

Manuais Elektro de Eficiência Energética

Segmento Industrial

Uma publicação da Elektro - Eletricidade e Serviços S.A.,  
dentro das ações do Programa de Eficiência Energética.

Publicação elaborada com base nos Manuais de Administração de Energia da Secretaria de Saneamento e Energia do Governo do Estado de São Paulo e nas publicações disponíveis no Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel/Eletobrás.

Coordenação geral: PenseEco Consultoria

Projeto gráfico e Editoração eletrônica: Casa Paulistana Comunicação & Design

Designers: Simone Zupardo Dias e Cleiton Sá

Preparação e revisão de texto: Temas e Variações Editoriais

# Sumário

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Introdução</b> .....                          | 4  |
| <b>2. Iluminação</b> .....                          | 7  |
| 2.1. Conceitos gerais .....                         | 7  |
| 2.2. Iluminação natural .....                       | 18 |
| 2.3. Iluminação artificial .....                    | 30 |
| 2.4. Cálculo da iluminação artificial interna ..... | 65 |
| <b>3. Medidas de eficiência energética</b> .....    | 77 |



# 1. INTRODUÇÃO

Um dos usos finais da eletricidade é a iluminação, essencial a todos os setores econômicos, do segmento residencial ao industrial.

O desenvolvimento das tecnologias que envolvem os sistemas de iluminação trouxe consigo a preocupação com a escassez de energia e a busca por alternativas mais econômicas. Assim, foi necessário aprender a definir iluminação tanto em termos de qualidade como de quantidade.

A iluminação doméstica é responsável por uma parcela importante dos gastos com energia na residência, algo em torno de 24%; no setor comercial e de serviços públicos esse gasto é de 44%; e no setor industrial de 1%.

No Brasil, a iluminação ineficiente é usualmente utilizada tanto no âmbito público como no privado. O mau aproveitamento da iluminação artificial ou até mesmo a ilu-

minação em excesso são problemas conhecidos, além do uso inadequado de energia e da falta de manutenção das instalações elétricas que precisam ser superados.

Nesta publicação, abordaremos de forma clara e concisa os conceitos sobre a utilização de iluminação natural, evidenciando os ganhos energéticos resultantes dessa aplicação, e informações sobre iluminação artificial, descrevendo, em linhas gerais, os principais sistemas e suas aplicações. Destacamos ainda os dados sobre as características dos sistemas de iluminação e uma pequena introdução ao cálculo da iluminação artificial, bem como informações úteis sobre eficiência energética nesse tipo de sistema.

Ao se economizar energia elétrica com a iluminação, ganha o meio ambiente, uma vez que a geração de energia elétrica tem impacto ambiental e contribui com a redução do consumo de energia elétrica.



## 2. ILUMINAÇÃO

### 2.1 Conceitos gerais

A iluminação eficiente de um ambiente deve tomar por base o desempenho visual requerido para a realização de uma determinada tarefa. Vale destacar alguns conceitos:

#### 2.1.1 Fluxo luminoso

Representa a potência luminosa emitida de uma fonte de luz, por segundo, em todas as direções. Sua unidade é o lúmen (lm).

#### 2.1.2 Iluminância

É o fluxo luminoso (lúmen) incidente numa superfície por unidade de  $m^2$ . Sua unidade é o lux. Um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen.

### 2.1.3 Luminância

É a luz refletida pelo objeto observado e seu entorno na direção dos olhos do observador.

### 2.1.4 Difusor

É o dispositivo translúcido ou opaco que colocado em frente à fonte de luz tem como finalidade diminuir sua luminância e reduzir as possibilidades de ofuscamento, alterando a distribuição espacial do fluxo luminoso ou radiante, utilizando o fenômeno da difusão.

### 2.1.5 Eficiência luminosa de uma fonte (lúmen por watt, lm/W)

É o quociente do fluxo emitido e potência consumida.

### 2.1.6 Fluxo luminoso (lúmen, lm)

Quantidade derivada do fluxo radiante emitida pela radiação, de acordo com sua ação sobre um receptor seletivo, cuja sensibilidade espectral é definida pelas eficiências espectrais padrão, ou seja, a potência de radiação emitida por uma fonte de luz que pode ser avaliada pelo olho humano.

### 2.1.7 Intensidade luminosa de uma fonte numa dada direção (candela, cd)

É o quociente do fluxo luminoso que sai da fonte e se propaga em um elemento de ângulo sólido, contendo a direção dada e o elemento de ângulo sólido.

### 2.1.8 Louvre

Um dos tipos de proteção composto por componentes translúcidos ou opacos, utilizado para evitar a visão direta das lâmpadas (ofuscamento). Pode apresentar proteção por um fenômeno de refração.

### 2.1.9 Luminância em uma dada direção, num ponto da superfície de uma fonte ou no caminho do fecho (candela por metro quadrado, cd/m<sup>2</sup>)

A luminância de uma fonte ou de uma superfície iluminada é a medida da sensação de claridade provocada no olho.

### 2.1.10 Refletor

Dispositivo utilizado para a orientação do fluxo luminoso por meio do fenômeno da reflexão especular. Os refletores podem ser de vidro espelhado, alumínio polido, chapa de aço esmaltada ou pintada de branco. O vidro espelhado, apesar de sua alta refletância, é pouco utilizado por ser muito frágil e ter um custo elevado. O alumínio polido é a opção atualmente mais utilizada, pois reúne muitas vantagens: maleabilidade, boa resistência, peso e custo reduzido.

### 2.1.11 Refrator

Dispositivo em que o fenômeno de refração é usado para modificar a distribuição espacial de um fluxo luminoso de uma fonte. Esse dispositivo tem também como função proteger os componentes internos da luminária contra poeira, chuva, poluição e impactos. Os refratores e as lentes são fabricados de vidro duro temperado ou de plásticos especiais para suportar os impactos mecânicos a que são submetidos.

