



# **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

DOCUMENTO DE REFERÊNCIA

Setembro de 2012

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivo .....	1
1.3. Âmbito de Aplicação .....	2
<b>2. DEFINIÇÕES .....</b>	<b>3</b>
2.1. Visão.....	3
2.2. Luminotecnia .....	4
2.3. Eletrotecnia.....	17
<b>3. CLASSIFICAÇÃO DA VIA E NÍVEIS MÍNIMOS DE REFERÊNCIA.....</b>	<b>21</b>
3.1. Iluminação Pública Funcional.....	21
3.2. Iluminação em Zonas Pedonais, Ciclovias e Jardins.....	25
3.3. Zonas de Conflito.....	25
<b>4. SELEÇÃO DE CLASSES EM DIFERENTES PERÍODOS NOTURNOS .....</b>	<b>27</b>
<b>5. POLUIÇÃO LUMINOSA .....</b>	<b>27</b>
<b>6. VISÃO MESÓPICA .....</b>	<b>27</b>
<b>7. TEMPERATURA DE COR .....</b>	<b>27</b>
<b>8. FACTOR DE UTILIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO .....</b>	<b>28</b>
8.1. Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada ( FMLL ) .....	28
8.2. Fator de Sobrevivência da Lâmpada/fonte de luz ( FSL ).....	29
8.3. Fator de Manutenção da Luminária ( FML ) .....	29
8.4. Fator de Manutenção Global ( Fm ) .....	30
8.5. Potência Unitária do Sistema .....	31
<b>9. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA INSTALAÇÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>10. PROJECTO E OBRA .....</b>	<b>35</b>
10.1. Documentação a incluir na Fase de Projeto .....	35
10.2. Avaliação de Custos .....	36
10.3. Documentação a Entregar Após a Conclusão da Obra .....	38
<b>11. MEDIÇÃO PARA VALIDAÇÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>12. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO – METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO DREEIP .....</b>	<b>41</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. 1: Acuidade visual.....</i>	<i>3</i>
<i>Fig. 2: Curva de sensibilidade do olho .....</i>	<i>4</i>
<i>Fig. 3: Encandeamento perturbador.....</i>	<i>6</i>
<i>Fig. 4: Rácio de saída do fluxo luminoso.....</i>	<i>7</i>
<i>Fig. 5: Rácio envolvente .....</i>	<i>7</i>
<i>Fig. 6: Rácio envolvente (5m) .....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 7: Rácio envolvente (metade da largura da estrada).....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 8: Rácio envolvente (largura da faixa exterior ao limite da estrada que não esteja obstruída) .....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 9: Fator de manutenção.....</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 10: Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada.....</i>	<i>9</i>
<i>Fig. 11: Fator de sobrevivência da lâmpada .....</i>	<i>10</i>
<i>Fig. 12: Fator de manutenção da luminária.....</i>	<i>10</i>
<i>Fig. 13: Iluminância.....</i>	<i>11</i>
<i>Fig. 14: Intensidade luminosa .....</i>	<i>12</i>
<i>Fig. 15: Luminância .....</i>	<i>13</i>
<i>Fig. 16: Área aparente .....</i>	<i>13</i>
<i>Fig. 17: Cálculo da luminância num ponto da estrada.....</i>	<i>14</i>
<i>Fig. 18: Etiqueta energética das instalações de iluminação pública.....</i>	<i>34</i>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Temperatura de Cor .....	16
Tabela 2 – IK .....	18
Tabela 3 – IP (1.º dígito) .....	19
Tabela 4 – IP (2.º dígito) .....	20
Tabela 5 – Parâmetros das classes de iluminação pública funcional (ME) .....	21
Tabela 6 – Determinação das classes de iluminação pública funcional (ME).....	22
Tabela 7 – Determinação da velocidade .....	23
Tabela 8 – Determinação do volume de tráfego.....	24
Tabela 9 – Níveis de luminância ambiente.....	24
Tabela 10 – Níveis de iluminação das zonas pedonais, ciclovias e jardins (P) .....	25
Tabela 11 – Classificação de zonas de conflito.....	26
Tabela 12 – Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada .....	28
Tabela 13 – Fator de sobrevivência da lâmpada/fonte de luz .....	29
Tabela 14 – Fator de manutenção da luminária .....	29
Tabela 15 – Definição das zonas de poluição .....	30
Tabela 16 – Cálculo do fator de manutenção.....	31
Tabela 17 – Potência unitária do sistema .....	31
Tabela 18 – Índice de eficiência energética .....	34

# 1. INTRODUÇÃO

Em Portugal a iluminação pública é responsável por aproximadamente 3% do consumo total de energia elétrica. Nos municípios a fatura relativa a esta componente pode em alguns casos ultrapassar 50% do total do seu orçamento.

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) define, entre outras áreas, um conjunto de medidas de eficiência energética na área do Estado, que incluem a “Iluminação Pública Eficiente”. Também o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP), que visa reduzir 30% da fatura energética do Estado até 2020, atribui especial importância ao desenvolvimento de ações dirigidas à utilização racional de energia e ao aumento da eficiência energético-ambiental em equipamentos de iluminação pública.

## 1.1. Enquadramento

O presente Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública (DREEIP) é o resultado da atividade de um grupo de trabalho liderado e coordenado pela RNAE – Associação das Agências de Energia e Ambiente (Rede Nacional), tendo contado com o apoio institucional da Secretaria de Estado da Energia e com a colaboração de entidades no domínio da iluminação pública em Portugal, onde se destacou, pelos inúmeros contributos técnicos, o CPI – Centro Português de Iluminação, para além de importantes participações por parte da ANMP – Associação Nacional de Municípios Portugueses, ADENE – Agência para a Energia, Ordem dos Engenheiros e EDP Distribuição.

Pretende-se assim contribuir para a prossecução dos objetivos da estratégia energético-ambiental do País previstos no PNAEE, num domínio de particular relevância tanto do ponto de nacional como local.

## 1.2. Objetivo

Este documento tem como objetivo estabelecer, como referência, uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projeto de Iluminação Pública (IP) de modo a se obter uma maior eficiência energética desta tipologia de instalações e, consequentemente, conduzir a uma diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> 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 e cores (como exemplo: os eletrodomésticos e os edifícios) e referenciará a eficiência de um projeto de IP do ponto de vista energético e lumínico.

Pretende-se igualmente dotar as entidades responsáveis pela gestão da iluminação pública de uma ferramenta que sirva de base à elaboração dos respetivos regulamentos municipais de iluminação pública (RMIP) ou planos diretores de iluminação pública (PDIP).

### 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 projetos 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 ou de segurança;
- Instalações militares;
- Túneis;
- Zonas históricas ou outras que sejam objeto de regulamentação específica.

## 2. DEFINIÇÕES

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

### 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 recetores na retina e do poder de refração do sistema das lentes óticas. Por outras palavras, a acuidade visual é a capacidade que o olho tem de reconhecer separadamente, com nitidez e precisão, objetos muito pequenos e próximos entre si.

As distâncias na retina são referidas em termos de ângulo visual ( $\theta$ ). 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.

