

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

7.ª EDIÇÃO

JOÃO MAMEDE FILHO

Engenheiro eletricista

Ex-Diretor de Planejamento e Engenharia da Companhia Energética do Ceará (1988-1990)

Ex-Diretor de Operação da Companhia Energética do Ceará — Coelce (1991-1994)

Ex-Diretor de Planejamento e Engenharia da Companhia Energética do Ceará (1995-1998)

Ex-Presidente do Comitê Coordenador de Operações do Norte-Nordeste — CCON

Ex-Presidente da Nordeste Energia S.A. — Nergisa (1999-2000)

Atual Presidente da CPE — Consultoria e Projetos Elétricos

Professor de Eletrotécnica Industrial da Universidade de Fortaleza — Unifor (desde 1979)

LTC
EDITORA

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 2%, o que representa a produção de energia elétrica da hidrelétrica 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.

Numa 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, sendo que 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 é função da radiação luminosa incidente. A cor de uma banana, tradicionalmente amarela, é o resultado da radiação luminosa que reflete quantitativamente maior no segmento amarelo. Para uma radiação monocromática incidente como, por exemplo, o branco obtido através de filtro que obstacule a radiação amarela, a banana se apresentaria ao observador na cor negra, já que ela 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 para zero.”



FIGURA 2.1
Forma de irradiação da luz

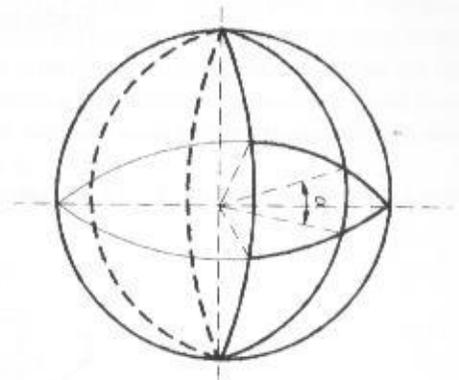


FIGURA 2.2
Demonstração gráfica do ângulo sólido

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 m^2 é iluminada perpendicularmente por uma fonte de luz cujo fluxo luminoso é de 1 lúmen, apresenta a iluminância de 1 lux, ou seja:

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

F – fluxo luminoso, em lumens;

S – área da superfície iluminada, em m^2 .

São clássicos alguns exemplos de iluminância, ou seja:

- 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 $R = 1$ 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.

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. 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 de 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.

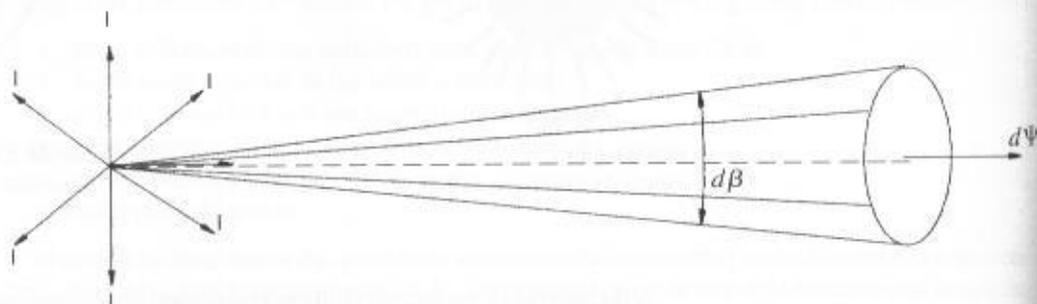


FIGURA 2.3
 Representação do conceito de intensidade luminosa

Através da eficiência luminosa das fontes de radiação podem ser elaborados projetos mais eficientes, selecionando-se lâmpadas de maior eficiência luminosa.

A seguir serão relacionadas as lâmpadas e suas eficiências luminosas, ou seja:

- lâmpadas incandescentes: 10 a 15 lumens/W;
- lâmpadas halogêneas: 15 a 25 lumens/W;
- lâmpadas mistas: 20 a 35 lumens/W;
- lâmpadas vapor de mercúrio: lâmpadas mistas – 45 a 55 lumens/W;
- lâmpadas fluorescentes comuns: lâmpadas mistas – 55 a 75 lumens/W;
- lâmpadas vapor metálico: 65 a 90 lumens/W;
- lâmpada vapor de sódio: 80 a 140 lumens/W.

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 tende a zero”, ou seja:

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

Pode ser definida também como a potência de radiação visível que uma determinada fonte de luz emite numa direção especificada. Sua unidade é denominada de *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.

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.

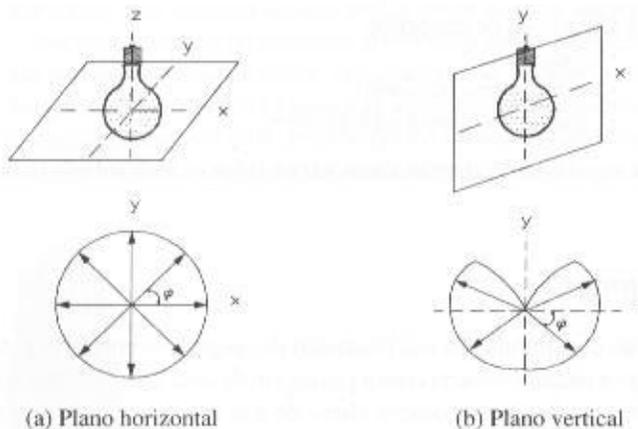


FIGURA 2.4
Distribuição luminosa nos planos horizontal e vertical

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.” 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).

$$L = \frac{I}{S \times \cos \alpha} \quad (2.4)$$

S – superfície iluminada;

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

I – intensidade luminosa.

O fluxo luminoso, a intensidade luminosa e a iluminância somente são visíveis se forem refletidos numa 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 a luz diferentemente um dos outros. Assim, dois objetos colocados num 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/m².

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.
- 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.

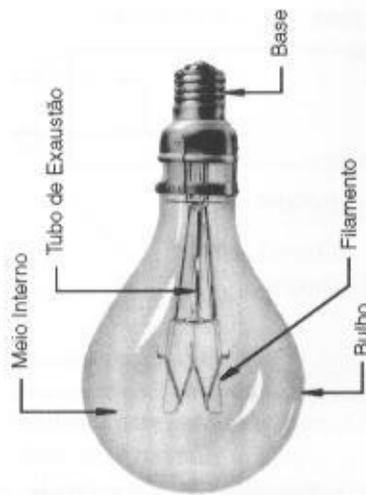
Devido às precárias características de sua eficiência luminosa, vida média reduzida e custos de manutenção elevados, é cada vez menor a sua aplicação em projetos industriais. Sua utilização é mais sentida nas dependências administrativas, mesmo assim em aplicações restritas. Apresentam um custo de implantação 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;
- 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 reduz-se 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.

FIGURA 2.5
Lâmpada incandescente

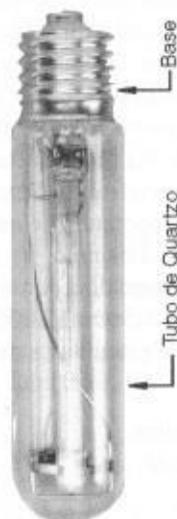


2.3.2 Lâmpadas Halógenas de Tungstênio

A lâmpada halógena de tungstênio é um tipo especial de lâmpada incandescente, em que um filamento é contido num 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 e formando o iodeto de tungstênio. Devido às altas temperaturas, parte do tungstênio se deposita no filamento regenerando-o, criando-se assim um processo contínuo e repetitivo denominado ciclo do iodo. A Figura 2.6 mostra o aspecto externo de uma lâmpada halógena, cuja maior aplicação se faz sentir na iluminação de cena.

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 uma combinação química após a qual retornam ao filamento. As paredes da lâmpada são de vidro de quartzo resistente a elevadas temperaturas.

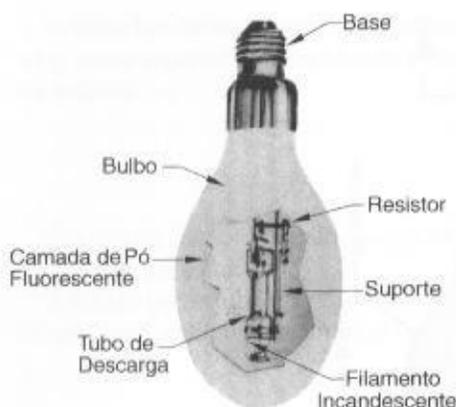
FIGURA 2.6
Lâmpada halógena



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 ovóide, 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, ao mesmo tempo em que funciona como limitador do fluxo de corrente.

FIGURA 2.7
Lâmpada de luz mista



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 das cores características das lâmpadas de filamento de tungstênio. A Figura 2.7 mostra o aspecto físico de uma lâmpada de luz mista com os seus diversos componentes.

2.3.4 Lâmpadas de Descarga

Podem ser classificadas em vários tipos que serão resumidamente estudadas.

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. Quando se energiza 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 uma 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 fluorescentes 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 que emitem os seguintes tipos de luz:

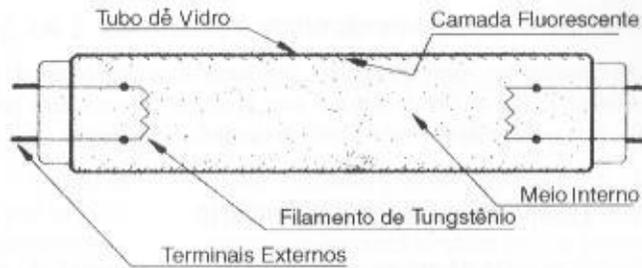
- tungstênio de cálcio - luz emitida: azul-escura;
- silicato de zinco - luz emitida: amarelo-verde;
- borato de cálcio - luz emitida: róseo-clara.

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.

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, menor diâmetro e que permitem um maior aproveitamento das superfícies reflexivas das luminárias.

As lâmpadas fluorescentes, ao contrário das incandescentes, não podem controlar sozinhas o fluxo de corrente. É necessário que se ligue um reator (reatância série) entre as suas extremidades

FIGURA 2.8
Lâmpada fluorescente bipino



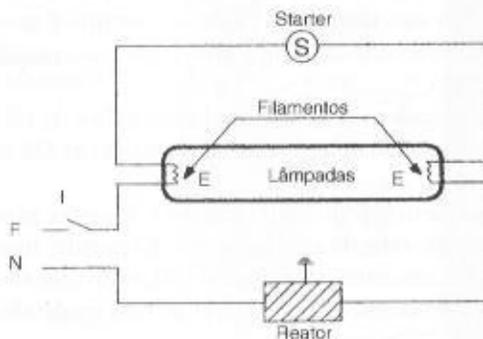
externas para limitar o valor da corrente. As lâmpadas pequenas usam o reator somente para limitar a corrente, enquanto as lâmpadas fluorescentes grandes, além do reator, fazem uso de um transformador para elevar a tensão. A Figura 2.8 mostra os elementos básicos de uma lâmpada fluorescente, base bipino.

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 2.9 mostra a ligação da lâmpada associada aos respectivos starter e reator.

FIGURA 2.9
Ligação do starter



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 2.10 mostra a ligação deste tipo de lâmpada.

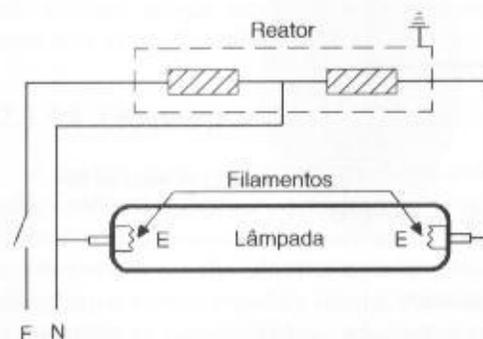


FIGURA 2.10
Ligação do reator-transformador

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.

