

# 13

## Noções de Luminotécnica

### 13.1 Lâmpadas e Luminárias

As lâmpadas fornecem a energia luminosa que lhes é inerente com auxílio das luminárias, que são os seus sustentáculos, através das quais se obtêm melhor distribuição luminosa, melhor proteção contra as intempéries, permitem ligação à rede, além de proporcionarem aspecto visual agradável e estético.

Basicamente, as lâmpadas elétricas pertencem a três tipos:

- incandescentes;
- descargas;
- estado sólido – LED (*Light Emitting Diode*).

As lâmpadas incandescentes de uso geral, devido ao baixo rendimento luminoso, estão sendo retiradas do mercado mundial. Para tanto os Ministérios de Minas e Energia, de Ciência e Tecnologia e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior editaram a Portaria Interministerial nº 1.007, de 31/12/2010, que prevê a retirada progressiva dessas lâmpadas.

A portaria previu que, a partir de 30 de junho de 2012 até 30 de junho de 2016, e não surgindo nenhuma nova tecnologia que permita que essas lâmpadas se tornem mais eficientes, as lâmpadas incandescentes serão paulatinamente descontinuadas no mercado brasileiro.

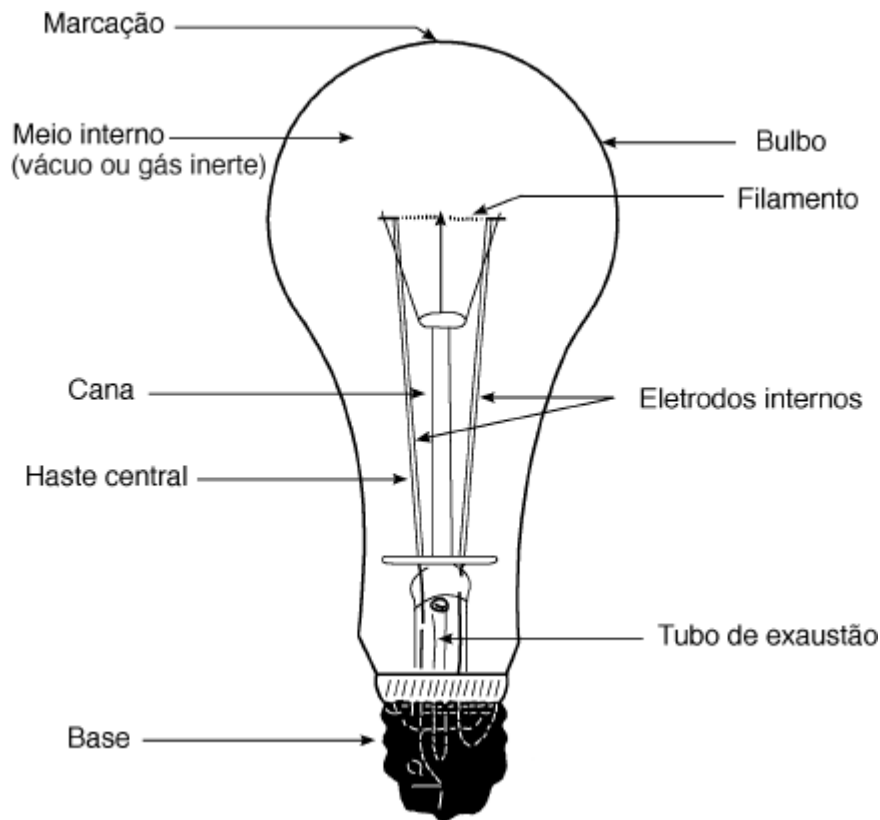
Excluem-se da regulamentação os seguintes tipos de lâmpadas:

- a) incandescentes com bulbo inferior a 45 milímetros de diâmetro e com potências iguais ou inferiores a 40 W;
- b) incandescentes específicas para estufas, estufas de secagem, estufas de pintura, equipamentos hospitalares e outros;
- c) incandescentes refletoras/defletoras ou espelhadas, caracterizadas por direcionar os feixes luminosos;
- d) incandescentes para uso em sinalização de trânsito e semáforos;
- e) incandescentes halógenas;
- f) infravermelhas utilizadas para aquecimento específico por meio de emissão de radiação infravermelha; e
- g) para uso automotivo.

### 13.2 Lâmpadas Incandescentes

Resultam do aquecimento de um fio, pela passagem da corrente elétrica, até a incandescência. As lâmpadas incandescentes comuns são compostas de um bulbo de vidro incolor ou leitoso, uma base de cobre ou outras ligas, e um conjunto de peças que contêm o filamento, que é o mais importante. Os filamentos das primeiras lâmpadas eram de carvão, mas atualmente

são de tungstênio, que tem um ponto de fusão de aproximadamente 3 400 °C. Esta temperatura não é atingida nem pela lâmpada a 1 500 watts (2 700 °C).



Lâmpada incandescente.

### Figura 13.1

Na Figura 13.1 vemos uma lâmpada incandescente com seus principais componentes:

No interior do bulbo de vidro das lâmpadas incandescentes usuais é feito o vácuo, ou seja, é retirado todo o oxigênio, para que o filamento não se queime, já que o oxigênio alimenta a combustão. Também se usa substituir o vácuo no interior da lâmpada por um gás inerte (nitrogênio e argônio).

As lâmpadas incandescentes são usadas em locais em que se deseja a luz dirigida, portátil e com flexibilidade de escolha de diversos ângulos de abertura de fecho luminoso.

As comuns podem ser usadas em luminárias com lâmpadas do tipo refletoras.

Em residências são usadas na iluminação geral de ambientes ou quando se desejam efeitos especiais.

Nas lojas são indicadas para destacar as mercadorias ou para iluminação geral ou suplementar nas máquinas de produção ou em locais com problemas de vibração (lâmpadas para serviço pesado) ou ainda em estufas de secagem (lâmpadas infravermelhas).

Podemos encontrar lâmpadas incandescentes espalhadas do tipo comptalux, fecho médio, bulbo prateado etc., e ainda lâmpadas do tipo germicidas, lâmpadas de luz negra e lâmpadas infravermelhas, cada qual com uma aplicação específica.

### 13.2.1 Lâmpadas quartzo-halógenas (dicróicas)

São um tipo aperfeiçoado das lâmpadas incandescentes, constituídas por um tubo de quartzo, dentro do qual existem um filamento de tungstênio e partículas de iodo, flúor e bromo adicionados ao gás normal. Têm como vantagens em relação às lâmpadas incandescentes comuns: vida mais longa, ausência de enegrecimento do tubo, alta eficiência luminosa, excelente reprodução de cores e dimensões reduzidas. Como desvantagens: desprendem intenso calor e são pressurizadas, podendo estilhaçar-se inesperadamente, o que faz necessária a sua utilização em luminárias que tenham proteção. Atualmente o modelo de lâmpadas quartzo-halógenas muito utilizado são as dicróicas.

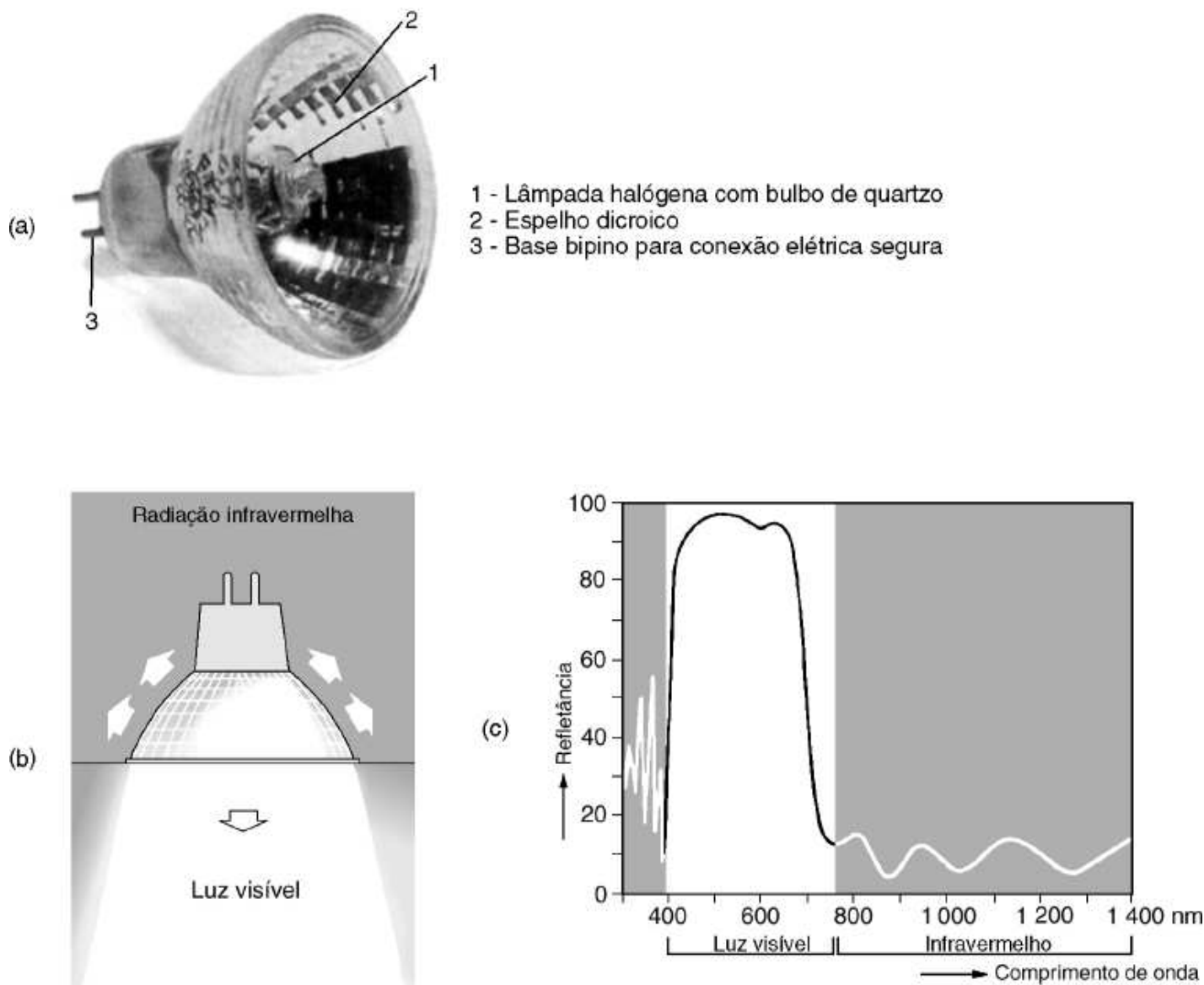
São lâmpadas modernas, de dimensões tão pequenas que cabem em um cubo de 5 cm de aresta, e têm alto rendimento luminoso. Possuem um filamento especial de 12 volts, precisamente focalizado no refletor dicróico multifacetado. Algumas

lâmpadas possuem filamento que opera com 12 volts, o que exige um transformador de pequenas dimensões, de 127 ou 220 volts para 12 volts, normalmente embutido nas luminárias; outras operam diretamente em 127 V ou 220 V.

São indicadas para os mesmos locais das lâmpadas projetoras, com a grande vantagem de oferecerem luz clara e branca, com excelente reprodução de cores, ressaltando o colorido dos objetos, tornando-os mais ricos, vibrantes e naturais.

O refletor multifacetado é recoberto por uma película constituída por um filtro químico, o que permite a reflexão da luz visível e a transmissão, para a retaguarda da lâmpada, de mais de 50 % da radiação infravermelha, resultando, assim, num fecho de luz mais frio, mesmo sendo uma lâmpada halógena. De qualquer modo, é recomendável o uso de luminárias com protetores, caso a lâmpada dicróica fique próxima dos olhos do usuário.

Na Figura 13.2, temos (a) a constituição da lâmpada, (b) as características do refletor dicróico e (c) a curva de reflexão típica de um espelho dicróico.



Lâmpada dicróica, Philips.

### Figura 13.2

Graças à sua agradável temperatura de cor, combina bem com outras lâmpadas halógenas ou fluorescentes, sem mudança do equilíbrio e tonalidade de cor do ambiente.

Além das vantagens citadas, essa lâmpada emite um fecho de luz cerca de 60 % mais frio que o das lâmpadas refletoras convencionais de mesmo fluxo luminoso e mesma abertura de fecho, o que a torna indicada para objetos sensíveis ao calor.

Como as lâmpadas dicróicas possuem o rendimento lumínico em lumens por watt muito mais alto que o das lâmpadas refletoras comuns, é possível consumir menos watts de potência para o mesmo nível de iluminação, o que resulta em 50 ou 60 % de economia de energia, além do dobro da vida útil.

Na Figura 13.3, temos as várias opções na escolha da lâmpada dicróica para as diversas finalidades do ambiente a iluminar (lojas comerciais, galerias de arte, residências etc.). A lâmpada PRECISE MR-16 possui proteção de uma lente

de vidro contra radiação ultravioleta C.

PRECISE MR-16 HIGH PERFORMANCE <sup>1</sup>						
LÂMPADA		WATTS	VIDA MÉDIA NOMINAL (horas)	TEMPERATURA DE COR (°K)	CANDELAS NO CENTRO DO FACHO	ABERTURA MÉDIA DO FACHO <sup>3</sup> (graus)
Q20MR16/VNSP	(EZX)	20	3 000	3 050°	8 200	7°
Q20MR16/NSP	(ESX)	20	4 000	3 050°	3 350	13°
Q20MR16/FL	(BAB)	20	4 000	3 050°	525	40°
Q35MR16/NSP	(FRB)	35	4 000	3 050°	7 900	12°
Q35MR16/SP	(FRA)	35	4 000	3 050°	3 800	20°
Q35MR16/FL	(FMW)	35	4 000	3 050°	1 050	40°
Q42MR16/VNSP	(EZY)	42	3 000	3 050°	13 100	9°
Q42MR16/NFL	(EYS)	42	3 000	3 050°	2 100	27°
Q50MR16/NSP	(EXT)	50	4 000	3 050°	10 200	14°
Q50MR16/NFL	(EXZ)	50	4 000	3 050°	2 900	27°
Q50MR16/NFL/1	(EXK)	50	4 000	3 050°	2 400	32°
Q50MR16/FL/1	(ENL)	50	4 000	3 050°	2 325	32°
Q50MR16/FL	(EXN)	50	4 000	3 050°	1 725	40°
Q50MR16/WFL	(FNV)	50	4 000	3 050°	1 075	55°
Q75MR16/NSP	(EYF)	75	4 000	3 050°	12 300	14°
Q75MR16/NFL	(EYJ)	75	4 000	3 050°	4 600	25°
Q75MR16/FL	(EYC)	75	4 000	3 050°	2 100	42°
PRECISE MR-11 <sup>2</sup>						
Q20MR11/NSP	(FTB)	20	3 000	2 950°	3 900	11°
Q20MR11/SP	(FTC)	20	3 000	2 950°	1 550	19°
Q20MR11/NFL	(FTD)	20	3 000	2 950°	600	30°
Q35MR11/NSP	(FTE)	35	3 000	2 950°	5 850	11°
Q35MR11/SP	(FTF)	35	3 000	2 950°	2 750	20°
Q35MR11/NFL	(FTH)	35	3 000	2 950°	1 300	30°

<sup>1</sup> Todas as PRECISE MR-16 possuem base GX-5.3 e máximo comprimento total de 44,5 mm.

<sup>2</sup> Todas as PRECISE MR-11 possuem base GZ4 e máximo comprimento total de 35,0 mm.

<sup>3</sup> A abertura do fecho é delimitada pelos pontos nos quais a intensidade luminosa é 50% da intensidade luminosa do centro do fecho.

Características das lâmpadas dicróicas. (Cortesia da General Electric do Brasil Ltda.)

**Figura 13.3**

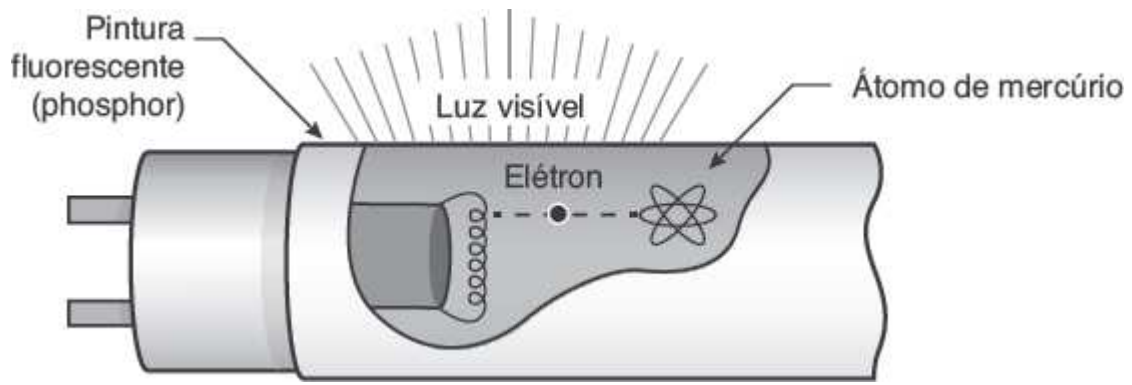
## 13.3 Lâmpadas de Descarga

São lâmpadas que funcionam pela passagem de uma descarga elétrica num meio de gases metálicos — mercúrio, xenônio, sódio etc.

### 13.3.1 Lâmpadas fluorescentes

Consistem em um bulbo cilíndrico de vidro, tendo em suas extremidades eletrodos metálicos de tungstênio (catodos), por onde circula corrente elétrica. Em seu interior existe vapor de mercúrio ou argônio a baixa pressão, e as paredes internas do tubo são pintadas com materiais fluorescentes, conhecidos por cristais de fósforo (phosphor) (Figura 13.4).

São lâmpadas que, por seu ótimo desempenho, são mais indicadas para iluminação de interiores, como escritórios, lojas, indústrias, tendo espectros luminosos indicados para cada aplicação. Essas lâmpadas não permitem o destaque perfeito das cores; porém, a lâmpada branca fria ou morna permite uma razoável visualização do espectro de cores.



Lâmpada fluorescente.

**Figura 13.4**

Em residências, as lâmpadas fluorescentes podem ser usadas em cozinhas, banheiros, garagens etc.

Entre as lâmpadas fluorescentes, a que tem grande aplicação em escritórios, mercados, lojas, por sua alta eficiência, é a do tipo HO (*high output*), que é indicada por questões de economia, pois a sua eficiência luminosa é muito elevada.

