

2

Iluminação industrial

2.1 Introdução

A iluminação é responsável atualmente por cerca de 17 % de toda energia consumida no Brasil. No setor industrial, a participação do consumo da iluminação é de aproximadamente 1,8 %, o que representa a produção de energia elétrica da Hidroelétrica de Sobradinho no rio São Francisco, no Nordeste do Brasil.

Os recintos industriais devem ser suficientemente iluminados para se obter o melhor rendimento possível nas tarefas a executar. O nível de detalhamento das tarefas exige um iluminamento adequado para se ter uma percepção visual apurada.

Um bom projeto de iluminação, em geral, requer a adoção dos seguintes pontos fundamentais:

- nível de iluminamento suficiente para cada atividade específica;
- distribuição espacial da luz sobre o ambiente;
- escolha da cor da luz e seu respectivo rendimento;
- escolha apropriada dos aparelhos de iluminação;
- tipo de execução das paredes e pisos;
- iluminação de acesso.

O projetista deve dispor das plantas de arquitetura da construção (veja o Capítulo 1) com detalhes suficientes para fixar os aparelhos de iluminação. O tipo de teto é de fundamental importância, bem como a disposição das vigas de concreto ou dos tirantes de aço de sustentação que, afinal, podem definir o alinhamento das luminárias. Além disso, a existência de pontes rolantes e máquinas de grande porte deve ser analisada antecipadamente.

Muitas vezes, é necessário complementar a iluminação do recinto para atender certas atividades específicas do processo industrial. Assim, devem ser localizados aparelhos de iluminação em pontos específicos e, muitas vezes, na estrutura das próprias máquinas.

Em uma planta industrial, além do projeto de iluminação do recinto de produção propriamente dito, há o desenvolvimento do projeto de iluminação dos escritórios, almoxarifados, laboratórios e da área externa, tais como pátio de estacionamento, jardins, locais de carga e descarga de produtos primários e manufaturados, entre outros.

2.2 Conceitos básicos

Para melhor entendimento do assunto, serão abordados, a seguir, alguns conceitos clássicos, de modo resumido.

2.2.1 Luz

É uma fonte de radiação que emite ondas eletromagnéticas em diferentes comprimentos; apenas algumas ondas de comprimento de onda definido são visíveis ao olho humano.

As radiações de menor comprimento de onda, como o violeta e o azul, intensificam a sensação luminosa do olho humano quando o ambiente é iluminado com pouca luz, como ocorre no fim de tarde e à noite. Já as radiações de maior comprimento de onda, como o laranja e o vermelho,

minimizam a sensação luminosa do olho humano quando o ambiente é iluminado com muita luz.

O ser humano, em geral, julga que os objetos possuem cores definidas, já que os conhece normalmente em ambientes iluminados com luz contendo todos os espectros de cores. No entanto, as cores dos objetos se definem em função da radiação luminosa incidente. A cor de uma banana, tradicionalmente amarela, é o resultado da radiação luminosa que se reflete quantitativamente maior no segmento amarelo. Para radiação monocromática incidente como, por exemplo, o branco obtido através de filtro que obstacule a radiação amarela, a banana se apresenta ao observador na cor negra, já que refletiria pouquíssima luz.

2.2.2 Iluminância

“É o limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície, quando esta tende a zero” (NB-57).

A iluminância é conhecida também como nível de iluminamento. É expressa em lux, que corresponde ao fluxo luminoso incidente numa determinada superfície por unidade de área. Assim, se uma superfície plana de 1 m² é iluminada perpendicularmente por uma fonte de luz, cujo fluxo luminoso é de 1 lúmen, apresenta uma iluminância de 1 lux:

$$E = \frac{F}{S} (\text{lux}) \quad (2.1)$$

F - fluxo luminoso, em lumens;

S - área da superfície iluminada, em m².

São clássicos alguns exemplos de iluminância:

- Dia de sol de verão a céu aberto: 100.000 lux.
- Dia com sol encoberto no verão: 20.000 lux.

- Noite de lua cheia sem nuvens: 0,25 lux.
- Noite à luz de estrelas: 0,001 lux.

Normalmente, o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, resultando em iluminâncias diferentes em diversos pontos do ambiente iluminado. Na prática, considera-se o fluxo luminoso médio.

2.2.3 Fluxo luminoso

É a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço. Sua unidade é o lúmen, que representa a quantidade de luz irradiada através de uma abertura de 1 m^2 feita na superfície de uma esfera de 1 m de raio por uma fonte luminosa de intensidade igual a 1 candela, em todas as direções, colocada no seu interior e posicionada no centro.

Como referência, uma fonte luminosa de intensidade igual a uma candela emite uniformemente $12,56$ lumens, ou seja, $4 \pi R^2$ lumens para $R = 1 \text{ m}$.

O fluxo luminoso também pode ser definido como a potência de radiação emitida por uma determinada fonte de luz e avaliada pelo olho humano.

O fluxo luminoso não poderia ser expresso em watts, já que é função da sensibilidade do olho humano, cuja faixa de percepção varia para o espectro de cores entre os comprimentos de onda de 450 (cor violeta) a 700 nm (cor vermelha). A [Figura 2.1](#) mostra a forma de irradiação do fluxo luminoso emitido por uma lâmpada incandescente.



Figura 2.1 Forma de irradiação da luz.

2.2.4 Eficiência luminosa

É a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa e a potência em watts consumida por esta, conforme está mostrado na [Tabela 2.1](#). Deve-se ressaltar que a eficiência luminosa de uma fonte pode ser influenciada pelo tipo de vidro difusor da luminária, caso este absorva alguma quantidade da energia luminosa irradiada. É dada pela expressão:

$$\eta = \frac{\psi}{P_c} \text{ (lumens/W)} \quad (2.2)$$

ψ - fluxo luminoso emitido, em lumens;

P_c - potência consumida, em W.

Através da eficiência luminosa das fontes de radiação podem ser elaborados projetos mais eficientes, selecionando-se lâmpadas de maior eficiência luminosa. A [Tabela 2.1](#) fornece o rendimento luminoso para cada tipo de lâmpada.

2.2.5 Intensidade luminosa

É definida como “o limite da relação entre o fluxo luminoso em um ângulo sólido em torno de uma direção dada e o valor desse ângulo sólido, quando esse ângulo sólido tenda a zero” (ABNT), ou seja:

$$I = \frac{d\psi}{d\beta} \quad (2.3)$$

Pode ser definida também como sendo a potência de radiação visível que uma determinada fonte de luz emite em uma direção especificada. Sua unidade é denominada *candela* (cd). A [Figura 2.2](#) mostra a relação que existe entre a intensidade luminosa e o ângulo sólido, ocupando a fonte luminosa o vértice do referido ângulo. Isto quer dizer que, se uma determinada fonte luminosa localizada no centro de uma esfera de raio igual a 1 m emitir em todas as direções uma intensidade luminosa de 1 cd, cada metro quadrado da superfície da referida esfera está sendo iluminado pelo fluxo luminoso de 1 lúmen. A [Figura 2.3](#) demonstra conceitualmente a definição de intensidade luminosa.

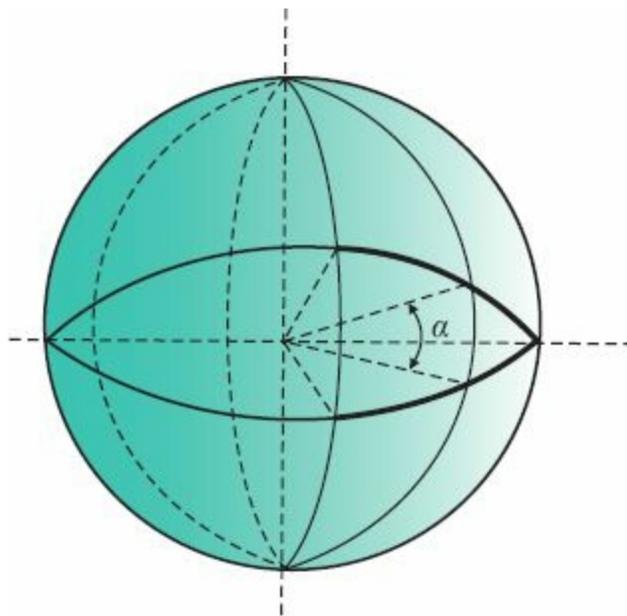


Figura 2.2 Demonstração gráfica do ângulo sólido.

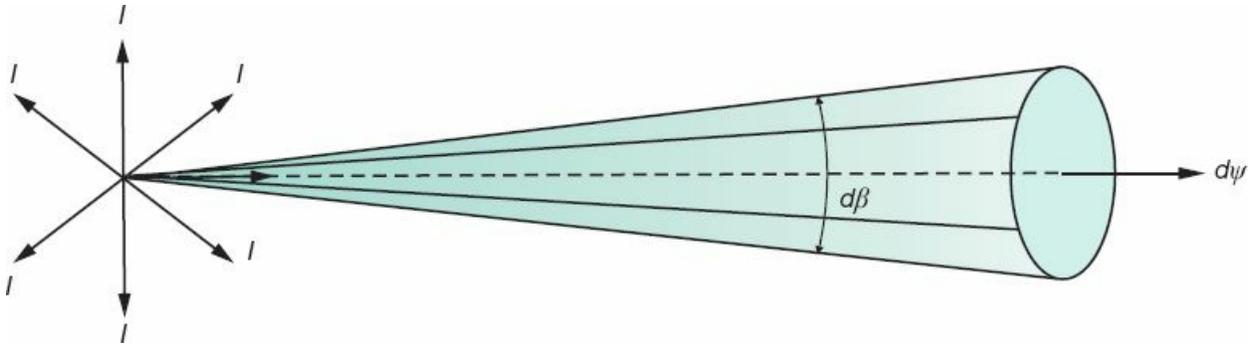


Figura 2.3 Representação do conceito de intensidade luminosa.

Tabela 2.1 Rendimento luminoso das lâmpadas

Tipos de lâmpadas	Rendimento luminoso (lumens/W)
Incandescente	10 a 15
Halogêneas	15 a 25
Mista	20 a 35
Vapor de mercúrio	45 a 55
Leds	35 a 70
Fluorescente comum	55 a 75
Fluorescente compacta	50 a 80
Multivapores metálicos	65 a 90
Fluorescentes econômicas	75 a 90
Vapor de sódio	80 a 140

A intensidade luminosa é avaliada utilizando-se como fonte de luz um

corpo negro aquecido à temperatura de solidificação da platina, que é de 1.773 °C, à pressão constante de 101.325 N/m² e cuja intensidade luminosa resultante incide perpendicularmente sobre uma área plana igual a 1/600.000 m².

Na prática, pode-se observar que as fontes de luz não emitem o fluxo luminoso uniformemente em todas as direções. Basta que se observe uma lâmpada incandescente, como a da [Figura 2.4](#), em que a intensidade luminosa é maior em determinadas direções do que em outras.

A partir dessa definição são construídas as curvas de distribuição luminosa que caracterizam as luminárias dos diversos fabricantes e estão presentes basicamente em todos os catálogos técnicos sobre o assunto. Neste caso, a fonte de luz e a luminária são reduzidas a um ponto, no diagrama polar, a partir do qual são medidas as intensidades luminosas em todas as direções. Para exemplificar, a [Figura 2.4\(a\)](#) mostra uma fonte de luz constituída de uma lâmpada incandescente fixada em fio pendente e o correspondente diagrama da curva de distribuição luminosa, tomando-se como base o plano horizontal. Já a [Figura 2.4\(b\)](#) mostra a mesma lâmpada, onde se construiu o referido diagrama, tomando-se agora como base o plano vertical.

É comum expressar os valores da intensidade luminosa na curva de distribuição luminosa para um fluxo de 1.000 lumens.

2.2.6 Luminância

“É a relação entre a intensidade luminosa com a qual irradia, em uma direção determinada, uma superfície elementar contendo um ponto dado e a área aparente desta superfície para uma direção considerada, quando esta área tende para zero” (ABNT). Sua unidade é expressa em candela por metro quadrado (cd/m²).

A luminância é entendida como a medida da sensação de claridade,

provocada por uma fonte de luz ou superfície iluminada e avaliada pelo cérebro. Pode ser determinada pela Equação (2.4).

$$L = \frac{I}{S} \times \cos \alpha \text{ (cd/m}^2\text{)} \quad (2.4)$$

S - superfície iluminada;

α - ângulo entre a superfície iluminada e a vertical, que é ortogonal à direção do fluxo luminoso;

I - intensidade luminosa.

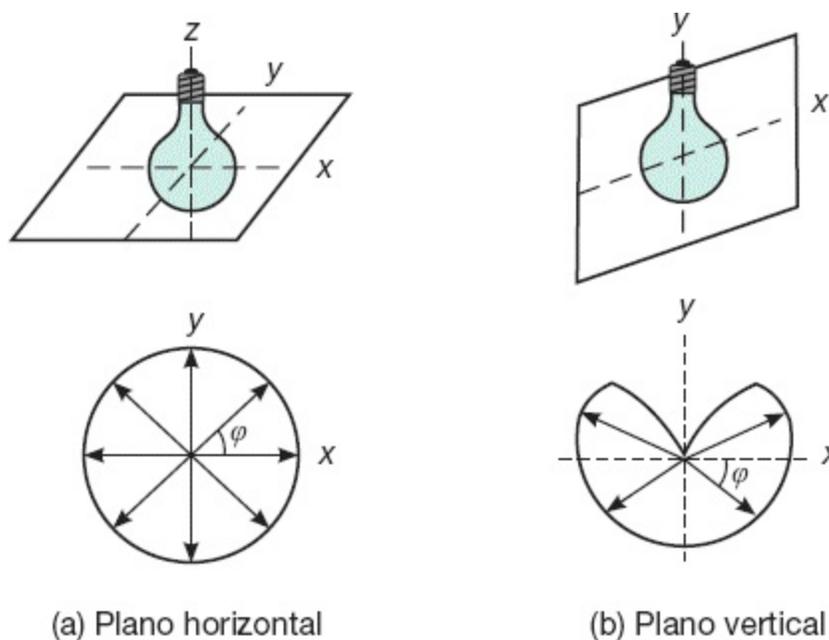


Figura 2.4 Distribuição luminosa nos planos horizontal e vertical.

O fluxo luminoso, a intensidade luminosa e a iluminância somente são visíveis se forem refletidos em uma superfície, transmitindo a sensação de luz aos olhos, cujo fenômeno é denominado luminância.

2.2.7 Refletância

É a relação entre o fluxo luminoso refletido por uma dada superfície e o fluxo

luminoso incidente sobre a mesma.

É sabido que os objetos refletem luz diferentemente uns dos outros. Assim, dois objetos colocados em um ambiente de luminosidade conhecida originam luminâncias diferentes.

2.2.8 Emitância

É a quantidade de fluxo luminoso emitido por uma fonte superficial por unidade de área. Sua unidade é expressa em lúmen/m^2 .

2.3 Lâmpadas elétricas

Para o estudo de utilização das lâmpadas elétricas, estas podem ser classificadas da seguinte maneira:

a) Quanto ao processo de emissão de luz

- Lâmpadas incandescentes.
- Lâmpadas de descarga.
- Lâmpadas LED.

b) Quanto ao desempenho

- Vida útil.
- Rendimento luminoso.
- Índice de reprodução de cores.

A seguir, serão abordados os vários tipos de lâmpada de maior aplicação em projetos industriais.

2.3.1 Lâmpadas incandescentes

São constituídas de um filamento de tungstênio enrolado geralmente em

forma espiralada que atinge a incandescência com a passagem de uma corrente elétrica e de um bulbo de vidro transparente, translúcido ou opaco, cheio de gás quimicamente inerte, como o nitrogênio, que evita a oxidação do filamento.

Devido às precárias características de sua eficiência luminosa, vida média reduzida e custos de manutenção elevados, é cada vez menor a sua aplicação em projetos industriais. Sua utilização é mais sentida nas dependências administrativas – mesmo assim, em aplicações restritas. Apresentam um custo de implantação muito reduzido, porém custos elevados de manutenção. As principais características das lâmpadas incandescentes são:

- Vida útil: entre 600 e 1.000 horas.
- Eficiência luminosa média: 15 lumens/watts.
- Índice de reprodução de cor: 100.
- O rendimento cresce com a potência.
- As lâmpadas de tensão mais baixa apresentam maior rendimento.
- A vida útil depende da tensão de alimentação.

Para cada 10 % de sobretensão, sua vida útil se reduz em 50 %.

O emprego de lâmpadas incandescentes em instalações industriais fica restrito a banheiros sociais, instalações decorativas, vitrines de amostra de produtos e aplicações outras, onde o consumo de energia seja pequeno. A [Figura 2.5](#) mostra os principais componentes de uma lâmpada incandescente.

As fábricas brasileiras das populares e tradicionais lâmpadas incandescentes, como se mostra na [Figura 2.5](#), suspenderam sua fabricação para dar lugar ao uso de lâmpadas mais eficientes.

As lâmpadas dicróicas, que são da família das lâmpadas incandescentes, são intensivamente utilizadas na decoração de ambientes e vitrines. A [Figura 2.6](#) mostra uma lâmpada dicróica de 50 W.

2.3.2 Lâmpadas halógenas de tungstênio

A lâmpada halógena de tungstênio é um tipo especial de lâmpada incandescente, em que um filamento é contido em um tubo de quartzo no qual é colocada uma certa quantidade de iodo. Durante o seu funcionamento, o tungstênio evapora-se do filamento, combinando-se com o gás presente no interior do tubo, formando o iodeto de tungstênio. Devido às altas temperaturas, parte do tungstênio se deposita no filamento, regenerando-o, criando assim um processo contínuo e repetitivo denominado de ciclo do iodo. A [Figura 2.7](#) mostra o aspecto externo de uma lâmpada halógena, cuja maior aplicação se faz sentir na iluminação de cena.



Figura 2.5 Lâmpada incandescente.



Figura 2.6 Lâmpada dicróica.

Nas lâmpadas incandescentes convencionais, o tungstênio evaporado do filamento se deposita nas paredes internas do bulbo, reduzindo a sua eficiência. No entanto, nas lâmpadas halógenas de tungstênio, o halogênio bloqueia as moléculas de tungstênio impedindo que elas se depositem nas paredes internas do bulbo, resultando em uma combinação química após a qual retornam ao filamento. As paredes da lâmpada são de vidro de quartzo resistente a elevadas temperaturas.

2.3.3 Lâmpadas de luz mista

As lâmpadas de luz mista são constituídas de um tubo de descarga a vapor de mercúrio, conectado em série com um filamento de tungstênio, ambos encapsulados por um bulbo ovoide, cujas paredes internas são recobertas por uma camada de fosfato de ítrio vanadato. Esse tipo de lâmpada tem as características básicas das lâmpadas incandescentes. O seu filamento atua como fonte de luz de cor quente e ao mesmo tempo funciona como limitador do fluxo de corrente.

As lâmpadas de luz mista são comercializadas nas potências de 160 a 500 W. Essas lâmpadas combinam a elevada eficiência das lâmpadas de descarga com as vantagens da excelente reprodução de cor característica das lâmpadas de filamento de tungstênio. A [Figura 2.8](#) mostra o aspecto físico de

uma lâmpada de luz mista com os seus diversos componentes.

- Vida útil: 6.000 horas.
- Eficiência luminosa média: 22 lumens/watts.
- Índice de reprodução de cor (IRC): 0,61 a 0,63.

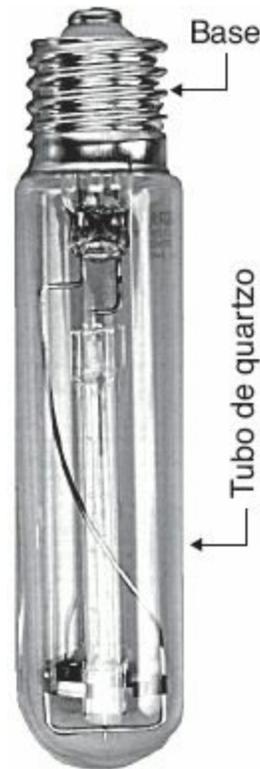


Figura 2.7 Lâmpada halógena.

2.3.4 Lâmpadas de descarga

Podem ser classificadas em vários tipos, que serão resumidamente estudados.

A vida útil das lâmpadas de descarga varia muito de acordo com o tipo, desde 7.500 horas para lâmpadas fluorescentes até 24.000 horas para lâmpadas a vapor de sódio. Seu custo inicial é normalmente elevado, porém apresentam um custo de manutenção relativamente reduzido. As lâmpadas de descargas mais empregadas serão estudadas a seguir.

2.3.4.1 *Lâmpadas fluorescentes*

São aquelas constituídas de um longo cilindro de vidro, cujo interior é revestido por uma camada de fósforo de diferentes tipos. O fósforo é um produto químico que detém as características de emitir luz quando ativado por energia ultravioleta – isto é, não visível. Cada extremidade da lâmpada possui um eletrodo de filamento de tungstênio revestido de óxido que, quando aquecido por uma corrente elétrica, libera uma nuvem de elétrons. Ao ser energizada a lâmpada, os eletrodos ficam submetidos a uma tensão elevada, o que resulta na formação de um arco entre os mesmos, de forma alternada. Os elétrons que constituem o arco se chocam com os átomos do gás argônio e de mercúrio, liberando certa quantidade de luz ultravioleta, que ativa a camada de fósforo anteriormente referida, transformando-se em luz visível. O fluxo luminoso varia em função da temperatura ambiente, sendo 25 °C, em geral, a temperatura de máximo rendimento. Para valores superiores ou inferiores, o rendimento torna-se declinante.

As lâmpadas de descarga apresentam uma elevada eficiência luminosa, compreendida entre 40 e 80 lumens/watt, e vida útil entre 7.500 e 12.000 horas de operação. São constituídas de um tubo de vidro revestido internamente por uma camada de substâncias fluorescentes quando resulta nos seguintes tipos de luz emitidos:

- Tungstênio de cálcio - luz emitida: azul-escura.
- Silicato de zinco - luz emitida: amarelo-verde.
- Borato de cálcio - luz emitida: róseo-clara.

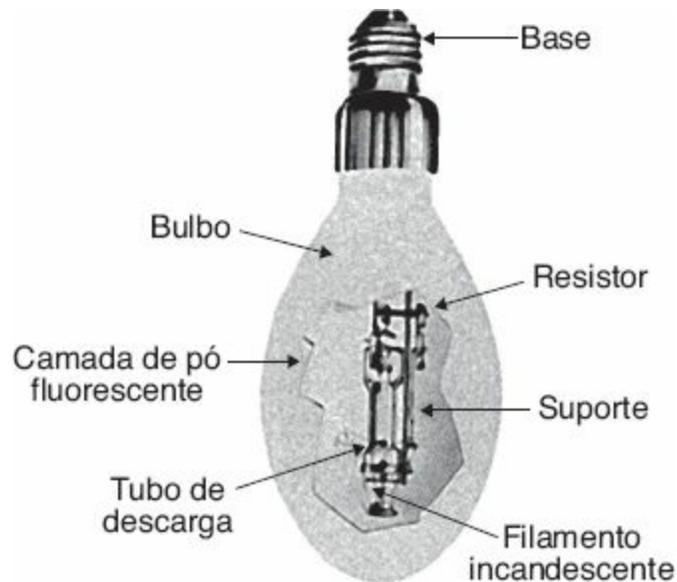


Figura 2.8 Lâmpada de luz mista.

Essas substâncias são ativadas pela energia ultravioleta resultante da descarga no interior do tubo contendo gás inerte (argônio) e mercúrio, que se vaporiza no instante da partida. O fluxo luminoso varia em função da temperatura ambiente, sendo 25 °C, em geral, a temperatura de máximo rendimento. Para valores superiores ou inferiores, o rendimento torna-se declinante.

As lâmpadas fluorescentes são reconhecidas pelo diâmetro do seu tubo. Na década de 1980 eram comercializadas as lâmpadas T12 (12/8 de polegada de diâmetro), sendo substituídas pelas lâmpadas T8, bem mais eficientes e que agora estão perdendo mercado para lâmpadas T5, de maior eficiência e menor diâmetro, permitindo um maior aproveitamento das superfícies reflexivas das luminárias.

As lâmpadas fluorescentes, ao contrário das incandescentes, não podem sozinhas controlar o fluxo de corrente. É necessário que se ligue um reator (reatância série) entre as suas extremidades externas para limitar o valor da corrente. As lâmpadas pequenas usam o reator somente para limitar a corrente, enquanto as lâmpadas fluorescentes grandes, além do reator, fazem

uso de um transformador para elevar a tensão. A [Figura 2.9](#) mostra o aspecto externo de uma lâmpada fluorescente, base bipino.

Como anteriormente mencionado, nas extremidades do tubo de vidro das lâmpadas fluorescentes são fixados os eletrodos (filamentos recobertos com substâncias emissoras de luz) com características próprias de emissão dos elétrons, dando às lâmpadas a seguinte classificação:

a) Lâmpadas fluorescentes de catodo quente preaquecido

A utilização destas lâmpadas implica o uso do *starter*, que se constitui no elemento de partida, cuja descrição e modo de operação estão apresentados na Seção 2.4.2. A [Figura 2.10](#) mostra a ligação da lâmpada associada aos respectivos *starter* e reator.

b) Lâmpadas fluorescentes de catodo sem preaquecimento

A utilização destas lâmpadas dispensa a aplicação do *starter* *S* e emprega reatores especiais que provocam uma tensão elevada de partida, iniciando o processo de emissão de elétrons sem a necessidade de um preaquecimento dos eletrodos *E*. A [Figura 2.11](#) mostra a ligação deste tipo de lâmpada.

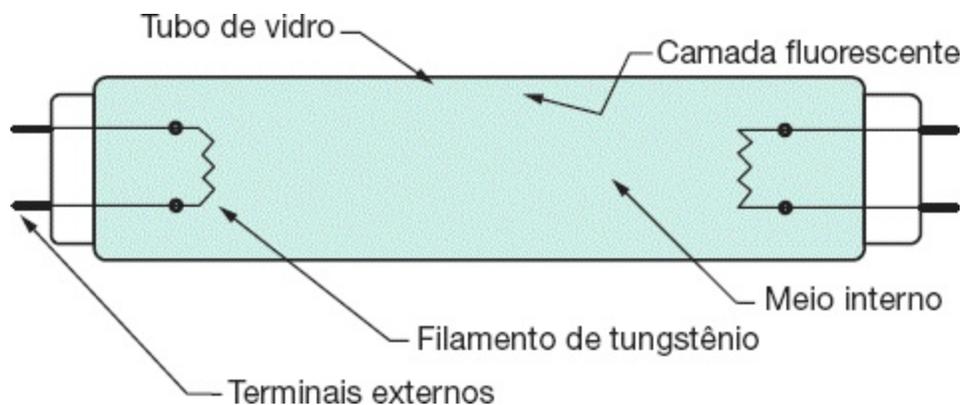


Figura 2.9 Lâmpada fluorescente bipino.

c) Lâmpadas fluorescentes de catodo frio

Como vantagem sobre as demais, possuem uma vida longa de

aproximadamente 25.000 horas. Semelhante às lâmpadas de catodo sem preaquecimento, têm partida instantânea. Sua tensão de partida é da ordem de 6 vezes a tensão de funcionamento.

- Eficiência luminosa média: 50 a 80 lumens/watts.
- Índice de reprodução de cor (IRC): 80 a 85.

2.3.4.2 Lâmpadas a vapor de mercúrio

São constituídas de um pequeno tubo de quartzo, onde são instalados nas extremidades, em geral, dois eletrodos principais e um eletrodo auxiliar, ligados em série com uma resistência de valor elevado. Dentro do tubo são colocadas algumas gotas de mercúrio, juntamente com o gás inerte, como o argônio, cuja finalidade é facilitar a formação da descarga inicial. Por outro lado, o mercúrio é vaporizado durante o período de preaquecimento da lâmpada. O tubo de quartzo é colocado dentro de um invólucro de vidro contendo certa quantidade de azoto cuja função é a distribuição uniforme da temperatura.