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 uma certa quantidade de azoto cuja função é a distribuição uniforme da temperatura.

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 conseqüente 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 a vapor de mercúrio comuns não emitem, no seu espectro, a luz vermelha, limitando o uso dessas lâmpadas 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 tem uma elevada eficiência, em geral de cerca de 55 lumens/watt. Nesse particular, apresentam uma séria desvantagem ao longo de sua vida útil média, que é de 18.000 horas, 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 4 a 5 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 fosfato de ítrio vanadato, que permitem uma maior ou menor reprodução de cores. A Figura 2.11 mostra os detalhes principais de uma lâmpada a vapor de mercúrio.

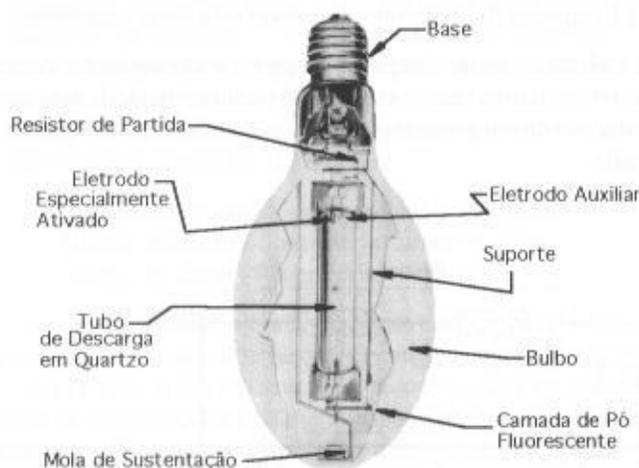


FIGURA 2.11
Lâmpada a vapor de mercúrio

2.3.4.3 Lâmpadas a vapor de sódio

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

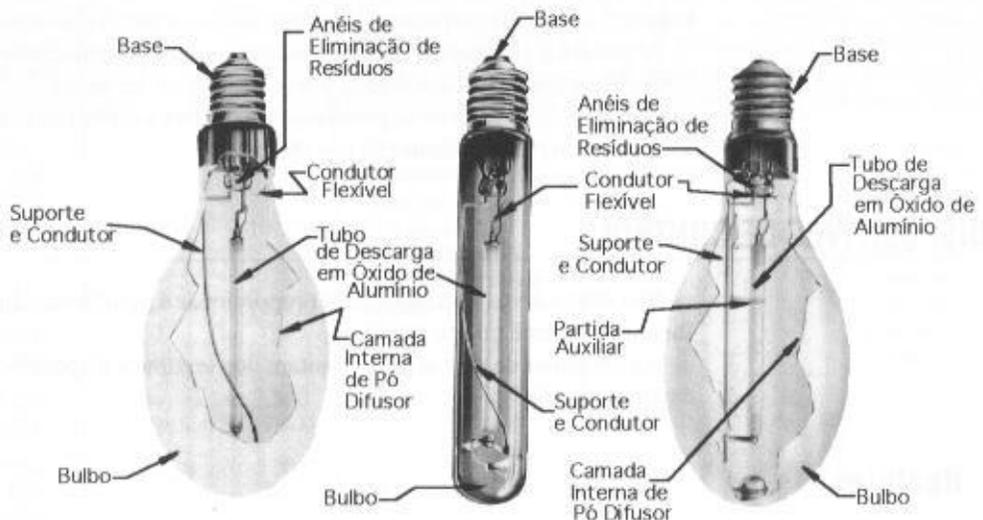
a) Lâmpadas a vapor de sódio a baixa pressão

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 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 uma certa quantidade de gás neon que favorece o acendimento, acrescida também de uma 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 à baixa pressão são caracterizadas por emitir uma radiação quase monocromática (luz amarela), ter alta eficiência luminosa, em torno de 200 lumens/watt , e apresentar uma elevada vida útil de operação, aproximadamente de 18.000 horas. 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 2.12 fornece os principais componentes de diferentes modelos de lâmpadas a vapor de sódio.

FIGURA 2.12
Lâmpada a vapor de sódio



b) Lâmpadas a vapor de sódio à alta pressão

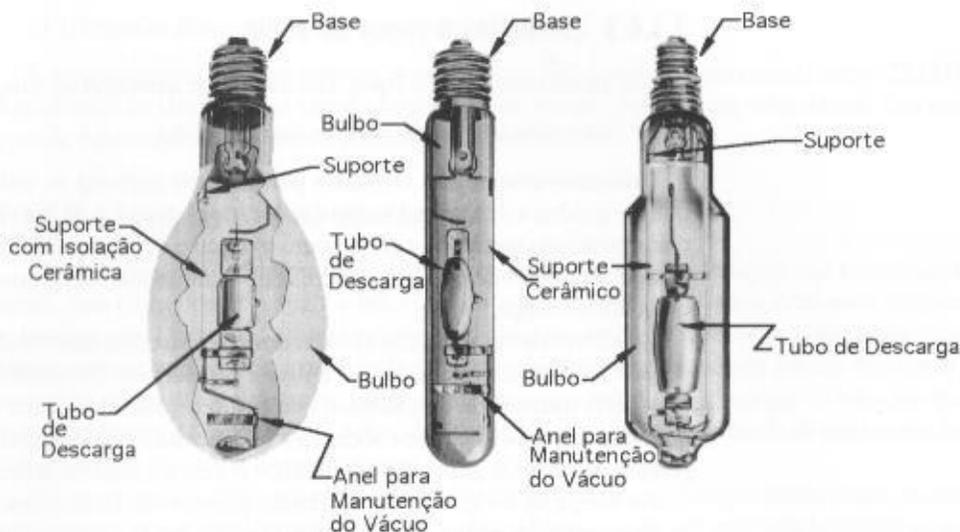
São constituídas de um tubo de descarga contendo um excesso de sódio que se vaporiza durante o período de acendimento em condições de saturação. É utilizado um gás inerte em alta pressão, o xenônio, para se obter uma baixa tensão de ignição.

Ao contrário das lâmpadas a vapor de sódio a baixa pressão, apresentam um espectro visível contínuo, propiciando uma razoável reprodução de cor. A sua eficiência luminosa é de 130 lumens/watt e sua vida útil de operação de cerca de 18.000 horas. Devido à sua característica de reprodução de cores, podem ser utilizadas no interior de instalações industriais cujas tarefas não demandem uma grande fidelidade de cor.

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 dos compostos anteriormente citados no tubo de descarga proporciona um fluxo luminoso de excelente reprodução de cores. Sua temperatura da cor é de $4.000 \text{ }^\circ\text{K}$ 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
Lâmpada a vapor metálico



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 2.13 mostra os principais componentes de diferentes tipos de lâmpadas a vapor metálico.

A Tabela 2.1 fornece as principais características médias das lâmpadas incandescentes, fluorescentes, a vapor de mercúrio, a vapor de sódio e luz mista.

A Tabela 2.2 relaciona as principais aplicações das lâmpadas elétricas nos respectivos ambientes de uso. 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 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.

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 na Figura 2.14 (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 pela lâmpada de descarga depende do desempenho do reator, denominado fator de fluxo luminoso, ou conhecido ainda como *ballast factor*, que corresponde à relação entre luminoso obtido pelo 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 2.15. Como exemplo, a Figura 2.16 mostra alguns diagramas de ligação referentes a vários tipos de reatores.

Existem no mercado dois diferentes tipos de reatores.

TABELA 2.1
Características operacionais das lâmpadas

Características das Lâmpadas							
Tipo de Lâmpada	Potência (watts)	Fluxo Luminoso (lumens)	Eficiência Luminosa Média (lm/watts)	Vida Média (horas)	Vantagem	Desvantagem	Observação
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.	Ligação imediata sem necessidade de dispositivos auxiliares.
	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 minutos para atingir 80% do fluxo luminoso.	Não necessita de dispositivos auxiliares, e é ligada somente em 220 V
	250	5.500	22				
	500	13.500	27				
Vapor de mercúrio*	80	3.500	44	15.000	Boa eficiência luminosa, pequeno volume, longa vida média.	Custo elevado, que pode ser amortizado durante o uso; demora de 4 a 5 minutos para conseguir a emissão luminosa máxima.	Necessita de dispositivos auxiliares (reator) e é ligada somente em 220 V.
	125	6.000	48				
	250	12.600	50				
	400	22.000	55				
	700	35.000	58				
Fluorescente comum*	15	850	57	7.500	Ótima eficiência luminosa e baixo custo de funcionamento. Boa reprodução de cores. Boa vida média.	Custo elevado de instalação.	Necessita de dispositivos auxiliares (reator + starter ou somente reator de partida rápida).
	20	1.200	53				
	30	2.000	69				
	40	3.000	69				
Fluorescente H.O	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 à 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 coloração branco-dourada).	Custo elevado que é amortizado com o uso. Demora em torno de 5 minutos para a lâmpada atingir 90% do fluxo luminoso total.	Necessita de dispositivos auxiliares específicos (reator + ignitor) e é ligada em 220 V.
	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.	Necessita de dispositivos auxiliares.
	1.000	90.000					
	2.000	182.000					

*No eficiência destas lâmpadas não foram consideradas as perdas dos reatores.

**Fonte: ABILUX/88.

**Nenhuma limitação para a posição de funcionamento.

TABELA 2.2
Aplicação das lâmpadas elétricas

Aplicação das Lâmpadas Elétricas								
Tipo de Ambiente	Tipo de Lâmpada							
Comércio	A	B	C	D	E	F	G	H
Alimentício		x	x	x			x	
Mercearia			x	x				
Açougue	x	x	x	x				
Confeção			x	x				
Ferragens			x	x				
Armarinhos			x	x				
Móveis			x	x				
Relojoarias	x	x	x	x				
Livrarias e papelarias		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				
Auditórios	x		x		x		x	
Clínicas	x		x	x				
Cinemas	x		x	x				
Teatros	x		x	x				
Restaurantes	x		x	x				
Ambientes externos								
Rodovias					x	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	x
Estádios					x		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 à alta pressão
 G - lâmpada a vapor metálico
 H - lâmpada de halogênio

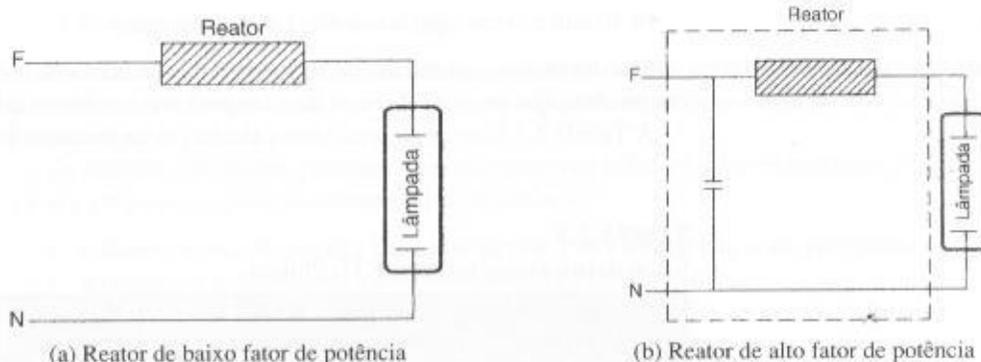


FIGURA 2.14
Reator para lâmpadas de
descarga



FIGURA 2.15
Reator

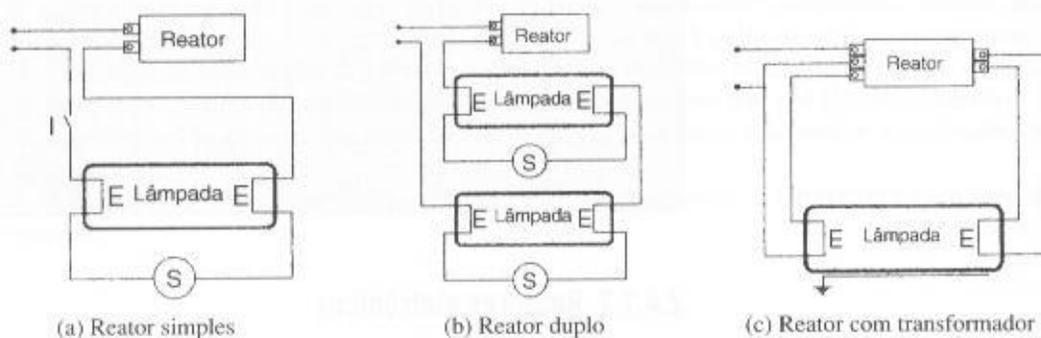


FIGURA 2.16
Ligações típicas dos reatores às
respectivas lâmpadas

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 diferentes tipos:

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 uma 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 informação anterior.

