



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA

Janeiro de 2011

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objectivo.....	2
1.3. Âmbito de Aplicação	2
2. DEFINIÇÕES.....	3
2.1. Visão.....	3
2.2. Luminotecnia	4
2.3. Electrotecnia	18
3. CLASSIFICAÇÃO DA VIA E NÍVEIS MÍNIMOS DE REFERÊNCIA	22
3.1. Iluminação Pública Funcional.....	22
3.2. Zonas de Conflitos	26
3.3. Zonas Pedonais e Áreas com Baixa Velocidade de Tráfego.....	27
4. SELECÇÃO DE CLASSES EM DIFERENTES PERÍODOS NOCTURNOS	31
5. POLUIÇÃO LUMINOSA.....	33
6. VISÃO MESÓPICA	33
7. TEMPERATURA DE COR	33
8. FACTOR DE UTILIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO	34
8.1. Factor de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (FMLL)	34
8.2. Factor de Sobrevivência da Lâmpada/fonte de luz (FSL).....	35
8.3. Factor de Manutenção da Luminária (FML)	35
8.4. Factor de Manutenção Global (Fm).....	36

9. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA INSTALAÇÃO	38
10. PROJECTO E OBRA.....	41
10.1. Documentação a Incluir na Fase de Projecto.....	41
10.2. Documentação a Entregar Após a Conclusão da Obra.....	42
11. MEDIÇÃO PARA VALIDAÇÃO	43
12. BIBLIOGRAFIA.....	44

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia está na origem de 80% das emissões de gases com efeito de estufa na União Europeia (UE).

Consequentemente, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa implica um menor consumo de energia e uma maior utilização de energia limpa.

É nesta óptica que surge a denominada “Estratégia 20-20-20 para 2020” cujo objectivo é reduzir 20% do consumo de energia, reduzir 20% das emissões de GEE (Gases com Efeito de Estufa) e que 20% da energia consumida seja de fonte renovável.

Por outro lado, a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020), estabelecida na Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de Abril, enquadra as linhas de rumo para a competitividade, o crescimento e a independência energética do país, através da aposta nas energias renováveis e na promoção integrada da eficiência energética, garantindo a segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental do modelo energético.

Em desenvolvimento do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) e da ENE 2020, o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública — ECO.AP (Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011, de 12 de Janeiro), visa obter até 2020, nos serviços públicos e nos organismos da Administração Pública, um nível de eficiência energética na ordem dos 20% em face dos actuais valores.

Nestes objectivos enquadra-se também a utilização racional de energia e a eficiência energético-ambiental em equipamentos de iluminação pública (IP).

1.1. Enquadramento

O presente Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública surge na sequência de uma proposta apresentada pela RNAE – Associação das Agências de Energia e Ambiente (Rede Nacional), em parceria com o CPI – Centro Português de Iluminação, e a Ordem dos Engenheiros, à Secretaria de Estado da Energia e da Inovação do Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (SEEI/MEID).

A consonância da proposta, e do seu potencial, com os objectivos da estratégia energético-ambiental actualmente em curso para Portugal, fomentou que o MEID promovesse a criação de um Grupo de Trabalho para o desenvolvimento do referido documento.

Coordenado pela RNAE o Grupo de Trabalho contou ainda com a colaboração e envolvimento de outras entidades relevantes para o sector da IP em Portugal, nomeadamente, a ADENE – Agência para a Energia, a EDP Distribuição e o *Lighting Living Lab*, entre outras que prestaram também o seu contributo para o enriquecimento do documento.

1.2. Objectivo

O presente documento tem como objectivo estabelecer, como referência, uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projecto de IP de modo a se obter uma maior eficiência energética desta tipologia de instalações e, consequentemente, conduzir a uma diminuição das emissões de CO₂ durante o período de utilização das mesmas.

O documento apontará para a classificação energética de uma instalação de IP com recurso a um código de letras (como acontece já em alguns electrodomésticos e também nos edifícios, por exemplo) e referenciará o modo e o conteúdo de apresentação de um projecto de IP eficiente do ponto de vista energético e lumínico.

1.3. Âmbito de Aplicação

Este documento insere-se num quadro de utilização de materiais normalizados pelas autarquias, concessionárias das redes e/ou entidades com responsabilidade de implementar, operar e manter redes de IP. Aplica-se a novos projectos de iluminação pública ou a remodelações completas (conjuntos de luminárias e/ou apoios com rede de alimentação) de instalações existentes.

O disposto neste documento não se deve aplicar a:

- Remodelações parciais, processos de manutenção ou operação das redes existentes;
- Zonas especiais de intervenção, assim classificadas pelos Municípios, iluminação ornamental/decorativa, iluminação monumental, instalações militares, túneis, iluminação de segurança, zonas históricas ou outras que sejam objecto de regulamentação específica.

2. DEFINIÇÕES

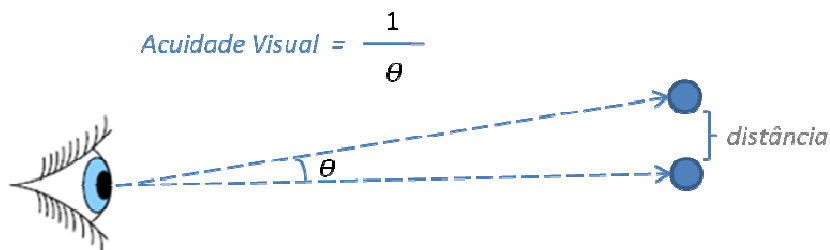
Seguidamente enumeram-se algumas definições relevantes no âmbito do objecto deste documento, nomeadamente no que diz respeito aos conceitos de visão, de luminotecnia e de electrotecnia.

2.1. Visão

2.1.1. Acuidade Visual

A acuidade visual relaciona-se com a capacidade de resolução espacial de dois pontos e depende da densidade dos receptores na retina e do poder de refração do sistema das lentes ópticas. Por outras palavras, a acuidade visual é a capacidade que o olho tem de reconhecer separadamente, com nitidez e precisão, objectos muito pequenos e próximos entre si.

As distâncias na retina são referidas em termos de ângulo visual (θ). Assim, a capacidade do olho em distinguir dois pontos está associada a um certo valor de ângulo visual. Quantitativamente pode afirmar-se que a acuidade visual é o inverso do ângulo mínimo sob o qual os olhos conseguem distinguir um pormenor.



Existem vários factores que influenciam a acuidade visual, tais como:

- **Adaptação** – capacidade que o olho humano possui para se ajustar a diferentes níveis de intensidade luminosa, mediante os quais a pupila irá dilatar ou contrair.
- **Acomodação** – é o ajustamento das lentes do cristalino do olho de modo a que a imagem esteja permanentemente focada na retina.
- **Contraste** – é a diferença de luminância entre um objecto que se observa e o seu espaço envolvente.

- **Idade** – A capacidade visual de uma pessoa diminui com a idade, uma vez que, com o passar dos anos, o cristalino endurece, perdendo a sua elasticidade, tornando mais complicada a tarefa de focalização das imagens dos objectos.

2.2. Luminotecnia

2.2.1. Absorção (α)

Relação entre o fluxo luminoso absorvido por um corpo e o fluxo recebido. A unidade é %.

$$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi}$$

2.2.2. Coeficiente de Utilização (η)

Relação entre o fluxo luminoso recebido por um corpo e o fluxo total emitido por uma fonte de luz. A unidade é %.

$$\eta = \frac{\Phi}{\Phi_e}$$

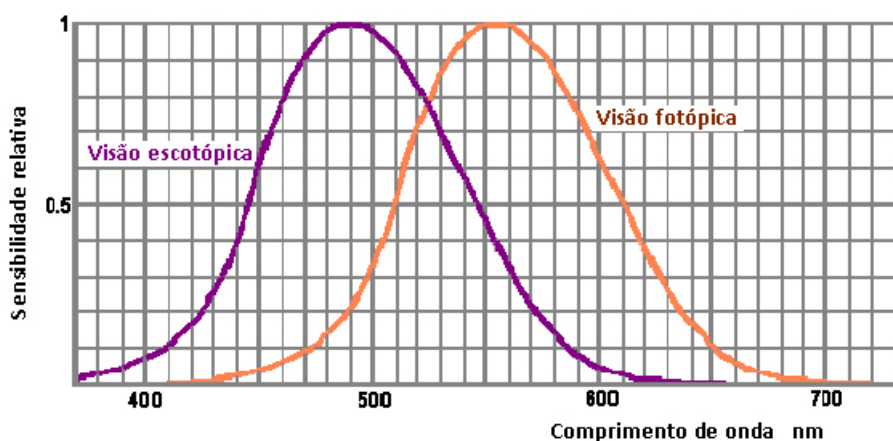
2.2.3. Curva de Sensibilidade do Olho

Define a sensibilidade do olho ao longo do dia.