### 2.1.12 Transmitância

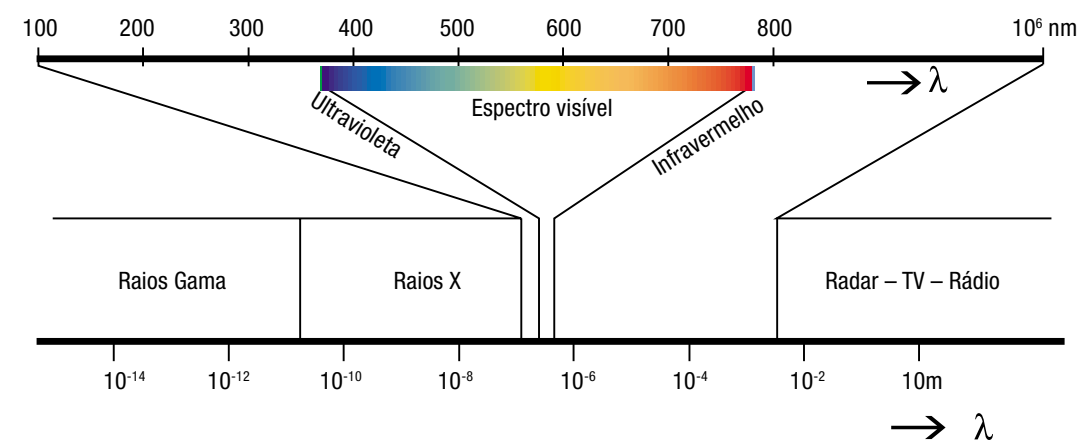
É a fração da luz incidente com um comprimento de onda específico, que atravessa uma amostra de matéria, sem ser absorvida por ela. É medida em porcentagem em relação à quantidade de energia e ao comprimento de onda da radiação incidente.

### 2.1.13 Temperatura de cor

É a aparência da cor da luz, sendo sua unidade o Kelvin (K). Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a luz. A “luz quente” tem aparência amarelada e temperatura de cor baixa: 3.000 K ou menos. A “luz fria” tem aparência azul-violeta e temperatura de cor elevada: 6.000 K ou mais. A “luz branca natural” é aquela emitida pelo Sol, em céu aberto ao meio-dia, com temperatura de cor de 5.800 K.

### 2.1.14 Índice de Reprodução de Cor (IRC)

É a medida de correspondência entre a cor real (luz do sol) de um objeto e sua aparência diante de uma determinada fonte de luz. O IRC de 100% apresenta máxima fidelidade e precisão. Dentro do espectro visível da radiação eletromagnética (medida em nanômetros – nm), compreendido entre 780 nm (infravermelho) e 380 nm (ultravioleta), o olho humano registra além da impressão luminosa, a cor. A percepção de cada uma das cores está vinculada a um comprimento de onda, cada qual correspondendo a uma cor específica do espectro visível, como mostra a figura a seguir.



### 2.1.15 Ofuscamento

Ocorre quando as lâmpadas, as luminárias, são muito claras em comparação à luminosidade geral do ambiente. Ele é direto quando uma fonte de luz de grande intensidade está dentro do campo visual do observador ou refletido quando o observador vê o reflexo da fonte de luz numa superfície brilhante.

### 2.1.16 Contraste

O aumento do contraste entre duas partes de uma tarefa proporciona um aumento do desempenho visual. Contudo, a percepção das cores e da luminância depende também da capacidade do olho.

### 2.1.17 Fotometria

Quando se deseja conhecer os níveis de iluminância de interiores, realiza-se a sua medição com o auxílio de um fotômetro, calibrado em lux, chamado também de luxímetro.

**Observação:** Os ambientes não devem ser iluminados além do nível recomendado pelas normas, pois isso não melhora o desempenho visual e, em contraposição, acarreta aumento do consumo de energia elétrica. É importante considerar que o avanço da idade dos profissionais requer iluminância e contraste maiores para um bom desempenho visual.

### 2.1.18 Espectro eletromagnético

É a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou frequência. O olho humano é sensível ao grupo de radiações compreendidas entre 380 e 780 nm (nanômetros), criando assim uma impressão luminosa.

### 2.1.19 Espectro visível

É a porção do espectro eletromagnético cuja radiação pode ser captada pelo olho humano. Identifica-se esta radiação como sendo a luz visível ou apenas luz. A faixa do espectro visível situa-se entre a radiação infravermelha e ultravioleta. Para cada comprimento de onda visível, associa-se uma cor.

| COR          | COMPRIMENTO DE ONDA (nm - NANÔMETROS) |
|--------------|---------------------------------------|
| Ultravioleta | 300 – 420                             |
| Violeta      | 420 – 440                             |
| Azul         | 440 – 460                             |
| Azul – verde | 460 – 510                             |
| Verde        | 510 – 560                             |
| Amarelo      | 560 – 610                             |
| Laranja      | 610 – 660                             |
| Vermelho     | 660 – 730                             |

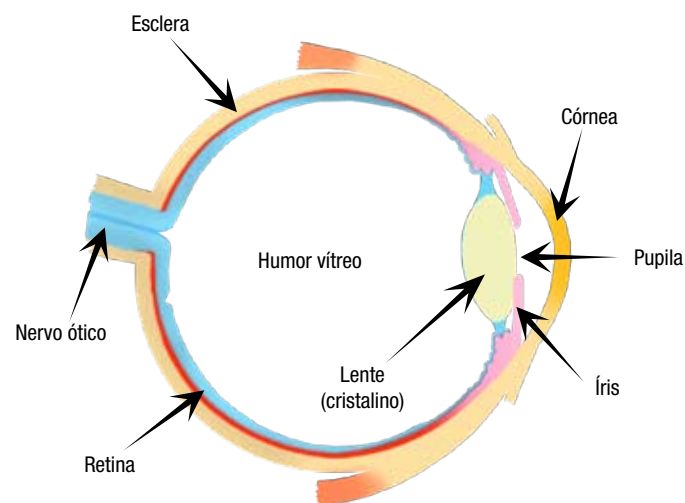
Nossa sensibilidade visual depende do comprimento de onda e da luminosidade:

- menor comprimento de onda: violeta e azul, maior intensidade de sensação luminosa com pouca luz;

- maior comprimento de onda: laranja e vermelho, menor intensidade de sensação luminosa com pouca luz.

### 2.1.20 O olho humano

Nossa retina possui cerca de 100 milhões de fotorreceptores (cones e bastonetes) que liberam moléculas neurotransmissoras a uma taxa que é máxima na escuridão e diminui de modo proporcional com o aumento da intensidade luminosa. Esse sinal é transmitido depois para a cadeia de células bipolares e células ganglionares.



### 2.1.21 Desempenho visual

A iluminação eficiente de um ambiente deve ser baseada, entre outros itens, no desempenho visual requerido para a realização de uma determinada tarefa. Ele pode crescer com o aumento da iluminância (nível de iluminação) e da luminância (luz refletida pelo objeto observado e seu entorno, na direção dos olhos do observador).

Outros fatores que podem influenciar o desempenho visual é o tamanho dos objetos que compõem a tarefa visual, os contrastes, as luminâncias dos objetos que estão no campo visual do observador, a idade das pessoas e o tempo disponível de observação.