A Tabela 2.3 fornece as principais características técnicas dos reatores Philips.

TABELA 2.3

Características dos reatores RTL Philips

Lâmpada	Tensão	Corrente	Fator de Potência	Perdas (W)	Starter
Reatores Simples					
1 × 20	118	0,36	0,57	6,1	S-2
1 × 20	220	0,37	0,34	10,0	S-2
1 × 40	118	0,91	0,49	12,9	S-10
1 × 40 - 2 × 20	220	0,43	0,50	10,5	S-10/2S-2
1 × 65	220	0,67	0,50	11,9	S-10
1 × 20	118	0,75	0,37	12,1	-
1 × 20	220	0,57	0,28	14,4	-
1 × 40	118	0,93	0,45	14,9	-
1 × 40	220	0,64	0,40	15,3	-
1 × 110	220	0,62	0,90	17,3	-
Reatores Duplos					
2 × 40	118	0,87	0,90	21,9	2S-10
2 × 40 - 4 × 20	220	0,44	0,90	18,3	2S-10/4S-2
2 × 20	220	0,33	0,90	19,5	-
2 × 40	115	0,95	0,90	22,5	-
2 × 40	125	0,88	0,90	20,4	-
2 × 40	220	0,51	0,90	24,1	-
2 × 65	220	0,71	0,90	23,3	2S-10
2 × 110	220	1,20	0,90	32,0	-

2.4.1.2 Reatores eletrônicos

Esses reatores são constituídos por três diferentes blocos funcionais, quais sejam:

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.

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 significativamente superior, ou seja:

- 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 sistema automáticos de controle e conservação de energia.

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 2.16 (a) produz-se um arco no dispositivo de partida *S* (starter) entre as lâminas *A* e *B*, conforme Figura 2.17 (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 conseqüência, 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.

A Figura 2.17 (a) e (b) mostra, respectivamente, os componentes de um starter e o seu aspecto externo.

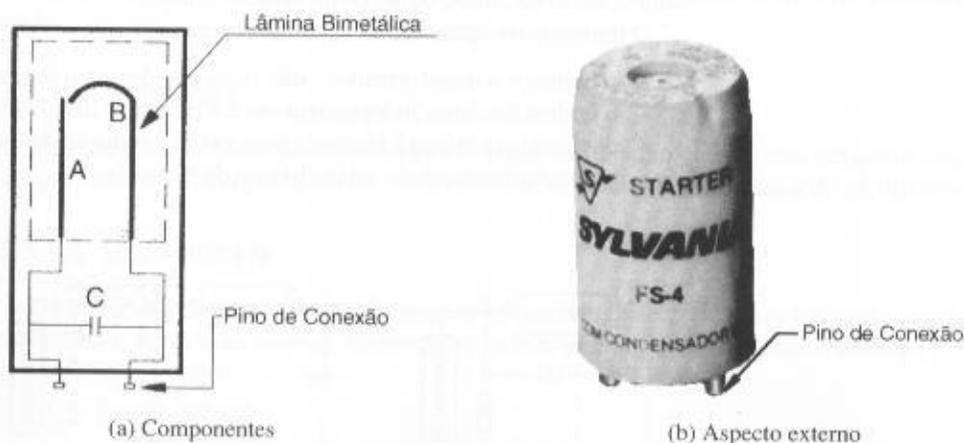


FIGURA 2.17
Starter

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 a 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 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.

As lâmpadas de 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 10 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 que possibilitam uma luminosidade aceitável para 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 2.18 (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.

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 2.18 (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 num 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.

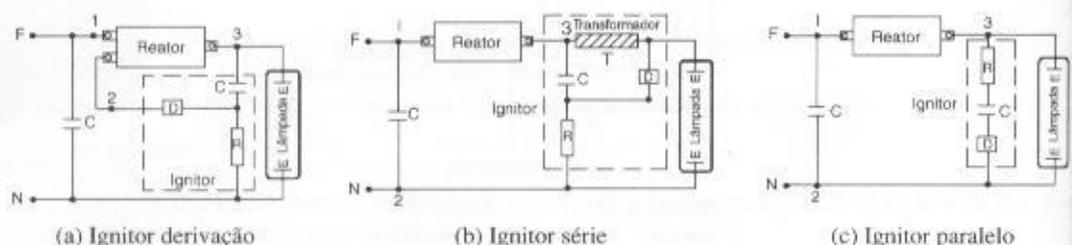


FIGURA 2.18
Ignitores

2.4.3.3 Ignitor paralelo

Esse tipo de ignitor é constituído de dois terminais conectados de acordo com o diagrama da Figura 2.18 (c). Neste caso, a energia armazenada no capacitor C é fornecida à lâmpada através da intervenção do circuito de disparo D no instante em que a tensão alcança o seu valor máximo, resultando num 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:

- são utilizados somente com alguns tipos de lâmpadas 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 no caso em que 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.

A seleção de luminárias em recintos industriais deve ser precedida de algumas precauções relacionadas 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-se, 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, é aconselhável adotar no projeto luminárias do tipo fechada.

2.5.1 Características Quanto à Direção do Fluxo Luminoso

Para 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 maiores 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 refletido para o interior da luminária, parte é transformado 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 em 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 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 de 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 para as lâmpadas 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 cujo pé-direito da edificação não ultrapasse 6 m.

Nas instalações industriais, é mais freqüente o emprego de luminárias de fecho de abertura média para lâmpadas de descarga, preferentemente lâmpadas a vapor de mercúrio. São aplicadas mais comumente em galpões industriais com pé-direito superior a 6 m. A Figura 2.19 (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 2.19 (b).

As luminárias para áreas externas são construídas para fixação em poste. A Figura 2.20 mostra uma luminária de uso muito comum em áreas externas de complexos industriais. Alternativamen-

FIGURA 2.19
Projektor industrial



FIGURA 2.20
Luminária externa



te são também utilizadas luminárias específicas montadas em postes tubulares metálicos ou de concreto circular do tipo apresentado na Figura 2.21.

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

FIGURA 2.21
Sistema de iluminação externa



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 numa 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-se como base este ponto, a intensidade é determinada em função das várias direções consideradas. Para citar um exemplo, observar o diagrama da Figura 2.22, onde 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 reduz-se 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 2.23 mostra a luminária que produz a distribuição luminosa da Figura 2.22.

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

FIGURA 2.22
Curva de distribuição luminosa

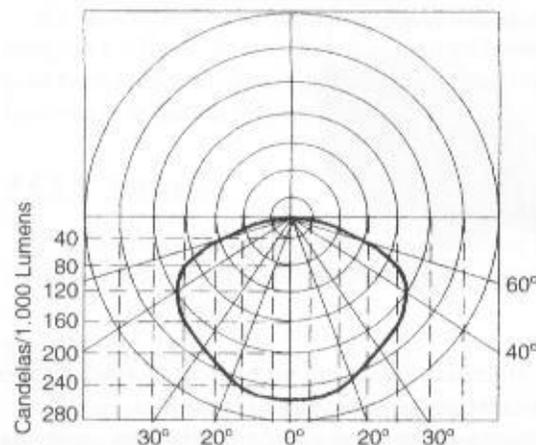


FIGURA 2.23
Luminária



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 um 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 2.24.

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

D - distância horizontal do espectador à fonte luminosa, em m;
 H_{no} - altura da fonte luminosa ao nível do olho, em m.

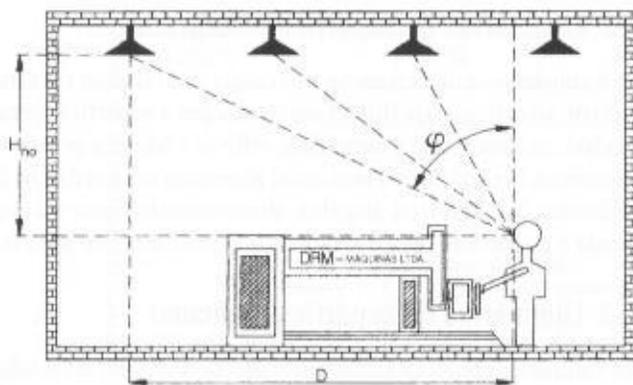


FIGURA 2.24
Ofuscamento de um operador de máquina

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) Classes 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.

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 de sua superfície em três diferentes tipos.

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

Independentemente do tipo das luminárias, geralmente, são fabricadas em chapas de alumínio. Alguns fabricantes têm lançado luminárias confeccionadas em fibras especiais, utilizadas notadamente em iluminação pública, com vistas a reduzir o efeito do vandalismo.

2.5.6.1 Luminárias de superfície esmaltada

Também conhecidas como luminárias convencionais, estas luminárias 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 auto-adesivo, criando uma superfície de elevada reflexão e alto brilho e, 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, o caso das lâmpadas fluorescentes tipo T5, visto 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 para lâmpadas fluorescentes podem ser dispostas em linha, de maneira contínua ou espaçada. Os projetores são fixados em pontos mais elevados, a fim de se obter uma uniformidade desejada no plano de trabalho. As luminárias para lâmpadas fluorescentes, em geral, são fixadas em pontos de altura inferior. As Figuras 2.25 e 2.26 mostram, respectivamente, as maneiras de instalar os projetores e luminárias para lâmpadas fluorescentes.

Algumas considerações básicas são interessantes para orientar o profissional num projeto de iluminação industrial, a saber:

- não utilizar lâmpadas incandescentes 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.