A curva define desde as condições de boa iluminação ($> 3 \text{ cd/m}^2$) que ocorrem durante o período diurno, onde a visão é mais nítida, detalhada e as cores se distinguem perfeitamente, (denominada de visão fotópica, atingindo um valor máximo aos 555nm – amarelo-esverdeado).

Quando os níveis de luminância são inferiores a $0,25 \text{ cd/m}^2$, a sensação de cor não existe e a visão é mais sensível aos tons azuis e à luz (denominada de visão escotópica, com um valor máximo aos 493nm – azul-esverdeado).

Nas situações existentes entre estes valores, a capacidade para distinguir as cores diminui em conformidade com a diminuição da quantidade da luz, variando a sensibilidade aos tons amarelados para os tons azuis (denominada de visão mesópica).



Nota:

Visão fotópica: é a designação dada à sensibilidade do olho em condições de intensidade luminosa que permitam a distinção das cores. Na generalidade corresponde à visão diurna. No olho humano a visão fotópica faz-se principalmente pela activação dos cones que se encontram na retina.

Visão escotópica: é a visão produzida pelo olho em condições de baixa luminosidade. No olho humano os cones não funcionam em condições de baixa luminosidade (nocturna), o que determina que a visão escotópica seja produzida exclusivamente pelos bastonetes, o que impossibilita a percepção das cores.

Visão mesópica: é a designação dada à combinação da visão fotópica e da visão escotópica, que ocorre em situações de luminosidade baixa, mas não tão baixa que elimine de todo a componente fotópica da visão.

Efeito de Purkinje: consiste no deslocamento do máximo de sensibilidade da visão em ser sensível às cores, para o máximo de sensibilidade à luz, com a diminuição da luz recebida pelo olho.

2.2.4. Encandeamento incomodativo (G)

Corresponde à perda de faculdades de visualizar os objectos, agudeza visual, provocando simultaneamente fadiga ocular, em condições dinâmicas:

$$G = IEL + VRI$$

Legenda:

G = Índice de deslumbramento incomodativo

IEL = Índice específico da luminária

VRI = valor real da instalação

2.2.5. Encandeamento perturbador (TI)

Também chamado incremento limite (TI) é uma medida que permite quantificar a perda de visibilidade causada pelo encandeamento das luminárias de iluminação pública.

Neste caso, um objecto que está no limite da visibilidade deixa de ser visível devido ao encandeamento. Caso se pretenda que o objecto seja visível nestas condições, há que aumentar o nível de contraste. Este incremento corresponde ao TI.

$$TI = \frac{65}{(\bar{L})^{0,8}} \times L_v \%$$

$$L_v = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} = \frac{E_1}{\theta_1^2} + \frac{E_2}{\theta_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\theta_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\theta_n^2}$$

Legenda:

\bar{L} – Luminância média da estrada (cd/m^2).

L_v – Luminância encandeante (veiling luminance) equivalente (cd/m^2).

E_k – Iluminância (em lux, baseada no fluxo inicial da lâmpada em lumens) produzida pela luminária k , num plano normal à linha de visão e à altura do olho do observador .

θ – Ângulo, em graus, do arco entre a linha de visão e a linha desde o observador ao centro da luminária k .



2.2.6. Rácio de Saída do Fluxo Luminoso – *Light Output Ratio* (LOR)

O rácio de saída do fluxo luminoso (LOR) pode ser entendido como o quociente entre o fluxo luminoso (ϕ) total de uma luminária (medido em condições práticas específicas com a sua fonte de luz e equipamento auxiliar) e a soma dos fluxos luminosos individuais dessas mesmas fontes de luz, quando operadas fora da luminária com o mesmo equipamento auxiliar e condições práticas.

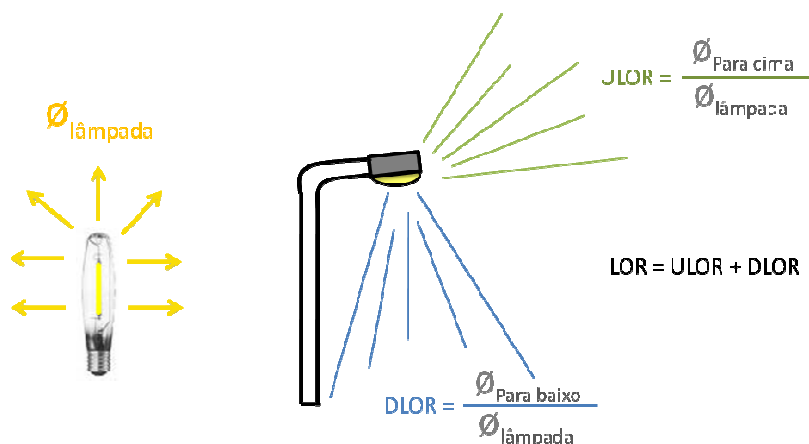
$$LOR = \frac{\phi_{saída\ da\ luminária}}{\sum \phi_{fonte\ de\ luz\ individual}}$$

Para a realização de um projecto de IP eficiente convém conhecer-se dois conceitos derivados do LOR, ou seja:

- Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Ascendente – *Upward Light Output Ratio* (ULOR).
- Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Descendente – *Downward Light Output Ratio* (DLOR).

O **ULOR** de uma luminária é o rácio entre o fluxo emitido para cima, pela luminária, com a soma dos fluxos luminosos individuais dessas mesmas fontes de luz quando operadas fora da luminária.

O **DLOR** de uma luminária é o rácio entre o fluxo emitido para baixo, pela luminária, com a soma dos fluxos luminosos individuais dessas mesmas fontes de luz quando operadas fora da luminária.



2.2.7. Rácio Envolvente – Surround Ratio (SR)

Um dos principais objectivos na IP é providenciar uma boa iluminação na superfície das ruas e estradas de modo a que os obstáculos sejam facilmente identificáveis.

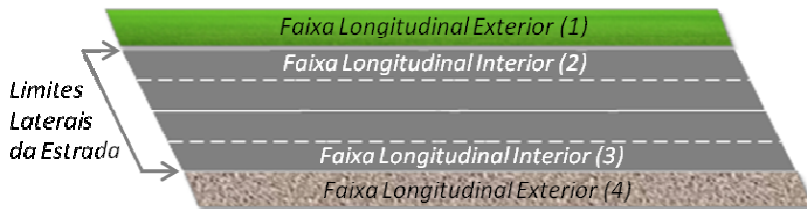
No entanto, a parte superior de objectos mais altos na estrada, e os objectos que se encontram nas laterais das faixas de rodagem (particularmente em secções curvas), são vistos apenas se existir uma boa iluminação na envoltência da estrada, ou seja, na sua vizinhança.

Com efeito, uma iluminação adequada da zona envolvente à estrada possibilita ao condutor uma melhor percepção da sua situação, fazendo ajustamentos devidos de velocidade e trajectória a tempo.

A função do rácio envolvente (SR) é assegurar que o fluxo luminoso direccionado para a periferia das estradas seja suficiente para tornar perfeitamente visível os corpos aí existentes.

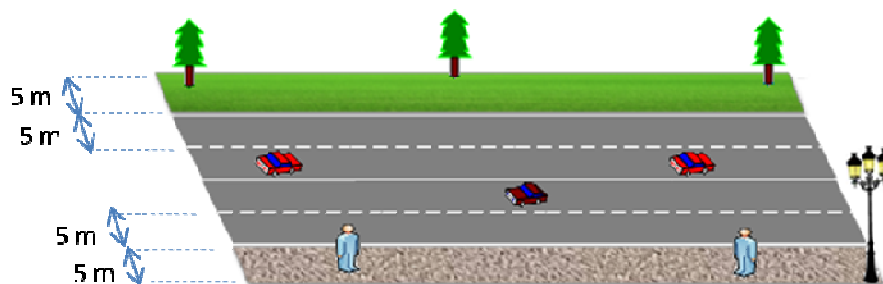
Assim, incrementa-se, por exemplo, a segurança dos peões nos passeios.

O SR é definido como sendo a iluminância média horizontal nas duas faixas longitudinais exteriores aos limites laterais de uma faixa de rodagem de viaturas, dividida pela iluminância média horizontal de duas faixas longitudinais dessa estrada, adjacentes aos seus limites.