Na maioria dos casos, para se obter um ambiente visualmente confortável, deve-se seguir os níveis de iluminância recomendados pela NBR 5413, apresentados na tabela a seguir.

#### Nível de iluminância por classe de tarefas visuais (NBR 5413)

| CLASSE  | ILUMINÂNCIA (lux)    | TIPO DE ATIVIDADE  |
|---|----------------------|--|
| <b>(A)</b><br>Iluminação geral para áreas usadas intermitentemente ou com tarefas visuais simples | 20-30-50             | áreas públicas com arredores escuros   |
|   | 50-75-110            | orientação simples para permanência curta  |
|   | 100-150-200          | recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos                              |
|   | 200-300-500          | tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios |
| <b>(B)</b><br>Iluminação geral para áreas de trabalho   | 500-750-1.000        | tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios  |
|   | 1.000-1.500-2.000    | tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas   |
| <b>(C)</b><br>Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis.                                 | 2.000-3.000-5.000    | tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno                |
|   | 5.000-7.500-10.000   | tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica                          |
|   | 10.000-15.000-20.000 | tarefas visuais muito especiais, cirurgias   |



### 2.1.22 Idade

Com o avanço da idade, para se obter um desempenho visual satisfatório, são necessários uma iluminância maior e um contraste também maior. A idade dos usuários é, portanto, um dado importante para a determinação do nível de luminância necessário para a realização de uma tarefa visual e pode recomendar limites mais elevados para a iluminação de um local.

### 2.1.23 Curva de Distribuição Luminosa

Se num plano transversal à lâmpada, todos os vetores que dela se originarem tiverem suas extremidades ligadas por um traço, obtém-se a Curva de Distribuição Luminosa (CDL). Ela é, portanto, a representação da intensidade luminosa em todos os ângulos em que é direcionada num plano.

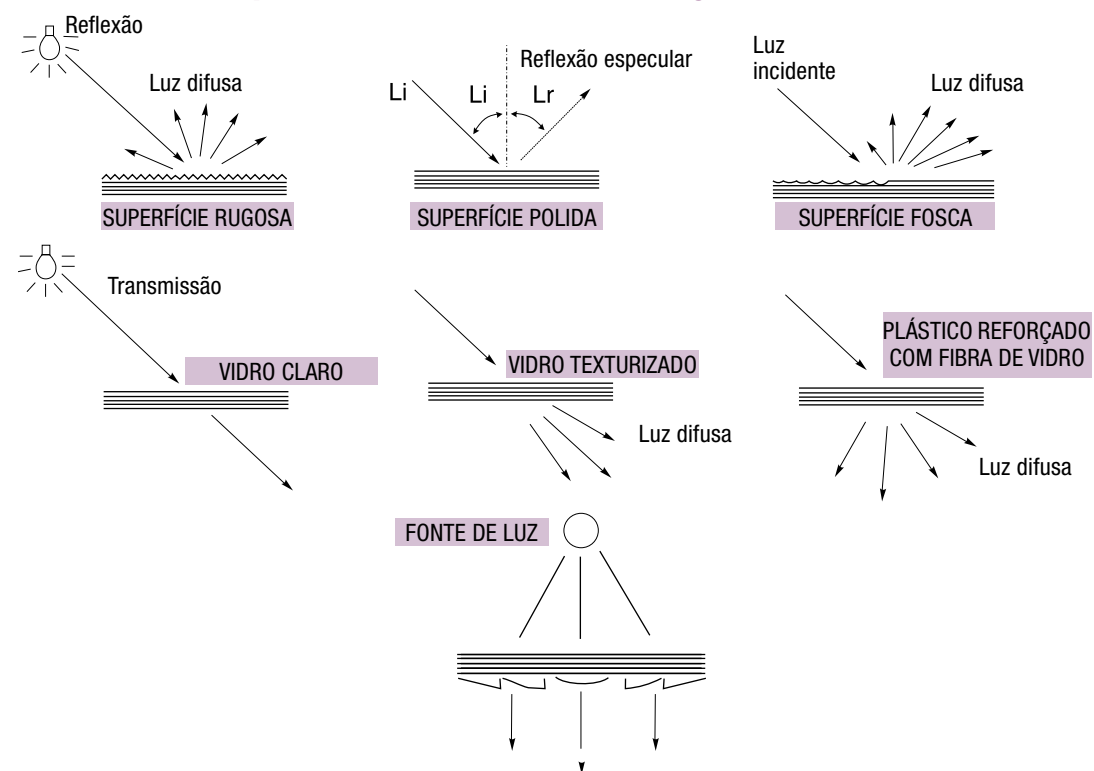
### 2.1.24 Propriedades de reflexão e absorção

Grande parte da luz emitida por uma fonte (artificial ou natural) é refletida, absorvida ou difundida pelas superfícies exteriores, interiores e pelo mobiliário, antes de chegar aos olhos do observador e, nesse processo, podem ocorrer perdas significativas.

Assim, para se obter um bom rendimento dos sistemas de iluminação e, conseqüentemente, um menor consumo de energia, as propriedades reflexivas e a absorção dos materiais de revestimento de pisos, tetos e paredes, bem como dos materiais usados nas luminárias e nos equipamentos de controle da luz — difusores, superfícies refletoras, brises etc. —, devem ser consideradas, como ilustra a figura da página a seguir.

As características de reflexão dos materiais, a cor e a textura podem também ajudar a evitar o ofuscamento refletido e proporcionar maior conforto visual para o desempenho de uma determinada tarefa.

#### Propriedades de reflexão e absorção dos materiais



### 2.1.25 Luxímetro

É um aparelho utilizado para medir o nível de iluminação dos ambientes. Cada ambiente tem, de acordo com normas técnicas, um nível de iluminação mínimo adequado para a realização das tarefas a que se destina. Por exemplo, numa área de leitura, é preciso uma iluminação mais intensa do que em depósitos com circulação de poucas pessoas.

## 2.2. Iluminação natural

Nos últimos anos, tem renascido o interesse na promoção das boas práticas de projeto de iluminação natural por razões de eficiência energética e conforto visual. O uso otimizado da luz natural em edificações usadas principalmente de dia pode, pela substituição da luz artificial, produzir uma contribuição significativa para a redução do consumo de energia elétrica, melhoria do conforto visual e bem-estar dos usuários. A luz natural possui uma variabilidade e qualidade mais agradáveis e apreciadas que o ambiente proporcionado pela iluminação artificial. Aberturas, em geral, proporcionam aos ocupantes o contato visual com o mundo exterior e permitem também o relaxamento do sistema visual pela mudança das distâncias focais. A presença da luz natural pode garantir uma sensação de bem-estar e um relacionamento com o ambiente maior no qual estamos inseridos.