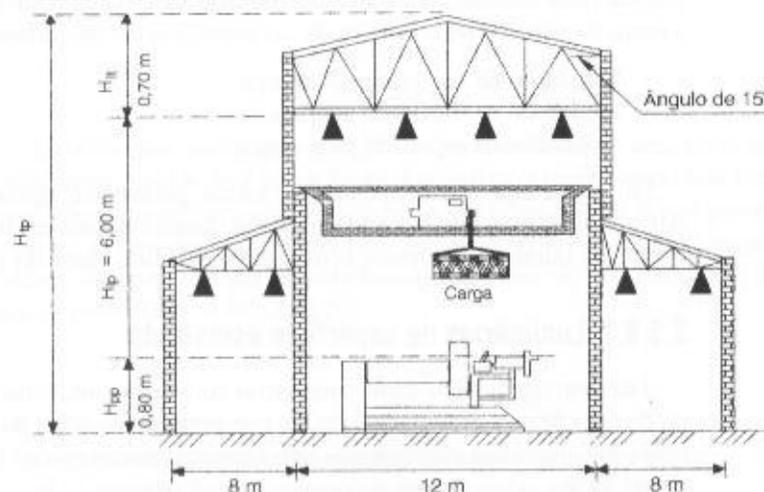
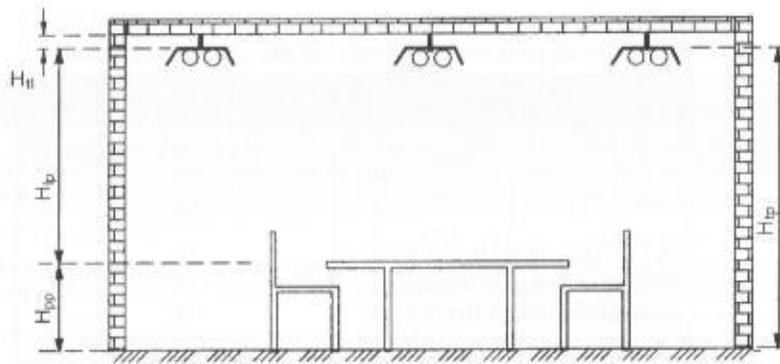


FIGURA 2.25
Maneira de instalar os projetores

FIGURA 2.26
Maneira de instalar luminárias
fluorescentes



como iluminação decorativa e em outras aplicações onde se requer 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 iluminação, preferencialmente não deve ser inferior a 0,70;
- em prédios com pé-direito igual ou inferior a 6 m é conveniente utilizar lâmpadas fluorescentes em linhas contínuas ou não;
- 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.

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 NB 5413 para cada grupo de tarefas visuais, o que é reproduzido parcialmente na Tabela 2.4.

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

- analisar cada característica dada na Tabela 2.5 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 numa indústria cuja idade média dos trabalhadores é inferior a 40 anos e é necessária uma elevada refletância.

Pela Tabela 2.5, 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 2.4, 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 e aqui resumidamente reproduzidas na Tabela 2.6.

TABELA 2.4

Iluminâncias para cada grupo de tarefas visuais

Faixas	Iluminâncias (Lux)	Tipo de Atividade
A - Iluminação geral para áreas usadas ininterruptamente ou com tarefas visuais simples	20	Áreas públicas com arredores escuros
	30	
	50	
	50	Orientação simples para permanência curta
	75	
	100	
B - Iluminação geral para áreas de trabalho	100	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos
	150	
	200	
	200	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
	300	
	500	
	500	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, auditórios
	750	
	1.000	
C - Iluminação adicional para tarefas complexas	1.000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
	1.500	
	2.000	
	2.000	Tarefas visuais extras e prolongadas, eletrônicas e de tamanho pequeno
	3.000	
	5.000	
5.000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica	
7.500		
10.000		
Tarefas visuais muito especiais, cirurgia	10.000	
	15.000	
	20.000	

TABELA 2.5

Fatores determinantes da iluminação 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%

É interessante observar que o olho humano distingue luminância e não iluminação, isto significa que um determinado desenho de cor preta, pintado numa folha de papel branco e submetido a uma determinada iluminação, 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 iluminação como medida adequada para a percepção.

2.6.2 Distribuição Uniforme do Iluminamento

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

TABELA 2.6

Iluminações mínimas em lux, por tipo de atividade (valores médios em serviço)

Tipo de Ambiente	Lux	Tipo de Ambiente	Lux
Auditório e Anfiteatros		Indústria Alimentícia	
Tribuna	500	Enlatamento	200
Platéia	150	Acabamento	150
Sala de espera	150	Classificação	1.000
Bancos		Indústria de calçados	
Atendimento ao público	500	Classificação	1.000
Salas de recepção	150	Lavagem	150
Bibliotecas		Acabamento	
Sala de leitura	500	Indústria de cimento	
Recinto das estantes	300	Ensacamento	150
Escolas		Moagem, fornos	
Salas de aula	300	Indústria de confeitos	
Sala de trabalho manual	300	Seleção	200
Laboratórios (geral)	200	Mistura	200
Refeitórios	100	Fabricação de balas	500
Garagens		Indústrias cerâmicas	
Oficinas	200	Trituração	150
Estacionamento interno	150	Acabamento e moldagem	150
Hospitais		Indústria de papéis	
Sala de médicos	150	Trituração	200
Sala de espera	150	Máquinas de papel	200
Corredores e escadas	100	Indústrias químicas	
Cozinhas	200	Fornos, secadores	200
Sala de operação (geral)	500	Filtragem	200
Quartos para pacientes	150	Indústrias têxteis	
Hotéis e restaurantes		Batedores	
Banheiros	200	Cardação	300
Corredores e escadas	100	Inspeção	500
Cozinha	200	Tecelagem	300
Quartos	150	Tingimento	200
Exposições	300	Fiação	300
Sala de reuniões	150	Urdimento	500
Restaurantes	150	Locais de armazenamento	
Portaria-recepção	200	Geral	100
Lojas		Pequenos volumes	
Vitrinas e balcões	1.000	Grandes volumes	
Hall (escadas)	100	Indústrias metalúrgicas	
Centros comerciais	500	Usinagem grosseira	500
Banheiros (geral)	150	Tornos e polimento	1.000
Soldas		Usinagem - alta precisão	
Iluminação geral	200	Escritórios	
Solda de arco	2.000	Sala de trabalho	250
Esporte		Arquivo	
Futebol de salão	200	Sala de desenho	500
Voleibol	200	Recepção	250

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 da 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.

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 a 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 percentagem de energia visível.

A temperatura da cor tem por finalidade definir a tonalidade de cores das lâmpadas. Percebe-se que um corpo metálico ao ser aquecido adquire desde a cor vermelha, inicialmente, até atingindo o branco. Quanto mais claro é o branco, semelhantemente à luz do meio-dia, maior é a temperatura da cor. Quanto mais alta a temperatura da cor, mais "fria" é a luz. Por outro lado, quanto mais baixa a temperatura da cor, mais "quente" é a luz emitida (tonalidade mais amarelada).

A temperatura da cor permite que se escolha a lâmpada para o tipo de ambiente que se quer iluminar.

2.6.4 Índice de Reprodução de Cores (IRC)

As lâmpadas devem permitir que os objetos sejam vistos pelo observador com todo o espectro de cor que os caracteriza. Para isso, foi conceituado o chamado índice de reprodução de cor, que caracteriza a aparência como as cores dos objetos iluminados são percebidas pelo observador. Como a avaliação comparativa entre a sensação de tonalidade de cor das diversas lâmpadas comerciais é uma tarefa muito difícil para um observador comum, atribuiu-se uma pontuação de 1 a 100 para indicar o desempenho das fontes de luz em relação à fonte padrão.

A Tabela 2.7 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 através do 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 se 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 da cor em torno de 2.000 K. As lâmpadas de tonalidade amarelada, como a lâmpada incandescente, apresentam índice de reprodução de cor de cerca de 90 para uma temperatura de cor entre 2.700 e 4.000 K. As lâmpadas de tonalidade branca apresentam índices variando entre 85 e 95 para uma temperatura de cor de 5.000 a 5.800 (luz do dia especial). Finalmente, às lâmpadas de tonalidade azulada o índice de reprodução de cor é de cerca de 75 para uma temperatura de cor de aproximadamente 6.000 K (luz do dia).

TABELA 2.7

Índice de reprodução de cores

Tipo de Lâmpada	Temperatura da Cor (K)	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

2.6.5 Escolha dos Aparelhos de Iluminação

Como já foi observado anteriormente, 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

Durante o tempo de operação de uma instalação 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, quais sejam:

- métodos dos lumens;
- métodos 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 criterioso, 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.

2.6.7.1 Métodos 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).

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

- 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_d – 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

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 2.8.

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.

A Tabela 2.9 indica os fatores de utilização para algumas luminárias típicas de aplicação em recintos comercial e industrial. O manuseio da Tabela 2.9 implica a determinação do índice de

TABELA 2.8Fator de depreciação do serviço da luminária - F_d

Tipo de Aparelho	F_d
Aparelhos para embutir lâmpadas incandescentes Aparelhos para embutir lâmpadas refletoras	0,85
Calha aberta e chanfrada Refletor industrial para lâmpadas incandescentes	0,80
Luminária comercial Luminária ampla utilizada em linhas contínuas	0,75
Refletor parabólico para duas lâmpadas incandescentes Refletor industrial para lâmpada VM Aparelho para lâmpada incandescente para iluminação indireta Luminária industrial tipo Miller Luminária com difusor de acrílico Globo de vidro fechado para lâmpada incandescente	0,70
Refletor com difusor plástico Luminária comercial para lâmpada <i>high output</i> com colmeia Luminária para lâmpada fluorescente para iluminação indireta	0,60

recinto K e o conhecimento das refletâncias médias ρ_{ce} do teto, ρ_{pa} das paredes e ρ_{pi} do piso, que são função da tonalidade das superfícies iluminadas, ou seja:

- a) Teto
- branco: $\rho_{ce} = 70\% = 0,70$;
 - claro: $\rho_{ce} = 50\% = 0,50$;
 - escuro: $\rho_{ce} = 30\% = 0,30$.
- b) Paredes
- claras: $\rho_{pa} = 50\% = 0,50$;
 - escuras: $\rho_{pa} = 30\% = 0,30$.
- c) Piso
- escuro: $\rho_{pi} = 10\% = 0,10$.

A Tabela 2.10 fornece os valores médios de refletância para diferentes cores e materiais de revestimento. O projetista deve utilizar a Tabela 2.10 quando conhece as características do revestimento, teto, parede e piso do ambiente a iluminar.

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.

2.6.7.1.3 Cálculo do número de luminárias

É dado pela Equação (2.8), ou seja:

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

- ψ_l = fluxo luminoso emitido por uma lâmpada, em lumens, de acordo com a Tabela 2.1
 N_{lu} = número de lâmpadas por luminárias.

TABELA 2.9

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
5,00	0,76	0,72	0,69	0,66	0,66	0,69	0,63	0,60	0,58
	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	
	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
	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
	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	

TABELA 2.10

Refletância de diferentes cores e materiais de revestimento

Cor	Refletância	Material	Refletância
Branco-neve	80	Gesso	85
Branco-marfim	70	Mármore branco	80
Creme-claro	70	Tinta branca a óleo	80
Amarelo-limão	70	Tinta branca à água	70
Amarelo-palha	65	Cimento	55
Ocre-claro	60	Concreto	45
Azul-claro	50	Granito cortado	50
Cinza-claro	45	Tijolo vermelho	20
Bege	45	Ardósia	10
Rosa-salmão	40	Basalto	10
Laranja	40	Madeira-claro	45
Verde-água	40	Carvalho-claro	45
Havana	30	Carvalho-escuro	30
Azul-turquesa	25	Pau-marfim	30
Vermelho-claro	20	Cerejeira	30
Verde (grama)	20	Cedro	25
Grená	10	Jacarandá	15
Azul-marinho	10	Imbuia	15
Violeta	10	Papel branco	85

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 de sua altura útil. O espaçamento da luminária à parede deve corresponder à metade deste valor. A Figura 2.27 indica a disposição correta das luminárias numa instalação. Logo, pela figura tem-se:

$$X \leq 1,0 \text{ a } 1,5 \times H_p \quad (2.9)$$

$$Y \leq 1,0 \text{ a } 1,5 \times H_p \quad (2.10)$$

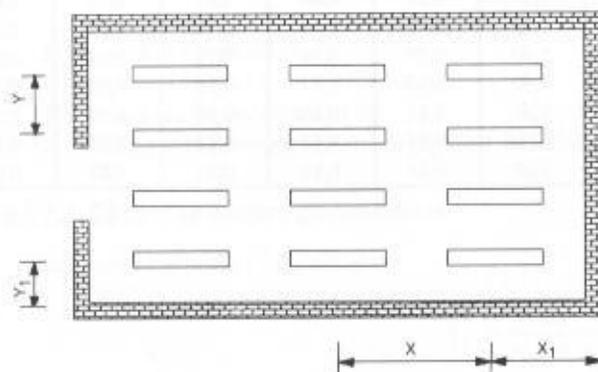


FIGURA 2.27
Distribuição das luminárias

$$X_j = X/2$$

$$Y_j = Y/2$$

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 2.25 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:

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

$E = 500$ lux (Tabela 2.6 - indústrias metalúrgicas - usinagem grosseira)

$S = A \times B = 12 \times 17 = 204$ m²

$F_{di} = 0,70$ (Tabela 2.8 - 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 2.25)

Na Figura 2.28 estão registradas as dimensões utilizadas no cálculo. Foram tomados os seguintes valores de refletância média, de acordo com o ambiente anteriormente descrito.