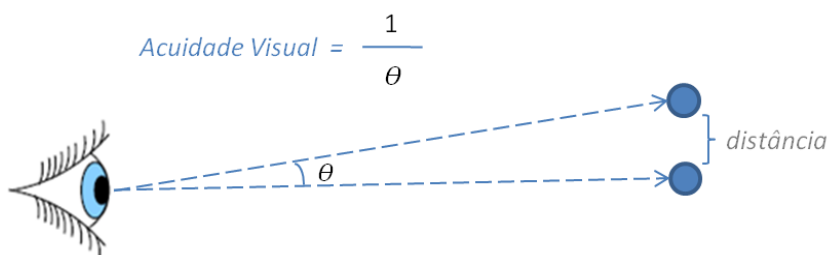


Fig. 1: Acuidade visual

Existem vários fatores 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 objeto 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 objetos.



## 2.2. Luminotecnia

### 2.2.1. Absorção ( $\alpha$ )

Relação entre o fluxo luminoso absorvido por um corpo ( $\Phi_a$ ) e o fluxo recebido por um corpo ( $\Phi$ ).  
A unidade é %.

$$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi} \quad (1)$$

### 2.2.2. Coeficiente de Utilização ( $\eta$ )

Relação entre o fluxo luminoso recebido por um corpo ( $\Phi$ ) e o fluxo total emitido por uma fonte de luz ( $\Phi_e$ ). A unidade é %.

$$\eta = \frac{\Phi}{\Phi_e} \quad (2)$$

### 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).

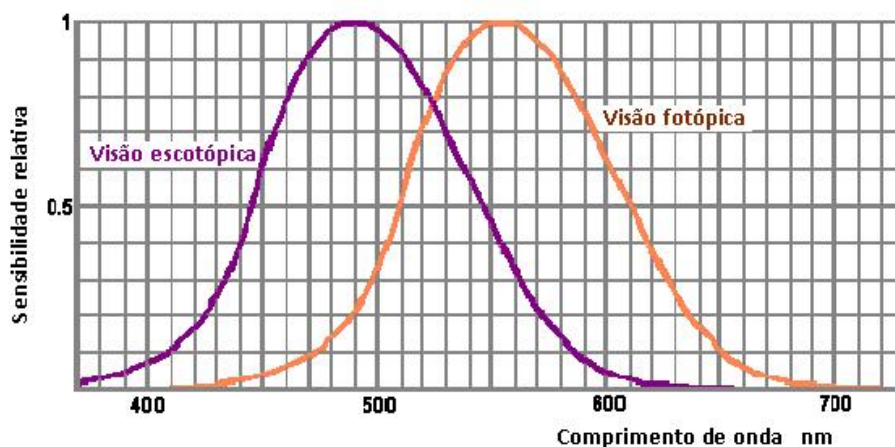


Fig. 2: Curva de sensibilidade do olho



- **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 ativação 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 (noturna), o que determina que a visão escotópica seja produzida exclusivamente pelos bastonetes, o que impossibilita a perceção 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 objetos, agudeza visual, provocando simultaneamente fadiga ocular, em condições dinâmicas. O índice de deslumbramento incomodativo é determinado pelo somatório do índice específico da luminária (IEL) e do valor real da instalação (VRI).

$$G = IEL + VRI \quad (3)$$

#### 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 objeto que está no limite da visibilidade deixa de ser visível devido ao encandeamento. Caso se pretenda que o objeto seja visível nestas condições, há que aumentar o nível de contraste – este incremento corresponde ao TI.

$$TI = \frac{65}{(L)^{0,8}} \times L_v \% \quad (4)$$

$$L_v = 10 \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{\theta_k^2} = \frac{E_1}{\theta_1^2} + \frac{E_2}{\theta_2^2} + \dots + \frac{E_k}{\theta_k^2} + \dots + \frac{E_n}{\theta_n^2} \quad (5)$$

Legenda:

- $\bar{L}$  – Luminância média da estrada ( $\text{cd/m}^2$ ).
- $L_v$  – Luminância encandeante (*veiling luminance*) equivalente ( $\text{cd/m}^2$ ).
- $E_k$  – 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.
- $\theta$  – Ângulo, em graus, do arco entre a linha de visão e a linha desde o observador ao centro da luminária k.

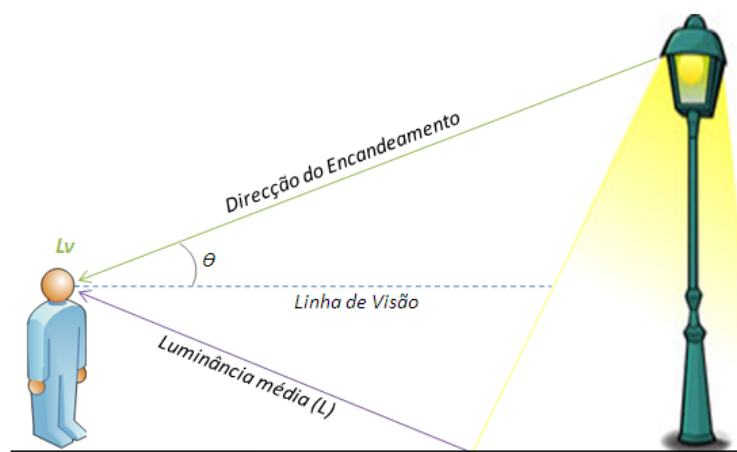


Fig. 3: Encandeamento perturbador

### 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 ( $\phi$ ) 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 ( $\sum \phi$ ) dessas mesmas fontes de luz, quando operadas fora da luminária com o mesmo equipamento auxiliar e condições práticas.

$$LOR = \frac{\phi_{\text{saída da luminária}}}{\sum \phi_{\text{fonte de luz individual}}} \quad (6)$$

Para a realização de um projeto de IP eficiente convém conhecerem-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.

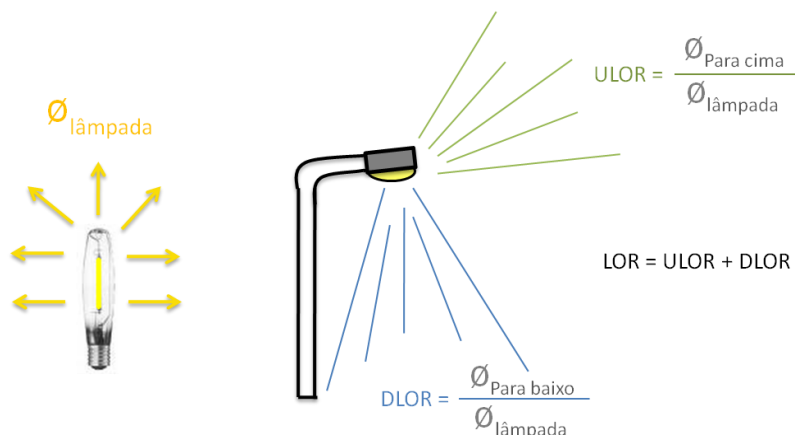


Fig. 4: Rácio de saída do fluxo luminoso

### 2.2.7. Rácio Envolvente – *Surround Ratio* ( SR )

Um dos principais objetivos 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 objetos mais altos na estrada, e os objetos que se encontram nas laterais das vias (particularmente em secções curvas), são vistos apenas se existir uma boa iluminação na envoltência, ou seja, na sua vizinhança.

Com efeito, uma iluminação adequada da zona envolvente à via possibilita ao utilizador uma melhor perceção da sua situação, fazendo ajustamentos devidos de velocidade e trajetória a tempo.

A função do rácio envolvente (SR) é assegurar que o fluxo luminoso direcionado para a periferia das vias seja suficiente para tornar perfeitamente visíveis 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.