Desta forma, o objetivo aqui é o de apresentar dados, técnicas e informações básicas num formato conveniente para ajudar os profissionais envolvidos no projeto de edificações a lidar com questões relacionadas à iluminação natural. Para tanto, disponibiliza-se métodos de cálculo e verificação dos níveis de iluminação natural no interior das edificações de forma simples, porém com precisão adequada.



A utilização da luz natural é, sob todos os aspectos, o ponto de partida para se obter um sistema de iluminação energeticamente eficiente.

Essa é a tendência mundial cada vez mais adotada nos sistemas de iluminação predial e industrial, que encontra no Brasil razões ainda mais fortes para ser amplamente utilizada em função de nossas características climáticas.

O sol, que é a fonte primária de iluminação, tem sua radiação filtrada na atmosfera pelas moléculas gasosas e pelas partículas de poeira suspensas no ar, porém, para efeito de iluminação natural, a fonte de luz considerada é a da abóbada celeste (fonte secundária).

O Brasil possui uma das abóbadas celestes mais claras do mundo e, em grande parte do território brasileiro, a presença de nebulosidade é reduzida quando comparada a de outros países, o que evidencia o enorme potencial de racionalização energética que a utilização da luz natural representa.

A luz solar direta não é considerada fonte primária de iluminação em sistemas naturais devido à sua enorme carga térmica, por ser uma fonte pontual de grande intensidade luminosa e também devido à sua movimentação.

O entorno, natural e construído, comporta-se como fonte secundária de luz ao refletir a luz diurna. Em regiões de climas tropicais, o entorno pode contribuir com até 30% da iluminação recebida por um edifício.

Quanto mais claras as superfícies do entorno e do interior do local, maior será o rendimento da iluminação, por isso, as superfícies devem ser mantidas em condições adequadas de uso através de limpeza e pintura.

Vejam, a seguir, os problemas mais comuns para o correto aproveitamento da luz natural:

### 1- VARIÇÃO DE ILUMINÂNCIA DA ABÓBADA CELESTE NO DECORRER DO DIA.

Em um edifício, é necessário considerar tanto a iluminação natural quanto a artificial. A integração correta entre esses dois sistemas pode solucionar o problema da variação da intensidade da luz proveniente da abóbada e contribuir para a redução do consumo de energia. Assim, a iluminação natural e a artificial são complementares.

### 2- REALIZAÇÃO DE TAREFAS COM DIFERENTES EXIGÊNCIAS VISUAIS NO MESMO RECINTO.

A iluminação dos edifícios modernos visa atender a um grande número de pessoas, que realizam várias atividades com exigências diferentes quanto ao nível de iluminância. Para melhor utilizar a luz natural, as atividades com maiores exigências visuais devem ser realizadas sempre perto das janelas.

### 3- CARGA TÉRMICA QUE ENTRA NAS EDIFICAÇÕES PELAS ABERTURAS ILUMINANTES.

Da radiação proveniente do Sol (espectro solar), aproximadamente 50% da energia recebida na Terra é composta pelo espectro visível (luz) e uma parcela de cerca de 45% é composta por radiações infravermelhas.

Um sistema de iluminação natural eficiente deve possuir uma proteção adequada contra a incidência da radiação solar direta. Nessas condições, o uso da luz natural pode permitir uma redução de até 50% no consumo de energia elétrica com iluminação, com efeitos positivos sobre o consumo dos sistemas de condicionamento ambiental.

Os sistemas de iluminação natural podem ser subdivididos em iluminação lateral ou iluminação zenital, cada qual atendendo às necessidades específicas dos seus usuários. A opção entre um ou outro ou mesmo a combinação dos dois é feita em razão das características do edifício como forma, orientação das fachadas, disposição dos ambientes internos e do tipo de tarefa visual a ser desenvolvido.

## 2.2.1 Iluminação zenital

Trata-se de aberturas localizadas na cobertura de uma edificação que permitem a entrada da luz natural. A principal característica da iluminação zenital é que ela pode oferecer iluminância elevada e grande uniformidade, sendo mais indicada para espaços profundos e contínuos.

A enorme carga térmica incidente sobre a cobertura dos edifícios (tabela a seguir), própria do clima brasileiro, deve ser amenizada ou mesmo evitada com o uso de elementos de proteção das aberturas que bloqueiem a radiação solar direta, ou com aberturas cujas dimensões e orientação não comprometam o desempenho térmico do ambiente.