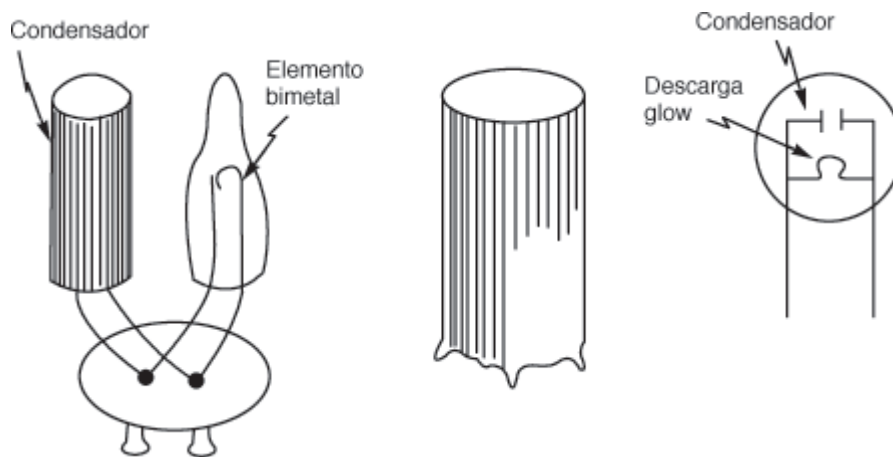
### 13.3.1.1 Princípio de funcionamento

Para funcionamento da lâmpada, são indispensáveis dois equipamentos auxiliares: *starter* e *reator*.

O *starter* é um dispositivo usado na partida que emprega o princípio do bimetálico, isto é, dois metais em forma de lâmina com coeficientes de dilatação diferentes. A lâmina bimetálica constitui o contato móvel, havendo outro contato que é fixo. Na Figura 13.5 vemos o esquema do *starter*. Algumas lâmpadas de descarga (por exemplo, vapor de sódio de alta pressão e multivapor metálico) também usam na partida ignitores (Figura 13.10).

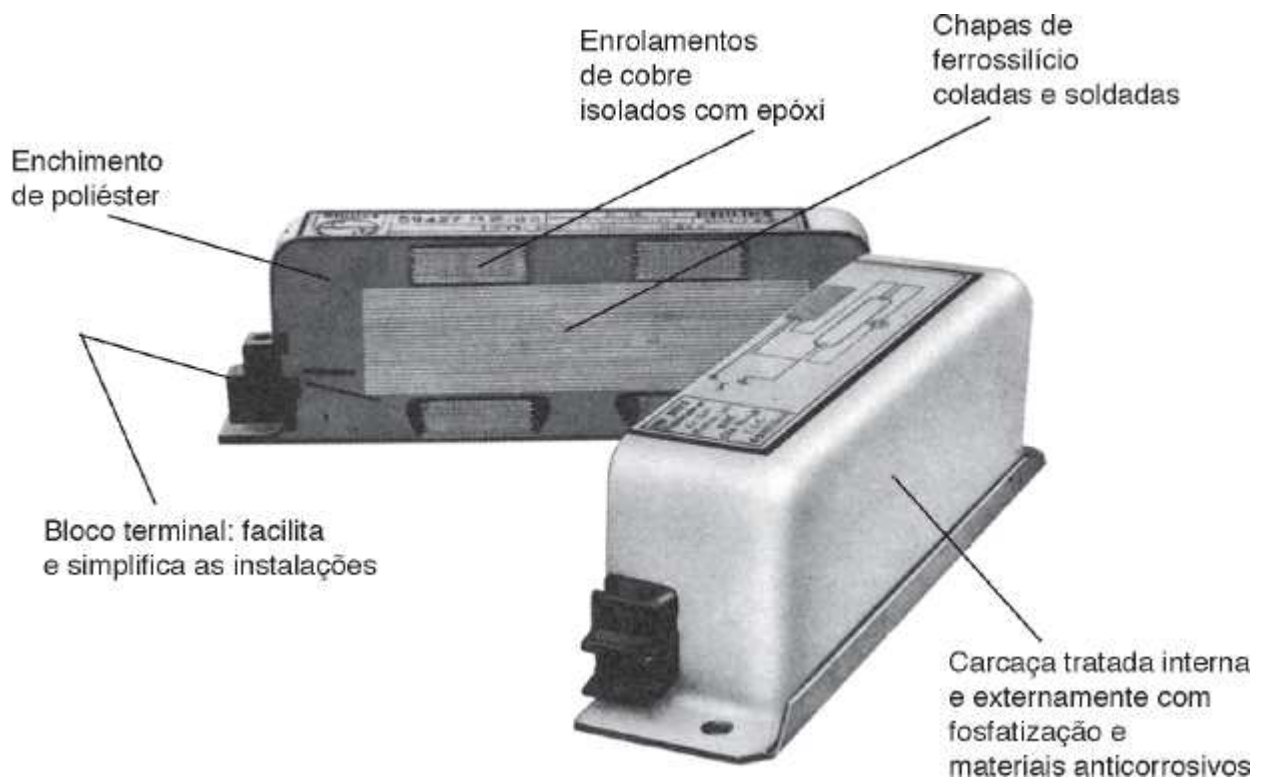
Como parte integrante do *starter*, temos um condensador ligado em paralelo com o interruptor; sua função é evitar interferência em aparelhos de rádio.

O reator é uma bobina com núcleo de ferro ligada em série e tem dupla função: produzir a sobretensão e limitar a corrente (Figura 13.6(a)). Atualmente são muito utilizados os reatores eletrônicos (Figura 13.6(b)).



*Starter*.

**Figura 13.5**



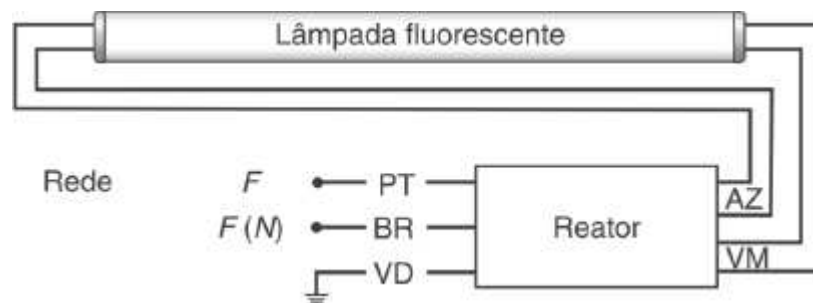
Reator da marca Philips (seccionado).

Figura 13.6A



Reator eletrônico. (Cortesia da Philips.)

Figura 13.6B

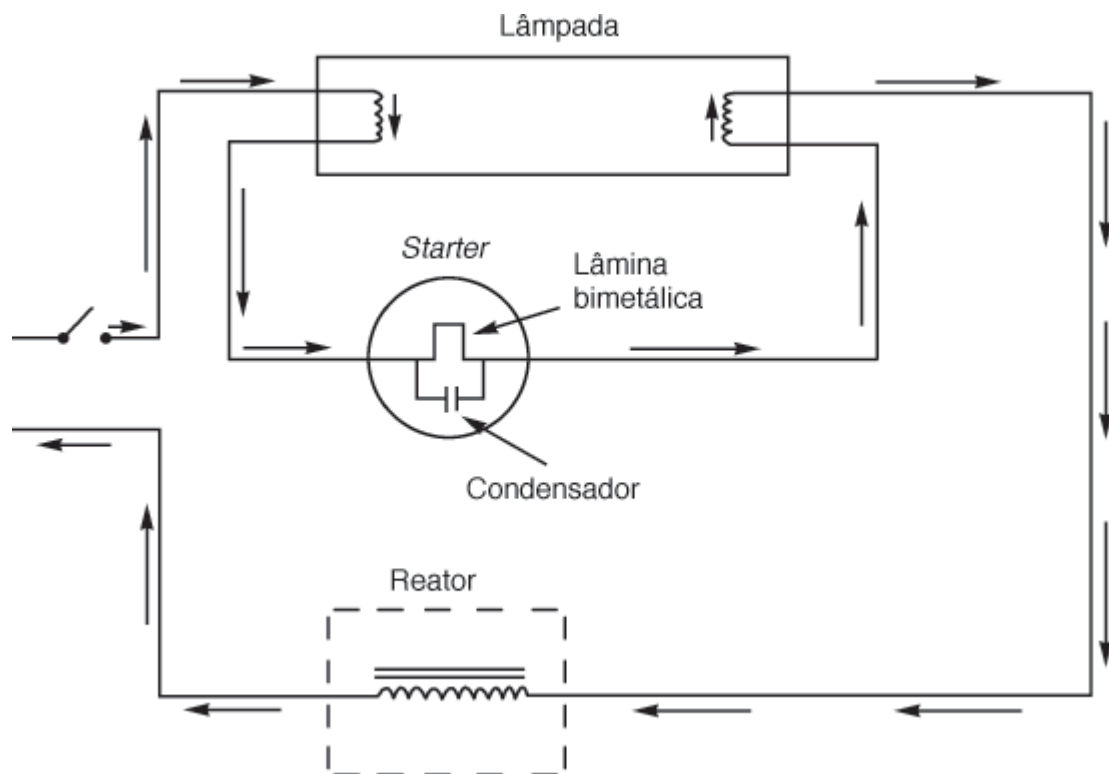


Reator eletrônico. (Cortesia da Philips.)

Figura 13.6C

Consideremos o esquema da Figura 13.7, no qual vemos as peças já descritas da maneira como são ligadas. Fechando-se o interruptor, a corrente segue o circuito assinalado pelas setas.





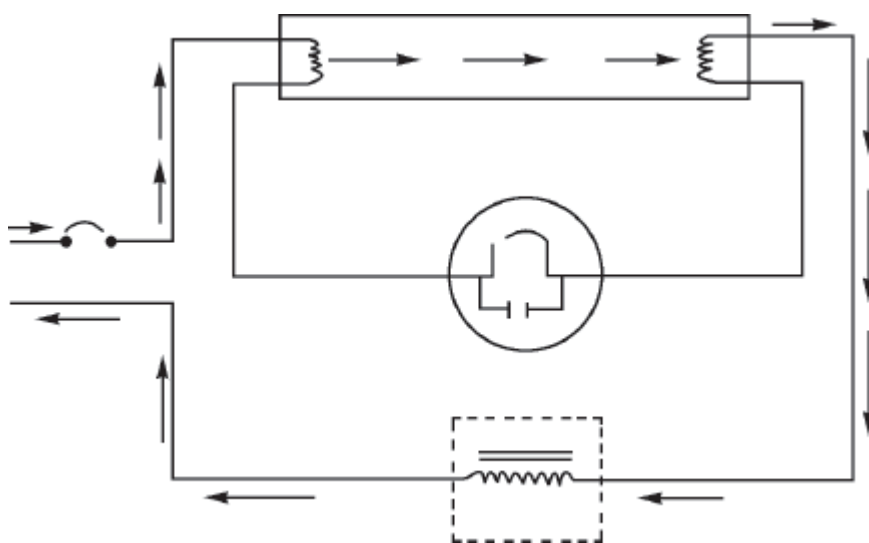
Corrente pelo *starter*.

**Figura 13.7**

Os filamentos da lâmpada são aquecidos e inicia-se a descarga entre os contatos do *starter*. Esta descarga aquece os elementos bimetálicos, e assim os contatos se fecham; pouco depois de fechados os contatos, cessa a descarga, o que provoca rápido esfriamento. Assim, o elemento bimetálico faz os contatos se abrirem novamente, e esta abertura interrompe a corrente no reator que assim produz uma “sobretensão” entre as extremidades do reator  $\left(v = L \frac{di}{dt}\right)$ .

Esta “sobretensão” faz romper um arco elétrico entre os filamentos, e o circuito fecha-se através do interior da lâmpada, e não mais pelo *starter*. Os elétrons, deslocando-se de um filamento a outro, esbarram em seu trajeto com os átomos do vapor de mercúrio (Figura 13.8). Estes choques provocam liberação de energia luminosa não visível (frequências muito elevadas), tipo radiação ultravioleta. Esta radiação se transmite em todas as direções e, em contato com a pintura fluorescente do tubo, produz radiação luminosa visível.

Na Figura 13.8, as setas indicam o caminho do circuito depois que se inicia a descarga pelo interior da lâmpada.



Corrente pela lâmpada.

**Figura 13.8**

Como a resistência oposta ao deslocamento dos elétrons é muito pequena, a tendência da corrente (em ampères) é se elevar muito, porém o reator age como elemento limitador da corrente, pois nada mais é que uma impedância.

Assim, o reator representa uma pequena perda de energia (carga), medida em watts. Como exemplo, cita-se a perda de um reator para lâmpada fluorescente de 40 W, T-12:

- para reator de alto fator de potência: 11 watts
- para reator de baixo fator de potência: 8,5 watts

Nos cálculos de circuitos de muitas lâmpadas fluorescentes, deve-se levar em conta esta perda.

Este tipo de iluminação é um dos de maior rendimento, pois uma lâmpada branca de 40 W, por exemplo, emite 2 900 lumens, o que dá o seguinte rendimento:

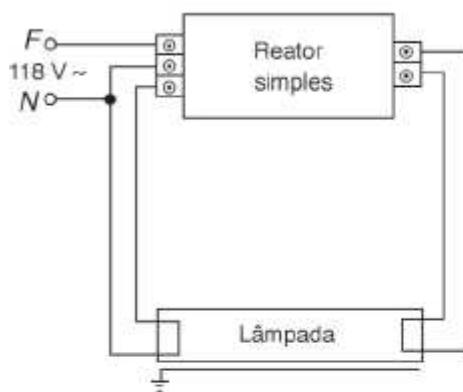
$$\frac{2\,900 \text{ lumens}}{40 \text{ watts}} = 73 \text{ lumens/watt (excluindo o reator)}$$
$$= 56,9 \text{ lumens/watt (com reator)}$$

Comparando a lâmpada fluorescente com a incandescente de 200 watts, podemos ver o seguinte rendimento:

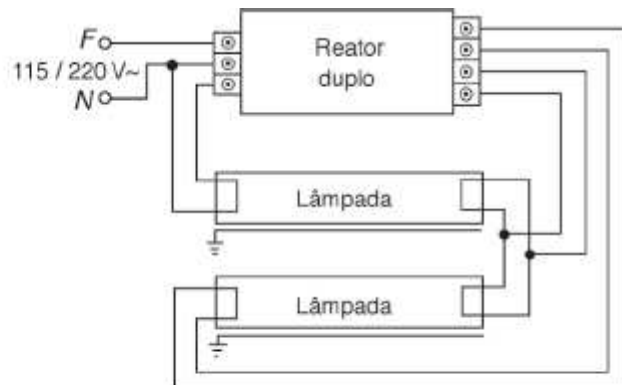
$$\frac{2\,980 \text{ lumens}}{200 \text{ watts}} = 14,9 \text{ lumens/watt}$$

Logo, uma lâmpada fluorescente de 40 watts, produzindo aproximadamente o mesmo iluminamento que uma incandescente de 200 watts, tem rendimento cinco vezes maior.

### Diagramas de Ligação de Lâmpadas Fluorescentes

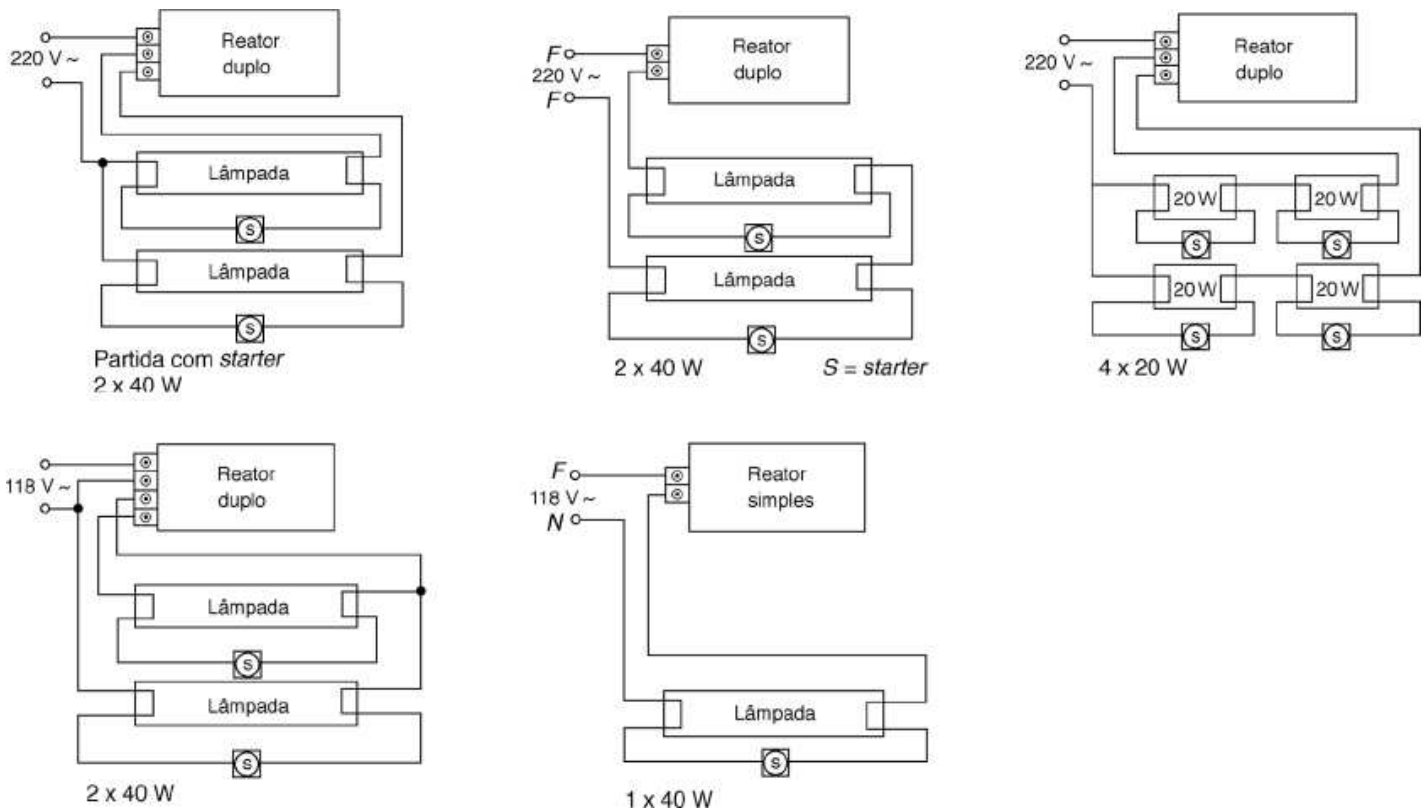


Partida instantânea  
1 x 40 W



Partida instantânea  
2 x 40 W





Diagramas de ligação de lâmpadas fluorescentes com equipamento auxiliar.

