inicialmente, foi criada no centro histórico do Porto voltada para o rio como solução para suprimir a necessidade de se ter uma estrutura adequada para o movimento alfandegário da cidade e assegurar a velha praça comercial do Douro garantindo, desse modo, um melhor controlo das importações e exportações da cidade. Uns anos mais tarde foi construído o ramal ferroviário entre a estação do Pinheiro, em Campanhã, e a Alfândega do Porto, e respetiva estação terminal (Figura 4.2). Este projeto veio melhorar o transporte de mercadorias dentro da cidade invicta, esta obra dá-se por terminada em 1888. Na consequência desta intervenção desapareceu a praia de Miragaia e passou a existir a Rua Nova da Alfândega, impulsionando uma reforma urbanística da zona [59] [61].



Figura 4.2 - Ramal Ferroviário de Ligação Alfândega Porto - Porto Campanhã [62]

Em meados de 1987, após mais de cem anos ao serviço Aduaneiro, o Edifício da Alfândega do Porto vê os seus serviços serem deslocados. Contudo, na sequência de movimentações dos meios culturais da cidade do Porto e da autarquia, surgiu uma RCM (Resolução do Conselho de Ministros) a 27 de Março de 1987, que decidiu que o Edifício da Alfândega do Porto se tornaria no Museu dos Transportes [63].

A inauguração do Porto Leixões fez com que o local que outrora teve grande movimento comercial marítimo perdesse a sua importância como terminal de embarque e desembarque de mercadorias, levando a que, consequentemente, o ramal ferroviário, Figura 4.2, deixasse de ser viável, tendo encerrado em 1989 [64].

Na década de 1990 começou a intervenção de restauro e requalificação do Edifício da Alfândega do Porto, com o projeto do arquiteto Eduardo Souto de Moura, passando a abrigar o Centro de Congressos, o Museu de Transportes e Comunicações e a sede da Associação Museu de Transportes e Comunicações (AMTC). Esta instituição privada, sem fins lucrativos, criada em

Fevereiro de 1992, com o intuito de preservar o emblemático Edifício da antiga Alfândega do Porto e todo o património na área dos transportes e comunicações [61].

A partir do início do século XXI, o Centro de Congressos, situado nas instalações do Edifício da Alfândega, começou a acolher diversos eventos, tais como [65]:

- Presidência da União Europeia;
- *Red Bull Air Race*;
- Exposição “O Corpo Humano como Nunca o viu”;
- 15º Simpósio Anual NATA;
- 14th Congresso EVRS - *European Viteorientinal Society*;
- 51st Congress of the European Societies of Toxicology;
- 2nd European Congress on Intrapartum Care.

A Alfândega do Porto, palco de alguns dos maiores eventos globais que se realizam na Cidade Invicta, dispõe de um amplo conjunto de auditórios, salas e espaços com sistema de apoio à realização de todos os eventos mencionados acima e de muito outros. Recebeu o Prémio “Melhor Centro de Congressos” na Gala dos Eventos em 2008, 2011 e 2012 e foi considerado pela terceira vez consecutiva, em 2017, o melhor Centro de Congressos da Europa, tendo sido atribuído o prémio “*Best Meetings & Conference Center in Europe 2017*” pela revista *Business Destinations* [66][65]. Deste modo, a equipa deste Centro de Congressos vê reconhecido todo o seu trabalho e dedicação com a atribuição de prémios nacionais e internacionais.

4.2 - Área de Intervenção

Feito o enquadramento histórico e arquitetural do edifício em estudo, segue-se a análise da área de intervenção do Projeto de Requalificação da Iluminação Exterior da Alfândega do Porto.

A planta presente na Figura 4.3 representa a área de intervenção, onde constam as marcações da iluminação existente à data da realização desta dissertação.

No anexo B encontra-se a planta à escala 1/200.



Figura 4.3 - Planta do Edifício da Alfândega do Porto [Outubro de 1992]

4.3 - Diagnóstico da Iluminação Existente

Após a análise da área de intervenção do edifício da Alfândega, é importante fazer um levantamento do que já existe no local e fazer uma análise cuidada do equipamento possível de recuperar, bem como do que é necessário substituir. Assim, depois de diversas deslocações ao local, e da reunião dos dados fornecidos pelo representante desta instituição, foi possível fazer as marcações na planta da infraestrutura (Figura 4.3) e condensar em tabelas as quantidades e tipologia das luminárias atualmente implementadas na zona externa do edifício.

O projeto de requalificação deverá ser capaz de cumprir os seguintes requisitos:

- Valorização da arquitetura do edifício;
- Redução da fatura energética referente à iluminação arquitetural;
- Aumento da eficiência energética dos equipamentos de iluminação.

Da análise efetuada à qualidade e criticidade das infraestruturas e lâmpadas de iluminação retiraram-se algumas conclusões:

- Equipamentos instalados são de tecnologia ultrapassada e, em alguns casos, encontram-se em precário estado de conservação, apresentando baixo rendimento;
- Elevado nível de poluição luminosa na fachada voltada para a margem do Rio Douro, consequência da tecnologia e do local de implementação do equipamento usado;
- Ligação elétrica perigosa dos projetores colocados no chão do cais da Alfândega;
- Iluminação insuficiente no parque de estacionamento privado;
- Lâmpadas instaladas são, na sua generalidade, lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, tecnologia ultrapassada.

4.3.1 - Iluminação Fachada Principal

A proximidade do edifício da Alfândega do Porto ao Rio Douro e a sua arquitetura emblemática constituem ótimos atributos, que fazem deste local um espaço ideal para eventos. Contudo, a sua iluminação é essencial para evidenciar a beleza do mesmo e conceder um conforto visual a quem o visita, dado que, atualmente, a iluminação existente encandeia quem sai do edifício pelas portas virada para o Rio Douro [67].

A Figura 4.4, que se segue, ilustra a fachada da Alfândega, virada para o Rio Douro, iluminada com a instalação atual [67].



Figura 4.4 - Fachada da Alfândega do Porto Virada para o Rio Douro [67]

O levantamento do equipamento de iluminação que existe no local, com o objetivo de iluminar a fachada virada para o Rio Douro, está descrito na Tabela 4.1.

Nota: na contagem dos candeeiros de iluminação pública, referidos na Tabela 4.1, são contabilizados todos os que existem ao longo da margem do Rio Douro, isto é, desde o parque de estacionamento privado da Alfândega até ao parque de estacionamento de cargas e descargas situado no lado oposto.

Tabela 4.1 - Levantamento do Equipamento Existente (Fachada Rio Douro)

Equipamento Existente	Quantidades
Lanternas - Gradeamento	6
Projetores (no chão)	18
Candeeiros Iluminação Pública	20

Os dezoito projetores, existentes à margem do Rio Douro, funcionam com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão de 250W. Contudo, devido às perdas dos balastros, cerca de 10%, estes apresentam um consumo médio de 280W.

As seis lanternas, presentes nos dois gradeamentos da fachada virada a Rio, hoje em dia, estão desativadas, todavia, é sabido que a tecnologia destas é obsoleta.

4.3.2 - Iluminação Fachada - Rua Nova da Alfândega

Este edifício neoclássico tem como entrada principal a porta localizada na fachada virada à Rua Nova da Alfândega [68]. Esta fachada tem uma importância acrescida, uma vez que a fachada deste monumento histórico da Cidade do Porto que já, por diversos anos, foi eleito o melhor centro de congressos da Europa, é o cartão de visita da construção [66].

A iluminação existente é assegurada por um conjunto de vinte projetores instalados nas colunas de iluminação pública, colocadas do outro lado da via do edifício, produzindo a chamada “chapada de luz”. Dispõe ainda de um conjunto de dez lanternas, quatro fixadas na fachada e três em cada um dos dois gradeamentos existentes.

A Figura 4.5. representa o edifício central da fachada virada para a Rua Nova da Alfândega, conhecida, atualmente, como entrada principal.



Figura 4.5 - Edifício Central da Fachada Virada para a Rua Nova da Alfândega [69]

Na Tabela 4.2 é apresentada a contagem dos projetores, que têm lâmpadas de vapor de sódio incorporadas, com uma potência de 250 W, cujo consumo médio é de 280 W devido às perdas. Adicionalmente é feita a contabilização das lanternas que se encontram desativadas nos dias que correm.

Tabela 4.2 - Levantamento do Equipamento Existente

Equipamento Existente	Quantidades
Lanternas - Gradeamento	6
Lanternas - Fachada	4
Projetores	20

4.3.3 - Iluminação Edifício Lateral

A Alfândega do Porto é composta pelo edifício principal, apresentado nos pontos 4.3.1 e 4.3.2, e por um pequeno edifício lateral, separado do edifício central, onde existe um parque de estacionamento. Este é reservado ao pessoal pertencente à instituição o qual é, ocasionalmente, utilizado por pessoal das empresas que promovem eventos na mesma.

Atualmente, a iluminação existente neste estacionamento é inexistente. Contudo, através da luz pública, que devido à curta distância ao edifício tem a capacidade de iluminar este espaço, e das luminárias existentes, no conjunto das duas escadas de emergência exteriores do edifício central, existe, ainda que de forma remanescente, iluminação neste local.

No pequeno parque de carga e descarga a iluminação das escadas de emergência são feitas através de iluminação linear. A Tabela 4.3 apresenta o levantamento feito do equipamento de iluminação instalado.

Tabela 4.3 - Levantamento do Equipamento Existente no Edifício Lateral

Equipamento Existente	Quantidades
Iluminação Escadas Emergência	13



Figura 4.6 - Edifício Lateral "Novo" da Alfândega [70]

A Figura 4.6 ilustra o edifício lateral, numa visão aérea, obtida através do Google Maps no dia 23 de Outubro de 2018, cujas escadas de emergência são assinaladas através de duas circunferências vermelhas.

4.3.4 - Iluminação Estrutura Lateral

O Edifício da Alfândega do Porto tem mais de 150 anos de história e, por esse mesmo motivo, é necessário ter em atenção todos os pormenores da construção quando se trata da requalificação da iluminação atual.

Na lateral do edifício, junto ao parque de estacionamento privado, existe uma estrutura em ferro, visível na Figura 4.7, que tem instalada uma iluminação linear. Este espaço é um dos pontos de entrada para o edifício, servindo, ainda, como local de atividades, como por exemplo: no Natal de 2018 este espaço foi apoderado pelo espírito natalício, onde colocaram uma pista de gelo para os mais pequenos.

Na iluminação da estrutura existem luminárias com lâmpada fluorescente, que apresentam um consumo médio de 18 W. Apesar destas apresentarem uma eficiência energética elevada, em comparação com todos os outros equipamentos instalados atualmente, poderão ser atualizadas para a tecnologia LED.



Figura 4.7 - Estrutura Lateral da Alfândega [70]

A Tabela 4.4, que se segue, contém as quantidades dos equipamentos de iluminação linear que estão instalados na estrutura lateral.

Tabela 4.4 - Levantamento do Equipamento Existente na Estrutura Lateral

Equipamento Existente	Quantidades
Iluminação Estrutura	8

4.3.5 - Iluminação Parque de Estacionamento

O parque de estacionamento da Alfândega Nova do Porto está representado na Figura 4.8 através de uma imagem conseguida pelo Google maps.

A iluminação deste espaço é desadequada, visto que não existe uma iluminação específica e exclusiva para este lugar. Esta área é iluminada através da iluminação pública, candeeiros de iluminação pública à margem do rio e da iluminação pública da via de trânsito.

A Figura 4.9 demonstra que, devido à distância curta que existe entre o parque e a via pública, é a iluminação pública que está a iluminar do parque de estacionamento.

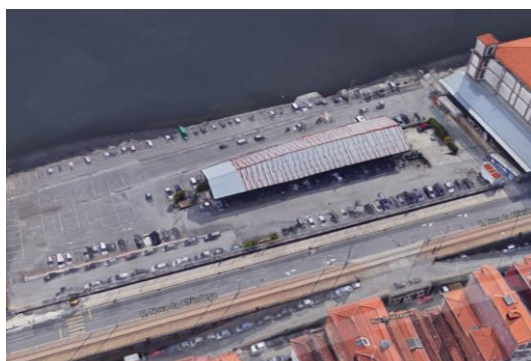


Figura 4.8 - Parque de Estacionamento



Figura 4.9 - Via de Trânsito [70]

4.3.6 - Cadastro da Iluminação Existente

A contagem total dos equipamentos instalados no Edifício da Alfândega Nova do Porto, destinados à iluminação da mesma, apresenta-se na Tabela 4.5, bem como a correspondente potência unitária de cada um dos equipamentos.

Tabela 4.5 - Cadastro das Luminárias do Edifício

Tipologia do Foco	Quantidades	Tecnologia	Potência
Projetores Cais	18	Vapor de Sódio Alta Pressão	250 W
Projetores Entrada	20	Vapor de Sódio Alta Pressão	250 W
Candeeiros Globo	20	Vapor de Sódio Alta Pressão	150 W
Lanternas	16	Fluorescente	----
Luminária Escada Emergência	13	Fluorescente	18 W
Luminárias Estrutura	8	Fluorescente	18 W

4.4 - Proposta de Requalificação da Iluminação Arquitetural Exterior

Neste subcapítulo apresenta-se um estudo relativo à Iluminação do Edifício da Alfândega Nova do Porto. Este centrou-se na qualidade da iluminação deste monumento arquitetural, enfatizando toda a sua beleza arquitetónica.

A preservação e valorização da imagem do património envolve uma escolha adequada do desenho e localização do equipamento de iluminação. Assim, num Projeto de Iluminação Arquitetural a interação entre o *Lighting Designer* e o cliente é relevante, uma vez que a troca de parecer entre as duas partes possibilita o encontro de soluções que, quando implantadas no futuro, não irão deixar marcas no património e permitirão que este seja adequadamente preservado.

O presente projeto é uma requalificação da iluminação exterior do Edifício da Alfândega Nova do Porto, pelo que, para o seu desenvolvimento, foi tida em consideração a iluminação já existente, assim como a arquitetura e história do edifício centenário.

Analisando a área de intervenção, é importante estabelecer uma hierarquia de iluminação, que respeite o ordenamento do espaço em estudo. Desta forma, foi estabelecida a seguinte divisão:

- Iluminação do Edifício;
- Iluminação Guindaste;
- Iluminação Gralha;
- Iluminação da Plataforma Exterior.

As imagens de AutoCad, apresentadas ao longo deste capítulo, não apresentam medidas visíveis, no entanto, no anexo B é apresentada a planta completa da iluminação proposta com todas as medições reais. Essa mesma planta é ilustrada através da Figura 4.10.

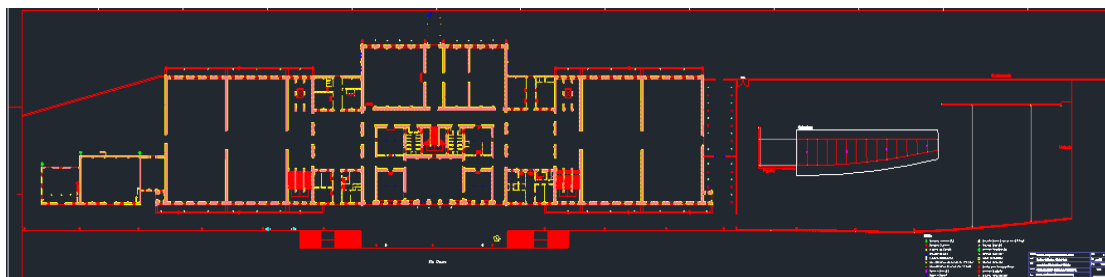


Figura 4.10 - Planta do Edifício - Proposta de Requalificação [71]

4.4.1 - Iluminação do Edifício

Para projetar a iluminação exterior do edifício da Alfândega Nova do Porto foi feita uma divisão por áreas. A nível da boa compreensão do trabalho foram consideradas três áreas:

- Fachada Principal;
- Fachada virada à Rua Nova da Alfândega;
- Estrutura Lateral.

4.4.1.1 - Iluminação Fachada Principal

A iluminação da fachada principal, virada a Rio, foi dividida em três espaços:

- Entrada do Edifício Central;
- Gradeamento;
- Fachadas Adjacentes.

1. Entrada do Edifício Central

No que se refere à entrada principal do edifício central, propõe-se um desenho de luz, obtido através de quatro pontos luminosos. Estes são encastrados no solo e varrem a entrada de baixo para cima, realçando, por via da recriação dos contrastes sombra e luz, os principais traços arquiteturais desta entrada, valorizando os detalhes da construção.

A Figura 4.11 apresenta a distribuição dos projetores escolhidos para o realce das três portas principais da fachada, estando estes evidenciados pelo retângulo amarelo. Optou-se pelo projetor Terra Midi LED, da Schröder.



Figura 4.11 - Representação da Iluminação Proposta [71]

A Tabela 4.6 apresenta as características, número de LEDs, bem como temperatura de cor das luminárias sugeridas.

Tabela 4.6 - Legenda das Luminárias Propostas [72]

Simbologia	Tipologia de Foco
	Projektor Terra Midi LED, 16 LEDs, 500 mA, Feixe simétrico Estreito 2*7°, White 3000°K

As quatro luminárias serão colocadas entre as três portas, como é possível verificar na Figura 4.12. É proposta a colocação destas a uma distância de oitenta centímetros (0,80 m) da fachada da edificação.

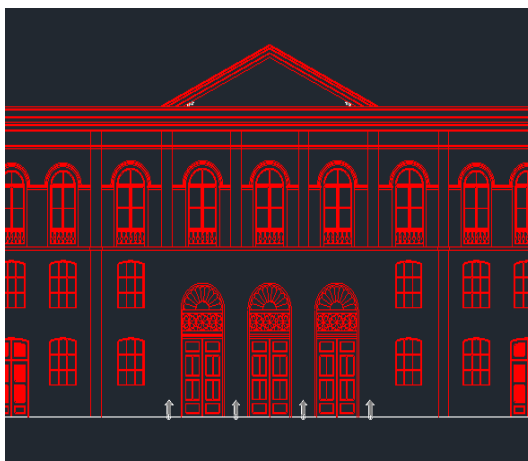


Figura 4.12 - Alçado Fachada Principal - Distribuição das Luminárias [71]

O aspeto físico e as características do Terra Midi LED podem ser visualizados na Figura 4.13.



Figura 4.13 - Luminária Terra Midi LED e Respetivas Características [72]

Para a escolha dos projetores de exterior é necessário ter em especial atenção os índices de proteção (IP) e resistência aos impactos (IK). Estes equipamentos estão constantemente sujeitos aos agentes erosivos, bem como a agressões por parte dos cidadãos que, por estes serem encastradas no solo, passam por cima deles. Assim sendo, o valor de IP e IK deve ser o mais elevado possível.

O projetor Terra Midi LED, de acordo com a Figura 4.13, tem um IP 67 e um IK 10, ou seja, relativamente ao IP, numa escala de 0 a 6, apresenta o nível máximo de proteção contra poeiras e, relativamente à proteção contra humidades, numa escala de 0 a 8, uma imersão até um metro. Relativamente ao IK este apresenta a máxima proteção contra impactos, IK 10.

A fotometria escolhida é um feixe estreito, como demonstrado na Figura 4.14, uma vez que se pretende que a luz chegue o mais alto possível, de forma a que quem estiver a admirar o edifício do lado de Gaia consiga apreciar a entrada na sua completude.