### Carga térmica incidente sobre superfícies horizontais (W/m)

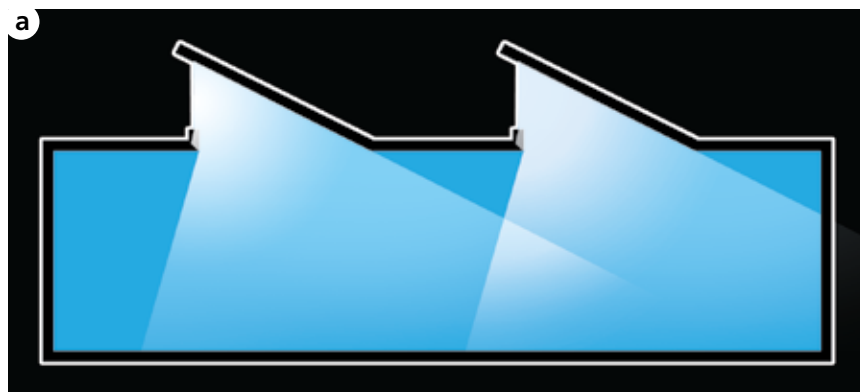
| LATITUDE | ÉPOCA DO ANO | 06H | 07H | 08H | 09H | 10H | 11H   | 12H   | 13H   | 14H | 15H | 16H | 17H | 18H |
|----------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0°       | dezembro 22  | 0   | 155 | 424 | 669 | 869 | 992   | 1.033 | 992   | 869 | 669 | 424 | 155 | 0   |
|          | mar / set 22 | 0   | 182 | 478 | 706 | 964 | 1.082 | 1.138 | 1.082 | 964 | 706 | 478 | 182 | 0   |
|          | junho 21     | 0   | 155 | 424 | 669 | 869 | 992   | 1.033 | 992   | 869 | 669 | 424 | 155 | 0   |
| 4°       | dezembro 22  | 13  | 203 | 462 | 704 | 902 | 1.018 | 1.072 | 1.018 | 902 | 704 | 462 | 203 | 13  |
|          | mar / set 22 | 0   | 180 | 477 | 747 | 960 | 1.100 | 1.139 | 1.100 | 960 | 747 | 477 | 180 | 0   |
|          | junho 21     | -   | 200 | 406 | 642 | 834 | 957   | 991   | 957   | 834 | 642 | 406 | 200 | -   |
| 8°       | dezembro 22  | 30  | 214 | 484 | 730 | 930 | 1.062 | 1.103 | 1.062 | 930 | 730 | 484 | 214 | 30  |
|          | mar / set 22 | 0   | 185 | 466 | 739 | 954 | 1.091 | 1.129 | 1.091 | 954 | 739 | 466 | 185 | 0   |
|          | junho 21     | -   | 105 | 351 | 580 | 773 | 904   | 946   | 904   | 773 | 580 | 351 | 105 | -   |
| 13°      | dezembro 22  | 53  | 293 | 534 | 775 | 961 | 1.087 | 1.126 | 1.087 | 964 | 775 | 534 | 293 | 53  |
|          | mar / set 22 | 0   | 172 | 460 | 719 | 936 | 1.070 | 1.113 | 1.070 | 936 | 719 | 460 | 172 | 0   |
|          | junho 21     | -   | 83  | 320 | 540 | 722 | 853   | 880   | 853   | 722 | 540 | 320 | 83  | -   |
| 17°      | dezembro 22  | 61  | 283 | 525 | 786 | 978 | 1.100 | 1.133 | 1.100 | 978 | 786 | 525 | 283 | 61  |
|          | mar / set 22 | 0   | 167 | 449 | 700 | 912 | 1.039 | 1.091 | 1.039 | 912 | 700 | 449 | 167 | 0   |
|          | junho 21     | -   | 66  | 275 | 498 | 672 | 788   | 820   | 788   | 672 | 498 | 275 | 66  | -   |
| 20°      | dezembro 22  | 73  | 289 | 567 | 801 | 985 | 1.105 | 1.140 | 1.105 | 985 | 801 | 567 | 289 | 73  |
|          | mar / set 22 | 0   | 157 | 439 | 686 | 897 | 1.025 | 1.071 | 1.025 | 897 | 686 | 439 | 157 | 0   |
|          | junho 21     | -   | 43  | 201 | 430 | 614 | 737   | 776   | 737   | 614 | 430 | 201 | 43  | -   |
| 23°30'   | dezembro 22  | 81  | 317 | 575 | 811 | 990 | 1.108 | 1.138 | 1.108 | 990 | 811 | 575 | 317 | 81  |
|          | mar / set 22 | 0   | 155 | 418 | 667 | 751 | 983   | 1.029 | 983   | 751 | 667 | 418 | 155 | 0   |
|          | junho 21     | -   | 21  | 182 | 395 | 573 | 675   | 716   | 675   | 573 | 395 | 182 | 21  | -   |
| 25°      | dezembro 22  | 87  | 289 | 579 | 813 | 986 | 1.110 | 1.137 | 1.110 | 987 | 813 | 579 | 289 | 87  |
|          | mar / set 22 | 0   | 153 | 404 | 659 | 856 | 973   | 1.016 | 973   | 856 | 659 | 404 | 153 | 0   |
|          | junho 21     | -   | 12  | 168 | 357 | 463 | 526   | 538   | 526   | 463 | 357 | 168 | 12  | -   |
| 30°      | dezembro 22  | 114 | 345 | 588 | 804 | 985 | 1.099 | 1.134 | 1.099 | 985 | 804 | 588 | 345 | 114 |
|          | mar / set 22 | 0   | 144 | 388 | 617 | 808 | 928   | 964   | 928   | 808 | 617 | 388 | 144 | 0   |
|          | junho 21     | -   | 6   | 101 | 280 | 446 | 558   | 594   | 558   | 446 | 280 | 101 | 6   | -   |

A qualidade e a quantidade de luz no interior de um recinto e a eficiência energética de um sistema de iluminação zenital dependem fundamentalmente do tipo de elementos iluminantes utilizados.

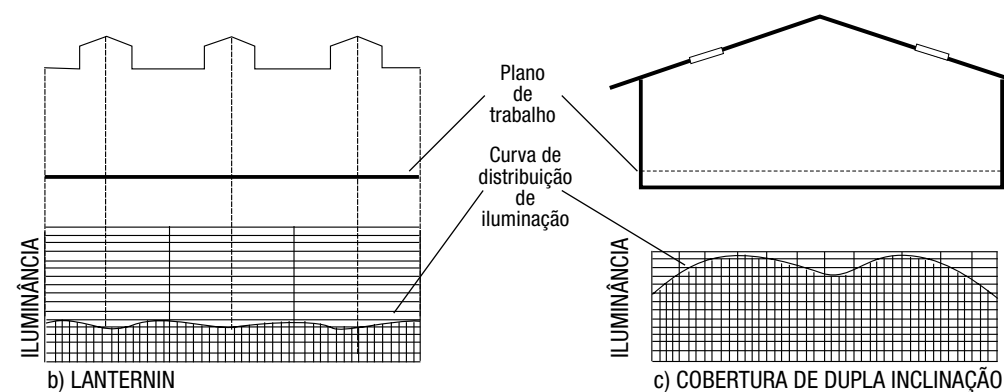
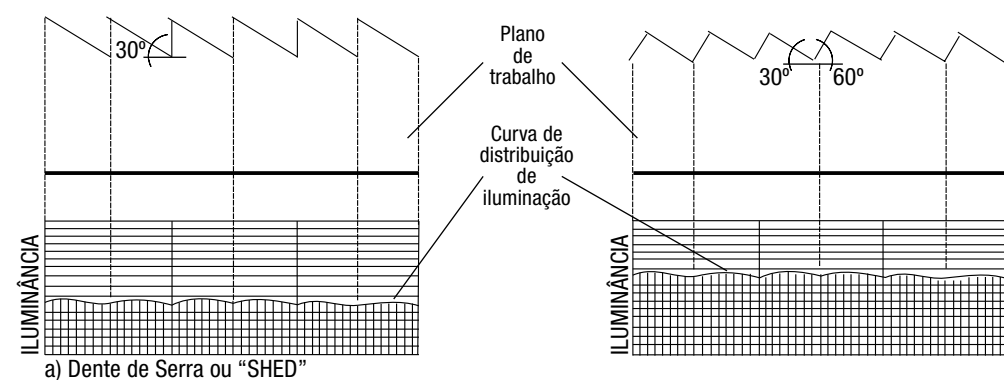
Por exemplo, os sheds orientados para o sul, nas regiões subtropicais, fornecem uma iluminação difusa e não necessitam de elementos de proteção solar, possuindo uma eficiência luminosa que corresponde à cerca de 30% de uma superfície horizontal de mesma área.