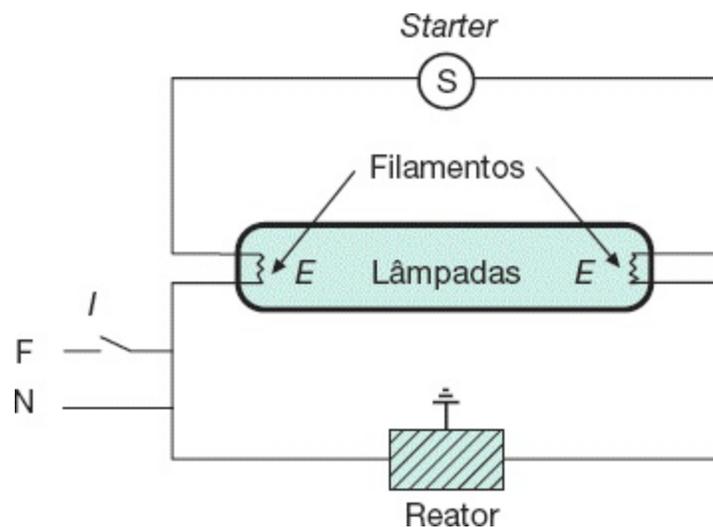


Figura 2.10 Ligação do *starter*.

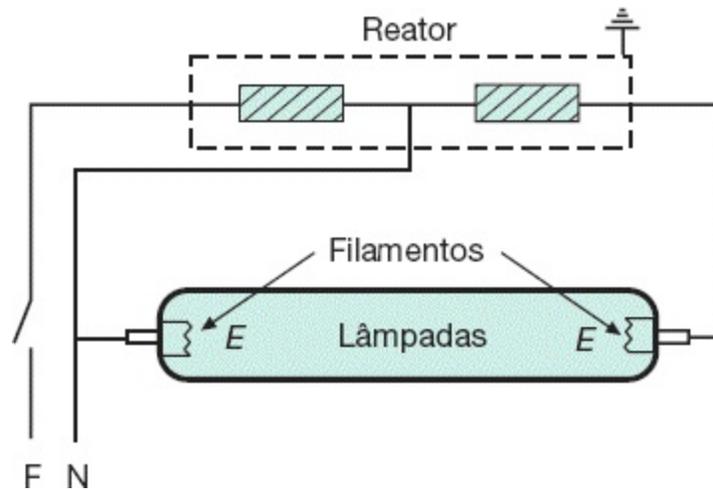


Figura 2.11 Ligação do reator-transformador.

Ao se aplicar a tensão nos terminais da lâmpada, cria-se um campo elétrico entre os eletrodos auxiliar e o principal mais próximo, provocando a formação de um arco elétrico entre os mesmos, aquecendo as substâncias emissoras de luz, o que resulta na ionização do gás e na consequente formação do vapor de mercúrio. O choque dos elétrons com os átomos do vapor de mercúrio no interior do tubo transforma sua estrutura atômica. A luz finalmente é produzida pela energia liberada pelos átomos atingidos quando retornam a sua estrutura normal.

As lâmpadas de mercúrio comuns não emitem, no seu espectro, a luz vermelha, limitando seu uso a ambientes em que não haja necessidade de boa reprodução de cores. Para corrigir essa deficiência utiliza-se o fósforo em alguns tipos de lâmpadas.

As lâmpadas a vapor de mercúrio têm uma elevada eficiência luminosa. Nesse particular, apresentam uma séria desvantagem ao longo de sua vida útil média, durante a qual a sua eficiência cai para um nível de aproximadamente 35 lumens/watt. Quando se desliga uma lâmpada a vapor de mercúrio é necessário um tempo de 5 a 10 minutos para que se possa reacendê-la, tempo suficiente para possibilitar as condições mínimas de reionização do mercúrio.

Quando a queda de tensão no circuito de alimentação é de 1 %, o fluxo

luminoso das lâmpadas VM cai para 3 % aproximadamente. Já quedas de tensão de 5 % comprometem a ignição das lâmpadas.

Uma característica particular do bulbo externo é absorver as radiações potencialmente perigosas emitidas do interior do tubo de arco (quartzo). As paredes internas do bulbo externo são revestidas de substâncias fluorescentes, tais como o vanadato de ítrio, que permitem uma maior ou menor reprodução de cores. A [Figura 2.12](#) mostra os detalhes principais de uma lâmpada a vapor de mercúrio.

- Vida útil: 18.000 horas.
- Eficiência luminosa média: 55 lumens/watts.
- Índice de reprodução de cor (IRC): 40.

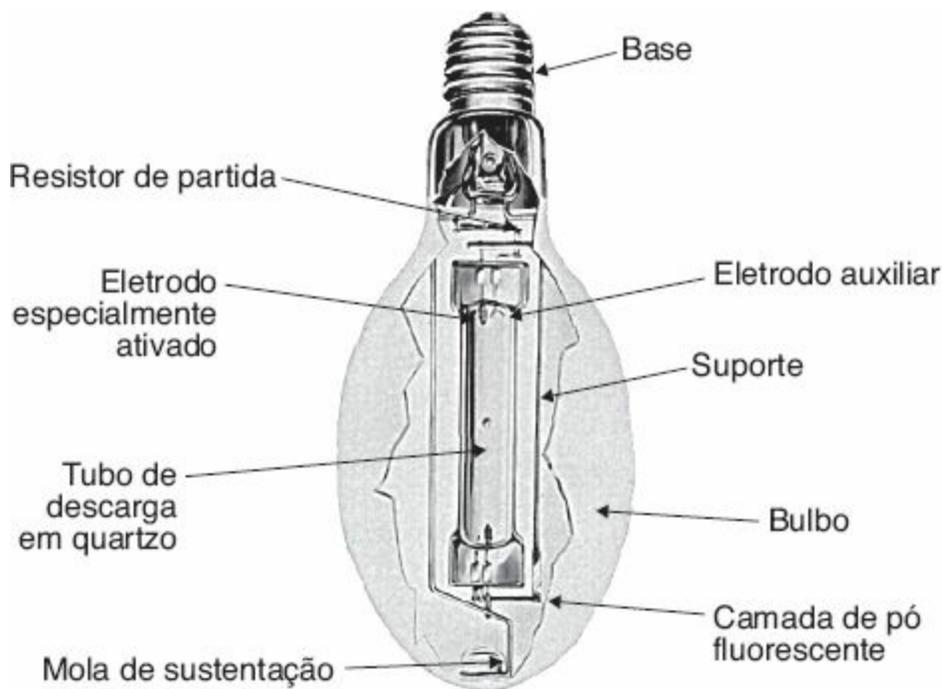


Figura 2.12 Lâmpada a vapor de mercúrio.

2.3.4.3 Lâmpadas a vapor de sódio

São fabricadas em dois tipos, relativamente à pressão no tubo de descarga:

a) Lâmpadas a vapor de sódio a baixa pressão

Construtivamente são formadas por um tubo especial de vidro na forma de U no interior do qual se produz a descarga. O tubo é colocado no interior de uma ampola tubular de vidro que atua como proteção mecânica e isolamento térmico e cujas paredes internas são cobertas por uma fina camada de óxido de estanho para refletir as radiações infravermelhas que são produzidas durante o processo de descarga.

Os eletrodos de filamento são fixados nos extremos do tubo de descarga. Sobre os eletrodos é depositado um material especial emissor de elétrons. No interior do tubo de descarga injeta-se certa quantidade de gás neon que favorece o acendimento, acrescida também de outra quantidade de sódio que se condensa e se deposita em pequenas cavidades do tubo quando a lâmpada se resfria. Os gases são submetidos a uma pressão da ordem de 600 N/m^2 .

As lâmpadas a vapor de sódio a baixa pressão são caracterizadas por emitir uma radiação quase monocromática (luz amarela), ter alta eficiência luminosa e apresentar uma elevada vida útil de operação. Devido a sua característica monocromática, é desaconselhável o seu uso interno em instalações industriais. No entanto, podem ser utilizadas na iluminação de pátios de descarga. A [Figura 2.13](#) fornece os principais componentes de diferentes modelos de lâmpadas a vapor de sódio.

- Vida útil: 18.000 a 24.000 horas.
- Eficiência luminosa média: 200 lumens/watts.
- Índice de reprodução de cor (IRC): 20.

b) Lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão

São constituídas de um tubo de descarga contendo um excesso de sódio que se vaporiza durante o período de acendimento em condições de saturação. É utilizado um gás inerte, o xenônio, em alta pressão, para se obter uma baixa tensão de ignição.

Ao contrário das lâmpadas a vapor de sódio à baixa pressão, apresentam um espectro visível contínuo, propiciando uma razoável reprodução de cor. Devido à sua característica de reprodução de cores, podem ser utilizadas no interior de instalações industriais cujas tarefas não necessitem de uma fidelidade de cor.

- Vida útil: 18.000 a 24.000 horas.
- Eficiência luminosa média: 130 lumens/watts.
- Índice de reprodução de cor: 30.

2.3.4.4 Lâmpadas a vapor metálico

É um tipo particular da lâmpada a vapor de mercúrio em que são adicionados iodeto de índio, tálio e sódio. A mistura adequada destes compostos no tubo de descarga proporciona um fluxo luminoso de excelente reprodução de cores. Sua temperatura da cor é de 4.000 K e apresentam uma elevada eficiência luminosa, vida longa alta e baixa depreciação. São industrializadas nas formas ovoidal e tubular. As lâmpadas ovoidais possuem uma cobertura que aumenta a superfície de emissão de luz, reduzindo a sua luminância.

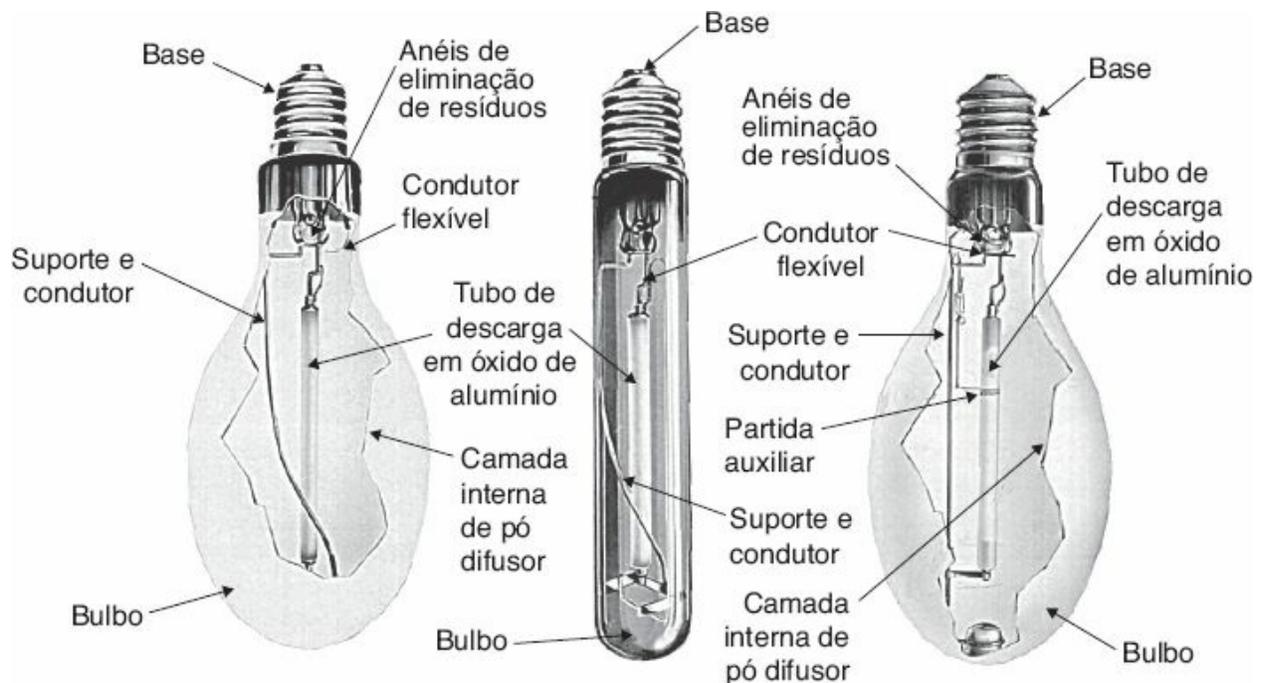


Figura 2.13 Lâmpadas a vapor de sódio.

São fornecidas lâmpadas a vapor metálico nas potências de 400 a 2.000 W.

Estas lâmpadas são indicadas particularmente para a aplicação em áreas de pátios de estacionamento, quadras esportivas, campos de futebol e galpões destinados a produtos de exposição. A [Figura 2.14](#) mostra os principais componentes de diferentes tipos de lâmpadas a vapor metálico.

- Vida útil: 24.000 horas.
- Eficiência luminosa média: 98 lumens/watts.
- Índice de reprodução de cor (IRC): 80 a 90.

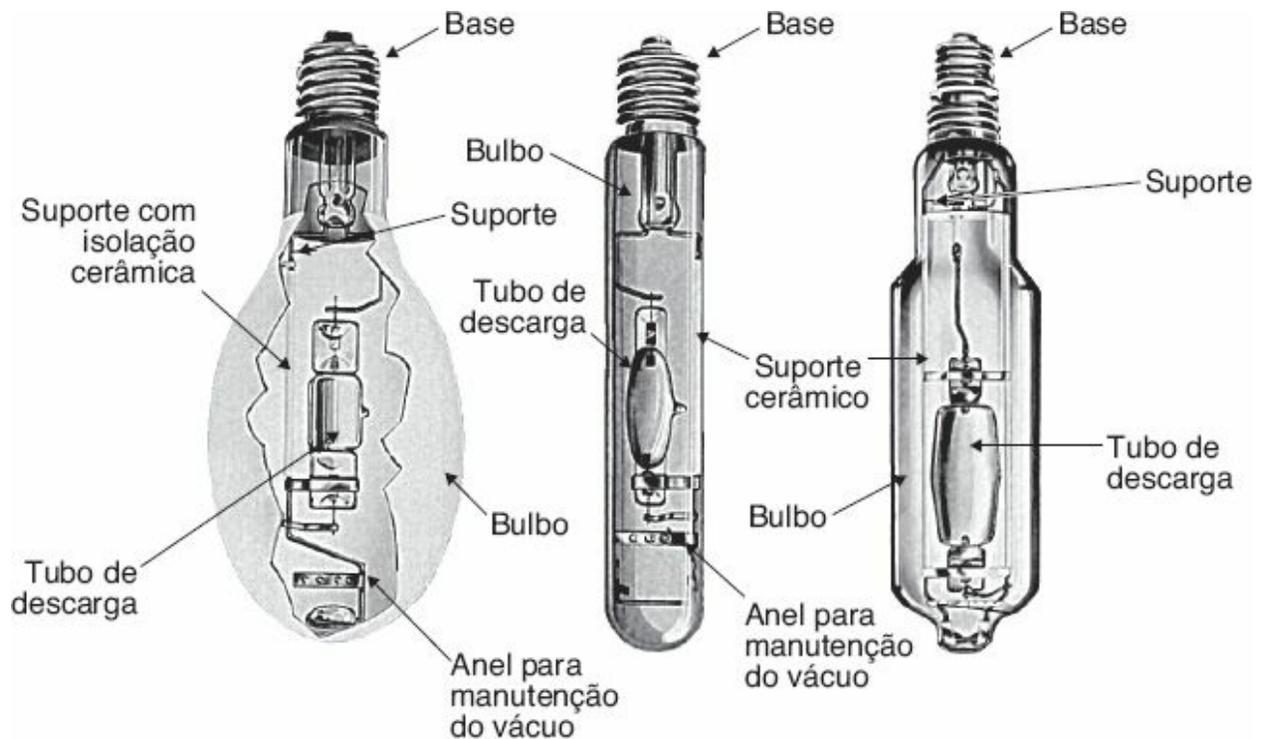


Figura 2.14 Lâmpadas a vapor metálico.

A [Tabela 2.3](#) sugere os diversos tipos de aplicação das lâmpadas elétricas estudadas anteriormente, mostrando as vantagens e desvantagens de seu emprego, o fluxo luminoso, a eficiência luminosa e a vida útil média esperada quando em operação e que serve de orientação aos projetistas.

2.4 Dispositivos de controle

São dispositivos utilizados para proporcionar a partida das lâmpadas de descarga e controlar o fluxo de corrente no seu circuito.

As lâmpadas de descarga necessitam dos seguintes dispositivos para a estabilização da corrente e para a ignição.

2.4.1 Reatores

São elementos do circuito da lâmpada responsáveis pela estabilização da

corrente a um nível adequado de projeto da lâmpada. Os reatores se apresentam como uma reatância série do circuito da lâmpada.

Tabela 2.2 Características das lâmpadas - fluxo luminoso inicial

Características das lâmpadas						
Tipo de lâmpada	Potência (watts)	Fluxo luminoso (lumens)	Eficiência luminosa média (lm/watts)	Vida média (horas)	Vantagens	Desvantagens
Incandescente comum	40	470	12	1.000	Iluminação geral e localizada de interiores. Tamanho reduzido e custo baixo.	Baixa eficiência luminosa e, por isto, custo de uso elevado; alta produção de calor, vida média curta.
	60	780	13			
	100	1.480	15			
	150	2.360	16			
Mista	160	3.000	19	6.000	Substituem lâmpadas incandescentes normais de elevada potência. Pequeno volume. Boa vida média.	Custo elevado; demora 5 min para atingir 80 % do fluxo luminoso.
	250	5.500	22			
	500	13.500	27			
						Custo elevado que, no entanto, pode

Vapor de mercúrio*	80	3.500	44	15.000	Boa eficiência luminosa, pequeno volume, longa vida média.	ser amortizado durante o uso; demora de 4 a 5 minutos para conseguir a emissão luminosa máxima.
	125	6.000	48			
	250	12.600	50			
	400	22.000	55			
	700	35.000	58			
Fluorescente comum*	15	850	57	7.500 10.000	Ótima eficiência luminosa e baixo custo de funcionamento. Boa reprodução de cores. Boa vida média.	Custo elevado de instalação.
	20	1.200	53			
	30	2.000	69			
	40	3.000	69			
Fluorescente HO	60	3.850	64	10.000		
	85	5.900	69			
	110	8.300	76			
Fluorescente econômica*	16	1.020	64	7.500		
	32	2.500	78			
Fluorescente compacta*	5	250	50	5.000		
	7	400	57			
	9	600	67			
	11	900	62			
	13	900	69			

	15	1.100	70			
	20	1.200	72			
	23	1.400	74			
Vapor de sódio a alta pressão*	50	3.000	60	18.000	Ótima eficiência luminosa, longa vida útil, baixo custo de funcionamento, dimensões reduzidas,** razoável rendimento cromático (luz de cor branco-dourada).	Custo elevado que é amortizado com o uso. Demora em torno de 5 minutos para atingir 90 % do fluxo luminoso total.
	70	5.500	79			
	150	12.500	83			
	250	26.000	104			
	400	47.500	119			
Vapor metálico	400	28.500	98	24.000	Ótima eficiência luminosa, longa vida útil	Custo elevado que é amortizado com o uso.
	1.000	90.000				
	2.000	182.000				

Fonte: ABILUX/88.

* Na eficiência destas lâmpadas não foram consideradas as perdas dos reatores.

** Nenhuma limitação para a posição de funcionamento.

Tabela 2.3 Aplicação das lâmpadas elétricas

Aplicação das lâmpadas elétricas								
Tipo de ambiente	Tipos de lâmpadas							
Comércio	A	B	C	D	E	F	G	H

Alimentício		X	X	X	X
Mercearia			X	X	X
Açougue	X	X	X	X	
Confecção			X	X	
Ferragens			X	X	
Armarinhos			X	X	
Móveis			X	X	
Relojoarias	X	X	X	X	
Livrarias e papelerias			X	X	
Florista	X		X	X	
Escritórios					
Ambientes de trabalho burocrático			X	X	
Salas de reuniões			X	X	
Salas de análise de desenhos			X	X	
Locais públicos					
Escolas	X		X	X	X
Auditórios	X		X	X	X

Clínicas	X	X	X			X
Cinemas	X	X	X			
Teatros	X	X	X			
Restaurantes	X	X	X			
Ambientes externos						
Rodovias				X		
Avenidas				X	X	
Vias expressas				X	X	
Vias secundárias	X			X		
Viadutos e vias elevadas				X	X	X
Pátios de manobra, estacionamento etc.	X			X	X	X
Estádios				X		
Túneis					X	X
Vias fluviais	X			X		
Praças, jardins etc.	X			X	X	
Fachadas e monumentos				X	X	X X

A - lâmpada incandescente

B - lâmpada mista

- C - lâmpada fluorescente
- D - lâmpada fluorescente compacta
- E - lâmpada a vapor de mercúrio
- F - lâmpada a vapor de sódio de alta pressão
- G - lâmpada a vapor metálico
- H - lâmpada de halogênio

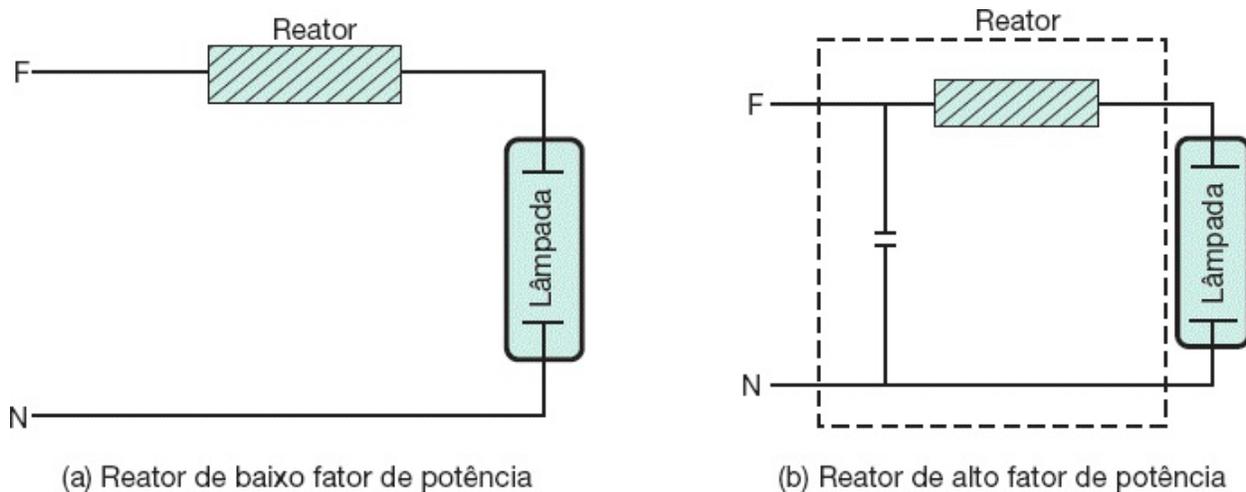


Figura 2.15 Reator para lâmpadas de descarga.

Quando a tensão na rede é suficiente para permitir a partida da lâmpada de descarga, basta que se utilizem reatores série, que são formados por uma simples bobina enrolada sobre um núcleo de ferro, cuja função é regular o fluxo de corrente da lâmpada. O reator é de construção simples e de menor custo, porém opera com fator de potência entre 0,40 e 0,60 indutivo. Se for agregado a esse reator um capacitor ligado em paralelo, formando um único dispositivo, melhora-se a condição operacional da rede, devido ao novo fator de potência que é da ordem de 0,95 a 0,98. A conexão dos dois tipos de reatores com as respectivas lâmpadas é dada nas Figuras 2.15(a) e (b). No entanto, pode-se agregar ao reator simples um capacitor ligado em série. São reatores aplicados em redes onde a regulação de tensão é muito elevada.

Em geral, as lâmpadas de descarga funcionam conectadas com reatores. O fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas de descarga depende do desempenho do reator, denominado de fator de fluxo luminoso ou conhecido

ainda como *ballast factor*, que corresponde à relação entre o fluxo luminoso obtido e o fluxo luminoso nominal da lâmpada.

Normalmente, os reatores para qualquer tipo de lâmpada trazem impresso o diagrama de ligação na parte superior da carcaça, como se pode observar na [Figura 2.16](#). Como exemplo, a [Figura 2.17](#) mostra alguns diagramas de ligação referentes a vários tipos de reatores.

Existem no mercado dois diferentes tipos de reatores.

2.4.1.1 Reatores eletromagnéticos

São de fabricação convencional, dotados de um núcleo de ferro e de um enrolamento de cobre. No entanto, são comercializados dois tipos diferentes:

a) Reator eletromagnético a baixo fator de potência

O reator eletromagnético consiste basicamente em um núcleo de lâminas de aço especial coladas e soldadas associado a uma bobina de fio de cobre esmaltado. O conjunto é montado no interior de caixa metálica, denominada carcaça, construída em chapa de aço. Os espaços vazios no interior da carcaça são preenchidos com uma massa de poliéster.

Os reatores para lâmpadas fluorescentes são fornecidos para ligação de uma única lâmpada – reatores simples – ou para ligação de duas lâmpadas – reatores duplos.

b) Reator eletromagnético a alto fator de potência

São dotados de um núcleo de ferro e um enrolamento de cobre, além de um capacitor ligado em paralelo que permite elevar o fator de potência conforme a informação anterior.

2.4.1.2 Reatores eletrônicos

Esses reatores são constituídos por três diferentes blocos funcionais:

a) Fonte

Responsável pela redução da tensão da rede de alimentação e conversão dessa tensão na frequência de 50/60 Hz em tensão contínua. Adicionalmente, a fonte desempenha as seguintes funções:

- suprime os sinais de radiofrequência para compatibilizar com a classe de imunidade do reator;
- protege os diversos componentes eletrônicos do conversor contra surtos de tensão;
- protege a rede de alimentação contra falhas do conversor.
- limita a injeção de componentes harmônicos no sistema de alimentação.

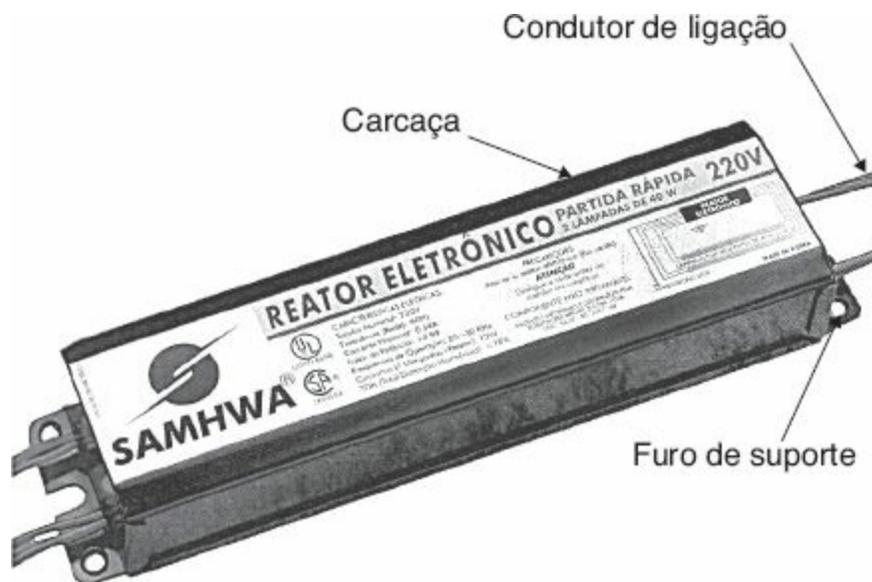


Figura 2.16 Reator.

b) Inversor

É responsável pela conversão da tensão contínua em tensão ou corrente alternada de alta frequência, dependendo do tipo de lâmpada utilizado.

c) Circuito de partida e estabilização

Este circuito está associado normalmente ao inversor. Em geral, são utilizadas indutâncias e capacitâncias combinadas de forma a fornecer adequadamente os parâmetros elétricos que a lâmpada requer.