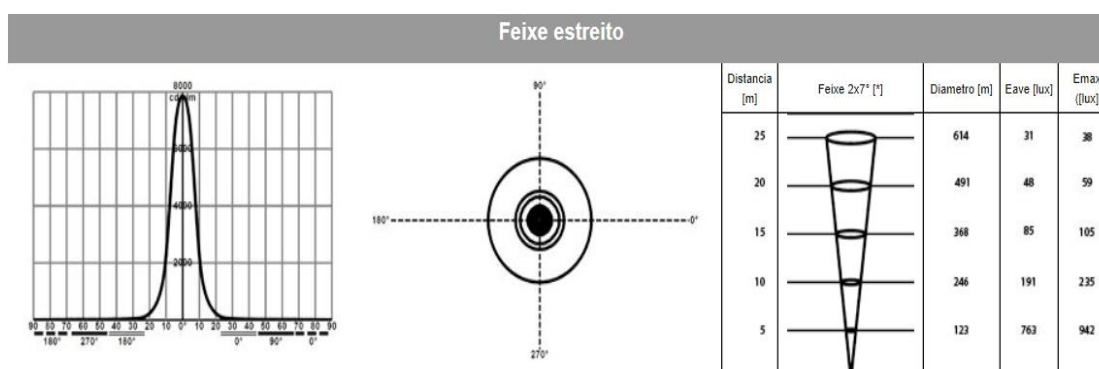


Figura 4.14 - Fotometria do Projetor Terra Midi LED Proposto [72]

No edifício central da fachada principal da Alfândega Nova do Porto, no cimo da edificação, é proposto ainda a colocação de dois projetores Enyo LED da Schröder. A escolha destes projetores foi feita a pensar não só no seu tamanho reduzido, integrando-se num ambiente arquitetónico com elegância e total discrição, mas também na sua flexibilidade de instalação e ausência de manutenção durante o seu período de vida útil.

Através da Figura 4.15 verifica-se o local para a colocação dos dois projetores, assim como a direção da distribuição do fluxo luminoso. Estes estão a “apontar” para o cimo do triângulo que a estrutura forma.

Em síntese, a iluminação de realce da entrada principal da fachada é suportada pelos projetores de chão e por dois projetores suspensos, no cimo do edifício.

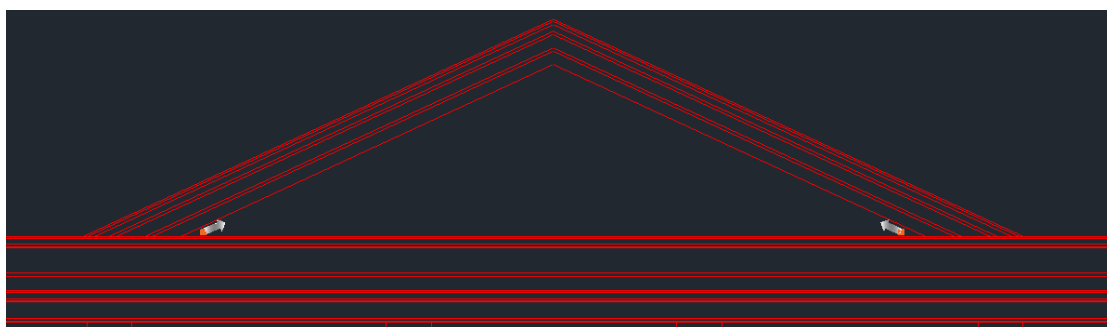


Figura 4.15 - Ampliação do Alçado da Fachada Principal - Edifício Central [71]

As características são apresentadas na Tabela 4.7 e o aspeto físico das luminárias Enyo podem ser visualizados abaixo.

Tabela 4.7 - Legenda das Luminárias Enyo Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	Projetor Enyo LED, 3 LEDs, 350 mA, ótica 6087, White 3000°K

	Grau de estanquicidade	IP 66 (*)
	Resistência ao choque (vidro)	IK 07 (**)
	Tensão nominal	100 - 240V / 50 - 60Hz
	Versão dinâmica	12V
	Classe elétrica	II (*)
	(*) segundo IEC - EN 60598 (**) segundo IEC - EN 62262	
	Peso	0,72kg
	Materiais	
	Corpo	Alumínio anodizado
	Difusor	Vidro temperado
	Cor	Alumínio anodizado

Figura 4.16 - Luminária Enyo LED e Respetivas Características [73]

A orientação do projetor é importante assim como a sua fotometria. Para a iluminação do escudo presente no cimo da fachada principal, o feixe escolhido é o semi-dispersivo, ótica 6087, da Schröder, presente na Figura 4.17.



Figura 4.17 - Fotometria do Projetor Enyo LED Proposto [73]

2. Gradeamento

No que se refere ao gradeamento da Alfândega do porto é proposto fazer a recuperação das seis lanternas existentes na fachada virada para o Rio Douro. A planta presente no anexo B tem a marcação da distribuição das lanternas do gradeamento.

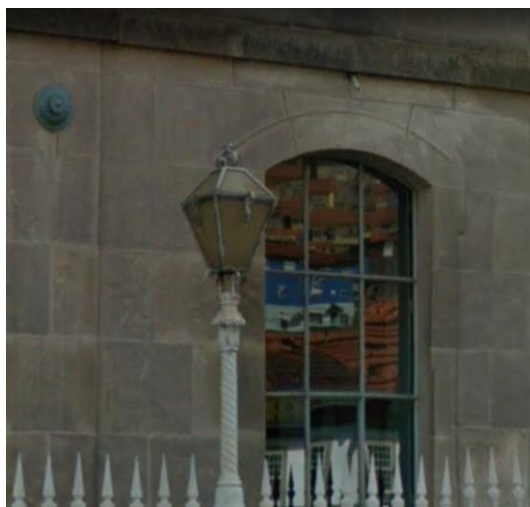


Figura 4.18 - Uma das Lanternas do Gradeamento da Alfândega [Imagem Maio 2018]

A Figura 4.18 apresenta uma das seis lanternas existentes nos dois gradeamentos desta fachada. Como é possível comprovar, as lanternas não se apresentam no melhor estado de conservação. Assim sendo, respeitando a instalação já existente, é proposta a requalificação da lanterna, promovendo-se a alteração da tecnologia das lâmpadas, bem como a manutenção externa do equipamento, com pintura e tratamento dos vidros da luminária.



Figura 4.19 - Exemplo de uma Lâmpada Proposta para as Lanternas [74]

A Figura 4.19 representa um exemplo da lâmpada proposta, lâmpada esta com uma temperatura de cor próxima do “antigo Âmbar” (ou seja, uma cor quente) escolhida de forma a proporcionar um ambiente romântico e acolhedor. A temperatura de cor proposta para as lâmpadas de filamento LED do gradeamento é da ordem dos 2200 K.

3. Fachadas Adjacentes

No que concerne à iluminação das fachadas adjacentes ao edifício central, esta segue a lógica do projeto inicial. A iluminação é realizada de forma invisível aos olhos dos visitantes através da instalação do equipamento nos dois fossos existentes à cota interior de um metro (1m).

Prevê-se a instalação de sete luminárias Neos LED 1, da Schröder. A disposição dos Neos LED é possível observar nas Figuras 4.20 e 4.21, imagens correspondentes aos dois fossos presentes na fachada voltada para o Rio Douro.

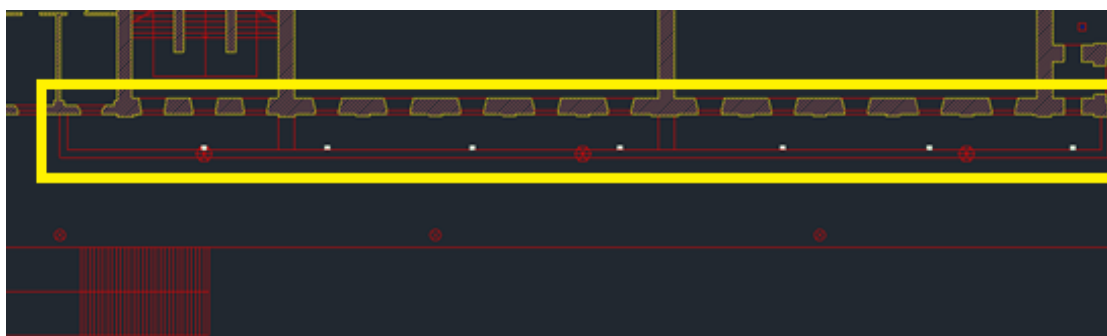


Figura 4.20 - Representação da Distribuição da Iluminação Proposta [71]



Figura 4.21 - Representação da Distribuição da Iluminação Proposta [71]

Tabela 4.8 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	Luminária Neos LED 1, 24 LEDs, 500 mA, ótica 5102, White 3000°K

A fim de ser mais perceptível o local de instalação dos catorze projetores, são apresentados os alçados das fachadas nas Figuras 4.22 e 4.23.

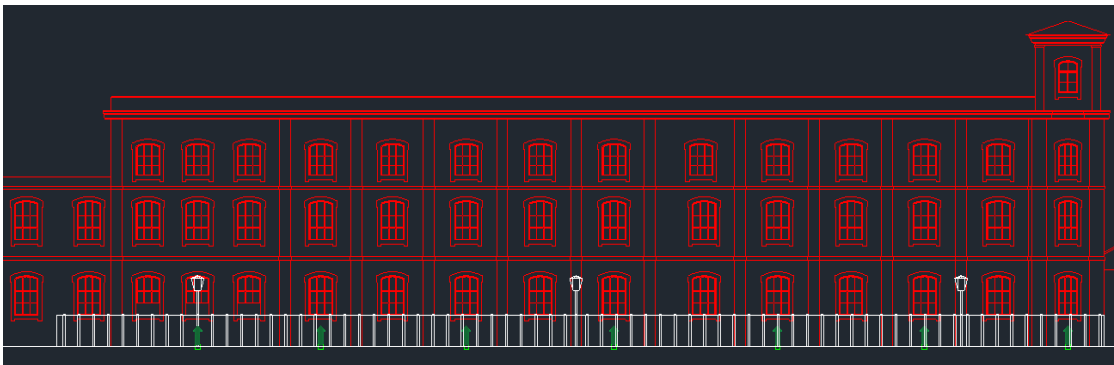


Figura 4.22 - Alçado Fachada Principal - Distribuição das Luminárias [71]

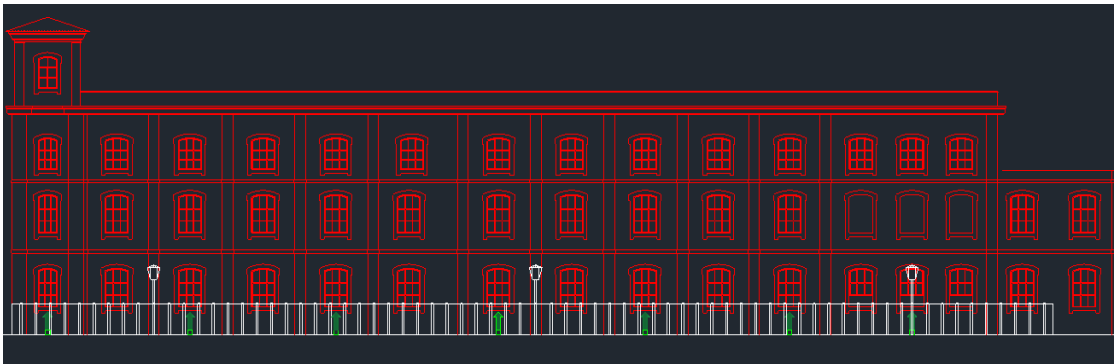


Figura 4.23 - Alçado Fachada Principal - Distribuição das Luminárias [71]

As características e o aspeto físico das luminárias propostas, Neos LED 1 da Schröder, para o cenário descrito nas Figuras 4.20 e 4.21, são apresentados de seguida.



Figura 4.24 - Luminária Neos LED 1 e Respetivas Características [75]

O Neos LED escolhido foi o LED 1, ou seja, o projetor mais pequeno de 1,8 Kg, pois, devido às suas características e performance, tem capacidade de “varrer” a fachada com elegância.

Os projetores Neos integram soluções com tecnologia de ponta. A combinação da tecnologia LED com um driver, que opera com regime de fluxo luminoso constante, possibilita obter uma economia energética que pode chegar aos 75% em comparação com projetores equipados com tecnologia de descarga [75].

A ótica escolhida é uma lente de IP, a 5102 que a Schröder oferece.

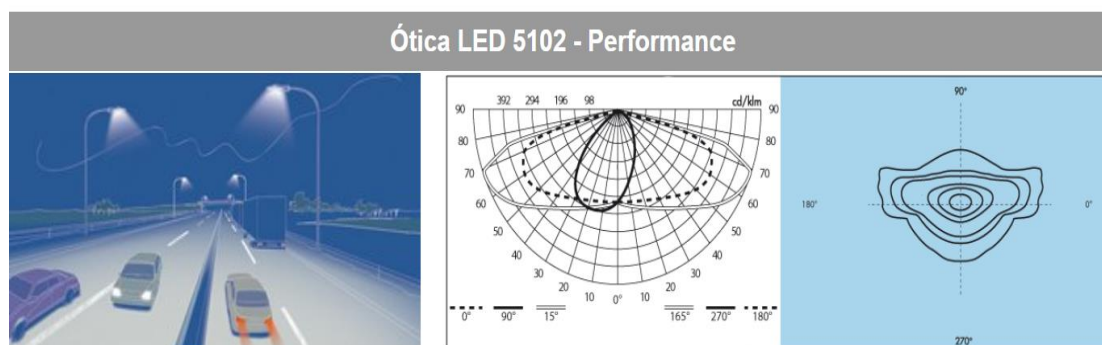


Figura 4.25 - Fotometria da Luminária Proposta [75]

Além da iluminação existente na fachada, realizada através de luminárias instaladas nos fossos, das lanternas no gradeamento e das luminárias encastradas no solo da entrada principal do edifício, neste estudo, propõe-se uma iluminação de reforço ao edifício central e aos dois edifícios laterais mais baixos.

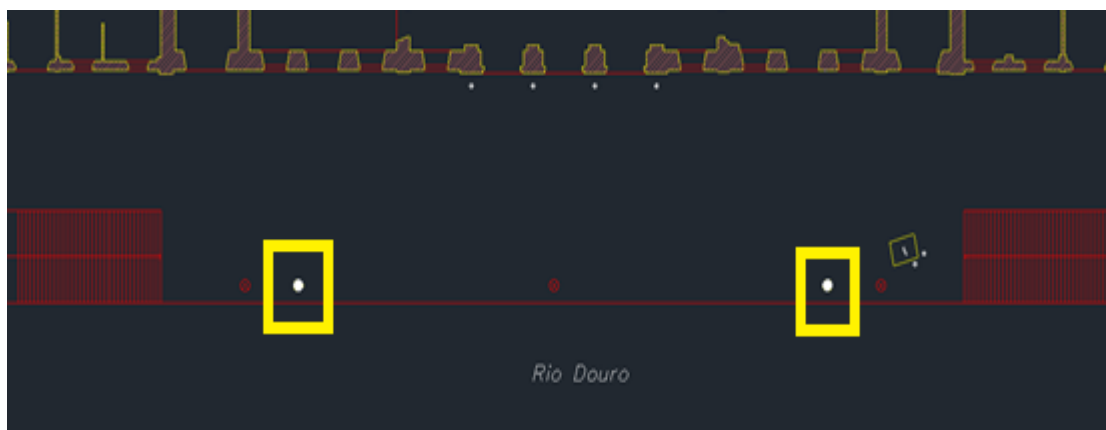


Figura 4.26 - Representação da Disposição das Colunas Proposta [71]

As circunferências preenchidas a branco, presentes na Figura 4.26, e descritas na Tabela 4.9, correspondem ao local onde é proposto fazer o levantamento de dois conjuntos de colunas Focus da Schröder, com oito metros de altura útil cada, presentes na Figura 4.28. Cada uma dessas colunas será equipada com dois projetores da Schröder, Focal LED.

Tabela 4.9 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	2 Colunas Focus com altura útil de 8m, 2 * Focal LED, 24 LEDs, versão estática, 500 mA, type L2, White 3000 K

A imagem do alçado, Figura 4.27, pretende simplificar a visualização do local de implementação das colunas. Estas serão colocadas a treze metros e meio da fachada.

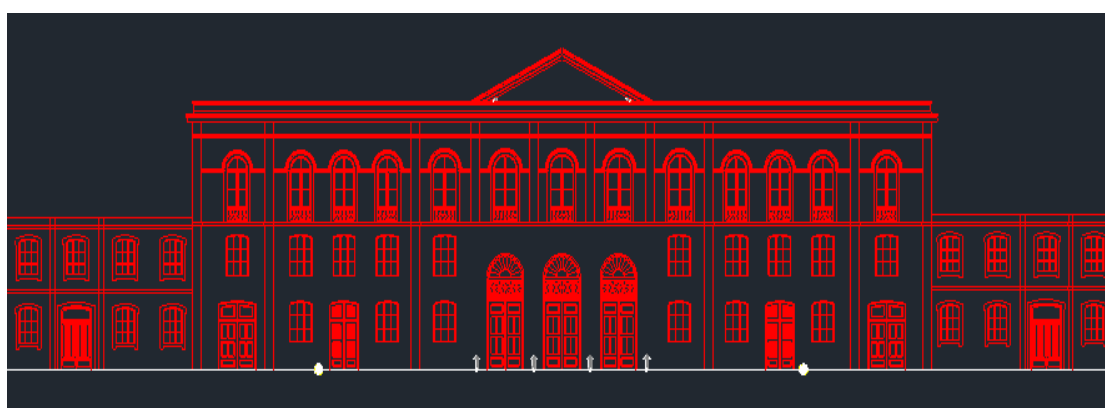


Figura 4.27 - Alçado da Fachada Principal - Distribuição das Luminárias [71]



Figura 4.28 - Coluna Focus da Schröder [76]

O aspeto físico e a lente usada nas luminárias Focal (colocadas em suspenso nas duas colunas), que permite desenhar um retângulo de luz no edifício, podem ser observados nas Figuras 4.29 e 4.30, respetivamente.



Figura 4.29 - Luminária Focal LED e Respetivas Características [77]



Figura 4.30 - Lente Proposta para a Luminária Focal LED [77]

4.4.1.2 - Iluminação Fachada Virada à Rua Nova da Alfândega

A solução encontrada para a iluminação da fachada que está virada para a Rua Nova da Alfândega foi dividida em três áreas:

- Fachada;
- Gradeamento;
- Fachadas Adjacentes.

4. Fachada

No que diz respeito à fachada virada à rua da cidade, é proposto, novamente, a requalificação das lanternas que estão fixadas na infraestrutura. Na Figura 4.31, imagem de Junho 2018, surge uma das quatro lanternas que estão cravadas na fachada do edifício central, como assinalado no alçado presente na Figura 4.32, cuja legenda consta na Tabela 4.10.