Os elementos do tipo lanternim fornecem uma iluminação bidirecional que, dependendo da orientação, pode ser simétrica (L/O) ou assimétrica (N/S), em relação à trajetória aparente do Sol; sua eficiência luminosa varia entre 50% e 75%.

Já uma cobertura de dupla inclinação com superfícies iluminantes, ou um domus, possui uma eficiência da ordem de 90% e, normalmente, está associada a grandes ganhos térmicos.



### Sistema de iluminação zenital



### 2.2.2 Iluminação lateral

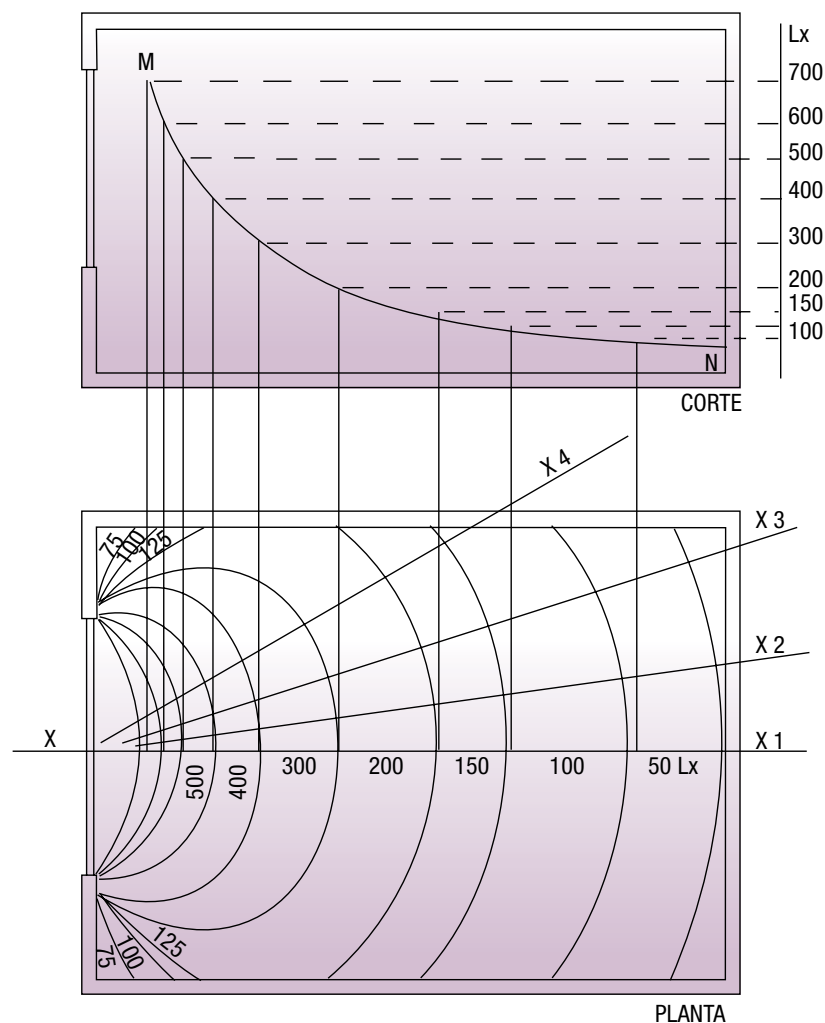
O desempenho luminoso e a eficiência energética de um sistema de iluminação lateral são resultados da combinação de diversos fatores, como:

#### 1- TAMANHO, FORMA E LOCALIZAÇÃO DAS SUPERFÍCIES ILUMINANTES

Nos locais que apresentam iluminação lateral, o nível de iluminância diminui rapidamente com o aumento da distância da janela, ou seja, quanto mais distante estiver

o local a ser iluminado, menor será a iluminância fornecida pela janela. A figura a seguir, dá um exemplo da redução de iluminância no plano horizontal para cada ponto de uma sala em função da distância à janela.

### Redução de iluminância no plano horizontal



A iluminância no interior de um ambiente também varia proporcionalmente ao tamanho das aberturas iluminantes, porém, áreas iluminantes com dimensões excessivas (em relação às dimensões do ambiente), além de causarem ofuscamento, acarretam cargas térmicas elevadas caso não sejam devidamente protegidas contra a radiação solar.

O posicionamento das aberturas em relação às superfícies que as contêm exerce influência sobre a intensidade da iluminação do ambiente.

Janelas altas e contínuas horizontalmente, recuadas em relação ao plano da fachada, e utilizadas como complemento de janelas localizadas em nível inferior, contribuem para o aumento da iluminância média do local e evitam a visualização da abóbada celeste, causadora de ofuscamento. Essa solução tem um importante significado energético, pois reduz a carga térmica recebida através das janelas.

### 2- CORES DAS SUPERFÍCIES INTERNAS

As cores das superfícies internas contribuem significativamente para o rendimento do sistema de iluminação, tanto natural como artificial e, assim, para o aumento da eficiência energética, de acordo com os fatores de reflexão de pisos, tetos e paredes. Superfícies de cores claras melhoram o nível de iluminação em até 50% e ainda garantem maior homogeneidade à luz fornecida pelo sistema. Caso sejam utilizados elementos de controle e direcionamento da luz proveniente das aberturas (brises, persianas, platibandas etc.), localizados tanto externa como internamente, devem ser de cores claras sempre que possível.

### 3- DIMENSÕES E PROPORÇÕES DO AMBIENTE

A iluminação proveniente de uma janela para um determinado ambiente diminui de forma exponencial em função da sua distância em relação à janela. Por isso, em ambientes com janelas em apenas uma das paredes, o aproveitamento da luz natu-

ral, dentro dos níveis mínimos estabelecidos por normas nacionais e internacionais, restringe-se a uma faixa de aproximadamente 4 metros.

Elementos de direcionamento da luz podem ajudar na distribuição mais homogênea da luz proveniente desse tipo de abertura. Evidentemente, os ambientes com superfícies iluminantes em duas ou mais paredes têm um aproveitamento muito melhor da luz natural, porém, deve-se dar atenção especial à orientação dessas aberturas devido à carga térmica que pode incidir sobre elas.

#### 4- ELEMENTOS DE CONTROLE DA LUZ SOLAR DIRETA

Os elementos de controle da luz solar direta são fundamentais em qualquer projeto de iluminação natural. Suas principais funções são controlar e direcionar a luz proveniente da abóbada celeste, evitar a incidência da radiação solar direta nos ambientes internos e reduzir o ofuscamento causado pela visualização de partes da abóbada.