Os reatores eletrônicos possuem grandes vantagens sobre os reatores eletromagnéticos, apesar de seu preço ser ligeiramente superior ao daqueles:

- reduzem as oscilações das lâmpadas devido à alta frequência com que operam;
- atenuam ou praticamente eliminam o efeito estroboscópico;
- operam a alto fator de potência, alcançando cerca de 0,99;
- operam com baixas perdas ôhmicas;
- apresentam, em geral, baixa distorção harmônica;
- permitem o uso de *dimer* e, conseqüentemente, possibilitam obter-se redução do custo de energia;
- permitem elevar a vida útil da lâmpada;
- permitem ser associados a sistemas automáticos de controle e conservação de energia.

A [Tabela 2.4](#) fornece as principais características técnicas dos reatores Philips.

2.4.2 Starters

São dispositivos constituídos de um pequeno tubo de vidro dentro do qual são colocados dois eletrodos, imersos em gás inerte responsável pela formação inicial do arco que permitirá estabelecer um contato direto entre os referidos eletrodos. Somente um eletrodo é constituído de uma lâmina bimetálica que volta ao estado inicial decorridos alguns instantes. Sua operação é feita da seguinte forma: ao acionarmos o interruptor I da [Figura 2.17\(a\)](#), produz-se um arco no dispositivo de partida S (*starter*) entre as lâminas A e B , conforme [Figura 2.18\(a\)](#), cujo calor resultante provoca o estabelecimento do contato elétrico entre as mesmas, fazendo a corrente elétrica percorrer o circuito no

qual estão inseridos os eletrodos E da lâmpada, os quais se aquecem e emitem elétrons. Decorrido um pequeno intervalo de tempo, o contato entre as lâminas A e B é desfeito, pois a corrente que as atravessa não é suficiente para mantê-las em operação. Neste instante, produz-se uma variação de corrente responsável pelo aparecimento da força eletromotriz de elevado valor na indutância do reator, provocando um arco entre os eletrodos E da lâmpada e, em consequência, o acendimento da mesma. Pelo efeito da reatância série, a tensão entre os eletrodos diminui, não mais estabelecendo um arco entre as lâminas A e B do *starter*. A partir de então o reator passa a funcionar como estabilizador de corrente, através de sua impedância própria, limitando a tensão ao valor requerido. O capacitor C acoplado ao circuito do *starter* tem por finalidade diminuir a interferência sobre os aparelhos de rádio e comunicação durante o processo de acendimento da lâmpada.

Tabela 2.4 Características dos reatores Philips

Lâmpadas	Tensão	Corrente	Fator de potência	Perdas (W)	Modelo
Reatores simples					
1 × 16	127	0,63	0,33	11	
1 × 16	220	0,40	0,33	12	
1 × 20	127	0,75	0,35	12,0	
1 × 20	220	0,40	0,40	10,0	
1 × 32	127	0,65	0,46	7,0	TL
1 × 32	220	0,37	0,50	9,0	

1 × 40	127	0,92	0,45	10,0
1 × 40	220	0,50	0,49	10,0
1 × 110	220	0,60	0,95	15,0

Reatores duplos

2 × 16	127	0,40	0,95	13,0	
2 × 16	220	0,24	0,95	11,0	
2 × 20	127	0,45	0,95	15,0	
2 × 20	220	0,27	0,95	19,0	
2 × 32	127	0,67	0,95	9,0	TL HO
2 × 32	220	0,37	0,95	9,0	
2 × 40	127	0,80	0,95	12,0	
2 × 40	220	0,47	0,95	12,0	
2 × 110	127	1,90	0,95	19,0	
2 × 110	220	1,10	0,95	19,0	

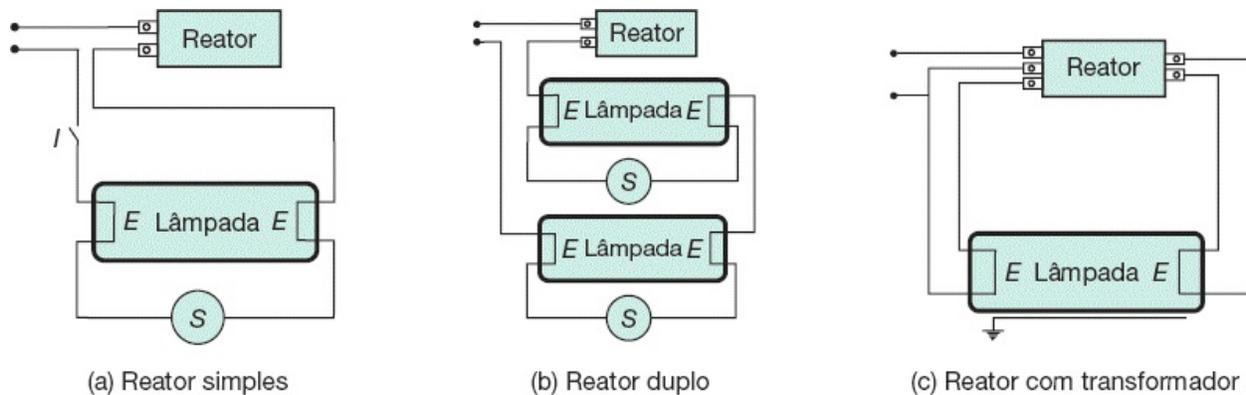


Figura 2.17 Ligações típicas dos reatores às respectivas lâmpadas.

As Figuras 2.18(a) e (b) mostram, respectivamente, os componentes de um *starter* e o seu aspecto externo.

2.4.3 Ignitores

São elementos utilizados em lâmpadas a vapor metálico e vapor de sódio e que atuam gerando uma série de pulsações de tensão elevada da ordem de 1 a 5 kV, a fim de iniciar a descarga destas. Uma vez que a lâmpada inicie a sua operação, o ignitor deixa automaticamente de emitir pulsos.

As lâmpadas a vapor de sódio de baixa e alta pressão e as lâmpadas a vapor metálico, devido à composição e à construção dos seus tubos de descarga, necessitam na sua partida de uma tensão superior à tensão da rede normalmente utilizada. Os reatores (reator + transformador), em geral, são os responsáveis pela geração dessa tensão. No entanto, essas lâmpadas requerem uma tensão tão elevada que é necessário um equipamento auxiliar, denominado de ignitor, para proporcionar o nível de tensão exigido.

Quando as lâmpadas são desligadas por um determinado intervalo de tempo, a pressão do gás diminui. Se a lâmpada for novamente energizada, o ignitor inicia o disparo até que a pressão do gás atinja o valor mínimo de reacendimento. Quando a lâmpada inicia sua operação normal, o ignitor para de emitir pulso.

As lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão apresentam um tempo de reignição de cerca de 1 minuto, enquanto as lâmpadas a vapor metálico requerem um tempo de aproximadamente 15 minutos. Como os estádios de futebol destinados a jogos oficiais somente utilizam lâmpadas a vapor metálico, o excessivo tempo de reignição tem ocasionado grandes transtornos quando há uma falha momentânea no suprimento de energia. O jogo é paralisado durante o tempo de reignição da lâmpada. Nesse tipo de atividade, é conveniente a utilização de algumas lâmpadas incandescentes, cujo acendimento é instantâneo e possibilita uma luminosidade aceitável para a movimentação das pessoas.

Os ignitores são comercializados em três diferentes tipos.

2.4.3.1 Ignitor derivação

Esse tipo de ignitor é constituído de três terminais conectados segundo o diagrama da [Figura 2.19\(a\)](#). Nesse caso, o capacitor C se descarrega mediante o dispositivo controlador D . Os pulsos gerados pelo ignitor são aplicados sobre o reator ligado entre os pontos 2 e 3 vistos no diagrama. Através de um adequado número de espiras, o reator amplia o módulo dos pulsos e os aplica sobre os terminais da lâmpada.



Figura 2.18 Starter.

Esse tipo de ignitor apresenta as seguintes características:

- utiliza o reator como transformador de impulso;
- o reator deve suportar os impulsos de tensão;
- o reator e o ignitor devem estar juntos e o conjunto, afastado da lâmpada.

2.4.3.2 Ignitor série

Esse tipo de ignitor é constituído de três terminais conectados segundo a [Figura 2.19\(b\)](#). Neste caso, o capacitor C se descarrega mediante o dispositivo controlador D . Os pulsos gerados pelo ignitor são aplicados às espiras do transformador em T , que amplifica os pulsos adequadamente, cujo módulo da tensão depende do próprio ignitor.

O ignitor série apresenta as seguintes características:

- o ignitor e o transformador estão incorporados em um único invólucro;
- o ignitor funciona independentemente do reator instalado;

- deve estar próximo à lâmpada para evitar a redução da intensidade dos pulsos;
- o transformador pode estar distante da lâmpada.

2.4.3.3 Ignitor paralelo

Esse tipo de ignitor é constituído de dois terminais conectados de acordo com o diagrama da [Figura 2.19\(c\)](#). Neste caso, a energia armazenada no capacitor C e fornecida à lâmpada através da intervenção do circuito de disparo D , no instante em que a tensão alcança o seu valor máximo, resulta em um pulso de tensão da ordem de 2 a 4 vezes a tensão da rede de alimentação, isto é, entre 600 e 1.200 V.

O ignitor paralelo apresenta as seguintes características:

- é utilizado somente com alguns tipos de lâmpadas a vapor de mercúrio e a vapor de sódio de baixa pressão;
- a tensão de impulso de 1.200 V pode perfurar o isolamento dos componentes do circuito da lâmpada caso esta não chegue a acender.

2.5 Luminárias

São aparelhos destinados à fixação das lâmpadas, devendo apresentar as seguintes características básicas:

- serem agradáveis ao observador;
- modificarem o fluxo luminoso da fonte de luz;
- possibilitarem fácil instalação e posterior manutenção.

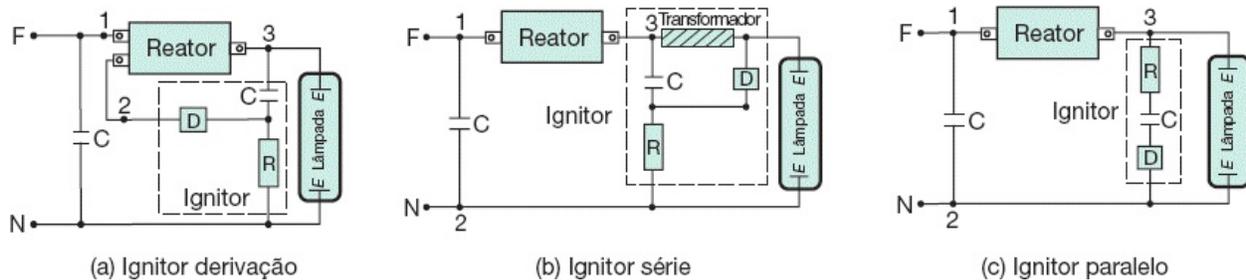


Figura 2.19 Ignitores.

A seleção de luminárias em recintos industriais deve ser precedida de algumas precauções, relativamente à atividade produtiva do projeto. Assim, para ambientes onde haja presença de gases combustíveis em suspensão, é necessário escolher luminárias fabricadas com corpo resistente à pressão ou de segurança reforçada, prevenindo, desta forma, acidentes sérios provocados, por exemplo, pela explosão de uma lâmpada. Também, em indústrias têxteis, onde há uma excessiva poluição de pó de algodão em estado de suspensão no ar, a tendência é adotar no projeto luminárias do tipo fechado. Já para ambientes onde existe vapor de substâncias oleaginosas ou de fácil impregnação, é aconselhável não se utilizar luminárias abertas com refletor de alumínio, pois sua superfície é porosa e absorve facilmente essas substâncias, reduzindo a sua refletância e, conseqüentemente, a sua eficiência. O uso de um vidro plano resistente ao calor fechando hermeticamente a luminária protege um pouco mais o refletor, porém, quando a lâmpada é desligada, ocorre uma pressão negativa na parte interna da luminária, propiciando a entrada do ar externo contaminado, cujos poluentes se depositam na superfície do refletor, tornando-a escura e pouco refletiva.

No entanto, o uso do refletor de vidro de borossilicato, mesmo utilizando a luminária aberta, o ar ascendente contaminado circulando pelo seu interior, devido ao calor desenvolvido pela lâmpada, não se deposita na superfície do borossilicato, fazendo com que a lâmpada permaneça com as características originais.

Assim, no caso de ambientes industriais com temperatura elevada e onde

há presença de poeira em suspensão, fumaça, vapor de óleo, têm sido utilizadas luminárias com refletor em vidro borossilicato prismático com as seguintes vantagens:

- o vidro de borossilicato não está sujeito a alterações devido aos raios ultravioletas ou ao calor gerado pela lâmpada;
- o vidro de borossilicato é inerte eletrostaticamente, o que evita que as partículas de poeira em suspensão sejam aderentes ao refletor;
- os refletores de borossilicato, após a limpeza, adquirem praticamente a sua condição original;
- apresenta maior eficiência em função de a reflexão e a refração ocorrerem através de prismas.

2.5.1 Características quanto à direção do fluxo luminoso

Para a iluminação geral, a IEC adotou as seguintes classes para as luminárias:

2.5.1.1 Direta

Quando o fluxo luminoso é dirigido diretamente ao plano de trabalho. Nesta classe se enquadram as luminárias refletoras espelhadas, comumente chamadas de *spots*.

2.5.1.2 Indireta

Quando o fluxo luminoso é dirigido diretamente em oposição ao plano de trabalho. As luminárias que atendem a esta classe, em geral, assumem uma função decorativa no ambiente iluminado.

2.5.1.3 Semidireta

Quando parte do fluxo luminoso chega ao plano de trabalho diretamente dirigido e outra parte atinge o mesmo plano por reflexão. Neste caso, deve

haver predominância do efeito direto.

2.5.1.4 Semi-indireta

Quando parte do fluxo luminoso chega ao plano de trabalho por efeito indireto e outra parte é diretamente dirigida ao mesmo. Neste caso, o efeito predominante deve ser o indireto.

2.5.1.5 Geral-difusa

Quando o fluxo luminoso apresenta praticamente a mesma intensidade em todas as direções.

Para mais informações sobre o assunto, consultar literatura específica.

2.5.2 Características quanto à modificação do fluxo luminoso

As luminárias têm a propriedade de poder modificar o fluxo luminoso produzido por sua fonte luminosa (a lâmpada). Assim, se uma luminária é dotada de um vidro protetor transparente, parte do fluxo luminoso é refletida para o interior da luminária, parte é transformada em calor e, finalmente, a maior parte é dirigida ao ambiente a iluminar. Dessa forma, as luminárias podem ser assim classificadas de acordo com as suas propriedades de modificar o fluxo luminoso.

2.5.2.1 Absorção

É a característica da luminária de absorver parte do fluxo luminoso incidente na sua superfície. Quanto mais escura for a superfície interna da luminária, maior será o índice de absorção.

2.5.2.2 Refração

É a característica das luminárias de poder direcionar o fluxo luminoso da fonte que é composta pela lâmpada e refletor, através de um vidro transparente de construção específica, podendo ser plano (não há modificação da direção do fluxo) ou prismático. Os faróis de automóveis são exemplos de luminárias refratoras prismáticas.

2.5.2.3 Reflexão

É a característica das luminárias de modificar a distribuição do fluxo luminoso através da sua superfície interna e segundo a sua forma geométrica de construção (parabólica, elíptica etc.).

2.5.2.4 Difusão

É a característica das luminárias de reduzir a sua luminância, diminuindo conseqüentemente os efeitos inconvenientes do ofuscamento, através de uma placa de acrílico ou de vidro.

2.5.2.5 Louvers

O painel destas luminárias é constituído por aletas de material plástico ou metálico, em geral esmaltado na cor branca, não permitindo que a lâmpada seja vista pelo observador dentro de um determinado ângulo.

2.5.3 Aplicação

As luminárias devem ser aplicadas de acordo com o ambiente a iluminar e com o tipo de atividade desenvolvida no local. Em geral, são conhecidos os seguintes tipos:

- luminárias comerciais;
- luminárias industriais;
- luminárias para logradouros públicos;

- luminárias para jardins.

Nas instalações comerciais, as luminárias mais empregadas são as fluorescentes. Há vários tipos disponíveis no mercado e a escolha de um deles deve ser estudada tanto do ponto de vista econômico como técnico. Em geral, a sua aplicação é conveniente em ambientes cuja altura não ultrapasse 6 m.

Nas instalações industriais, é mais frequente o emprego de luminárias de fecho de abertura média para lâmpadas de descarga, sendo que a preferência recai sobre as lâmpadas a vapor de mercúrio. São aplicadas mais comumente em galpões industriais com altura superior a 6 m. A [Figura 2.20\(a\)](#) mostra um modelo de projetor industrial muito utilizado em instalações industriais e próprio para lâmpadas a vapor de mercúrio ou a vapor de sódio. Se o projeto utiliza lâmpadas a vapor metálico, é comum o uso do projetor da [Figura 2.20\(b\)](#).

As luminárias para áreas externas são construídas para fixação em poste. A [Figura 2.21](#) mostra uma luminária de uso muito comum em áreas externas de complexos industriais. Alternativamente são também utilizadas luminárias específicas montadas em postes tubulares metálicos do tipo apresentado na [Figura 2.22](#).

No ajardinamento dessas áreas são frequentemente aplicadas luminárias específicas com aparência agradável, com fins decorativos. A sensibilidade estética do projetista, aliada aos conhecimentos necessários de luminotécnica, leva à elaboração de bons projetos de iluminação.

2.5.4 Características fotométricas

Cada tipo de luminária, juntamente com a sua fonte luminosa, produz um fluxo luminoso de efeito não uniforme. Se a fonte luminosa distribui o fluxo de maneira espacialmente uniforme, em todas as direções, a intensidade luminosa é igual para cada distância tomada da referida fonte. Caso contrário,

para cada plano em uma dada direção, a intensidade luminosa toma diferentes valores. A distribuição deste fluxo em forma de intensidade luminosa é representada através de um diagrama de coordenadas polares, cuja fonte luminosa se localiza no seu centro.

Tomando como base este ponto, a intensidade é determinada em função das várias direções consideradas. Para citar um exemplo, observar o diagrama da [Figura 2.23](#), no qual a intensidade luminosa para ângulo de 0° , diretamente abaixo da luminária, é de 260 candelas para 1.000 lumens da lâmpada, e, a um ângulo de 60° , a intensidade luminosa se reduz a 40 candelas para 1.000 lumens. Como a intensidade luminosa é proporcional ao fluxo luminoso emitido pela lâmpada, os fabricantes de luminárias, convencionalmente, elaboram estas curvas tomando como base um fluxo luminoso de 1.000 lumens. Já a [Figura 2.24](#) mostra a luminária que produz a distribuição luminosa da [Figura 2.23](#).

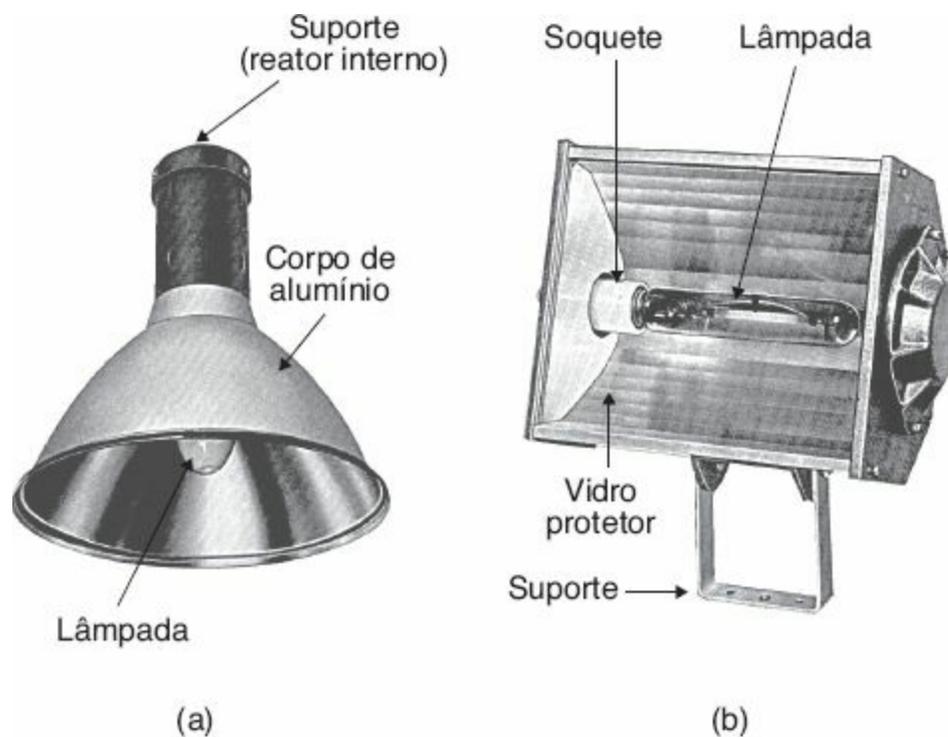


Figura 2.20 Tipos de projetor industrial.

As curvas de distribuição luminosa são utilizadas, com frequência, nos projetos de iluminação, empregando o método ponto por ponto, a ser estudado posteriormente.

2.5.5 Ofuscamento

É o fenômeno produzido por excesso de luminância de uma fonte de luz. O ofuscamento oferece ao espectador uma sensação de desconforto visual quando este permanece no recinto iluminado durante certo intervalo de tempo. O ofuscamento direto provocado pela luminância excessiva de uma determinada fonte de luz pode ser reduzido ou eliminado através do emprego de vidros difusores ou opacos, colmeias etc. O limite de ofuscamento é dado pela Equação (2.5) e está representado na [Figura 2.25](#).

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{D}{H_{no}} \quad (2.5)$$

D - distância horizontal do espectador à fonte luminosa, em m;

H_{no} - altura da fonte luminosa no nível do olho, em m.



Figura 2.21 Luminária externa.

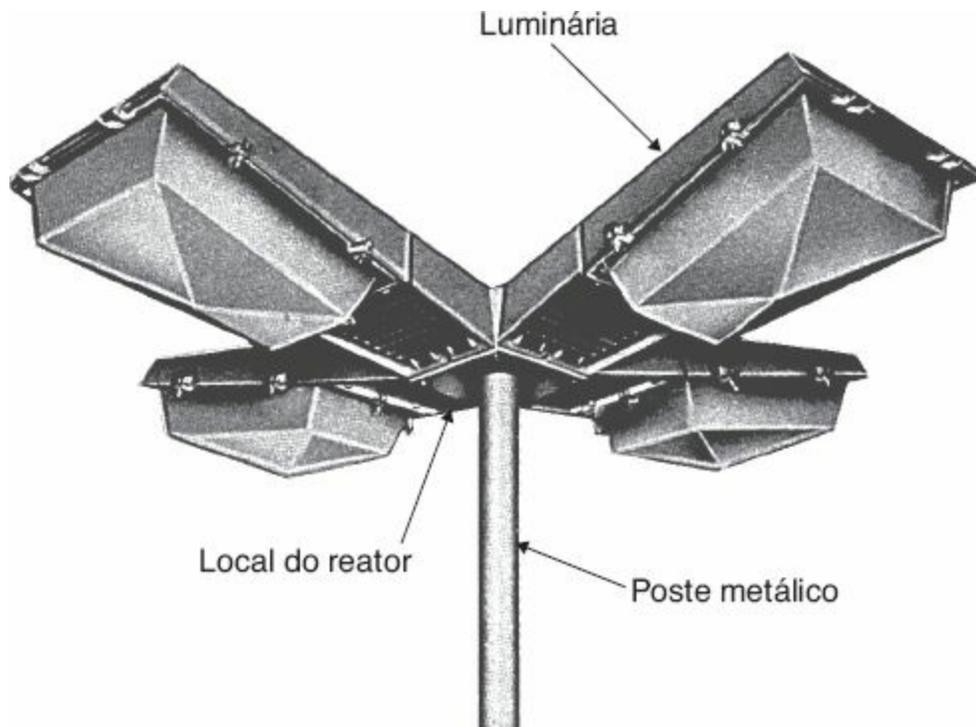


Figura 2.22 Sistema de iluminação externa.

Há vários métodos de avaliação do ofuscamento adotados em diferentes países europeus. Um dos mais utilizados baseia-se na satisfação visual dos observadores em função dos níveis de iluminação, ângulo de visão φ e das dimensões D e H_{no} .

O ângulo φ igual a 45° representa o valor máximo acima do qual são considerados os limites de luminância para luminárias observadas sob uma direção normal da visão.

As normas alemãs DIN 5035 apresentam três classes de ofuscamento, de acordo com a qualidade exigida para o ambiente de trabalho:

a) Classe C1

Deve-se adotar uma excelente qualidade em relação ao ofuscamento. São ambientes característicos de salas de aula, lojas de exposição, museus, salas de desenho, recintos de trabalho manual fino, recintos com máquinas operatrizes de produção de alta velocidade.

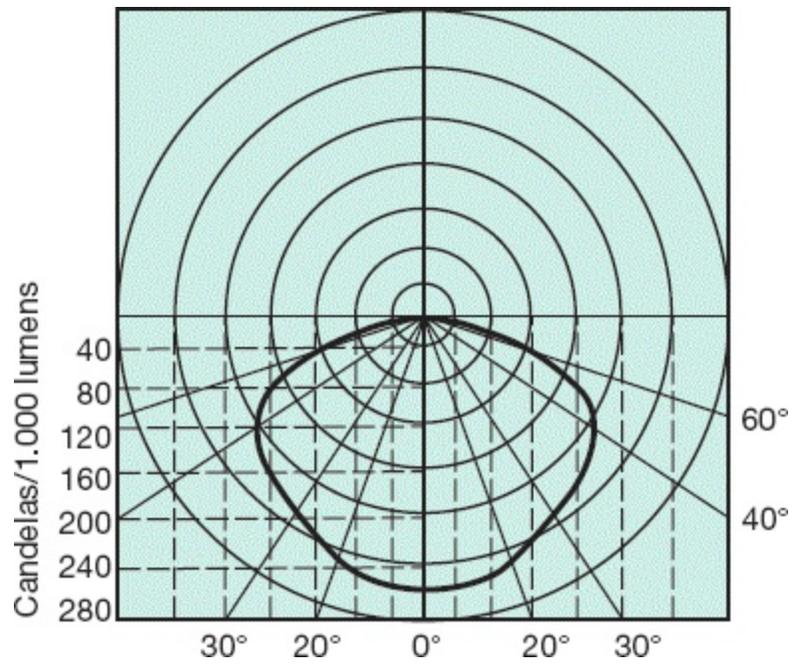


Figura 2.23 Curva de distribuição luminosa.

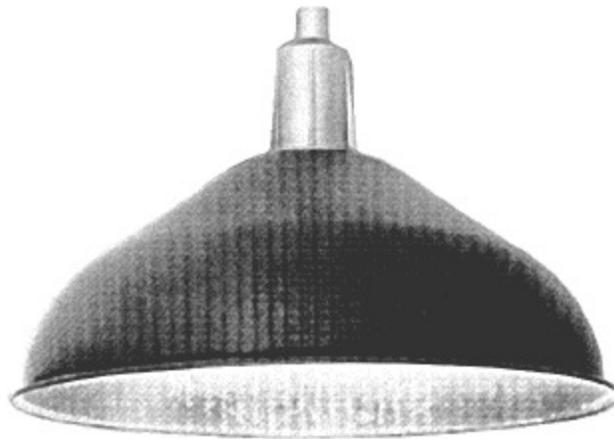


Figura 2.24 Luminária.