$\rho_w = 70\%$ (teto branco)

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

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

Na Tabela 2.9, com os valores K , ρ_w (refletância percentual do teto), ρ_{pa} (refletância percentual da parede), ρ_{ps} (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 $K = 1,25$, ou seja:

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

Logo, o valor de ψ_t 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:

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

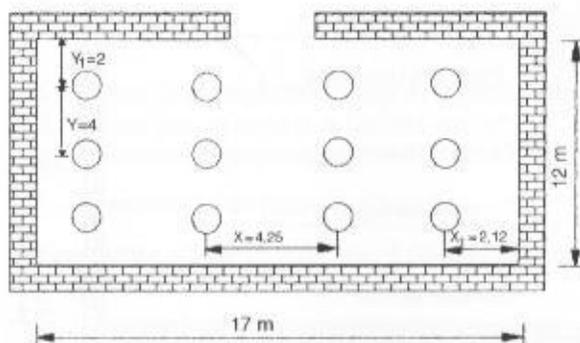


FIGURA 2.28
Distribuição dos projetores

$$\psi_l = 22.000 \text{ lumens (Tabela 2.1)}$$

$$N_u = 10 \text{ luminárias}$$

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 2.28. 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:

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

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

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

$$X = 4,25 \text{ m} \rightarrow X \leq 1,0 \text{ a } 1,5 \times H_{lp} \text{ (valor atendido)}$$

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

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

2.6.7.2 Métodos das cavidades zonais

Este método, bem como o anterior, é fundamentado na teoria da transferência de fluxo, onde 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.

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 2.29 indica as três cavidades anteriormente estudadas.

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

$$\psi_l = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dt}} \quad (2.11)$$

F_{dt} – fator de depreciação do serviço da iluminação composto por vários fatores a seguir estudados.

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

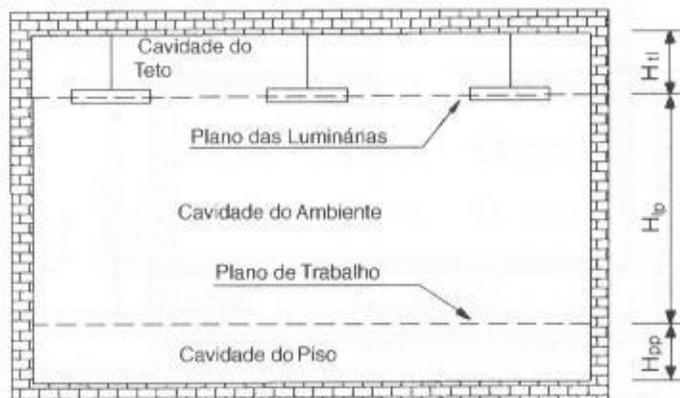


FIGURA 2.29
Cavidades zonais

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 através da 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

Através da Figura 2.29 podem ser conhecidas as distâncias indicadas, necessárias ao cálculo da:

- 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

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

H_{st} – altura do teto ao plano das luminárias, em m.

- relação da cavidade do piso

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

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

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

É obtida através da 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 através da Tabela 2.12, em função de ρ_{ct} , ρ_{cp} , e da relação da cavidade do recinto R_{cr} .

g) Coeficiente de correção do fator de utilização

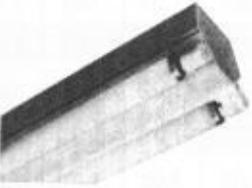
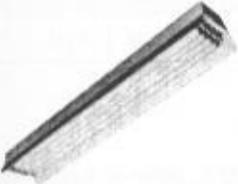
TABELA 2.11

Refletâncias efetivas das cavidades do teto e do piso para várias combinações de refletâncias

ρ_w ou ρ_p		Refletâncias																				
		90				80				70			50			30				10		
ρ_w		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	85	83	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	11	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	82	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	34	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	24	20	16	12	9	6
	2,1	83	71	61	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	46	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	51	42	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	22	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	33	48	37	28	39	30	21	26	21	15	10	13	8	5
	3,7	79	60	46	35	62	54	42	32	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	14	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

Razão das cavidades do teto ou do piso R_w ou R_p

TABELA 2.12
Fatores de utilização

Luminárias Típicas	Categoria de Manutenção da Luminária	Relação Altura/Espacamento	ρ_{ce}	80%			50%			10%								
			ρ_{ca}	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%						
			R_{ce}	Fatores de Utilização para 20% da Refletância Efetiva da Cavidade do Piso (ρ_p)														
	I	1,3	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			1	0,72	0,68	0,65	0,56	0,54	0,52	0,39	0,37	0,36						
			2	0,62	0,57	0,53	0,49	0,45	0,42	0,33	0,31	0,30						
			3	0,55	0,48	0,44	0,43	0,39	0,35	0,30	0,27	0,25						
			4	0,48	0,42	0,37	0,38	0,33	0,30	0,26	0,24	0,22						
			5	0,42	0,36	0,31	0,34	0,29	0,25	0,23	0,20	0,18						
			6	0,38	0,31	0,26	0,30	0,25	0,22	0,21	0,18	0,16						
			7	0,34	0,27	0,23	0,27	0,22	0,19	0,19	0,16	0,14						
			8	0,30	0,24	0,20	0,24	0,19	0,16	0,17	0,14	0,12						
			9	0,27	0,21	0,17	0,22	0,17	0,14	0,15	0,12	0,10						
			10	0,25	0,19	0,15	0,20	0,15	0,12	0,14	0,11	0,09						
	IV	1,2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			1	0,59	0,57	0,55	0,56	0,54	0,53	0,52	0,50	0,49						
			2	0,52	0,49	0,46	0,49	0,47	0,44	0,46	0,44	0,42						
			3	0,46	0,42	0,39	0,44	0,41	0,38	0,41	0,39	0,37						
			4	0,41	0,37	0,33	0,39	0,35	0,32	0,37	0,34	0,32						
			5	0,36	0,31	0,28	0,35	0,31	0,27	0,32	0,29	0,27						
			6	0,32	0,28	0,24	0,31	0,27	0,24	0,29	0,26	0,23						
			7	0,29	0,24	0,21	0,28	0,24	0,21	0,26	0,23	0,20						
			8	0,26	0,21	0,18	0,25	0,21	0,18	0,23	0,20	0,17						
			9	0,23	0,19	0,15	0,22	0,18	0,15	0,21	0,18	0,15						
			10	0,21	0,17	0,14	0,20	0,16	0,13	0,19	0,16	0,13						
	IV	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			1	0,77	0,74	0,72	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,64						
			2	0,69	0,65	0,61	0,65	0,62	0,59	0,61	0,58	0,56						
			3	0,62	0,57	0,53	0,59	0,55	0,51	0,55	0,52	0,50						
			4	0,57	0,51	0,47	0,54	0,50	0,46	0,51	0,48	0,45						
			5	0,52	0,46	0,42	0,50	0,45	0,42	0,47	0,44	0,41						
			6	0,48	0,43	0,39	0,46	0,42	0,38	0,44	0,40	0,37						
			7	0,45	0,39	0,35	0,43	0,38	0,35	0,41	0,37	0,34						
			8	0,42	0,36	0,33	0,40	0,36	0,32	0,39	0,35	0,32						
			9	0,39	0,34	0,30	0,38	0,33	0,30	0,36	0,33	0,30						
			10	0,37	0,32	0,29	0,36	0,31	0,28	0,35	0,31	0,28						
	IV	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			1	0,76	0,74	0,72	0,72	0,70	0,69	0,67	0,66	0,65						
			2	0,70	0,67	0,65	0,67	0,65	0,63	0,63	0,61	0,60						
			3	0,65	0,62	0,59	0,62	0,60	0,57	0,59	0,57	0,55						
			4	0,60	0,56	0,53	0,58	0,55	0,52	0,55	0,53	0,51						
			5	0,56	0,51	0,48	0,54	0,50	0,48	0,52	0,49	0,47						
			6	0,52	0,47	0,44	0,50	0,46	0,44	0,48	0,45	0,43						
			7	0,48	0,43	0,40	0,46	0,43	0,40	0,45	0,42	0,39						
			8	0,44	0,40	0,37	0,43	0,39	0,36	0,41	0,38	0,35						
			9	0,41	0,37	0,33	0,40	0,36	0,33	0,39	0,35	0,33						
			10	0,36	0,32	0,29	0,35	0,31	0,28	0,34	0,31	0,28						

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 em conformidade com a 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.

TABELA 2.13

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

ρ_{ci}	80%			70%			50%			10%		
	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
ρ_{pa}	Fatores de Correção											
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

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:

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

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

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

$$R_{cr} = 5 \text{ (considerar a luminária P 11/24 da Tabela 2.12)}$$

$$F_u = 0,42 \text{ (refletância efetiva da cavidade do piso: 20\% da Tabela 2.12).}$$

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_d)