Figura 4.31 - Uma das Lanternas da Fachada da Alfândega

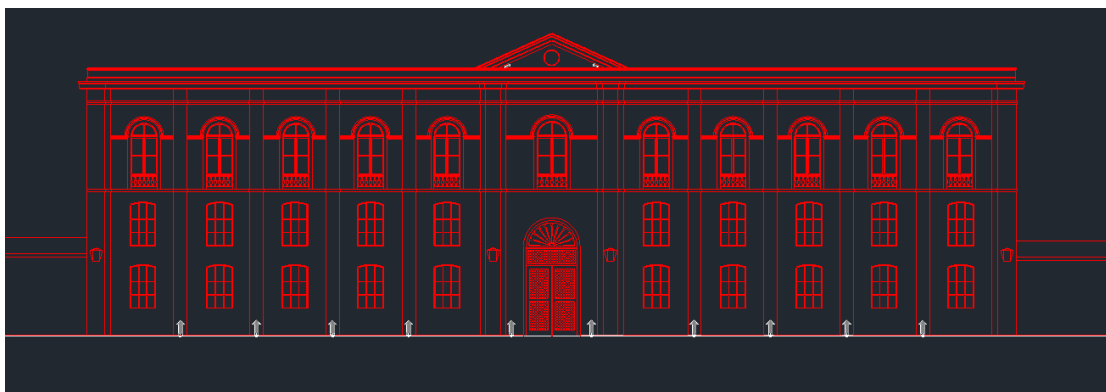
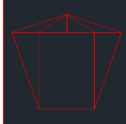


Figura 4.32 - Alçado Fachada - Distribuição das Lanternas [71]

Tabela 4.10 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	Lanterna existente na fachada do Edifício Central da Alfândega Nova do Porto

A solução proposta passa por recuperar o equipamento, nomeadamente ao nível da pintura e instalação elétrica, bem como promover a adaptação do mesmo à tecnologia LED.

A finalidade das quatro lanternas cravadas na fachada, contrariamente às lanternas presentes no gradeamento, é a de iluminar o espaço envolvente. Assim sendo, é proposto colocar um Retrofit LED, com um conjunto de 16 LEDs e uma temperatura de cor de 3000 K.

A iluminação das paredes da edificação não é feita unicamente pelas quatro lanternas. É sugerida, adicionalmente, a instalação de luminárias Terra Midi LED da Schröder, encastradas no solo. Oito das dez luminárias serão colocadas a um metro e trinta (1,30m) da fachada, no intervalo das janelas, “pintando” assim a superfície. As restantes luminárias (duas), serão colocadas junto da porta principal a cinquenta centímetros (0,50m) da fachada.

A distribuição das luminárias da Schröder não é linear e está representada na Figura 4.33, cuja legenda é feita na Tabela 4.11.

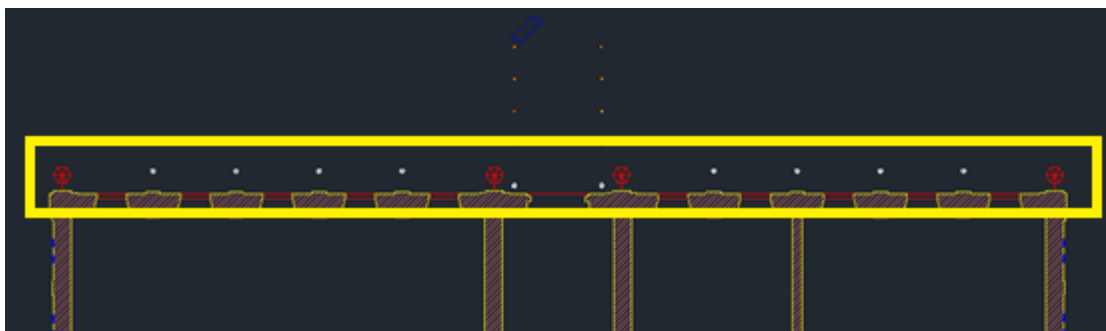
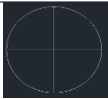


Figura 4.33 - Distribuição das Luminárias Propostas [71]

Tabela 4.11 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	Luminária Terra Midi LED, 16 LEDs, ótica 6326 Feixe Largo 2*17°, White 3000 K

As luminárias da fachada voltada para a Rua Nova da Alfândega são semelhantes às luminárias propostas para a entrada principal do edifício (Figura 4.13), no entanto, a lente escolhida é diferente. A fotometria escolhida é apresentada na Figura 4.34.

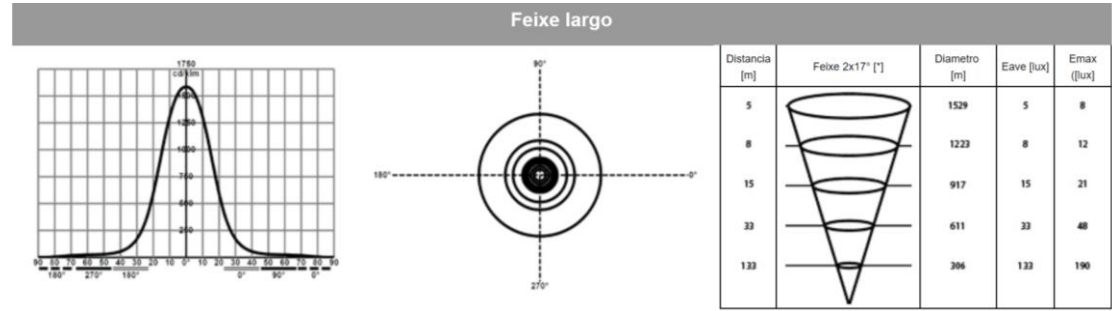


Figura 4.34 - Fotometria da Luminária Proposta [78]

No edifício central desta fachada, no triângulo presente no cimo do mesmo, possui um relógio.

No seguimento do que se propôs na fachada principal do edifício, virada a rio, aqui também se optou pela colocação de dois projetores Enyo, cujas características e a fotometria estão apresentadas nas Figuras 4.16 e 4.17.

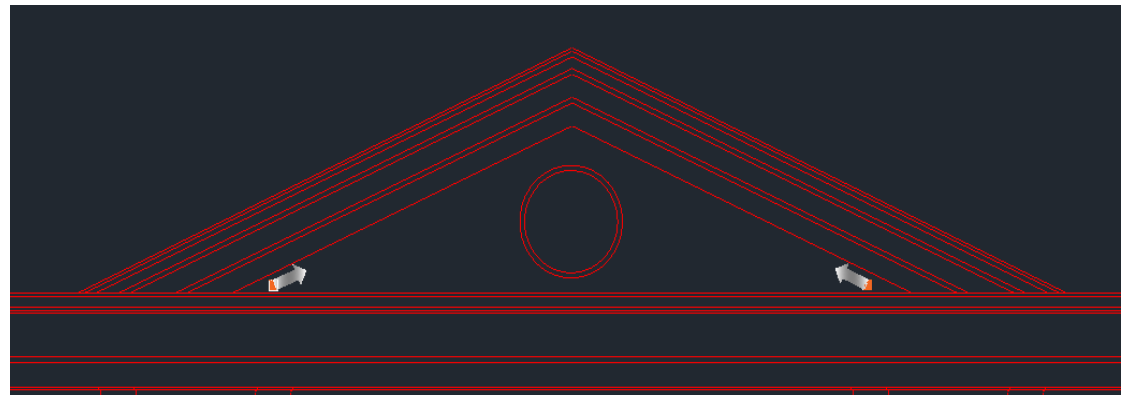


Figura 4.35 - Ampliação do Alçado Fachada Principal - Edifício Central [71]

A despeito de esta não ser a fachada principal do edifício, é a fachada mais admirada pelos visitantes deste monumento. Desta forma optou-se por se relevar o percurso de entrada através da implantação de oito projetores Ponto LED (com balizamento) do fabricante Schröder.



Figura 4.36 - Marco "Centro de Congressos" do Arquiteto Souto Moura [70]

No alinhamento da entrada do edifício existe um marco comemorativo do Arquiteto Souto Moura (Figura 4.36), representado pelo retângulo azul presente na Figura 4.37. Como o objetivo é relevar o percurso até à entrada, a localização deste marco levou à deslocação dos dois projetores, assinalados na Figura 4.37 através dos dois retângulos amarelos. Estes, contrariamente aos oito projetores que se encontram centrados pelos pilares do edifício e à distância de um metro e trinta centímetros (1,30 m) da fachada, ficam a cinquenta centímetros (0,50 m) da fachada e a uma distância lateral de um metro (1 m) da porta principal da fachada.

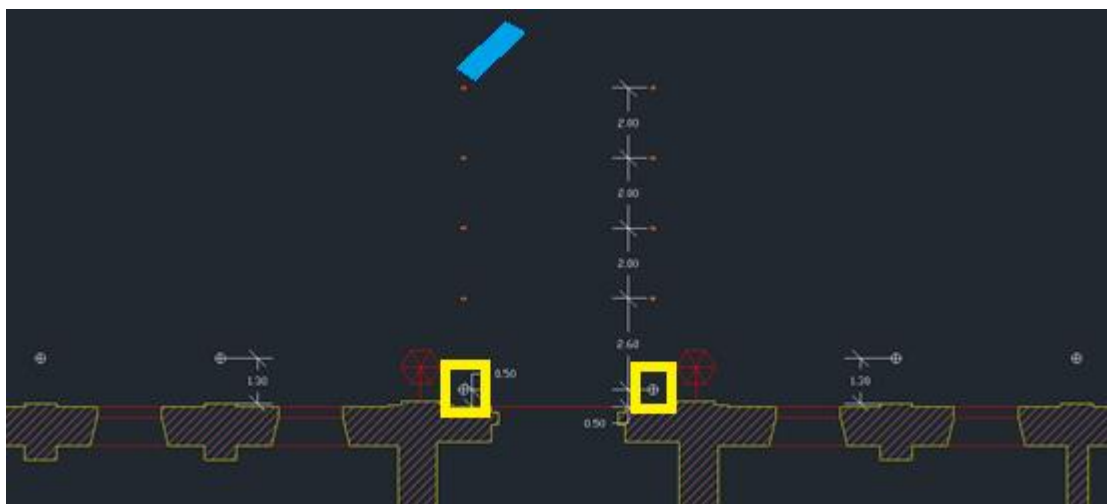


Figura 4.37 - Ilustração das Luminárias Deslocadas [71]

A nova disposição dos dois projetores Terra Midi LED permite instalar 4 projetores Ponto LED, de cada lado da porta principal, como é descrito na Figura 4.37 e na Figura 4.38.

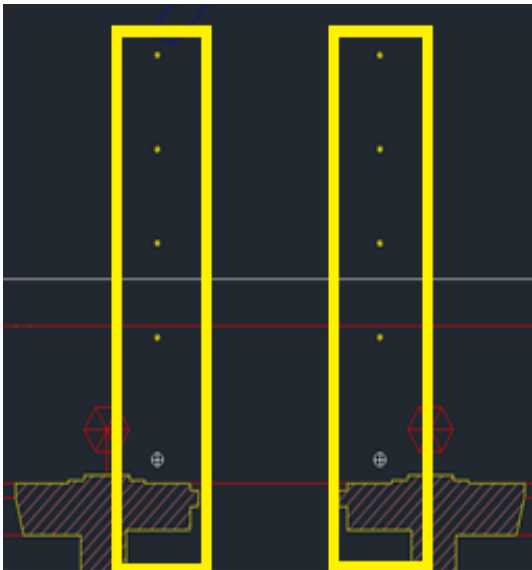


Figura 4.38 - Distribuição das Luminárias Propostas [71]

Os projetores propostos estarão com um afastamento entre si de, aproximadamente, dois metros, sendo que o projetor mais próximo do marco comemorativo fica a cerca de cinquenta centímetro (50 cm).

A Figura 4.39 apresenta o aspeto físico do projetor escolhido, tal como todas as suas características. Este equipamento apresenta, como assinalado na figura que se segue, um índice de proteção máximo contra poeiras e uma imersão até um metro relativamente à proteção contra humidades, bem como a máxima proteção contra impactos.



Grau de estanquidade	
Bloco ótico	IP 67 (*)
Resistência ao choque	(vidro) IK 10 (**)
Resistência à carga estática	2000 kg (*)
Tensão nominal	220-240V AC / 50-60Hz
Classe elétrica	II (*)
(*) de acordo com IEC - EN 60598 (**) de acordo com IEC - EN 62262	
Peso	Com kit 0,70kg Sem kit 0,45kg
Materiais	
Corpo	Material sintético reforçado com fibra de vidro
Difusor	Vidro temperado de 12mm
Aro de acabamento	Aço inoxidável escovado
Suporte de fixação	Materiais sintéticos reforçados
Cor	Aço inoxidável escovado

Figura 4.39 - Luminária Ponto LED e Respetivas Características [79]

Tabela 4.12 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	Projektor Ponto LED, 3 LEDs, 350mA, Feixe Estreito 2*12°, ótica 6142, White 3000K

A fotometria deve ser escolhida com cuidado, pois este é um local de passagem e uma dispersão elevada do fluxo luminoso pode provocar encandeamento. Deste modo optou-se por um feixe concentrado, com balizamento, como é ilustrado na Figura 4.40.

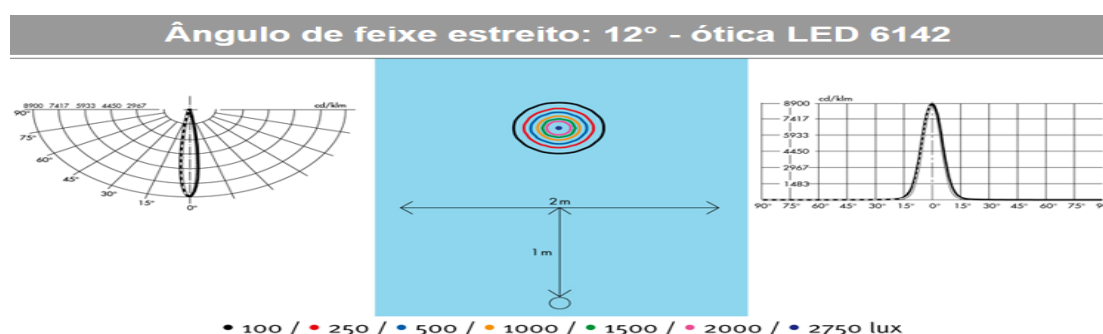


Figura 4.40 - Fotometria da Luminária Proposta [79]

5. Gradeamento

Relativamente ao gradeamento é proposto seguir a mesma linha de pensamento do projeto da fachada principal. Será, portanto, proposta a recuperação das seis lanternas presentes no gradeamento, com a adaptação destas à nova tecnologia, ou seja, a colocação de uma lâmpada LED com uma temperatura de cor de 2200 K.

6. Fachadas Adjacentes

Para “pintar” as fachadas adjacentes ao edifício central, voltou a beneficiar-se da existência de fossos, ainda que de menores dimensões que os presentes na fachada principal, para a instalação de seis projetores Neos LED 1 da Schröder em cada um deles.

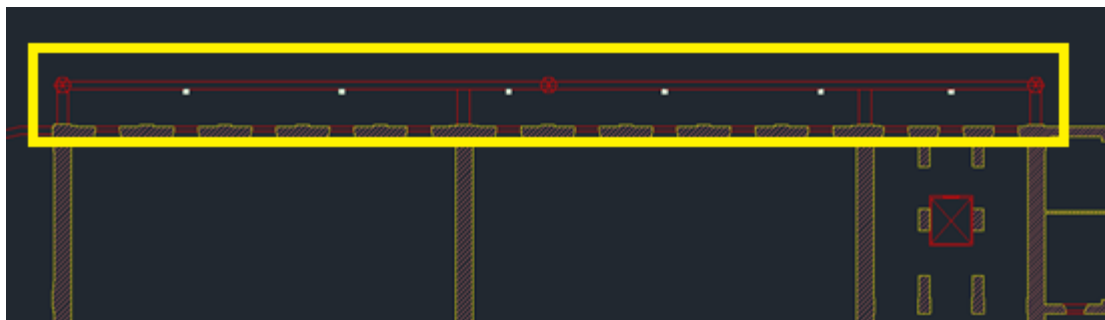


Figura 4.41 - Representação da Iluminação Proposta [71]

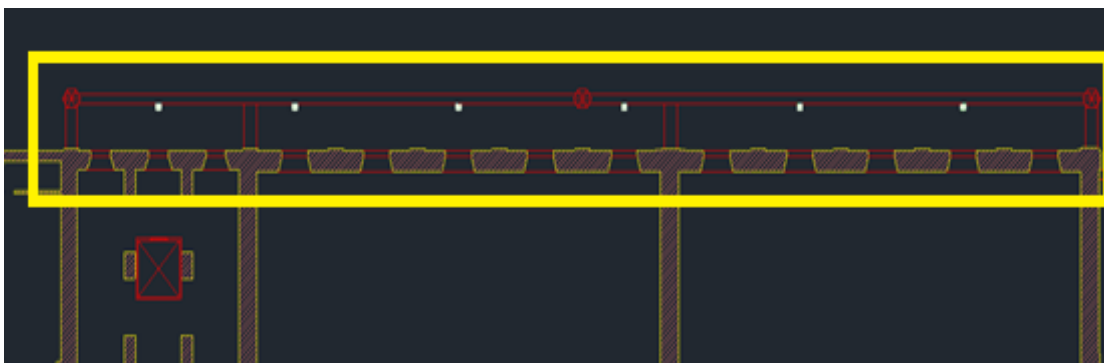
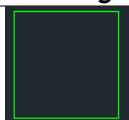


Figura 4.42 - Representação da Iluminação Proposta [71]

A distribuição dos seis projetores Neos ao longo dos fossos, visível nas Figuras 4.41 e 4.42, foi conseguida através do ajuste às características da edificação. Como tal, sugere-se a implantação destes projetores a um metro (1 m) de profundidade. O aspeto físico e a fotometria dos projetores Neos LED 1 estão a ser representados na Figura 4.24 e na Figura 4.25, respetivamente.

A Tabela 4.13 revela as características das luminárias sugeridas para a iluminação das fachadas que estão nas edificações laterais ao edifício principal central.

Tabela 4.13 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	Luminária Neos LED 1, 24 LEDs, 500 mA, ótica 5102, White 3000 K

Optou-se por apresentar, nas Figura 4.43 e 4.44, a parte dos alçados da área a iluminar, com o objetivo de facilitar a compreensão da localização dos equipamentos Neos LED 1.