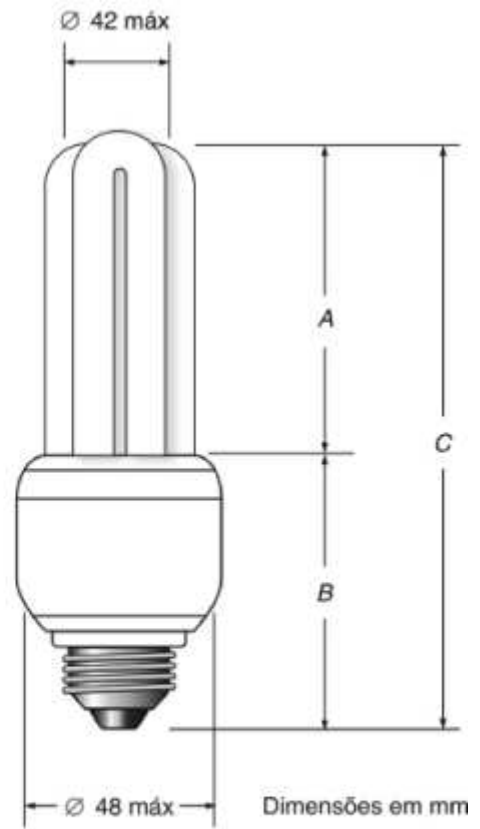
Figura 13.9

### 13.3.1.2 Lâmpadas fluorescentes compactas

São lâmpadas fluorescentes que possuem *starter* incorporado à sua base, o que permite a substituição por lâmpadas incandescentes sem qualquer tipo de acessório. Existem com vários tipos de tonalidades de luz. Possuem uma durabilidade, em média, 10 vezes maior que as incandescentes, além de serem até 80 % mais econômicas. São ideais para instalações residenciais e comerciais. São produzidas na faixa de 5 a 25 W. A Figura 13.10 mostra o aspecto dessas lâmpadas e apresenta algumas potências e suas equivalências com as lâmpadas incandescentes.



(a)



(b)

Fluorescentes	9 W	11 W	13 W	20 W	25 W
Incandescentes	25 W	40 W	60 W	75 W	100 W

Lâmpada fluorescente compacta. (Cortesia da Philips.)

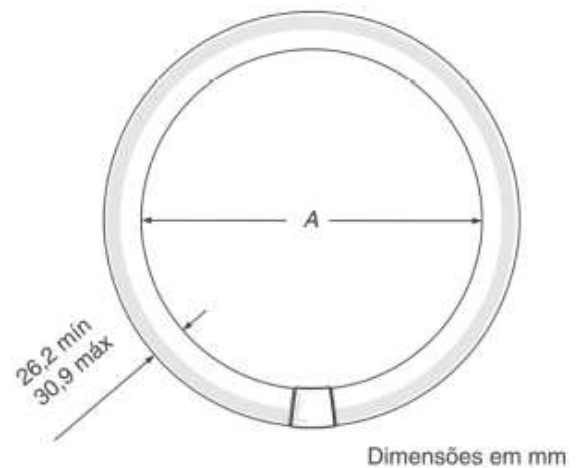
Figura 13.10

### 13.3.1.3 Lâmpadas fluorescentes circulares

São fluorescentes circulares (Figura 13.11), empregadas em aplicações domésticas, como em cozinhas e banheiros, onde se deseja iluminação uniforme e com bom nível. Essas lâmpadas são originalmente projetadas para circuitos de partida rápida, mas operam também em circuitos convencionais, ou seja, com *starter*.



(a)



(b)

Lâmpada fluorescente circular. (Cortesia da Philips.)

Figura 13.11

### 13.3.2 Lâmpadas a vapor de mercúrio

A lâmpada a vapor de mercúrio também utiliza o princípio da descarga elétrica através de gases, de forma semelhante à luz fluorescente. O seu emprego é muito difundido. Sua criação remonta os princípios do século XX (1901), graças às experiências de Peter Cooper Hewitt (General Electric).

Basicamente, consta de um bulbo de vidro duro (tipo borossilicato ou nonex) que encerra em seu interior um tubo de arco, em que se produzirá o efeito luminoso. O bulbo externo destinase a suportar os choques térmicos e é apresentado normalmente nos tipos BT (Bulged tubular) e R (refletor).

O tubo de arco atualmente é fabricado em quartzo, material mais apropriado para resistir às elevadas temperaturas e pressões, além de melhorar o rendimento luminoso (Figura 13.12).

São empregadas em interiores de grandes proporções, em vias públicas e áreas externas. Por sua vida longa e alta eficiência, têm um bom emprego em galpões de pé-direito alto, em que o custo de substituição de lâmpadas e reatores é elevado.

Quando há necessidade de melhor destaque de cores, devem ser usadas lâmpadas com correção de cor.



Lâmpada a vapor de mercúrio. (General Electric.)

Figura 13.12

#### 13.3.2.1 Equipamentos auxiliares

Do mesmo modo que a lâmpada fluorescente, a lâmpada a vapor de mercúrio exige um **reator** (ou um autotransformador), com a finalidade de conectar a lâmpada à rede e limitar a corrente de operação, como na lâmpada fluorescente.

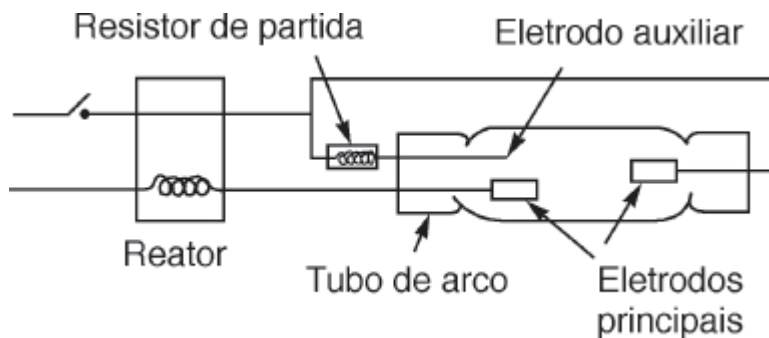
No interior da lâmpada há um **resistor de partida** (ver Figuras 13.12 e 13.13), que é uma resistência elétrica de alto valor (cerca de 40 quilo-ohms) cuja finalidade é interromper a corrente de partida através do eletrodo auxiliar, criando um caminho de alta impedância para o eletrodo auxiliar. Esta resistência é parte integrante da lâmpada.

#### 13.3.2.2 Funcionamento

Como a lâmpada fluorescente, a lâmpada de vapor de mercúrio possui, dentro do tubo de arco, mercúrio e pequena quantidade de argônio que, depois de vaporizados, comunicam ao ambiente interno alta pressão (dezenas de atmosferas). A vaporização do mercúrio processa-se da seguinte maneira:

fechado o contato do interruptor I, uma tensão é aplicada entre o eletrodo principal e o eletrodo auxiliar, formando-se

- um arco elétrico. Este arco ioniza o argônio, que aquece o tubo de arco e vaporiza o mercúrio (Figura 13.13).



Esquema de ligação de uma lâmpada VM.

**Figura 13.13**

O vapor de mercúrio formado possibilita o aparecimento de um arco entre os eletrodos principais, e o impacto dos elétrons do arco com os átomos de mercúrio libera energia luminosa.

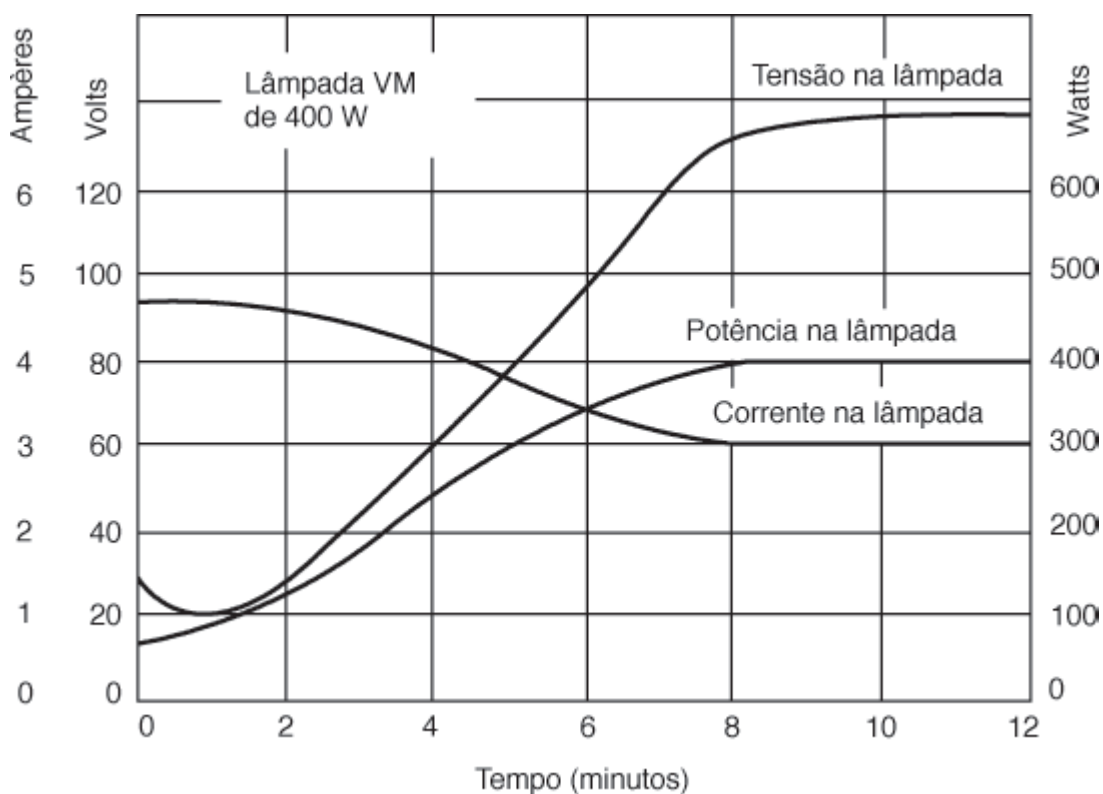
Note-se que na lâmpada fluorescente, pelo fato de o vapor de mercúrio estar em baixa pressão, a energia radiante liberada está na gama ultravioleta, havendo necessidade da pintura fluorescente do tubo (phosphor), para transformá-la em luz visível. Há também lâmpadas a vapor de mercúrio “corrigidas”, isto é, o tubo é também pintado com tinta fluorescente para correção do feixe de luz emitido por ação da descarga.

Depois de iniciada a descarga entre os eletrodos principais, deixa de existir a descarga entre o eletrodo principal e o auxiliar, em virtude da grande resistência oposta pelo resistor de partida. O calor desenvolvido pela descarga principal e o aumento da pressão no tubo de arco fazem vaporizar o restante do mercúrio que ainda estiver no estado líquido, e assim a lâmpada atinge sua luminosidade máxima.

### 13.3.2.3 Partida da lâmpada a vapor de mercúrio

Embora a partida seja instantânea, isto é, não há necessidade de *starter*, a lâmpada VM só entra em regime aproximadamente 8 minutos após ligada a chave. Isto pode ser constatado pelo gráfico correspondente a uma lâmpada VM de 400 watts, da General Electric.

Note-se que a tensão e a potência vão aumentando até atingirem os valores nominais (127 volts e 400 watts), enquanto a corrente, que é maior na partida, decresce até o valor nominal (aproximadamente 3,2 A) (Figura 13.14).



**Figura 13.14**

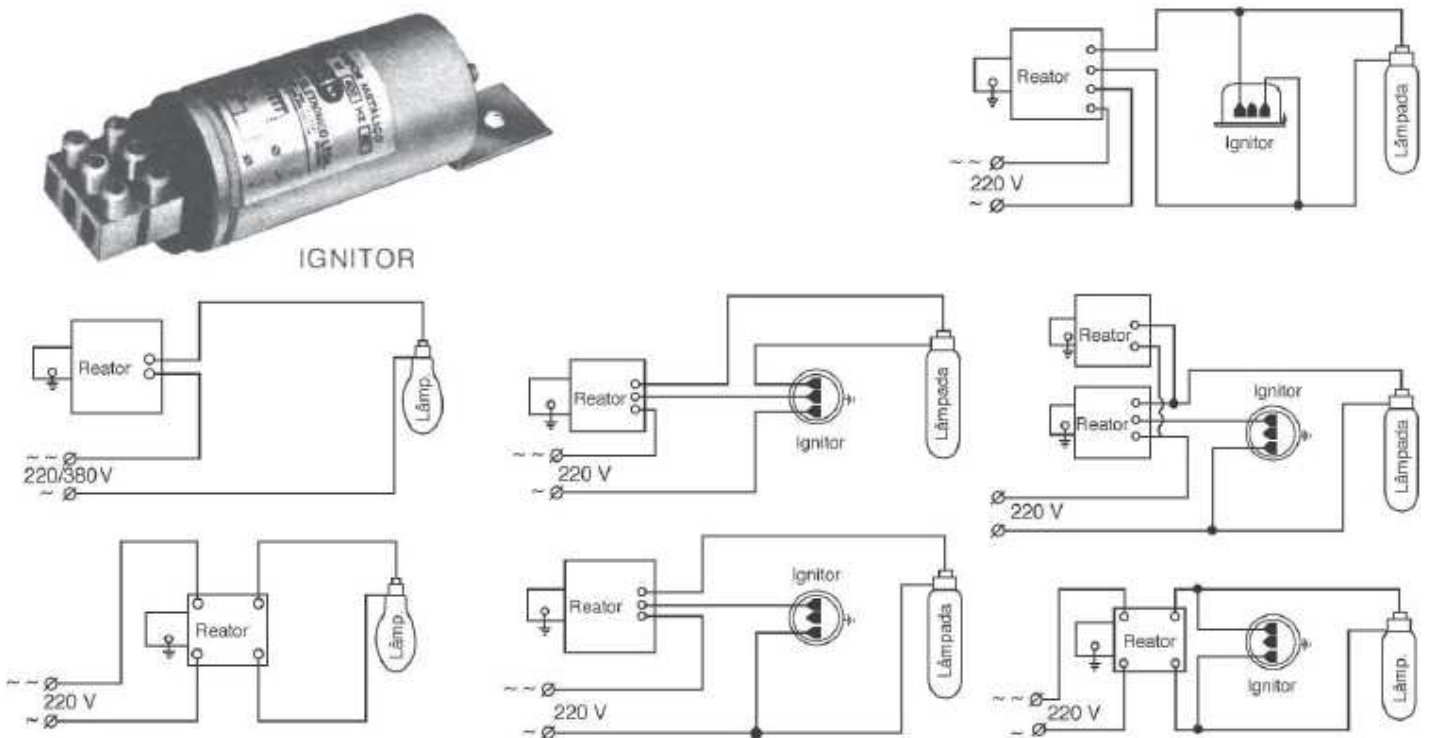
### 13.3.2.4 Características das lâmpadas VM

Como já foi dito, quanto ao bulbo, podemos ter lâmpadas tipo BT (Bulged tubular) e R (refletor).

As potências com que normalmente são fabricadas são: 100, 175, 250, 400, 700 e 1 000 watts.

Quanto à cor da luz emitida, as lâmpadas VM podem ser claras ou de cor corrigida. A cor clara deve ser usada para aplicações em que não haja necessidade de distinguir detalhes, como em iluminação de ruas, postos de gasolina etc.; seu aspecto é azul-esverdeado. Para aplicações industriais e comerciais, há necessidade de corrigir a cor; então, usam-se lâmpadas de cor corrigida, em que o bulbo externo é recoberto com pintura fluorescente (phosphor).

### 13.3.3 Diagramas de ligação de lâmpadas de descarga



Diagramas de ligação de lâmpadas de descarga com equipamento auxiliar.

**Figura 13.15**

### 13.3.4 Lâmpada de luz mista

Combinam a alta eficiência das lâmpadas a vapor de mercúrio com as favoráveis propriedades de cor das fontes de luz com filamento de tungstênio.

A lâmpada é composta de um tubo de descarga a vapor de mercúrio, conectado em série com um filamento de tungstênio, ambos encapsulados por um bulbo ovoide recoberto internamente com uma camada de fosfato de ítrio vanadato. O filamento atua como fonte de luz de cor quente e como limitador de corrente em lugar do reator.

Embora sua eficiência seja inferior à da lâmpada fluorescente, é porém superior à da incandescente. Em geral, é usada quando se deseja melhorar o rendimento da iluminação incandescente, pois não necessita de nenhum equipamento auxiliar: basta colocá-la no lugar da incandescente; porém é preciso que a tensão da rede seja de 220 volts. Sua vida média é igual à da lâmpada incandescente.

São utilizadas na iluminação de interiores e exteriores, como indústrias, galpões, ruas, postos de gasolina, iluminação externa etc.

## 13.4 Outros Tipos de Lâmpadas de Descarga

### 13.4.1 Lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão

As lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão são adequadas para aplicação em ambientes internos e externos. O tubo de descarga é de óxido de alumínio encapsulado por um bulbo de vidro, recoberto internamente por uma camada de pó difusor.

A descarga em alta pressão de sódio possibilita a obtenção de uma alta eficiência luminosa e uma boa aparência de cor branco-dourada. Essa lâmpada possui vida longa, baixa depreciação do fluxo luminoso e operação estável.

A geometria e as características elétricas dessa lâmpada possibilitam sua utilização nos mesmos sistemas ópticos designados para lâmpadas a vapor de mercúrio.

São as lâmpadas que apresentam a melhor eficiência luminosa; por isso, para o mesmo nível de iluminação, podemos economizar mais energia do que em qualquer outro tipo de lâmpada.

Devido às radiações de banda quente, estas lâmpadas apresentam o aspecto de luz branco-dourada, porém permitem a visualização de todas as cores, porque reproduzem todo o espectro. São utilizadas na iluminação de ruas, áreas externas, indústrias cobertas etc.

### 13.4.2 Lâmpadas a multivapor metálico

As lâmpadas a multivapor metálico de alta pressão são adequadas para a aplicação em áreas internas e externas. Operam segundo os mesmos princípios de todas as lâmpadas de descarga, sendo a radiação proporcionada por iodeto de índio, tálio e sódio em adição ao mercúrio.