Fig. 5: Rácio envolvente

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:

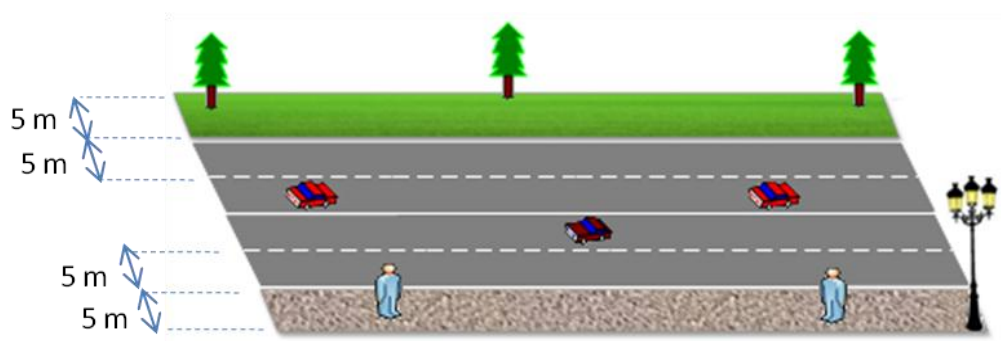


Fig. 6: Rácio envolvente (5m)

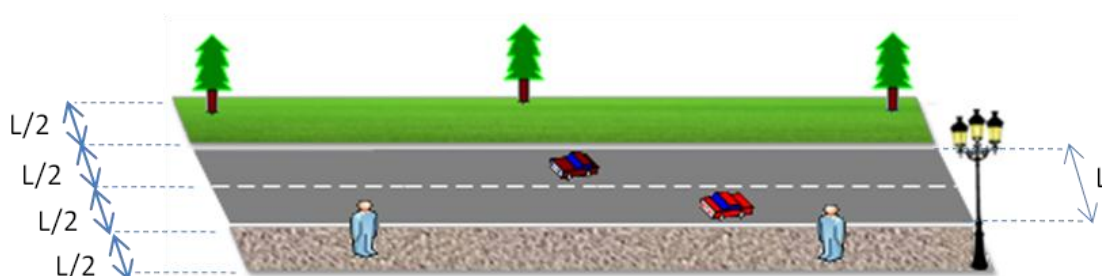


Fig. 7: Rácio envolvente (metade da largura da estrada)

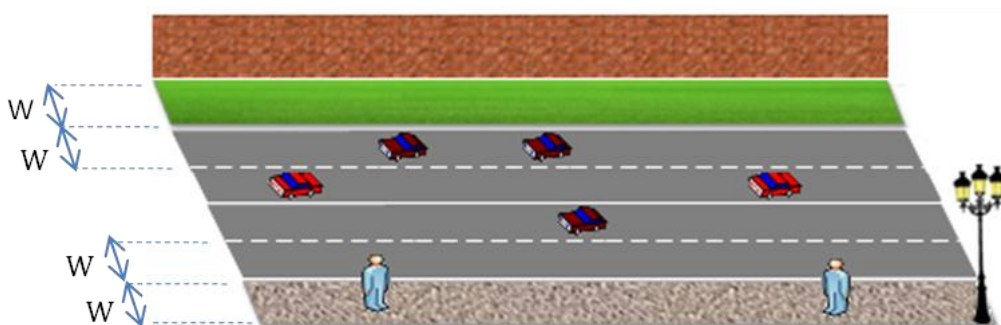


Fig. 8: Rácio envolvente (largura da faixa exterior ao limite da estrada que não esteja obstruída)

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

$$SR = \frac{\bar{E}_1 + \bar{E}_4}{\bar{E}_2 + \bar{E}_3} \quad (7)$$

### 2.2.8. Fator de Manutenção ( FM )

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

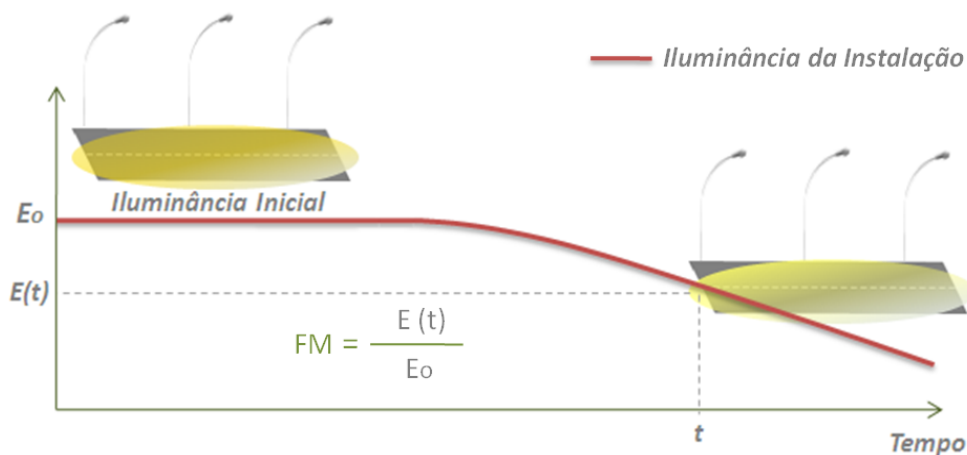


Fig. 9: Fator de manutenção

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

$$Fm = F_{MLL} \times F_{SL} \times F_{ML} \quad (8)$$

### 2.2.9. Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada ( F<sub>MLL</sub> )

O fator 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 ( $\phi_0$ ). [EN 12665:2002] Ou seja:

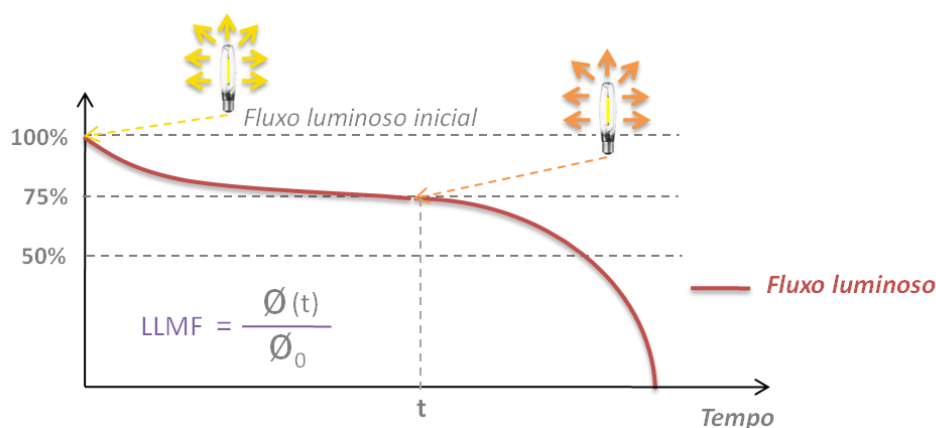


Fig. 10: Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada

### 2.2.10. Fator de Sobrevivência da Lâmpada ( FSL )

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

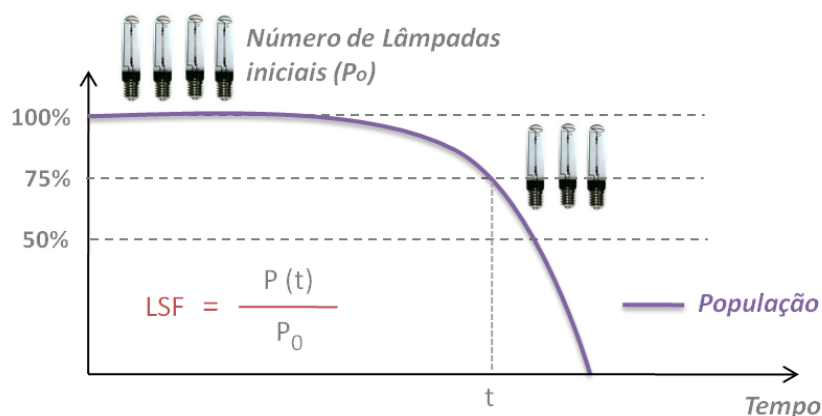


Fig. 11: Fator de sobrevivência da lâmpada

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

### 2.2.11. Fator de Manutenção da Luminária ( FML )

O fator 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).