Os elementos como brises, venezianas, persianas, toldos, beirais, marquises, plati-bandas e a vegetação do entorno são classificados em função dos fatores de sombra, conforme ilustra a tabela da página a seguir.

### Radiação luminosa obstruída por diferentes tipos de fatores de sombra

| TIPOS DE PROTEÇÃO   |            | FATOR DE SOMBRA (FS) |
|---|------------|----------------------|
| <b>Persiana</b>   | cor clara  | 0,60                 |
|   | cor escura | 0,80                 |
| <b>Cortina de tecido de trama aberta</b>                    | cor clara  | 0,30                 |
|   | cor escura | 0,50                 |
| <b>Cortina de trama fechada</b>                             | cor clara  | 0,70                 |
|   | cor escura | 0,85                 |
| <b>Persiana de enrolar, fechada deixando 5% de abertura</b> | cor clara  | 0,80                 |
|   | cor escura | 0,90                 |
| <b>Toldo</b>  | cor clara  | 0,60                 |
|   | cor escura | 0,80                 |
| <b>Brises horizontais (N/S)</b>                             | cor clara  | 0,50                 |
|   | cor média  | 0,60                 |
| <b>Brises verticais (E/O)</b>                               | cor clara  | 0,40                 |
|   | cor média  | 0,50                 |

Fonte: Mascaró, Lúcia. *Iluminação natural dos edifícios*. Porto Alegre: PROPAR-UFRGS, 1980.

## 2.3. Iluminação artificial

A iluminação artificial é responsável por aproximadamente 20% de toda a energia elétrica consumida no país, cerca de 20% do consumo no setor residencial e mais de 40% da energia elétrica consumida pelo setor de comércio e serviços.

Uma boa iluminação não é apenas um item de valorização da edificação e um componente dos custos de operação; ela é principalmente um instrumento de trabalho, assim como máquinas, ferramentas e equipamentos; no entanto, a iluminação excessiva tem um custo alto, e a iluminação inadequada é prejudicial.

É sempre bom lembrar que a iluminação é para as pessoas e não para a edificação. Já foi exaustivamente comprovado que um sistema de iluminação eficiente, além de reduzir o consumo de energia, aumenta significativamente a produtividade.

A eficiência dos sistemas de iluminação artificial está associada, basicamente, às características técnicas, à eficiência e ao rendimento de um conjunto de elementos, entre os quais se destacam:

- lâmpadas;
- luminárias;
- reatores;
- circuitos de distribuição;
- utilização da luz natural;
- cores das superfícies internas;
- mobiliário;
- necessidades de iluminação do ambiente.

A integração correta desses elementos resulta em ambientes iluminados adequadamente, com níveis elevados de conforto visual e consumo baixo de energia.

### 2.3.1 Lâmpadas

A eficiência de um sistema de iluminação artificial está diretamente relacionada à eficiência luminosa ( $\Phi$ ) da fonte de luz, que é caracterizada pela relação entre fluxo luminoso ( $\Phi$ ) emitido e a potência (W) requerida. A eficiência das fontes de luz, entre outros aspectos, contribui diretamente para a eficiência energética do sistema.

Outro ponto fundamental nos projetos de sistemas de iluminação diz respeito à reprodução das cores. Dentro do espectro visível da radiação eletromagnética, compreendido entre 780 nm (infravermelho) e 380 nm (ultravioleta), o olho humano registra a cor além da impressão luminosa.

Verifica-se que a percepção de cada uma das cores está vinculada a um dado comprimento de onda, cada qual correspondendo a uma cor específica dentro do espectro visível, conforme indica a figura da página 11.

Como as fontes artificiais emitem luz em faixas diferentes e específicas do espectro visível, também reproduzem as cores de maneira diferente em função de suas características técnicas e construtivas, devendo ser selecionadas as que se adaptam às necessidades específicas de cada ambiente e atividade.

Outro aspecto que também está associado às características técnicas e construtivas das fontes de luz é a vida útil. A eficiência, o rendimento luminoso e a vida útil são os aspectos que mais contribuem para a eficiência de um sistema de iluminação artificial e merecem, portanto, grande atenção tanto na elaboração de projetos e reformas como na implantação de programas de conservação e uso eficiente de energia. As lâmpadas atualmente produzidas no Brasil podem ser agrupadas em dois tipos principais: lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga. A eficiência energética apontada não considera as perdas com equipamentos auxiliares como reatores, ignitores etc.



### 2.3.1.1 Lâmpadas incandescentes

#### A. LÂMPADAS INCANDESCENTES COMUNS

A iluminação incandescente resulta da passagem de corrente elétrica por um fio em forma de espiral e de alta resistência elétrica, que torna tudo incandescente devido ao seu aquecimento. Quanto maior a temperatura do fio, maior é a quantidade de luz emitida.

À medida que acendemos e apagamos a lâmpada incandescente tradicional, o fio metálico dentro do bulbo de vidro vai se gastando, se consumindo com o calor até que se rompe e não deixa mais passar corrente elétrica, e a lâmpada deixa de produzir luz.

Entre os diversos tipos de lâmpadas existentes no mercado, a incandescente comum é a mais utilizada, especialmente em residências, sejam decorativas ou refletoras, talvez por ser a mais antiga e a mais barata.

#### Características

- **Filamento:** é feito de tungstênio por possuir um alto ponto de fusão e um baixo ponto de vaporização. Dessa forma, permite o uso de maiores temperaturas de funcionamento e um maior rendimento, em comparação com outros metais.
  - **Bulbo:** sua finalidade é isolar o fio do meio externo, proteger o conjunto interno, alterar a iluminância da fonte de luz e serve também como forma decorativa. Os bulbos costumam ser feitos de vidro-cal, um tipo de vidro macio e com baixa temperatura de amolecimento; de vidro boro-silicato, um tipo duro que resiste a altas temperaturas, ou ainda de vidro-pirex, resistente a choques térmicos.
- **Meio interno:** o filamento é preservado por mais tempo quando envolto por um gás inerte, normalmente, uma mistura de argônio e nitrogênio. O criptônio é o gás inerte que causa menores perdas, mas, devido ao seu preço, é usado apenas em lâmpadas especiais.
  - **Base:** tem por função fixar a lâmpada e conectar o seu circuito de alimentação ao sistema elétrico.