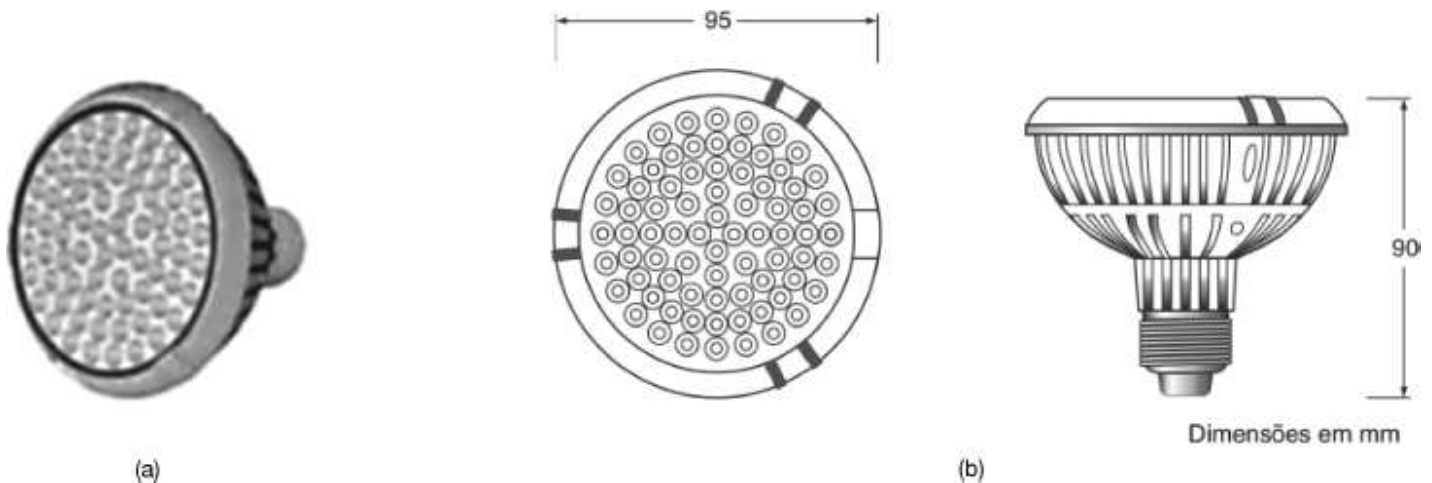
A proporção dos compostos no tubo de descarga resulta em reprodução de cores de muito boa qualidade.

Essas lâmpadas possuem alta eficiência, alto índice de reprodução de cor, baixa depreciação, vida longa e alta confiabilidade.

A lâmpada a multivapor metálico possui uma distribuição espectral especialmente projetada para a obtenção de um excelente sinal às câmaras de televisionamento em cores.

## 13.5 Iluminação de Estado Sólido — LED

Atualmente estão em desenvolvimento as lâmpadas de estado sólido, a geração futura dos já conhecidos LEDs (*light emitting diodes*). Ver Figura 13.16(a), (b) e (c) e a Figura 13.17.



Lâmpada LED 22 W. (Cortesia da Neopos Innovation Lighting Technology.)

Figura 13.16





Halógenas – uso geral	300-2 000 W	Univ.	X	X	X	X	X
Halógenas – decorativa	15-60 W	Univ.	X				
Halógenas – dirigida	20-150 W	Univ.	X	X			
Halógenas – específica	40-250 W	Univ.	X	X	X	X	X
Dicroicas	50 W	Univ.	X				

### Lâmpadas de descarga

			Aplicação								
	Faixa Potência	Pos. Util.	Interno		Externo						
			Residen. Comercial	Industrial	Áreas Comuns	Vias Públicas	Estacion.	Jardins	Fachada Monum.	Área Esporte	
Fluorescente	15-110 W	Univ.	X								
PL	5-23 W	Univ.	X								
Vapor de mercúrio	80-1 000 W	Univ.		X	X	X	X	X	X		
Multivapor metálico	400-2 000 W	Restr.							X	X	
Luz mista	125-500 W	Restr.		X	X	X	X	X			
Vapor de sódio	70-1 000 W	Univ.			X	X	X		X		

A Tabela 13.2 mostra a vida útil em horas e o rendimento em lúmen por watt das diversas lâmpadas.

**Tabela 13.2** Vida útil e rendimento das lâmpadas

	Vida útil (horas)	Rendimento (lm/W)
Incandescente	1 000 a 6 000	10 a 20
Fluorescente	7 500 a 12 000	43 a 84
Vapor de mercúrio	12 000 a 24 000	44 a 63
Multivapor metálico	10 000 a 20 000	69 a 115
Luz mista	6 000 a 8 000	17 a 25
Vapor de sódio	12 000 a 16 000	75 a 105
Sódio de alta pressão	Acima de 24 000	68 a 140

A Tabela 13.3 apresenta os fluxos luminosos emitidos pelas lâmpadas incandescentes, fluorescentes e vapor de mercúrio.

**Tabela 13.3** Valores típicos de fluxo luminoso de lâmpadas

Incandescente		Fluorescente		Vapor de mercúrio	
Potência (watts)	Fluxo luminoso (lumens)	Potência (watts)	Fluxo luminoso (lumens)	Potência (watts)	Fluxo luminoso (lumens)
25	230	20	1 100	80	3 600
40	450	32	2 950*	125	6 300
60	800	40	3 000 3 500*	250	12 700
100	1 500	110	7 800	400	22 000

\*Lâmpada de alto rendimento

## 13.7 Grandezas e Fundamentos de Luminotécnica

Para que possamos fazer os cálculos luminotécnicos, devemos tomar conhecimento das grandezas fundamentais, baseadas nas definições apresentadas pela ABNT NBRISO/CIE 8995-1:2013, pelo IES – The Lighting Handbook – 10ª Edição (2011), e pelo Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, Qualidade e Tecnologia.

### 13.7.1 Luz

É o aspecto da energia radiante que um observador humano constata pela sensação visual, determinado pelo estímulo da retina ocular.

A faixa das radiações eletromagnéticas capazes de serem percebidas pelo olho humano se situa entre os comprimentos de onda 3 800 a 7 600 angströms. O angström, cujo símbolo é Å, é o comprimento de onda unitário e igual a dez milionésimos do milímetro.

O comprimento de onda  $\lambda$ , Figura 13.18, é a distância entre duas cristas sucessivas de uma onda, considerado no gráfico espaço  $\times$  amplitude. O comprimento de onda vezes a frequência é igual à velocidade da luz que é constante e igual a:

$$c = \lambda \times f \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

em que:

$f$  = frequência em ciclos ou Hz;

$c$  = velocidade da luz (300 000 km/s ou  $3 \times 10^8$  m/s);

$\lambda$  = comprimento de onda em m.

Os raios cósmicos são as radiações eletromagnéticas de maior frequência até agora conhecidas, da ordem de  $3 \times 10^{25}$  ciclos por segundo, ou seja, comprimento de onda igual a:

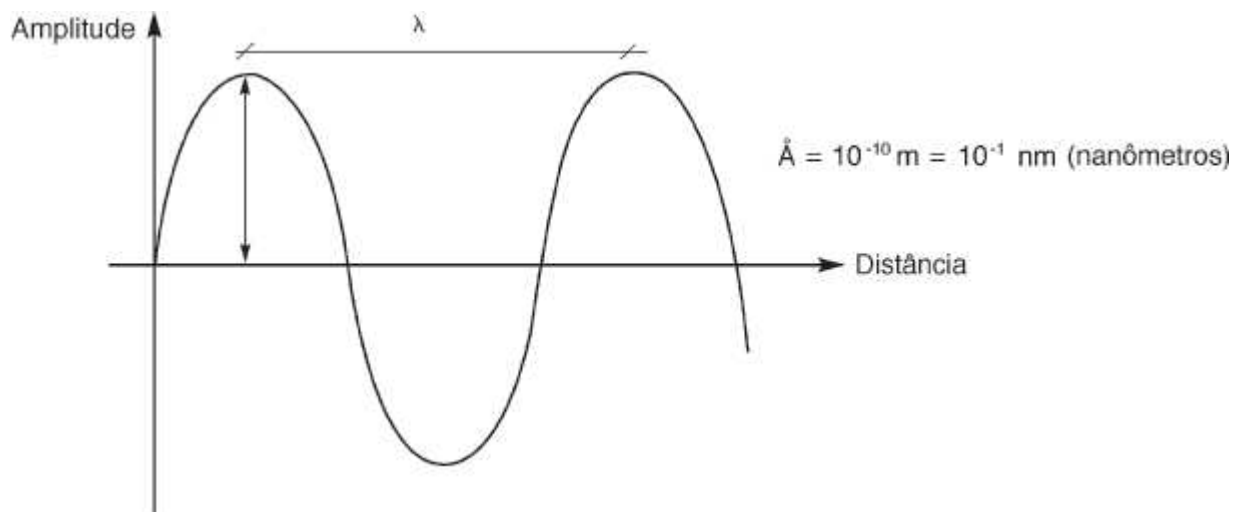
$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^{25}} 10^{-17} \text{ m, ou } 10^{-7} \text{ Å}$$

Para a corrente alternada que usamos em nossas residências,  $f = 60$  c/s; então o comprimento de onda será:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10} = \frac{10^7}{2} \text{ ou } 5000 \text{ km}$$

Para uma estação de rádio em f.m. de 98,8 MHz, o comprimento de onda será:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{98,8 \times 10^6} = 303 \text{ m}$$



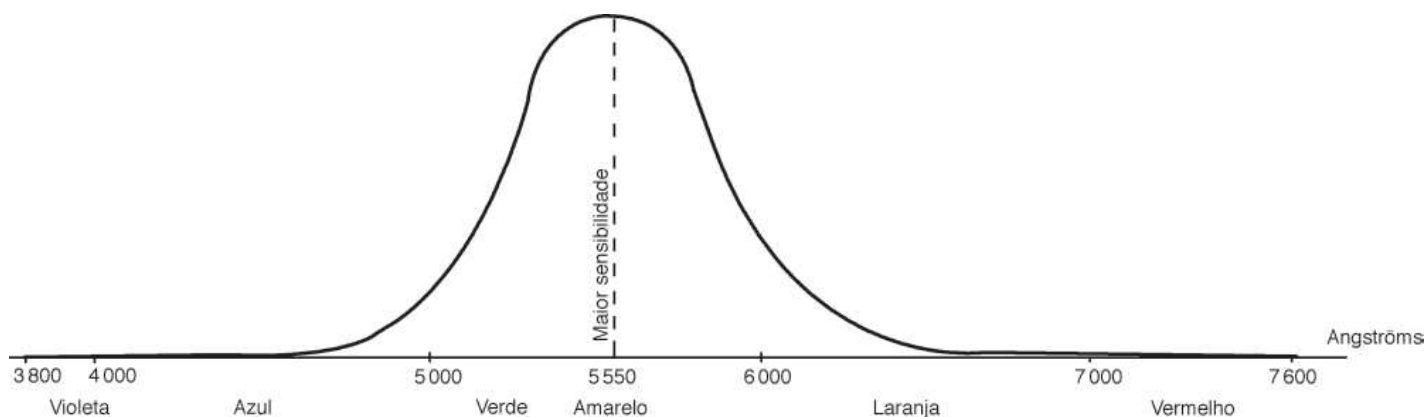
Comprimento de onda.

**Figura 13.18**

### 13.7.2 Cor

A cor da luz é determinada pelo comprimento de onda.

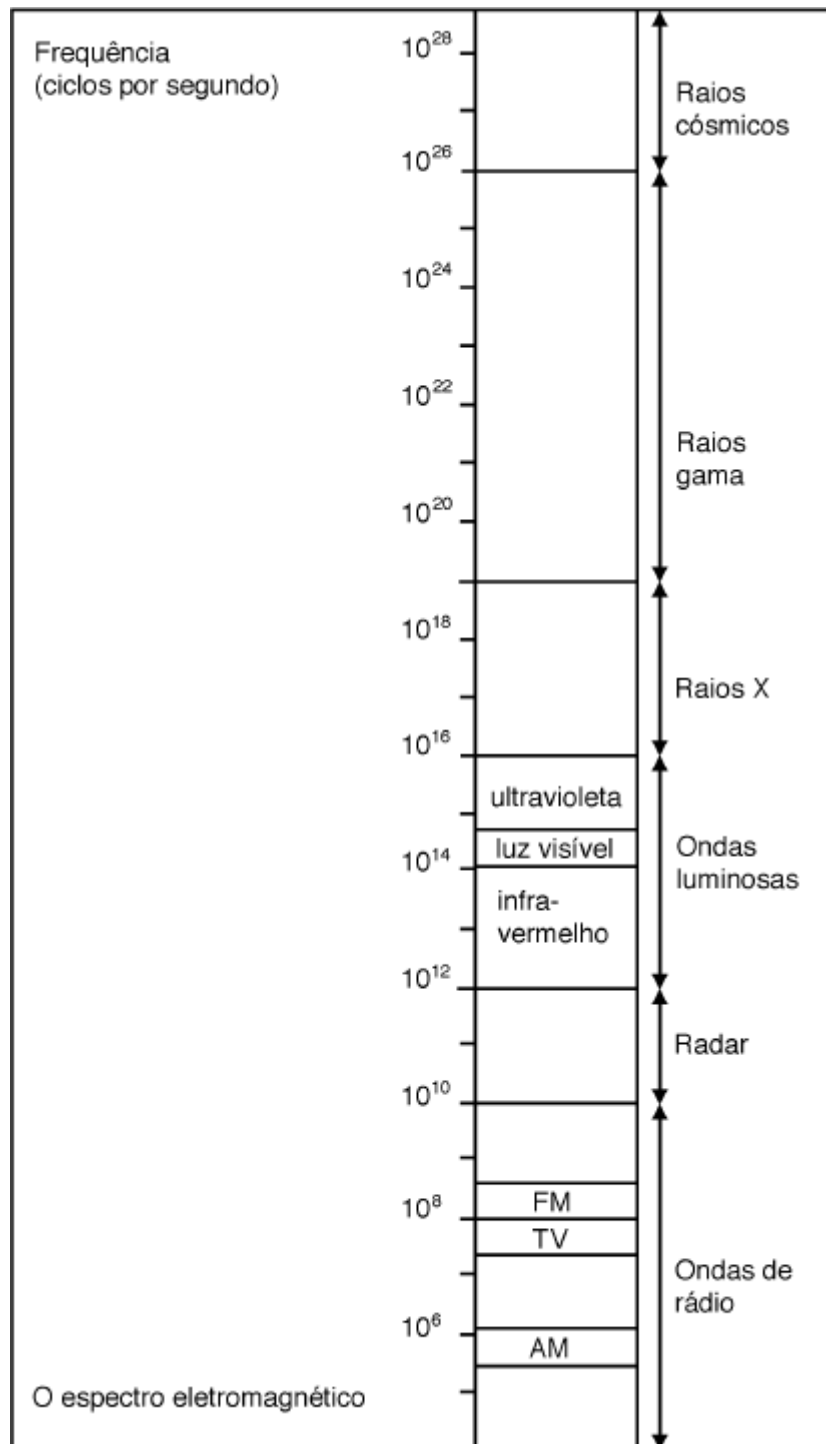
A luz violeta é a de menor comprimento de onda visível do espectro, situada em 3 800 a 4 500 Å, e a luz vermelha é a de maior comprimento de onda visível, entre 6 400 e 7 600 Å. As demais cores se situam conforme a curva da Figura 13.19, onde se vê que o amarelo é a cor que dá a maior sensibilidade visual a 5 550 Å.



Espectro da luz visível em função do comprimento de onda.

**Figura 13.19**

A Figura 13.20 apresenta o espectro eletromagnético em função da frequência.



Espectro eletromagnético em função da frequência (c/s).

Figura 13.20

### 13.7.3 Intensidade luminosa — candela (cd)

É definida como a intensidade luminosa, na direção perpendicular, de uma superfície plana de área igual a  $1/600\,000$  metros quadrados, de um corpo negro à temperatura de fusão da platina, e sob a pressão de  $101\,325$  newtons por metro quadrado (1 atmosfera).

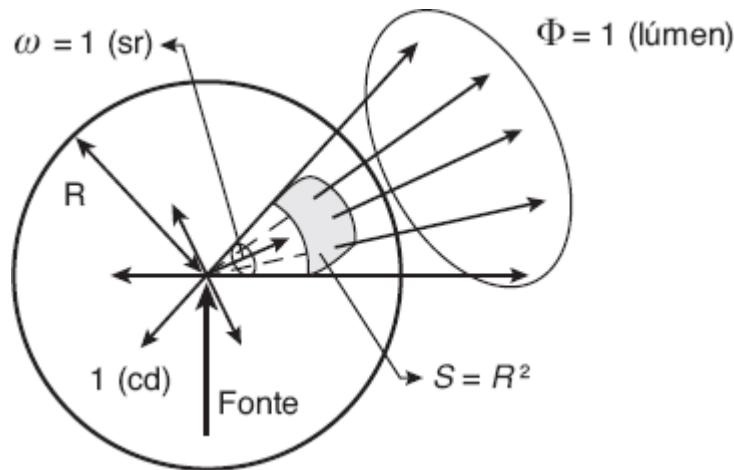
### 13.7.4 Fluxo luminoso — lúmen (lm)

Fluxo luminoso emitido no interior de um ângulo sólido de 1 esferorradiano por uma fonte puntiforme de intensidade invariável e igual a 1 candela, em todas as direções.

Suponhamos, na Figura 13.21, uma esfera de 1 metro de raio, no centro da qual colocamos uma fonte com intensidade de 1 candela, em todas as direções. O ângulo sólido que subentende uma área de  $1\text{ m}^2$  é um esferorradiano. O fluxo emitido no interior deste ângulo sólido é o lúmen.

$$\text{Área de esfera} = 4\pi R^2 = 12,56 R^2$$

Como em cada  $\text{m}^2$  da superfície desta esfera temos o fluxo de 1 lúmen, o fluxo total recebido será de 12,56 lumens.



Definição de lúmen.

**Figura 13.21**

### 13.7.5 Iluminância — lux (lx)

Iluminância, anteriormente chamada de iluminamento, é definida como a relação entre o fluxo luminoso, em lumens, que incide perpendicularmente sobre uma superfície plana, pela área dessa superfície em  $\text{m}^2$ . Ou seja:

$$E = \frac{\phi}{A}$$

$E$  = iluminância – lux

$\phi$  = fluxo luminoso – lúmen

$A$  = área –  $\text{m}^2$

Para uma superfície plana, de área igual a  $1 \text{ m}^2$  que recebe, na direção perpendicular, um fluxo luminoso igual a 1 lúmen, uniformemente distribuído, a iluminância é de:

$$E = \frac{1 \text{ lúmen}}{1 \text{ m}^2} = 1 \text{ lux ou } 1 \text{ lx}$$

### 13.7.6 Luminância — $\text{cd}/\text{m}^2$ ou nit

É a luminância, em uma determinada direção, de uma fonte de área emissiva igual a  $1 \text{ m}^2$ , com intensidade luminosa, na mesma direção, de 1 candela.