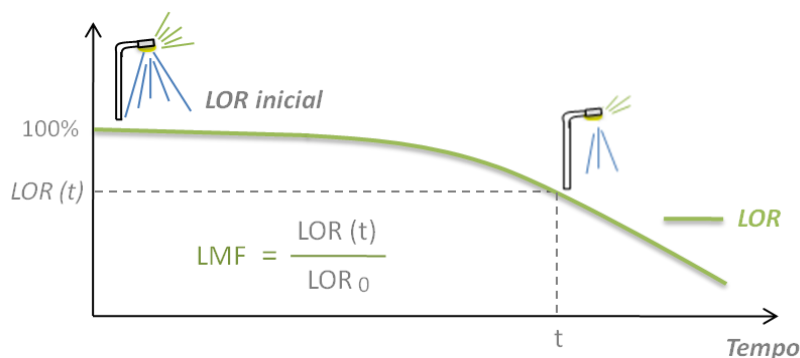


Fig. 12: Fator de manutenção da luminária

### 2.2.12. Fator de Utilização ( FU )

O fator de utilização de uma instalação (FU) 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 ( $\Phi$ )

Entende-se por fluxo luminoso a quantidade de luz emitida em todas as direções 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 incidente num elemento da superfície ( $\partial\phi$ ) e a área desse elemento ( $\partial A$ ). Ou seja, é a quantidade de fluxo luminoso recebido pela unidade de área iluminada<sup>1</sup>.

$$E = \frac{\partial\phi}{\partial A} = \int_{2\pi sr} L \cdot \cos(\theta) \cdot \partial\Omega \quad (9)$$

Legenda:

- $E$  – Iluminância.
- $L$  – Luminância num dado ponto nas várias direções dos raios elementares incidentes do ângulo sólido.
- $\partial\Omega$  – Ângulo sólido.
- $\theta$  – Ângulo entre qualquer um dos raios incidentes e a normal à superfície num dado ponto.

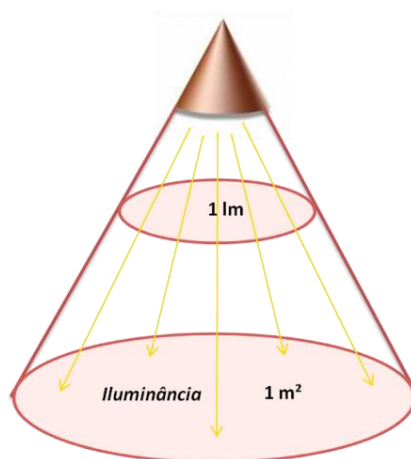


Fig. 13: Iluminância

Existem quatro medidas de iluminância possíveis:

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

<sup>1</sup> 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.

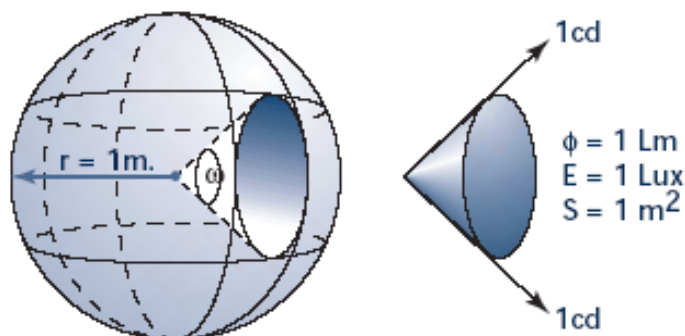
### 2.2.17. Índice de Reprodução de Cor ( IRC )

É a capacidade de reprodução cromática do objeto iluminado por uma fonte de luz<sup>2</sup>, 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.

### 2.2.18. Intensidade Luminosa ( $I$ )

A intensidade luminosa de uma fonte de luz é igual ao fluxo emitido numa direção por unidade de ângulo sólido nessa direção. A unidade é a candela (cd)<sup>3</sup>.

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \text{ (lm/Sr)} \quad (10)$$



$$\omega \text{ (total)} = 4\pi \text{ estereorradianes}$$

Fig. 14: Intensidade luminosa

<sup>2</sup> A fonte de luz que se toma como referência é a luz solar.

<sup>3</sup> A candela pode ser definida como sendo a intensidade luminosa, numa certa direção, de uma fonte de luz que emite uma radiação monocromática de frequência  $540 \times 10^{12}$  Hz e cuja intensidade energética nessa direção é 1/683 Watts por estereorradiano.

### 2.2.19. Luminância ( L )

A luminância (L) é uma medida da densidade da intensidade da luz refletida numa dada direção, 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 ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), igualmente conhecida por nit (nt).

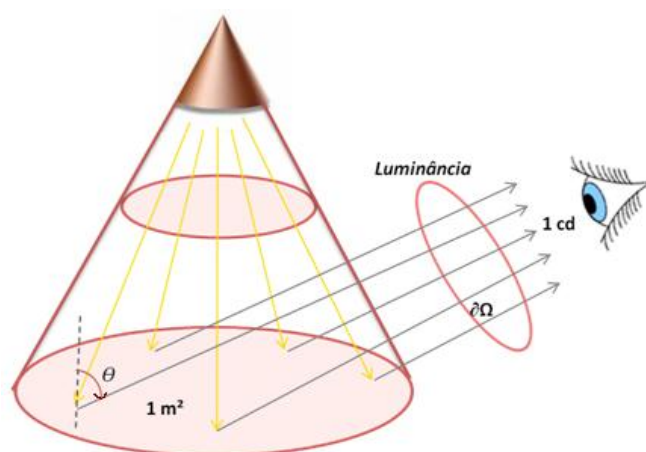


Fig. 15: Luminância

A luminância (L) pode ser entendida como o quociente entre a intensidade luminosa (I) e a área (A) que a reflete segundo uma determinada direção ( $\theta$ ), ou seja:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos(\theta)} \quad (\text{cd}/\text{m}^2) \quad (11)$$

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

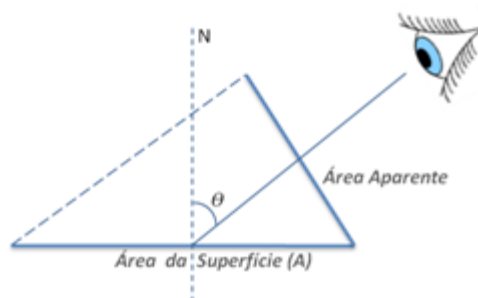


Fig. 16: Área aparente

O cálculo da luminância (L), num ponto da via, pode ser efetuado através da expressão:

$$L = \frac{I \times r \times \phi \times MF \times 10^{-4}}{H^2} \quad (12)$$

Legenda:

- $I$  – intensidade luminosa (cd) normalizada por klm
- $r$  – coeficiente de luminância reduzida para um vetor de luz incidente, com coordenadas angulares  $(\varepsilon, \beta)$  – obtido através da tabela de reflexão do pavimento, em  $st^{-1}$
- $\phi$  – fluxo luminoso inicial de cada luminária (klm)
- MF – produto do LLMF com o LMF
- $H$  – altura
- $\varepsilon$  – ângulo de incidência
- $\beta$  – ângulo suplementar
- $\sigma$  – ângulo de observação
- $\varphi$  – azimuth da instalação

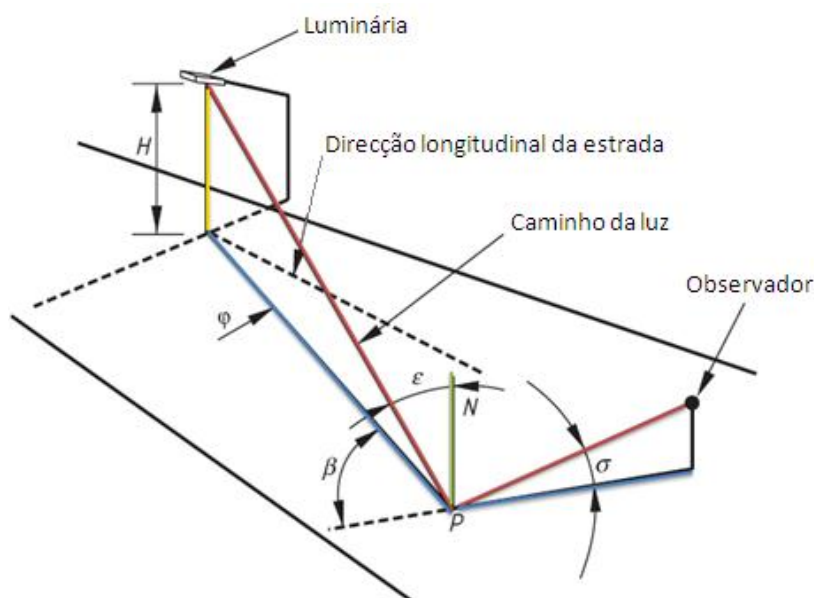


Fig. 17: Cálculo da luminância num ponto da estrada

## 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 direcionada, nomeadamente quando a luz artificial é emitida horizontalmente e pelo hemisfério superior<sup>4</sup>.

### 2.2.23. Reflexão ( $\rho$ )

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

$$\rho = \frac{\Phi_T}{\Phi} \quad (13)$$

### 2.2.24. Rendimento de um Ponto de Luz ( % )

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

### 2.2.25. Rendimento luminoso ( $\varepsilon$ )

O rendimento de uma fonte de luz é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela mesma e a unidade de potência elétrica consumida para o obter<sup>5</sup>. A unidade é lm/W.

$$\varepsilon = \frac{\Phi}{P} \text{ (lm/W)} \quad (14)$$

### 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).

<sup>4</sup> Dependendo do conceito inicial do projeto, uma possível solução é o uso de fontes de luz direcionadas, 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 diretamente das lâmpadas sobre os olhos.

<sup>5</sup> para uma fonte de luz que transforma, sem perdas, toda a potência elétrica consumida em luz num comprimento de onda 555 nm, terá o maior rendimento possível no valor 683 lm/W.

Tabela 1 – Temperatura de Cor<sup>6</sup>

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

**2.2.27. Uniformidade extrema ( Eu )**

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

$$U_e = E_{min}/E_{máx} \quad (15)$$

**2.2.28. Uniformidade Geral ( Uo )**

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

$$U_0 = L_{min}/L_{med} \quad (16)$$

<sup>6</sup> 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.

### 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<sup>7</sup>. A unidade é %.

$$UL = L_{min}L/L_{max}L \quad (17)$$

### 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 %.

$$U_m = E_{min}/E_{med} \quad (18)$$

## 2.3. Eletrotecnia

### 2.3.1. Aparelho de Iluminação

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

### 2.3.2. Eficiência Luminosa

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

$$\eta = \frac{\phi}{P} \text{ (lm/W)} \quad (19)$$

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 elétrica, emite radiações visíveis ao olho humano<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Pode ser calculada para toda a superfície da via, ou no eixo da faixa de rodagem do sentido de circulação.

<sup>8</sup> Exemplos de fontes de luz: lâmpadas de filamento ou de 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 efetuado através da regulação, por tensão, por corrente ou variação da frequência, através de equipamentos eletromecânicos ou eletrónicos.

### 2.3.6. Resistência aos Impactos ( IK )

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

Tabela 2 – IK

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



### 2.3.7. Índice de Proteção ( 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 proteção tem por objetivo a determinação dos seguintes parâmetros:

- Proteção 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 proteção contra a entrada de corpos estranhos como poeiras por exemplo.
- Proteção do equipamento contra a entrada de água no seu interior.

Tabela 3 – IP (1.º dígito)

Dígito	Tamanho do Objeto	Proteção
0	---	Nenhuma proteção contra o contacto e a penetração de objetos
1	> 50 milímetros	De qualquer grande superfície do corpo, tais como mãos, mas sem nenhuma proteção contra penetração liberal no instrumento
2	> 12,5 milímetros	Dedos ou objetos 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	Proteção 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 proteção 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 proteção contra contacto

Tabela 4 – IP (2.º dígito)

Dígito	Proteção	Descrição
0	Não protegido	Nenhuma proteção especial. Invólucro aberto
1	Gotas de água	Proteção 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 <i>spray</i> , em qualquer ângulo até 60 ° em relação à vertical não deve ter qualquer efeito nocivo.
4	Projeções contra água aspergida	Projeção leve de água contra de qualquer direção não deve ter qualquer efeito nocivo.
5	Jatos de água	Água projetada por um bico contra recinto de qualquer direção não deve ter efeitos nocivos.
6	Poderosos jatos de água	Água projetada em jatos potentes contra a qualquer direção 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 proteção 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 em zonas pedonais

#### 3.1. Iluminação Pública Funcional

Na iluminação pública funcional devem ser consideradas zonas urbanas e zonas fora do perímetro urbano.

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

Devido à complexidade do traçado e diversidade de superfícies refletoras nas vias dentro do perímetro urbano, no cálculo das luminâncias devem ser considerados os respetivos níveis de iluminação devendo ser utilizada a conversão de candelas para lux na relação de 1 para 15.

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 direta da norma EN13201 poderia conduzir.

Nos pontos seguintes serão enumeradas as classes e as metodologias para a seleção das classes de iluminação, sendo que prevalecerão sempre os documentos EN13201 e CIE115.

Para o cálculo de zonas fora e dentro do perímetro urbano deverão os níveis ser determinados utilizando para o efeito a tabela de classes ME.

##### 3.1.1. Classes ME

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

Tabela 5 – Parâmetros das classes de iluminação pública funcional (ME)

Classe da via	Luminância da superfície da via em condições secas			Deslumbramento Perturbador	Iluminação Envolvente
	Luminância média Lm (cd/m <sup>2</sup> )	Uniformidade Global U <sub>0</sub>	Uniformidade longitudinal U <sub>1</sub>	Aumento limiar TI (%)	Relação Entorno SR
ME1	2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2	1,50	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/m²)	Uniformidade Global U <sub>0</sub>	Uniformidade longitudinal U <sub>1</sub>	Aumento limiar TI (%)	Relação Entorno SR
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		
ME5		0,50	0,35	0,40	15	0,50
ME6		0,30	0,35	0,40	15	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 ótimo (com uma uniformidade longitudinal mais baixa) normalizado.