A largura de cada uma dessas faixas longitudinais definidas, para o cálculo do rácio envolvente, terá de ser a mesma. O seu valor será o mínimo dos valores das seguintes três hipóteses:

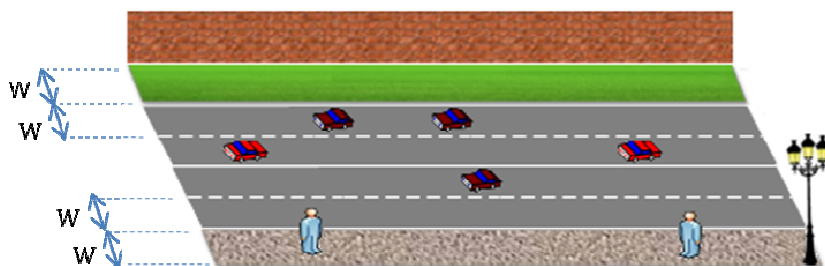
- 5 metros



- Metade da largura da estrada



- Largura da faixa exterior ao limite da estrada que não esteja obstruída

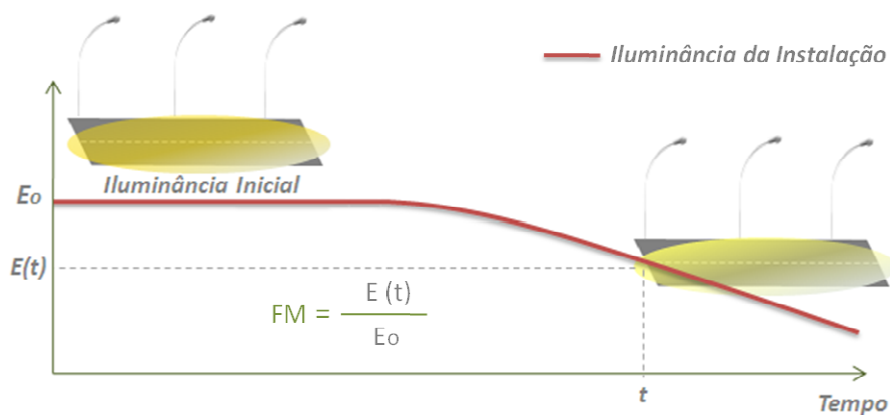


Em qualquer um dos casos o rácio envolvente (SR) poderá ser calculado através da iluminância média (\bar{E}) das várias faixas, pela seguinte expressão:

$$SR = \frac{\bar{E}_1 + \bar{E}_4}{\bar{E}_2 + \bar{E}_3}$$

2.2.8. Factor de Manutenção (FM)

O factor de manutenção (FM) de uma instalação é o rácio da iluminância num determinado momento ($E(t)$), com a iluminância inicial (E_0).

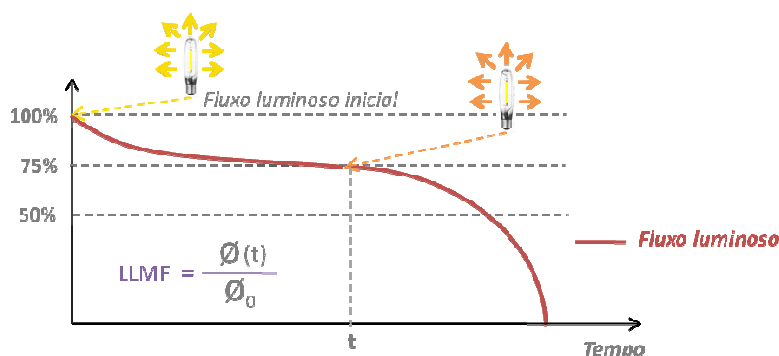


O valor do factor de manutenção poderá afectar significativamente a potência da fonte de luz a instalar, bem como o número de luminárias necessárias para alcançar os valores de iluminância/luminância especificados.

$$Fm = F_{MLL} \times F_{SL} \times F_{ML}$$

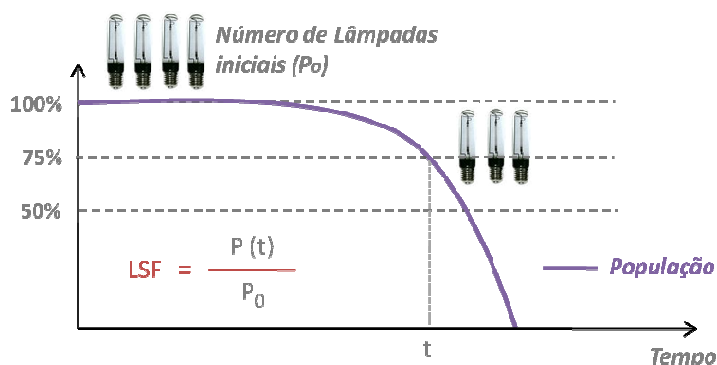
2.2.9. Factor de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (F_{MLL})

O factor de manutenção da luminosidade da lâmpada (fonte de luz) é dado pelo rácio entre o fluxo luminoso da lâmpada num dado momento da sua vida ($\phi(t)$) e o fluxo luminoso inicial (ϕ_0). [EN 12665:2002] Ou seja:



2.2.10. Factor de Sobrevivência da Lâmpada (F_{SL})

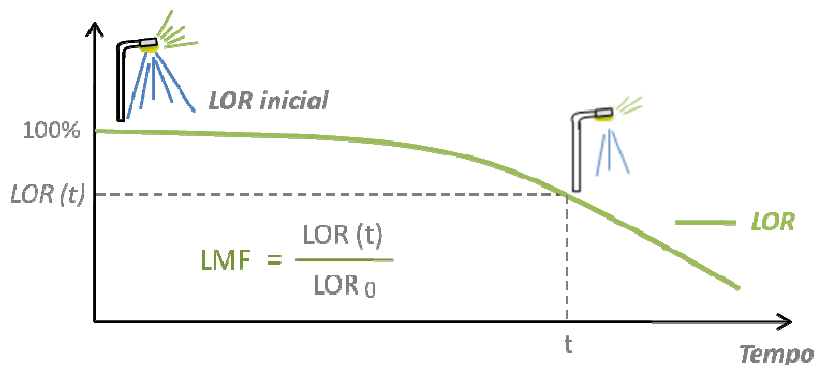
O factor de sobrevivência da lâmpada é definido pela fracção do número total de lâmpadas que continuam a funcionar num dado momento e sob determinadas condições. [EN 12665:2002]



O factor de sobrevivência de uma lâmpada depende bastante da quantidade de horas de funcionamento.

2.2.11. Factor de Manutenção da Luminária (FML)

O factor de manutenção da luminária é o rácio do LOR de uma luminária num dado momento (LOR(t)), com o LOR dessa mesma luminária no seu início de vida (LOR0).



2.2.12. Factor de Utilização (FU)

O factor de utilização (FU) de uma instalação é o rácio do fluxo luminoso recebido pela superfície que se pretende iluminar (fluxo útil - $\phi_{\text{útil}}$), com a soma dos fluxos individuais de cada fonte de luz da instalação.

2.2.13. Fluxo Luminoso (Φ)

É a quantidade de luz emitida em todas as direcções por uma fonte de luz. A unidade é o lúmen (lm).

2.2.14. Iluminância (E)

A iluminância tem como unidade o lux (lx) e, segundo a norma EN 12665, é o quociente entre o fluxo luminoso ($\partial\phi$) incidente num elemento da superfície e a área (∂A) desse elemento.

Ou seja, é a quantidade de fluxo luminoso recebido pela unidade de área iluminada:

$$E = \frac{\partial\phi}{\partial A} = \int_{2\pi sr} L \cdot \cos(\theta) \cdot \partial\Omega$$

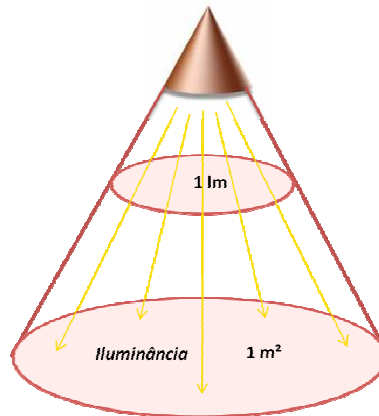
Legenda:

E – Iluminância.

L – Luminância num dado ponto nas várias direcções dos raios elementares incidentes do ângulo sólido.

$\partial\Omega$ – Ângulo sólido.

θ – Ângulo entre qualquer um dos raios incidentes e a normal à superfície num dado ponto.



Existem quatro medidas de iluminância possíveis:

- **Horizontal (E_h)**, vulgarmente designada apenas por Iluminância (E).
- **Vertical (E_v)**.
- **Semi-cilíndrica (E_{sc})**.
- **Hemisférica (E_{hem})**.

Nota: Deduz-se que quanto maior for o fluxo luminoso incidente sobre uma superfície, maior será a iluminância. Do mesmo modo, mantendo-se o fluxo luminoso, a iluminância será tanto maior quanto menor for a área a iluminar.

2.2.15. Iluminância Média (E_{med})

Média aritmética de todos os pontos de iluminância calculados sobre a superfície da via. A unidade é Lux.