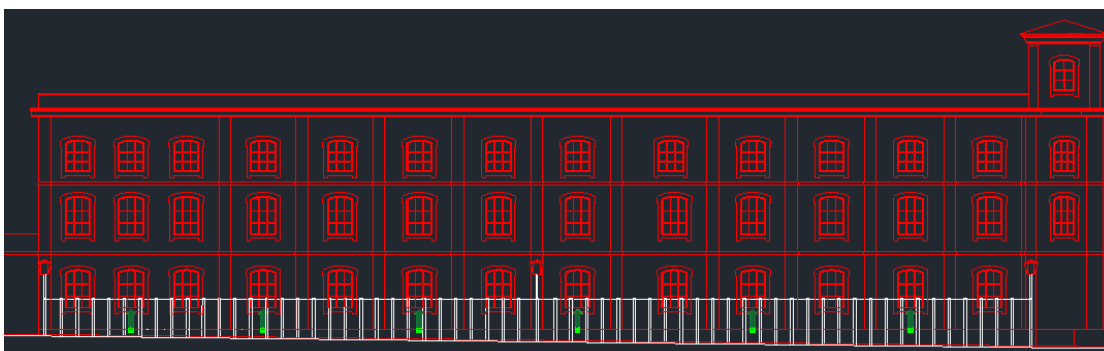


Figura 4.43 - Alçado da Fachada - Lado Drt.- Distribuição das Luminárias [71]

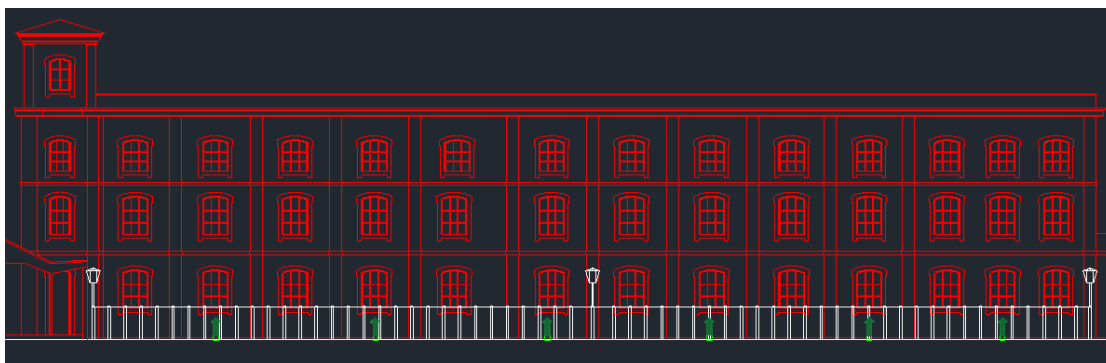


Figura 4.44 - Alçado da Fachada - Lado Esq. - Distribuição das Luminárias [71]

A fachada que se encontra virada para a Rua Nova da Alfândega tem a particularidade de, nas paredes laterais, aquando da realização de eventos importantes, ter afixados painéis de publicidade. Por forma a iluminar os mesmos, foi prevista a instalação de 2 projetores cineares da Schröder, em cada uma das quatro estruturas metálicas, designados por IlumWall.

As Figura 4.45 e Figura 4.46 representam o local de instalação e a Tabela 4.14 são expostas as especificidades do equipamento mencionado.

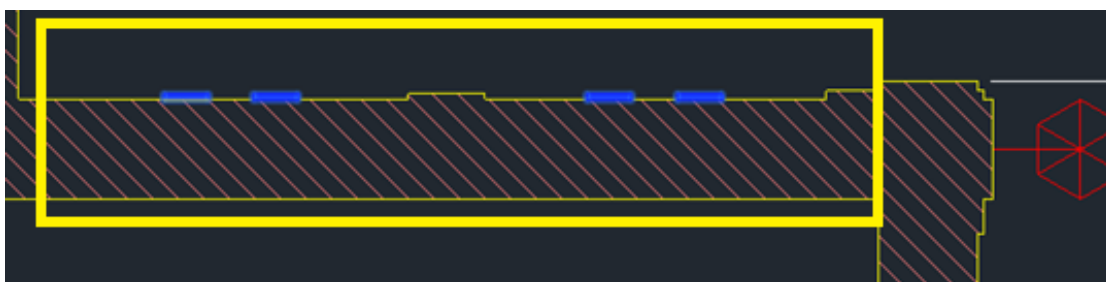


Figura 4.45 - Representação da Iluminação Proposta [71]

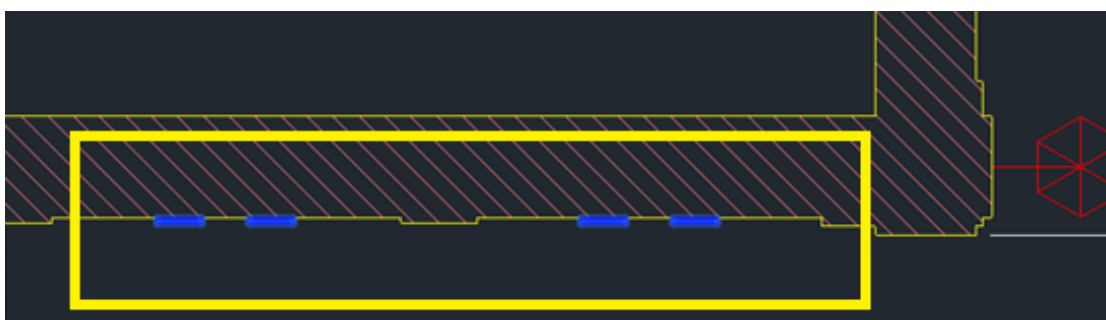


Figura 4.46 - Representação da Iluminação Proposta [71]

Tabela 4.14 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	Luminária IlumWall, 9 LEDs, 700 mA, ótica 6393, White 3000 K

A iluminação proposta é feita, contrariamente a todo o projeto, de cima para baixo. Assim sendo, a área lateral do edifício central fica iluminada, permitindo realçar os anúncios existentes.



Figura 4.47 - Luminária IlumWall LED e Respetivas Características [80]

As características físicas e o aspeto do projetor de iluminação linear IlumWall são apresentados na Figura 4.47. A ótica para o projetor é a 6393 10 x 50° presente na Figura 4.48 [80].

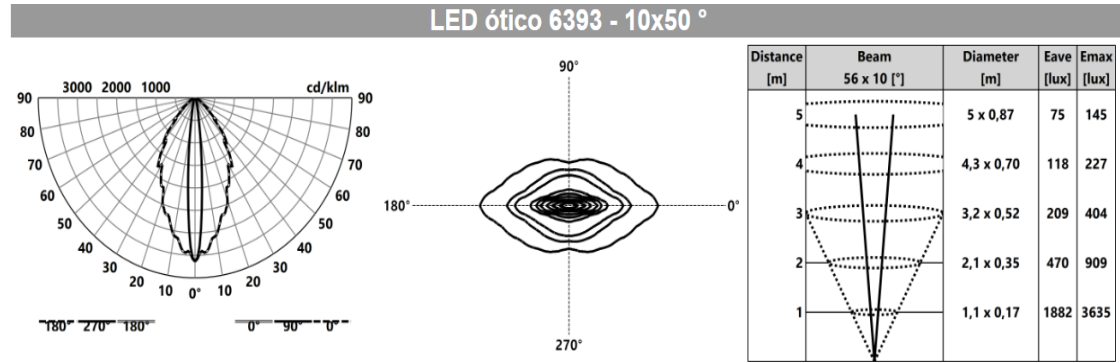


Figura 4.48 - Fotometria da Luminária Proposta [80]

4.4.1.3 - Iluminação Estrutura Lateral

A estrutura lateral, representada na Figura 4.49, está junto ao edifício da Alfândega. Este é um local de entrada que, atualmente, se encontra iluminado linearmente por lâmpadas fluorescentes.



Figura 4.49 - Estrutura Lateral ao Edifício [70]

Os equipamentos propostos são novamente os projetores Neos LED 1 da Schröder, colocados na estrutura metálica lateral, com uma temperatura de cor de 3000 K, que vai ao encontro de todo o projeto de iluminação. Estes projetores pretendem realçar a estrutura trabalhada que é visível na Figura 4.50.



Figura 4.50 - Estrutura em Ferro Trabalhada [70]

Os quinze Neos LED 1 propostos serão colocados no intervalo dos pilares da própria estrutura, como indicado na Figura 4.51. A Tabela 4.15 apresenta as características das luminárias escolhidas para esta área.

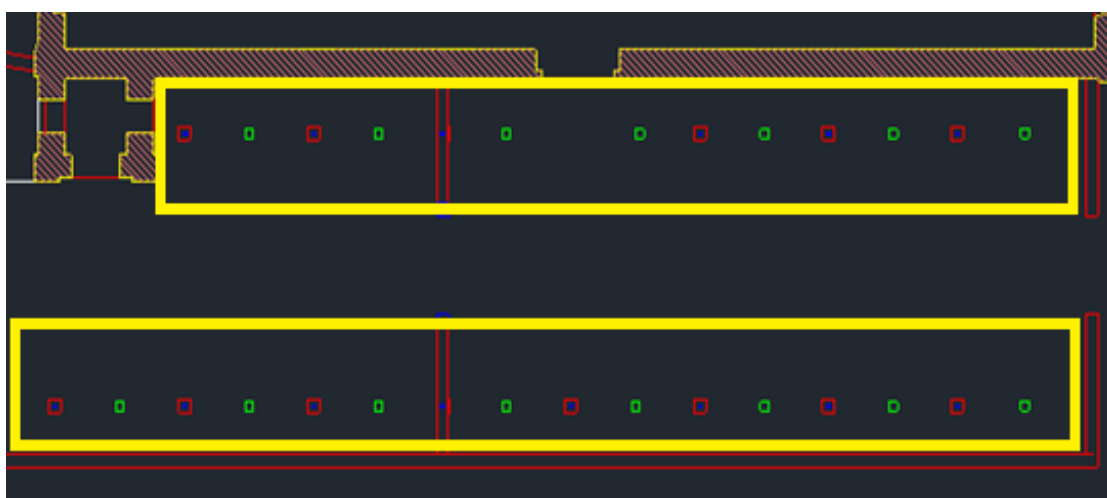


Figura 4.51 - Distribuição das Luminárias Propostas [71]

Tabela 4.15 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	Luminária Neos LED 1, 16 LEDs, 500 mA, ótica 5102, White 3000°K

4.4.2 - Iluminação do Guindaste

O guindaste, peça emblemática da história do edifício concebido em ferro “patinado” pelas brumas e pelo tempo, outrora auxiliou nas cargas e descargas de mercadorias.

No âmbito do Projeto de Iluminação Arquitetural da Alfândega Nova do Porto, achou-se proveitoso tirar partido do guindaste (apelidado de “Girafa”), estrutura de grande envergadura existente no cais da Alfândega, para a qual foi prevista uma iluminação cénica.

Levando em conta as características peculiares da estrutura da “Girafa” e tendo como referência um anterior projeto proposto por ocasião da comemoração dos 150 Anos do edifício, sugere-se uma iluminação em cor vermelha, realizada a partir de equipamentos de iluminação com tecnologia LED [81].



Figura 4.52 - Guindaste - a "Girafa" [82]

Face às dificuldades de acesso a todo o equipamento proposto para instalação, é imperativo optar por um equipamento que não necessite de manutenção e apresente um elevado nível de resistência aos agentes erosivos. Posto isto, as luminárias sugeridas são os projetores Terra Midi LED da Schröder, cujo aspeto físico e características são visíveis na Figura 4.13, e os projetores LED ultra-compactos, ENYO LED da Schröder, cujas características são exibidas na Figura 4.16.

A iluminação local do guindaste é feita de forma concentrante (fotomontagem no anexo C) de modo a criar um destaque luminoso sem que exista dispersão de fluxo luminoso. Assim sendo, a ótica proposta é a LED ótica 6088, como é referido na Figura 4.53. A versão do projetor é a estática de cor vermelha.

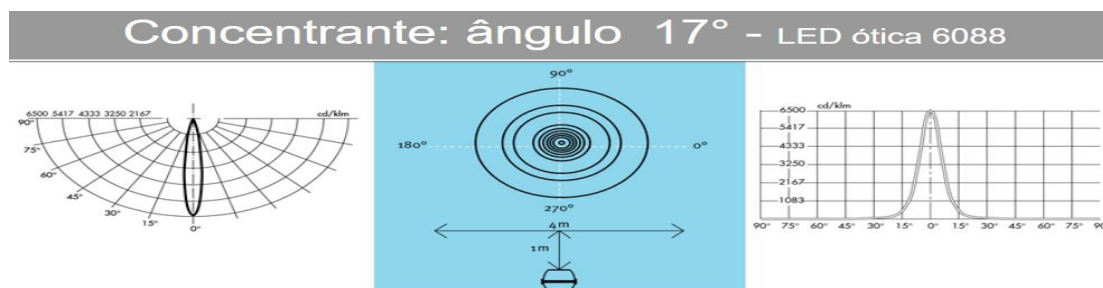


Figura 4.53 - Fotometria do Projetor Enyo Proposto [83]

No que diz respeito à iluminação a partir do solo, são propostos os projetores Terra Midi LED da Schröder de cor vermelha, cuja fotometria é a de um feixe médio - estreito- como é possível observar na Figura 4.54.

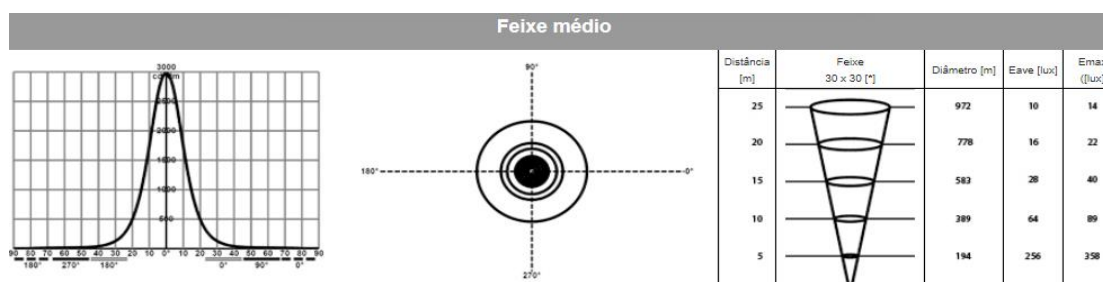


Figura 4.54 - Fotometria da Luminária Proposta [78]



Figura 4.55 - Ilustração do Resultado Esperado do Guindaste

4.4.3 - Iluminação da “Gralha”

No que se refere ao objeto escultórico, a “Gralha” (Figura 4.56), a iluminação que se propõe tem por objetivo fazer sobressair o mesmo, dado este ser considerado um pequeno apontamento importante a nível estético.

A iluminação é garantida através de dois projetores Terra Midi LED da Schröder, encastrados no solo, com uma iluminação de cor vermelha, de forma a tornar visível a silhueta noturna desta peça invulgar no outro lado do rio.

As características dos Terra Midi LED da Schröder estão presentes na Figura 4.13.



Figura 4.56 - Elemento Escultórico - a “Gralha”

A disposição das luminárias Terra Midi LED, destinadas à iluminação da “Gralha”, é apresentada na Figura 4.57, enquanto que as suas especificações são descritas na Tabela 4.16.

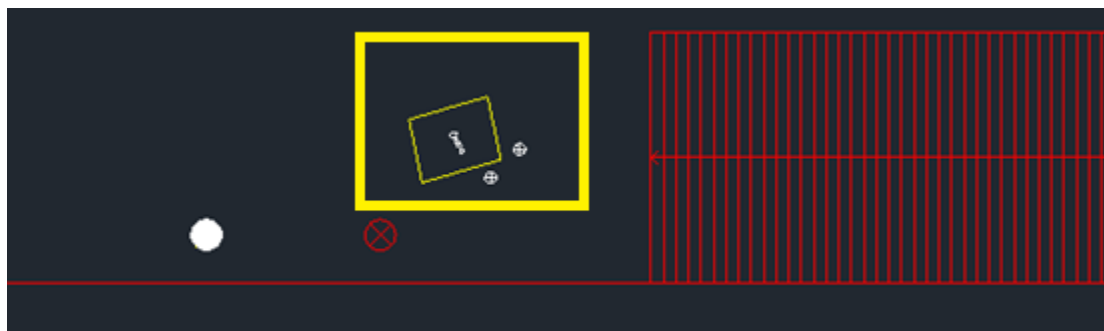


Figura 4.57 - Representação da Iluminação Proposta [71]

Tabela 4.16 - Legenda das Luminárias Propostas

Símbologia	Tipologia de Foco
	Luminária Terra Midi LED, 16 LEDs, 500 mA, Feixe simétrico Médio, colour red

4.4.4 - Iluminação Plataforma Exterior

O Projeto de Iluminação Arquitetural incorpora não só o edifício, bem como toda a plataforma exterior limitada pelo gradeamento deste monumento.

Esta iluminação foi dividida do seguinte modo:

- Escadas de Emergência;
- Edifício Lateral;
- Parque de Estacionamento.

7. Escadas de Emergência

As escadas de emergência que existem estão representadas na Figura 4.6, que surge no subcapítulo 4.3.3. Este é um espaço onde circula, em dias normais, apenas pessoal pertencente à Alfândega, no entanto, sendo escadas de emergência há a necessidade de se apresentarem devidamente sinalizadas.

A proposta de iluminação prende-se na linearidade, ou seja, manter a ideia já existente, alterando somente a tecnologia. Deste modo, é proposta a luminária MY1 LED que, graças ao seu longo período de vida útil e ao seu nível de proteção (IP 67), proporciona um elevado desempenho a longo prazo, sem a necessidade de qualquer limpeza interna [84].

A Figura 4.58 apresenta as características das luminárias MY1 da Schröder. Para uma iluminação adequada e eficiente optou-se por um equipamento de 295 mm de comprimento com 16 LEDs. A ótica escolhida é a 5119, cuja fotometria é apresentada na Figura 4.59.

MY1 LED

Lumen package range (nominal flux) 2,100 to 11,100lm

Optical compartment tightness level IP 67 (*)

Impact resistance IK 10 (**)

Nominal voltage
120 - 277V - 50 - 60Hz
347 - 480V - 50 - 60Hz

Electrical class
I or II (*) - US Class 1

Weight	MY1 LED 1	1.4kg
	MY1 LED 2	2.1kg
	MY1 LED 3	3.2kg
	MY1 LED 4	3.9kg
	MY1 LED 5	5.1kg
	MY1 LED 6	6.0kg

(*) according to IEC - EN 60598 (**) according to IEC - EN 62262

Materials

Body Aluminium

Protector + end caps Polycarbonate

Colour Anodised body + black end caps

Figura 4.58 - Luminária MY1 LED e Respetivas Características [84]

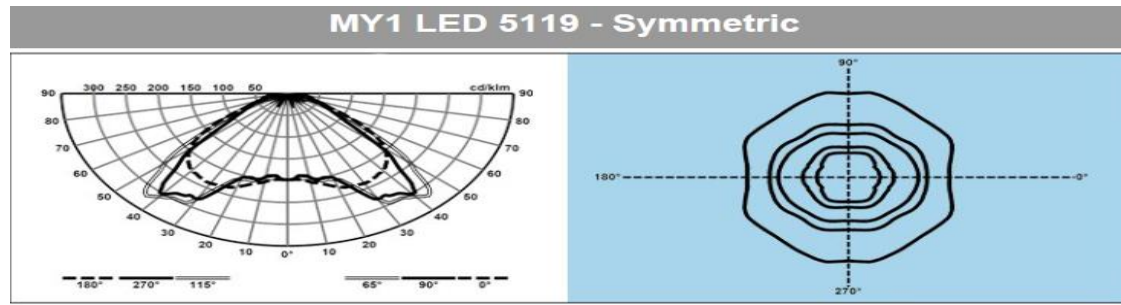


Figura 4.59 - Fotometria do Projetor MY1 Proposto [84]

8. Edifício Lateral

O edifício lateral está implantado num parque de estacionamento de acesso restrito, cuja iluminação atual é insatisfatória. Após o estudo cuidadoso deste local, propôs-se iluminar somente um dos lados do edifício, cuja lateral está virada para a Rua Nova da Alfândega.

Sob o exterior clássico e intemporal do edifício, optou-se pela lanterna Valentino LED da Schröder. Esta luminária combina a eficiência energética da fonte de luz LED com o desempenho fotométrico e, sem fluxo superior, esta lanterna limita a poluição luminosa.

A Figura 4.60 representa a disposição das três lanternas Valentino LED no edifício lateral, que se encontram a uma altura do solo de aproximadamente três metros e cinquenta centímetros (3,50m).

A Tabela 4.17 apresenta a legenda das luminárias propostas.