### 13.7.7 Eficiência luminosa — $\text{lm}/\text{W}$

É a relação dos lumens emitidos pela lâmpada para cada watt consumido.

### 13.7.8 Curva de distribuição luminosa

É a maneira pela qual os fabricantes de luminárias representam a distribuição da intensidade luminosa nas diferentes direções. Trata-se de um diagrama polar, em que a luminária é reduzida a um ponto no centro do diagrama, no qual as intensidades luminosas, em função do ângulo formado com a vertical, são medidas e registradas. Como o fluxo inicial das lâmpadas depende do tipo escolhido, as curvas de distribuição luminosa são feitas, normalmente, para 1 000 lumens. Para outros valores do fluxo, basta multiplicar por sua relação a 1 000 lumens (ver o exemplo no final da Figura 13.24).

## 13.8 Métodos de Cálculo para Projetos de Iluminação

Dois métodos de cálculo, apresentados pelo IES, são comumente utilizados para os projetos de iluminação de áreas de trabalho:

- método dos lumens;
- método do ponto a ponto.

Existem no mercado, para execução dos cálculos para projetos de iluminação, diversos programas computacionais de uso livre (DIALux, CALCULUX etc.) e de uso proprietário (AGI 32, entre outros).

Neste item, para fins didáticos e para desenvolvimento de projetos de pequeno porte de maneira expedita, apresentamos uma metodologia resumida dos métodos de cálculo acima indicados.

### 13.8.1 Definições para projeto

Em complementação às definições apresentadas no item 13.7, e de acordo com as referências citadas, a seguir são apresentadas definições importantes para o desenvolvimento dos projetos.

**Área da tarefa:** A área parcial em um local de trabalho no qual a tarefa visual está localizada e é realizada.

**Entorno imediato:** Uma zona de no mínimo 0,5 m de largura ao redor da área da tarefa dentro do campo de visão.

**Iluminância mantida ( $E_m$ ):** Valor abaixo do qual não convém que a iluminância média da superfície especificada seja reduzida.

**Plano de trabalho:** Superfície de referência definida como o plano no qual o trabalho é habitualmente realizado.

### 13.8.2 Critérios para projetos de iluminação

#### 13.8.2.1 Iluminação do ambiente

Uma boa iluminação do local de trabalho não é apenas para fornecer uma boa visualização da tarefa a ser realizada. É importante que as tarefas sejam realizadas facilmente e com conforto visual. Desta forma a iluminação deve satisfazer os aspectos quantitativos e qualitativos exigidos para a atividade.

Em geral a iluminação deve assegurar:

- conforto visual;
- a realização das tarefas de forma rápida e precisa, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos.

Para tanto, é preciso atentar para, entre outros, os seguintes parâmetros:

- escolher o nível de iluminância mantida ( $E_m$ ) de acordo com a Tabela 13.4;
- fazer uma distribuição adequada da luminância;
- limitar o ofuscamento;
- avaliar manutenção;
- avaliar a luz natural.

**Tabela 13.4** Nível de iluminância mantida  $E_m$  para algumas atividades – NBR ISO/CIE 8995-1:2013

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$E_m$ lux	Observações
<b>1. Áreas gerais da edificação</b>		
Saguão de entrada	100	Nas entradas e saídas, estabelecer uma zona de
Área de circulação e corredores	100	transição, a fim de evitar mudanças bruscas.
<b>2. Padarias</b>		
Preparação e fornada	300	
Acabamento, decoração	500	

### 3. Indústria de alimentos

Corte e triagem de frutas e verduras	300
Fabricação de alimentos finos	500

### 4. Cabeleireiros

Cabeleireiro	500
--------------	-----

### 5. Subestações

Salas de controle	500
-------------------	-----

### 6. Marcenaria e indústria de móveis

Polimento, pintura, marcenaria de acabamento	750
Trabalho em máquinas de marcenaria	500

### 7. Indústria elétrica

Montagem média, por exemplo, quadros de distribuição	500
Montagem fina, por exemplo, telefone	750
Montagem de precisão, por exemplo, equipamentos de medição	1 000
Oficinas eletrônicas, ensaios, ajustes	1 500

### 8. Escritórios

Arquivamento, cópia, circulação etc.	300
Escrever, teclar, ler, processar dados	500
Estações de projeto por computador	500

### 9. Restaurantes e hotéis

Recepção/caixa/portaria	300
Restaurante, sala de jantar, sala de eventos	200
Restaurante <i>self-service</i>	200
Sala de conferência	500

### 10. Bibliotecas

Estantes	200
Área de leitura	500

### 11. Construções educacionais

Salas de aula	300
Salas de aulas noturnas, classes e educação de adultos	500
Quadro-negro	500
Salas de desenho técnico	750
Sala de aplicação e laboratórios	500
Salas dos professores	300

### 12. Locais de assistência médica

Salas de espera	200
Salas de exame em geral	500
Salas de gesso	500

$E_m = 10\ 000\ \text{lux} - 100\ 000\ \text{lux}$



Sala de cirurgia	1 000
Cavidade cirúrgica	Especial

### 13. Locais para celebração de cultos religiosos

Corpo do local	100
Cadeira, altar, púlpito	300

#### Notas:

1. A iluminância mantida necessária ao ambiente de trabalho pode ser reduzida quando:
  - os detalhes da tarefa são de um tamanho excepcionalmente grande ou de alto contraste;
  - a tarefa é realizada em um tempo excepcionalmente curto.
2. Em áreas de trabalho contínuo, a iluminância mantida não pode ser inferior a 200 lux.

Além desses parâmetros, devemos observar que as luminâncias de todas as superfícies são importantes e são determinadas pela refletância e pela iluminância nas superfícies. As faixas de refletâncias úteis para as superfícies internas mais importantes são:

- teto: 0,6-0,9
- paredes: 0,3-0,8
- planos de trabalho: 0,2-0,6
- piso: 0,1-0,5

É importante avaliar a uniformidade da iluminância, entendendo que a uniformidade da iluminância é a relação entre o valor mínimo e o valor médio da iluminância. A uniformidade da iluminância na tarefa não pode ser menor que 0,7. A uniformidade da iluminância no entorno imediato não pode ser inferior a 0,5.

A iluminância do entorno imediato deve estar de acordo com a Tabela 13.5.

**Tabela 13.5** Valores de iluminância no entorno imediato – NBR ISO/CIE 8995-1:2013

Iluminância da tarefa (lux)	Iluminância do entorno imediato (lux)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	Mesma iluminância da área de tarefa

#### 13.8.3 Método dos lumens

O método dos lumens consiste na determinação do fluxo luminoso total –  $\phi$ , necessário para atender ao nível de iluminância adequado para a atividade a ser executada no ambiente. Para tanto, devemos atender as etapas apresentadas a seguir.

$$\phi = \frac{S \times E_m}{u \times d} \quad e \quad n = \frac{\phi}{\varphi}$$

em que:

$\phi$  = fluxo luminoso total, em lumens;

$S$  = área do recinto, em metros quadrados;

$E_m$  = nível de iluminância mantida, em luxes (Tabela 13.4);

$u$  = fator de utilização ou coeficiente de utilização (Tabela 13.6);

$d$  = fator de depreciação ou de manutenção (Tabela 13.9);

$n$  = número de luminárias;

$\varphi$  = fluxo por luminárias, em lumens.

### Seleção da Iluminância Mantida ( $E_m$ )

Selecionamos a iluminância mantida ( $E_m$ ) a partir da atividade a ser exercida dentro do ambiente, de acordo com a Tabela 13.4.

### Escolha da Luminária e da(s) Lâmpada(s)

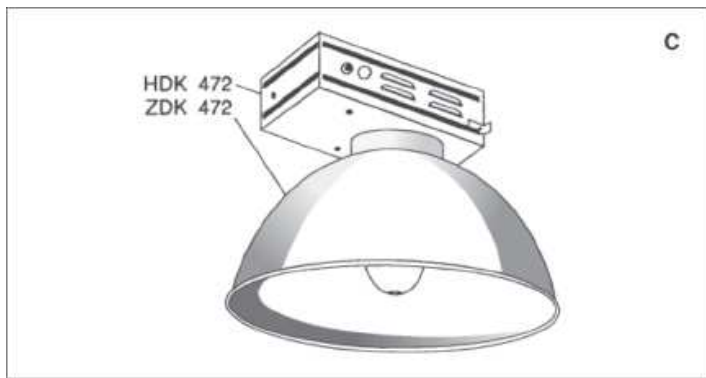
Esta etapa depende de diversos fatores, tais como: objetivo da instalação (comercial, industrial, domiciliar etc.), fatores econômicos, razões da decoração, facilidade de manutenção etc.

Para esse objetivo, torna-se indispensável a consulta de catálogos dos fabricantes.

A fim de tornar mais objetivo nosso estudo, transcreveremos a Tabela 13.6, da Philips, com as quais apresentaremos, adiante, um exemplo de cálculo de iluminância.

**Tabela 13.6** Coeficientes de utilização

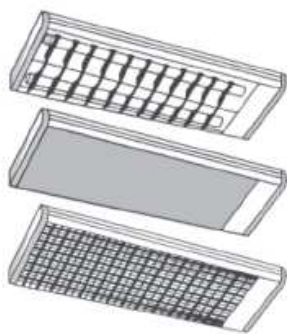
HDK 472 c/ ZDK 472 – HPL-N 250W										SDK 472 c/ ZDK 472 – SON 400W									
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS									ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000		751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,47	0,43	0,40	0,46	0,42	0,40	0,42	0,40	0,38	0,60	0,39	0,35	0,32	0,39	0,35	0,32	0,35	0,32	0,31
0,80	0,54	0,50	0,47	0,53	0,49	0,47	0,49	0,46	0,45	0,80	0,46	0,42	0,39	0,45	0,42	0,39	0,41	0,39	0,38
1,00	0,59	0,55	0,53	0,58	0,55	0,52	0,54	0,52	0,51	1,00	0,51	0,47	0,45	0,50	0,47	0,44	0,47	0,44	0,43
1,25	0,64	0,60	0,58	0,63	0,60	0,57	0,59	0,57	0,56	1,25	0,56	0,52	0,50	0,55	0,52	0,49	0,51	0,49	0,48
1,50	0,67	0,64	0,61	0,66	0,63	0,61	0,62	0,60	0,59	1,50	0,59	0,56	0,53	0,58	0,55	0,53	0,54	0,52	0,51
2,00	0,71	0,69	0,67	0,70	0,68	0,66	0,67	0,66	0,64	2,00	0,63	0,61	0,59	0,62	0,60	0,58	0,59	0,57	0,56
2,50	0,74	0,72	0,70	0,72	0,71	0,69	0,70	0,69	0,67	2,50	0,65	0,63	0,62	0,64	0,62	0,61	0,62	0,60	0,59
3,00	0,75	0,74	0,72	0,74	0,73	0,71	0,72	0,71	0,69	3,00	0,67	0,65	0,64	0,66	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61
4,00	0,77	0,76	0,74	0,76	0,74	0,73	0,73	0,72	0,71	4,00	0,69	0,67	0,66	0,67	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63
5,00	0,78	0,77	0,76	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,72	5,00	0,70	0,68	0,67	0,68	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64



SDK 472 c/ ZDK 473 – SON 150WTS										HDK 475 c/ ZDK 475 – HPL-N 250W									
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS									ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000		751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,52	0,48	0,45	0,51	0,48	0,45	0,47	0,45	0,44	0,60	0,34	0,29	0,25	0,34	0,28	0,25	0,28	0,25	0,23
0,80	0,58	0,54	0,51	0,57	0,53	0,51	0,53	0,51	0,50	0,80	0,42	0,36	0,32	0,41	0,36	0,32	0,35	0,32	0,30
1,00	0,62	0,59	0,56	0,61	0,58	0,56	0,58	0,56	0,54	1,00	0,48	0,43	0,38	0,47	0,42	0,38	0,41	0,38	0,36
1,25	0,66	0,63	0,61	0,65	0,62	0,60	0,62	0,60	0,59	1,25	0,54	0,48	0,44	0,52	0,48	0,44	0,47	0,44	0,42
1,50	0,69	0,66	0,64	0,68	0,65	0,63	0,65	0,63	0,62	1,50	0,58	0,53	0,49	0,56	0,52	0,49	0,51	0,48	0,46
2,00	0,73	0,71	0,69	0,72	0,70	0,68	0,69	0,68	0,66	2,00	0,63	0,59	0,56	0,62	0,58	0,55	0,57	0,55	0,53
2,50	0,76	0,74	0,72	0,74	0,73	0,71	0,72	0,71	0,69	2,50	0,67	0,64	0,61	0,65	0,62	0,60	0,61	0,59	0,57
3,00	0,77	0,76	0,74	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73	0,71	3,00	0,70	0,66	0,64	0,68	0,65	0,63	0,64	0,62	0,60
4,00	0,79	0,78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,75	0,75	0,73	4,00	0,72	0,70	0,68	0,71	0,69	0,67	0,67	0,66	0,64
5,00	0,80	0,79	0,78	0,78	0,78	0,77	0,76	0,76	0,74	5,00	0,74	0,72	0,70	0,72	0,71	0,69	0,69	0,68	0,66



HDK 475 c/ZDK 475 – SON 400W										TCS 029-D – 2 TLD 16W									
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS									ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000		751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,34	0,28	0,24	0,33	0,28	0,24	0,28	0,24	0,23	0,60	0,27	0,33	0,20	0,26	0,22	0,19	0,22	0,19	0,18
0,80	0,42	0,36	0,32	0,41	0,36	0,32	0,35	0,31	0,30	0,80	0,33	0,28	0,25	0,32	0,28	0,25	0,27	0,24	0,23
1,00	0,48	0,42	0,38	0,47	0,42	0,38	0,41	0,37	0,36	1,00	0,37	0,33	0,30	0,36	0,32	0,29	0,32	0,29	0,27
1,25	0,54	0,48	0,44	0,52	0,48	0,44	0,47	0,43	0,42	1,25	0,41	0,37	0,34	0,40	0,37	0,34	0,36	0,33	0,32
1,50	0,58	0,53	0,49	0,56	0,52	0,48	0,51	0,48	0,46	1,50	0,45	0,41	0,38	0,43	0,40	0,37	0,39	0,37	0,35
2,00	0,64	0,60	0,56	0,62	0,59	0,56	0,58	0,55	0,53	2,00	0,49	0,46	0,43	0,48	0,45	0,42	0,44	0,42	0,40
2,50	0,68	0,64	0,61	0,66	0,63	0,60	0,62	0,59	0,57	2,50	0,52	0,49	0,47	0,50	0,48	0,46	0,47	0,45	0,43
3,00	0,70	0,67	0,64	0,69	0,66	0,63	0,65	0,63	0,61	3,00	0,54	0,51	0,49	0,52	0,50	0,48	0,49	0,47	0,46
4,00	0,73	0,71	0,68	0,72	0,69	0,67	0,68	0,66	0,64	4,00	0,56	0,54	0,52	0,55	0,53	0,51	0,52	0,50	0,48
5,00	0,75	0,73	0,71	0,74	0,72	0,70	0,70	0,69	0,67	5,00	0,58	0,56	0,54	0,56	0,55	0,53	0,53	0,52	0,50



G



H

**FCS 029 – 2 PL\* 11W**

**TMS 500 – 1 TL 20W**

ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,30	0,26	0,23	0,29	0,26	0,23	0,25	0,23	0,22
0,80	0,36	0,32	0,29	0,35	0,31	0,29	0,31	0,28	0,27
1,00	0,41	0,37	0,33	0,40	0,36	0,33	0,36	0,33	0,32
1,25	0,45	0,41	0,38	0,44	0,40	0,38	0,40	0,37	0,36
1,50	0,48	0,44	0,42	0,47	0,44	0,41	0,43	0,41	0,39
2,00	0,52	0,49	0,47	0,51	0,48	0,46	0,48	0,46	0,44
2,50	0,55	0,52	0,50	0,54	0,51	0,50	0,51	0,49	0,48
3,00	0,57	0,55	0,53	0,55	0,54	0,52	0,53	0,51	0,50
4,00	0,59	0,57	0,55	0,58	0,56	0,55	0,55	0,54	0,52
5,00	0,60	0,59	0,57	0,59	0,57	0,56	0,56	0,55	0,54

ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,31	0,24	0,19	0,28	0,22	0,18	0,20	0,16	0,13
0,80	0,38	0,31	0,26	0,35	0,28	0,24	0,26	0,22	0,17
1,00	0,44	0,37	0,31	0,40	0,34	0,29	0,30	0,26	0,21
1,25	0,50	0,43	0,37	0,45	0,39	0,34	0,35	0,31	0,26
1,50	0,54	0,47	0,42	0,49	0,43	0,38	0,39	0,35	0,29
2,00	0,61	0,54	0,49	0,55	0,50	0,45	0,45	0,41	0,35
2,50	0,65	0,59	0,54	0,59	0,54	0,50	0,49	0,46	0,39
3,00	0,68	0,63	0,58	0,62	0,58	0,54	0,52	0,49	0,42
4,00	0,72	0,68	0,64	0,66	0,62	0,59	0,57	0,54	0,46
5,00	0,75	0,71	0,68	0,68	0,65	0,62	0,60	0,57	0,49



I



J

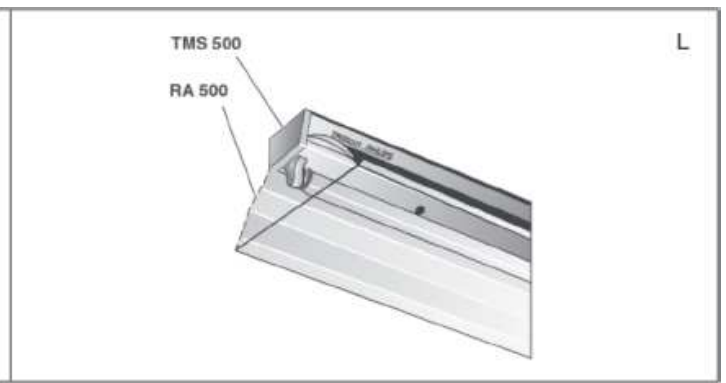
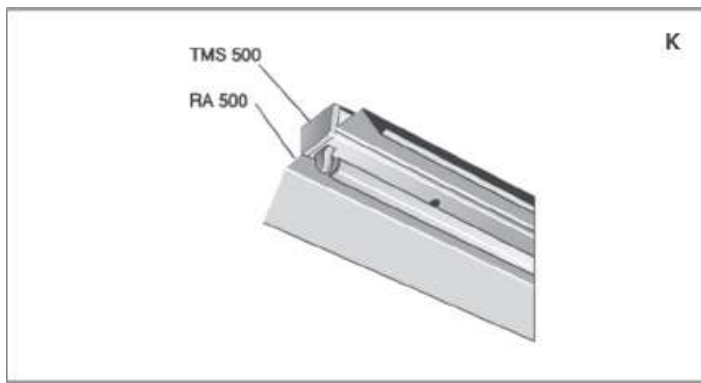
**TMS 500 – 2 TLD 32W**