2.2.16. Iluminância Mínima (E_{min})

É o valor mínimo de iluminância calculado sobre a superfície da via. A unidade é Lux.

2.2.17. Índice de Reprodução de Cor (IRC)

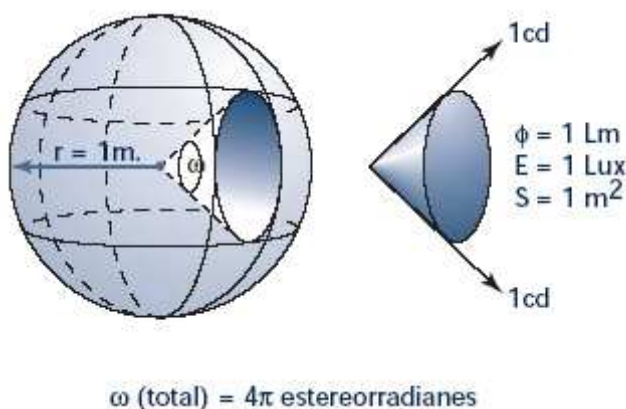
É a capacidade de reprodução cromática do objecto iluminado por uma fonte de luz, sendo por isso um valor indicativo da capacidade da fonte de luz para reproduzir cores, em comparação com a reprodução obtida por uma fonte de luz padrão, tomada como referência.

Nota: A fonte de luz que se toma como referência é a luz solar.

2.2.18. Intensidade Luminosa (I)

A intensidade luminosa de uma fonte de luz é igual ao fluxo emitido numa direcção por unidade de ângulo sólido nessa direcção. A unidade é a candela (cd).

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \text{ (lm/Sr)}$$

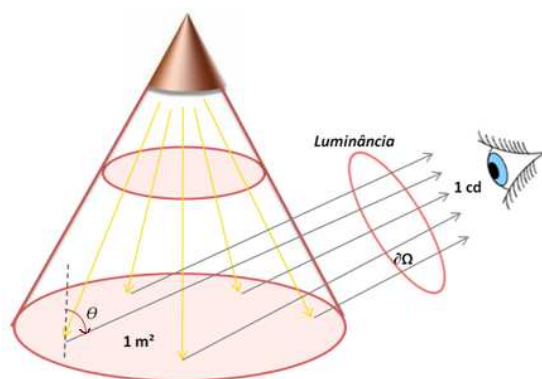


Nota: a candela pode ser definida como sendo a intensidade luminosa, numa certa direcção, de uma fonte de luz que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz e cuja intensidade energética nessa direcção é 1/683 Watts por estereorradian.

2.2.19. Luminância (L)

A luminância (L) é uma medida da densidade da intensidade da luz reflectida numa dada direcção, que descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície, segundo um ângulo sólido ($\partial\Omega$).

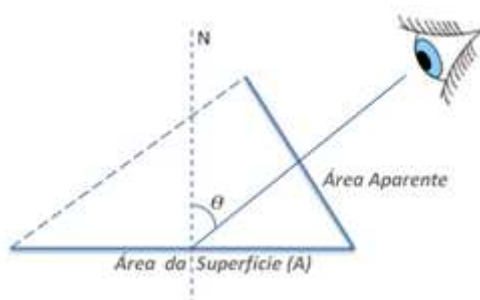
Tem como unidade SI a candela por metro quadrado (cd/m^2), igualmente conhecida por nit (nt).



A luminância (L) pode ser entendida como o quociente entre a intensidade luminosa (I) e a área (A) que a reflecte segundo uma determinada direcção (θ), ou seja:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos(\theta)} \text{ (cd/m}^2\text{)}$$

Ao denominador desta equação, dá-se o nome de área aparente, que não é mais do que a área projectada na direcção do observador, correspondente à área da superfície iluminada.



O cálculo da luminância (L), num ponto da estrada, pode ser efectuado através da expressão:

$$L = \frac{I \times r \times \phi \times MF \times 10^{-4}}{H^2}$$

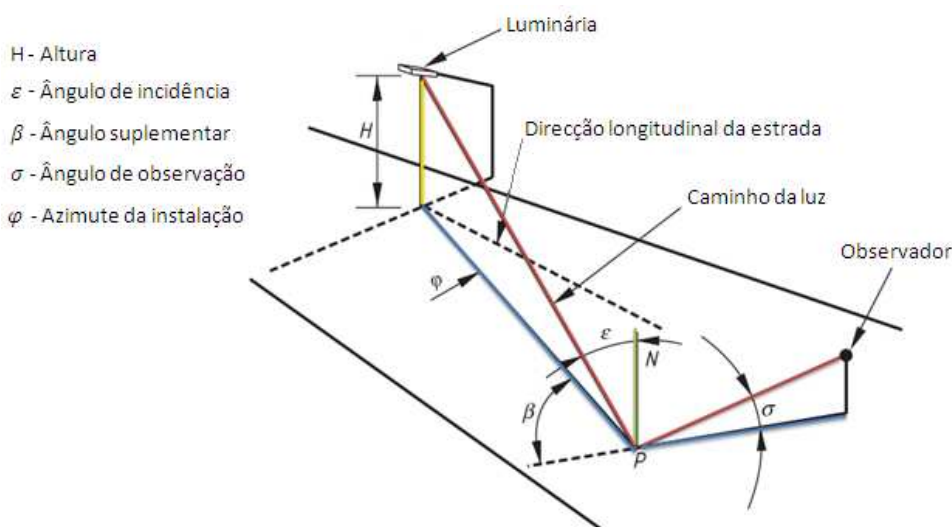
Legenda:

I – Intensidade luminosa (cd) normalizada por klm.

r – Coeficiente de luminância reduzida para um vector de luz incidente, com coordenadas angulares (ϵ, β) – obtido através da tabela de reflexão do pavimento, em st^{-1} .

ϕ – Fluxo luminoso inicial de cada luminária (klm).

MF – Produto do LLMF com o LMF.



2.2.20. Luminância Média (L_{med})

Média aritmética de todos os pontos de luminância calculados sobre a superfície da via. A unidade é cd/m^2 .

2.2.21. Rácio S/P

Rácio do output luminoso da fonte de luz, avaliado de acordo com a função de eficiência luminosa do espectro escotópico da CIE [$V'(\lambda)$], e o output luminoso da fonte de luz, avaliado de acordo com a função de eficiência luminosa do espectro fotópico da CIE [$V(\lambda)$].

2.2.22. Poluição Luminosa

Pode ser definida como sendo qualquer efeito adverso causado ao meio ambiente pela luz artificial excessiva, ou mal direccionada, nomeadamente quando a luz artificial é emitida horizontalmente e pelo hemisfério superior.

Nota: Dependendo do conceito inicial do projecto, uma possível solução é o uso de fontes de luz direccionadas, que sejam emitidas somente pelo hemisfério sul (para baixo da horizontal), de tal forma que a própria fonte de luz não seja visível pelos lados.

Uma luminária eficiente deve iluminar o chão até um pouco além da metade de sua distância ao próximo poste. Assim, ao dirigir a luz apenas para onde ela é necessária, é requerida menos iluminação. Outra vantagem desse tipo de luminária é que a nossa visão da área iluminada se torna muito mais nítida quando não recebemos luz vinda directamente das lâmpadas sobre os olhos.

2.2.23. Reflexão (ρ)

Relação entre o fluxo reflectido por um corpo (com ou sem difusão) e o fluxo recebido. A unidade é %.

$$\rho = \frac{\Phi_T}{\Phi}$$

2.2.24. Rendimento dum Ponto de Luz (%)

Relação entre o fluxo luminoso emitido pelo aparelho de iluminação e o fluxo luminoso da(s) respectiva(s) fonte(s) de luz, em iguais condições de funcionamento.

2.2.25. Rendimento luminoso (ε)

O rendimento de uma fonte de luz é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela mesma e a unidade de potência eléctrica consumida para o obter. A unidade é lm/W.

$$\varepsilon = \frac{\Phi}{P} \text{ (lm/W)}$$

Nota: para uma fonte de luz que transforma, sem perdas, toda a potência eléctrica consumida em luz num comprimento de onda 555 nm, terá o maior rendimento possível no valor 683 lm/W.

2.2.26. Temperatura de Cor (K)

A temperatura de cor é uma característica da luz visível, determinada pela comparação da sua saturação cromática com a de um corpo negro radiante ideal.

Ou seja, é a temperatura a que um corpo negro irradiaria a mesma cor da fonte luminosa (usualmente medida em Kelvin – K).

Nota: Quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz.

O conceito de luz quente ou fria relaciona-se com a tonalidade de cor que a fonte de luz apresenta ao ambiente.