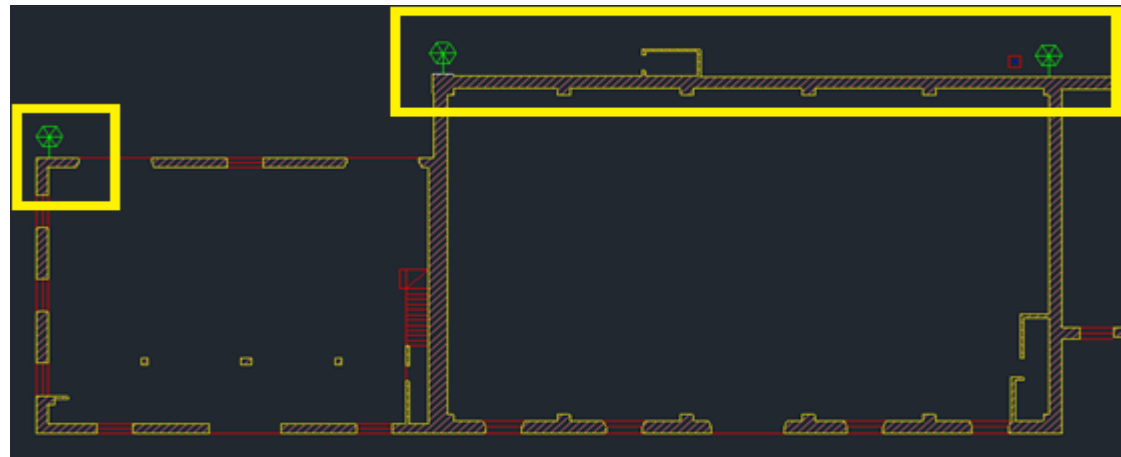


Figura 4.60 - Representação da Iluminação Proposta [71]

Tabela 4.17 - Legenda das Luminárias Propostas

Símbologia	Tipologia de Foco
	Luminária Valentino LED, 24 LEDs, 500 mA, ótica 5096, White 3000 K

A fachada voltada para a Rua Nova da Alfândega tem quatro lanternas, visíveis na Figura 4.32, cravadas através de um “braço de parede”. No seguimento da estética existente, optou-se pela colocação de lanternas semelhantes às que estão presentes na fachada, usando um braço de parede fixo com setecentos e cinquenta milímetros (0,750 m). Esta lanterna tem a particularidade de não possuir vidros, como é demonstrado na Figura 4.61.

A lanterna tradicional Valentino LED desempenha um papel estético importante, tanto durante a noite como durante o dia. Esta dispõe de uma aparência que se integra na paisagem urbana e cria um ambiente delicado, Figura 4.62 [85].



Figura 4.61 - Exemplo Prático da Valentino LED sem Vidro [85]

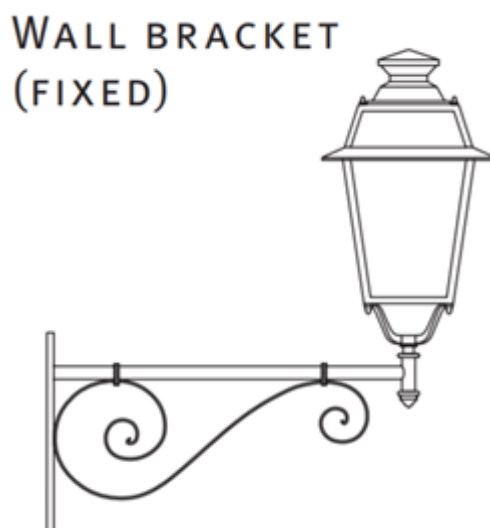


Figura 4.62 - Alçado da Luminária Valentino LED [85]

As características físicas e o aspeto desta lanterna de baixo consumo energético e de material durável e reciclável, estão presentes na Figura 4.63.



Figura 4.63 - Luminária Valentino LED e Respetivas Características [85]

O objetivo principal da instalação das três lanternas Valentino LED é iluminar um espaço que não dispõe de qualquer fonte de luz. Deste modo, a ótica adotada deverá ter a capacidade de iluminar grandes distâncias, como tal, optou-se pela ótica de IP 5096 presente na Figura 4.64.

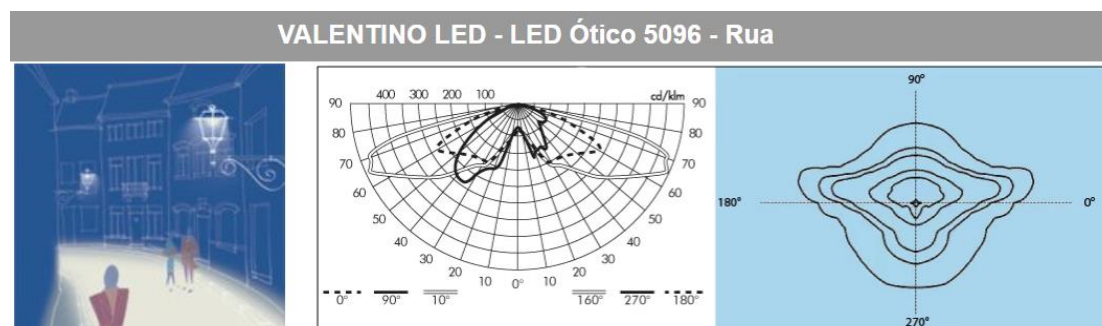


Figura 4.64 - Fotometria da Lanterna Valentino Proposta [85]

9. Parque de Estacionamento

O parque de estacionamento privado da Alfândega, como referido acima, não dispõe de qualquer tipo de iluminação própria. Assim sendo, para este local optou-se por dois modos de iluminação diferentes:

- Iluminação através do levantamento de quatro colunas de iluminação;
- Iluminação através de quatro luminárias colocados na estrutura metálica.

Este lugar é destinado à circulação de veículos e, como tal, a iluminação deve ser funcional.

As dimensões do parque de estacionamento são bastante amplas, tendo este uma largura de aproximadamente cinquenta metros (50 m) e um comprimento aproximado de cento e trinta e cinco metros (135 m).

A Figura 4.65 apresenta uma parte da planta que amplia toda a área de intervenção, do parque de estacionamento, dividida em três zonas distintas.

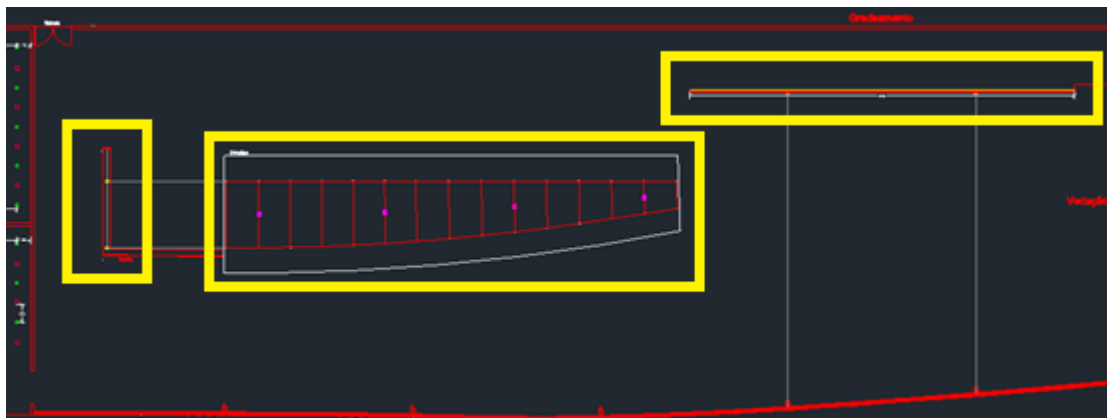


Figura 4.65 - Área de Intervenção no Parque de Estacionamento [71]

1ª Zona de Intervenção - Estrutura Metálica

A Figura 4.66 que se segue, representa a estrutura metálica que existe no centro do parque de estacionamento onde se optou pela instalação de quatro luminárias Dexo LED da Schröder.

A Dexo LED é dedicada à montagem suspensa e projetada para fornecer economia maximizada em custos de energia e manutenção. O seu design proporciona uma solução de iluminação leve, compacta e segura [86].

A legenda da Figura 4.66 é feita através da Tabela 4.18.

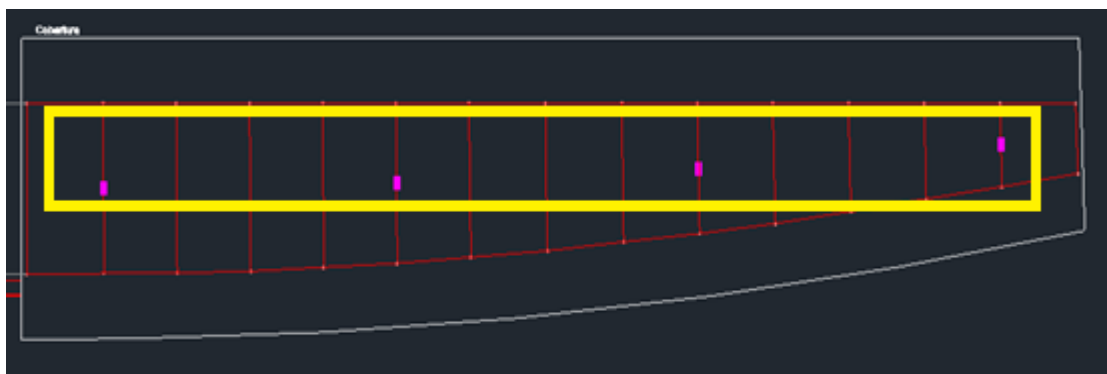


Figura 4.66 - Representação da Iluminação Proposta [71]

Tabela 4.18 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	Luminária Dexo LED, 32 LEDs, 350 mA, ótica 5098, White 4000 K

Observando, cuidadosamente, a Figura 4.66 é possível verificar que os vãos não têm todos o mesmo comprimento. A Dexo LED será colocada no centro dos vãos, como é demonstrado na imagem. Contudo, apesar das medidas serem díspares, ao estarem os projetores centrados irão ao encontro do centro do telhado metálico.

A iluminação do parque de estacionamento deve ser funcional. Deste modo, foi projetada com uma temperatura de cor na ordem dos 4000 K.

Segundo o fabricante, a luminária Dexo está equipada com uma tecnologia que se baseia no princípio da adição da distribuição fotométrica, ou seja, cada LED está associado a uma lente específica que gera a distribuição fotométrica completa da luminária, e é o número de LEDs em combinação com a corrente de condução que determina o nível da distribuição da luz [86].

As características das luminárias escolhidas, bem como a fotometria, encontram-se representados nas Figuras 4.67 e 4.68, respetivamente.



Figura 4.67 - Luminária Dexo LED e Respetivas Características [86]

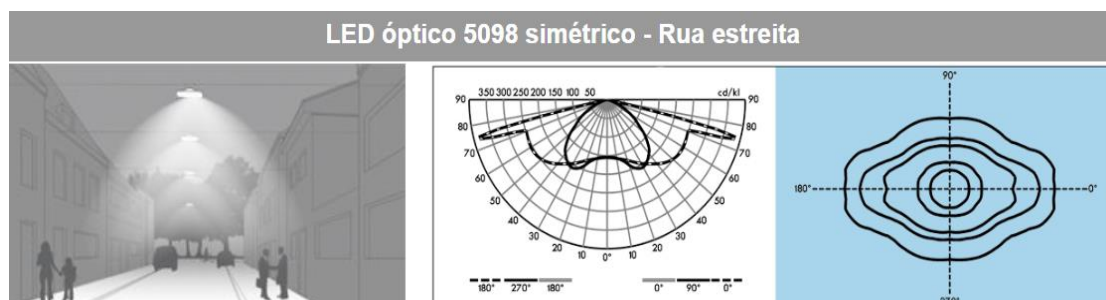


Figura 4.68- Fotometria da Luminária Proposta [86]

O IP e o IK da luminária escolhida não apresentam um grau muito elevado, no entanto, esta será protegida pela cobertura da estrutura metálica, o que não carece da necessidade de preocupação extra.

2ª Zona de Intervenção - Zona de Estacionamentos

Para a zona de estacionamento decidiu-se, visto este deter uma largura considerável, colocar as duas colunas de oito metros de altura útil ($HU = 8\text{ m}$), com um projetor Neos LED, em cada uma delas. O lugar do levantamento das colunas é na direção dos dois IP's, como demonstrado na Figura 4.69 (quadrados amarelos), junto ao muro existente a oito metros e quinze centímetros (8,15 m) da vedação que delimita o parque de estacionamento da Alfândega.

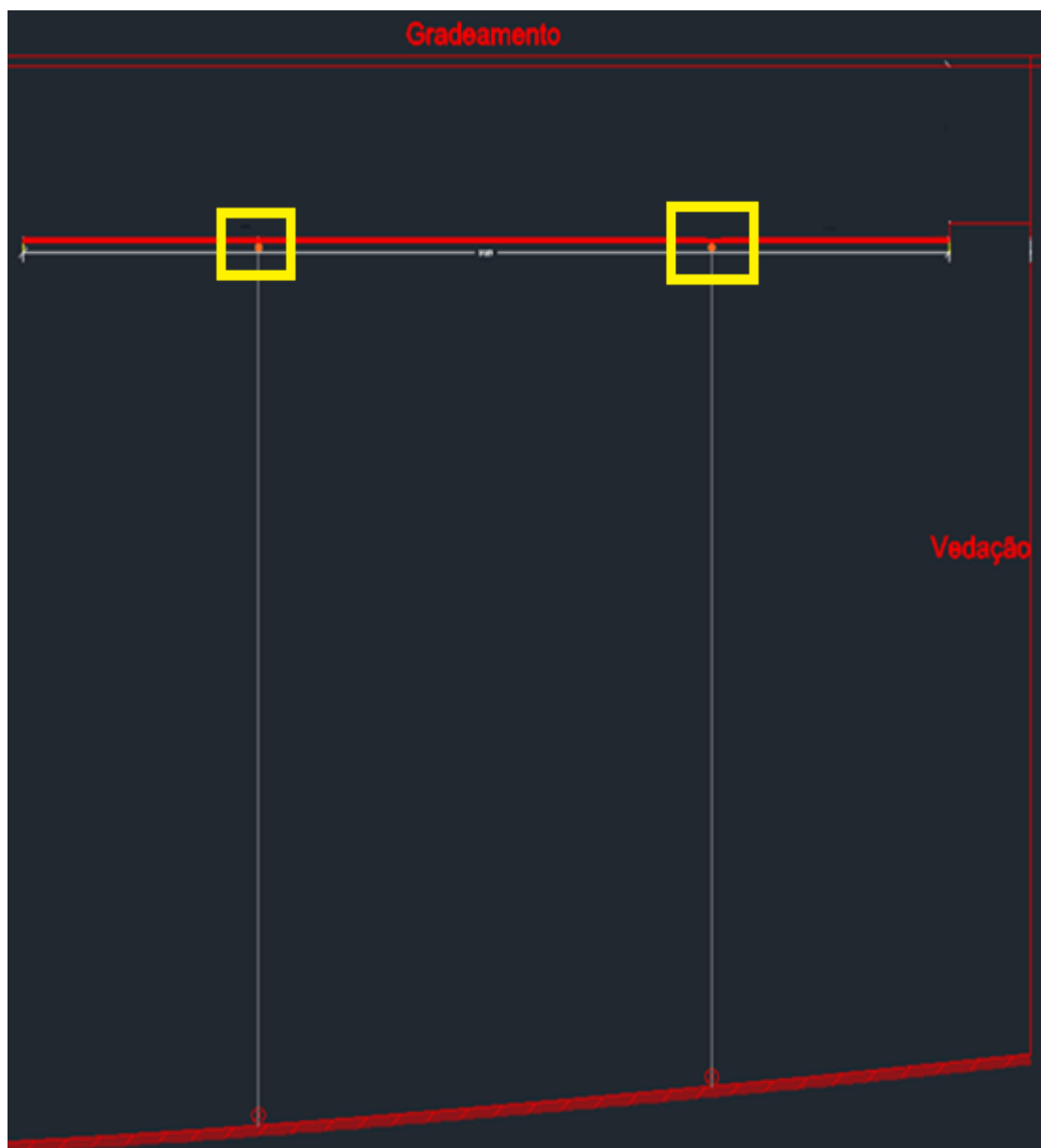


Figura 4.69 - Distribuição da Iluminação Proposta [71]

A Tabela 4.19 apresenta as características das luminárias a implantar nas duas colunas de iluminação.

Tabela 4.19 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	2 Colunas Focus com altura útil de 8m, 1 Neos LED 1, 24 LEDs, 500 mA, ótica 5102, White 3000 K

O aspeto físico e as características dos projetores Neos LED 1 já foram apresentadas na Figura 4.24, tal como a fotometria, que melhor se adapta, está representada na Figura 4.25.

3ª Zona de Intervenção - Entrada do Estacionamento

Junto à entrada existe um muro e um canteiro. Esta área não tem qualquer tipo de iluminação, nesse sentido, é sugerida a implantação de duas colunas de iluminação, com quatro metros e meio (4,50 m). Estas colunas devem ter dois Neos LED 1, cada uma, estando o primeiro projetor na direção do muro e o segundo na direção do coberto da estrutura metálica, presente no centro do parque.

A Figura 4.70 representa o local exato da instalação das duas colunas que irão suportar os dois projetores. Estas estão projetadas no seguimento dos dois apoios iniciais da cobertura.