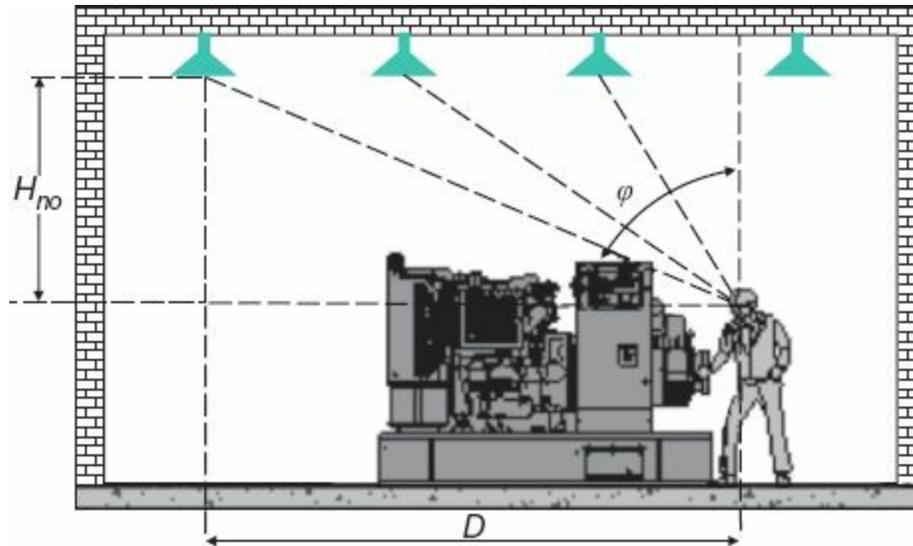


Figura 2.25 Ofuscamento de um operador de máquina.

b) Classe C2

Condições médias em relação ao ofuscamento. São ambientes característicos de fabricação industrial bruta, tais como galvanização, sala de máquinas, vestiários fabris, oficinas mecânicas e similares.

c) Classe C3

Condições desfavoráveis em relação ao ofuscamento e que devem ser evitadas em qualquer tipo de iluminação industrial.

2.5.6 Superfícies internas das luminárias

O tipo e a qualidade das superfícies reflexivas das luminárias são responsáveis pelo nível de eficiência da iluminação de uma determinada área. As luminárias podem, então, ser classificadas a partir do material de cobertura da sua superfície em três diferentes tipos:

- luminárias de superfície esmaltada;
- luminárias de superfície anodizada;
- luminárias de superfície pelicular.

Independentemente do tipo, as luminárias, em geral, são fabricadas em chapas de alumínio. Alguns fabricantes têm lançado luminárias confeccionadas em fibras especiais, utilizadas notadamente em iluminação pública, reduzindo o efeito do vandalismo.

2.5.6.1 Luminárias de superfície esmaltada

Também conhecidas como luminárias convencionais, recebem uma camada de tinta branca esmaltada e polida que permite um nível de reflexão médio de 50 %. No entanto, há luminárias com cobertura de esmalte branco especial que alcança um nível de reflexão de até 87 %.

2.5.6.2 Luminárias de superfície anodizada

São luminárias confeccionadas em chapa de alumínio revestida internamente por uma camada de óxido de alumínio, cuja finalidade é proteger a superfície preservando o brilho pelo maior tempo possível, evitando que a superfície refletora adquira precocemente uma textura amarelada.

Enquanto a luminária convencional apresenta uma reflexão difusa, em que os raios luminosos são refletidos em diversos ângulos, direcionando parte do fluxo para as paredes, a luminária anodizada é concebida para direcionar o fluxo luminoso para o plano de trabalho.

2.5.6.3 Luminárias de superfície pelicular

São luminárias confeccionadas em chapa de alumínio revestida internamente por uma fina película de filme reflexivo e com a deposição de uma fina camada de prata e autoadesivo criando uma superfície de elevada reflexão e alto brilho, alcançando um índice de reflexão de 92 %. O filme tem uma vantagem sobre os demais processos utilizados para aumentar a reflexão das luminárias devido a sua baixa depreciação, elevando, em consequência, o tempo de limpeza das luminárias. Em quatro anos, a sua depreciação atinge

um valor de apenas 3 %, resultando em economia para a instalação.

Em geral, as luminárias aumentam o seu rendimento quando são utilizadas lâmpadas com diâmetro reduzido – por exemplo, no caso das lâmpadas fluorescentes tipo T5 –, devido ao fato de que os raios luminosos refletidos pela superfície interna da luminária encontram menor área de obstáculo para atingir o plano de trabalho.

2.6 Iluminação de interiores

Um projeto de iluminação industrial requer um estudo apurado para indicar a solução mais conveniente, em função das atividades desenvolvidas, da arquitetura do prédio, dos riscos de explosão ou de outros detalhes peculiares a cada ambiente.

Em geral, as construções industriais têm um pé-direito que pode variar de 3,5 m até 9 m. É comum a utilização de projetores de fecho de abertura média com lâmpadas a vapor de mercúrio ou de luminária com pintura difusora com lâmpadas fluorescentes. As luminárias fluorescentes podem ser dispostas em linha de maneira contínua ou espaçadas. Os projetores são fixados em pontos mais elevados, a fim de se obter uma uniformidade desejada no plano de trabalho. As luminárias fluorescentes, em geral, são fixadas em pontos de altura inferior. As Figuras 2.26 e 2.27 mostram, respectivamente, as maneiras de instalar os projetores para lâmpadas VM, VS e vapor metálico e luminárias para lâmpadas fluorescentes.

Algumas considerações básicas são interessantes para orientar o profissional em um projeto de iluminação industrial:

- Sempre que desejável e possível, utilizar sensores de presença associados a sensores de nível de iluminação para desligar os circuitos de iluminação.
- Não utilizar lâmpadas incandescentes (dicróicas e mistas) na

iluminação principal.

- Utilizar lâmpadas incandescentes somente na iluminação de emergência ou na iluminação localizada em certos tipos de máquinas. É comum também o seu uso em banheiros sociais, como iluminação decorativa, e em outras aplicações em que é exigida pouca iluminância e número reduzido de luminárias.
- Tornar a iluminação o mais uniforme possível.
- A relação entre as iluminâncias dos pontos de menor e maior iluminamento, preferencialmente, não deve ser inferior a 0,70.
- Estabelecer uma altura adequada para o nível das luminárias. A quantidade de luz que chega ao plano de trabalho é inversamente proporcional ao quadrado da altura entre o plano das luminárias e o plano de trabalho.
- Em prédios com pé-direito igual ou inferior a 6 m, é conveniente utilizar lâmpadas fluorescentes em linhas contínuas ou ininterruptas.
- Em prédios com pé-direito superior a 6 m, é conveniente utilizar lâmpadas de descarga de alto fluxo luminoso.
- Quando empregar projetores, utilizar lâmpadas a vapor de mercúrio ou vapor de sódio.
- Em ambientes onde é exigida uma boa reprodução de cores, não utilizar lâmpadas a vapor de sódio.
- Nos ambientes em que operam pontes-rolantes, tomar cuidado com o posicionamento das luminárias.
- Quando possível, é aconselhável projetar um sistema de iluminação com iluminância adequada somente para a circulação de pessoas e movimentação dos produtos processados, instalando pontualmente luminárias dirigidas para o plano de trabalho com iluminância que satisfaça ao desenvolvimento das tarefas.
- O cálculo do nível de iluminamento deve expressar o iluminamento médio, máximo e mínimo.

- Sempre que possível, deve-se projetar utilizando softwares de cálculo independentes. Muitos fabricantes fornecem gratuitamente softwares que calculam os níveis de iluminação com base nos valores fotométricos de suas luminárias. Já os softwares independentes podem ser utilizados com luminárias de qualquer fabricante, desde que sejam conhecidos os dados fotométricos das luminárias a serem utilizadas. Os softwares independentes utilizam fotometrias no padrão de arquivo .IES. Alguns exemplos de softwares independentes são: Relux, Dialux, Visual Lighting Software, AGI32 e Lúmen Micro.

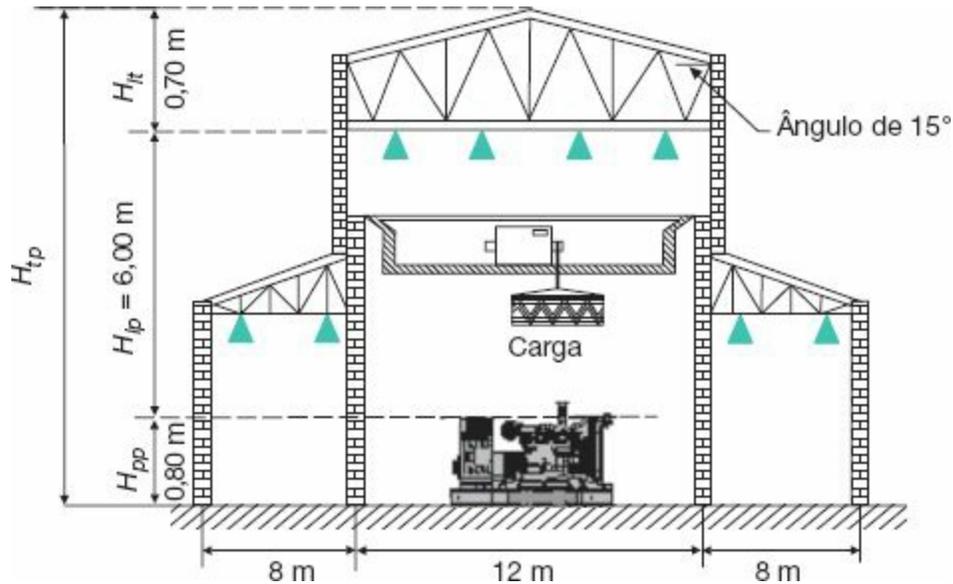


Figura 2.26 Maneira de instalar os projetores.

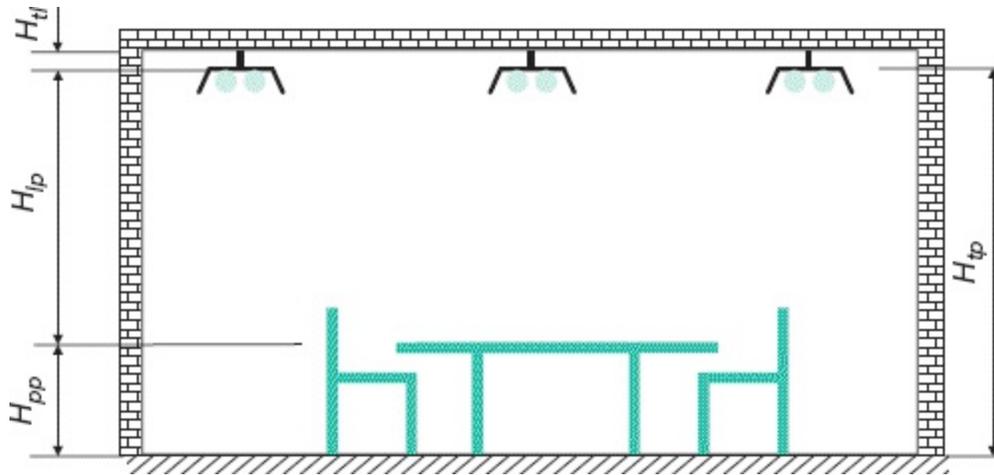


Figura 2.27 Maneira de instalar luminárias fluorescentes.

A [Figura 2.28](#) mostra uma instalação de iluminação industrial onde se pode observar a fixação das luminárias (projetores) diretamente na eletrocalha de alimentação através de um ponto de tomada fixada na própria eletrocalha.

Em muitos galpões industriais não forrados são instaladas telhas translúcidas como um recurso de eficiência energética. No entanto, no cálculo do sistema de iluminação não deve ser considerada a contribuição da luz natural através das telhas translúcidas, mesmo que a indústria funcione apenas no período diurno, pois, nos dias muito nublados ou quando por motivo de uma reprogramação de turnos, será necessário um nível de iluminação adequado no ambiente industrial utilizando-se apenas a luz artificial. As telhas translúcidas são úteis para reduzir o consumo da luz artificial nos dias de sol, quando parte da iluminação será desligada à medida que a luz natural complemente as necessidades luminotécnicas das atividades industriais.



Figura 2.28 Iluminação de um galpão industrial com proje tores.

Para se elaborar um bom projeto de uma instalação, é necessário que sejam observados os seguintes aspectos:

2.6.1 Iluminâncias

Para que os ambientes sejam iluminados adequadamente é necessário que o projetista adote os valores de iluminância estabelecidos pela NBR 5413 para cada grupo de tarefas visuais, o que é reproduzido na [Tabela 2.5](#).

Para a determinação da iluminância adequada aos ambientes, pode-se adotar os seguintes procedimentos recomendados pela NBR 5413:

- Analisar cada característica dada na [Tabela 2.6](#) para determinar o seu peso.
- Somar os três valores encontrados algebricamente, considerando o sinal.

- Quando o valor total do sinal for igual a -2 ou -3 , usar a iluminância mais baixa do grupo; usar a iluminância superior quando a soma for $+2$ ou $+3$; nos outros casos, utilizar o valor médio.

Exemplo de aplicação (2.1)

Determinar a iluminância adequada para o ambiente de inspeção de produtos têxteis em uma indústria cuja idade média dos trabalhadores é inferior a 40 anos e é necessária uma elevada refletância.

Pela Tabela 2.6, obtém-se o somatório dos pesos:

Idade: -1 .

Velocidade e precisão: 0 .

Refletância do fundo da tarefa: -1 .

Total dos pesos: -2 .

Nesse caso, utiliza-se a iluminância mais baixa do grupo, faixa B da Tabela 2.5, isto é, 1.000 lux (tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas).

A NB 5413 também estabelece as iluminâncias mínimas para os diversos tipos de ambientes em função das tarefas visuais ali desenvolvidas, resumidamente reproduzidas na Tabela 2.7.

É interessante observar que o olho distingue luminância e não iluminância; isto significa que um determinado desenho de cor preta, pintado em uma folha de papel branco e submetido a uma determinada iluminância apresenta diferenças de luminância (partes branca e preta), o que permite uma melhor visão do mesmo por meio do contraste. A prática, porém, consagrou o conceito de iluminância como medida adequada para a percepção.

Tabela 2.5 Iluminâncias para cada grupo de tarefas visuais

Faixas	Iluminâncias (lux)	Tipo de atividade
	20	

A - Iluminação geral para áreas usadas ininterruptamente ou com tarefas visuais simples	30 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 75 100	Orientação simples para permanência curta
	100 150 200	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos
B - Iluminação geral para áreas de trabalho	200 300 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
	500 750 1.000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, auditórios
	1.000 1.500 2.000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
C - Iluminação adicional para tarefas difíceis	2.000 3.000 5.000	Tarefas visuais extras e prolongadas, eletrônicas e tamanho pequeno
	5.000 7.500 10.000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10.000	

	15.000 20.000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia
--	------------------	---

Tabela 2.6 Fatores determinantes da iluminância adequada

Características da tarefa e do observador	Peso		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	Entre 40 e 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Refletância do fundo da tarefa	Superior a 70 %	Entre 30 e 70 %	Inferior a 30 %

2.6.2 Distribuição uniforme do iluminamento

Em muitos galpões industriais são utilizadas telhas translúcidas que têm a função de substituir total ou parcialmente a iluminação artificial durante as horas do dia, de forma a atender os requisitos mínimos de iluminância. Para isso, deve-se dotar o sistema de iluminação com circuitos que possam ser desligados de forma a permitir uma redução uniforme do nível de iluminamento artificial que é compensado com a iluminação natural através das telhas translúcidas. Esse controle às vezes se torna complicado, principalmente em dias inconstantemente nublados.

É necessário que exista uma uniformidade razoável de iluminamento no ambiente iluminado. O fator de uniformidade, que representa o quociente entre os iluminamentos de maior e menor intensidade no mesmo recinto, não deve ser inferior a 0,33, porém deve-se conservar na prática um número aproximadamente de 0,70.

2.6.3 Temperatura da cor

Para que se entenda a temperatura da cor é necessário definir o conceito de corpo negro. É um objeto imaginário que emitiria uma radiação de forma contínua. A sua cor é função de temperatura de trabalho, medida em kelvin (K).

Assim, um corpo negro que tem uma temperatura de cor de 2.800 K (lâmpada incandescente) terá sempre a mesma aparência de cor para um observador padrão.

Tabela 2.7 Iluminâncias mínimas em lux por tipo de atividade (valores médios em serviço)

Tipo de ambiente	Lux
Auditório e anfiteatros	
Tribuna	500
Plateia	150
Sala de espera	150
Bancos	
Atendimento ao público	500
Salas de recepção	150
Bibliotecas	
Sala de leitura	500
Recinto das estantes	300

Escolas

Salas de aula	300
Sala de trabalho manual	300
Laboratórios (geral)	200
Refeitórios	100

Garagens

Oficinas	200
Estacionamento interno	150

Hospitais

Sala de médicos	150
Sala de espera	150
Corredores e escadas	100
Cozinhas	200
Sala de operação (geral)	500
Quartos para pacientes	150

Hotéis e restaurantes

Banheiros	200
Corredores e escadas	100

Cozinha	200
Quartos	150
Exposições	300
Sala de reuniões	150
Restaurantes	150
Portaria-recepção	200

Lojas

Vitrines e balcões	1.000
Hall (escadas)	100
Centros comerciais	500
Banheiros (geral)	150

Soldas

Iluminação geral	200
Solda de arco	2.000

Esporte

Futebol de salão	200
Voleibol	200

Indústria alimentícia

Enlatamento 200

Acabamento 150

Classificação 1.000

Indústria de calçados

Classificação 1.000

Lavagem 150

Acabamentoz 500

Indústria de cimento

Ensacamento 150

Moagem, fornos 150

Indústria de confeitos

Seleção 200

Mistura 200

Fabricação de balas 500

Indústrias cerâmicas

Trituração 150

Acabamento e moldagem	150
-----------------------	-----

Indústrias de papéis

Trituração	200
------------	-----

Máquinas de papel	200
-------------------	-----

Indústrias químicas

Fornos, secadores	200
-------------------	-----

Filtragem	200
-----------	-----

Indústrias têxteis

Batedores	200
-----------	-----

Cardação	300
----------	-----

Inspeção	500
----------	-----

Tecelagem	300
-----------	-----

Tingimento	200
------------	-----

Fiação	300
--------	-----

Urdimento	500
-----------	-----

Locais de armazenamento

Geral	100
-------	-----

Pequenos volumes	200
Grandes volumes	200
<hr/>	
Indústrias metalúrgicas	
Usinagem grosseira	500
Tornos e polimento	1.000
Usinagem - alta precisão	2.000
<hr/>	
Escritórios	
Sala de trabalho	250
Arquivo	200
Sala de desenho	500
Recepção	250
<hr/>	

Na prática não existe o corpo negro, porém alguns materiais comportam-se como ele, como é o caso do filamento de tungstênio das lâmpadas incandescentes. Também o sol é considerado como um corpo negro; por isso, sua luz é tomada para comparação de cores. A temperatura da cor da luz do sol, por exemplo, ao meio-dia, é de cerca de 5.300 K. Quanto maior for a temperatura do corpo negro, maior será a porcentagem de energia visível.

A classificação das lâmpadas através da temperatura da cor tem por objetivo avaliar comparativamente a sensação da tonalidade de cor das diversas lâmpadas. Se aquecermos gradativamente um corpo metálico, podemos observar que sua superfície passa da cor vermelha até atingir a cor branca. Assim, uma lâmpada incandescente emite uma luz na cor amarelada

que corresponde à temperatura de cor de 2.800 K. Já algumas lâmpadas, quando ligadas, emitem uma luz na cor branca, aparentando a luz do sol ao meio-dia, que corresponde à temperatura de cor de 6.500 K. Daí é comum classificar a luz emitida pelas lâmpadas em “luz quente” e “luz fria”.

De forma geral, pode-se estabelecer uma graduação entre a temperatura de cor e a cor percebida pelo observador:

- Luz vermelha: temperatura de cor: 2.800 K (luz quente: suave).
- Luz neutra (branca): temperatura de cor: 4.000 K (neutra).
- Luz branca: temperatura de cor: 5.000 K (neutra).
- Luz azulada: temperatura de cor: 6.500 K (luz fria: clara).

2.6.4 Índice de reprodução de cores

O índice de reprodução de cor (ICR) é definido como sendo a capacidade de uma fonte de luz, ao iluminar um objeto, de fazer com que este reproduza suas cores naturais.

As lâmpadas devem permitir que o observador veja os objetos com todo o espectro de cor que os caracteriza. Para isso, é conceituado o chamado índice de reprodução de cor, que caracteriza como as cores dos objetos iluminados são percebidas pelo observador. Este índice varia em uma escala de 0 a 100. A [Tabela 2.8](#) fornece este índice para vários tipos de fontes luminosas. Quanto mais elevado, melhor é o equilíbrio de cores.

Assim, as variações de cor dos objetos iluminados por fontes de luz de cores diferentes podem ser identificadas pelo índice de reprodução de cor. O metal sólido, como o filamento de tungstênio das lâmpadas incandescentes, quando aquecido até emitir luz, foi utilizado como referência para estabelecer os níveis de reprodução de cor igual a 100. As lâmpadas avermelhadas têm baixo índice de reprodução de cor, inferior a 50, para uma temperatura de cor em torno de 2.000 K. As lâmpadas de tonalidade amarelada, como as lâmpadas incandescentes, apresentam índice de reprodução de cor de cerca de

90 para temperatura de cor de 4.000 K. As lâmpadas de tonalidade branca apresentam índice de reprodução de cor variando entre 85 e 95 para uma temperatura da cor de 5.000 a 5.800 K (luz do dia especial). Finalmente, nas lâmpadas de tonalidade azulada, o índice de reprodução da cor é de aproximadamente 75 para uma temperatura de cor em torno de 6.000 K (luz do dia).

Tabela 2.8 Índice de reprodução de cores

Tipo de lâmpada	Temperatura da cor em °C	Índice %
Incandescente	2.800	100
Incandescente de halogênio	3.200	100
Fluorescente - luz do dia	6.500	75-79
Fluorescente - luz branca	4.000	75-79
Vapor de mercúrio	5.000	47
Vapor de sódio	3.000	35

Nos ambientes de trabalho, as lâmpadas fluorescentes ou as de vapor metálico são mais indicadas do que as lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão. Essas lâmpadas, aplicadas em um ambiente industrial, aumentam a possibilidade de cometimento de erros na execução das tarefas, fadiga visual e, conseqüentemente, risco de acidentes de trabalho. Muitas vezes, devido à baixa temperatura de cor, elas tendem a provocar sonolência nos operários que desenvolvem atividades como as de observação.

2.6.5 Escolha dos aparelhos de iluminação

Como já foi observado anteriormente, o projeto de iluminação deve ser coerente com o ambiente a iluminar, tanto do ponto de vista econômico, quanto do recinto.

2.6.6 Depreciação do fluxo luminoso

Com o uso dos aparelhos de iluminação, há uma diminuição progressiva da iluminância, devido ao acúmulo de poeira sobre as superfícies das lâmpadas, luminárias, paredes, pisos e teto. Além disso, há um decréscimo natural do fluxo luminoso das lâmpadas dado o seu envelhecimento.

A depreciação do fluxo luminoso em uma determinada instalação é medida através do fator de depreciação do serviço da luminária e do fator de utilização, cujas particularidades serão adiante detalhadas.

2.6.7 Cálculo de iluminação

Podem ser utilizados três métodos de cálculo para a determinação do iluminamento dos diversos ambientes de trabalho:

- Método dos lumens;
- Método das cavidades zonais;
- Método do ponto por ponto.

O primeiro método é de resolução simplificada, porém de menor precisão nos resultados. O segundo é mais complexo, podendo levar a resultados mais confiáveis. O terceiro e último método, também conhecido como método das intensidades luminosas, permite calcular o iluminamento em qualquer ponto da superfície de trabalho a partir do iluminamento individual dos aparelhos, sendo muito complexa sua elaboração.

2.6.7.1 Método dos lumens

É baseado na determinação do fluxo luminoso necessário para se obter um iluminamento médio desejado no plano do trabalho. Consiste, resumidamente, na determinação do fluxo luminoso através da Equação (2.6).

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} \quad (2.6)$$

ψ_t - fluxo total a ser emitido pelas lâmpadas, em lumens;

E - iluminamento médio requerido pelo ambiente a iluminar, em lux;

S - área do recinto, em m²;

F_{dl} - fator de depreciação do serviço da luminária;

F_u - fator de utilização do recinto.

2.6.7.1.1 Fator de depreciação do serviço da luminária

Qualquer sistema de iluminação, ao longo do tempo, vai perdendo o seu nível de iluminação inicial em decorrência da redução do fluxo luminoso da lâmpada e da sujeira acumulada no refletor da luminária e na superfície da lâmpada.

O fator de depreciação do serviço da luminária mede a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma luminária no fim do período considerado para iniciar o processo de manutenção e o fluxo emitido no início de sua operação. Está relacionado na [Tabela 2.9](#).

Tabela 2.9 Fator de depreciação do serviço da luminária - F_{dl}

Tipo de aparelho	F_{dl}
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes	0,85
Aparelhos para embutir lâmpadas refletoras	
Calha aberta e chanfrada	0,80

Refletor industrial para lâmpadas incandescentes	
Luminária comercial	0,75
Luminária ampla utilizada em linhas contínuas	
Refletor parabólico para 2 lâmpadas incandescentes	
Refletor industrial para lâmpada VM	
Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta	0,70
Luminária industrial tipo Miller	
Luminária com difusor de acrílico	
Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	
Refletor com difusor plástico	
Luminária comercial para lâmpada <i>high output</i> com colmeia	0,60
Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	

2.6.7.1.2 Fator de utilização

O fator de utilização do recinto ou simplesmente fator de utilização é a relação entre o fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho e o fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas.

O fator de utilização depende das dimensões do ambiente, do tipo de luminária e da pintura das paredes. Dessa forma, podemos definir o fator de utilização como sendo a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto.

A [Tabela 2.10](#) indica os fatores de utilização para algumas luminárias típicas de aplicação em recintos comercial e industrial. O manuseio da [Tabela 2.10](#) implica a determinação do índice de recinto K e o conhecimento das refletâncias médias ρ_{te} do teto, ρ_{pa} das paredes e ρ_{pi} do piso, que são função da tonalidade das superfícies iluminadas:

a) Teto

- Branco: $\rho_{te} = 70 \% = 0,70$.
- Claro: $\rho_{te} = 50 \% = 0,50$.
- Escuro: $\rho_{te} = 30 \% = 0,30$.

b) Paredes

- Claras: $\rho_{pa} = 50 \% = 0,50$.
- Escuras: $\rho_{pa} = 30 \% = 0,30$.

c) Piso

- Escuro: $\rho_{pi} = 10 \% = 0,10$.

A seguir informamos algumas cores com os seus respectivos coeficientes de refletância percentual, ρ_{pe} , ou seja:

- 80 a 70 %: branco – branco-claro
- 65 a 55 %: amarelo-claro
- 50 a 45 %: verde-claro – rosa – azul-celeste – cinza-claro
- 40 – 35 %: bege – amarelo-escuro – marrom-escuro
- 30 a 25 %: vermelho – laranja – cinza médio
- 20 a 15 %: verde-escuro – azul-escuro – vermelho-escuro
- 10 a 5 %: azul-marinho – preto

A refletância média exprime as reflexões médias das superfícies do ambiente da instalação. O índice de recinto K é dado pela Equação (2.7).

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} \quad (2.7)$$

K - índice do recinto;

A - comprimento do recinto, em m;

B - largura do recinto, em m;

H_{lp} - altura da fonte de luz sobre o plano de trabalho, em m.