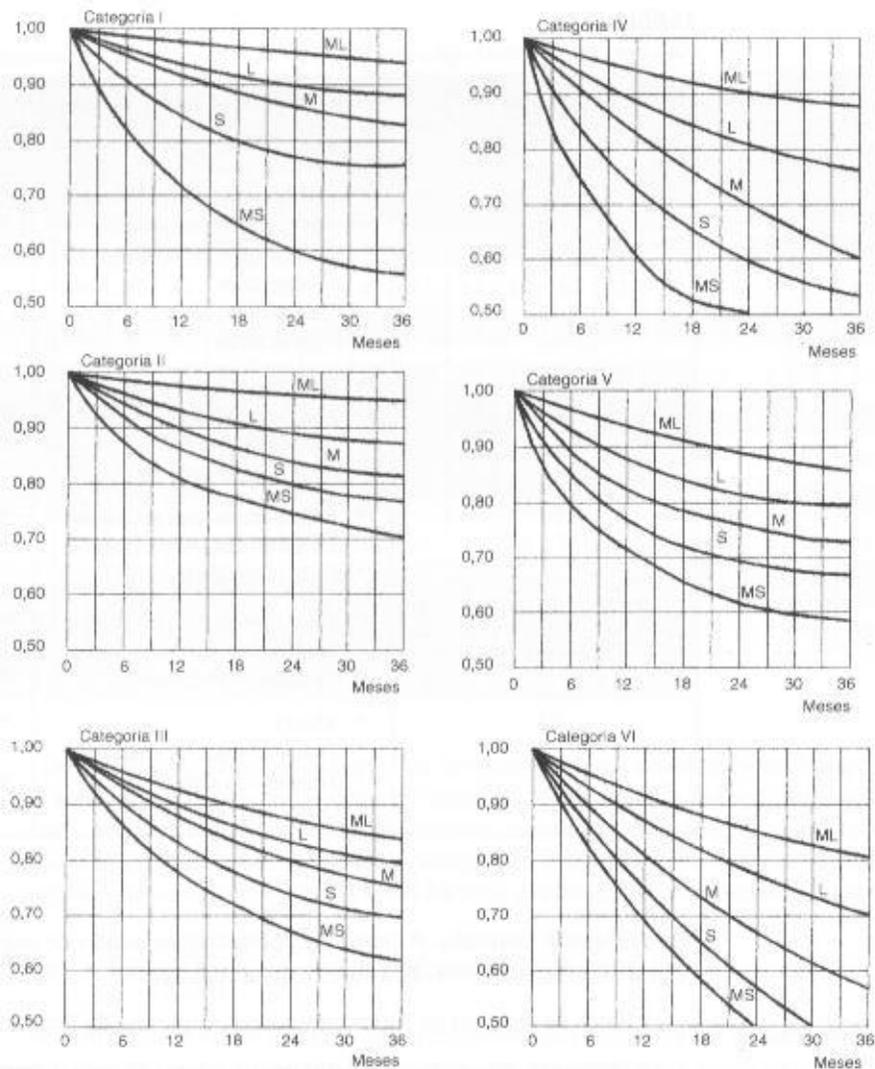
A degradação do fluxo luminoso no ambiente iluminado é função de vários fatores de depreciação que se tornam críticos com o decorrer do tempo de operação da unidade industrial.

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 a 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 na 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 estimado através da Tabela 2.8. Em projetos de maior envergadura, porém 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.

FIGURA 2.30
Fatores de depreciação do
serviço da luminária



Através das curvas da Figura 2.30, 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 assim definidos:

- *ML* – muito limpa;
- *L* – limpa;
- *M* – média;
- *S* – suja;
- *MS* – muito suja.

Quanto à categoria de manutenção da luminária, a Tabela 2.14 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.

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

Representa a redução do fluxo luminoso devido ao acúmulo de sujeira nas superfícies do ambiente. A Figura 2.31 fornece o percentual esperado de sujeira em função do tempo estabelecido para a limpeza das superfícies do ambiente e levando em conta as características do local onde a

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% do 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

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.

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-se que o tempo de vida útil de uma lâmpada é medida 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.

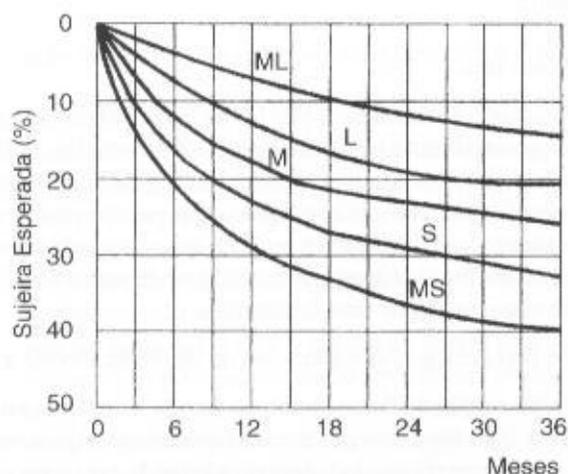


FIGURA 2.31
Percentual esperado de sujeira \times tempo de limpeza

TABELA 2.15

Fator de depreciação devido à sujeira

Tipo de Distribuição da Luminária	Direto				Semidireto				Direto-indireto				Semi-indireto				Indireto							
	Sujeira (%)				10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
R_s	Fatores de Depreciação																							
1	98	96	94	92	97	92	89	84	94	87	80	76	94	87	80	73	90	80	70	60	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	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	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	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	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	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	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	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	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	88	75	62	50

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

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

O projetista deve ser alertado 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. 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 usual que a indústria pare suas atividades por um curto período de tempo no ano, em torno de 1 semana a 15 dias. Nesse período, há uma intensa atividade da manutenção preventiva, momento em que são limpas as luminárias e trocadas as lâmpadas. Existe alguns procedimentos a ser aplicados nesse tipo de indústria, tal como: utilizar lâmpadas com vida útil média de 24.000 horas; no período de um ano, por razões práticas, aproximadamente 30% das lâmpadas estarão queimadas. A partir desse ponto tem-se um processo acelerado de queima de lâmpadas. Então, procede-se a 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% a mais para compensar a queima durante o ano.

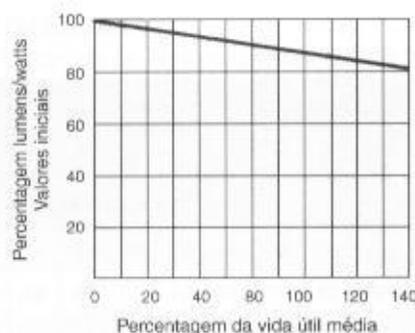
d) Fator de depreciação do fluxo luminoso da lâmpada (F_l)

Quando se utiliza a Tabela 2.1, 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 reduz-se, de acordo com a Figura 2.32.

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

$$F_{di} = F_d \times F_s \times F_q \times F_f \quad (2.18)$$

FIGURA 2.32
Decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas



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 e para a troca de lâmpadas queimadas etc., é que se obtém 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 das luminárias, a Tabela 2.12 estabelece a relação entre o espaçamento máximo das luminárias de instalação consecutiva e a sua altura de montagem.

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 2.25. Determinar o número de luminárias através do método das cavidades zonais aplicando-se os parâmetros do ambiente e iluminância dados no Exemplo de Aplicação (2.2) — demonstrativo do método dos lumens. A indústria opera durante 24 horas, juntamente com a iluminação ligada.

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

$$\psi_s = \frac{E \times S}{F_a \times F_d}$$

- Escolha das luminárias e lâmpadas
 - Fabricante: TILUMI (nome fictício);
 - tipo de luminária: refletor T38 (da Tabela 2.12);
 - categoria de manutenção: IV;
 - lâmpada adotada: vapor de mercúrio de 400 W (valor inicial).

- Cálculo do fator de relação

Através da Equação (2.12), tem-se:

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

- 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:

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

- Cavidade do piso

Da Equação (2.15), tem-se:

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

- Cálculo de refletância efetiva da cavidade do piso (ρ_{cp})

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

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

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

Através da Tabela 2.11 e com os valores das refletâncias percentuais do teto e da parede e do valor da relação da cavidade do teto, determina-se ρ_{ct} , ou seja:

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

Neste caso, a superfície do teto é considerada plana. Se for considerada a concavidade do teto, como mostra a Figura 2.25, deve-se aplicar a Equação (2.16).

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

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

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

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

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

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

Através da Tabela 2.12 e com os valores de ρ_{ct2} , ρ_{pa} e R_{cp} 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 $\rho_{pi} = 11\%$. Através da Tabela 2.13 e com valores e ρ_{pi} , ρ_{pa} e R_{cp} , tem-se:

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

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_d)

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

- Fator de depreciação do serviço da luminária (F_s)

Considerando-se que o período de manutenção das luminárias seja de 12 meses (aproximadamente metade da vida útil das lâmpadas) e sabendo-se, através de análise da Tabela 2.12, que a luminária T38 se enquadra na categoria IV, pode-se obter, por meio das curvas da Figura 2.30, o fator de depreciação F_s , que é igual a 0,90, admitindo-se o ambiente limpo (L).

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

De acordo com a Figura 2.31, obtém-se um percentual de sujeira de 18%. Através da Tabela 2.15, obtém-se o valor de depreciação devido à sujeira do ambiente, considerando-se a iluminação do tipo direto (projektor T-38), ou seja:

$$F_j = 95\% = 0,95$$

- 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 se considera que a cada 8.760 horas serão substituídas todas as lâmpadas queimadas do ambiente, pode-se obter o fator de redução do fluxo luminoso por queima das lâmpadas. Também se considera que, no final da sua vida útil, 60% das lâmpadas estarão queimadas.

$$F_q = 1 - \frac{8.760}{18.000} \times \frac{60}{100} = 0,70 \text{ (lâmpadas acesas)}$$

- Fator de depreciação do fluxo luminoso da lâmpada (F_l)

De acordo com a Figura 2.32 e considerando-se que as lâmpadas sejam trocadas com o tempo de vida útil aproximadamente de 50%, ou seja, 8.760 horas, tem-se:

$$F_l = 0,93$$

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

$$F_w = F_d \times F_s \times F_q \times F_l = 0,90 \times 0,95 \times 0,70 \times 0,93$$

$$F_w = 0,55$$

Pode-se observar, neste caso, que ao completar um ano de uso todas as lâmpadas serão trocadas e limpas.

- Cálculo do fluxo luminoso

Conforme a Equação (2.11), tem-se:

$$\psi_i = \frac{E \times S}{F_u \times F_w} = \frac{500 \times 204}{0,54 \times 0,55} = 343.434 \text{ lumens}$$

- Cálculo do número de projetores

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

$$N_w = \frac{343.434}{1 \times 22.000} \cong 16 \text{ luminárias (por questão de estética na distribuição das luminárias, serão adotadas 18 unidades)}$$

- Distribuição dos projetores

Seguir o mesmo processo apresentado no Exemplo de Aplicação (2.1), ou seja:

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

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

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

$$Y_i = Y/2 = \frac{4,00}{2} = 2 \text{ m}$$

A Figura 2.33 mostra a distribuição das luminárias.

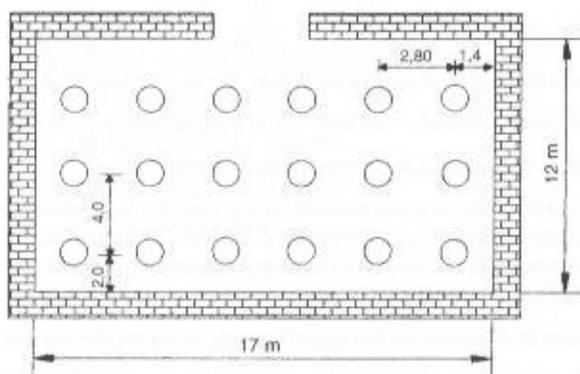


FIGURA 2.33
Distribuição dos projetores

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 num ponto do plano horizontal. Pode ser determinado a partir da Equação (2.19).

$$E_h = \frac{I \times \cos^3 \alpha}{H^2} \quad (2.19)$$

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 2.34 mostra a determinação dos parâmetros geométricos da Equação (2.19). Já a Figura 2.35 mostra a contribuição de várias luminárias para o estabelecimento da iluminação horizontal num determinado ponto (O) do plano. Logo, o iluminamento horizontal, neste caso, vale:

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

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.