**TMS 500 c/ RN 500 – 1 TLD 16W**

ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,33	0,26	0,21	0,30	0,24	0,19	0,22	0,18	0,14
0,80	0,40	0,33	0,27	0,37	0,30	0,25	0,28	0,23	0,19
1,00	0,46	0,39	0,33	0,42	0,36	0,31	0,33	0,28	0,23
1,25	0,52	0,45	0,39	0,47	0,41	0,36	0,38	0,33	0,28
1,50	0,57	0,50	0,44	0,52	0,46	0,41	0,42	0,38	0,31
2,00	0,64	0,57	0,52	0,58	0,52	0,48	0,48	0,44	0,37
2,50	0,68	0,62	0,57	0,62	0,57	0,53	0,52	0,49	0,42
3,00	0,71	0,66	0,62	0,65	0,61	0,57	0,56	0,52	0,45
4,00	0,76	0,71	0,67	0,69	0,66	0,62	0,50	0,57	0,49
5,00	0,79	0,75	0,71	0,72	0,69	0,66	0,63	0,61	0,52

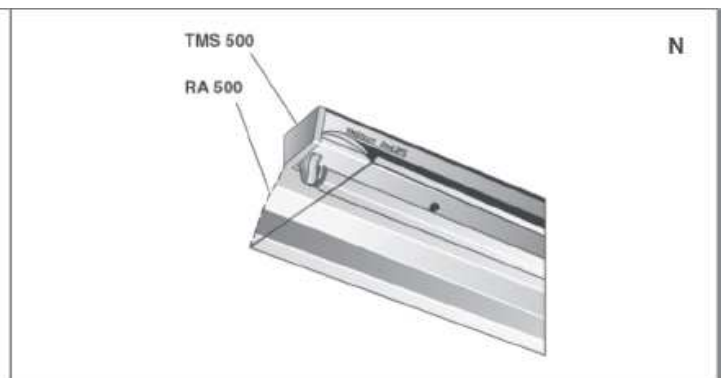
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,34	0,27	0,22	0,32	0,26	0,22	0,26	0,22	0,20
0,80	0,41	0,35	0,29	0,40	0,34	0,29	0,33	0,29	0,27
1,00	0,48	0,41	0,35	0,46	0,40	0,35	0,39	0,35	0,33
1,25	0,54	0,47	0,42	0,52	0,46	0,41	0,45	0,41	0,39
1,50	0,58	0,52	0,47	0,56	0,51	0,46	0,50	0,46	0,43
2,00	0,65	0,60	0,55	0,63	0,58	0,54	0,57	0,53	0,51
2,50	0,70	0,65	0,61	0,67	0,63	0,60	0,62	0,59	0,57
3,00	0,73	0,69	0,65	0,70	0,67	0,64	0,66	0,63	0,60
4,00	0,77	0,74	0,70	0,75	0,72	0,69	0,70	0,68	0,66
5,00	0,80	0,77	0,74	0,77	0,75	0,72	0,73	0,71	0,69





TMS 500 c/ RA 500 – 1 TLD 32W									
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,44	0,38	0,34	0,43	0,38	0,34	0,38	0,34	0,33
0,80	0,52	0,46	0,42	0,51	0,46	0,42	0,45	0,42	0,40
1,00	0,59	0,53	0,49	0,57	0,52	0,49	0,52	0,48	0,46
1,25	0,64	0,59	0,55	0,63	0,58	0,55	0,58	0,54	0,52
1,50	0,69	0,64	0,60	0,67	0,63	0,59	0,62	0,59	0,57
2,00	0,75	0,71	0,67	0,73	0,70	0,67	0,69	0,66	0,64
2,50	0,79	0,75	0,72	0,77	0,74	0,71	0,73	0,71	0,69
3,00	0,81	0,78	0,76	0,79	0,77	0,75	0,76	0,74	0,72
4,00	0,84	0,82	0,80	0,82	0,80	0,79	0,79	0,78	0,75
5,00	0,86	0,84	0,82	0,84	0,82	0,81	0,81	0,80	0,77

TMS 500 – 2 TLD 16W									
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,31	0,25	0,21	0,27	0,22	0,18	0,19	0,16	0,12
0,80	0,39	0,32	0,27	0,33	0,28	0,24	0,24	0,21	0,15
1,00	0,44	0,38	0,33	0,38	0,33	0,29	0,29	0,25	0,19
1,25	0,50	0,44	0,39	0,43	0,38	0,34	0,33	0,30	0,22
1,50	0,54	0,48	0,43	0,47	0,42	0,38	0,36	0,33	0,25
2,00	0,60	0,55	0,50	0,52	0,48	0,44	0,41	0,38	0,29
2,50	0,64	0,60	0,55	0,56	0,52	0,49	0,45	0,42	0,32
3,00	0,67	0,63	0,59	0,58	0,55	0,52	0,47	0,45	0,34
4,00	0,71	0,67	0,64	0,62	0,59	0,56	0,51	0,49	0,37
5,00	0,73	0,70	0,67	0,64	0,61	0,59	0,53	0,51	0,39

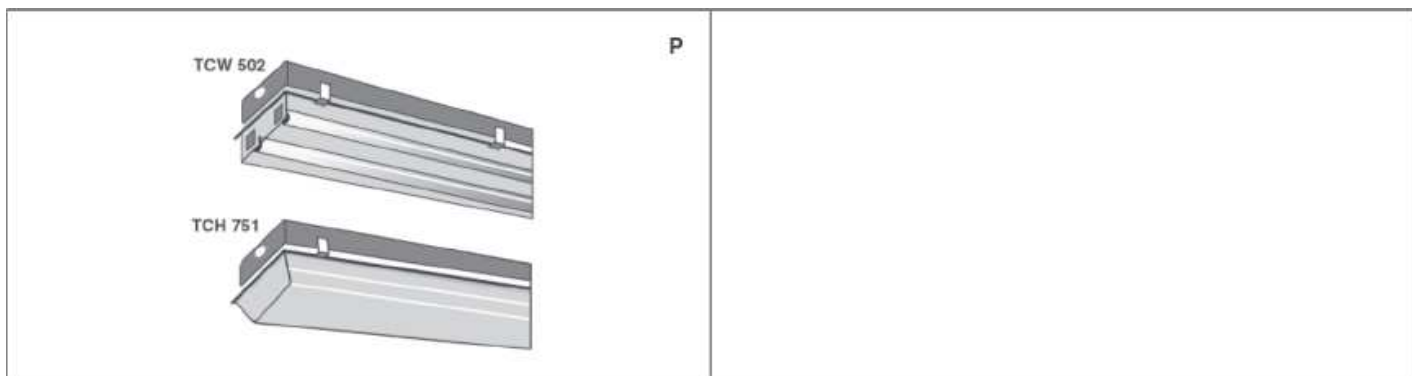


TMS 500 – 2 TLD 32W									
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,31	0,25	0,20	0,27	0,22	0,18	0,19	0,16	0,11
0,80	0,38	0,32	0,27	0,33	0,28	0,24	0,24	0,21	0,15
1,00	0,44	0,37	0,32	0,38	0,33	0,29	0,28	0,25	0,18
1,25	0,49	0,43	0,38	0,42	0,37	0,34	0,32	0,29	0,22
1,50	0,53	0,47	0,43	0,46	0,41	0,37	0,35	0,32	0,34
2,00	0,59	0,54	0,50	0,51	0,47	0,44	0,40	0,38	0,28
2,50	0,63	0,58	0,54	0,55	0,51	0,48	0,44	0,41	0,31
3,00	0,66	0,62	0,58	0,57	0,54	0,51	0,46	0,44	0,34
4,00	0,69	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55	0,50	0,48	0,36
5,00	0,72	0,69	0,66	0,62	0,60	0,58	0,52	0,50	0,38

TMS 500 c/ RN 500 – 2 TLD 16W									
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,32	0,26	0,23	0,31	0,26	0,23	0,26	0,22	0,21
0,80	0,39	0,33	0,29	0,38	0,33	0,29	0,32	0,29	0,27
1,00	0,44	0,39	0,35	0,43	0,38	0,35	0,38	0,34	0,33
1,25	0,49	0,44	0,41	0,48	0,44	0,40	0,43	0,40	0,38
1,50	0,53	0,48	0,45	0,51	0,48	0,44	0,47	0,44	0,42
2,00	0,58	0,54	0,51	0,57	0,54	0,51	0,53	0,50	0,48
2,50	0,62	0,58	0,56	0,60	0,57	0,55	0,56	0,54	0,52
3,00	0,64	0,61	0,59	0,63	0,60	0,58	0,59	0,57	0,55
4,00	0,67	0,65	0,63	0,65	0,63	0,62	0,62	0,61	0,59
5,00	0,69	0,67	0,65	0,67	0,65	0,64	0,64	0,63	0,61



TMS 500 c/ RN 500 – 2 TL 65W										TCW 502 – 2 TL 40W									
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS									ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000		751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,29	0,25	0,21	0,29	0,24	0,21	0,24	0,21	0,20	0,60	0,23	0,19	0,15	0,22	0,18	0,15	0,17	0,14	0,13
0,80	0,36	0,31	0,27	0,35	0,30	0,27	0,30	0,27	0,25	0,80	0,29	0,24	0,20	0,27	0,33	0,19	0,22	0,19	0,17
1,00	0,41	0,36	0,32	0,40	0,35	0,32	0,35	0,32	0,30	1,00	0,33	0,28	0,24	0,31	0,27	0,23	0,26	0,23	0,26
1,25	0,45	0,41	0,37	0,44	0,40	0,37	0,39	0,37	0,35	1,25	0,37	0,32	0,28	0,35	0,31	0,28	0,30	0,27	0,24
1,50	0,49	0,44	0,41	0,47	0,44	0,41	0,43	0,40	0,39	1,50	0,40	0,36	0,32	0,38	0,34	0,31	0,33	0,30	0,27
2,00	0,54	0,50	0,47	0,52	0,49	0,47	0,48	0,46	0,44	2,00	0,45	0,41	0,37	0,43	0,39	0,36	0,38	0,35	0,32
2,50	0,57	0,54	0,51	0,55	0,53	0,50	0,52	0,50	0,48	2,50	0,48	0,45	0,41	0,46	0,43	0,40	0,41	0,39	0,36
3,00	0,59	0,54	0,54	0,58	0,55	0,53	0,54	0,53	0,51	3,00	0,51	0,47	0,44	0,48	0,45	0,43	0,43	0,41	0,38
4,00	0,62	0,59	0,57	0,60	0,58	0,57	0,57	0,56	0,54	4,00	0,53	0,51	0,48	0,51	0,49	0,46	0,46	0,45	0,42
5,00	0,63	0,61	0,60	0,62	0,60	0,59	0,59	0,58	0,56	5,00	0,55	0,53	0,51	0,53	0,51	0,49	0,49	0,47	0,44



TCH 751 – 2 TL 40W										TCH 751 – 4 TL 40W									
ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS									ÍNDICE DO LOCAL K	REFLETÂNCIAS								
	751	731	711	551	531	511	331	311	000		751	731	711	551	531	511	331	311	000
0,60	0,27	0,21	0,17	0,26	0,21	0,17	0,20	0,17	0,15	0,60	0,24	0,19	0,16	0,23	0,19	0,16	0,18	0,16	0,14
0,80	0,33	0,27	0,23	0,31	0,26	0,22	0,25	0,22	0,20	0,80	0,29	0,24	0,21	0,28	0,24	0,21	0,23	0,29	0,19
1,00	0,37	0,32	0,28	0,36	0,31	0,27	0,30	0,26	0,24	1,00	0,33	0,29	0,25	0,32	0,28	0,25	0,27	0,24	0,23
1,25	0,42	0,37	0,32	0,40	0,35	0,32	0,34	0,31	0,29	1,25	0,37	0,33	0,30	0,36	0,32	0,29	0,31	0,28	0,27
1,50	0,46	0,41	0,36	0,44	0,39	0,35	0,38	0,35	0,32	1,50	0,40	0,36	0,33	0,39	0,35	0,32	0,34	0,32	0,30
2,00	0,51	0,46	0,43	0,49	0,45	0,41	0,43	0,40	0,38	2,00	0,45	0,41	0,38	0,43	0,40	0,37	0,39	0,37	0,34
2,50	0,55	0,56	0,47	0,52	0,49	0,46	0,47	0,44	0,42	2,50	0,48	0,45	0,42	0,46	0,43	0,41	0,42	0,40	0,38
3,00	0,57	0,53	0,50	0,55	0,51	0,49	0,50	0,47	0,44	3,00	0,50	0,47	0,44	0,48	0,46	0,43	0,44	0,42	0,40
4,00	0,60	0,57	0,54	0,58	0,55	0,53	0,53	0,51	0,48	4,00	0,52	0,50	0,48	0,50	0,48	0,47	0,47	0,45	0,43
5,00	0,62	0,60	0,57	0,60	0,58	0,55	0,56	0,54	0,51	5,00	0,54	0,52	0,50	0,52	0,50	0,49	0,49	0,47	0,45

### Determinação do Índice do Local

Este índice relaciona as dimensões do recinto, comprimento, largura e altura de montagem, ou seja, altura da luminária em relação ao plano do trabalho de acordo com o tipo de iluminação (direta, semidireta, indireta e semi-indireta). É dado por

$$k = \frac{cl}{h_m(c + l)}$$

em que:

$c$  = comprimento do local;

$l$  = largura do local;

$h_m$  = altura de montagem da luminária (distância da fonte de luz ao plano de trabalho ou distância do teto ao plano de trabalho).

### Determinação do Coeficiente de Utilização

De posse do índice do local, estamos em condições de achar o coeficiente de utilização. Este coeficiente relaciona o fluxo luminoso inicial emitido pela luminária (fluxo total) e o fluxo recebido no plano de trabalho (fluxo útil); por isso, o coeficiente depende das dimensões do local, da cor do teto, das paredes e do acabamento das luminárias.

Para encontrar o coeficiente de utilização, precisamos entrar na tabela com a refletância dos tetos, paredes e pisos. A refletância é dada pela Tabela 13.7, a seguir:

**Tabela 13.7** Índice de reflexão típica

Índice	Reflexão	Significado
1	10 %	Superfície escura
3	30 %	Superfície média
5	50 %	Superfície clara
7	70 %	Superfície branca

Exemplo de aplicação da tabela:

A refletância 571 significa que:

- o teto tem superfície clara;
- a parede é branca;
- o piso é escuro.

### Determinação do Fator de Manutenção de Referência

Este fator, também chamado fator de manutenção, relaciona o fluxo emitido no fim do período de manutenção da luminária e o fluxo luminoso inicial da mesma.

É evidente que, quanto melhor for a manutenção das luminárias (limpeza e substituições mais frequentes das lâmpadas), mais alto será esse fator, porém mais dispendioso.

A Tabela 13.8 apresenta, para referência, o fator de reflexão de alguns materiais.

**Tabela 13.8** Fator de reflexão de materiais iluminados com luz branca

Estuque novo	0,70-0,80	Chapa de fibra de madeira velha	0,30-0,40
Estuque velho	0,30-0,60	Madeira clara	0,55-0,65
Tinta branca a água	0,65-0,75	Carvalho envernizado, cor clara	0,40-0,50
Tinta branca a óleo	0,75-0,85	Carvalho envernizado, cor escura	0,51-0,40
Tinta de alumínio	0,60-0,75	Imbuia	0,10-0,30
Concreto novo	0,40-0,50	Jacarandá	0,10-0,30
Concreto velho	0,05-0,15	Cabriúva	0,20-0,40
Tijolo novo	0,10-0,30	Cedro	0,20-0,40
Tijolo velho	0,05-0,15	Pau-marfim	0,20-0,40
Chapa de fibra de madeira nova	0,50-0,60	Cerejeira	0,20-0,40

O fator de manutenção de referência é determinado pela Tabela 13.9, a seguir:



**Tabela 13.9** Exemplos de fatores de manutenção para sistemas de iluminação de interiores com lâmpadas fluorescentes – NBR ISO/CIE 8995-1:2013

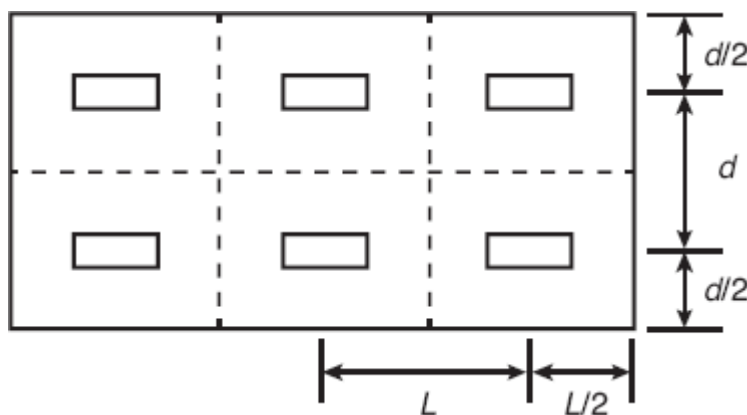
Fator de Manutenção	Exemplo
0,80	Ambiente muito limpo, ciclo de manutenção de um ano, 2 000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8 000 h, substituição individual, luminárias direta e direta/indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira.
0,67	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2 000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12 000 h, substituição individual, luminárias direta e direta/indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira.
0,57	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2 000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12 000 h, substituição individual, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira.
0,50	Ambiente sujo, ciclo de manutenção de três anos, 8 000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8 000 h, LLB, substituição em grupo, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira.

### Espaçamento entre Luminárias

O espaçamento máximo entre luminárias que depende da abertura do feixe luminoso está indicado na Tabela 13.10.

Conhecido o número total de luminárias, resta-nos distribuí-las uniformemente no recinto.

Como dados práticos, toma-se a distância entre luminárias, o dobro da distância entre a luminária e a parede, Figura 13.22. Para pé-direito normal (3 m) e sistema indireto, a distância entre as luminárias deve ser aproximadamente a da altura da montagem acima do piso.



Distribuição típica de luminárias.