Tabela 2.10 Fator de utilização da luminária – Philips

Luminárias típicas	Teto	70 %		50 %		70 %	50 %	30 %	
	Parede	50 %	30 %	50 %	30 %	10 %	10 %	30 %	10 %
		K	10% (valor de refletância percentual do piso)						
	0,60	0,32	0,25	0,29	0,22	0,20	0,18	0,20	0,17
	0,80	0,39	0,31	0,35	0,29	0,26	0,24	0,26	0,22
	1,00	0,45	0,37	0,40	0,34	0,32	0,29	0,31	0,27
	1,25	0,50	0,43	0,45	0,39	0,37	0,34	0,36	0,32
	1,50	0,55	0,48	0,49	0,44	0,42	0,39	0,40	0,36
	2,00	0,61	0,55	0,56	0,50	0,50	0,46	0,46	0,42
	2,50	0,66	0,60	0,60	0,55	0,55	0,51	0,50	0,47
	3,00	0,69	0,64	0,63	0,58	0,59	0,55	0,53	0,55
	4,00	0,73	0,69	0,67	0,63	0,65	0,60	0,57	0,55

TMS 1 - lâmpada de 65 W



	5,00	0,76	0,72	0,69	0,66	0,69	0,63	0,60	0,58
<p>TMS 500 - 2 lâmpadas de 65 W</p> 	0,60	0,31	0,25	0,27	0,22	0,20	0,18	0,19	0,16
	0,80	0,38	0,32	0,33	0,28	0,27	0,24	0,24	0,21
	1,00	0,43	0,37	0,38	0,33	0,32	0,29	0,28	0,25
	1,25	0,49	0,43	0,42	0,37	0,38	0,33	0,32	0,29
	1,50	0,53	0,47	0,46	0,41	0,42	0,37	0,35	0,32
	2,00	0,59	0,54	0,51	0,47	0,49	0,43	0,40	0,38
	2,50	0,63	0,58	0,54	0,51	0,54	0,48	0,44	0,41
	3,00	0,65	0,61	0,57	0,54	0,58	0,51	0,46	0,44
	4,00	0,69	0,66	0,60	0,57	0,62	0,55	0,49	0,47
	5,00	0,71	0,68	0,62	0,60	0,66	0,58	0,51	0,50
<p>TMS 426 - 2 lâmpadas de 40 W</p> 	0,60	0,35	0,28	0,23	0,31	0,25	0,21	0,22	0,19
	0,80	0,43	0,36	0,30	0,38	0,32	0,27	0,28	0,24
	1,00	0,50	0,42	0,36	0,44	0,38	0,33	0,33	0,29
	1,25	0,56	0,49	0,43	0,49	0,43	0,38	0,38	0,34
	1,50	0,61	0,54	0,48	0,54	0,48	0,43	0,42	0,38
	2,00	0,68	0,61	0,56	0,60	0,55	0,50	0,48	0,45
	2,50	0,72	0,67	0,62	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50

	3,00	0,76	0,71	0,66	0,67	0,63	0,60	0,56	0,53
	4,00	0,80	0,76	0,72	0,71	0,68	0,65	0,60	0,58
	5,00	0,83	0,80	0,76	0,74	0,71	0,68	0,63	0,61
	0,60	0,33	0,27	0,23	0,32	0,27	0,23	0,26	0,23
	0,80	0,41	0,34	0,30	0,40	0,34	0,30	0,33	0,29
	1,00	0,47	0,40	0,36	0,45	0,40	0,36	0,39	0,35
	1,25	0,52	0,46	0,42	0,51	0,46	0,42	0,45	0,41
TCK 427 - 4 lâmpadas de 40 W	1,50	0,56	0,51	0,47	0,55	0,50	0,46	0,49	0,46
	2,00	0,63	0,58	0,54	0,61	0,57	0,54	0,56	0,53
	2,50	0,67	0,63	0,59	0,65	0,62	0,59	0,60	0,58
	3,00	0,70	0,66	0,63	0,68	0,65	0,62	0,64	0,61
	4,00	0,73	0,70	0,68	0,71	0,69	0,67	0,68	0,66
	5,00	0,75	0,73	0,71	0,74	0,72	0,70	0,70	0,68
	0,60	0,50	0,46	0,50	0,45	0,42	0,42	0,45	0,42
HDK 472 - 1 lâmpada de 400 W	0,80	0,58	0,53	0,57	0,52	0,49	0,49	0,52	0,49
	1,00	0,63	0,59	0,62	0,58	0,56	0,55	0,58	0,55
	1,25	0,68	0,64	0,67	0,63	0,61	0,61	0,63	0,60



1,50	0,72	0,68	0,70	0,67	0,65	0,65	0,66	0,64
2,00	0,77	0,74	0,75	0,73	0,71	0,71	0,72	0,70
2,50	0,80	0,77	0,78	0,76	0,75	0,74	0,75	0,74
3,00	0,82	0,80	0,80	0,79	0,78	0,77	0,77	0,76
4,00	0,84	0,82	0,82	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79
5,00	0,85	0,84	0,83	0,82	0,83	0,81	0,81	0,80

2.6.7.1.3 Cálculo do número de luminárias

É dado pela Equação (2.8):

$$N_{lu} = \frac{\psi_t}{N_{la} \times \psi_l} \quad (2.8)$$

ψ_l = fluxo luminoso emitido por uma lâmpada, em lumens, de acordo com a [Tabela 2.1](#);

N_{la} - número de lâmpadas por luminárias.

2.6.7.1.4 Distribuição das luminárias

O espaçamento que deve existir entre as luminárias depende de sua altura útil, que por sua vez pode conduzir a uma distribuição adequada de luz. A distância máxima entre os centros das luminárias deve ser de 1 a 1,5 m da sua altura útil. O espaçamento da luminária à parede deve corresponder à metade deste valor. A [Figura 2.29](#) indica a disposição correta das luminárias em uma instalação. Logo, pela [Figura 2.29](#) tem-se:

$$1 \leq X \leq 1,5 \times H_{lp} \quad (2.9)$$

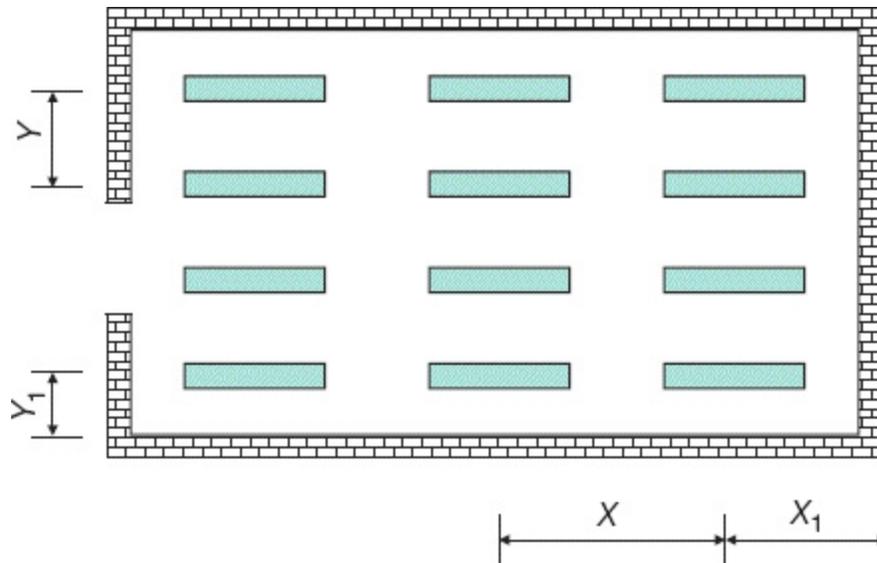


Figura 2.29 Distribuição das luminárias.

$$1 \leq Y \leq 1,5 \times H_{lp} \quad (2.10)$$

$$X_1 = \frac{X}{2} \text{ e } Y_1 = \frac{Y}{2}$$

H_{lp} - altura útil da luminária, em m;

X e Y - espaçamento entre luminárias, em m.

Exemplo de aplicação (2.2)

Considerar o galpão industrial central da Figura 2.28 com medida de 12×17 m e altura de 7,5 m, destinado à fabricação de peças mecânicas. Sabe-se que o teto é branco, as paredes claras e o piso escuro. Determinar o número de projetores necessários, utilizando lâmpadas a vapor de mercúrio de 400 W.

a) Cálculo do fluxo luminoso

Pela Equação (2.6), tem-se:

$$\psi_1 = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}}$$

$E = 500$ lux (Tabela 2.7 – Indústrias metalúrgicas - usinagem grosseira)

$$S = A \times B = 17 \times 12 = 204 \text{ m}^2$$

$F_{dl} = 0,70$ (Tabela 2.9 – Refletor industrial para lâmpada VM)

Para o cálculo do fator de utilização, deve-se aplicar a Equação (2.7) do índice do recinto.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{17 \times 12}{6 \times (17 + 12)} = 1,17$$

$H_{lp} = 6$ m (veja Figura 2.26)

Na Figura 2.30 estão registradas as dimensões utilizadas no cálculo. Foram tomados os seguintes valores de refletância média, de acordo com o ambiente anteriormente descrito:

$\rho_{te} = 70$ % (teto branco)

$\rho_{pa} = 50$ % (parede clara)

$\rho_{pi} = 10$ % (piso escuro)

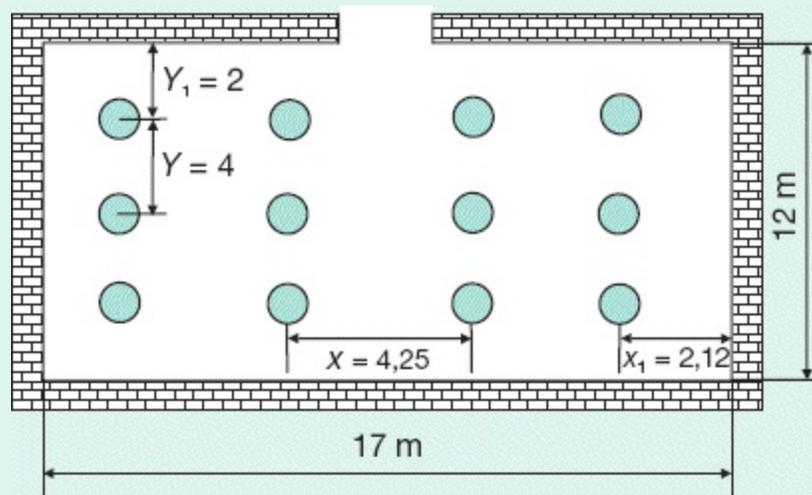


Figura 2.30 Distribuição dos projetores.

Na Tabela 2.8, com os valores K , ρ_{te} (refletância percentual do teto), ρ_{pa} (refletância

percentual da parede), ρ_{pi} (refletância percentual do piso) e a luminária HDK 472 da Philips, determina-se o valor F_u por interpolação entre os valores de $K = 1,00$ e $K = 1,25$:

$$\frac{1 - 1,25}{0,63 - 0,68} = \frac{1 - 1,17}{0,63 - F_u} \rightarrow F_u = 0,66$$

Logo, o valor de é:

$$\psi_t = \frac{500 \times 204}{0,70 \times 0,66} = 220.779 \text{ lumens}$$

b) Cálculo do número de luminárias

Através da Equação (2.8), tem-se:

$$N_{lu} = \frac{\psi_t}{N_{la} \times \psi_l} = \frac{220.779}{1 \times 22.000} = 10,03$$

$\psi = 22.000$ lumens (Tabela 2.2)

$N_{lu} = 10$ luminárias

c) Distribuição das luminárias

Tratando-se de um galpão de forma retangular, deve-se adotar a opção por distribuir as luminárias em número proporcional à direção da largura e à direção do comprimento da área, conforme disposição da Figura 2.30. Neste caso, optou-se por 12 luminárias para melhor se adequar a sua distribuição na área em questão. Logo, a distância entre as luminárias e a distância entre estas e a parede valem:

$$12 = 2 \times Y + 2 \times Y_l = 2 \times Y + 2 \times Y/2 = 3 \times Y$$

$Y = 4 \text{ m} \rightarrow 1 \leq Y \leq 1,5 \times H_{lp}$ (valor atendido)

$$17 = 3 \times X + 2 \times X_l = 3 \times X + 2 \times X/2 = 4 \times X$$

$X = 4,25 \text{ m} \rightarrow 1 \leq X \leq 1,5 \times H_{lp}$ (valor atendido)

$$Y_1 = Y/2 = 4/2 = 2 \text{ m}$$

$$X_1 = X/2 = 4,25/2 = 2,12 \text{ m}$$

2.6.7.2 *Métodos das cavidades zonais*

As edificações de plantas industriais, via de regra, possuem pé-direito (altura do teto ao solo) superior a 5 metros, o que dificulta bastante a manutenção do sistema de iluminação. Muitas vezes é necessário que se armem andaimes ou sistemas equivalentes para se ter acesso aos aparelhos de iluminação, a fim de executar a troca de lâmpadas, limpeza das luminárias, substituição de reatores etc. Para contornar essas dificuldades, no projeto de iluminação deve ser definido o tempo em que esses serviços devem ser executados – normalmente durante as férias coletivas ou outro evento em que o recinto industrial esteja fora de operação. Assim, deve-se prever uma quantidade de lâmpadas e luminárias adicionais que venham a cobrir a deficiência de iluminação decorrente da queima de lâmpadas e da sujeira acumulada no refletor e/ou refrator da luminária durante esse período. Se possível, é conveniente que esse período seja aproximadamente coincidente com a queima das lâmpadas associada à depreciação do serviço da luminária que acumule uma deficiência do fluxo luminoso no sistema de iluminação de cerca de 30 %. Nessa condição, devem ser realizados os serviços de substituição de todas as lâmpadas, acesas e apagadas, e a limpeza das luminárias. A utilização do método das cavidades zonais facilita a aplicação dessas medidas e outras que serão definidas durante a explanação do processo de cálculo da iluminação.

O método das cavidades zonais, bem como o método dos lumens, é fundamentado na teoria da transferência de fluxo, em que são admitidas superfícies uniformes, refletindo o fluxo luminoso de modo preciso, dadas as considerações que são feitas na determinação dos fatores de utilização e de depreciação.

Para a elaboração de um projeto de iluminação industrial podem ser adotadas algumas recomendações adicionais visando a economia de energia, flexibilidade operacional e redução do tempo de manutenção do sistema de iluminação:

- utilizar sensores fotovoltaicos com retardo de tempo para ligar e desligar automaticamente determinados circuitos de iluminação quando da existência de telhas translúcidas;
- utilizar plugues e tomadas na conexão das luminárias com os circuitos de iluminação;
- os circuitos de distribuição devem ligar as luminárias com alternância, de forma que, se for necessário reduzir o nível de iluminamento de maneira aproximadamente uniforme, seja suficiente desligar apenas alguns circuitos. Essa alternância pode ser feita para atingir 25, 50, 75 e 100 % do nível de iluminamento.

Os valores das cavidades podem alterar substancialmente o nível do fluxo luminoso que chega ao plano de trabalho. São consideradas as seguintes cavidades:

a) Cavidade do teto

Representa o espaço existente entre o plano das luminárias e o teto. Para luminárias no forro, por exemplo, a cavidade do teto é o próprio forro, isto é, nula.

b) Cavidade do recinto ou do ambiente

É o espaço entre o plano das luminárias e o plano de trabalho, geralmente considerado a 0,80 m do piso. Na verdade, a cavidade do recinto é igual à altura útil da luminária.

c) Cavidade do piso

Representa o espaço existente entre o plano de trabalho e o piso. Quando se quer determinar o iluminamento médio na superfície do piso, a cavidade do piso é o próprio chão, isto é, nula. A [Figura 2.31](#) indica as três cavidades anteriormente estudadas.

Pode-se observar que, entre o plano das luminárias e o plano de trabalho, existem as paredes, que influenciam significativamente sobre a quantidade de luz que chega ao plano de trabalho. Assim, para ambientes similares com o mesmo número de luminárias e lâmpadas, todas do mesmo modelo e potência, o ambiente cujas paredes são pintadas com cores mais claras apresenta um nível de iluminamento maior do que aquele pintado com cores escuras. Também ambientes estreitos e altos absorvem mais fluxo luminoso que os ambientes mais baixos e largos.

A determinação do fluxo luminoso pelo método das cavidades é feita através da Equação (2.11).

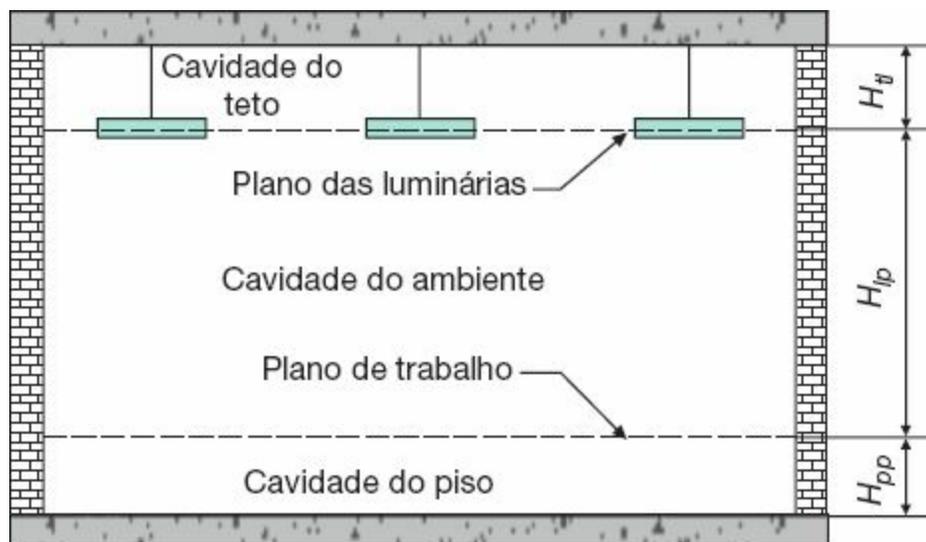


Figura 2.31 Cavidades zonais.

$$\psi_1 = \frac{E \times S}{F_u \times F_{di}} \quad (2.11)$$

F_{di} - fator de depreciação do serviço da iluminação.

Como se pode observar, as variáveis dessa expressão são semelhantes às da fórmula para o cálculo do iluminamento pelo método dos lumens.

2.6.7.2.1 Fator de utilização

Já definido anteriormente, o fator de utilização é determinado a partir do conhecimento das refletâncias efetivas das cavidades do teto e das paredes, além da relação da cavidade do recinto e da curva de distribuição da luminária. Pode ser determinado de acordo com a seguinte metodologia:

a) Escolha da luminária e da lâmpada

- Fabricante.
- Tipo e categoria da luminária.
- Lâmpada adotada.

b) Fator de relação das cavidades

Deve ser determinado pela Equação (2.12).

$$K = \frac{5 \times (A + B)}{A \times B} \quad (2.12)$$

A - comprimento do recinto, em m;

B - largura do recinto, em m.

c) Relações das cavidades zonais

Pela [Figura 2.31](#) podem ser conhecidas as distâncias indicadas, necessárias ao cálculo das seguintes relações:

- Relação da cavidade do recinto

$$R_{cr} = K \times H_{lp} \quad (2.13)$$

H_{lp} - altura da luminária ao plano de trabalho, em m.

- Relação da cavidade do teto

$$R_{ct} = K \times H_{tl} \quad (2.14)$$

H_{tl} - altura do teto ao plano das luminárias, em m.

- Relação da cavidade do piso:

$$R_{\varphi} = K \times H_{pp} \quad (2.15)$$

H_{pp} - altura do plano de trabalho ao piso, em m.

d) Refletância efetiva da cavidade do piso (ρ_{cp})

É obtida pela combinação das refletâncias percentuais do piso e das paredes, associadas ao valor de R_{cp} , conforme a Tabela 2.11.

e) Refletância efetiva da cavidade do teto (ρ_{ct})

À semelhança do item anterior, pode ser obtida da mesma Tabela 2.11, porém com base no valor de R_{ct} . Quando as luminárias são fixadas na superfície do teto, o valor da refletância da cavidade do teto é igual à refletância do teto.

Quando o teto possui superfícies não planas, como é o caso de muitos galpões industriais, para se determinar a refletância da cavidade do teto pode-se aplicar a Equação (2.16).

$$\rho_{ct} = \frac{\rho_{te} \times S_{pt}}{S_{rt} - \rho_{te} \times S_{rt} + \rho_{te} \times S_{pt}} \quad (2.16)$$

S_{pt} - área da projeção horizontal da superfície do teto, em m²;

S_{rt} - área real da superfície do teto, em m²;

ρ_{te} - refletância percentual do teto.

f) Determinação do fator de utilização

Finalmente, o fator de utilização é determinado pela Tabela 2.12, em função

de ρ_{ct} , ρ_{pa} e da relação da cavidade do recinto R_{cr} .

g) Coeficiente de correção do fator de utilização

Quando as refletâncias da cavidade do piso apresentarem valores muito diferentes do valor estipulado na [Tabela 2.12](#), o fator de utilização deverá ser corrigido de conformidade com [Tabela 2.13](#) e com a Equação (2.17).

$$F_{uc} = F_u \times F_c \quad (2.17)$$

F_u - fator de utilização inicial;

F_c - fator de correção;

F_{uc} - fator de utilização corrigido.

Se a refletância efetiva da cavidade do piso for superior a 20 %, deve-se multiplicar o fator de utilização pelo fator de correção encontrado na [Tabela 2.13](#). Entretanto, se a refletância efetiva da cavidade do piso for inferior a 20 %, o fator de utilização inicial deve ser dividido pelo fator de correção correspondente. Por exemplo, considerar os seguintes dados:

$\rho_{ct} = 80$ % (refletância efetiva da cavidade do teto)

$\rho_{pa} = 50$ % (refletância percentual das paredes)

$\rho_{cp} = 30$ % (refletância efetiva da cavidade do piso)

$R_{cr} = 5$ (considerar a luminária P 11/24 da [Tabela 2.12](#))

$F_u = 0,42$ (refletância efetiva da cavidade do piso: 20 % da [Tabela 2.12](#)).

Logo, o valor do fator de correção encontrado na [Tabela 2.13](#) é de:

$$F_c = 1,04$$

Como a refletância efetiva da cavidade do piso é superior a 20 %, o fator de utilização deve ser multiplicado pelo fator de correção, ou seja:

$$F_{uc} = 0,42 \times 1,04 = 0,4368$$

2.6.7.2.2 Fator de depreciação do serviço da iluminação (F_{di})

A degradação do fluxo luminoso no ambiente iluminado é função de vários fatores de depreciação que se tornam críticos com o decorrer do tempo de operação do projeto.

a) Fator de depreciação do serviço da luminária (F_d)

Já definido anteriormente, o fator de depreciação do serviço da luminária é determinado a partir do conhecimento prévio do intervalo de tempo esperado para que se proceda à manutenção efetiva dos aparelhos de iluminação. Com o decorrer do tempo, a poeira acumulada sobre as superfícies das lâmpadas e do refletor das luminárias provoca uma perda excessiva da luz e, em consequência, uma drástica diminuição da iluminação do ambiente.

Quando não se conhecem maiores dados sobre o tipo de ambiente para o qual se elabora o projeto de iluminação nem o espaço de tempo previsto para a manutenção dos aparelhos, o fator de depreciação pode ser determinado, aproximadamente, através da [Tabela 2.9](#). No entanto, em projetos de maior envergadura, estes dados devem ser obtidos com maior precisão a fim de se dimensionar adequadamente o número de luminárias que irá permitir o nível de iluminamento desejado no final do período após o qual serão iniciados os trabalhos de limpeza.

Pelas curvas da [Figura 2.32](#), pode-se determinar o fator de depreciação do serviço da luminária considerando-se o período de manutenção desejado e a categoria de manutenção em que se enquadra o aparelho que se quer utilizar no projeto. Esta categoria é função das características da atmosfera no interior dos ambientes que são assim definidos:

- *ML* - muito limpa
- *L* - limpa
- *M* - média
- *S* - suja
- *MS* - muito suja

Quanto à categoria de manutenção da luminária, a [Tabela 2.12](#) estabelece as características fundamentais que possibilitam a sua determinação. Somente fica definida a categoria de manutenção de uma luminária quando é possível enquadrá-la segundo os critérios estabelecidos na [Tabela 2.14](#), conhecendo-se as características construtivas das partes superior e inferior das luminárias. As luminárias que podem ser definidas em mais de uma categoria devem ser enquadradas na categoria de manutenção mais baixa. Alguns fabricantes, no entanto, fornecem em suas tabelas de catálogo a categoria de manutenção de suas luminárias.

		Refletâncias																				
ρ_w ou ρ_p	ρ_{ps}	90				80				70			50			30				10		
		90	70	50	30	80	70	50	30	70	50	30	70	50	30	65	50	30	10	50	30	10
	0,0	90	90	90	90	80	80	80	80	70	70	70	50	50	50	30	30	30	30	10	10	9
	0,1	90	89	88	87	79	78	77	76	68	67	66	49	49	47	30	29	29	28	10	10	9
	0,2	89	88	86	85	79	78	77	76	68	67	66	49	48	47	30	29	29	28	10	10	9
	0,3	89	87	86	85	78	77	75	74	68	66	64	49	47	46	30	29	28	27	10	10	9
	0,4	88	86	83	81	78	76	74	72	67	65	63	48	46	45	30	29	27	26	10	10	9
	0,5	88	85	81	78	77	75	73	70	66	64	61	48	46	44	29	28	27	25	10	10	9
	0,6	88	84	80	76	77	75	71	68	65	62	59	47	45	43	29	28	26	25	11	10	9
	0,7	88	83	78	74	76	74	70	66	65	61	58	47	44	42	29	28	26	24	11	10	8
	0,8	87	88	77	73	75	73	69	65	64	60	56	47	43	41	29	27	25	23	11	10	8
	0,9	87	81	76	71	75	72	68	63	63	59	55	46	43	40	29	27	25	22	11	9	8
	1,0	86	80	74	69	74	71	66	61	63	58	53	46	42	39	29	27	24	22	11	9	8
	1,1	86	79	73	67	74	71	65	60	62	57	52	46	41	38	29	26	24	21	11	9	8
	1,2	86	78	72	65	73	70	64	58	61	56	50	45	41	37	29	26	23	20	12	9	7
	1,3	85	78	70	64	73	69	63	57	61	55	49	45	40	36	29	26	23	20	12	9	7
	1,4	85	77	69	62	72	68	62	55	60	54	48	45	40	35	28	26	22	19	12	9	7
	1,5	85	76	68	61	72	68	61	54	59	53	47	44	39	35	28	25	22	18	12	9	7
	1,6	85	75	66	59	71	67	60	53	59	52	45	44	39	33	28	25	21	18	12	9	7
	1,7	84	74	65	58	71	66	59	52	58	51	44	44	38	32	28	25	21	17	12	9	7
	1,8	84	73	64	56	70	65	58	50	57	50	43	43	37	32	28	25	21	17	12	9	6
	1,9	84	73	63	55	70	65	57	49	57	49	42	43	37	31	28	25	20	16	12	9	6
	2,0	83	72	62	53	69	64	56	48	56	48	41	43	37	30	28	25	22	18	12	9	6
	2,1	83	71	62	52	69	63	55	47	56	47	40	43	36	29	28	24	20	16	13	9	6
	2,2	83	70	60	51	68	63	54	45	55	46	39	42	36	29	28	24	19	15	13	9	6
	2,3	83	69	59	50	68	62	53	44	54	45	38	42	35	28	28	24	19	15	13	9	6
	2,4	82	68	58	48	67	61	52	43	54	45	37	42	35	27	28	24	19	14	13	9	6
	2,5	82	68	57	47	67	61	56	48	53	44	36	41	34	27	27	23	18	14	13	9	6
	2,6	82	67	56	46	66	60	50	41	53	43	35	41	34	26	27	23	18	13	13	9	5
	2,7	82	66	55	45	66	60	49	40	52	43	34	41	33	26	27	23	18	13	13	9	5
	2,8	81	66	54	44	66	59	48	39	52	42	33	41	33	25	27	23	18	13	13	9	5
	2,9	81	65	53	43	65	58	48	38	51	41	33	40	33	25	27	23	17	12	13	9	5
	3,0	81	64	52	42	65	58	47	38	51	40	32	40	32	24	27	24	17	12	13	8	5
	3,1	80	64	51	41	64	57	46	37	50	40	31	40	32	24	27	22	17	12	13	8	5
	3,2	80	63	50	40	64	57	45	36	50	39	30	40	31	23	27	22	16	11	13	8	5
	3,3	80	62	49	39	64	56	44	35	49	39	30	39	31	23	27	22	16	11	13	8	5
	3,4	80	62	48	38	63	56	44	34	49	38	29	39	31	22	27	22	16	11	13	8	5
	3,5	79	61	48	37	63	55	43	33	48	38	29	39	30	22	26	22	16	11	13	8	5
	3,6	79	60	47	36	62	54	42	32	48	37	28	39	30	21	26	21	15	10	13	8	5
	3,7	79	60	46	35	62	54	42	31	48	37	27	38	30	21	26	21	15	10	13	8	4
	3,8	79	59	45	35	62	53	41	31	47	36	27	38	29	21	26	21	15	10	13	8	4
	3,9	78	59	45	34	61	53	40	30	47	36	26	38	29	20	26	21	15	10	13	8	4
	4,0	78	58	44	33	61	52	40	30	46	35	26	38	29	20	26	21	15	9	13	8	4
	4,1	78	57	43	32	60	52	39	29	46	35	25	37	28	20	26	21	14	9	13	8	4
	4,2	78	57	43	32	60	51	39	29	46	34	25	37	28	19	26	20	14	9	13	8	4
	4,3	78	56	42	31	60	51	38	28	45	34	25	37	28	19	26	20	14	9	13	8	4
	4,4	77	56	41	30	59	51	38	28	45	34	24	37	27	19	26	20	14	8	13	8	4
	4,5	77	55	41	30	59	50	37	27	45	33	24	37	27	19	25	20	14	8	13	8	4
	4,6	77	55	40	29	59	50	37	26	44	33	24	36	27	18	25	20	14	8	14	8	4
	4,7	77	54	40	29	58	49	36	26	44	33	23	36	26	18	25	20	13	8	14	8	4
	4,8	76	54	39	28	58	49	36	25	44	32	23	36	26	18	25	19	13	8	14	8	4
	4,9	76	53	38	28	58	49	35	25	44	32	23	36	26	18	25	19	13	7	14	8	4
	5,0	76	53	38	27	57	48	35	25	44	32	22	36	26	17	25	19	13	7	14	8	4

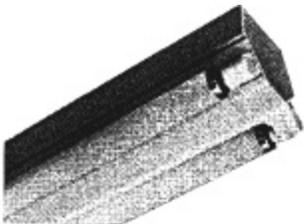
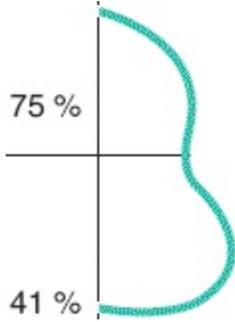
Fator de depreciação das superfícies do ambiente devido à sujeira

b) (F_s)

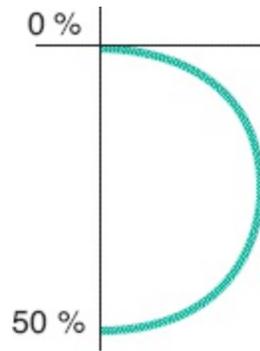
Representa a redução do fluxo luminoso devido ao acúmulo de sujeira nas

superfícies do ambiente. A [Figura 2.33](#) fornece o percentual esperado de sujeira em função do tempo estabelecido para a limpeza das superfícies do ambiente e das características do mesmo, onde a luminária está instalada. A partir do percentual esperado de sujeira, obtém-se da [Tabela 2.15](#) o fator de depreciação devido à sujeira do ambiente.