### 3.1.2. Determinação da Classe ME

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

Tabela 6 – Determinação das classes de iluminação pública funcional (ME)

Parâmetro	Opções	Fator de Peso
Velocidade	Muito Alta	1
	Alta	0,5
	Moderada ou Reduzida	0
Volume de Tráfego	Muito Elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Baixo	-0,5
	Muito Baixo	-1

Parâmetro	Opções	Fator de Peso
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 metodologia seguida pela CIE115, deve proceder-se do seguinte modo:

1. Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado (já atribuído na tabela para efeitos de normalização).
2. Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor "Total".
3. 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, a seguinte tabela:

Tabela 7 – Determinação da velocidade

Velocidade	Índice de valores (km/h)
Moderada ou Reduzida	[0 ; 70]
Alta	[70 ; 100]
Muito Alta	Superior a 100

Para determinação das opções para o volume de tráfego deverão ser utilizados, como referência, os seguintes valores de IMD (diurno e noturno):

Tabela 8 – Determinação do volume de tráfego

Volume de tráfego	Índice de valores (por dia)
Muito Baixo	< 4.000
Baixo	4.000 a 15.000
Moderado	15.000 a 25.000
Alto	25.000 a 40.000
Muito Alto	> 40.000

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

Tabela 9 – Níveis de luminância ambiente

Luminância Ambiente	Caraterização
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 (ex.: estacionamento)

Caberá ao projetista, em situações especiais (por exemplo determinação do volume de tráfego), realizar a avaliação em alinhamento com o RMIP ou PDIP da responsabilidade do respetivo município.

## 3.2. Iluminação em Zonas Pedonais, Ciclovias e Jardins

Uma boa qualidade do projeto 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 a utilização de óticas que privilegiem a iluminância vertical.

Deste grupo fazem parte os percursos pedonais, as ciclovias e os jardins, e são três os tipos de classificação (Classes P):

**P1** – zonas de utilização noturna intensa e zonas de insegurança elevada

**P2** – zonas de utilização noturna moderada

**P3** – zonas de utilização noturna baixa

Os níveis indicados na tabela abaixo são indicativos e haverá zonas pedonais/praças, no interior do perímetro urbano, em que devem entrar outras variáveis ou critérios ligados a um determinado conceito – e para estes casos os níveis podem ser mais elevados (e.g. uma zona pedonal comercial).

Tabela 10 – Níveis de iluminação das zonas pedonais, ciclovias e jardins (P)

Zonas	Nível Médio	Nível Mínimo	Classe de Intensidade Luminosa	Iluminação Envolvente
P1	15 Lux	6 Lux	D6	0,50
P2	10 Lux	3 Lux	D6	0,50
P3	7,5 Lux	1,5 Lux	D6	0,50

## 3.3. Zonas de Conflito

As zonas de conflito ocorrem quando vias de circulação se intersectam ou desembocam em áreas frequentadas por pedestres, ciclistas ou outros utilizadores, sendo exemplo:

- 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 igual ou superior a qualquer das estradas adjacentes, devendo ser utilizada a seguinte tabela:

Tabela 11 – Classificação de zonas de conflito

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

## 4. SELEÇÃO DE CLASSES EM DIFERENTES PERÍODOS NOTURNOS

A aplicação de sistemas de 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 atividade, é possível desde que autorizada pelo decisor que indicará de que tipo, onde e como os utilizar.

Recomenda-se que a aplicação deste sistemas não conduza a uma redução que atinja um valor mais baixo da classe ME6.

Se o decisor optar por retirar ou apagar pontos de luz, o DREEIP obviamente não se aplicará.

## 5. POLUIÇÃO LUMINOSA

Para as vias próximas de zonas críticas, como aeroportos, hospitais, observatórios, bem como vias incluídas em áreas classificadas (parques naturais, rede natura, zonas de proteção especial, etc.) e desde que fora dos aglomerados urbanos, ou ainda em outras vias incluídas no RMIP e/ou PDIP, o valor (ULOR) deverá ser menor que 1%.

Caso o RMIP, ou 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 objetivo 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  $5 \text{ cd/m}^2$  e  $0,005 \text{ cd/m}^2$  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 subjetiva, 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 por luz branca, não deverão ser utilizadas fontes cuja temperatura de cor ultrapasse os 4500 K.

## 8. FACTOR DE UTILIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO

A eficiência energética de uma instalação de IP está fortemente associada a um fator de utilização, que por sua vez dependerá fortemente de fatores 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 projeto 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. Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada ( FMLL )

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

Tabela 12 – Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada

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
Iodetos 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 1: No caso da tecnologia LED dever-se-á considerar um FMLL de 0,7 para um tempo de operação correspondente a uma depreciação do fluxo luminoso de 70% (L70) reportado pelo fabricante. Este fator depende do tipo de LED, da temperatura do ponto de soldadura (Ts) e da corrente de operação do LED.

Nota 2: Utilização do conceito/tecnologia CLO (*constant lumen output*) vem introduzir importantes ganhos na durabilidade, consumo e fiabilidade nas luminárias de tecnologia LED.

Nota 3: Por não haver dados concretos sobre os fatores a aplicar no FSL e FMFL, entende-se ainda não alterar as atuais tabelas, no entanto o DREEIP poderá numa edição futura, passar a incluir valores ajustados para esta tecnologia desde que devidamente fundamentados.

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

O fator 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.

Tabela 13 – Fator de sobrevivência da lâmpada/fonte de luz

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
Iodetos 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. Fator de Manutenção da Luminária ( FML )

Tabela 14 – Fator de manutenção da luminária

	Nível de Poluição	Tempo de Operação (mil horas) <sup>9</sup>		
		4	8	12
IP 55 Difusor de Plástico	Baixo	0,92	0,80	0,71
	Alto	0,87	0,71	0,61

<sup>9</sup> Por uma questão de uniformidade utilizou-se o tempo de operação, embora neste caso se trate do tempo de operação da luminária desde a sua instalação.

	Nível de Poluição	Tempo de Operação (mil horas) <sup>9</sup>		
		4	8	12
IP 65 Difusor de Plástico	Baixo	0,95	0,84	0,76
	Alto	0,89	0,76	0,66
IP 65 Difusor de Vidro	Baixo	0,97	0,90	0,82
	Alto	0,94	0,84	0,76
IP 66 Difusor de Plástico	Baixo	0,95	0,87	0,81
	Alto	-	0,81	0,74
IP 66 Difusor de Vidro	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 pedreira é muito diferente do lixo criado pelos insetos.

Tabela 15 – Definição das zonas de poluição

Poluição	Definição
Alta	Fumo gerado por atividades 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 $\leq 150$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## 8.4. Fator de Manutenção Global ( Fm )

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

$$Fm = F_{MLL} \times F_{SL} \times F_{ML} \quad (20)$$

Tabela 16 – Cálculo do fator de manutenção<sup>10</sup>

Tipo de luminária e IP	Cálculo
Lâmpada de VSAP com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa)	$F_m = 0,90 \times 0,89 \times 0,88 = 0,7$
LED com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa)	$F_m = 0,95 \times 0,95 \times 0,88 = 0,8$
Iodetos Metálicos com luminária IP 66 (difusor de vidro em poluição baixa)	$F_m = 0,73 \times 0,88 \times 0,88 = 0,6$

## 8.5. Potência Unitária do Sistema

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

Tabela 17 – Potência unitária do sistema

Lâmpadas		Fluxo (lm)	Lâmpada (W)	Potência (Lâmp.+Equip.) (Lâmp. + Equip.)		Eficácia global lm/W	
				Ferro.	Eletron.	Ferro.	Eletron.
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

<sup>10</sup> Considerando o exemplo de um tempo decorrido de 3 anos.