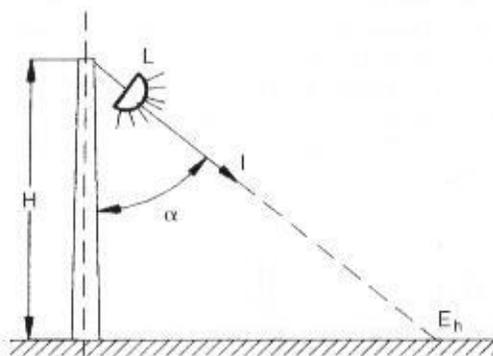


FIGURA 2.34
Iluminamento horizontal

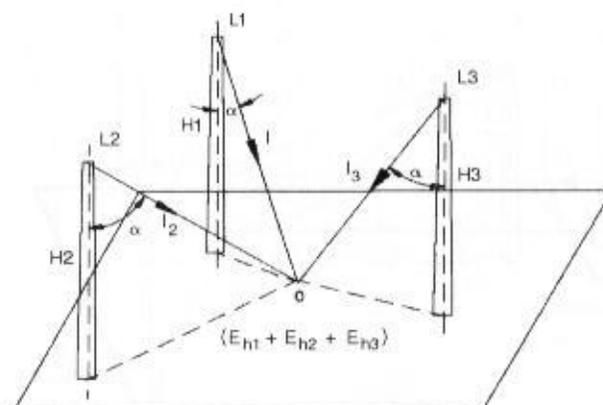


FIGURA 2.35
Contribuição das fontes de luz

b) Iluminamento vertical

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

$$E_v = \frac{I \times \text{sen}^3 \alpha}{D^2} \quad (2.20)$$

E_v – iluminamento vertical, em lux;

D – distância entre a luminária e o ponto localizado no plano vertical, 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 duas luminárias para o estabelecimento da iluminação vertical num determinado ponto (O) do plano. Logo, o iluminamento vertical, neste caso, vale:

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

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.

A intensidade do fluxo luminoso é obtida a partir das curvas de distribuição luminosa também conhecidas como curvas isocandelas, mostradas como exemplo na Figura 2.38 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.

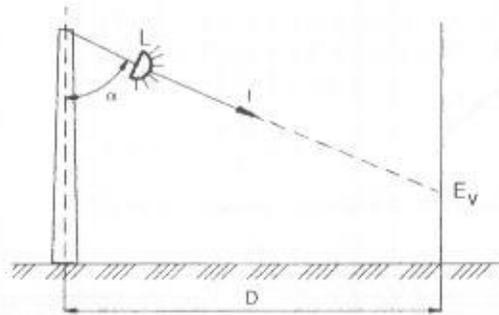


FIGURA 2.36
Iluminamento vertical

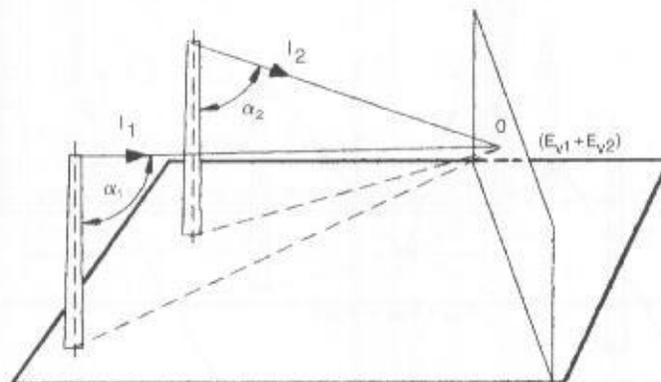
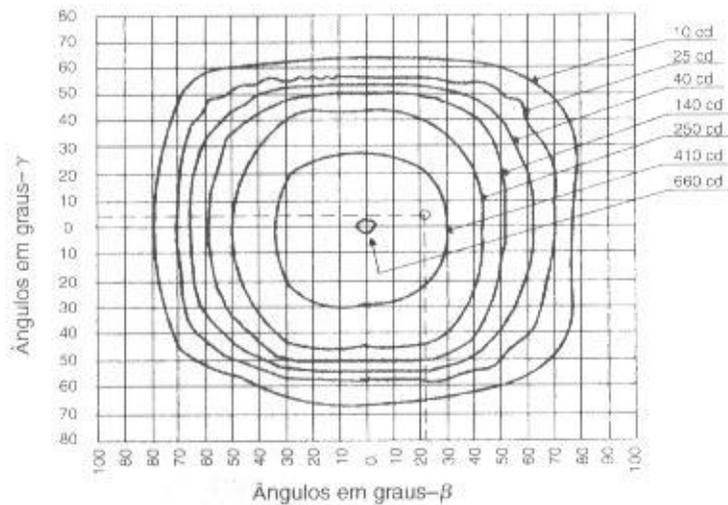


FIGURA 2.37
Contribuição das fontes de luz

FIGURA 2.38
Curvas isocandelas/1.000
lumens



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. No campo de futebol mostrado na Figura 2.39 observam-se as linhas de focalização dos projetores e as distâncias regulamentares entre as torres e 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.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (2.4)

Determinar o iluminamento do campo de futebol definido na Figura 2.39, destinado 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 de 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 2.38. A lâmpada empregada é de 1.000 W, de vapor metálico, cujo fluxo luminoso inicial é de 90.000 lumens. Serão utilizadas três torres de cada lado do campo, em conformidade com a Figura 2.39. A Figura 2.40 define a posição de uma torre de iluminação e os ângulos correspondentes.

Devido à complexidade dos cálculos trigonométricos e geométricos, será mostrado somente a iluminação de um ponto, conforme Figura 2.39.

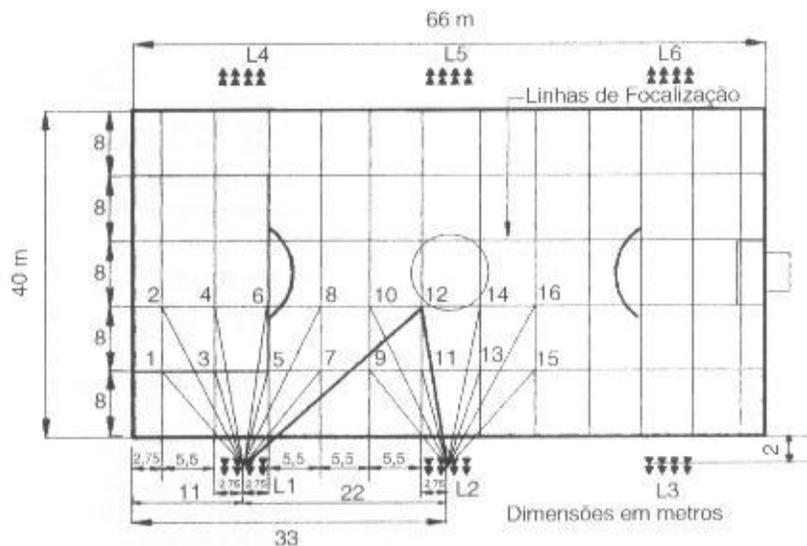
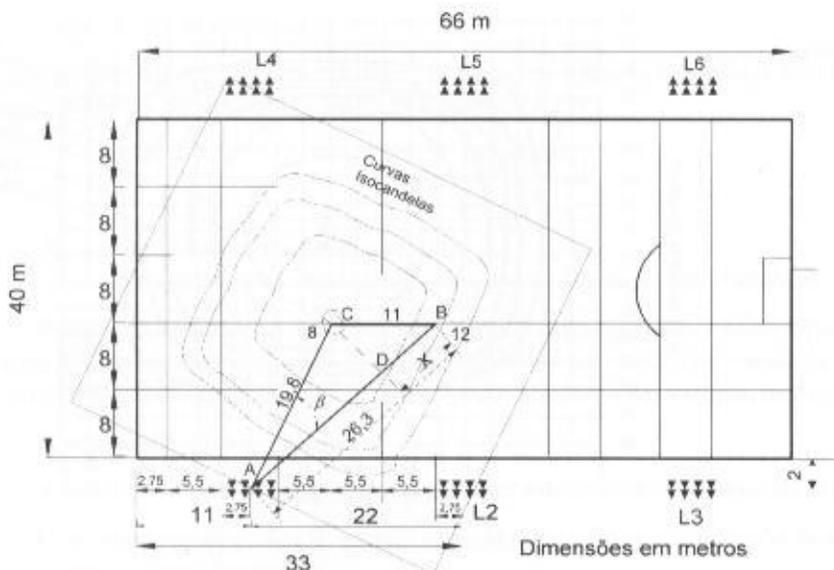


FIGURA 2.39
Linhas de focalização de uma quadra de esporte

FIGURA 2.40
Distâncias e ângulos utilizados nos cálculos



- Distância entre as torres de iluminação

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

D_i - distância entre duas torres consecutivas

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

- Distância entre as linhas de focalização

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

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

$N_f = 4$ (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:

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

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 mostrado na Figura 2.39, ou seja, o ponto de foco 8 está diretamente iluminado pelo projetor 8 da torre L1. Esse ponto de foco receberá a contribuição dos $48 - 1 = 47$ projetores restantes.

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

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

$D_{12/12}$ - distância horizontal entre a torre L2, onde está instalado o projetor 12, ao ponto de foco 12

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

Através das curvas isocandelas mostradas na Figura 2.38, pode-se obter o valor da intensidade luminosa $I = 660 \text{ cd}/1.000 \text{ lumens}$ para $\beta = 0^\circ$ e $\gamma = 0^\circ$, ou seja:

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

- Iluminamento $E_{L2/12}$ devido ao projetor 12 da torre L2 no ponto de foco 12

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

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

$$D_{8/8} = \sqrt{(2,75 + 5,5)^2 + (2 \times 8 + 2)^2} = 19,8 \text{ m}$$

$D_{8/8}$ - distância horizontal entre a torre L1, onde está instalado ao projetor 8, ao 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 a torre L1, onde está instalado o projetor 8, ao ponto de foco 12.

Através da Figura 2.40 pode-se obter o valor do ângulo β resolvendo os dois triângulos formados, ou seja:

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

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

A partir desse conjunto de equações, obtém-se os valores de $X = 8,0 \text{ m}$ e $DC = 17,7 \text{ m}$. Logo, o ângulo $\beta = 29,4^\circ$.

- 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 $\beta = 29,4^\circ$ e $\gamma = 5,9^\circ$ aplicados sobre as curvas isocandelas da Figura 2.38, 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

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

$$E_{8/12} = \frac{I_{8/12} \times \cos^3 \alpha}{H^2} = \frac{36.900 \times \cos^3 52,7^\circ}{20^2} = 20,5 \text{ lux}$$

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

$$E_{L8/L12} = E_{L2/12} + E_{8/12} = 60,0 + 20,5 = 80,5 \text{ lux}$$

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.

2.7 ILUMINAÇÃO DE EXTERIORES

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

A Tabela 2.16 fornece os níveis de iluminamento 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 de pistas no interior 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, onde o fabricante da luminária fornece, em termos percentuais do fluxo máximo, o diagrama de curvas isolux. Logo, para se determinar o iluminamento num 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 2.41, na realidade é um conjunto de curvas que tem como centro

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

um ponto abaixo da luminária, representando cada uma delas os pontos que recebem o mesmo fluxo luminoso da respectiva luminária.

Para determinar o iluminamento num ponto qualquer da pista, utilizar-se a Equação (2.21). Considerar que a relação entre os valores de menor e maior iluminamento da pista não deve ser inferior a 0,33, valor este denominado fator de uniformidade de iluminamento.

$$E_p = \frac{E \times K \times \psi_l \times N}{H^2} \quad (2.21)$$

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.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (2.5)

Determinar o iluminamento na linha média de uma pista (pontos P1 — iluminamento mínimo, e P2 — iluminamento máximo da linha média), com dimensões mostradas na Figura 2.42, utilizando uma luminária cujo diagrama das curvas isolux é mostrado na Figura 2.41. A lâmpada empregada é a de vapor de mercúrio de 250 W. A altura das luminárias é de 10 m.