Tabela 2.12 Fatores de utilização

Luminárias típicas	Categoria de manutenção da luminária	Relação altura/espacamento	ρ_{ct}	80 %				
			ρ_{pa}	50 %	30 %	10 %	50 %	
			R_{cr}	Fatores de utilização p cavid				
P11/24-2 Lâmpadas de 40 W 		I	1,3	0	-	-	-	-
		1	0,72	0,68	0,65	0,56		
		2	0,62	0,57	0,53	0,54		
		3	0,55	0,48	0,44	0,43		
		4	0,48	0,42	0,37	0,38		
		5	0,42	0,36	0,31	0,34		
		6	0,38	0,31	0,26	0,30		
		7	0,34	0,27	0,23	0,27		
		8	0,30	0,24	0,20	0,24		
		9	0,27	0,21	0,17	0,22		
		10	0,25	0,19	0,15	0,20		
T61/44-4 Lâmpadas de 40	IV	1,2	0	-	-	-	-	
			1	0,59	0,57	0,55	0,56	

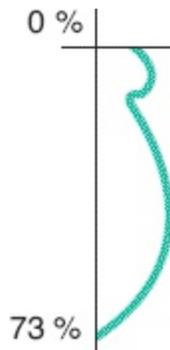
W



2	0,52	0,49	0,46	0,45
3	0,46	0,42	0,39	0,44
4	0,41	0,37	0,33	0,35
5	0,36	0,31	0,28	0,35
6	0,32	0,28	0,24	0,31
7	0,29	0,24	0,21	0,28
8	0,26	0,21	0,18	0,25
9	0,23	0,19	0,15	0,22
10	0,21	0,17	0,14	0,20

IV	1	0	-	-	-	-
----	---	---	---	---	---	---

T13-1 Lâmpada VM

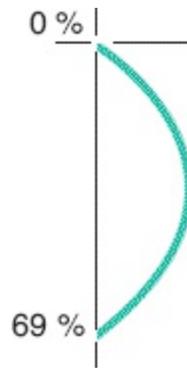


1	0,77	0,74	0,72	0,72
2	0,69	0,65	0,61	0,65
3	0,62	0,57	0,53	0,55
4	0,57	0,51	0,47	0,54
5	0,52	0,46	0,42	0,50
6	0,48	0,43	0,39	0,46
7	0,45	0,39	0,35	0,43
8	0,42	0,36	0,33	0,40
9	0,39	0,34	0,30	0,38
10	0,37	0,32	0,29	0,36

IV	1	0	-	-	-	-
----	---	---	---	---	---	---

T38 ou T39-1 Lâmpada VM

1	0,76	0,74	0,72	0,72
2	0,70	0,67	0,65	0,67
3	0,65	0,62	0,59	0,62



4	0,60	0,56	0,53	0,58
5	0,56	0,51	0,48	0,54
6	0,52	0,47	0,44	0,50
7	0,48	0,43	0,40	0,46
8	0,44	0,40	0,37	0,43
9	0,41	0,37	0,33	0,40
10	0,36	0,32	0,29	0,35

Tabela 2.13 Fatores de correção para as refletâncias efetivas do piso (que não sejam 20 %)

ρ_{ct}	80 %			70 %			50 %			10 %		
	50 %	30 %	10 %	50 %	30 %	10 %	50 %	30 %	10 %	50 %	30 %	10 %
R_{cr}	Fatores de correção											
1	1,08	1,08	1,07	1,07	1,06	1,06	1,05	1,04	1,04	1,01	1,01	1,01
2	1,07	1,06	1,05	1,06	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,01	1,01	1,01
3	1,05	1,04	1,03	1,05	1,04	1,03	1,03	1,03	1,02	1,01	1,01	1,01
4	1,05	1,03	1,02	1,04	1,03	1,02	1,03	1,02	1,02	1,01	1,01	1,00
5	1,04	1,03	1,02	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,00
6	1,03	1,02	1,01	1,03	1,02	1,01	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,00
7	1,03	1,02	1,01	1,03	1,02	1,01	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00
8	1,03	1,02	1,01	1,02	1,02	1,01	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00
9	1,02	1,01	1,01	1,02	1,01	1,01	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00
10	1,02	1,01	1,01	1,02	1,01	1,01	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00

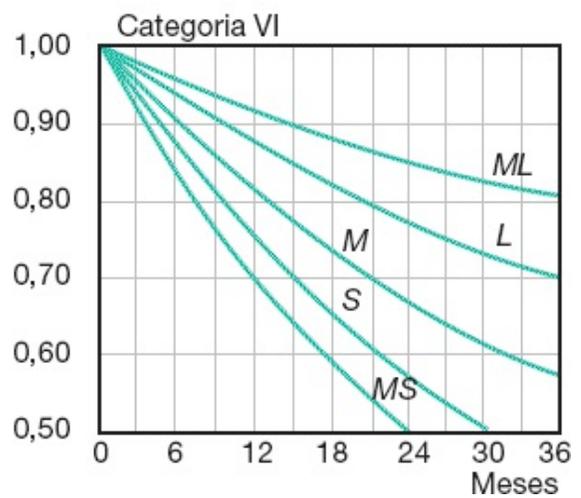
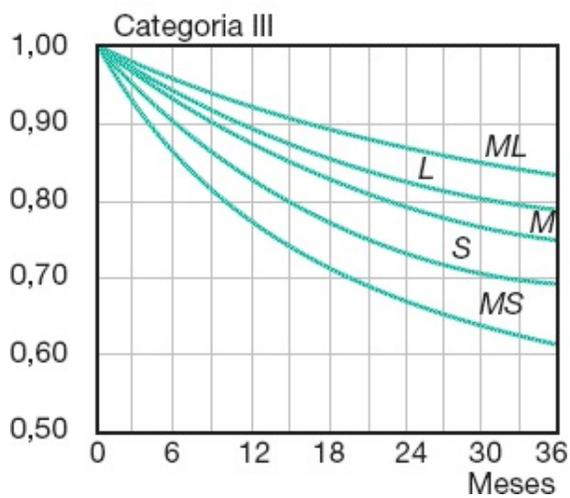
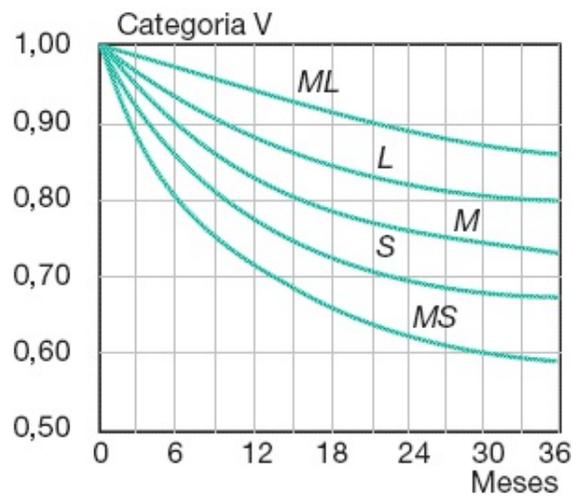
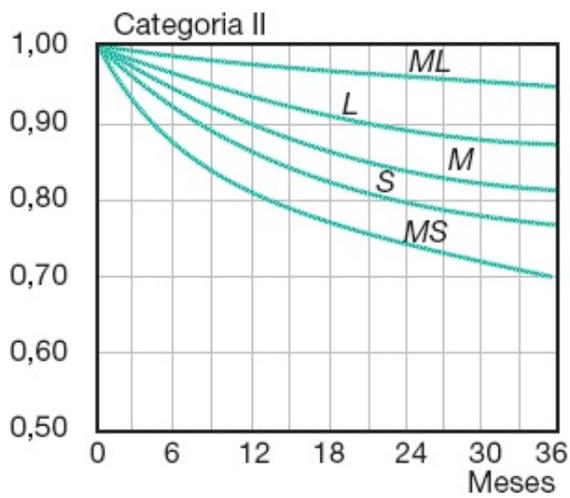
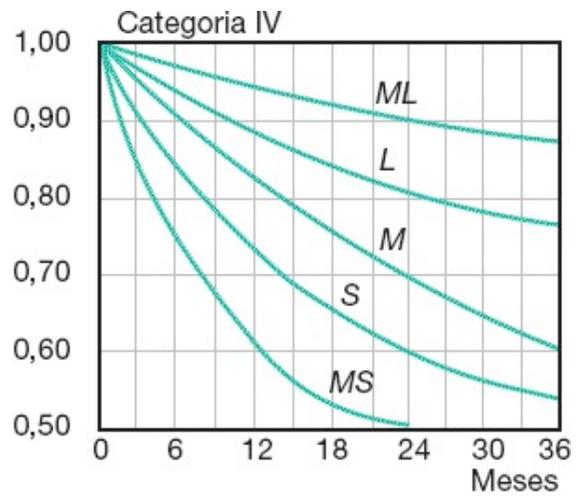
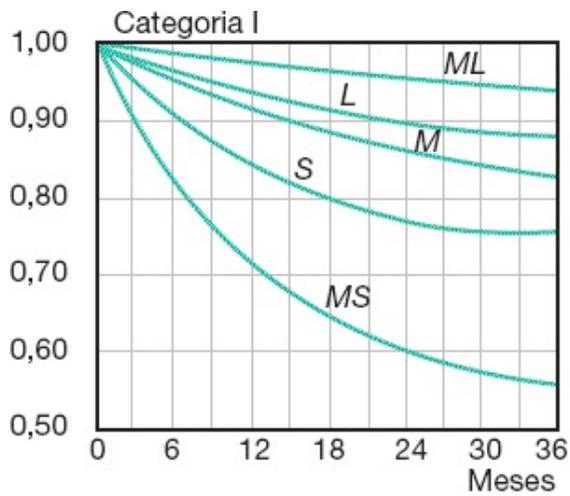


Figura 2.32 Fatores de depreciação do serviço da luminária.

Tabela 2.14 Categoria de manutenção das luminárias

Categoria de manutenção	Parte superior da luminária	Parte inferior da luminária
I	Aberta	Aberta: lâmpadas nuas
II	Transparente com 15 % ou mais de fluxo luminoso emitido para cima através de aberturas Translúcida, idem Opaca, idem	Aberta Dotadas de colmeias, louvers ou venezianas
III	Transparente com menos de 15 % ou mais de fluxo luminoso emitido para cima através de aberturas	Abertas Dotadas de colmeias, louvers ou venezianas
IV	Transparente sem aberturas Translúcida sem aberturas Opaca sem aberturas	Abertas Dotadas de colmeias, louvers ou venezianas
V	Transparente sem aberturas Translúcida sem aberturas Opaca sem aberturas	Transparente sem aberturas Translúcida sem aberturas
VI	Aberta Transparente sem aberturas Translúcida sem aberturas Opaca sem aberturas	Transparente sem aberturas Translúcida sem aberturas Opaca sem aberturas

Tabela 2.15 Fator de depreciação devido à sujeira

Tipo de distribuição da luminária	Direto				Semidireto				Direto-indireto				Semi-indireto				Indireto			
	Sujeira (%)				Sujeira (%)				Sujeira (%)				Sujeira (%)				Sujeira (%)			
R_{cr}	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
	Fatores de depreciação																			
1	98	96	94	92	97	92	89	84	94	87	80	76	94	87	80	73	90	80	70	60
2	98	96	94	92	96	92	88	83	94	87	80	75	94	87	79	72	90	80	69	59
3	98	95	93	90	96	91	87	82	94	86	79	74	94	86	78	71	90	79	68	58
4	97	95	92	90	95	90	85	80	94	86	79	73	94	86	78	70	89	78	67	56
5	97	94	91	89	94	90	84	79	93	86	78	72	93	86	77	69	89	78	66	55
6	97	94	91	88	94	89	83	78	93	85	78	71	93	85	76	68	89	77	66	54
7	97	94	90	87	93	88	82	77	93	84	77	70	93	84	76	68	89	76	65	53
8	96	93	89	86	93	87	81	75	93	84	76	69	93	84	76	68	88	76	64	52
9	96	92	88	85	93	87	80	74	93	84	76	68	93	81	75	67	88	75	63	51
10	96	92	87	83	93	86	79	72	93	84	75	67	92	80	75	67	88	75	62	50

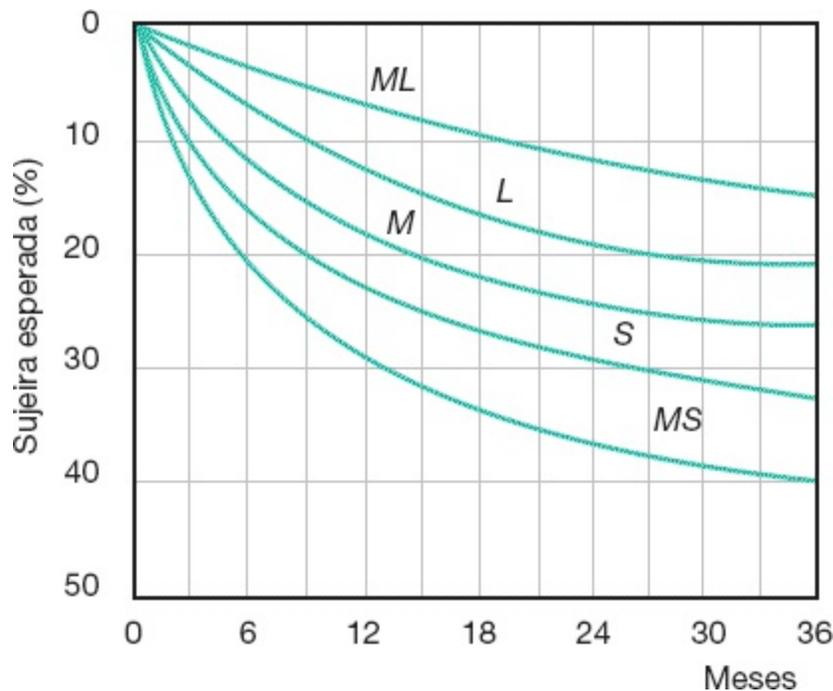


Figura 2.33 Percentual esperado de sujeira \times tempo de limpeza.

c) Fator de redução do fluxo luminoso por queima da lâmpada (F_q)

As lâmpadas apresentam vida útil média dentro de uma determinada faixa de tempo de operação. Sua queima sempre ocorre em tempos e posições diferentes na instalação, acarretando constantemente a sua reposição.

Deve-se ressaltar que o conceito de vida útil de uma lâmpada é muito divergente entre fabricantes. No entanto, é prática considerar que o tempo de vida útil é medido quando 50 % das lâmpadas de um lote em análise se

queimam. A vida útil da lâmpada depende de vários fatores, tais como temperatura ambiente, nível de variação da tensão da rede, presença de gases corrosivos na atmosfera industrial etc.

Para se obter o fator por queima das lâmpadas deve-se conhecer o seu tempo de vida útil médio, além de estabelecer o tempo de manutenção das mesmas. Assim, para uma instalação em que se devem utilizar lâmpadas a vapor de mercúrio, cujo tempo de vida útil médio esperado é de 18.000 horas, e estabelecer um tempo de reposição das lâmpadas queimadas em 7.000 horas considerando que, no final das 18.000 horas, há 90 % das lâmpadas queimadas, o fator por queima vale:

$$F_{qi} = 1 - \frac{7.000}{18.000} \times \frac{90}{100} = 0,65 \text{ (65 \% de lâmpadas acesas)}$$

O projetista deve ser alertado de que o fator do fluxo luminoso por queima de lâmpadas acarreta um custo de investimento inicial muito elevado, um custo operacional significativo com a reposição das lâmpadas queimadas (mais lâmpadas no sistema), e um custo adicional mensal na conta de energia elétrica que pode ser muito elevado se a instalação operar 24 horas por dia. O mais recomendável é tomar como prática a substituição imediata de cada lâmpada queimada, evitando, assim, o ônus econômico e financeiro da aplicação desse fator.

Há indústrias que apresentam dificuldades de substituição das lâmpadas queimadas durante o dia de trabalho, devido à presença de máquinas operatrizes no salão industrial, as quais inibem o trabalho das equipes de manutenção. Essas indústrias normalmente operam 24 horas durante todos os dias do ano. Nesses casos, é prática comum que a indústria pare as suas atividades por um período de tempo no ano, em torno de 1 semana a 15 dias. Nesse período, há uma intensa atividade das equipes de manutenção preventiva, momento em que são limpas as luminárias e trocadas as lâmpadas. Existem alguns procedimentos a serem aplicados nesse tipo de

indústria, como utilizar lâmpadas com vida útil média de 24.000 horas. No período de um ano, por motivos práticos, aproximadamente 30 % das lâmpadas estarão queimadas. A partir desse ponto, tem-se um processo acelerado de queima de lâmpadas. Então, procede-se à limpeza e troca de todas as lâmpadas da instalação. Entretanto, trata-se de um processo caro que deve ser evitado ao máximo. Nesse caso, cabe projetar uma quantidade de lâmpadas 30 % maior para compensar a queima durante o ano.

Como se comentou, as lâmpadas queimam dentro de uma determinada faixa de tempo de operação. Sua queima sempre ocorre em tempos e posições diferentes na instalação, acarretando constantemente a sua reposição. Podemos classificar uma lâmpada relativamente à duração de tempo de queima em:

- Vida útil

É o tempo decorrido para ocorrer uma redução de 30 % do fluxo luminoso inicial, como resultado da queima de um determinado número de lâmpadas associada à depreciação do fluxo luminoso de cada lâmpada.

- Vida média

É a média aritmética do tempo de duração de cada lâmpada, parte de um conjunto de lâmpadas ensaiadas.

- Vida mediana

É o número de horas decorrentes de um ensaio de um conjunto de lâmpadas em que 50 % das lâmpadas ainda permanecem acesas.

d) Fator de depreciação do fluxo luminoso da lâmpada (F_f)

Quando se utiliza a [Tabela 2.2](#), na realidade adota-se o fluxo luminoso inicial da lâmpada. À medida que a lâmpada se aproxima do fim de sua vida útil, o fluxo luminoso se reduz, de acordo com a [Figura 2.34](#).

e) Fator de fluxo luminoso do reator (F_r)

Já definido no item 2.4.1, pode ser expresso pela Equação (2.18).

$$F_{lr} = \frac{F_{lr}}{F_{ln}} \quad (2.18)$$

F_{lr} - fluxo luminoso depreciado devido à influência do reator;

F_{ln} - fluxo luminoso nominal da lâmpada.

Os reatores normalmente apresentam os seguintes fatores médios de fluxo luminoso:

- Reator eletromecânico simples de baixo fator de potência: 0,80 a 0,90
- Reator eletromecânico duplo de alto fator de potência: 0,90 a 1,0
- Reator eletrônico: 0,90 a 1,1

Finalmente, o fator de depreciação do serviço da iluminação vale:

$$F_{di} = F_d \times F_s \times F_q \times F_f \times F_{fr} \quad (2.19)$$

É interessante observar que inicialmente se obtém um iluminamento muito superior ao normalmente requerido com a aplicação do fator de depreciação do serviço da iluminação. No final do tempo estipulado para a limpeza das lâmpadas e luminárias, para a troca de lâmpadas queimadas etc., obtém-se o valor do iluminamento determinado através da Equação (2.11).

2.6.7.2.3 Distribuição das luminárias

Além dos critérios anteriormente discutidos para o posicionamento relativo das luminárias, a [Tabela 2.10](#) estabelece a relação entre o espaçamento máximo das luminárias de instalação consecutiva e a sua altura de montagem.

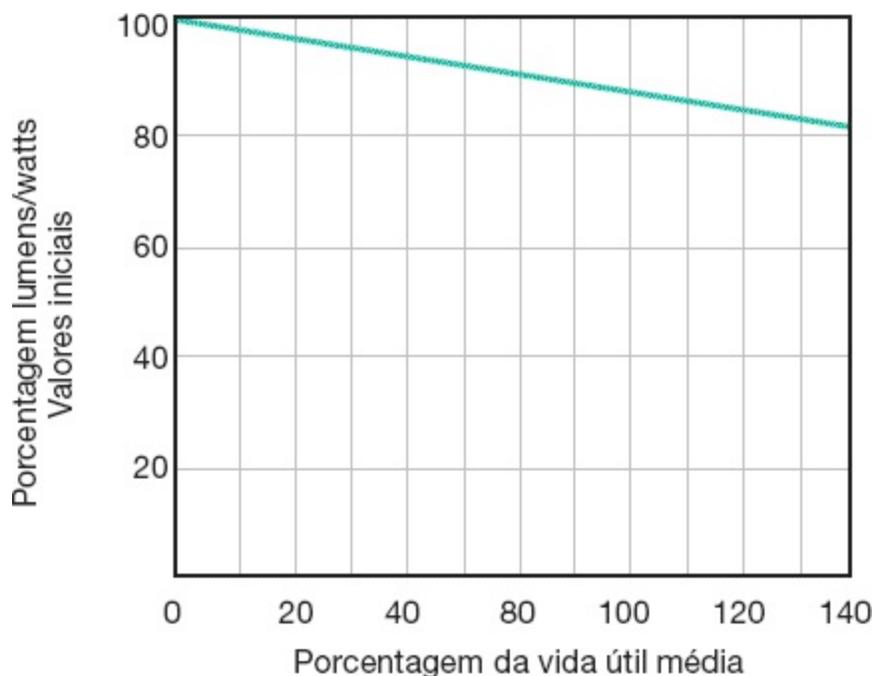


Figura 2.34 Decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas.

Exemplo de aplicação (2.3)

Considerar uma indústria cujo galpão central de produção meça 12×17 m com a altura de 7,5 m, conforme a Figura 2.26. Determinar o número de luminárias através do método das cavidades zonais aplicando os parâmetros do ambiente e iluminância dados no Exemplo de Aplicação (2.2), demonstrativo do método dos lumens. A indústria opera durante 24 horas por dia, juntamente com a iluminação ligada.

Aplicando-se a Equação (2.11), tem-se:

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{ai}}$$

a) Escolha das luminárias e lâmpadas:

Fabricante: Tilumi

Tipo de luminária: refletor T38

Categoria de manutenção: IV

Lâmpada adotada: vapor de mercúrio de 400 W (valor inicial)

b) Cálculo do fator de relação

Pela Equação (2.12), tem-se:

$$K = \frac{5 \times (A + B)}{A \times B} = \frac{5 \times (17 + 12)}{17 \times 12} = 0,71$$

c) Cálculo das relações das cavidades zonais

Cavidade do recinto

Da Equação (2.13), tem-se:

$$R_{cr} = K \times H_p = 0,71 \times 6 = 4,26$$

Cavidade do teto

Da Equação (2.14), tem-se:

$$R_{ct} = K \times H_{tl} = 0,71 \times 0,70 = 0,49$$

Cavidade do piso

Da Equação (2.15), tem-se:

$$R_{cp} = K \times H_{pp} = 0,71 \times 0,80 = 0,56$$

d) Cálculo de refletância efetiva da capacidade do piso (ρ_{cp})

Pela Tabela 2.11 e com valores das refletâncias percentuais do piso e da parede e o valor da relação da cavidade do piso, determina-se ρ_{cp} :

$$\rho_{pi} = 10 \% \text{ (piso muito escuro)} \rightarrow \rho_{pa} = 50 \% \text{ (paredes claras)} \rightarrow R_{cp} = 0,56 \rightarrow \rho_{cp} = 11 \%$$

e) Cálculo da refletância efetiva da cavidade do teto (ρ_{ct})

Pela Tabela 2.11 e com os valores das refletâncias percentuais do teto e da parede e o valor da

relação da cavidade do teto, determina-se ρ_{ct} :

$$\rho_{te} = 70 \% \text{ (teto branco)} \rightarrow \rho_{pa} = 50 \% \text{ (paredes claras)} \rightarrow R_{ct} = 0,49 \rightarrow \rho_{ct} = 64 \%$$

Neste caso, a superfície do teto é considerada plana. Se for considerada a concavidade do teto, como mostra a Figura 2.26, deve-se aplicar a Equação (2.16).

$$\rho_{ct2} = \frac{\rho_{te} \times S_{pt}}{S_{rt} - \rho_{te} \times S_{rt} + \rho_{te} \times S_{pt}}$$

$$\rho_{te} = 70 \% = 0,70 \text{ (teto branco)}$$

$$S_{pt} = 12 \times 17 = 204 \text{ m}^2$$

$$S_{rt} = \frac{A/2 \times B \times 2}{\cos \alpha} = \frac{12/2 \times 17 \times 2}{\cos 15^\circ} = 211 \text{ m}^2$$

$$\rho_{ct2} = \frac{0,70 \times 204}{211 - 0,70 \times 211 + 0,70 \times 204} = 0,69$$

Pode-se verificar que a diferença é relativamente pequena entre ρ_{ct1} e ρ_{ct2} . Adotar-se-á o valor real para o caso, isto é, ρ_{ct2} .

f) Cálculo do fator de utilização

Pela Tabela 2.12 e com os valores de ρ_{ct2} , ρ_{pa} e R_{cr} , interpolando os fatores de utilização encontrados, tem-se:

$$\frac{80 - 50}{0,60 - 0,58} = \frac{80 - 69}{0,60 - F_{u1}} \rightarrow F_{u1} = 0,59$$

$$\frac{80 - 50}{0,56 - 0,54} = \frac{80 - 69}{0,56 - F_{u2}} \rightarrow F_{u2} = 0,55$$

$$\frac{4 - 5}{0,59 - 0,55} = \frac{4 - 4,26}{0,59 - F_{u3}} \rightarrow F_{u3} = F_u = 0,57$$

g) Cálculo do coeficiente de correção do fator de utilização

Como o valor de F_u foi calculado para a refletância efetiva da cavidade do piso de 20 %, conforme a Tabela 2.12, então é necessário proceder a sua correção, já que, no exemplo em questão, $\rho_{cp} = 11$ %. Pela Tabela 2.13 e com os valores de ρ_{ct} , ρ_{pa} e R_{cr} , tem-se:

$$\rho_{ct} = 70 \% \rightarrow \rho_{pa} = 50 \% \rightarrow R_{cr} = 4,26 \rightarrow F_c = 1,04$$

Logo, o fator de utilização corrigido é de:

$$F_{uc} = F_u \times \frac{1}{F_c} = 0,57 \times \frac{1}{1,04} = 0,54$$

h) Cálculo do fator de depreciação do serviço da iluminação (F_{di})

Deve ser calculado com base nos seguintes fatores, como já foi estudado anteriormente:

Fator de depreciação do serviço da luminária (F_d)

Considerando que o período de manutenção das luminárias seja de 24 meses e sabendo, através de análise a Tabela 2.12, que a luminária T38 se enquadra na categoria IV, pode-se obter, por meio das curvas da Figura 2.32, o fator de depreciação F_d , que é igual a 0,81, admitindo-se o ambiente limpo (L).