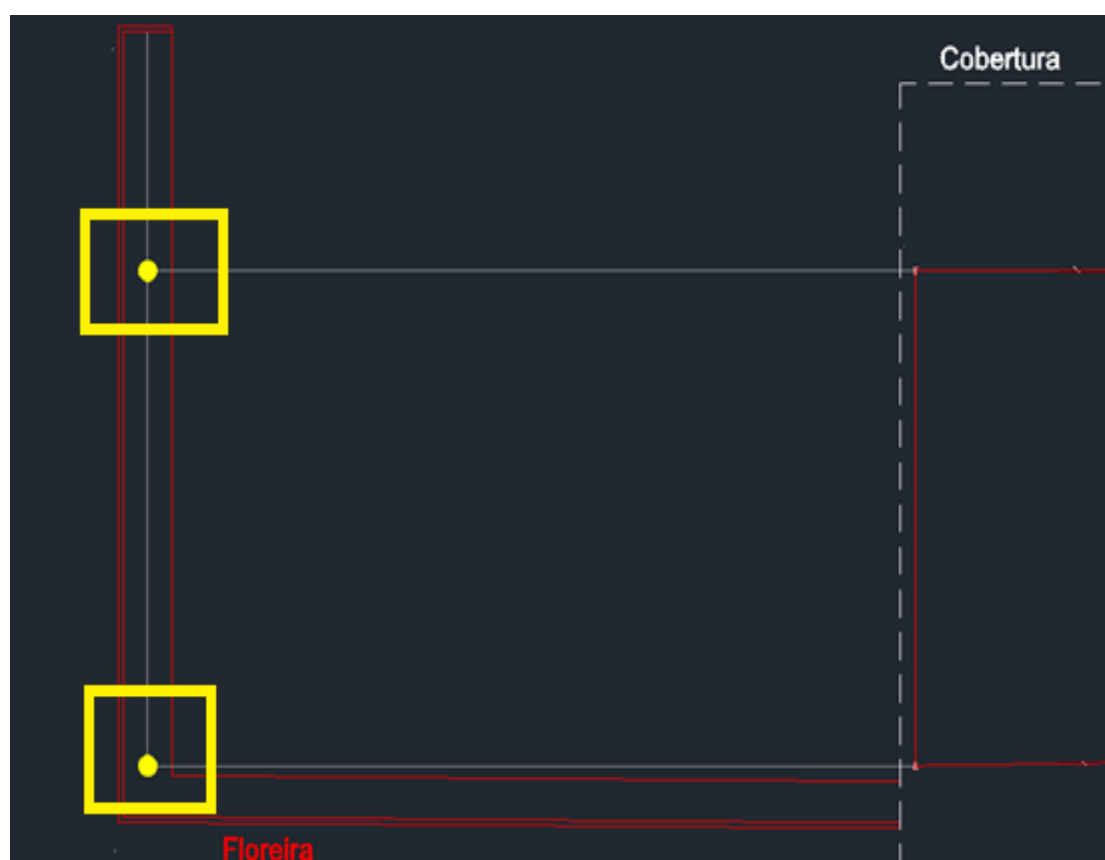


Figura 4.70 - Distribuição das Colunas de Iluminação Propostas [71]

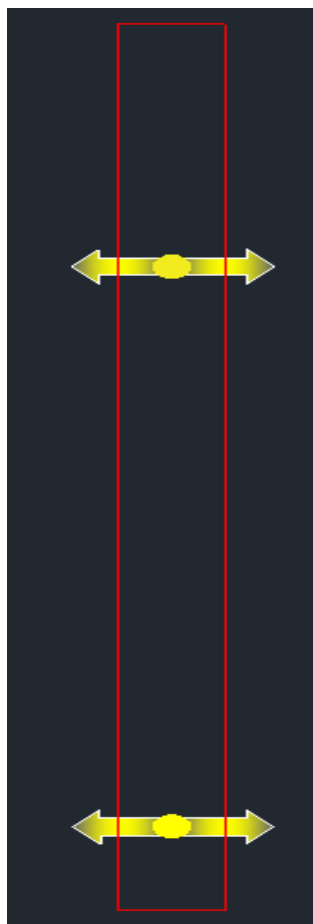


Figura 4.71 - Direção do Fluxo Luminoso dos Neos LED 1 Presentes nas Colunas [71]

A Figura 4.71 demonstra o sentido da distribuição do fluxo luminoso dos quatro Neos LED 1 propostos. A Tabela 4.20 apresenta as características das luminárias que se pretende instalar no topo das colunas, de quatro metros e meio.

Tabela 4.20 - Legenda das Luminárias Propostas

Simbologia	Tipologia de Foco
	2 Colunas Focus com altura útil de 4,5m, 1 * Neos LED 1, 16 LEDs, 350 mA, ótica 5102, White 3000 K

4.5 - Cálculos Luminotécnicos

A geometria da implantação foi planificada com o auxílio da ferramenta informática Dialux. Esta permite realizar cálculos luminotécnicos através da projeção das luminárias no “terreno”.

Na realização da presente dissertação foi feita a transformação da planta da Alfândega Nova do Porto para três dimensões (3D) e uma posterior planificação da iluminação proposta.

Desse modo, as Figuras que se seguem são reflexo dos cálculos efetuados com o software, DiaLux.

1. Edifício

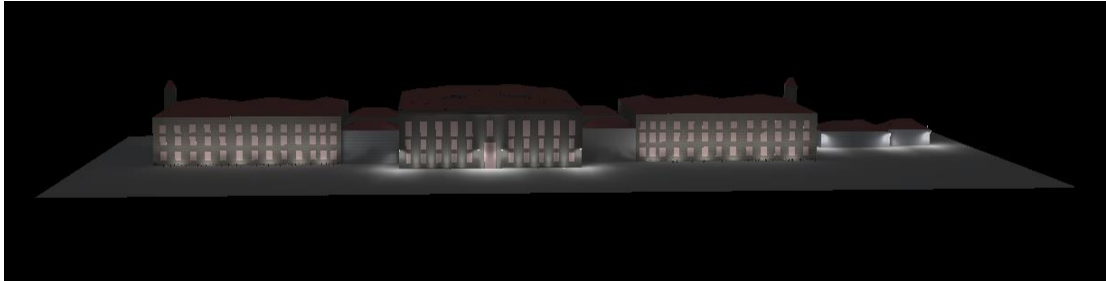


Figura 4.72 - Proposta de Iluminação da Fachada da Rua Nova da Alfândega



Figura 4.73 - Entrada Principal da Fachada da Rua Nova da Alfândega



Figura 4.74 - Fachada Direita



Figura 4.75 - Fachada - Esquerda

Os cálculos da malha são aplicados apenas à área apresentada na Figura 4.73, ou seja, à Entrada Principal do Edifício. Assim sendo, a Figura 4.76 apresenta o gráfico dos valores, verticais da iluminância (E) em lux.

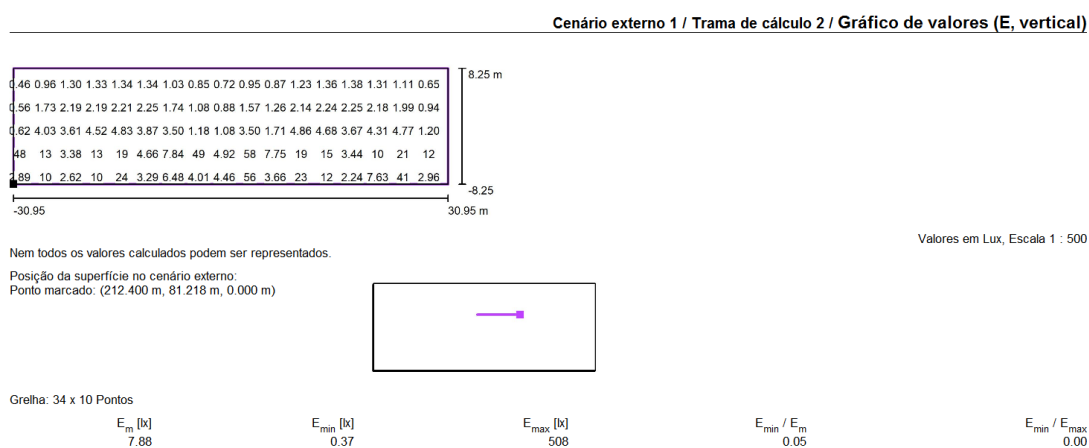


Figura 4.76 - Gráfico de Valores de Iluminância Fornecidos pelo DiaLux

O gráfico de valores de iluminância permite concluir os locais mais e menos iluminados, ou seja, possibilita verificar a densidade da iluminação na fachada em estudo e confirmar a chegada de “luz” ao cimo da edificação.

A ilustração através deste software é importante, sendo, desta forma, possível imaginar o resultado final. Porém, é preciso ter em consideração que a realidade é ligeiramente diferente, em virtude de não estarem a ser tomados em conta todos os pormenores do edifício, tal como todos os elementos externos que afetam a projeção da luz.



Figura 4.77 - Proposta de Iluminação da Fachada Virada para o Rio Douro

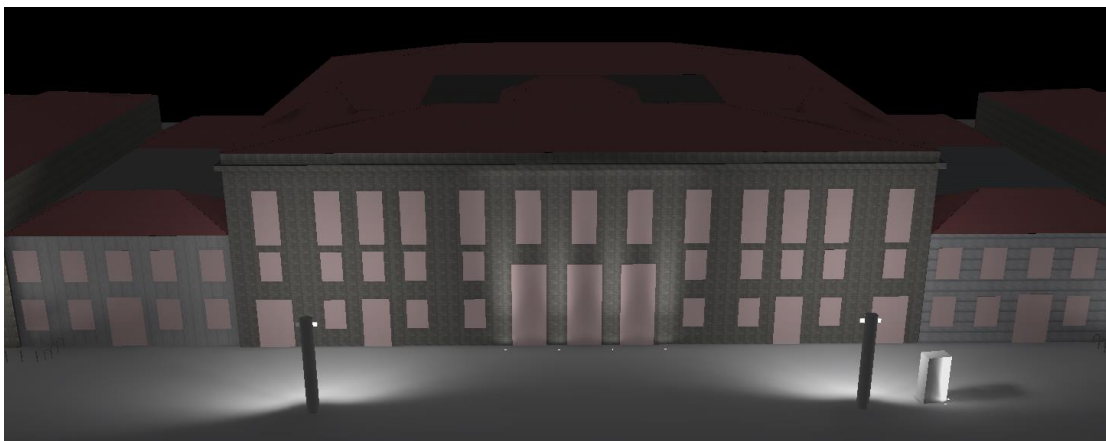


Figura 4.78 - Entrada Principal da Fachada virada a Rio



Figura 4.79 - Fachada Direita



Figura 4.80 - Fachada - Esquerda

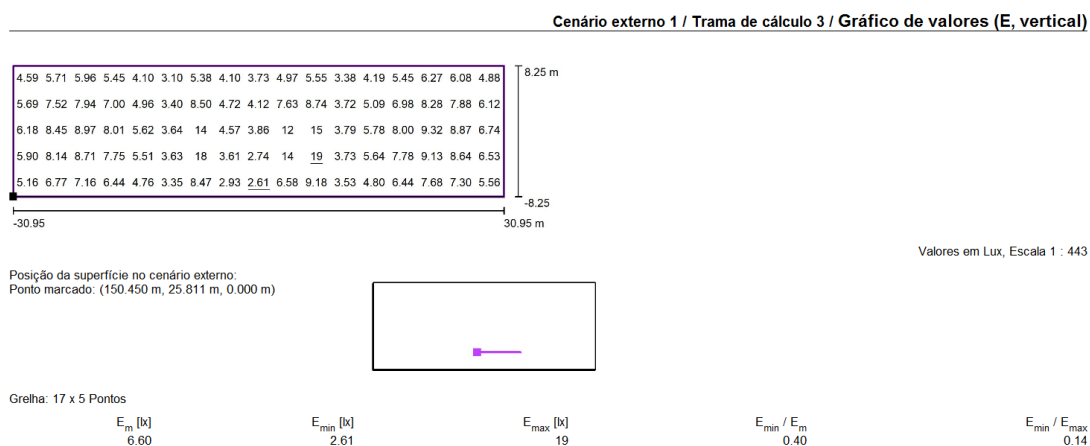


Figura 4.81 - Gráfico de Valores de Iluminância Fornecidos pelo Dialux

O gráfico de valores presente na Figura 4.81 é referente à fachada da Alfândega Virada para o Rio Douro, representada na Figura 4.78.

2. Edifício Lateral



Figura 4.82 - Proposta de Iluminação da Fachada da Rua Nova da Alfândega

A proposta da iluminação do edifício lateral, como verificado anteriormente, é apenas do lado que está virado à rua da cidade.

4.6 - Estimativa Orçamental

A implantação do projeto apresentado para a requalificação da iluminação arquitetural exterior do edifício da Alfândega Nova do Porto, no ponto 4.4, representa um investimento. Nesta continuidade, as tabelas 4.21, 4.22, 4.23 representam as quantidades necessárias, bem como a estimativa orçamental do equipamento a instalar.

Tabela 4.21 - Estimativa Orçamental Dividida por Áreas de Intervenção

Iluminação Arquitetural da Alfândega Nova do Porto			
Edifício			
QUANTIDADE (UN)	REFERÊNCIA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
4	Terra Midi LED/ 16 LEDs/ 500mA/ White 3500 K/ Feixe Estreito 2*7º	500,00 €	2 000,00 €
4	Enyo/ 3 LEDs/ 350mA/ White 3000K	200,00 €	800,00 €
26	Neos LED 1/ 24 LEDs/ 500mA/ White 3000K	250,00 €	6 500,00 €
2	CONJUNTO COLUNA FOCUS Hu = 8m/ 2 FOCAL LED/ 24 LEDs/ White 3000K	1 750,00 €	3 500,00 €
8	Terra Midi LED/ 16 LEDs/ 500mA/ White 3500 K/ Feixe Estreito 2*17º	500,00 €	4 000,00 €
8	Ponto LED/ 3 LEDs/ 350mA/ White 3000K/ Feixe Estreito 2*12º	200,00 €	1 600,00 €
15	Neos LED 1/ 16 LEDs/ 500mA/ White 3000K	250,00 €	3 750,00 €
8	IllumWall/ 9 LEDs/ 700mA/ White 3000 K	250,00 €	2 000,00 €
4	Retrofit LED/ Lanterna Estilo Existente/ White 3000K	250,00 €	1 000,00 €
12	Lampada LED/ Lanterna Estilo Existente/ White 2700K	6,00 €	72,00 €
Total			25 222,00 €
Guindaste			
QUANTIDADE (UN)	REFERÊNCIA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
4	Terra Midi LED/ 16 LEDs/ 500mA/ Colour RED/ Feixe Estreito 2*7º	500,00 €	2 000,00 €
30	Enyo LED/ 3 LEDs/ 500mA/ Colour RED/ Feixe Concentrante 2*17º	200,00 €	6 000,00 €
Total			8 000,00 €
Gralha			
QUANTIDADE (UN)	REFERÊNCIA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
2	Terra Midi LED/ 16 LEDs/ 500mA/ Colour RED/ Feixe Estreito 2*7º	500,00 €	1 000,00 €
Total			1 000,00 €
Plataforma Exterior			
QUANTIDADE (UN)	REFERÊNCIA	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
4	Dexo LED/ 32 LEDs/ 350mA/ white 4000K	400,00 €	1 600,00 €
20	Globo IP1 LED 400/ 16 LEDs/ White 3000K	300,00 €	6 000,00 €
2	Conjunto Coluna Focus Hu = 8m/ 1 Neos LED 1/ 24 LEDs/ White 3000K	1 000,00 €	2 000,00 €
2	Conjunto Coluna Focus Hu = 4.5m/ 2 Neos LED 1/ 16 LEDs/ White 3000K	1 500,00 €	1 500,00 €
3	Valentino LED/ 24 LEDs/ 500mA/ White 3000K	500,00 €	1 500,00 €
12	MY1 LED/ 16 LEDs/ 600mA/ White 3000K	250,00 €	3 000,00 €
Total			15 600,00 €
Total			49 822,00 €

4.7 - Balanço Energético

A eficiência energética e os processos para aumentar a poupança de energia elétrica são dois temas bastante abordados na atualidade. Obter projetos de elevada eficiência energética é um dos maiores desafios dos nossos dias.

Na proposta de requalificação da iluminação arquitetural era pretendida uma diminuição de consumo energético, bem como uma atualização da tecnologia usada, tendo em consideração a beleza do edifício.

Para que seja possível calcular o balanço energético é obrigatório saber a potência instalada ao nível da iluminação atual (P. Instalada em kW), bem como da iluminação proposta. Assim sendo, as duas tabelas que se seguem (4.22 e 4.23) apresentam as potências instaladas para os dois cenários, o proposto e o existente, respetivamente.

Tabela 4.22 - Potência Instalada Referente à Proposta de Requalificação

Quantidades	Referência	Potência	
		Unitária (W)	Total (W)
4	Terra Midi LED/ 16 LEDs/ 500mA	27	108
2	Enyo/ 3 LEDs/ 350mA	5	10
26	Neos LED 1/ 24 LEDs/ 500mA	39	1014
2	FOCAL LED/ 24 LEDs	39	78
8	Terra Midi LED/ 16 LEDs/ 500mA	27	216
8	Ponto LED/ 3 LEDs/ 350mA	5	40
15	Neos LED 1/ 16 LEDs/ 500mA	27	405
8	IllumWall LED/ 9 LEDs/ 700 mA	24	192
4	Retrofit LED/ 16 LEDs	39	156
12	Lampada LED	5,5	66
2	Terra Midi LED/ 16 LEDs/ 500mA	27	54
25	Enyo LED/ 3 LEDs/ 500mA	5	125
4	Terra Midi LED/ 16 LEDs/ 500mA	27	108
4	Dexo LED/ 32 LEDs/ 350mA	36	144
20	Globo IP1 LED 400/ 16 LEDs	27	540
4	Neos LED 1/ 16 LEDs/ 350mA	18	72
2	Neos LED 1/ 24 LEDs/ 500mA	39	78
3	Valentino LED/ 24 LEDs/ 500mA	39	117
12	MY1 LED/ 16 LEDs/ 600mA	23	276
Potência Total (W)			3799
Potência Total (kW)			3,799

Tabela 4.23 - Potência Instalada Referente à Atual Instalação

Quantidades	Referência	Potência	
		Unitária (W)	Total (W)
18	Projector Sódio Alta Pressão	280	5040
20	Projector Sódio Alta Pressão	280	5600
8	Iluminação Linear Fluorescente	18	144
13	Iluminação Linear Fluorescente	18	234
Potência Total (W)			11018
Potência Total (kW)			11,018

Após a construção das tabelas, relativas às potências instaladas da proposta de requalificação e da instalação existente realizou-se o cálculo do balanço energético, Tabela 4.24, referente a toda a iluminação, arquitetural e funcional.

Tabela 4.24 - Balanço Energético Relativo à Requalificação de Toda a Iluminação

Balanço Energético

PRIA - Alfândega do Porto

Horas de Funcionamento (média/ano)	4000
Custo kWh em IP (€)	0,1027

	P. Instalada (KW)	C. Energia (KWh)	TEP/ano (1KWh=290E-6)	T CO2e (med.)	C. Energia Consumida (€)
Instalação actual	11,02	44072,00	12,78	23,05	4 526,19 €
Nova instalação	3,80	15196,00	4,41	7,95	1 560,63 €
Poupança Ano	7,22	28876,00	8,37	15,10	2 965,57 €
Poupança a 15 Anos	N.A.	433140	125,61	226,53	44 483,48 €

Δ (%)	65,5%
--------------	-------

Nota: TEP - Tonelada Equivalente de Petróleo - É uma medida de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru [87]. Em que:

$$1 \text{ kWh} = 290 * 10^{-6} \text{ TEP} \quad (4.1)$$

A implementação de todo o projeto representa uma redução, relativamente ao consumo de energia, de 65,5%. Contudo, é fundamental analisar, economicamente, o balanço energético, bem como a poupança anual, pois na instalação existente o parque de estacionamento e parte do edifício não têm qualquer tipo de iluminação.

Nota: O custo kWh que foi considerado pode não estar atualizado à data da entrega da dissertação, no entanto, sendo o objetivo comparar valores o custo absoluto do Kwh não tem interferência no estudo.

A poupança anual, relativa ao consumo energético, é de aproximadamente três mil euros (3 000 €), no entanto, é necessário ter em consideração que a instalação proposta apresenta um maior número de luminárias/projetores.

Como mencionado anteriormente, foi feito um balanço energético de toda a iluminação proposta, visto a iluminação existente não incluir iluminação funcional, a Tabela 4.25

apresenta o balanço referente apenas à iluminação arquitetural, valores assinalados a cinza na Tabela 4.22.

Tabela 4.25 - Balanço Energético Relativo à Requalificação da Iluminação Arquitetural

Balanço Energético

PRIA - Alfândega do Porto

Horas de Funcionamento (média/ano)	4000
Custo KWh em IP (€)	0,1027

	P. Instalada (KW)	C. Energia (KWh)	TEP/ano (1KWh=290E-6)	T CO2e (med.)	C. Energia Consumida (€)
Instalação actual	11,02	44072,00	12,78	23,05	4 526,19 €
Nova instalação	2,86	11436,00	3,32	5,98	1 174,48 €
Poupança Ano	8,16	32636,00	9,46	17,07	3 351,72 €
Poupança a 15 Anos	N.A.	489540	141,97	256,03	50 275,76 €

Δ (%)	74,1%
-------	-------

Assim sendo, o balanço energético feito, tendo em consideração apenas a iluminação arquitetural, apresenta uma redução, relativa ao consumo energético, de 74,10% que se reflete numa poupança anual de aproximadamente três mil trezentos e cinquenta euros (3 350 €).