As fontes luminosas podem variar entre 2.000 K até mais de 10.000 K. Do ponto de vista técnico a tonalidade da luz que irradia uma fonte de luz conhece-se pela sua temperatura de cor.

Temperatura (K)	Aparência	
$T < 3300$	Quente (branco alaranjado)	
$3300 < T < 5000$	Intermédio (branco)	
$T > 5000$	Fria (branco azulado)	

2.2.27. Uniformidade extrema (U_e)

Relação entre o valor de iluminância mínima e o valor de iluminância máxima, de uma instalação de iluminação. A unidade é %.

$$U_e = E_{min}/E_{max}$$

2.2.28. Uniformidade Geral (U_0)

Relação entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância média, de uma instalação de iluminação. A unidade é %.

$$U_0 = L_{min}/L_{med}$$

2.2.29. Uniformidade Longitudinal (UL)

No sentido de deslocação do observador, é a relação entre o valor de luminância mínima e o valor de luminância máxima longitudinal, de uma instalação de iluminação. A unidade é %.

$$UL = L_{min}L/L_{max}L$$

Nota: Pode ser calculada para toda a superfície da via, ou no eixo da faixa de rodagem do sentido de circulação.

2.2.30. Uniformidade Média (UM)

Relação entre o valor de iluminância mínima e o valor de iluminância média, de uma instalação de iluminação. A unidade é %.

$$U_m = E_{min}/E_{med}$$

2.3. Electrotecnia

2.3.1. Aparelho de Iluminação

É um equipamento que é utilizado como suporte de ligação à rede eléctrica das fontes de luz que o equipam, segundo determinadas características ópticas, mecânicas e eléctricas.

2.3.2. Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa (η) de uma fonte é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte (Φ) e a potência por ela absorvida (P). A unidade SI é o lm/W (lúmen por Watt).

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \text{ (lm/W)}$$

Os equipamentos fotométricos e os medidores de luz são geralmente calibrados conforme a sensibilidade espectral dos cones, ou seja, na visão fotópica. Assim, o fluxo luminoso das fontes de luz é avaliado somente em termos da sua resposta fotópica.

Este rácio é também muitas vezes utilizado como o Índice de Eficiência Energética.

2.3.3. Fonte de Luz

Define-se como sendo o elemento físico, sólido ou gasoso que, quando alimentado por energia eléctrica, emite radiações visíveis ao olho humano.

Nota: Exemplos de fontes de luz: lâmpadas de filamento ou descarga e LEDs.

2.3.4. Ponto de Luz

Define-se como um elemento que permite a iluminação de uma área, sendo constituído por um aparelho de iluminação, fonte de luz e apoio.

2.3.5. Regulador de Fluxo Luminoso

É um equipamento previsto para controlar o processo de arranque, estabilização e redução do consumo da potência instalada, referente a uma instalação de iluminação, funcionando após a aplicação de uma “ordem” com origem local ou remota.

O processo pode ser efectuado através da regulação, por tensão, por corrente ou variação da frequência, através de equipamentos electromecânicos ou electrónicos.

2.3.6. Resistência aos Impactos (IK)

É a capacidade do material resistir á força de um impacto repentino, sendo a classificação a seguinte:

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

IK número	Energia	Equivalente impacto
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

2.3.7. Índice de Protecção (IP)

É um parâmetro que define quais as características de um aparelho de iluminação, que deve ser considerado em função do local de instalação da mesma, nomeadamente quanto à agressividade do ambiente e condições de intempérie.

Nota: O grau de protecção tem por objectivo a determinação dos seguintes parâmetros:

a) Protecção de pessoas (incluindo as partes do corpo como mãos e dedos) contra o contacto às partes em tensão sem isolamento, contra o contacto nas partes móveis no interior do aparelho e protecção contra a entrada de corpos estranhos como poeiras por exemplo.

b) Protecção do equipamento contra a entrada de água no seu interior.

Tabela (1.º dígito)

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.

Dígito	Tamanho do Objecto tamanho protegidos contra	Protecção
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.º dígito)

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.

3. CLASSIFICAÇÃO DA VIA E NÍVEIS MÍNIMOS DE REFERÊNCIA

Para a classificação das instalações haverá dois grupos:

- Iluminação pública funcional
- Iluminação decorativa

Nota: Pelos motivos já enunciados anteriormente a iluminação decorativa não será considerada neste documento.

3.1. Iluminação Pública Funcional

Para estabelecer as condições adequadas de iluminação deverá ser utilizado o método simplificado preconizado na CIE 115:2010, reduzindo o número de parâmetros necessários e obviando às interpretações diversificadas a que a aplicação directa da norma EN13201 poderia conduzir.

Nos pontos seguintes serão enumeradas as classes e as metodologias para a selecção das classes de iluminação, sendo que prevalecerão sempre os documentos EN13201 e CIE115. No final é apresentado o exemplo de selecção diferenciada de classes em diferentes horas do anexo E da CIE115.

3.1.1. Zona Fora do Perímetro Urbano

Inclui todas as vias fora do perímetro urbano, incluindo vias de circulação periféricas ao tecido urbano com traçado simples (rectas e curvas largas), onde seja possível medir luminâncias.

3.1.1.1. Classes ME

Para estas vias aplica-se a EN13201, classe ME porque é possível a medição de luminâncias:

Classe da via	Luminância da superfície da via em condições secas			Deslumbramento Perturbador	Iluminação Envolvente
	Luminância média Lm (cd/m ²)	Uniformidade Global U ₀	Uniformidade longitudinal U ₁	Aumento limiar TI (%)	Relação Entorno SR
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50

Classe da via		Luminância da superfície da via em condições secas			Deslumbramento Perturbador	Iluminação Envolvente
		Luminância média Lm (cd/m ²)	Uniformidade Global U ₀	Uniformidade longitudinal U ₁	Aumento limiar TI (%)	Relação Entorno SR
ME2		1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3	a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
	b			0,60		
ME4	a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
	b			0,50		

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120% nem serem inferiores a 95% dos níveis de referência da tabela anterior:

- **a** – É permitido um aumento de 5% no valor do TI quando forem usadas fontes de iluminação com baixa luminância (lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão e fluorescentes tubulares, ou então fontes de luz com luminância idêntica ou inferior).
- **b** – Significa que este critério apenas poderá ser aplicado em locais onde não existam zonas de tráfego com os seus próprios requisitos adjacentes às faixas de rodagem. É um valor não óptimo (com uma uniformidade longitudinal mais baixa) normalizado.

Em situações onde não seja aconselhável a medição da luminância, será utilizada a conversão de candelas para lux na relação de 1 para 15.

3.1.1.2. Determinação da Classe ME

A determinação da classe ME será feita de acordo com a tabela seguinte:

Seleção das Classes de Iluminação – ME		
Parâmetro	Opções	Factor de Peso
Velocidade	Muito Alta	1
	Alta	0,5
	Moderada ou Reduzida	0

Seleccção das Classes de Iluminação – ME		
Volume de Tráfego	Muito Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Baixo	-0,5
	Muito Baixo	-1
Composição do Trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2
	Misturado	1
	Apenas Motorizado	0
Separação das Faixas	Não	1
	Sim	0
Densidade de Cruzamentos	Alta	1
	Moderada	0
Veículos Estacionados	Presente	1
	Não Presente	0
Luminância Ambiente	Alta	1
	Moderada	0
	Baixa	-1
Controlo do Trânsito	Fraco	0,5
	Moderado ou Bom	0

Para a determinação da classe ME, e de acordo com a CIE115, deve proceder-se do seguinte modo:

- Atribuir, apropriadamente, um factor de peso a cada trâmite especificado (já atribuído na tabela para efeitos de normalização).
- Somar todos esses factores seleccionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo o índice da classe ME.

De notar que poderá ser necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais baixo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre [0 - 6].

Para determinação das opções para a velocidade deverá ser utilizado, como referência, o seguinte:

- Moderada ou Reduzida: [0 km/h; 70 km/h];
- Alta: [70 km/h; 100 km/h];
- Muito Alta: Superior a 100 km/h.

Para determinação das opções para o volume de tráfego deverão ser utilizados, como referência, os seguintes valores:

- Muito Baixo: inferior a 4.000 veículos por dia;
- Baixo: 4.000 a 15.000 veículos por dia;
- Moderado: 15.000 a 25.000 veículos por dia;
- Alto: 25.000 a 40.000 veículos por dia;
- Muito Alto: Superior a 40.000 veículos por dia.

Para determinação das opções para a Luminância Ambiente, deverá ser utilizado, como referência, o seguinte:

- Baixa: Zonas Rurais, nomeadamente zonas onde a IP seja a única fonte de iluminação;
- Moderada: Zonas com contribuição de iluminação de sinaléticas, spots publicitários e contribuição residencial;
- Alta: Centros Urbanos com grande quantidade de iluminação decorativa, montras e outros sistemas de iluminação de exteriores (e.g. estacionamento).