Fator de depreciação das superfícies do ambiente devido à sujeira (F_s)

De acordo com a Figura 2.33, obtém-se um percentual de sujeira de 18 %, entrando-se com o valor de 24 meses e ambiente limpo "L". Pela Tabela 2.15, obtém-se o valor de depreciação devido à sujeira do ambiente, considerando a iluminação do tipo direto (projektor T-38):

$$F_s = 95 \% = 0,95$$

Fator de redução do fluxo luminoso por queima de lâmpada (F_q)

Como serão utilizadas lâmpadas VM, cuja vida útil média é de 18.000 horas, e considerando que a cada 8.760 horas serão substituídas todas as lâmpadas queimadas do ambiente, pode-se obter assim o fator de redução do fluxo luminoso por queima das lâmpadas.

Também se considera que, no final da sua vida útil, 60 % das lâmpadas estão queimadas.

$$F_q = 1 - \frac{8.760}{18.000} \times \frac{60}{100} = 0,70$$

Fator de depreciação do fluxo luminoso da lâmpada (F_l)

De acordo com a Figura 2.34 e considerando que as lâmpadas sejam trocadas com o tempo de vida útil de aproximadamente 50 %, ou seja, 8.760 horas, tem-se:

$$F_f = 0,93$$

Fator de fluxo do reator

Sendo utilizado o reator eletrônico, adotou-se o valor de $F_{lr} = 1$ (veja item “e” deste Exemplo de Aplicação).

Dessa forma, o fator de depreciação do serviço da iluminação de acordo com a Equação (2.18) vale:

$$F_{di} = F_d \times F_s \times F_q \times F_f \times F_{lr} = 0,81 \times 0,95 \times 0,70 \times 0,93 \times 1,0$$

$$F_{di} = 0,50$$

Pode-se observar, neste caso, que, ao completar um ano de uso, todas as lâmpadas serão trocadas e, a cada 2 anos, além da troca das lâmpadas, as luminárias são limpas. Esta sistemática foi adotada neste Exemplo de Aplicação. Porém, na prática, quando se realiza a substituição das lâmpadas, procede-se à limpeza das luminárias.

i) Cálculo do fluxo luminoso

Conforme a Equação (2.11), tem-se:

$$\psi_l = \frac{E \times S}{F_u \times F_{di}} = \frac{500 \times 204}{0,57 \times 0,50} = 357.895 \text{ lumens}$$

j) Cálculo do número de projetores

De acordo com a Equação (2.8), tem-se:

$$N_{lu} = \frac{357.895}{1 \times 22.000} \cong 16 \text{ luminárias (por questão de estética na distribuição das luminárias serão adotadas 18 unidades)}$$

k) Distribuição dos projetores

Seguir o mesmo processo apresentado no Exemplo de Aplicação (2.2), ou seja:

$$17 = 5 \times X + 2 \times X/2 = 5 \times X + X = 6 \times X \rightarrow X = 2,80 \text{ m}$$

$$12 = 3 \times Y + 2 \times Y/2 = 3 \times Y + Y = 4 \times Y \rightarrow Y = 3,00 \text{ m}$$

$$X_1 = X/2 = 2,80/2 = 1,4 \text{ m}$$

$$Y_1 = Y/2 = \frac{3,00}{2} = 1,5 \text{ m}$$

A Figura 2.35 mostra a distribuição das luminárias.

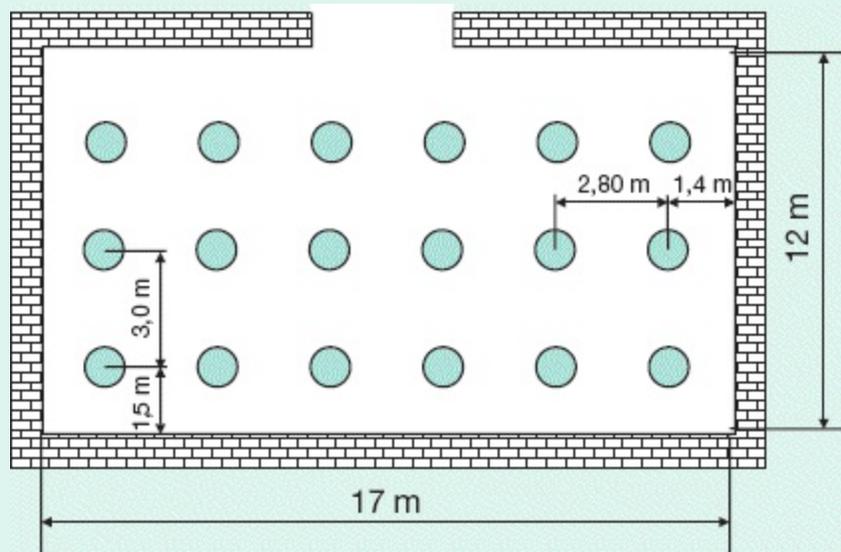


Figura 2.35 Distribuição dos projetores.

2.6.7.3 Método ponto por ponto

Este método permite que se determine em cada ponto da área o iluminamento correspondente à contribuição de todas as fontes luminosas cujo fluxo atinja o ponto mencionado. A soma algébrica de todas as contribuições determina o iluminamento naquele ponto.

Este método tanto pode ser utilizado para aplicações em ambientes interiores como em ambientes exteriores. O fluxo luminoso de uma luminária qualquer pode atingir tanto o plano horizontal como o plano vertical, estabelecendo assim dois tipos de iluminamento:

a) Iluminamento horizontal

É a soma das contribuições do fluxo luminoso de todas as luminárias em um ponto do plano horizontal. Pode ser determinado a partir da Equação (2.20):

$$E_h = \frac{I \times \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (2.20)$$

E_h - iluminamento horizontal, em lux;

I - intensidade do fluxo luminoso, em cd;

α - ângulo entre uma dada direção do fluxo luminoso e a vertical que passa pelo centro da lâmpada;

H - altura vertical da luminária, em m.

A [Figura 2.36](#) mostra a determinação dos parâmetros geométricos da Equação (2.20). Já a [Figura 2.37](#) mostra a contribuição de várias luminárias para o estabelecimento da iluminação horizontal em um determinado ponto (O) do plano. Logo, o iluminamento horizontal, neste caso, vale:

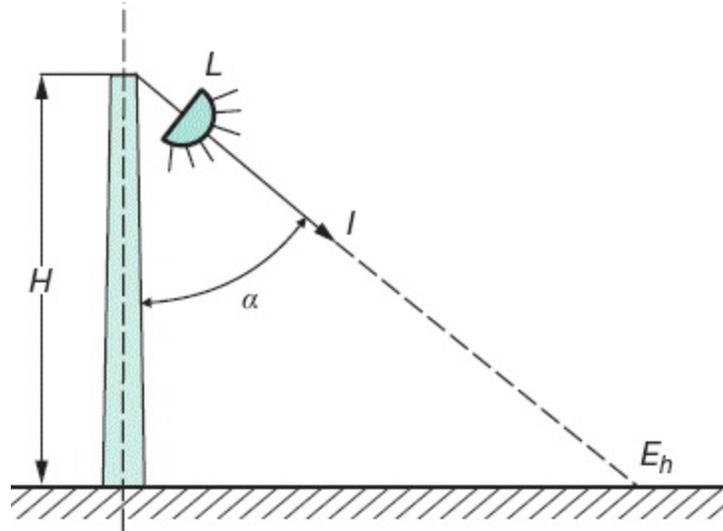


Figura 2.36 Iluminamento horizontal.

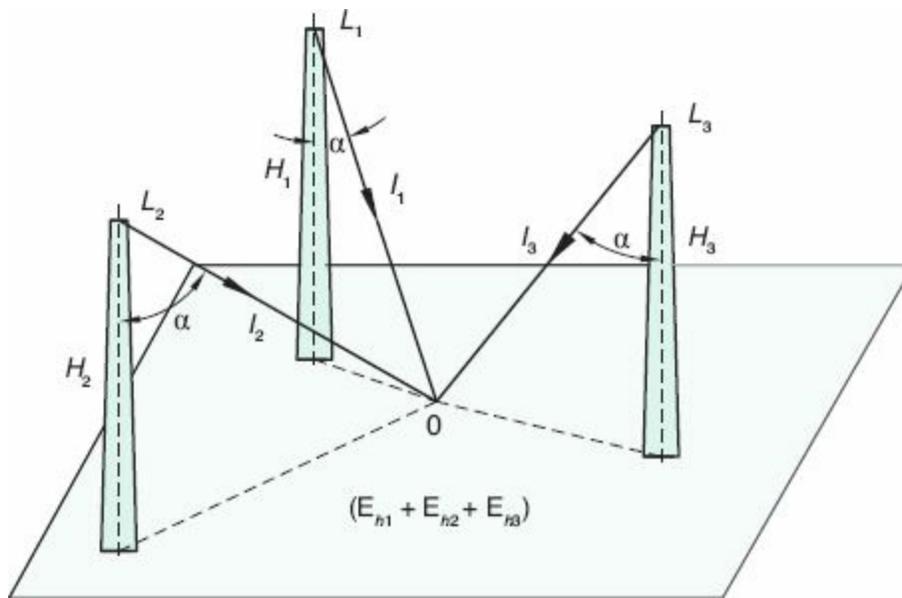


Figura 2.37 Contribuição das fontes de luz.

$$E_h = E_{h1} + E_{h2} + E_{h3}$$

Para se obter o valor final da iluminância é necessário aplicar o fator de depreciação dos projetores utilizados. Como valores médios, podem ser admitidos:

- Projetores abertos: 0,65;
- Projetores fechados: 0,75.

b) Iluminamento vertical

É a soma das contribuições do fluxo luminoso de todas as luminárias em um ponto do plano vertical. Pode ser determinado a partir da Equação (2.21).

$$E_v = \frac{I \times \text{sen}^3 \alpha}{D^2} \quad (2.21)$$

E_v - iluminamento vertical, em lux;

D - distância entre a luminária e o ponto localizado no plano vertical, em m.

A [Figura 2.38](#) mostra a determinação dos parâmetros geométricos da Equação (2.21). Já a [Figura 2.39](#) mostra a contribuição de duas luminárias para o estabelecimento da iluminação vertical em um determinado ponto (O) do plano. Logo, o iluminamento vertical, neste caso, vale:

$$E_v = E_{v1} + E_{v2}$$

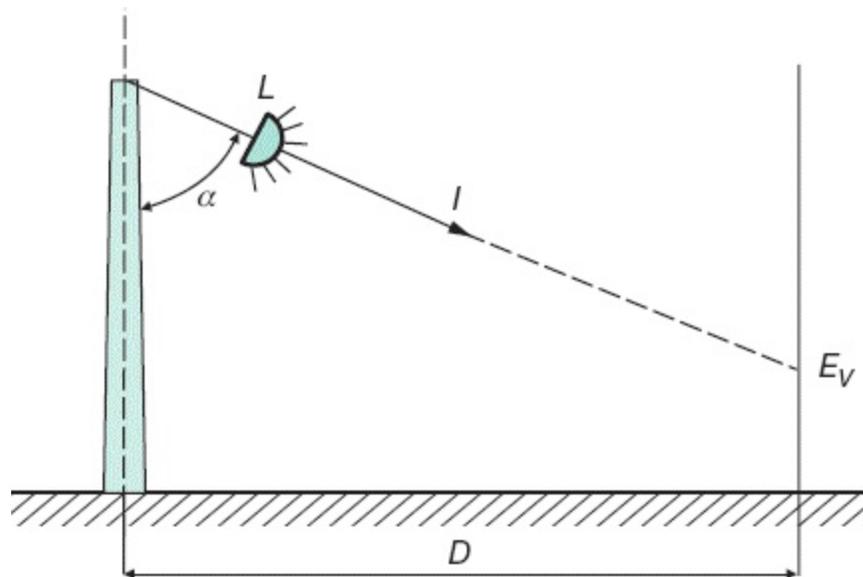


Figura 2.38 Iluminamento vertical.

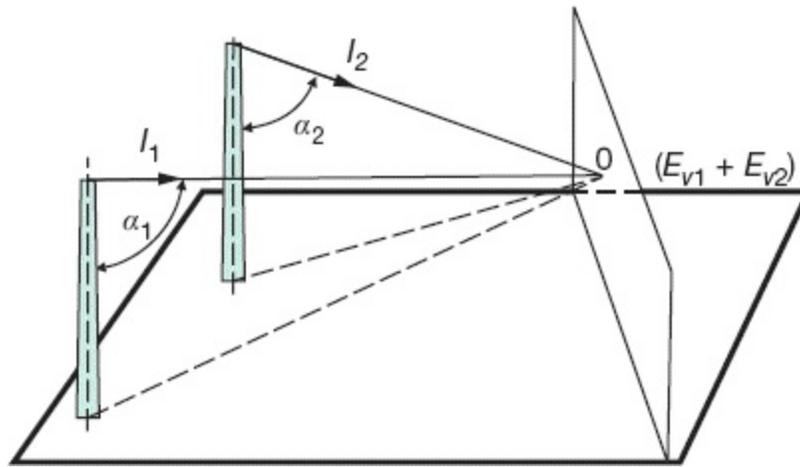


Figura 2.39 Contribuição das fontes de luz.

A partir da conceituação anterior, podem ser estabelecidas as seguintes considerações:

- Os iluminamentos E_h e E_v variam na proporção inversa do quadrado da distância da fonte de luz ao ponto iluminado.
- Os iluminamentos E_h ou E_v variam na proporção direta da intensidade luminosa na direção do ponto iluminado.
- O iluminamento E_h varia na proporção direta do cosseno do ângulo formado entre a direção da intensidade do fluxo luminoso que atinge o ponto considerado e a reta que passa pela fonte luminosa e é perpendicular ao plano horizontal.
- O iluminamento E_v varia na proporção direta do seno do ângulo formado entre a direção da intensidade do fluxo luminoso que atinge o ponto considerado e a reta que passa pela fonte luminosa e é perpendicular ao plano horizontal.

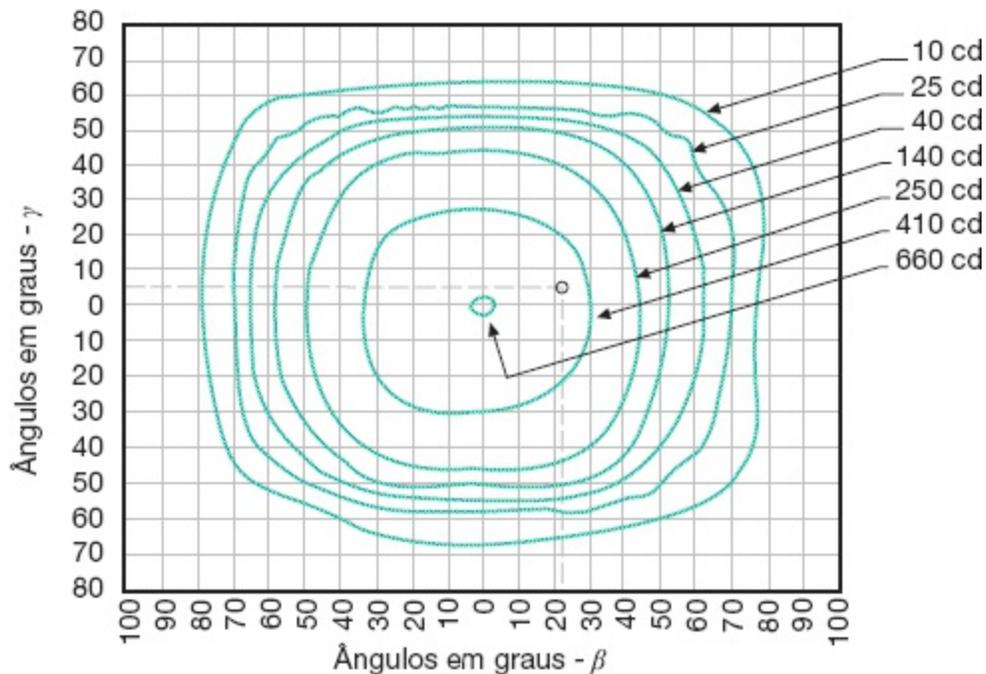


Figura 2.40 Curvas isocandelas/1.000 lumens.

A intensidade do fluxo luminoso é obtida a partir das curvas de distribuição luminosa – também conhecidas como curvas isocandelas –, mostradas, como exemplo, na [Figura 2.40](#), para um determinado tipo de luminária.

O método ponto por ponto é muito aplicado na determinação do iluminamento em áreas abertas (pátios de manobra, quadras esportivas etc.) ou em iluminação de fachadas.

Nos projetos de quadras de esporte, tais como basquete, voleibol e campos de futebol, é necessário aplicar alguns procedimentos básicos para se obter os melhores resultados na distribuição do fluxo luminoso mostrado na [Figura 2.41](#), observando-se as linhas de focalização dos projetores e as distâncias regulamentares entre as torres e as laterais do campo. O conjunto dos projetores de cada torre é considerado um único ponto de luz para a determinação das distâncias e ângulos.

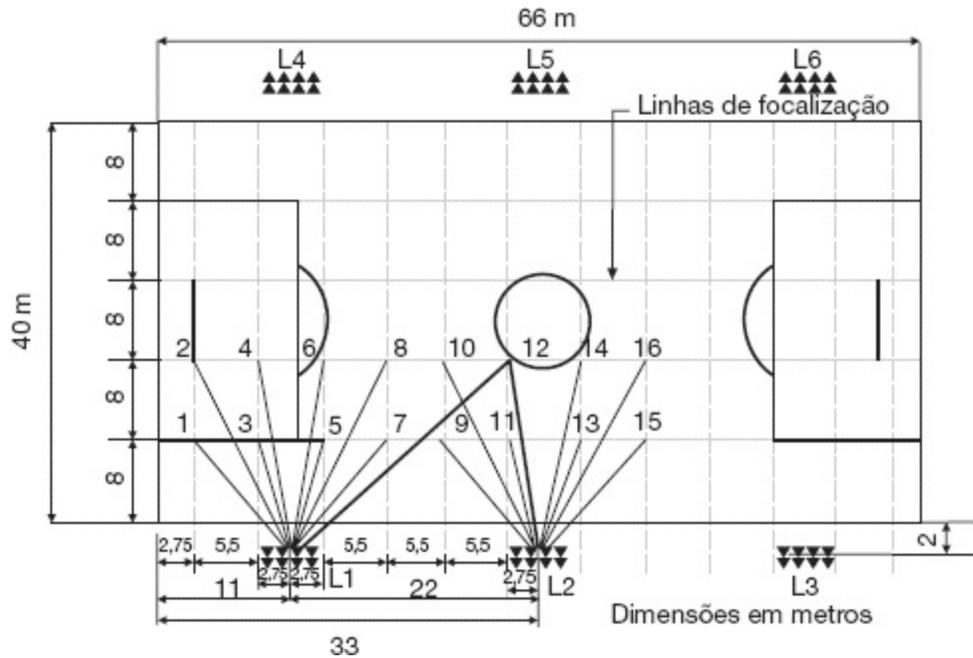


Figura 2.41 Linhas de focalização de uma quadra de esporte.

Exemplo de aplicação (2.4)

Determinar o iluminamento da quadra de esporte definida na Figura 2.41, destinada ao lazer de funcionários de uma determinada indústria.

Serão utilizadas seis torres com altura útil igual a 20 m (altura para evitar o ofuscamento), afastadas de 2 m da periferia da quadra. A distância entre as torres e as laterais é a metade da distância entre duas torres consecutivas. Serão utilizados seis conjuntos de 8 projetores de fecho aberto, cuja curva de distribuição luminosa é dada na Figura 2.40. A lâmpada empregada é de 1.000 W, vapor metálico, cujo fluxo luminoso inicial é de 90.000 lumens. Serão utilizadas três torres de cada lado da quadra de esporte, de conformidade com a Figura 2.41. A Figura 2.42 define a posição de uma torre de iluminação e os ângulos correspondentes.

Devido à complexidade dos cálculos trigonométricos, será mostrada somente a iluminação de um ponto, conforme Figura 2.41.

Distância entre as torres de iluminação

$$66 = 2 \times D_t + 2 \times \frac{D_t}{2} \rightarrow 33 = D_t + 0,5 \times D_t$$

D_t - distância entre duas torres consecutivas

$$D_t = 22 \text{ m} \rightarrow \frac{D_t}{2} = 11 \text{ m}$$

Distância entre as linhas de focalização

$$Y = \frac{L}{N_l + 1} = \frac{40}{4 + 1} = 8 \text{ m}$$

$L = 40 \text{ m}$ (largura do campo de esporte)

$N_l = 4$ (número de linhas de focalização – valor adotado)

Distância entre os pontos de foco

O número de pontos de foco é igual ao número de projetores, ou seja: $N_p = 6 \times 8 = 48$. O número de linhas de interseção vale:

$$N_i = \frac{N_p}{N_l} = \frac{48}{4} = 12$$

Logo, a distância entre os pontos de foco vale:

$$66 = 11 \times X + 2 \times \frac{X}{2} = 12 \times X \rightarrow X = 5,5 \text{ m}$$

Cada projetor está focalizado no respectivo ponto de foco, conforme a Figura 2.41, ou seja, o ponto de foco 8 está diretamente iluminado pelo projetor 8 da torre L1. Esse ponto de foco receberá a contribuição de 47 projetores ($48 - 1 = 47$).

Intensidade luminosa no ponto de foco 12 devido ao projetor 12 da torre L2.

$$D_{12} = \sqrt{2,75^2 + (8 + 8 + 2)^2} = 18,2 \text{ m}$$

$D_{12/12}$ - distância horizontal entre as torres L2, onde está instalado o projetor 12, e o ponto de foco 12.

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{18,2}{20} = 42,3^\circ$$

Através das curvas isocandelas mostradas na Figura 2.40, pode-se obter o valor da intensidade luminosa lumens para $\beta = 0^\circ$ e $\gamma = 0$:

$$I_{L2/12} = \frac{660 \times 90.000}{1.000} = 59.400 \text{ cd}$$

Iluminamento $E_{L2/12}$ devido ao projetor 12 no ponto de foco 12:

$$E_{12/12} = \frac{I_{L2/12} \times \cos^3 \alpha}{H^2} = \frac{59.400 \times \cos^3 42,3^\circ}{20^2} = 60,0 \text{ lux}$$

Intensidade luminosa no ponto de foco 12 devido ao projetor 8 da torre L1.

$$D_{8/12} = \sqrt{(2,75 + 3 \times 5,5)^2 + (2 \times 8 + 2)^2} = 26,3 \text{ m}$$

$D_{8/8}$ - distância horizontal entre as torres L1, onde está instalado o projetor 8, e o ponto de foco 8

$$D_{8/12} = \sqrt{(2,75 + 3 \times 5,5)^2 + (2 \times 8 + 2)^2} = 26,3 \text{ m}$$

$D_{8/12}$ - distância horizontal entre as torres L1, onde está instalado o projetor 8, e o ponto de foco 12

Pela Figura 2.42, pode-se obter o valor do ângulo β resolvendo os dois triângulos formados:

$$AB^2 = (26,3 - X)^2 + BD^2 \rightarrow 19,8^2 = (26,3 - X)^2 + DC^2$$

$$BC^2 = X^2 + DC^2 \rightarrow 11^2 = X^2 + DC^2$$

A partir desse conjunto de equações, obtêm-se os valores de $X = 8,0 \text{ m}$ e $DC = 7,55 \text{ m}$. Logo, o ângulo $\beta = 22,3^\circ$.

Determinação da curva fotométrica que cruza o ponto 12 devido ao projetor 8

Desenvolvendo-se os cálculos geométricos e trigonométricos necessários, conclui-se que o valor de $\gamma = 5,9^\circ$. Com os valores de $\beta = 22,3^\circ$ e aplicados sobre as curvas isocandelas da Figura 2.40, obtém-se a curva de aproximadamente 410 cd/lumens.

$$I_{8/12} = \frac{410 \times 90.000}{1.000} = 36.900 \text{ cd}$$

Iluminamento $E_{8/12}$ devido ao projetor 8 no ponto de foco 12

$$\alpha = \text{arctg} \frac{26,3}{20} = 52,7^\circ$$

$$E_{8/12} = \frac{I_{8/12} \times \cos^2 \alpha}{H^2} = \frac{36.900 \times \cos^2 52,7}{20^2} = 20,5 \text{ lux}$$

Iluminamento no ponto de foco 12 devido aos projetores 8 da torre L1 e 12 da torre L2.

$$E_{L8/L12} = E_{12/12} + E_{8,12} = 60,0 + 20,5 = 80,5 \text{ lux}$$

Para se conhecer as contribuições do restante dos projetores (46 unidades), deve-se seguir a mesma metodologia aplicada para os dois projetores. Como se observa, é por demais trabalhoso executar essa tarefa, isto é, são necessários 2.304 (48×48) valores calculados em lux para concluir este simples projeto. Somente processos eletrônicos viabilizam essa metodologia.