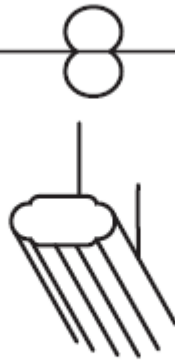


**Figura 13.22**

#### Notas:

1. Observamos que  $L$  e  $d$  devem obedecer ao espaçamento máximo recomendado para a luminária (Tabela 13.10).
2. O espaçamento  $L$  pode ultrapassar o espaçamento máximo, dependendo do comprimento da luminária/lâmpada.

**Tabela 13.10** Espaçamento das luminárias entre si com relação às alturas de montagem

## Espaçamento máximo entre as luminárias

Direta	Semidireta	Geral difusa	Semi-indireta	Indireta
				
Da luminária ao piso			Do teto ao piso	
0,9	0,9	1	1	1
vezes em $h_m$			vezes em $h_m$	

### EXEMPLO

Desejamos iluminar uma oficina de  $10,50 \times 42$  metros, pé-direito 4,60 m. A oficina destina-se à inspeção de equipamentos de medição, operação esta realizada em mesas de 1,0 m. Desejamos usar lâmpadas fluorescentes em luminárias industriais, com 4 lâmpadas de 32 watts — 127 volts cada.

Assim, seguimos as seguintes etapas para o cálculo e projeto de iluminação da oficina:

- 1ª** Iluminância mantida: 1 000 lux (Tabela 13.4)
- 2ª** Luminária escolhida: industrial, com 4 lâmpadas de 32 watts (TMS 500 c/RA 500 – Tabela 13.6 K)
- 3ª** Índice do local: 3

**Observação:** Admitindo a montagem das luminárias a 2,80 m acima das mesas, temos que pendurá-las a 0,8 m do teto.

- 4ª** Refletância: 731 (teto branco e paredes e pisos escuros) (Tabela 13.7)
- 5ª** Coeficiente de utilização: 0,78 (Tabela 13.6 K)
- 6ª** Fator de depreciação: 0,67 (Tabela 13.9)

$$\phi = \frac{10,50 \times 42 \times 1000}{0,67 \times 0,78} = 843\,857 \text{ lumens}$$

Usando lâmpadas de 32 W com fluxo luminoso de 2 950 lumens (Tabela 13.3)

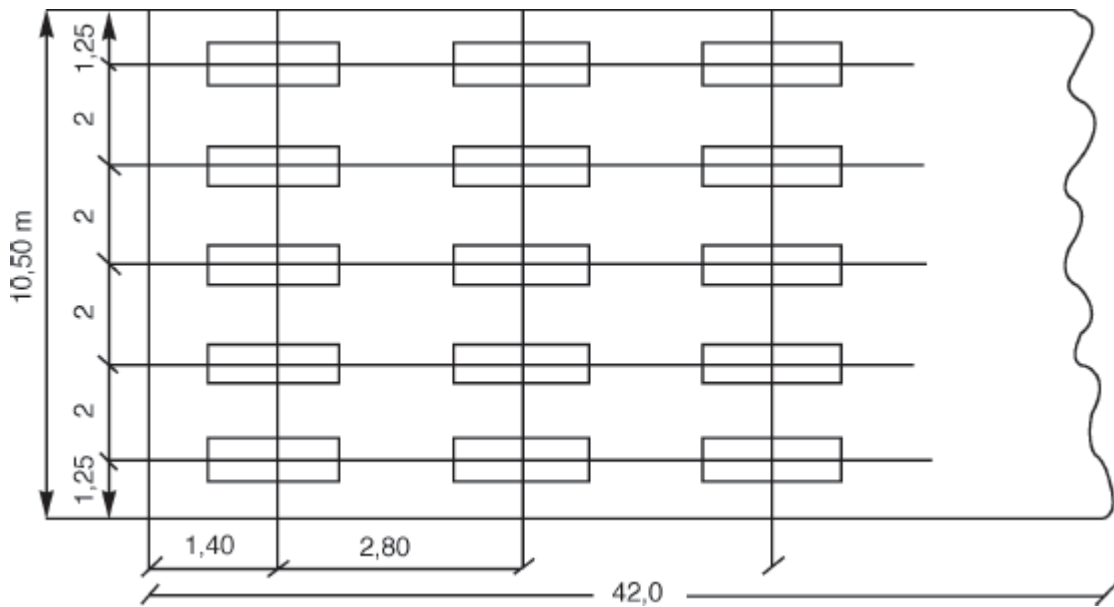
$$\phi = 4 \times 2\,950 = 11\,800 \text{ lumens por luminária}$$

$$n = \frac{843\,857}{11\,800} = 68,44 \text{ luminárias}$$

Vamos adotar, para obtermos uma distribuição equivalente:

70 luminárias

A disposição dos aparelhos encontra-se na Figura 13.23.



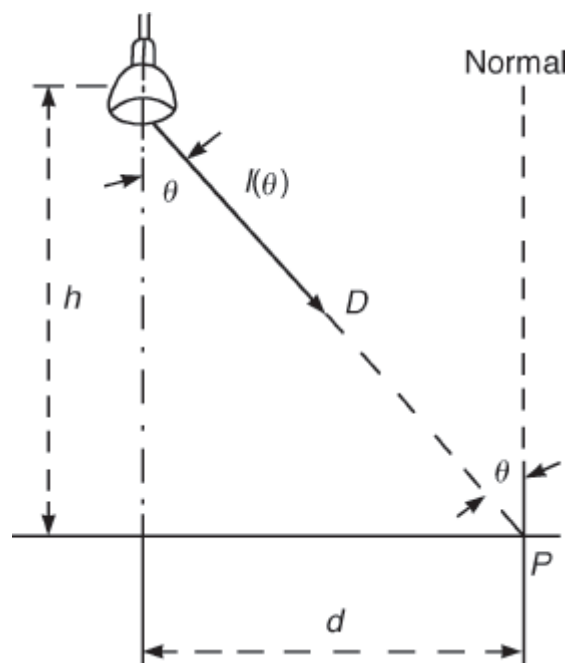
Disposição dos aparelhos: 14 carreiras, 5 linhas.

**Figura 13.23**

Verificação do espaçamento entre luminárias:

Pela Tabela 13.10, para iluminação direta, o espaçamento máximo entre as luminárias será 0,9 da distância da luminária ao piso, ou seja:

$$0,9 \times 3,60 = 3,24 \text{ m}$$



**Figura 13.24**

### 13.8.4 Método ponto a ponto

Este método é baseado na lei de Lambert, que diz:

A iluminância produzida em um ponto de uma superfície é proporcional à intensidade luminosa da fonte na direção da superfície, proporcional ao cosseno do ângulo de incidência que o raio luminoso faz com a normal ao plano e inversamente proporcional ao quadrado da distância da fonte à superfície.

Assim, para a utilização desse método temos que conhecer as curvas fotométricas das fontes de luz, por exemplo, a curva da Figura 13.24, preparadas pelos fabricantes ou desenvolvidas em laboratórios de fotometria.

$$E_{p_h} = \frac{I(\theta)}{D^2} \cos \theta \text{ (iluminância no plano horizontal) lux}$$

$$E_{p_v} = \frac{I(\theta)}{D^2} \operatorname{sen} \theta \text{ (iluminância no plano vertical) lux}$$

em que:

$E_p$  = iluminamento em  $P$  em lumens por metro quadrado (lux);

$I(\theta)$  = intensidade luminosa da fonte na direção de  $P$  em candelas;

$D$  = distância do centro da fonte de luz ao ponto  $P$  em metros;

$\theta$  = ângulo entre a vertical à superfície receptora e  $D$ .

Substituindo a distância  $D$  pela altura de montagem da luminância, temos:

$$E_{p_h} = \frac{I(\theta) \cos^3(\theta)}{h^2} \text{ lux}$$

$$E_{p_v} = \frac{I(\theta) \operatorname{sen}^2(\theta) \cos(\theta)}{h^2} \text{ lux}$$

### EXEMPLO

Em um galpão industrial, calcular o iluminamento em um ponto  $P$ , na horizontal, iluminado por quatro fontes  $A, B, C$  e  $D$ , com as seguintes distâncias  $d$  da vertical que passa pelas fontes ao ponto  $P$  (Figura 13.26):

$d_1 = 0$  m (sob a vertical)

$d_2 = 3$  m

$d_3 = 2$  m

$d_4 = \sqrt{3^2 + 2^2} = 3,6$  m

As fontes  $A, B, C$  e  $D$  estão a 6 m de altura.

As luminárias são de vapor de mercúrio, de 400 W, com fluxo inicial de 20 500 lumens.

Calculando os ângulos  $\theta$  e os  $\cos^3 \theta$ :

$$\theta_1 = 0 \quad \cos^3 \theta_1 = 1$$

$$\theta_2 = 28^\circ \quad \cos^3 \theta_2 = 0,68$$

$$\theta_3 = 18^\circ \quad \cos^3 \theta_3 = 0,84$$

$$\theta_4 = 32^\circ \quad \cos^3 \theta_4 = 0,60$$

Com esses ângulos e entrando na curva das intensidades em função de  $\theta$  (Figura 13.25):

$$I(\theta_1) = 208 \times 20,5 = 4\,264 \text{ candelas}$$

$$I(\theta_2) = 200 \times 20,5 = 4\,100 \text{ candelas}$$

$$I(\theta_3) = 205 \times 20,5 = 4\,202 \text{ candelas}$$

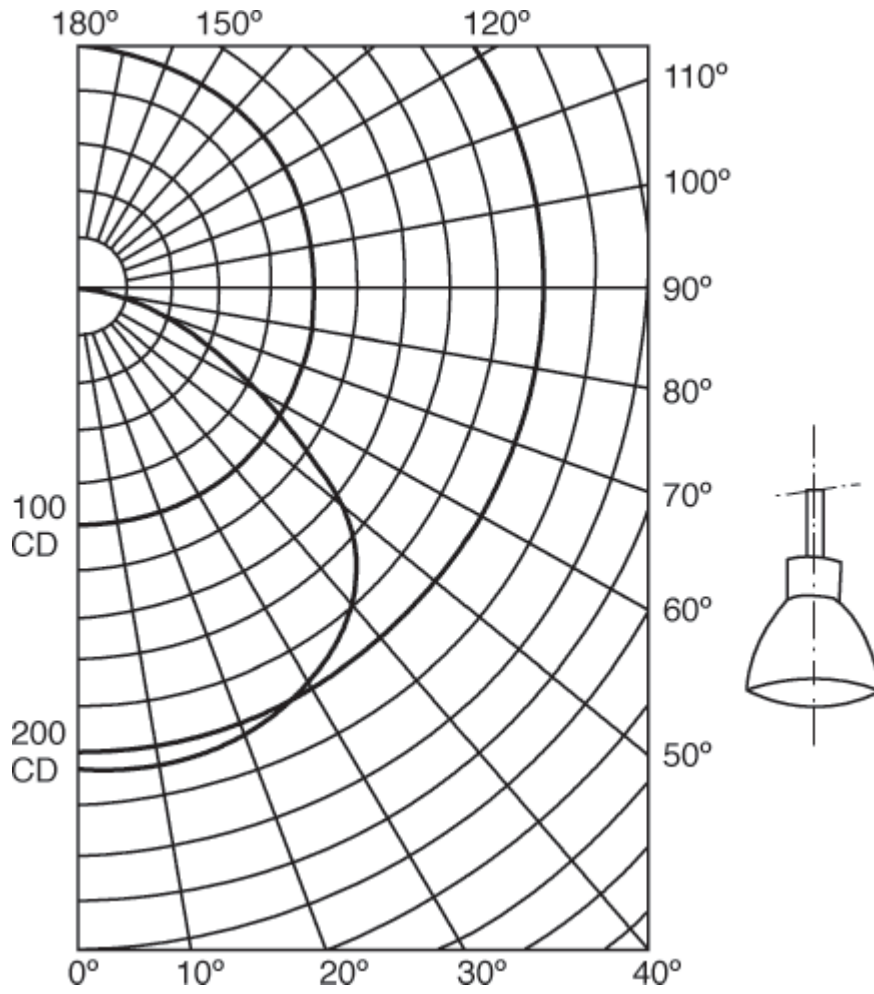
$$I(\theta_4) = 193 \times 20,5 = 3\,956 \text{ candelas}$$

Observação: Multiplica-se por 20,5 porque a curva fornece a intensidade luminosa para 1.000 lumens.

Como supomos as luminárias situadas a 6 m de altura em relação ao piso, temos:

$$E(P) = \frac{I(\theta) \cos^3(\theta)}{6^2} \text{ no plano horizontal}$$

$E_1 = 118,4 \text{ lux}$   
 $E_2 = 77,4 \text{ lux}$   
 $E_3 = 98,0 \text{ lux}$   
 $E_4 = 65,9 \text{ lux}$   
Total = 359,7 lux



Curva de distribuição em candelas/1 000 lumens — Curva de intensidade em função de  $\theta$ .

**Figura 13.25**

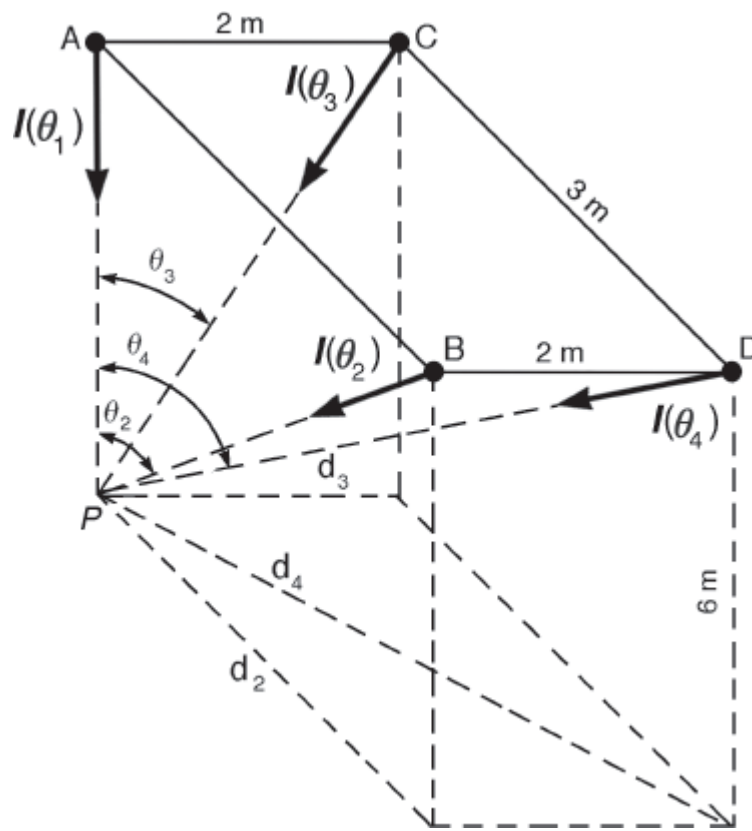


Figura 13.26

## 13.9 Iluminação de Ruas

A iluminação de ruas, em especial ruas de grande tráfego de veículos e pedestres, merece um estudo luminotécnico apurado, no qual são considerados vários fatores que fogem ao objetivo deste livro.

Aprenderemos regras práticas que servirão para orientar o projetista na iluminação razoável de ruas dentro de padrões modernos, como complemento dos projetos de instalações prediais.

### 13.9.1 Curvas de isolux

Já aprendemos o significado do nível de iluminamento em lux, ou seja, o quociente do fluxo luminoso, recebido no plano de trabalho, dividido pela área considerada.

Chamam-se curvas isolux as curvas que dão, para uma mesma luminária, os pontos que possuem os mesmos iluminamentos. As curvas da Figura 13.27 são isolux no plano da rua para cada 1 000 lumens de fluxo emitido pela luminária, desenhados em percentuais do nível de iluminamento máximo. Assim, para um ponto  $P$  qualquer, temos que o nível é de 20 % do nível máximo. Os valores  $h$  representam a altura de montagem da luminária.

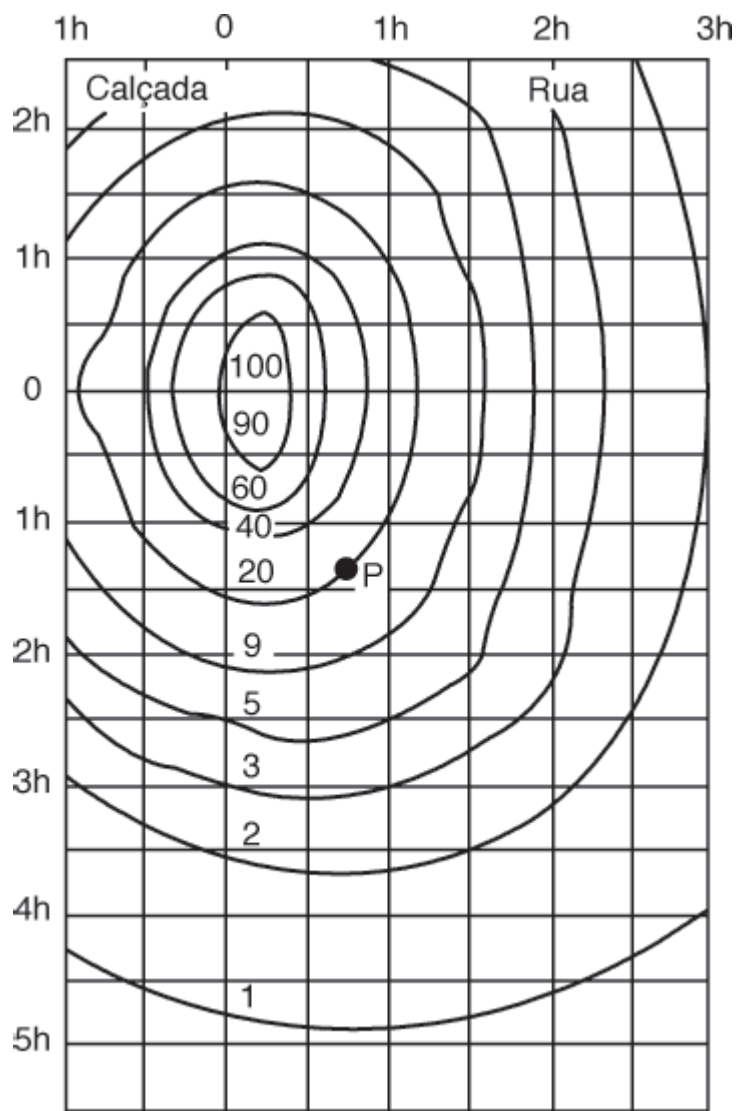


Diagrama de curvas isolux relativas num plano por 1 000 lumens.

Figura 13.27

### EXEMPLO

Queremos saber qual o iluminamento que será obtido num ponto *P* da Figura 13.27, com a utilização de uma luminária instalada a 10 m de altura, e com lâmpada HPL-N 400 da Philips.