Caberá ao projectista, em situações especiais (por exemplo determinação do volume de tráfego), realizar a avaliação em alinhamento com o Plano Director de Iluminação Pública (PDIP) da responsabilidade da Autarquia.

3.2. Zonas de Conflitos

Nas zonas de conflito, que ocorrem quando vias de circulação se intersectam ou desembocam em áreas frequentadas por pedestres, ciclistas ou outros utilizadores, deverá ser utilizada a classe CE.

São exemplo de zonas de conflito:

- Cruzamentos.
- Rotundas.
- Estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidas.
- Zonas de centros comerciais, etc.

A existência destas áreas resulta, portanto, num aumento da probabilidade de colisão entre os diversos utilizadores da estrada. Logo a iluminação destas zonas deverá revelar em especial a:

- Posição dos passeios e lancis.
- Marcas e sinalizações da estrada.
- Movimentação dos veículos na vizinhança da área.
- Presença dos pedestres, outros utilizadores (e.g. ciclistas) e de eventuais obstáculos.

De acordo com a CIE115 estas zonas deverão ter um índice um nível superior às estradas adjacentes, devendo ser utilizada a seguinte tabela:

Classe da Estrada Adjacente	Classe da Área de Conflito
ME1	ME1
ME2	ME1
ME3a	ME2
ME4a	ME3a
ME5	ME4a
ME6	ME5

3.3. Zonas Pedonais e Áreas com Baixa Velocidade de Tráfego

Os critérios para uma boa qualidade de iluminação nas zonas pedonais, bem como das áreas residenciais, industriais e comerciais, estão indicados no relatório técnico CIE 136 – 2000.

Uma boa qualidade do projecto de iluminação irá permitir aos utilizadores pedestres distinguir e antecipar obstáculos e situações de perigo no seu caminho, pois será possível aperceberem-se da movimentação e fazer o reconhecimento facial de outros pedestres relativamente próximos e intuir as suas intenções.

Nestes casos particulares é importante ter-se em conta não só a iluminância horizontal (E_h), mas também iluminância semi-cilíndrica (E_{sc}) e a iluminância do plano vertical (E_v).

3.3.1. Classes P

Classes de Via	$E_{h,avg}$ (lux)	$E_{h,min}$ (lux)	Requerimentos adicionais no caso de ser necessário reconhecimento facial		Encandeamento perturbador
			$E_{v,min}$ (lux)	$E_{sc,min}$ (lux)	
P1	15	3,0	5,0	3,0	20
P2	10	2,0	3,0	2,0	25
P3	7,5	1,5	2,5	1,5	25
P4	5,0	1,0	1,5	1,0	30
P5	3,0	0,6	1,0	0,6	30
P6	2,0	0,4	0,6	0,4	35

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120% nem serem inferiores a 95% dos níveis de referência da tabela anterior.

3.3.2. Determinação da Classe P

Seleção das Classes de Iluminação – P		
Parâmetro	Opções	Factor de Peso
Velocidade	Baixa	1
	Muito Baixa (velocidade de caminhada/marcha)	0

Seleção das Classes de Iluminação – P		
Volume de Tráfego	Muito Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Baixo	-0,5
	Muito Baixo	-1
Composição do Trânsito	Pedestres, Ciclistas e Tráfego Motorizado	2
	Pedestres e Tráfego Motorizado	1
	Pedestres e Ciclistas	1
	Pedestres	0
	Ciclistas	0
Veículos Estacionados	Presente	0,5
	Não Presente	0
Luminância Ambiente	Alta	1
	Moderada	0
	Baixa	-1
Reconhecimento Facial	Necessário	Requerimentos adicionais
	Não necessário	Não são necessários requerimentos adicionais

Para a determinação da classe P, e de acordo com a CIE115, deve-se proceder do seguinte modo:

- Atribuir, apropriadamente, um factor de peso a cada trâmite especificado (já atribuído na tabela para efeitos de normalização).
- Somar todos esses factores seleccionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo o índice da classe P.

De notar que poderá ser necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais baixo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre [0 - 6].

Para determinação das opções para a velocidade deverá ser utilizado como referência o seguinte:

- Baixa: Zona em que a composição de tráfego inclua trânsito motorizado;

- Muito Baixa: Zona exclusiva a caminhada ou marcha.

Para determinação das opções para o volume de tráfego, optou-se por considerar apenas a utilização da relação com a composição de tráfego. Assim, deverá ser considerado o seguinte:

- Baixo: Apenas tráfego pedestre ou ciclistas de passagem.
- Moderado: Não existência de tráfego motorizado mas com grande volume de tráfego de ciclistas e peões. Zonas de lazer com recintos desportivas e de recreio também deverão ser considerados nesta opção.
- Alta: Composição de tráfego misto onde a dificuldade de circulação seja considerada difícil;

Para determinação das opções para a Luminância Ambiente, deverão ser utilizadas como referência o seguinte:

- Baixa: Zonas remotas, nomeadamente zonas onde a IP seja a única fonte de iluminação;
- Moderada: Zonas com contribuição de iluminação de sinaléticas, spots publicitários, contribuição residencial;
- Alta: Zonas pedonais em centros urbanos com grande quantidade de iluminação decorativa, montras e outros sistemas de iluminação de exteriores (por exemplo estacionamentos e parques desportivos e de recreio);

Caberá ao projectista, em situações especiais (por exemplo determinação do volume de tráfego), realizar a avaliação em alinhamento com PDIP.

3.3.3. Classes G

No caso da Classe P, poderão existir situações em que as distâncias de visualização são pequenas, existem múltiplos locais para o observador e diferentes orientações das luminárias.

Nestas situações, poderão ser utilizadas as classes G3 a G6, que determinam a intensidade luminosa máxima por 100lm para diferentes ângulos de elevação.

Classes de Via	Máxima intensidade luminosa em cd.Klm ⁻¹			
	A 70° e acima	A 80° e acima	A 90° e acima	Outros requisitos
G3	---	100	20	---
G4	500	100	10	Intensidade luminosa acima dos 95° deverá ser inferior a 1 cd.Klm ⁻¹
G5	350	100	10	
G6	350	100	<1	Intensidade luminosa acima dos 90° deverá ser inferior a 1 cd.Klm ⁻¹

Nota: Os ângulos especificados são em qualquer direcção a partir da vertical para baixo, com a luminária instalada para seu funcionamento.

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar em 20% os de referência nas tabelas anteriores e não serem inferiores a 95%.

4. SELECÇÃO DE CLASSES EM DIFERENTES PERÍODOS NOCTURNOS

Para uma mesma via, a classe de iluminação nem sempre é idêntica para todas as horas da noite. Assim, apresenta-se um método que permite enquadrar a aplicabilidade de regulação de fluxo durante os vários períodos nocturnos.

Em zonas onde os padrões de variação de tráfego são bem conhecidos, serão suficientes os sistemas estáticos baseados em controlo horário para regulação do fluxo. Nos restantes casos será preferível a utilização de sistemas ligados a informação de tempo-real.

No caso de sistemas baseados em informação de tempo-real, o estado normal de fluxo luminoso considerado para esse período nocturno será activado em função da informação adquirida em tempo-real.

Por este motivo caberá aos projectistas, em conjunto com as entidades responsáveis pela Iluminação Pública (e.g. Autarquias e Concessionária das Redes) determinar as classes seleccionadas em todo o período nocturno em documento tipo Plano Director de Iluminação Pública (PDIP). Outros parâmetros que deverão ser considerados na PDIP serão a temperatura de cor e o IRC.

Exemplo da determinação das classes P em diferentes períodos nocturnos (Δt_x):

Seleção das Classes de Iluminação – P					
Parâmetro	Opções	Factor de Peso	Seleção		
			Δt_1	Δt_2	Δt_3
Velocidade	Baixa	1	1	0	0
	Muito Baixa (velocidade de caminhada/marcha)	0			
Volume de Tráfego	Muito Elevado	1	1		
	Alto	0,5			
	Moderado	0		0	0
	Baixo	-0,5			
	Muito Baixo	-1			
Composição do Trânsito	Pedestres, Ciclistas e Tráfego Motorizado	2	2		2
	Pedestres e Tráfego Motorizado	1		1	
	Pedestres e Ciclistas	1			
	Pedestres	0			
	Ciclistas	0			

Seleccção das Classes de Iluminação – P					
Veículos Estacionados	Presente	0,5			
	Não Presente	0	0	0	0
Luminância Ambiente	Alta	1	0	0	0
	Moderada	0			
	Baixa	-1			
Reconhecimento Facial	Necessário	Requerimentos adicionais		Não é necessário requerimentos adicionais	
	Não necessário	Não é necessário requerimentos adicionais			
		Total	4	1	2
			P2	P5	P4

Desta forma seriam consideradas os seguintes valores para os vários períodos nocturnos:

			Requerimentos adicionais no caso de ser necessário reconhecimento facial		Encandeamento perturbador
Classes de Via	Eh,avg (lux)	Eh,min (lux)	Ev,min (lux)	Esc,min (lux)	
P1	15	3,0	5,0	3,0	20
P2	10	2,0	3,0	2,0	25
P3	7,5	1,5	2,5	1,5	25
P4	5,0	1,0	1,5	1,0	30
P5	3,0	0,6	1,0	0,6	30
P6	2,0	0,4	0,6	0,4	35

Não deverão ser utilizados mais do que três períodos nocturnos (Δt_x).