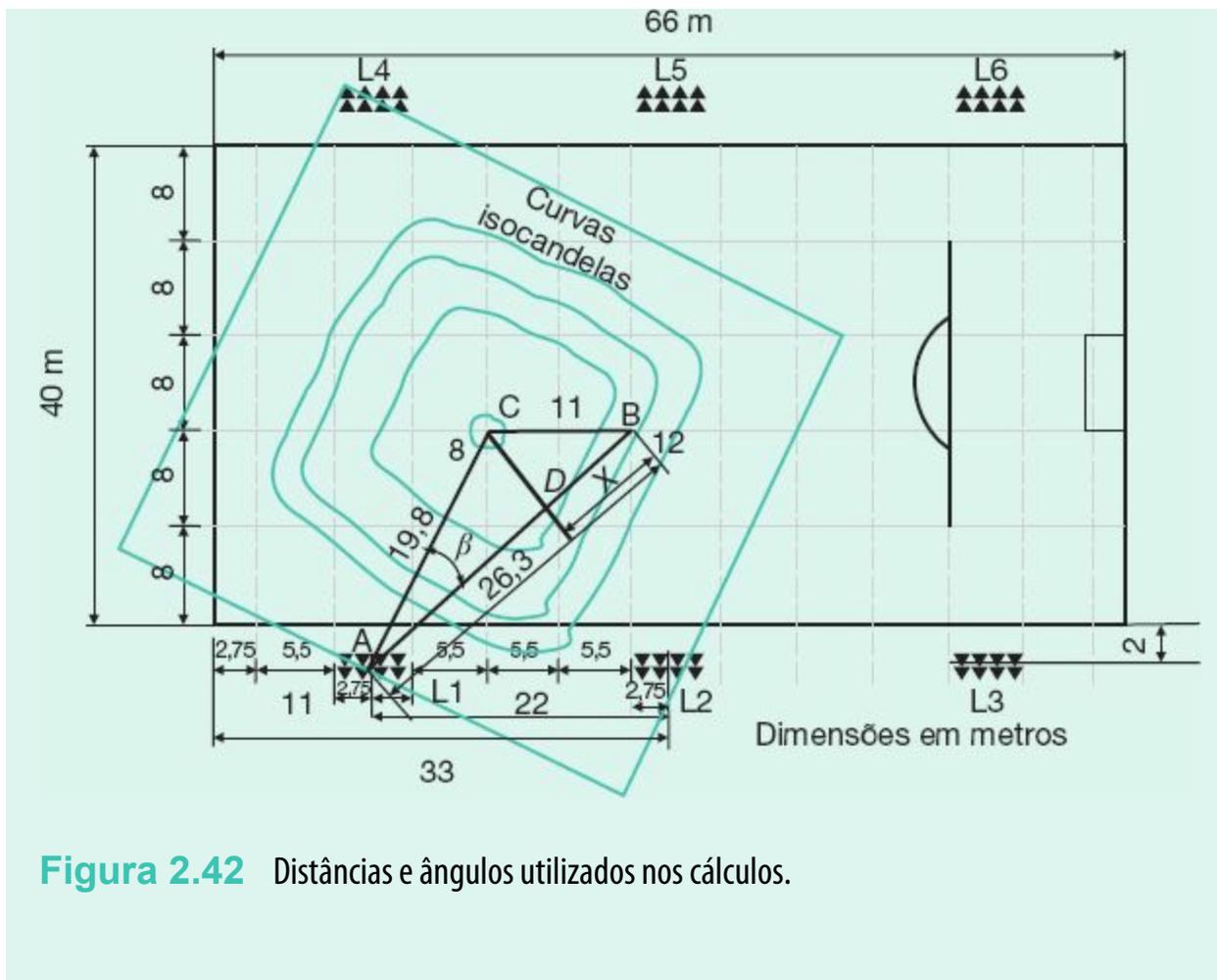


Figura 2.42 Distâncias e ângulos utilizados nos cálculos.

2.7 Iluminação de exteriores

As áreas externas das instalações industriais em geral são iluminadas por projetores fixados em postes ou nas laterais do conjunto arquitetônico da fábrica.

A [Tabela 2.16](#) fornece os níveis de iluminação adequados para áreas externas.

O método mais adequado para aplicação de projetores em áreas externas é o método do ponto por ponto. Entretanto, na iluminação dos acessos internos de complexos fabris, por exemplo, podem ser utilizados dois métodos bastante simples.

2.7.1 Iluminamento por ponto

Este método é derivado do método ponto por ponto, em que o fabricante da luminária fornece, em termos percentuais do fluxo máximo, o diagrama de curvas isolux. Logo, para se determinar o iluminamento em um determinado ponto, soma-se a contribuição de todas as luminárias cujo fluxo luminoso atinja o referido ponto. Esta contribuição é determinada a partir das curvas isolux, cujos valores são dados em função dos múltiplos da altura da luminária. O diagrama das curvas isolux, dado como exemplo na [Figura 2.43](#), na realidade é um conjunto de curvas que tem como centro um ponto abaixo da luminária, representando cada uma delas os pontos que recebem o mesmo fluxo luminoso da lâmpada.

Para determinar o iluminamento em um ponto qualquer do acesso interno, utilizar a Equação (2.22). Considerar que a relação entre os valores de menor e maior iluminamento dos acessos internos não deve ser inferior a 0,33, valor este denominado de fator de uniformidade de iluminamento.

$$E_p = \frac{E \times K \times \psi_l \times N}{H^2} \quad (2.22)$$

E - iluminamento percentual no ponto considerado;

K - fator da luminária fornecido no diagrama isolux da luminária empregada;

ψ_l - fluxo luminoso da lâmpada, em lumens;

N - número de lâmpadas/luminária;

H - altura de montagem da luminária.

Tabela 2.16 Nível de iluminamento de áreas externas

Áreas	Iluminâncias - lux
Depósitos ao ar livre	10

Parques de estacionamento

50

Vias de tráfego

70

Exemplo de aplicação (2.5)

Determinar o iluminamento na linha média de um acesso interno a um empreendimento industrial (pontos P1 – iluminamento mínimo – e P2 – iluminamento máximo – da linha média) com as dimensões mostradas na Figura 2.44, utilizando uma luminária cujo diagrama das curvas isolux é mostrado na Figura 2.43. A lâmpada empregada é a de vapor mercúrio de 250 W. A altura das luminárias é de 10 m.

Iluminamento máximo

Da Equação (2.22) tem-se:

$$E_p = \frac{E \times K \times \psi_l \times N}{H^2} = \frac{1 \times 0,23 \times 12.600 \times 1}{10^2} = 28,98 \text{ lux}$$

$E = 1$ (100 % – valor para o iluminamento máximo)

$K = 0,23$ (valor dado no diagrama isolux)

$\psi_l = 12.600$ lumens (Tabela 2.1)

$N = 1$ (lâmpada da luminária)

$H = 10$ m (altura da luminária)

Iluminamento no ponto P1

A posição do ponto P1 (P_{1x} , P_{1y}) no diagrama das curvas isolux da Figura 2.43, em múltiplos da altura da luminária tomando-se como base a luminária L2, estabelece a curva de 15 %, ou seja:

$$P_{1x} = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ m}$$

$$P_{1x} = \frac{7,5}{H} = \frac{7,5}{10} = 0,75H$$

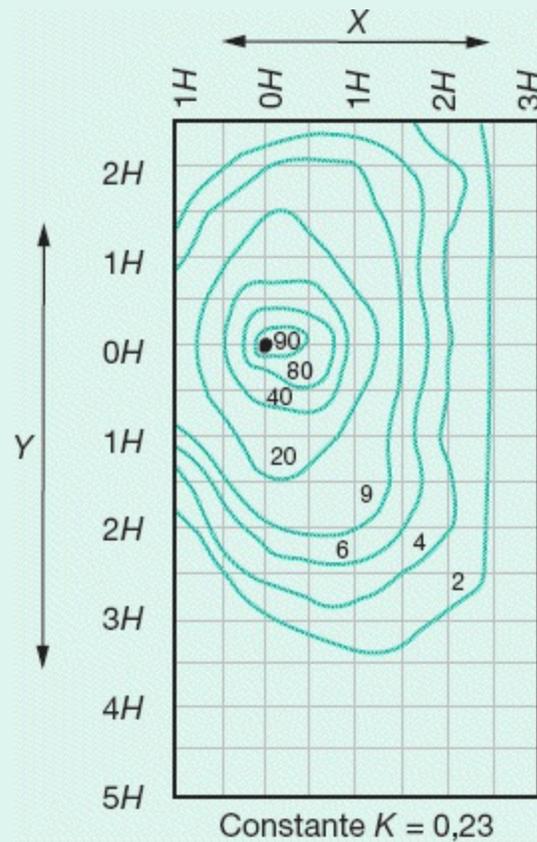


Figura 2.43 Diagrama de curvas isolux com inclinação de 30° .

$$P_{1y} = \frac{30/2}{10} = 1,5H$$

Contribuição de L1 no ponto P1

$P_{1x} = 0,75 \times H \rightarrow P_{1y} = 1,5 \times H \rightarrow \psi_p = 15\% = 0,15$ (curva determinada entre as curvas 9 e 20 e não apresentada na Figura 2.43).

$$E_{p||1} = 0,15 \times E_p = 0,15 \times 28,98 = 4,34 \text{ lux}$$

Contribuição de L2 no ponto P1

$$E_{p1l2} = E_{p1l1} \text{ (o ponto P1 está no ponto médio de L1 e L2).}$$

Logo, o iluminamento final no ponto P1 vale:

$$E_{p1} = E_{p1l1} + E_{p1l2} = 4,34 + 4,34 = 8,68 \text{ lux}$$

Iluminamento no ponto P2

Contribuição de L2 no ponto P2

$$P_{lx} = 0,75 \times H \rightarrow P_{ly} = 0 \times H \rightarrow \psi_p = 40\% = 0,4$$

$$E_{p2l2} = 0,40 \times 28,98 = 11,6 \text{ lux}$$

Contribuição de L1 no ponto P2

A curva de L1 que corta o ponto P2 é:

$$P_{lx} = 0,75 \times H \text{ e } P_{ly} = 3 \times H \rightarrow \psi_p = 4\% = 0,04$$

$$E_{p2l1} = 0,04 \times 28,98 = 1,15 \text{ lux}$$

Logo, o iluminamento final no ponto P2 vale:

$$E_{p2} = E_{p2l2} + E_{p2l1} = 11,6 + 1,15 = 12,75 \text{ lux}$$

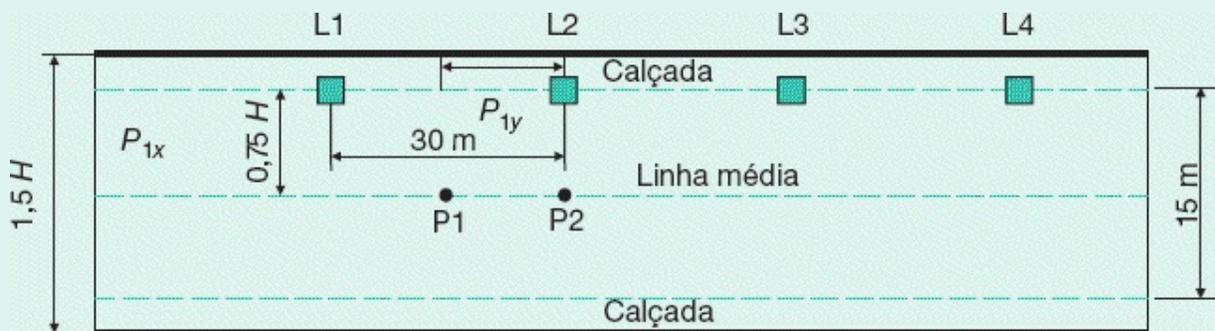


Figura 2.44 Representação de uma via externa.

2.7.2 Iluminamento pelo valor médio

O iluminamento pelo valor médio sobre a pista pode ser calculado pela Equação (2.23).

$$E_m = \frac{F_u \times \psi_l \times N}{L_p \times D_l} \quad (2.23)$$

F_u - fator de utilização;

ψ_l - fluxo luminoso da lâmpada, em lumens;

N - número de lâmpadas/luminária;

L_p - largura do acesso interno, em m;

D_l - distância entre as luminárias, em m.

A determinação do fator de utilização é feita através da curva do fator de utilização da luminária que se está utilizando no projeto, encontrada no catálogo do fabricante e exemplificada na [Figura 2.45](#). A [Figura 2.46](#) mostra a posição da luminária em poste, em um exemplo típico de iluminação de pista.

a) Fator de utilização para o iluminamento do acesso interno

- Fator de utilização correspondente ao lado do acesso interno

$$R_1 = \frac{L_p - X}{H} \quad (2.24)$$

X é identificado na [Figura 2.46](#).

- Fator de utilização correspondente ao lado da calçada

$$R_2 = \frac{X}{H} \quad (2.25)$$

Quando as distâncias L_p e X já são tomadas com base na altura H , esta variável deixa de existir no denominador e as variáveis de R_1 e R_2 passam a ter respectivamente os seguintes valores:

$$R_1 = L_p - X \quad (2.26)$$

$$R_2 = X \quad (2.27)$$

Com os valores de R_1 e R_2 obtêm-se os fatores de utilização parciais F_{u1} e F_{u2} através da curva do fator de utilização correspondente à luminária que se está utilizando. O fator de utilização final vale:

$$F_u = F_{u1} + F_{u2} \quad (2.28)$$

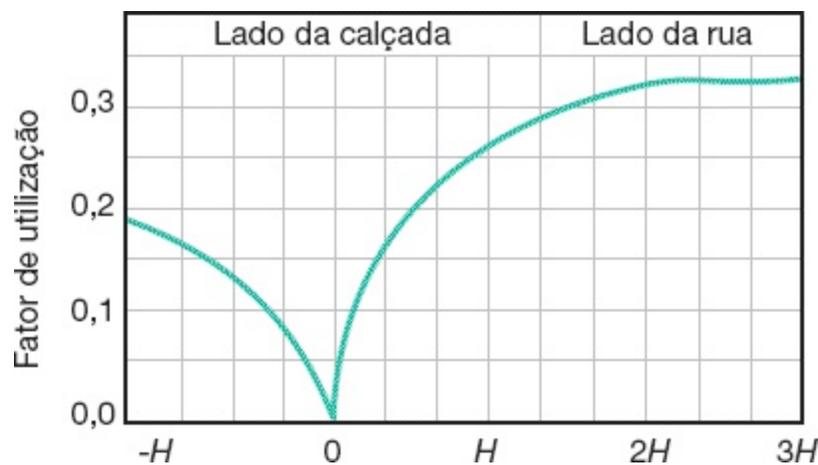


Figura 2.45 Fator de utilização.

b) Fator de utilização para o iluminamento das calçadas

Na determinação do iluminamento das calçadas pode-se utilizar a Equação (2.23). Neste caso, o fator de utilização é determinado pela curva da luminária correspondente, utilizando as seguintes razões:

- Fator de utilização correspondente à calçada do lado da linha das luminárias

$$R_1 = \frac{C+X}{H-F} \quad (2.29)$$

$$R_2 = \frac{X}{H-F} \quad (2.30)$$

F é identificado na [Figura 2.46](#).

- Fator de utilização correspondente à calçada do outro lado da linha das luminárias

$$R_1 = \frac{(L_p - X) + C}{H - F} \quad (2.31)$$

$$R_2 = \frac{X}{H - F} \quad (2.32)$$

Como já foi explanado anteriormente com os valores de R_1 e R_2 , obtêm-se F_{u1} e F_{u2} . Dessa forma, o fator de utilização final vale:

$$F_u = F_{u1} - F_{u2} \quad (2.33)$$

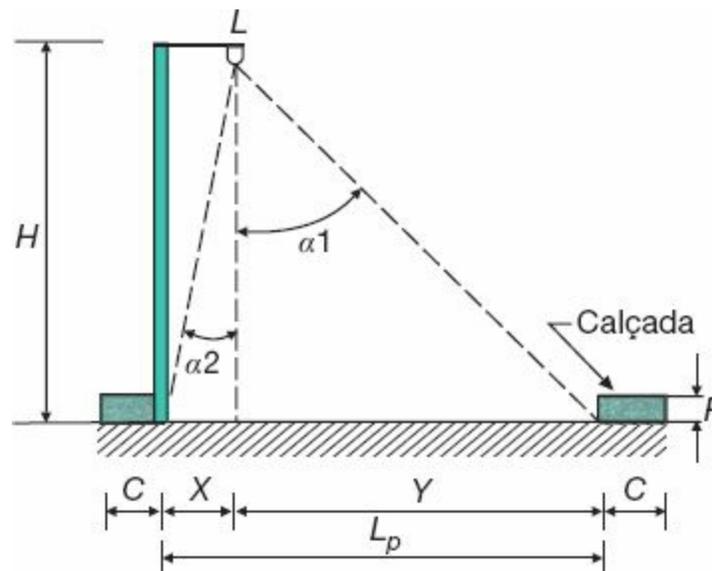


Figura 2.46 Definição dos ângulos de focalização.

Exemplo de aplicação (2.6)

Calcular a iluminação de um acesso interno de uma indústria mostrada na Figura 2.47, cujos detalhes dimensionais estão contidos na Figura 2.48. A luminária utilizada é caracterizada pelo diagrama isolux dado na Figura 2.41. A lâmpada utilizada é de 250 W, a vapor de mercúrio. A altura da luminária é 10 m. O diagrama do fator de utilização da luminária é dado na Figura 2.45.

Fator de utilização

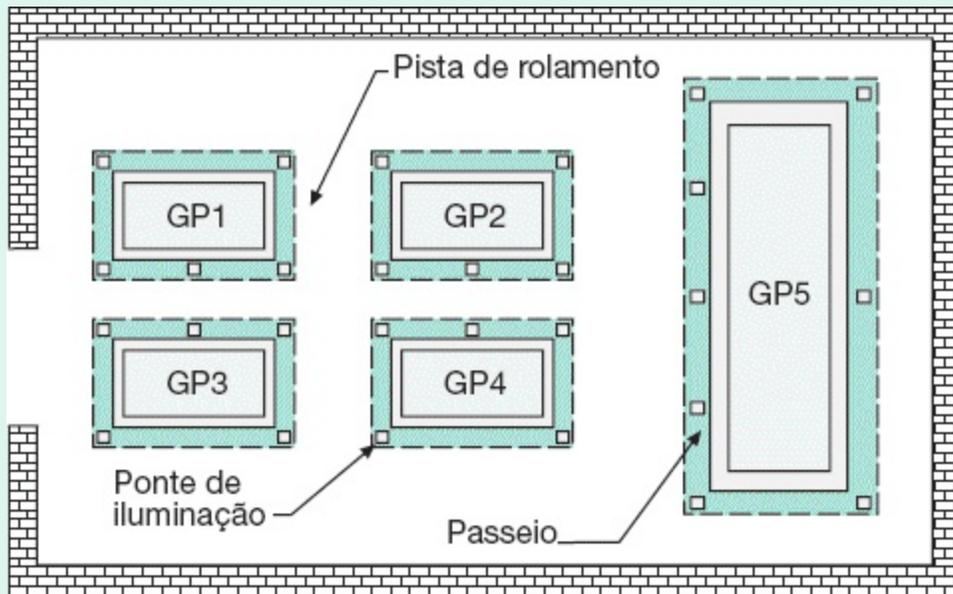


Figura 2.47 Área externa de uma indústria.

Para o lado da pista

$$R_1 = L_p - X = 1H - 0,25H = 0,75H \rightarrow F_{u1} = 0,23 \text{ (Fig. 2.45)}$$

Para o lado da calçada

$$R_2 = X = 0,25H \rightarrow F_{u2} = 0,13 \text{ (Fig. 2.45)}$$

Logo, o fator de utilização vale:

$$F_u = F_{u1} + F_{u2} = 0,23 + 0,13 = 0,36$$

Iluminamento médio

Aplicando-se a Equação (2.23), tem-se:

$$E_m = \frac{F_u \times \psi_1 \times N}{L_p \times D_l}$$

$\psi_1 = 12.600$ lumens

$D_l = 30$ m

Da Figura 2.48, pode-se escrever:

$$L_p = 1,0H = 10 \text{ m}$$

Logo, o valor médio do iluminamento vale:

$$E_m = \frac{0,36 \times 12.600 \times 1}{10 \times 30} = 15,12 \text{ lux}$$

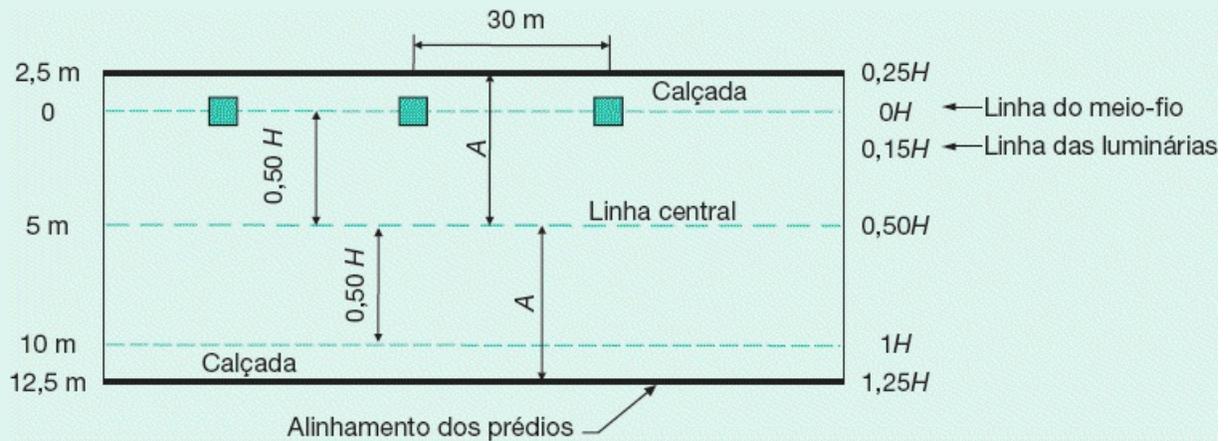


Figura 2.48 Trecho de uma pista de rolamento.

Tabela 2.17 Iluminamentos mínimos para iluminação de emergência

Ambientes	Iluminância - Lux
-----------	-------------------

Auditórios, salas de recepção	5
Corredores, refeitórios, salões, iluminação externa	10
Almoxarifados, escritórios, escadas, entradas em locais com desníveis, elevadores	20
Corredores de saída de pessoal, centro de processamento de dados, subestação, salas de máquinas	50

2.8 Iluminação de emergência

Não deve ser confundida com iluminação alternativa. A iluminação de emergência nas instalações industriais deve ser projetada adequadamente, a fim de cobrir todas as áreas em que a falta de iluminação possa ocasionar riscos de acidentes ou perturbação na saída de pessoal. De modo geral, as áreas mais importantes de serem dotadas de iluminação de emergência são:

- Corredores
- Salas de reunião
- Auditórios
- Salas de emergência
- Salas de máquinas, em geral
- Setores de produção de materiais combustíveis ou gasosos

O nível de iluminamento desses locais deve variar de 5 lux, para áreas de permanência e trânsito de pessoas, a 50 lux, para os setores de produção.

A [Tabela 2.17](#) indica os valores mínimos das iluminâncias adotadas para diferentes ambientes. A iluminação de emergência poderá ser feita através de baterias ou de um gerador auxiliar.

2.8.1 Sistema autônomo de emergência

É constituído por uma bateria instalada no interior de uma caixa, construída normalmente de fibra, juntamente com o sistema retificador-carregador. Na parte superior da caixa estão instalados dois projetores que automaticamente são ligados quando a tensão se anula na tomada de alimentação do sistema autônomo. A [Figura 2.49](#) mostra um sistema autônomo muito popular em instalações industriais e comerciais. A tensão desses sistemas, em geral, é de 12 V.

2.8.2 Banco de baterias

Quando se deseja iluminar grandes ambientes, a escolha, em geral, recai sobre a utilização de baterias que podem ser agrupadas em um banco (ou mais) concentrado em um local mais conveniente da indústria, sob o ponto de vista de queda de tensão. Se as distâncias entre o banco de baterias e os pontos de luz forem grandes, de sorte a obrigar a utilização de condutores de seção elevada, deve-se adotar uma tensão de distribuição de 110 V ou 220 V para reduzir as quedas de tensão nos circuitos. Podem ser empregados os seguintes tipos de baterias:

a) Baterias chumbo-ácidas

São de utilização comum em veículos automotivos. Podem ser adquiridas facilmente a um custo relativamente reduzido. Têm como solução o ácido sulfúrico H_2SO_4 .

b) Baterias chumbo-cálcio

Têm um custo médio bem superior ao das de chumbo-ácidas. São empregadas com certa frequência em serviços auxiliares de subestação de força de concessionárias de eletricidade ou particulares. Utilizam também como solução o ácido sulfúrico H_2SO_4 . Entretanto, diferenciam-se das

anteriores pela tecnologia de fabricação.

c) Baterias alcalinas

Também conhecidas como níquel-cádmio, apresentam um elevado grau de confiabilidade. Seu custo é elevado se comparado com o valor de uma unidade chumbo-ácida.

São comumente empregadas em sistemas de serviços auxiliares de subestação de potência ou acopladas a sistemas ininterruptos de energia (*nobreak*) do tipo estático para suprimento de cargas que requeiram um elevado nível de continuidade.

A [Figura 2.50](#) mostra, esquematicamente, um sistema de iluminação de emergência comandado por um relé de tensão que atua sobre um contator magnético, permitindo a energização dos diferentes circuitos parciais pelo conjunto de baterias.



Figura 2.49 Sistema autônomo de iluminação de emergência.

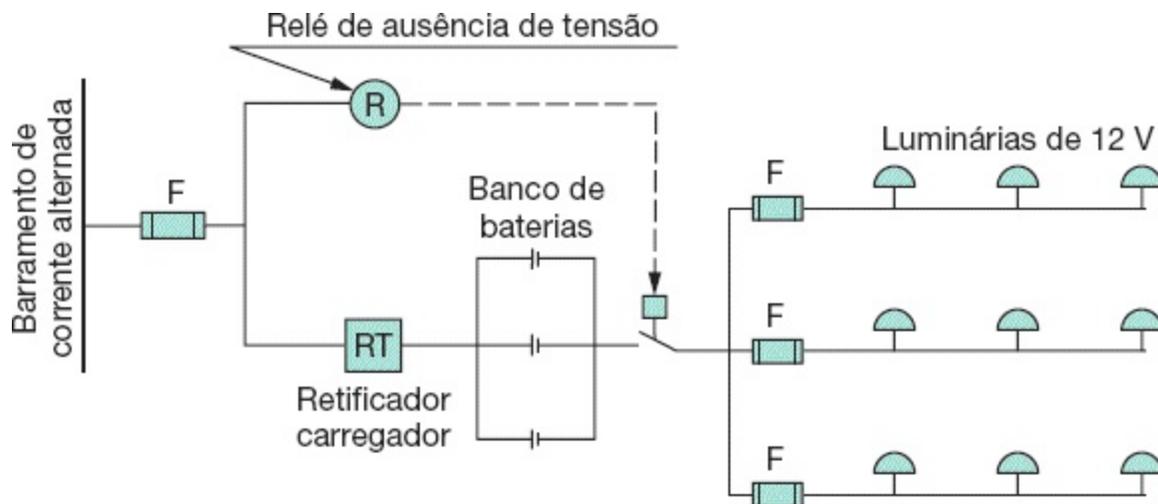


Figura 2.50 Esquema básico de comando de iluminação.

2.8.3 Gerador auxiliar

Normalmente, é utilizado em instalações que necessitam não somente de iluminação de emergência, mas também de iluminação alternativa, ou ainda de fonte de suprimento auxiliar.

A utilização de geradores auxiliares é significativamente mais onerosa para a instalação, tanto no que se refere ao custo inicial como ao custo de operação e manutenção.

Em algumas indústrias, devido à necessidade de continuidade do processo industrial, é imperiosa a instalação de um gerador como fonte alternativa que possa ser utilizado também para suprimento dos circuitos destinados à iluminação de emergência.

A potência do gerador deve ser selecionada em função das cargas prioritárias que devem permanecer ligadas durante os eventos que cortem o suprimento da rede da concessionária.

Os geradores, em geral, devem ser acionados automaticamente logo que falte tensão nos terminais de entrada da subestação da indústria. Isto permite que se reduza o tempo sem o serviço de energia elétrica na unidade fabril.

Certos setores da indústria necessitam de energia ininterruptamente. São cargas de elevada prioridade. Neste caso, deve-se utilizar, além do gerador auxiliar, um sistema ininterrupto de energia para alimentação de força que possa também fornecer energia ao sistema de iluminação durante emergência do sistema da concessionária. O sistema ininterrupto (*nobreak*) seria dimensionado com um banco de baterias adequado ao tempo necessário para a operação do gerador.