4.8 - Investimento

A estimativa orçamental da proposta de requalificação da iluminação arquitetural do edifício da Alfândega Nova do Porto, foi dividida em quatro áreas de intervenção:

- Edifício;
- Guindaste;
- Gralha;
- Plataforma Exterior.

A iluminação que existe na Alfândega é, exclusivamente, direccionada para as duas fachadas da edificação, por conseguinte na exposição do investimento deve-se ter em consideração todos esses pormenores.

A Tabela 4.26 evidencia, por áreas de operação, o investimento estimado que é necessário para a concretização do projeto apresentado.

Tabela 4.26 - Investimento Estimado

Investimento	Valor
Iluminação Edifício	25 222,00 €
Iluminação Guindaste	8 000,00 €
Iluminação Gralha	1 000,00 €
Iluminação Plataforma Exterior	15 600,00 €
Investimento Total	49 822,00 €

Como já havia sido mencionado, a análise do investimento deve ser feita de forma cuidada. Deste modo é apresentada a Tabela 4.27.

Tabela 4.27 - Poupanças e Anos de Retorno do Investimento

	Valor
Poupança Anual - Existente	3 351,72 €
Poupança Anual - Total	2 965,57 €
Retorno do Investimento - Total (Anos)	17
Retorno do Investimento - Existente (Anos)	5

O retorno do investimento total, que depreende a iluminação arquitetural e funcional proposta é de 17 anos, obtidos através:

$$Retorno\ Total = \frac{Investimento\ Total}{Poupança\ Anual\ (Total)} = \frac{49\ 822,00€}{2\ 965,57€}$$

Enquanto que o investimento existente, que apenas compreende a iluminação arquitetural que irá substituir a existente, tem um retorno de 5 anos, obtidos através:

$$Retorno\ Existente = \frac{Investimento\ Área\ Existente}{Poupança\ Anual\ (Existente)} = \frac{17\ 050,00€}{3\ 351,72€}$$

- Investimento Total - é referente ao valor total de investimento para que seja possível a aquisição de todos os equipamentos de iluminação, seja arquitetural ou funcional;
- Investimento Área Existente - corresponde ao valor dos equipamentos necessários para a substituição da iluminação já existente, cujos valores estão sombreados a cinza na Tabela 4.22;

- Poupança Anual Existente - é a poupança conseguida, anualmente, tendo em consideração apenas as potências dos equipamentos que serão substituídos (iluminação arquitetural);
- Poupança Anual Total - é a poupança que se obtém tendo em consideração a potência de todos os equipamentos propostos para a requalificação da iluminação do edifício em estudo.

Atendendo aos dados apresentados nas Tabelas acima mencionadas, o projeto de requalificação da iluminação envolverá um grande investimento, no entanto, o retorno do investimento é feito num curto espaço de tempo.

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1 - Conclusão

A iluminação arquitetural de monumentos e edifícios de valor histórico e patrimonial, revela-se primordial para uma maior valorização e dinamização dos espaços e do ambiente da cidade. Contudo, é sabido que a iluminação arquitetural implantada nos diversos monumentos nacionais acarreta custos elevados de faturação para os municípios e instituições. Neste sentido, deverá existir uma preocupação adicional na rentabilidade e sustentabilidade destes projetos.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação, teve como principal objetivo encontrar soluções, energeticamente rentáveis, para a Requalificação da Iluminação Arquitetural do Edifício da Alfândega Nova do Porto, realçando as características arquitetónicas e respeitando a sua história

Depois de realizar o cadastro da iluminação existente e de atualizar a planta de iluminação do monumento em estudo, foram definidas estratégias, densidades e hierarquias, de forma a melhorar o ambiente noturno e se tirar partido do ambiente envolvente. Teve-se ainda o cuidado de preservar o conforto visual das áreas intervenção, tendo em conta os eventos e as pessoas que dela usufruem, e de optar por luminárias/projetores que não carecessem de manutenções frequentes, dada a dificuldade de acesso a algumas das instalações e elevados custos de manutenção.

Neste projeto foi desenvolvida uma filosofia de continuidade e de coerência entre todos os espaços abrangidos sem esquecer as suas peculiaridades, dispensando-se um tratamento especial a vários locais de potencial interesse arquitetural. De forma a evidenciar as escolhas de iluminação efetuadas existe um estudo realizado em DiaLux, uma ferramenta valiosa de planeamento.

Em conclusão, após se terem reunido um conjunto de possibilidades de iluminação para as diferentes zonas do edifício, ficou definida uma solução de projeto onde foi importante a

complementaridade da iluminação funcional e artística. Este projeto afetou, positivamente, o balanço energético, não só pelo uso de tecnologias mais eficientes, mas também pela correta distribuição do material de iluminação.

Regressando às palavras do arquiteto Alberto Campo Baeza, com que iniciamos a presente dissertação, é: “a ideia contruída”. Na procura de uma sensibilidade e de uma métrica. A luz e a sombra compassadas.

5.2 - Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros a desenvolver pela Alfândega Nova do Porto identificam-se os seguintes:

- Atualização periódica das plantas do edifício;
- Verificação periódica do estado dos projetores/luminárias instaladas;
- Possibilidade de replicar o trabalho efetuado noutros locais, utilizando técnicas adquiridas ao longo da dissertação.

Referências

- [1] “Período Paleolítico, Pinturas Rupestres, Descoberta do Fogo,” 2008. [Online]. Available: <https://historiaOnline.wordpress.com/2008/03/09/periodo-paleolitico-pinturas-rupestres-descoberta-do-fogo/>. [Accessed: 16-Oct-2018].
- [2] “A trajetória do homem com a luz.” [Online]. Available: <https://sites.unicentro.br/jornalagora/a-trajetoria-do-homem-com-a-luz/>. [Accessed: 16-Oct-2018].
- [3] V. Perez, “História da Iluminação - Resumo,” *Laboratório de Iluminação*, 2004. [Online]. Available: <https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/dicasemail/dica26.htm>. [Accessed: 28-Oct-2018].
- [4] M. E. Chevreul, “A Origem da Vela.” [Online]. Available: <http://origemdascoisas.com/a-origem-da-vela/>. [Accessed: 17-Oct-2018].
- [5] “Aimé Argand,” 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Aimé_Argand. [Accessed: 16-Oct-2018].
- [6] “Lâmpada de Argand,” *Wikipedia*, 2013. [Online]. Available: <http://1911encyclopedia.org/Lighthouse#Oil>. [Accessed: 05-Oct-2018].
- [7] “História da Iluminação,” *New Light*, 2012. [Online]. Available: <http://newlightdesign.blogspot.com/2012/11/historia-da-iluminacao.html>. [Accessed: 20-Oct-2018].
- [8] M. AltMan, “Thomas Edison - lâmpada elétrica,” *opera Mundi*, 2009. [Online]. Available: <https://operamundi.uol.com.br/historia/1665/hoje-na-historia-thomas-edison-inventa-a-lampada-eletrica>. [Accessed: 21-Oct-2018].
- [9] “História da Evolução da Lâmpada,” *Vilux*, 2018. [Online]. Available: http://www.vilux.com.br/ver_noticias.asp?codigo=143. [Accessed: 16-Oct-2018].
- [10] L. Mascaró, *A Iluminação do Espaço Urbano*. Masquatro, 2006.
- [11] L. A. Greno Barbosa, “História e Conceitos de Iluminação,” Universidade Estácio de Sá, 2007.
- [12] “Requisitos básicos da iluminação de qualidade,” *Life and Light*, 2011. [Online]. Available: <http://percepcao.typepad.com/percepcao/2011/09/requisitos-básicos-da-iluminação-de-qualidade.html>. [Accessed: 10-Jun-2018].
- [13] M. Romeiro, “Fundamentos de Espectroradiometria.”
- [14] J. N. dos Santos, “Noções Básicas De Luminotecnia,” 2007.
- [15] “Imagem Fluxo Luminoso.” [Online]. Available: https://imagens-revista-pro.vivadecora.com.br/uploads/2018/03/conceitos-luminotecnicos-lux-lumens-candelas-e-curva-de-distribuicao-1024x737.jpg?fbclid=IwAR0kx_o14J68h1tRf4Fer54CoA1EQmKJstyYgKG7mej0A5Xr-C6uBaG2Wb0. [Accessed: 10-Oct-2018].
- [16] “Intensidade Luminosa.” [Online]. Available: https://www.google.pt/search?biw=1670&bih=917&tbm=isch&sa=1&ei=1kVfW4qIJ4WLgAa4z7awDA&q=intensidade+luminosa+cd&oq=intensidade+luminosa+cd&gs_l=img.3..0i24k1.310724.311081.0.311746.3.3.0.0.0.136.386.0j3.3.0...0...1c.1.64.img..0.3.384...0i30k1j0i5i30k1. [Accessed: 30-Jul-2018].
- [17] CEN, “Light and lighting - Lighting of work places,” 2002.

- [18] EDP, “MANUAL DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA,” 2016.
- [19] “A fotografia: luminância.” [Online]. Available: <http://fotografiaenfasis.blogspot.com/2016/05/luminancia.html>. [Accessed: 14-Aug-2018].
- [20] M. Leão, “Projeto Luminotécnico.” p. 71, 2011.
- [21] V. Vajão, *Manual de Práticas de Iluminação*, Dezembro d. .
- [22] C. Januário, Duarte Nuno , Correia, Eliana do Carmo e Brás, “Reflexão da luz,” *Revista de Ciência Elementar*. Porto Editora, p. 17, 2014.
- [23] F. M. Barbosa, “Luminotecnica e Instalações Industriais.”
- [24] S. Correia and J. Canhoto, “Seiva elaborada,” 2012.
- [25] “Reflexão Difusa,” *Wikipedia*, 2018. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Reflexão_difusa.
- [26] C. Alves, “Plano Diretor de Iluminação Pública (PDIP) Uma Arquitetura do Iluminar,” 2018.
- [27] “Sistemas de iluminação de rua para parques e praças,” *philips*. [Online]. Available: <http://www.lighting.philips.pt/sistemas/areas-de-sistema/pontes-monumentos-fachadas>. [Accessed: 24-Aug-2018].
- [28] M. A. da Silva, “Visão,” *InfoEscola*, 2013. [Online]. Available: <https://www.infoescola.com/anatomia-humana/visao/>. [Accessed: 05-Nov-2010].
- [29] D.-G. de E. e Geologia, “Eficiência Energética na Iluminação Pública,” 2016.
- [30] “Gráfico de Sensibilidade Ocular.” [Online]. Available: <http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAABlvUAB-0.png?fbclid=IwAR31DB-Dk1esiDnZ1HXe6wpKYtfbu3qnSTufRtimVFKOVVZBr90aH1EOz5U>. [Accessed: 10-Sep-2018].
- [31] “Eficiência Energética na Iluminação Pública,” 2011.
- [32] J. E. N. dos Santos, “Noções Básicas de Iluminação.” p. 30, 2013.
- [33] “Índice de Proteção,” *Fibracem*, 2017. [Online]. Available: <https://www.fibracem.com/noticias/o-que-e-grau-de-protecao-ip/>. [Accessed: 19-Oct-2018].
- [34] “Grau de proteção IP,” *Wikipedia*, 2017. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Grau_de_proteção_IP?fbclid=IwAR0wcFUZPAUGYNfoF15WChYGA-0X8j4RGYzPNcaPoUDi0UhO6SX2qZkZQ3g. [Accessed: 06-Nov-2018].
- [35] F. maciel Barbosa, “Tipo de Lâmpadas,” vol. 136, no. 1, pp. 23-42, 2007.
- [36] “Imagem Lâmpada de Descarga.” [Online]. Available: https://2.bp.blogspot.com/-NkF2aXWOGRY/TxddTk0qp8I/AAAAAAAAAZk/wq7JfiPSULo/s1600/4.jpg?fbclid=IwAR32UvlfH3jUgCc3_PibPyQWrdWbRGiPLQDkGkZj0zT0gU7wh7BAqkxY5sg. [Accessed: 07-Nov-2018].
- [37] “Lâmpada Filamento Incandescente,” *Diário Not.*, p. 1, 2012.
- [38] L. Ribeiro, “Quer comprar uma lâmpada incandescente? A partir de hoje vai ser difícil,” *Visão*, 2018. [Online]. Available: <http://visao.sapo.pt/actualidade/sociedade/2018-09-01-Quer-comprar-uma-lampada-incandescente--A-partir-de-hoje-vai-ser-dificil?fbclid=IwAR0wcFUZPAUGYNfoF15WChYGA-0X8j4RGYzPNcaPoUDi0UhO6SX2qZkZQ3g>. [Accessed: 20-Dec-2018].
- [39] “Imagem da Lâmpada Incandescente,” *Mercado Livre*. [Online]. Available: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-680901101-lampada-incandescente-100w-127v-filamento-reforcado-martelo-_JM. [Accessed: 29-Aug-2018].
- [40] A. Teixeira, “Tipos de Lâmpadas.”
- [41] B. Pr, “Guia de Eficiência Energética Manual de Boas Práticas.”
- [42] A. T. Luís Negrão, “O Impacto Da Luz Artificial Nos Espaços Arquitectónicos,” *Técnico de Lisboa*, 2013.
- [43] P. Godoy, “Fotometria básica,” in *Iluminação Pública e Urbana*, no. 1, p. 7.
- [44] J. N. dos S. Santos, “Diagramas luminotécnicos,” 2007.
- [45] “VOLDUE da Schréder,” *Schröder*. [Online]. Available: <https://www.schreder.com/pt-pt/produtos/voldue/>. [Accessed: 22-Oct-2018].
- [46] T. Viegas, “Impacto da Iluminação de monumentos e Fachadas.”
- [47] “Ano Europeu do Património Cultural,” *Europa.eu*, 2018. [Online]. Available: https://europa.eu/cultural-heritage/about_pt. [Accessed: 26-Dec-2018].
- [48] “Património Cultural,” *Wikipedia*, 2018. [Online]. Available:

- <http://whc.unesco.org/en/list/>. [Accessed: 10-Dec-2010].
- [49] “Intervenções e obras no património,” *D. R. Cultura Norte*. .
- [50] N. de Vieira de S. Thiago, Elandia & Carvalho Lamas, “Patrimônio, cultura e iluminação,” *Revista Tecnologia e Sociedade*, 2014. [Online]. Available: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/2648>. [Accessed: 10-Nov-2018].
- [51] M. Esteves, Beatriz; Torres, Cláudia e Chamixaes, “Ser Lighting Designer,” *Revista Lume Arquitetura*, 2011.
- [52] J. Ritter, “O que faz um bom lighting designer?,” *Lume Arquitetura*, p. 1.
- [53] H. Esteves, “Técnicas de Iluminação,” *Arquitetura & Arte*. [Online]. Available: <https://herbertesteves.wordpress.com/o-arquiteto/?fbclid=IwAR1o2i8Xt9lVHjNpflEpKFLNGyoGbA1Q9TSlmHVfRJEvkZqUXly3AhUSgxs>. [Accessed: 08-Nov-2018].
- [54] J. Ester, “O que é Wall Washing?,” *You Can Find*. [Online]. Available: <http://www.youcanfind.com.br/postagem/design/garimpo/o-que-e-wall-washing-1501158370?fbclid=IwAR36dISbHGvJJ96N-rceaRk17DPZLHW677WBJE6FMDKqaMIY1rWmCngnMrl>. [Accessed: 04-Dec-2018].
- [55] “Imagem Wall,” *Pinterest*. [Online]. Available: <https://www.pinterest.cl/pin/450993350175658828/visual-search/?x=0&y=0&w=350&h=472>. [Accessed: 10-Dec-2010].
- [56] “Imagem Up Light,” *Archiproducts*. [Online]. Available: https://www.archiproducts.com/pt/produtos/goccia-illuminazione/luz-de-orientacao-led-para-piso-passum-uplight_272317. [Accessed: 10-Dec-2018].
- [57] “Edifício da Alfândega do Porto,” *Sapo*, 2018. [Online]. Available: <https://24.sapo.pt/atualidade/artigos/edificio-da-alfandega-do-porto-em-vias-de-classificacao>. [Accessed: 15-Oct-2018].
- [58] “Projeto de uma Alfândega,” *Centro de Congressos da Alfândega do Porto*. [Online]. Available: <https://www.ccalfandegaporto.com/pt/sobre-nos/2#sectioncron>. [Accessed: 15-Oct-2018].
- [59] “Alfândega do porto,” *Centro de Congressos da Alfândega do Porto*. [Online]. Available: <http://www.ccalfandegaporto.com/pt/sobre-nos/3#sectioncron>. [Accessed: 14-Oct-2018].
- [60] “Imagem Alfândega do Porto,” *Ecsite*. [Online]. Available: <https://www.ecsite.eu/activities-and-services/news-and-publications/ecsite2017-conference-takes-place-alfandega-congress>. [Accessed: 14-Oct-2018].
- [61] “Alfândega Nova (Porto),” *Wikipedia*, 2017. [Online]. Available: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Alfândega_Nova_\(Porto\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Alfândega_Nova_(Porto)). [Accessed: 14-Oct-2018].
- [62] “Ramal da Alfândega (Cidade do Porto).” [Online]. Available: <http://monumentosdesaparecidos.blogspot.com/2010/10/ramal-da-alfandega-ou-comboio-da-batata.html>. [Accessed: 14-Oct-2018].
- [63] “Alfândega - Renascimento do Edifício,” *Centro de Congressos da Alfândega do Porto*. [Online]. Available: <https://www.ccalfandegaporto.com/pt/sobre-nos/4#sectioncron>. [Accessed: 03-Nov-2018].
- [64] V. da Gama, “Ramal da Alfândega do Porto,” *Os caça Devolutos*, 2012. [Online]. Available: <http://www.cacadevolutos.pt/ramal-da-alfandega-do-porto/>. [Accessed: 14-Oct-2018].
- [65] “Desenvolvimento e Reconhecimento da Alfândega do Porto,” *Centro de Congressos da Alfândega do Porto*, 2017. [Online]. Available: <https://www.ccalfandegaporto.com/pt/sobre-nos/6#sectioncron>. [Accessed: 08-Nov-2018].
- [66] F. Brito, “Prémios Centro de Congressos,” *Porto*, 2017. [Online]. Available: <http://www.porto.pt/noticias/centro-de-congressos-da-alfandega-do-porto-foi-eleito-o-melhor-da-europa>. [Accessed: 15-Oct-2018].
- [67] “Turismo do Porto.” [Online]. Available: <http://visitporto.travel/Visitar/Paginas/Descobrir/DetalhesPOI.aspx?POI=2171>. [Accessed: 15-Oct-2018].
- [68] “Porto Neoclássico,” *Visit Porto*, 2014. [Online]. Available: <http://www.visitporto.travel/Visitar/Paginas/Artigo.aspx?artigo=2>. [Accessed: 20-Oct-2018].