5. POLUIÇÃO LUMINOSA

Para vias próximas de zonas críticas como aeroportos, hospitais, parques naturais, observatórios, áreas de protecção especial, rede natura, ou outras indicadas no PDIP, o ULOR deverá ser menor que 1%.

Caso o PDIP não especifique outro valor em zonas residenciais e vias fora dos centros urbanos, o ULOR deverá ser inferior a 5%.

6. VISÃO MESÓPICA

Na CIE191:2010, que tem como objectivo definir e recomendar um sistema de fotometria mesópica de fácil implementação na prática, já são apresentados valores da intensidade luminosa na visão mesópica, nomeadamente onde a visão periférica prevalecer.

Este sistema de fotometria considera a diferença entre a visão mesópica e fotópica para um intervalo de luminância entre $5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ e $0,005 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ e tem em consideração as diferentes fontes de luz através dos seus rácios S/P. No entanto, a utilização do rácio S/P permanece ainda algo subjectiva, carecendo de normalização.

Existindo ainda algumas indefinições sobre as classes onde poderá ser aplicada a visão mesópica, recomenda-se a utilização de luz branca em zonas pedonais (classe P), pelas comprovadas mais-valias que introduz ao espaço e maior sensibilidade à luz (brilho) na visão periférica.

7. TEMPERATURA DE COR

No caso do decisor optar pela luz branca, não deverão ser utilizadas fontes cuja temperatura de cor ultrapasse os $4500 \text{ K} \pm 10\%$.

8. FACTOR DE UTILIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO

A eficiência energética de uma instalação de IP está fortemente associada a um factor de utilização, que por sua vez dependerá fortemente de factores iniciais:

- Eficiência energética da fonte e acessórios (lm/W)
- Características fotométricas da luminária

É essencial que os métodos de medida e apresentação das características fotométricas de lâmpadas/fontes de luz e luminárias cumpram a norma EN 13032, "Luz e iluminação. Medição e apresentação de dados fotométricos das luminárias."

As características técnicas dos equipamentos tidos em consideração no projecto de IP deverão ser comprovadas por laboratórios independentes e certificados, e ser conformes com as especificações técnicas e funcionais das Autarquias ou Concessionária das Redes.

Na ausência destas, os equipamentos deverão ter obrigatoriamente Certificado ENEC.

8.1. Factor de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada (FMLL)

O fluxo luminoso decresce ao longo do tempo. A taxa exacta irá depender do tipo de fonte de luz e do balastro/driver.

Fonte de Luz	Tempo de Operação (mil horas)				
	4	6	8	10	12
Vapor de Sódio de Alta Pressão	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Halogenetos Metálicos	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
CFL	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84
LED	---	---	---	---	0,95

Nota: No caso da tecnologia LED dever-se-á considerar um FMLL de 0,7 para um tempo de operação de 65.000 horas.

8.2. Factor de Sobrevivência da Lâmpada/fonte de luz (FSL)

O factor de sobrevivência da lâmpada/fonte de luz (FSL) é a probabilidade das fontes de luz continuarem operacionais durante um determinado período de tempo. A taxa de sobrevivência depende do:

- Tipo de fonte de luz.
- Potência.
- Frequência de comutação.
- Balastro/Driver.

Fonte de Luz	Tempo de Operação (mil horas)				
	4	6	8	10	12
Vapor de Sódio de Alta Pressão	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
Halogenetos Metálicos	0,98	0,97	0,94	0,92	0,88
Vapor de Sódio de Baixa Pressão	0,92	0,86	0,80	0,76	0,62
CFL	0,98	0,94	0,90	0,78	0,50
LED	---	---	---	---	0,95

8.3. Factor de Manutenção da Luminária (FML)

	Nível de Poluição	Tempo de Operação (mil horas)		
		4	8	12
IP 55 <i>Difusor de Plástico</i>	Baixo	0,92	0,80	0,71
	Alto	0,87	0,71	0,61
IP 65 <i>Difusor de Plástico</i>	Baixo	0,95	0,84	0,76
	Alto	0,89	0,76	0,66
IP 65 <i>Difusor de Vidro</i>	Baixo	0,97	0,90	0,82
	Alto	0,94	0,84	0,76
IP 66 <i>Difusor de Plástico</i>	Baixo	0,95	0,87	0,81
	Alto	-	0,81	0,74
IP 66 <i>Difusor de Vidro</i>	Baixo	0,97	0,93	0,88
	Alto	-	0,88	0,83

Na análise da depreciação de um sistema é importante ser capaz de reconhecer o tipo e a quantidade de poluição existente, de modo a avaliar convenientemente o tipo de luminária a utilizar, bem como os requisitos de limpeza.

Por exemplo, a poluição numa zona industrial é normalmente bastante superior à encontrada numa zona rural. Também o pó seco de uma pedra é muito diferente do lixo criado pelos insectos.

Poluição	Definição
Alta	Fumo gerado por actividades relativamente próximas, envolvendo as luminárias.
Baixa	Nível de contaminação ambiente baixo, não existindo fumo ou poeiras gerados nas proximidades. Verifica-se em zonas residenciais ou áreas rurais, com tráfego ligeiro. Possui um nível de partículas no meio $\leq 150 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}$

8.4. Factor de Manutenção Global (Fm)

O Factor de Manutenção (Fm) Global deverá ser o resultado do seguinte produto:

$$Fm = FMLL \times FSL \times FML$$

Para o cálculo do factor de manutenção deverá ser considerado um período de 3 anos, uma vez que são os valores de referência.

Assim, por exemplo:

- Lâmpada de VSAP com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa) fica:
 $Fm = 0.90 \times 0.89 \times 0.88 = 0.7.$
- LED com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa) fica:
 $Fm = 0.95 \times 0.95 \times 0.88 = 0.8.$
- Halogenetos Metálicos com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa) fica:
 $Fm = 0.73 \times 0.88 \times 0.88 = 0.6.$

Os valores de projecto deverão ter como referência, a potência unitária do sistema (lâmpadas mais auxiliares) de acordo com o disposto na tabela seguinte:

Lâmpadas		Fluxo (lm)	Lâmpada (W)	Potência (Lâmp.+Equip.) (Lâmp. + Equip.)		Eficácia global lm/W	
				Ferro.	Electron.	Ferro.	Electron.
Sódio tubular E27 – E40	50	4400	50	62	59	71	75
	70	6600	70	85	79	78	84
	100	10700	100	116	112	92	96
	150	17500	150	170	167	103	105
	250	33200	250	270	-	123	-
	400	56500	400	430	-	131	-
	600	90000	600	670	-	134	-
Sódio opalino E27 – E40	50	3400	50	62	59	55	58
	70	5600	70	85	79	66	71
	100	8500	100	116	112	73	76
Luz Branca COSMOWHITE	45	4300	45	-	51	-	84
	60	6800	60	-	67	-	101
	90	10450	90	-	99	-	106
	140	16500	140	-	153	-	108
Iodetos metálicos G12	35	3500	38	45	43	78	81
	70	7300	72	83	79	88	92
	150	15000	150	170	160	88	94
Iodetos metálicos Tubular E27– E40	70	6300	72	83	79	76	80
	100	8700	95	111	107	78	81
	150	13500	147	170	157	79	86
	250	22500	250	270	-	83	-
Iodetos metálicos Ovóide E27 – E40	70	5600	72	83	79	67	71
	100	8300	95	111	107	75	78
	150	12500	147	170	162	74	77

9. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA INSTALAÇÃO

A eficiência energética de uma instalação de IP define-se como a relação entre o produto da superfície iluminada pela iluminação média em serviço da instalação e a potência total instalada:

$$\varepsilon = S(m^2) \times E(lux) / P(watt)$$

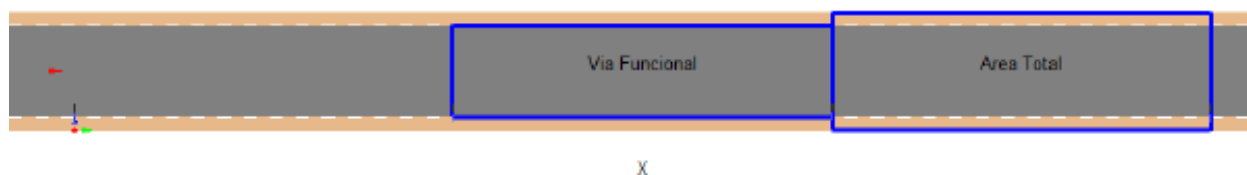
Legenda:

ε – Eficiência energética da instalação

S – Área total resultante do produto do valor da interdistância entre pontos de luz e largura total da via e passeios, no caso do perímetro urbano, de fachada a fachada.