#### Solução

Pelos dados do fabricante, temos:

- fluxo da lâmpada HPL-N 400... $\Phi = 23\,000$  lumens;
- iluminamento máximo:

$$E_{\text{máx}} = 0,128^{(1)} \cdot \frac{\Phi}{h^2}$$

Usando os dados do problema:

$$E_{\text{máx}} = 0,128 \times \frac{23\,000}{100} = 29,44 \text{ lux}$$

O iluminamento em *P* será:

$$E = 0,20 \times E_{\text{máx}} = 0,20 \times 29,44 = 5,9 \text{ lux}$$

Então, no ponto *P* teremos o iluminamento de 5,6 lux.

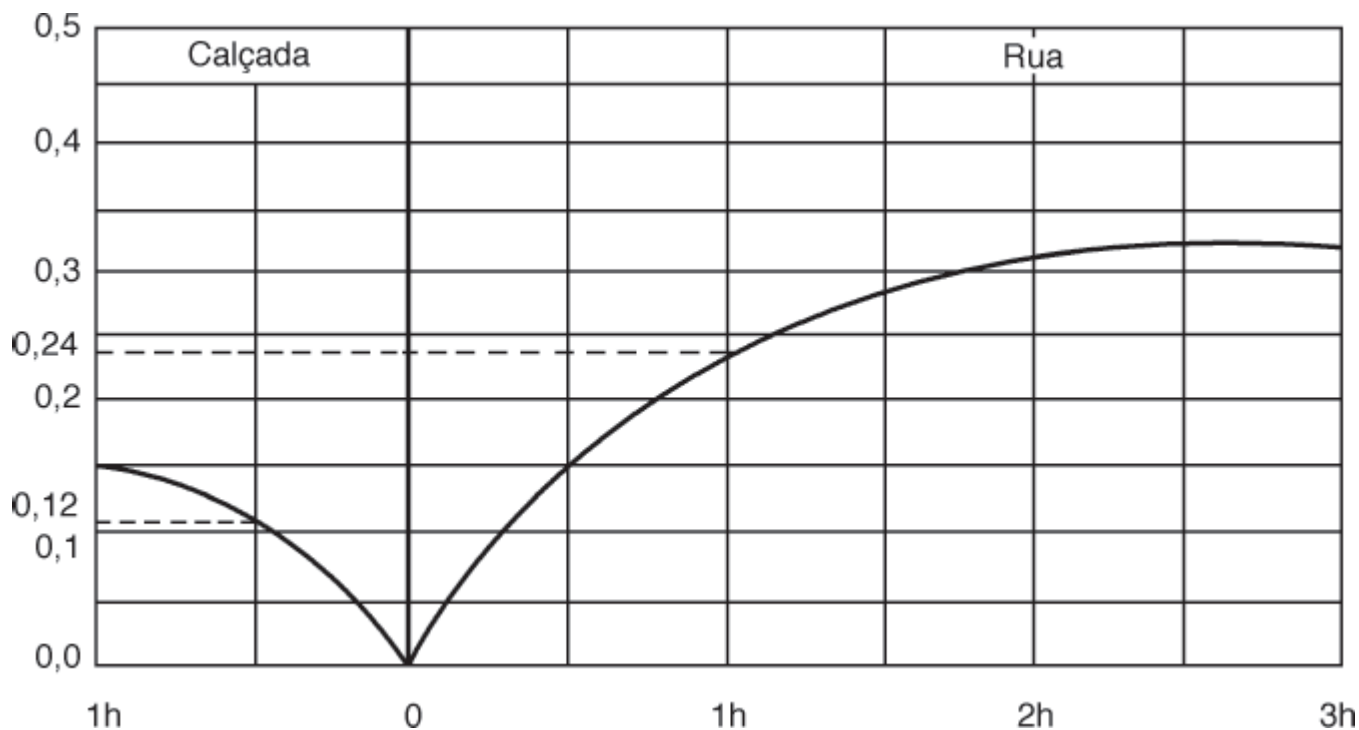
(1) Fator característico da luminária escolhida.

### 13.9.2 Nível médio de iluminamento na rua e na calçada

Nos cálculos de iluminação das ruas e das calçadas, interessamo-nos pelos níveis médios, e não apenas pela iluminação em um ponto.

Deste modo precisamos conhecer o fator ou coeficiente de iluminação, que na Figura 13.27 vemos para a calçada e para a rua, em função da altura de montagem  $h$  da luminária.

O coeficiente de utilização representa a percentagem do fluxo da lâmpada que a luminária emite a uma determinada faixa do solo, produzindo um iluminamento  $E$ .



Curva do fator de utilização.

Figura 13.28

Assim, temos as fórmulas:

$$E_r = \frac{\phi \cdot U_r}{S \cdot L}$$

em que:

$E$  = iluminação na rua em luxes;

$\phi$  = fluxo da lâmpada em lumens;

$U_r$  = fator de utilização do lado da rua;

$S$  = espaçamento entre postes em metros;

$L$  = largura da rua em metros.

$$E_c = \frac{\phi \cdot U_c}{S \cdot e}$$

em que:

$E_c$  = iluminação na calçada;

$e$  = largura da calçada;

$U_c$  = fator de utilização do lado da calçada.



Desejamos saber, utilizando a mesma luminária do exemplo anterior, quais os níveis médios de iluminação do lado da rua e do lado da calçada, sabendo que a largura da rua é (Figura 13.28) de 10 m, a largura da calçada é de 5 m e o espaçamento entre postes, 25 m.

### Solução

Pela Figura 13.28, temos:

$$U_r = 0,24;$$

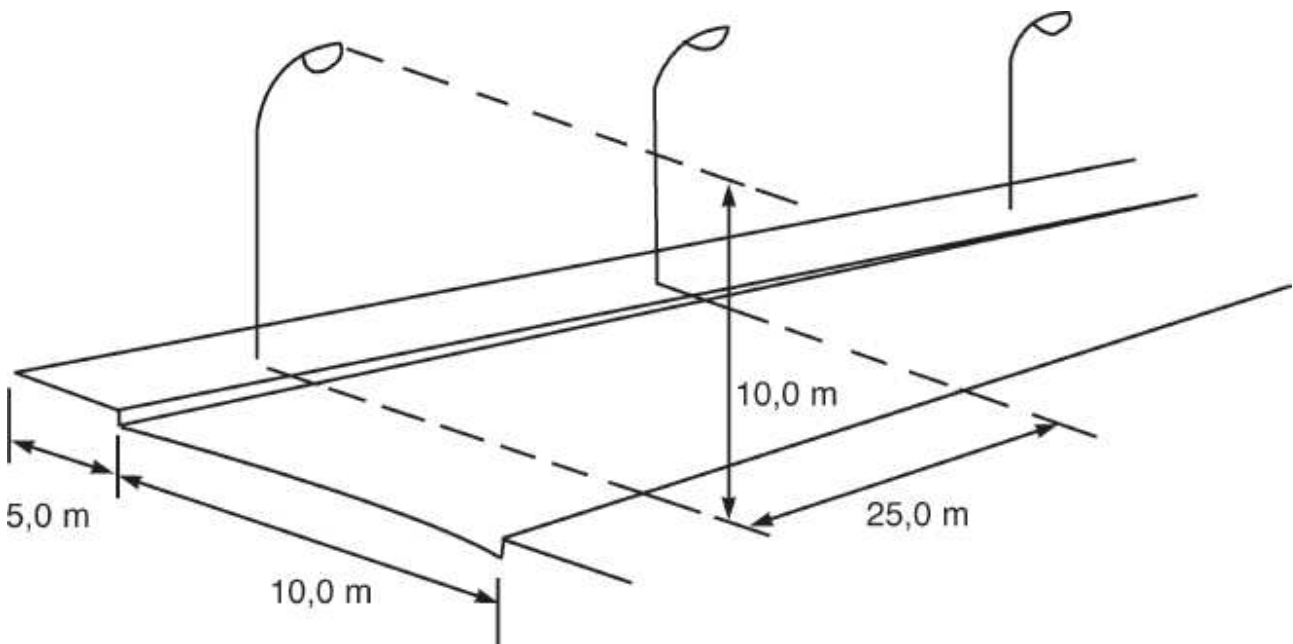
$$U_c = 0,12.$$

A iluminação do lado da rua será:

$$E_r = \frac{23\,000 \times 0,24}{25 \times 10} = 22 \text{ lux}$$

A iluminação do lado da calçada será:

$$E_r = \frac{23\,000 \times 0,12}{25 \times 5} = 22 \text{ lux}$$



Iluminação pública.

**Figura 13.29**

## 13.10 Programas Computacionais

Com o desenvolvimento das ferramentas computacionais por parte das empresas especializadas em iluminação, a execução dos cálculos para os projetos lumintécnicos passaram a se valer deste ferramental.

Existem no mercado, para execução dos cálculos para projetos de iluminação, diversos programas computacionais de uso livre (DIALux, CALCULUX etc.) e de uso proprietário (AGI 32, entre outros), tais como o DIALux, CALCULUX, AGI 32 e outros. Alguns programas são de uso gratuito, como o DIALux; outros são proprietários, como o AGI32, que podem ser adquiridos junto às empresas desenvolvedoras.

Os programas utilizam as curvas fotométricas das luminárias/lâmpadas, como as indicadas nas Figuras 13.25 e 13.31. Essas curvas fotométricas são obtidas a partir de ensaios realizados nos laboratórios dos fabricantes e/ou em laboratórios credenciados pelo Inmetro, tais como o do CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, o do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, e outros.

Essas curvas são fornecidas dentro da padronização do CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), dentro de extensões digitais no padrão IES, LDT, DIALux e outros.

Uma grande vantagem apresentada pela maioria dos programas é o fato de trabalharem com os dados dos mais diversos fabricantes, bastando que os mesmos forneçam os dados dentro do padrão CIE.



Luminária OSRAM LUMILUX DUO EL-FIP 2 x 36 W

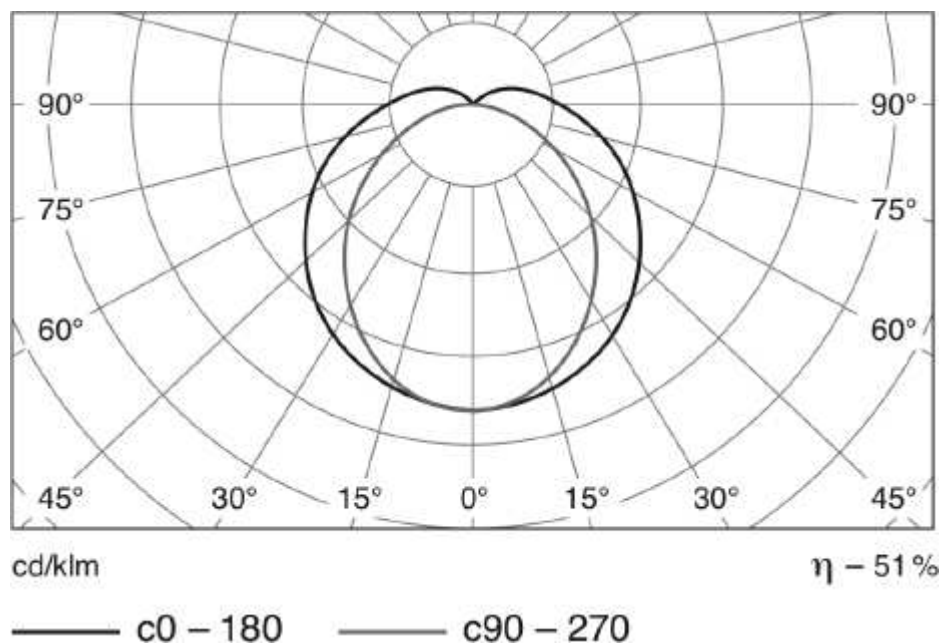
### Figura 13.30

Em particular o programa DIALux, de uso público, apresenta visualização em 3D do ambiente e com a possibilidade de criação de filmes para apresentação do projeto.

O Exemplo a seguir apresenta um projeto de iluminação de interior com utilização do programa acima, tomando como referência a luminária e lâmpada OSRAM LUMILUX DUO EL-F/P 2 x 36 W – 6 700 lm total, conforme luminária indicada na Figura 13.30 e com a curva fotométrica indicada na Figura 13.31.

Classificação da luminária conforme CIE: 88

Código de fluxo (CIE): 43 72 90 88 51



Curva fotométrica.

### Figura 13.31

#### EXEMPLO

Fazer o projeto luminotécnico de um escritório com as seguintes dimensões:

Comprimento 8,50 m

Largura 6,50 m

Altura 4,50 m

As luminárias ficarão pendentes 0,50 m do teto. O teto é de concreto, as paredes são brancas e o piso é escuro.

Da Tabela 13.4, vamos adotar um nível de iluminância mantida –  $E_m = 500$  lx. Rodando o programa DIALux com os dados acima, encontramos o resumo dos resultados luminotécnicos apresentados na Tabela 13.11. A Figura 13.32 mostra a distribuição das luminárias e as curvas isolux obtidas no plano de trabalho.

**Tabela 13.11** Resultados luminotécnicos

Fluxo luminoso total: 54 707 lm

Potência total: 1 152,0 W

Fator de manutenção: 0,80

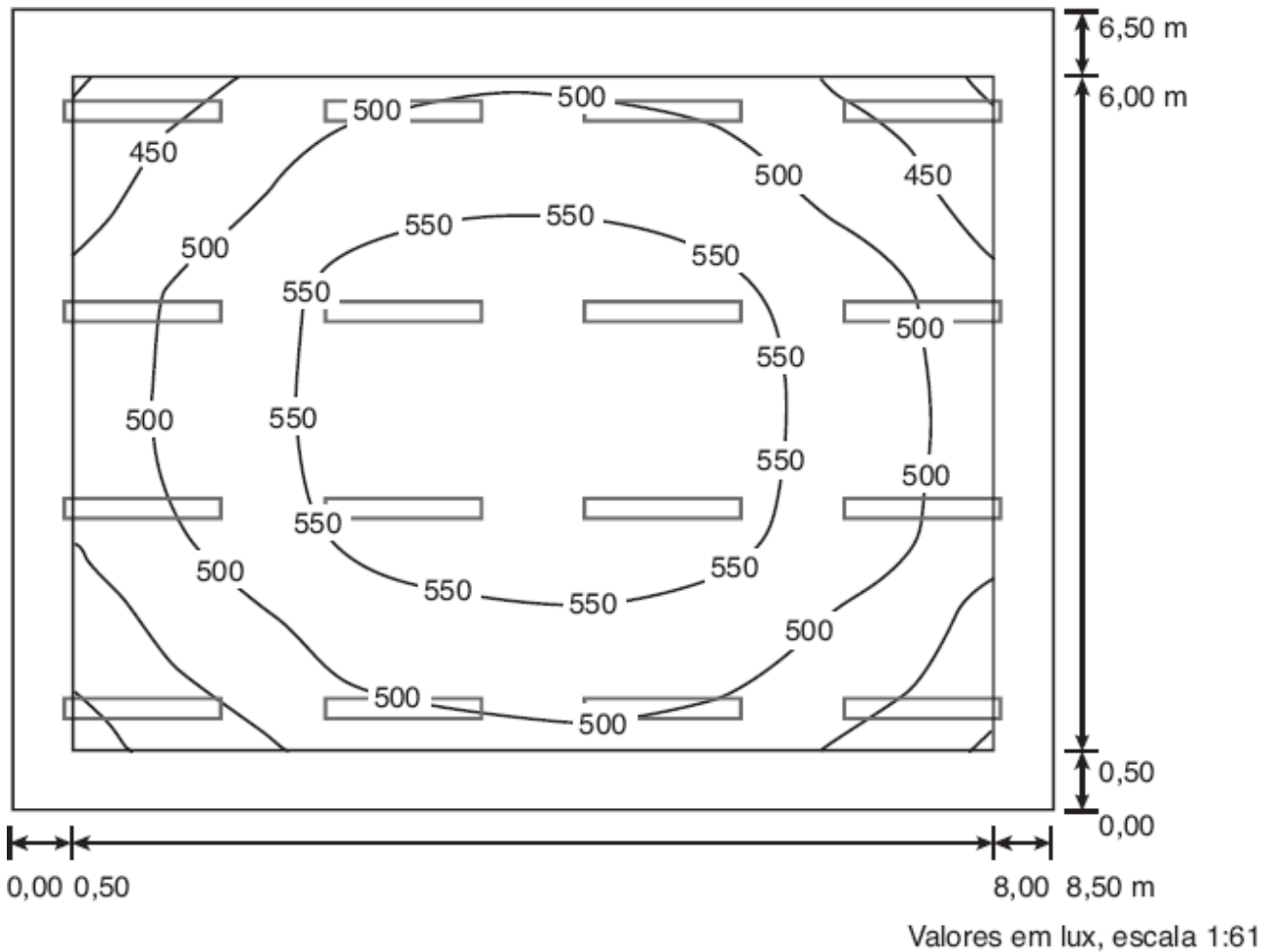
Zona marginal: 0,500 m

Superfície	Iluminâncias médias (lx)			Grau de reflexão (%)	Luminância média (cd/m <sup>2</sup> )
	Direto	Indireto	Total		
Plano de trabalho	337	178	515	/	/
Piso	264	169	433	20	28
Teto	58	146	204	80	52
Parede 1	224	145	369	50	59
Parede 2	152	150	302	50	48
Parede 3	224	149	373	50	59
Parede 4	145	153	298	50	47

Uniformidades no plano de trabalho

$E_{min}/E_m$ : 0,746 (1:1)

$E_{min}/E_{max}$ : 0,654 (1:2)



Distribuição das luminárias e iluminância obtida (curvas isolux).

**Figura 13.32**

## Resumo

- Lâmpadas e luminárias: iluminação incandescente, fluorescente e a vapor de mercúrio;
- Grandezas fundamentais da luminotécnica: luz, cor, intensidade luminosa, fluxo luminoso, iluminamento, luminância, quantidade de luz, emitância luminosa, curvas de distribuição luminosa, eficiência luminosa, curvas de distribuição luminosa;
- Método de cálculo de iluminação: métodos dos lumens, das cavidades zonais e de ponto por ponto;
- Iluminação de ruas — regras práticas.

## Exercícios de Revisão

1. Calcular o comprimento de onda  $\lambda$  para uma estação que irradia na frequência de 60 MHz (megahertz).
2. Calcular o número de luminárias fluorescentes de  $4 \times 40$  W — luz do dia, para iluminar um escritório se usarmos a luminária O (direta) da Tabela 13.6, com as seguintes dimensões do recinto: largura — 10 m, comprimento — 25 m, pé-direito — 3 m, teto e paredes brancos.