Lâmpadas		Fluxo (lm)	Lâmpada (W)	Potência (Lâmp.+Equip.) (Lâmp. + Equip.)		Eficácia global lm/W	
				Ferro.	Eletron.	Ferro.	Eletron.
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 <i>Tubular</i> 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 Ovoide E27 – E40	70	5600	72	83	79	67	71
	100	8300	95	111	107	75	78
	150	12500	147	170	162	74	77



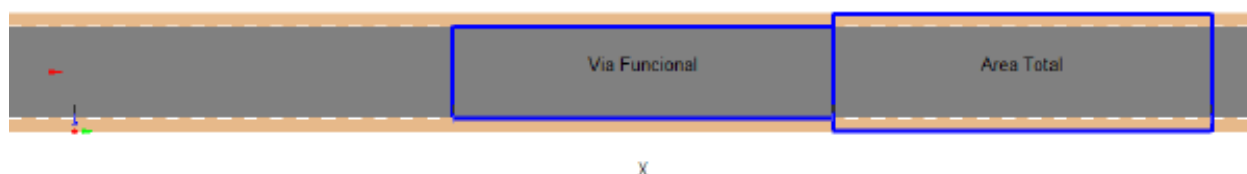
## 9. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA INSTALAÇÃO

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:

$$\varepsilon = \frac{k \times S \times E}{P} \quad (21)$$

Legenda:

- $\varepsilon$  – eficiência energética da instalação
- $S$  – área total (m<sup>2</sup>) 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 (lux)
- $P$  – potência total das luminárias mais auxiliares intervenientes na área calculada (W)
- $K = 1$  para  $L > 6m$ ;  $1,33$  para  $L < 6m$



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 em zonas pedonais e ciclovias, devido ao seu carácter subjetivo, 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.

Apresenta-se de seguida uma tabela que deverá servir de guia para a determinação da eficiência energética das instalações de iluminação pública (valor de referência de 4.100 horas de funcionamento anual, podendo no entanto ser diferente desde que devidamente fundamentado).

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

O certificado energético (CE) de uma instalação IP é um documento que traduz o desempenho energético da instalação, classificando-a numa escala de A a G.

As várias classes energéticas representam os intervalos percentuais do consumo de referência.

Assim, a classe energética mais eficiente corresponde à letra A, e a menos eficiente à letra G.

Tabela 18 – Índice de eficiência energética

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	$\epsilon \leq 15$

<p>Mais Eficiente</p> <p>Menos Eficiente</p>		
Instalação:		
Localidade/Rua:		
Horário de funcionamento (horas/ano):		
Consumo de energia anual (kWh/ano):		
Emissões de CO <sub>2</sub> anual (kgCO <sub>2</sub> /ano):		
Eficiência energética ( $\epsilon$ ):		
Nível de Iluminação média em serviço $E_m$ (lux):		
Uniformidade (%):		
Temperatura de Cor (K):		
Opção por visão mesópica:		
Programação da RFL:		

Fig. 18: Etiqueta energética das instalações de iluminação pública

## 10. PROJECTO E OBRA

As qualificações específicas profissionais mínimas exigíveis aos técnicos responsáveis pela elaboração e subscrição de projetos e pela direção de obras de IP serão as constantes da Portaria n.º 1379/2009, de 30 de Outubro, para projetos e direção 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 projeto o mais eficiente possível é recomendável que o projetista opte por uma luminária com um elevado fator de utilização e alto rendimento, um fator 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.

Considerando que o cadastro da rede de iluminação pública, com a referenciação e caracterização pormenorizada de todos os equipamentos que a constituem, é um instrumento indispensável para garantir a correta elaboração de futuros projetos e definição e implementação de medidas de eficiência energética, é recomendável que todas as entidades responsáveis pela gestão e exploração de redes, proprietários e concessionários, procedam à atualização sistemática dos respetivos cadastros.

### 10.1. Documentação a incluir na Fase de Projeto

- Identificação do responsável pela elaboração do projeto;
- 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 o documento de referência;
- Eficiência energética e classificação energética previsível, exceto na iluminação pedonal e ciclovias;
- Especificação técnica dos materiais, equipamentos e trabalhos necessários para a implementação da solução projetada;
- Peças desenhadas;
- Mapa de quantidades de trabalho;
- Avaliação de custos com base no anexo A da CIE 115:2010.

## 10.2. Avaliação de Custos

Num sistema de iluminação pública é necessário saber o capital e os custos operacionais envolvidos nas diferentes etapas:

- Quando a necessidade de iluminar é avaliada
- Quando a prioridade do projeto é determinada
- Quando o programa de implantação é planeado
- Quando as diversas soluções técnicas são comparadas
- Nas estimativas de custos
- No orçamento global

À semelhança do cálculo de custos num projeto de construção de vias, iremos seguir, para o cálculo de custos associados a uma instalação de iluminação pública, o método de custos num ponto de vista de análise do ciclo de vida (utilizando como referência um período de 3 anos).

Neste sentido os custos incluem aquisição de materiais, instalação, manutenção, energia, retirada da antiga solução, reciclagem e custos finais.

Os maiores custos de um sistema de iluminação, a longo prazo, estão associados à utilização de energia e iluminação.

O projetista deve ter a sensibilidade que muitas vezes um custo inicial maior pode trazer a longo prazo importantes ganhos no consumo de energia e manutenção.

### 10.2.1. Custos de Instalação

$$C_{in} = \frac{mC_{co} + nC_{lu} + S \times C_{ps}}{S} \quad (22)$$

Legenda:

- $C_{in}$  – custo da instalação por metro via (Euros)
- $m$  – n.º de colunas para a disposição escolhida (1 para disposição unilateral, alternada e central, e 2 para bilateral)
- $C_{co}$  – custo da coluna, incluindo maciço, se houver, e quadro de portinhola (Euros)
- $n$  – n.º de luminárias para a disposição escolhida (1 para lateral e alternada e 2 para central e bilateral)
- $C_{lu}$  – custo por luminária incluindo primeira lâmpada (Euros)
- $S$  – espaçamento entre colunas (no caso de disposição alternada será metade da distância entre duas colunas do mesmo lado da via)
- $C_{ps}$  – Custo da rede elétrica desde do quadro (incluindo cabos, mão-de-obra, valas, etc.) por metro de via (Euros)

## 10.2.2. Custos Operacionais

$$C_{op} = \frac{t_1 n P_{lu} C_{en} + \frac{n C_{gr}}{t_2} + q n C_{ir} + m C_{fi}}{S} \quad (23)$$

Legenda:

- $C_{op}$  – custos operacionais do primeiro ano, por metro de via (Euros)
- $t_1$  – tempo de funcionamento anual da iluminação pública (horas)
- $t_2$  – vida útil da lâmpada/fonte (anos)
- $n$  – n.º de luminárias para a disposição escolhida
- $P_{lu}$  – potência da luminária segundo o DREEIP (kW)
- $C_{en}$  – Custo da energia (€/kWh)
- $C_{gr}$  – custo de reposição de lâmpadas/unid por método de substituição sistemática ou grupo de lâmpadas (Euros)
- $C_{ir}$  – Custo de reposição individual de lâmpada/fonte por unidade (Euros)
- $q$  – número estimado de reposição individual de lâmpadas/fonte por ano (1-FSL)
- $m$  – n.º de colunas na disposição escolhida
- FSL – fator de sobrevivência da lâmpada/fonte
- $C_{fi}$  – Custos fixos por coluna (Euros)
- $S$  – espaçamento entre colunas (m)

Nota: alguns valores indicados como custos operacionais poderão ser entendidos como custos de amortização.