E – Nível médio de serviço calculado

P – Potência total das luminárias mais auxiliares intervenientes na área calculada.



No caso de existir regulação de fluxo luminoso de configuração estática ou dinâmica, que permita promover uma maior eficiência energética recorrendo à diminuição do nível de luminância em períodos de menor tráfego ou actividade, os projectistas deverão apresentar um estudo de poupança energética em termos de energia.

No estudo deverão considerar os consumos nos diferentes períodos nocturnos (Δt_x) e um funcionamento total de 12 horas por dia.

No caso de sistemas de gestão do nível de luminância dinâmicos que recorram, por exemplo, a sistemas inteligentes (sensores, etc.), a determinação da poupança deverá ser realizada com base na programação do sistema (patamares máximo e mínimo).

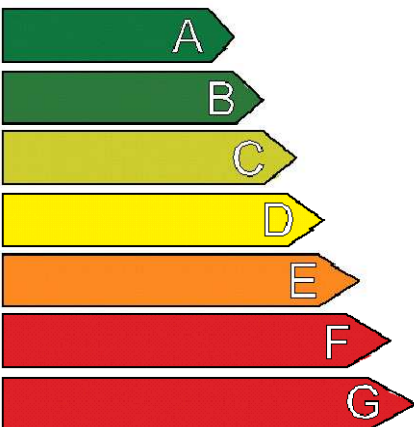
Não são referidas as luminâncias, por ser difícil determinar o tipo de piso e ser mais fácil a medição do nível luminoso para comprovação.

Para o grupo de iluminação decorativa e em zonas históricas, devido ao seu carácter subjectivo, muito orientado por conceitos, como humanização dos espaços, respeito pelos ecossistemas, ambiência, etc., os valores apresentados são valores recomendados e para estas zonas não se aplicará a classificação energética.

A IP nos últimos anos tem levantado o interesse de todas as entidades envolvidas, numa tentativa de dar resposta ao uso racional de energia.

Nesse alinhamento, os fabricantes continuam a desenvolver as suas tecnologias. Assim, apresenta-se de seguida uma tabela de referência que deverá servir de guia para a determinação da eficiência energética na iluminação pública.

Não obstante, a mesma poderá ter que ser revista para acompanhar as evoluções tecnológicas e as melhores práticas.

Classificação Energética das Instalações de Iluminação Pública	
<p>Mais Eficiente</p>  <p>Menos Eficiente</p>	
Instalação:	
Localidade/Rua:	
Horário de funcionamento:	
Consumo de energia anual (kWh/ano):	
Emissões de CO ₂ anual (KgCO ₂ /ano):	
Índice de eficiência energética (I _E):	
Nível de Iluminação média em serviço E _m (lux):	
Uniformidade (%):	
Temperatura de Cor (K):	
Opção por visão mesópica:	
Programação da RFL:	

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

Em complemento à determinação do índice de eficiência energética, deverá ser calculado o rácio de $W_{\text{médio}}/m^2$, sendo que:

$$W_{\text{médio}} = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times \text{Tempo de Serviço do patamar } i)}{\text{Tempo total de serviço}}$$

Com $n \leq 3$. O índice “i” representa os patamares de potência de um ponto de luz incidente numa área durante o período de funcionamento de um dia.

Os cálculos do consumo energético devem ter como valor de referência o número de horas de utilização diária, igual a 12.

No caso de sistemas de gestão do nível de iluminação dinâmicas que recorrem a informação de tempo real, a determinação do $W_{\text{médio}}$ deverá ser realizada com base nos patamares mínimos seleccionados para cada período.

A utilização de sistemas de telegestão, ou redutores de fluxo, em nenhuma circunstância poderão colocar em causa os requisitos mínimos inerentes a um sistema de IP para o projecto em questão.

10. PROJECTO E OBRA

As qualificações específicas profissionais mínimas exigíveis aos técnicos responsáveis pela elaboração e subscrição de projectos e pela direcção de obras de IP serão as constantes da Portaria n.º 1379/2009, de 30 de Outubro, para projectos e direcção de obras de engenharia, considerando-se que a classificação da obra de IP é a mesma da estrada, arruamento ou espaço exterior que se destinam a iluminar, conforme a Portaria n.º 701-H/2008, de 29 de Julho.

Para um projecto o mais eficiente possível, é recomendável que o projectista opte por uma luminária com um elevado factor de utilização e alto rendimento, um factor de manutenção da instalação elevado, um ULOR o mais baixo possível, disposição e alturas das luminárias equilibradas com a área de estudo, eficiência das fontes de luz e auxiliares elevada e, por fim, cumprir as orientações do presente documento.

10.1. Documentação a Incluir na Fase de Projecto

- Identificação do responsável pela elaboração do projecto;
- Identificação da obra e sua localização;
- Memória descritiva incluindo conceito por detrás da solução, escolha da fonte, luminária, classificação da via e níveis a obter de acordo com a norma EN13201;
- Índice de Eficiência Energética e Classificação Energética previsível;
- Especificação técnica dos materiais, equipamentos e trabalhos necessários para a implementação da solução projectada;
- Peças desenhadas;
- Mapa de quantidades de trabalho;
- Avaliação de custos com base no anexo A da CIE 115:2010.

10.2. Documentação a Entregar Após a Conclusão da Obra

- Identificação do responsável pela execução da obra;
- Identificação da obra e sua localização;
- Telas finais;
- Índice de Eficiência Energética e Classificação Energética obtida.

Recomenda-se que a solução instalada seja garantida durante 3 anos, pelo instalador/projectista/fabricante.

A instalação poderá ser auditada por organismo independente e munido dos meios necessários para o fazer.

Esta documentação deverá ficar organizada em dossier próprio, ao qual irão sendo anexados os posteriores relatórios periódicos de medição e monitorização da instalação.

11. MEDIÇÃO PARA VALIDAÇÃO

Como em qualquer sistema de controlo e monitorização da eficiência energética, também na IP é necessário medir e monitorizar, no período imediatamente a seguir à instalação, no caso de uma nova instalação, ou antes e depois, no caso de uma remodelação.

A avaliação dos níveis de iluminação deve ser realizada comparando os valores obtidos em simulação de software com os valores medidos com equipamento apropriado, sendo que a variação não deverá ser superior a +/- 10% (como referência).

Os valores a medir e os procedimentos deverão estar de acordo com a EN13201-4.

A avaliação deverá contemplar o factor de correcção ao factor de manutenção considerado no projecto.

Caso se verifique uma diferença superior a +/-10% entre valores reais e os valores da simulação, deve proceder-se à medição dos níveis de iluminação em 25% da instalação para verificar o correcto dimensionamento da rede de iluminação.

Para o cálculo das poupanças relacionadas com as emissões de CO₂ deve ser considerado o factor de conversão publicado no Despacho n.º 17313, de 26 de Junho de 2008, devendo este ser actualizado sempre que for publicado um novo factor de conversão por entidade competente.

Os custos, o consumo real e as emissões de CO₂ associadas à Iluminação Pública devem ser publicados nos sites institucionais de cada Município com a mesma periodicidade com que é realizada a facturação deste tipo de instalações.

12. BIBLIOGRAFIA

- NORMA EN13201
- REGULAMENTO CE) Nº 245/2009
- REGULAMENTO (CE) Nº 347/2010
- CELMA/ELC – STREET LIGHTING PROPOSED MESURES UNDER THE EuP/ESD DIRECTIVES -2006
- MANUAL DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA/ EDP DISTRIBUIÇÃO, ISR-UC DE 8/10/2010
- EFFICIENCE ENERTIQUE EN ECLAIRAGE PUBLIC – AFE Associação Francesa de iluminação)
- REGLAMENTO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE ALUMBRADO EXTERIOR – ESPANHA (Real decreto de lei 1890/2008)
- CIE 115:2010 – LIGHTING OF ROAD FOR MOTOR AND PEDESTRIAN TRAFFIC
- CIE 191:2010 – RECOMMENDED SYSTEM FOR MESOPIC PHOTOMETRY BASED ON VISUAL PERFORMANCE