- Iluminamento máximo

Da Equação (2.21), tem-se:

$$E_p = \frac{E \times K \times \psi_l \times N}{H^2} = \frac{1 \times 0,23 \times 12.000 \times 1}{10^2} = 27,60 \text{ lux}$$

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

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

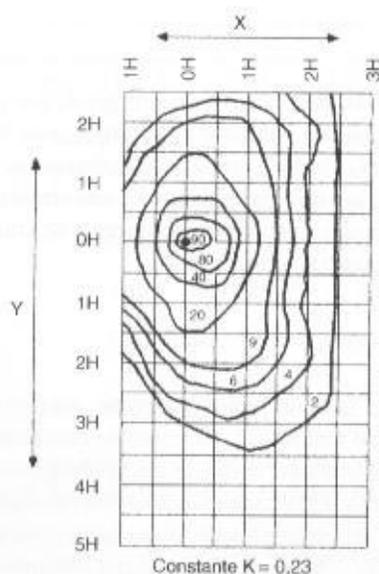


FIGURA 2.41
Diagrama de curvas isolux com inclinação de 30°

$$\begin{aligned}\psi_i &= 12.000 \text{ lumens (Tabela 2.1)} \\ N &= 1 \text{ (lâmpada da luminária)} \\ H &= 10 \text{ m (altura da luminária)}\end{aligned}$$

- Iluminamento no ponto P1

A posição do ponto P1 (P_{1x}, P_{1y}) no diagrama das curvas isolux da Figura 2.41, em múltiplos da altura da luminária e tomando-se como base a luminária L2, estabelece a curva de 15%, ou seja:

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

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

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

- 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 2.41).

$$E_{p01} = 0,15 \times E_p = 0,15 \times 27,6 = 4,14 \text{ lux}$$

- Contribuição de L2 no ponto P1

$$E_{p02} = E_{p01} \text{ (o ponto P1 está no ponto médio de L1 e L2).}$$

Logo, o iluminamento final no ponto P1 vale:

$$E_{p1} = E_{p01} + E_{p02} = 4,14 + 4,14 = 8,28 \text{ lux}$$

- Iluminamento no ponto P2

- Contribuição de L2 no ponto P2

$$P_{1x} = 0,75 \times H \rightarrow P_{1y} = 0 \times H \rightarrow \psi_p = 40\% = 0,4$$

$$E_{p212} = 0,40 \times 27,60 = 11,0 \text{ lux}$$

- Contribuição de L1 no ponto P2

A curva de L1 que corta o ponto P2 é:

$$P_{1x} = 0,75 \times H \text{ e } P_{1y} = 3 \times H \rightarrow \psi_p = 4\% = 0,04$$

$$E_{p211} = 0,04 \times 27,60 = 1,104 \text{ lux}$$

Logo, o iluminamento final no ponto P2 vale:

$$E_{p2} = E_{p212} + E_{p211} = 11,0 + 1,104 = 12,104 \text{ lux}$$

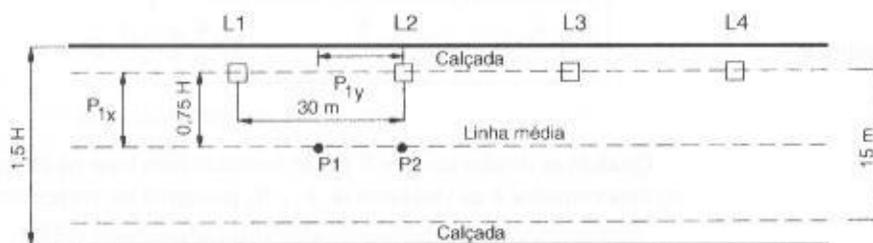


FIGURA 2.42
Representação de uma via
externa

2.7.2 Iluminamento pelo Valor Médio

O iluminamento pelo valor médio sobre a pista pode ser calculado através da Equação (2.22).

$$E_m = \frac{F_u \times \psi_l \times N}{L_p \times D_l} \quad (2.22)$$

F_u - fator de utilização;

ψ_l - fluxo luminoso da lâmpada, em lumens;

- N – número de lâmpadas/luminária;
 L_p – largura da pista, 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 2.43. A Figura 2.44 mostra a posição da luminária em poste, num exemplo típico de iluminação de pista.

- a) Fator de utilização para o iluminamento da pista
- Fator de utilização correspondente ao lado da pista

$$R_1 = \frac{L_p - X}{H} \quad (2.23)$$

- Fator de utilização correspondente ao lado da calçada

$$R_2 = \frac{X}{H} \quad (2.24)$$

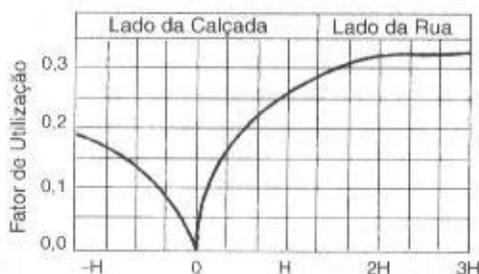


FIGURA 2.43
Fator de utilização

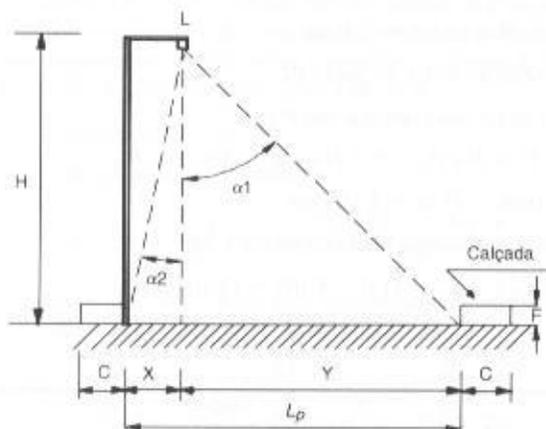


FIGURA 2.44
Definição dos ângulos de focalização

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:

$$R_1 = L_p - X \quad (2.25)$$

$$R_2 = X \quad (2.26)$$

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:

$$F_u = F_{u1} + F_{u2} \quad (2.27)$$

- b) Fator de utilização para o iluminamento das calçadas

Na determinação do iluminamento das calçadas, pode-se utilizar a Equação (2.22). Neste caso, o fator de utilização é determinado através da curva da luminária correspondente, utilizando as seguintes razões:

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

$$R_1 = \frac{C + X}{H - F} \quad (2.28)$$

$$R_2 = \frac{X}{H - F} \quad (2.29)$$

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

$$R_1 = \frac{(L_p - X) + C}{H - F} \quad (2.30)$$

$$R_2 = \frac{X}{H - F} \quad (2.31)$$

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

$$F_u = F_{u1} - F_{u2} \quad (2.32)$$

EXEMPLO DE APLICAÇÃO (2.6)

Calcular a iluminação de uma pista interna de uma indústria mostrada na Figura 2.45, cujos detalhes dimensionais estão contidos na Figura 2.46. 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 de 10 m. O diagrama do fator de utilização da luminária é dado na Figura 2.43.

- Fator de utilização

– Para o lado da pista

$$R_1 = L_p - X = 1H - 0,15H = 0,85H \rightarrow F_{u1} = 0,25 \text{ (Figura 2.43)}$$

– Para o lado da calçada

$$R_2 = X = 0,15H \rightarrow F_{u2} = 0,06 \text{ (Figura 2.43)}$$

Logo, o fator de utilização vale:

$$F_u = F_{u1} + F_{u2} = 0,25 + 0,06 = 0,31$$

- Iluminamento médio

Aplicando-se a Equação (2.22), tem-se:

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

$$\psi_l = 12.000 \text{ lumens}$$

$$D_l = 30 \text{ m}$$

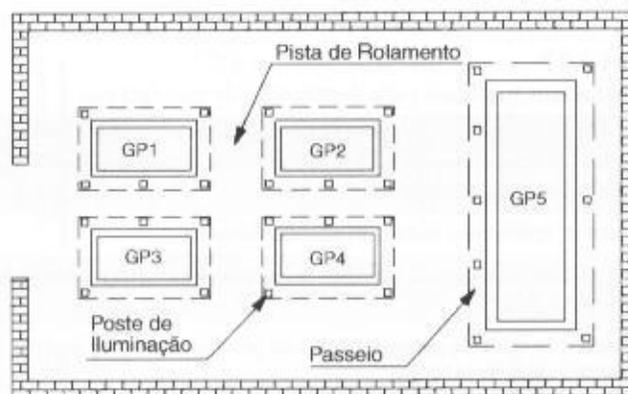
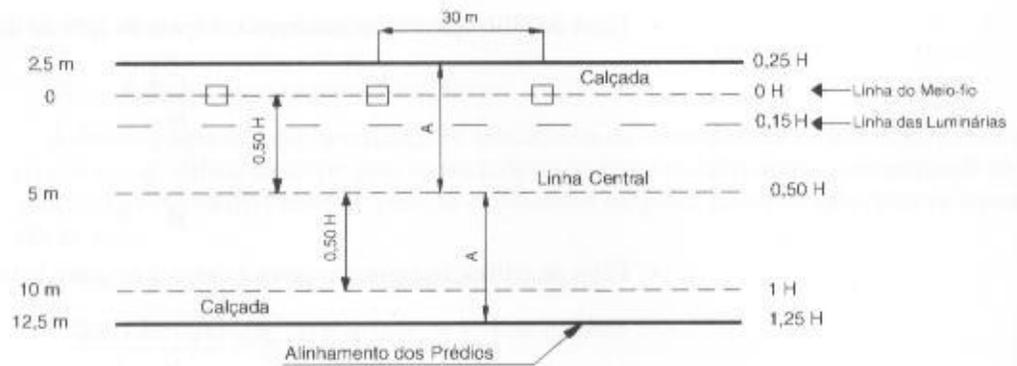


FIGURA 2.45
Área externa de uma indústria

FIGURA 2.46

Trecho de uma pista de rolamento



Da Figura 2.46, pode-se escrever:

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

Logo, o valor médio do iluminamento vale:

$$E_m = \frac{0,31 \times 12.000 \times 1}{10 \times 30} = 12,4 \text{ lux}$$

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 um modo geral, as áreas mais importantes de serem dotadas de iluminação de emergência são:

- corredores;
- salas de reunião;
- auditórios;
- saídas de emergência;
- sala de máquinas, em geral;
- setores de produção de materiais combustíveis ou gasosos.

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 2.47 mostra um sistema autônomo muito popular em instalações industriais e comerciais. A tensão desses sistemas, em geral, é de 12 V.

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 máquina	50

FIGURA 2.47
Sistema autônomo de iluminação
de emergência



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 num 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 às 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 2.48 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.

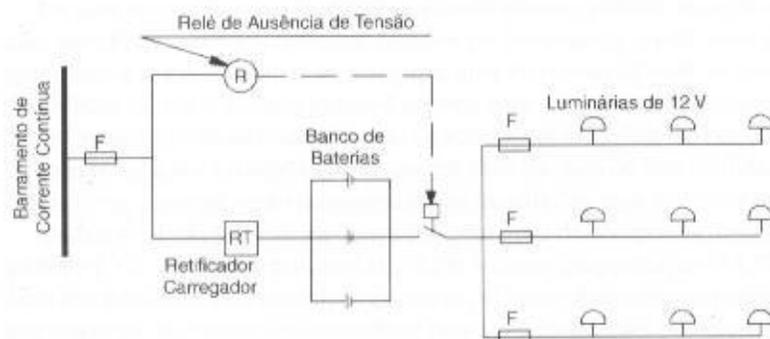


FIGURA 2.48
Esquema básico de comando de iluminação

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 de interrupção.

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 pode 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.