- [69] “Imagem da Alfândega Nova do Porto (RUA),” *Invicta*, 2017. [Online]. Available: <https://invictadeazulebranco.pt/alfandega-nova-do-porto/>. [Accessed: 15-Oct-2018].
- [70] “Google Maps - Alfândega do Porto,” *Google Maps*, 2018. [Online]. Available: <https://www.google.pt/maps/@41.1433925,-8.6223204,357m/data=!3m1!1e3?hl=pt-PT&authuser=0>. [Accessed: 23-Oct-2018].
- [71] J. Oliveira, “Imagens AutoCad.” AutoCad, 2018.
- [72] “Luminária - TerraMidiLED,” *Schröder*. [Online]. Available: <https://www.schreder.com/pt-pt/produtos/terramidiled/>. [Accessed: 08-Dec-2018].
- [73] “Luminária - ENYO,” *Schröder*. [Online]. Available: <https://www.schreder.com/pt-pt/produtos/enyo/>. [Accessed: 05-Dec-2018].
- [74] “Ficha técnica da família de produto.” OSRAM, p. 2, 2018.
- [75] “Luminária - NEOS LED,” *Schröder*. [Online]. Available: <http://internal.schreder.com/pt-pt/produtos/neos-led/>. [Accessed: 28-Oct-2018].
- [76] “SOLUÇÕES DE BRAÇOS E COLUNAS.”
- [77] “Luminária - FOCAL LED,” *Schröder*. [Online]. Available: <http://internal.schreder.com/fr-fr/produits/focal-led/>. [Accessed: 02-Nov-2018].
- [78] “TerraMidiLED - Schröder.” [Online]. Available: <http://internal.schreder.com/pt-pt/produtos/terramidiled/>. [Accessed: 03-Oct-2018].
- [79] “PONTO - Schröder, Experts in Lightability.” [Online]. Available: <https://internal-alt.schreder.com/pt-pt/produtos/ponto/>. [Accessed: 22-Nov-2018].
- [80] “ILUMwall - Schröder, especialistas em iluminação.” [Online]. Available: <https://www.schreder.com/en/products/ilumwall/>. [Accessed: 13-Dec-2018].
- [81] E. N. R. e A. S. Thenaisie, “Edifício da Alfândega Nova do Porto - Proposta de Requalificação da Iluminação Arquitectural Exterior,” 2009.
- [82] “Girafa - A Alfândega do Porto e o despacho aduaneiro.” [Online]. Available: <http://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/343786/>. [Accessed: 30-Oct-2018].
- [83] “ENYO - Schröder, Experts in Lightability.” [Online]. Available: <http://internal.schreder.com/pt-pt/produtos/enyo/>. [Accessed: 30-Oct-2018].
- [84] “MYLED - Schröder, Experts in Lightability.” [Online]. Available: <https://www.schreder.com/en/products/myled/>. [Accessed: 04-Dec-2018].
- [85] “VALENTINO-LED - Schröder, especialistas em iluminação.” [Online]. Available: <https://www.schreder.com/en/products/valentino-led/>. [Accessed: 05-Dec-2018].
- [86] “DEXO - Schröder, especialistas em iluminação.” [Online]. Available: <https://www.schreder.com/en/products/dexo/>. [Accessed: 19-Dec-2018].
- [87] “Tonelada equivalente de petróleo,” *Wikipedia*, 2017. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Tonelada_equivalente_de_petróleo. [Accessed: 12-Dec-2018].

Anexos

Anexo A

NÍVEIS MÉDIOS DE ILUMINÂNCIA RECOMENDADOS (SEGUNDO A NORMA EUROPEIA EN 12464-1) NIVELES MEDIOS DE ILUMINANCIA (RECOMENDADOS POR LA NORMA EN 12464-1)

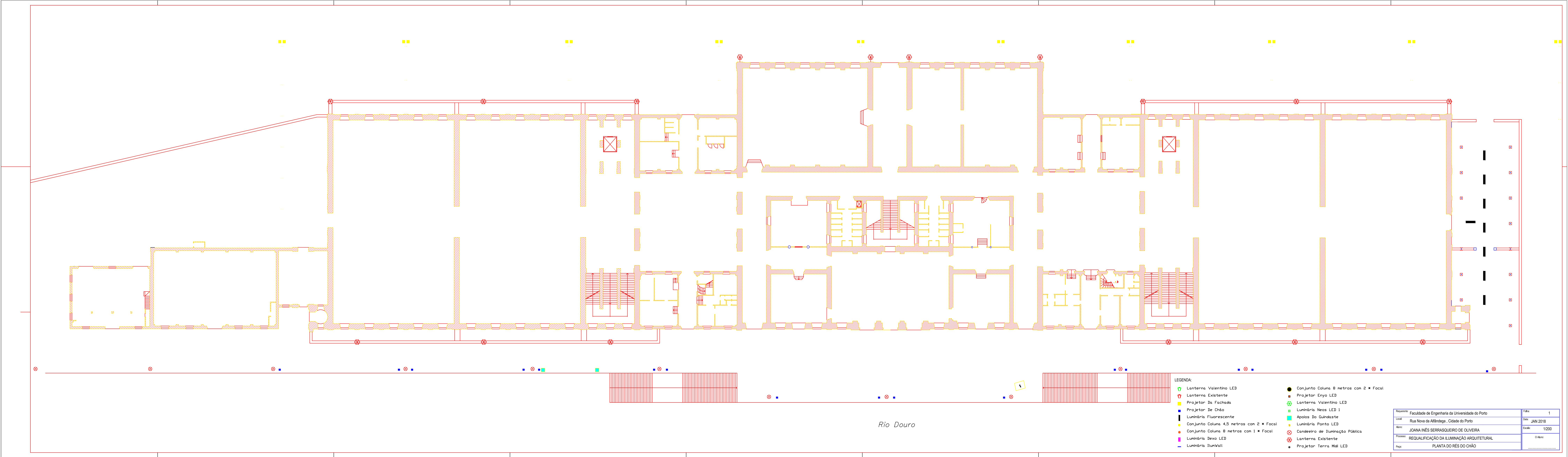
Tipo de interior, tarefa e atividade Tipo de interior, tarea y actividad	Em (lux)	UGR	U _a	R _a	
ESTABELECIMENTOS HOSPITALARES - HOSPITALES					
SALAS DE USO GERAL - SALAS DE USO GENERAL					
Salas de espera - Salas de espera	200	22	0.40	80	1
Corredores durante o dia - Pasillos de día	100	22	0.40	80	1
Corredores durante a noite - Pasillos de noche	50	22	0.40	80	1
Salas de pessoal técnico - Salas de personal técnico	300	19	0.80	80	1
Gabinetes de pessoal técnico - Oficinas de personal técnico	500	19	0.80	80	1
SALA DE VIGILÂNCIA E MATERNIDADES - SALA DE VIGILANCIA Y MATERNIDAD					
Iluminação geral - Iluminación general	100	19	0.40	80	1/2
Iluminação de leitura - Iluminación de lectura	300	19	0.70	80	2
Exames simples - Exámenes simples	300	19	0.80	80	2
Exames e tratamentos - Exámenes y tratamientos	1000	19	0.70	90	2
Quartos de banho - Baño	200	22	0.40	80	2
Luz noturna - Luz nocturna	5	-	-	80	2
GABINETES DE EXAMES GERAIS - OFICINAS DE EXAMENES GENERALES					
Iluminação geral - Iluminación general	500	19	0.80	90	
Exames e tratamentos - Exámenes y tratamientos	1000	19	0.70	90	
Exame ocular externo e auditivo - Examen ocular externo y auditivo	1000	-	-	90	
Provas de leitura e visão cromática com diagrama de visão - Pruebas de lectura y visión cromática con diagrama de visión	500	16	0.70	90	
Iluminação geral p/ gabinetes de exames ocular e auditivo - Iluminación general para oficinas de exámenes oculares y auditivos	300	19	0.80	90	
SALAS DE TRATAMENTOS - SALA DE TRATAMIENTO					
Dialises - Dialisis	500	19	0.80	80	1
Dermatologia - Dermatología	500	19	0.80	90	
Salas de endoscopia - Salas de endoscopia	300	19	0.80	80	
Salas de gessos - Salas de yesos	500	19	0.80	80	
Massagem, radioterapia, banhos médicos - Masaje, radioterapia, baños médicos	300	19	0.80	80	
AREAS DE OPERAÇÕES - SALAS DE CIRUGIA					
Salas preparatórias e de recuperação - Salas preparatorias e de recuperación	500	19	0.80	90	
Salas de operação - Salas de operaciones	1000	19	0.80	90	
Mesa de operações - Mesa de operaciones		-	-	90	3
UNIDADE DE CUIDADOS INTENSIVOS - UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS					
Iluminação geral - Iluminación general	100	19	0.80	90	1
Exames simples - Exámenes simples	300	19	0.80	90	1
Exames e tratamento - Exámenes y tratamiento	1000	19	0.70	90	1
Vigilância noturna - Vigilancia nocturna	20	19	-	80	
DENTISTAS - DENTISTAS					
Iluminação geral - Iluminación general	500	19	0.80	90	4
Iluminação na zona do paciente - Iluminación en el área de pacientes	1000	-	0.70	90	
Mesa de operações - Mesa de operaciones	5000	-	-	90	5
LABORATÓRIOS E FARMÁCIAS - LABORATORIOS Y FARMACIAS					
Iluminação geral - Iluminación general	500	19	0.80	80	
Inspeção de cores - Inspección de colores	1000	19	0.70	90	6
SALAS DE DECONTAMINAÇÃO - DECONTAMINATION ROOMS					
Salas de esterilização - Salas de esterilización	300	22	0.80	80	
Salas de desinfecção - Salas de desinfección	300	22	0.80	80	
SALA DE AUTÓPSIA E DEPÓSITOS MORTUÁRIOS - SALA DE AUTOPSIA Y DEPÓSITOS MORTUARIOS					
Iluminação geral - Iluminación general	500	19	0.80	90	
Mesa de autópsia e mesa de dissecação - Mesa de autopsia y mesa de disección	5000	-	-	90	8
ESTABELECIMENTOS ESCOLARES E SIMILARES - ESTABLECIMIENTOS ESCOLARES Y SIMILARES					
Salas de aula - Salones de clase	300	19	0.80	80	1
Salas de aula noturnas e para adultos - Salones de clases nocturnas y para adultos	500	19	0.80	80	1
Salas de leitura - Salones de lectura	500	19	0.80	80	1
Quadros escolares - Pizarras escolares	500	19	0.70	80	8
Aulas de arte geral - Clases de arte general	500	19	0.80	80	
Aulas de arte em escolas de arte - Clases de arte en escuelas de arte	750	19	0.70	90	9
Aulas de desenho técnico - Clases de diseño técnico	750	16	0.70	80	
Aulas de práticas laboratoriais - Laboratorios	500	19	0.80	80	
Aulas de trabalhos manuais - Clases de manualidades	500	19	0.80	80	
Laboratórios de línguas - Laboratorios de idiomas	300	19	0.80	80	
Halls de entrada - Halls de entrada	200	22	0.40	80	
Áreas de circulação, corredores - Áreas de circulación, pasillos	100	25	0.40	80	
Escadas - Escaleras	150	25	0.40	80	
Salas de estudo e salas de reunião - Salas de estudio y salas de reuniones	200	22	0.40	80	
Salas de professores - Salas de profesores	300	19	0.80	80	
Sala de jogos - Sala de juegos	300	19	0.80	80	
Biblioteca: estantes - Biblioteca: estantes	200	19	0.80	80	
Biblioteca: salas de leitura - Biblioteca: salas de lectura	500	19	0.80	80	
Armazéns de material escolar - Almacenes de material escolar	100	25	0.40	80	
Salas de desporto, ginásios, piscinas (uso geral) - Salas de deporte, gimnasios, piscinas (uso general)	300	22	0.80	80	10
Cantinas escolares - Cantinas escolares	200	22	0.40	80	
Cozinha - Cocina	500	22	0.80	80	

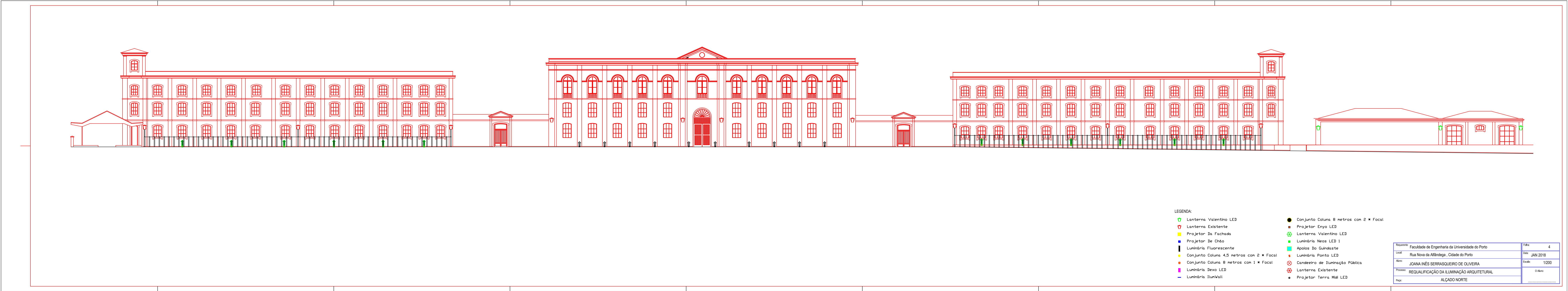
- 1) Iluminância ao nível do solo
Iluminación a nivel del suelo
- 2) Evitar valores de iluminância elevados no campo de visão dos doentes
Evitar valores de iluminación elevados en el campo de visión de los pacientes.
- 3) Em: 100000-1000000 lux
Ej: 100000-1000000 lux
- 4) Evitar encandeamentos ao doente
Evitar deslumbrar al paciente
- 5) Podem ser necessários valores superiores a 5000 lux
Pueden ser necesarios valores superiores a 5000 lux
- 6) Temperatura de cor superior a 6.000 K
Temperatura de color superior a 6.000 K
- 7) A iluminação deverá ser regulável
La iluminación deberá ser regulable
- 8) Evitar reflexos especulares
Evitar reflejos especulares
- 9) Temperatura de cor superior a 5.000 K
Temperatura de color superior a 5.000 K
- 10) Para atividades mais específicas, usar os requisitos da norma EN 12193
Para actividades mas específicas, usar los requisitos de la norma EN 12193

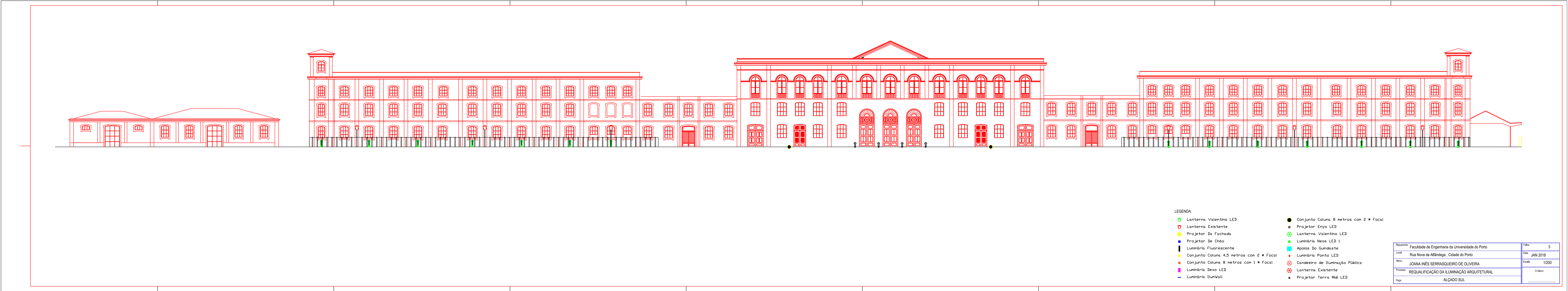
Figura 0.1 - Níveis Médios de Iluminância Recomendados para Interiores, Segundo a Norma Europeia EN 12464-1

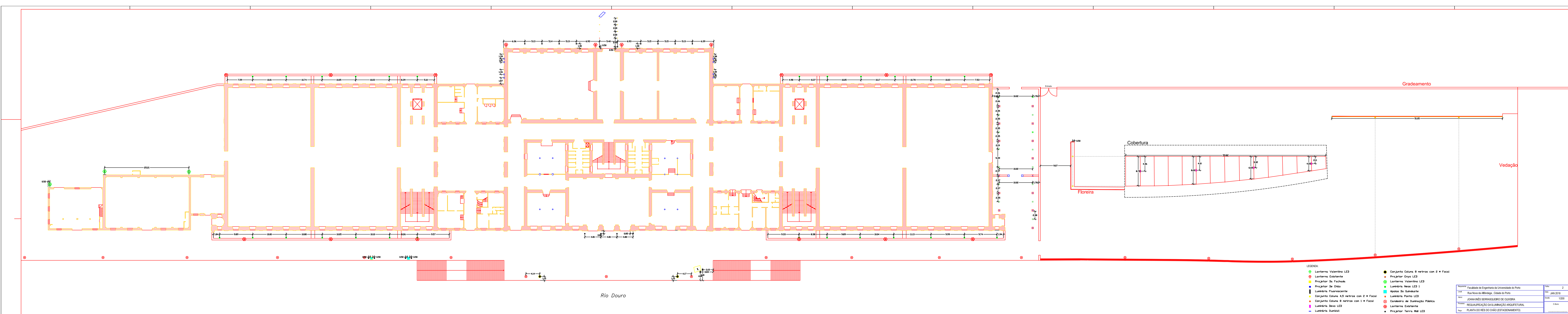
Anexo B

- 1ª folha (AutoCad) - Planta com o levantamento do equipamento de iluminação existente;
- 2ª folha (AutoCad) - Planta com a proposta de requalificação da iluminação externa do edifício;
- 3ª folha (AutoCad) - Alçado sul do edifício com a iluminação proposta;
- 4ª folha (AutoCad) - Alçado Norte do edifício com a iluminação proposta.









Anexo C

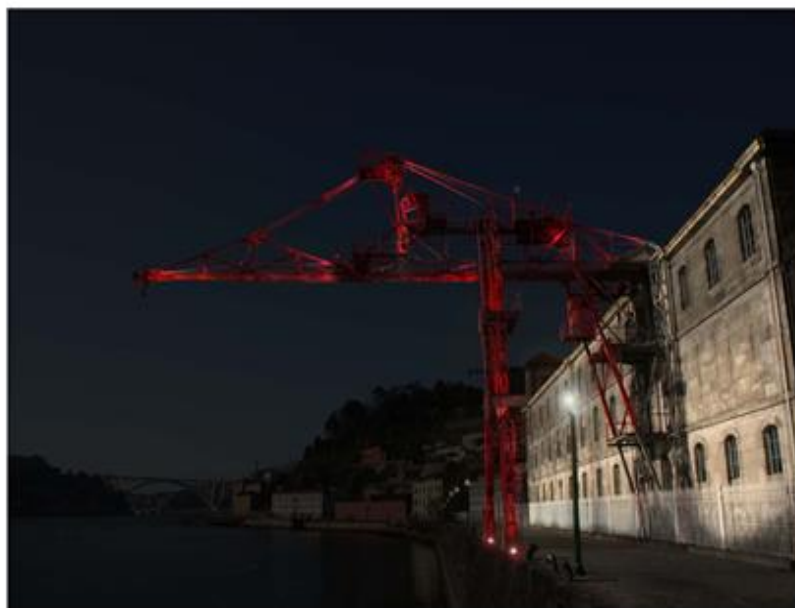


Figura 0.2 - Fotomontagem Realizada para a Comemoração dos 150 Anos do Edifício [81]