## 10.2.3. Custos sob Análise do Ciclo de Vida (por metro de via)

$$C_{lc} = C_{in} + \frac{1-(1+p)^{-t}}{p} \times C_{op} + \frac{1}{(1+p)^t} \times V_r \quad (24)$$

Legenda:

- $C_{lc}$  – custo atual do ciclo de vida por metro via (Euros)
- $C_{in}$  – é o custo da instalação por metro via (Euros)
- $p$  – taxa de juro
- $t$  – período de avaliação (anos)
- $C_{op}$  – custos operacionais do primeiro ano por metro via (Euros)
- $V_r$  – valor residual (Euros)

Custos estimados de algumas variáveis (indicativos):

- $C_{en}$  – tarifa aplicada à iluminação pública (0,11 €/kWh)
- $C_{gr}$  – 23,00 € para VSAP ou Iodetos (para os LEDs devem ser utilizados os valores de mercado)
- $C_{in}$  – 37,00 €
- $q$  – 0,15 (fator de manutenção de 85%)

### 10.3. Documentação a Entregar Após a Conclusão da Obra

- Identificação do responsável pela execução da obra;
- Identificação da obra e sua localização;
- Telas finais;
- Eficiência energética e classificação energética obtida, exceto na iluminação pedonal.

Recomenda-se que a solução instalada seja garantida durante pelo menos 2 anos, pelo instalador/projetista/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 fator de correção ao fator de manutenção considerado no projeto.

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 correto dimensionamento da rede de iluminação.

Para o cálculo das poupanças relacionadas com as emissões de CO<sub>2</sub> deve ser considerado o fator de conversão publicado no Despacho n.º 17313, de 26 de Junho de 2008, devendo este ser atualizado sempre que for publicado um novo fator de conversão por entidade competente.

Os custos, o consumo real e as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à Iluminação Pública devem ser publicados nos sítios institucionais de cada município com a mesma periodicidade com que é realizada a faturação deste tipo de instalações.

## 12. BIBLIOGRAFIA

- Norma EN13201
- Regulamento CE n.º 245/2009
- Regulamento CE n.º 347/2010
- CELMA/ELC – Street Lighting Proposed Measures under the EuP/ESD Directives – 2006
- ANSI / IESNA RP-8-00
- Manual de Iluminação Pública (EDP Distribuição, ISR-UC de 8/10/2010)
- Efficiency Energetique en Eclairage Public (AFE – Associação Francesa de Iluminação)
- Regulamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior – Espanha (Real decreto de lei 1890/2008)
- CIE 191:2010 – Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance



## ANEXO – METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO DREEIP

Com o objetivo de auxiliar o projetista de iluminação pública na leitura / interpretação do DREEIP e no cálculo da classe energética de uma instalação de iluminação pública, apresentam-se resumidamente os principais passos para exemplificar a aplicação do método de cálculo, tendo por base um caso prático com determinadas características técnicas das instalações e equipamentos.

1. Classificação da via e níveis mínimos de referência					
		Classes	Capítulo	Pág.	Exemplo:
1.1	Iluminação Pública Funcional	ME	3.1	21 a 24	<p>Considerando uma instalação em que:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Velocidade - moderada ou reduzida - 0</li> <li>2. Volume de tráfego - moderado - 0</li> <li>3. Composição do trânsito - misturado - 1</li> <li>4. Separação das faixas - sim - 0</li> <li>5. Densidade de cruzamentos - moderada - 0;</li> <li>6. Veículos estacionados - não presente - 0</li> <li>7. Luminância ambiente - moderada - 0</li> <li>8. Controlo do trânsito - moderado ou bom - 0</li> </ol> <p>A determinação da classe <b>ME</b> é dada por:</p> $ME = 6 - (0+0+1+0+0+0+0+0) = 5$ <p>O que corresponde à classe <b>ME5</b> (tabela 5)</p> <p>Nota: os valores atribuídos no ponto 1 a 8 são retirados da tabela 6 à tabela 9</p>
1.2	Zonas Pedonais, Ciclovias e Jardins	P	3.2	25	<p>As características de utilização e/ou de segurança da zona determinam a <b>Classe P</b> da instalação de iluminação pública, cujos valores de referência são identificados na tabela 10.</p>
1.3	Zonas de Conflito		3.3	25 a 26	<p>A classe ME da estrada adjacente, calculada de acordo com o definido no ponto 1.1., determina a classificação da zona de conflito através da aplicação da tabela de equivalências 11.</p> <p>Assim, a uma estrada adjacente com uma instalação de classe <b>ME5</b> corresponde uma zona de conflito <b>ME4a</b>.</p>

## 2. Fatores de Utilização da Instalação

		Abreviatura	Capítulo	Pág.	Exemplo:
2.1	Fator de Manutenção da Luminosidade da Lâmpada	FMLL	8.1	28	Considerando uma instalação de I.P. com fontes de luz, <b>VSBP</b> e um tempo de operação na ordem das <b>8.756h</b> , segundo a tabela 12 o fator de manutenção corresponde ao valor de: <b>0,93</b>
2.2	Fator de Sobrevivência da Lâmpada/Fonte de Luz	FSL	8.2	29	Para as mesmas características (definidas no ponto 2.1), segundo a tabela 13, verifica-se que o fator de sobrevivência corresponde ao valor de: <b>0,80</b>
2.3	Fator de Manutenção da Luminária	FMLL	8.3	29 a 30	Considerando que a luminária está instalada numa zona de baixa poluição, classe IP 65 e difusor de vidro, segundo a tabela 14 o fator de manutenção da luminária corresponde ao valor de: <b>0,90</b>
2.4	Fator de Manutenção Global	Fm	8.4	30	Após a determinação dos pontos anteriores (2.1, 2.2 e 2.3), Fm é dado pela formula:  <b><math>Fm = FMLL \times FSL \times FML</math></b> Assim, para uma instalação I.P. tem-se que:  <b><math>Fm = 0,93 \times 0,80 \times 0,90 = 0,7</math></b>

## 3. Estudo Luminotécnico

3.1	Estudos luminotécnicos a realizar por software específico para o efeito	Como exemplos de software destacam-se: DIALux; INDALWIN, Lumisof, entre outros.			
-----	---	---	--	--	--

## 4. Eficiência Energética da Instalação

		Abreviatura	Capítulo	Pág.	Exemplo:
4.1	Dados da Instalação (do Estudo luminotécnico): · largura total da via e passeios; · interdistância entre pontos de luz; · iluminância média calculada.				
4.2	Potência Total das Luminárias mais Auxiliares		8.5	31 a 32	
4.3	Fator de Manutenção da Luminária	k	9	33	
4.4	Área Total de Cálculo				

## 5. Determinação do Índice de Eficiência Energética da Instalação

		Abreviatura	Capítulo	Pág.	Exemplo:
5.1	Cálculo do Índice de Eficiência Energética da Instalação	$\epsilon$	9	33	
5.2	Determinação da Classificação Energética da Instalação		9	34	