#### B. LÂMPADAS INCANDESCENTES HALÓGENAS

Têm o mesmo princípio de funcionamento das lâmpadas incandescentes comuns, porém, foram acrescidas de gases halógenos que, dentro do bulbo, se combinam com as partículas de tungstênio desprendidas do filamento. Essa combinação, acrescida às correntes térmicas da lâmpada, faz com que as partículas se depositem de volta no filamento, constituindo o ciclo degenerativo do halogênio.

Dessa forma, a lâmpada incandescente halógena possui maior vida mediana, maior eficiência luminosa e, como tem condições de evitar o escurecimento da lâmpada, possui uma luz mais branca e uniforme. Muito utilizada por projetistas e decoradores, é aplicada em fachadas, áreas de lazer, teatros e até faróis de automóveis.

## A. Lâmpadas incandescentes

| TIPO           | INCANDESCENTE COMUM  |            |           |                   |              |
|----------------|--|------------|-----------|-------------------|--------------|
| Utilização     | Em ambientes internos onde é necessária uma boa reprodução de cor, como: vitrines, indústrias têxteis e de tintas, indústrias gráficas.  |            |           |                   |              |
| Fluxo luminoso | eficiência   | potência   | vida útil | reprodução de cor | equipamentos |
| 200 a 9.359 lm | 8 a 18 lm/W  | 15 a 500 W | 1.000 h   | muito boa         | nenhum       |
| Observação     | Fonte de luz baixa eficiência que por sua versatilidade e boa reprodução de cores ainda é amplamente utilizada. Neste tipo de lâmpada apenas 10% da energia consumida é transformada em luz. |            |           |                   |              |

| TIPO           | INCANDESCENTE REFLETORA  |            |           |                   |              |
|----------------|--|------------|-----------|-------------------|--------------|
| Utilização     | Própria para lojas, residências, locais de exposição e para destacar objetos.                          |            |           |                   |              |
| Fluxo luminoso | eficiência   | potência   | vida útil | reprodução de cor | equipamentos |
| 320 a 3.600 lm | 9 a 12 lm/W  | 40 a 300 W | 1.000 h   | muito boa         | nenhum       |
| Observação     | Fonte de luz similar à incandescente comum. Possui uma camada refletora na superfície interna do bulbo |            |           |                   |              |

| TIPO              | INCANDESCENTE HALÓGENA  |               |           |                   |              |
|-------------------|---|---------------|-----------|-------------------|--------------|
| Utilização        | Utilizada em faróis de automóveis, projetores fotográficos, luzes de orientação das pistas de aeroportos, realce de objetos em vitrines, galerias etc.  |               |           |                   |              |
| Fluxo luminoso    | eficiência  | potência      | vida útil | reprodução de cor | equipamentos |
| 5.100 a 24.000 lm | 15 a 25 lm/W  | 300 a 2.000 W | 2.000 h   | muito boa         | nenhum       |
| Observação        | Fonte de luz de tamanho reduzido, são fabricadas com diversas formas em função de sua aplicação e potência. Seu sistema de funcionamento propicia a autolimpeza da ampola, mantendo o mesmo fluxo durante toda a vida útil. |               |           |                   |              |

| TIPO           | INCANDESCENTE HALÓGENA DICRÓICA   |           |           |                   |               |
|----------------|---|-----------|-----------|-------------------|---------------|
| Utilização     | Iluminação de destaques para quadros, vitrines e outros objetos sensíveis à incidência de radiação infravermelha.   |           |           |                   |               |
| Fluxo luminoso | eficiência  | potência  | vida útil | reprodução de cor | equipamentos  |
| 950 lm         | 19 lm/W   | 20 a 75 W | 3.000 h   | muito boa         | transformador |
| Observação     | Conta com as mesmas vantagens da halógena normal possuindo ainda um espelho refletor multifacetado dicróico, que transmite da direção contrária ao foco (para trás da lâmpada) cerca de 60% da radiação infravermelha emitida. A maioria dos modelos de lâmpadas dicróicas operam em tensão de 12V tornando necessário a utilização de transformadores. |           |           |                   |               |

### 2.3.1.2 Lâmpadas de descarga

No caso das lâmpadas de descarga, a luz é obtida por uma descarga elétrica contínua em um gás, mistura de gases ou vapor ionizado. Elas sempre funcionam com equipamento auxiliar — reatores e, em alguns casos, um ignitor — ligado ao seu circuito elétrico.

As lâmpadas de descarga são divididas em lâmpadas de baixa pressão (mercúrio fluorescente e sódio) e de alta pressão (mercúrio, sódio, mista e vapores metálicos).

De modo geral, são utilizadas em iluminação residencial, comercial e de áreas grandes, e em iluminação pública.

#### Características

- **Meio interno:** gases ou vapores. Os gases mais usados são o argônio, neônio, xenônio, hélio ou criptônio e os vapores de mercúrio e de sódio com alguns aditivos.
- **Tubo de descarga:** normalmente de forma tubular, é nele que se faz a composição dos gases e vapores e onde ocorre a descarga elétrica.
- **Eletrodos:** facilitam a emissão de elétrons, normalmente feitos de tungstênio espiralado, contendo um material emissivo.
- **Bulbo externo:** protege o tubo de descarga. O bulbo é cheio de um gás inerte ou funciona a vácuo e pode ser recoberto por uma camada difusora ou de fósforo para melhorar a reprodução de cores, além de absorver a radiação ultravioleta emitida pelas lâmpadas.

### 2.3.1.3 Lâmpada de descarga em gás a baixa pressão por indução

Este tipo de lâmpada possui um recipiente de descarga que contém gás a baixa pressão e um núcleo cilíndrico de ferrite, que cria um campo magnético induzindo uma corrente elétrica no gás de modo a provocar a sua ionização. A energia suficiente para gerar e manter a descarga é fornecida para a antena por um gerador de alta frequência.

Suas principais vantagens são a alta durabilidade e o bom rendimento luminoso; elas têm diversas aplicações devido ao custo de manutenção reduzido.

### 2.3.1.4 Lâmpadas fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são conhecidas como “luz fria”, pois emitem menos calor para o ambiente que as incandescentes. São constituídas de um tubo de vidro em forma de cilindro, preenchido com argônio, e sua superfície interior é coberta com uma camada de pó fluorescente (fósforo). Contêm vapor de mercúrio e um filamento, cuja função nessas lâmpadas é diferente da função que tem nas lâmpadas incandescentes.

Ao passar pelo filamento, a corrente elétrica provoca uma descarga no gás do interior do tubo, levando os elétrons do gás a colidir com os átomos de mercúrio. Quando voltam a um estado de equilíbrio, esses átomos emitem uma energia na forma de radiação ultravioleta, — a luz é produzida pelo encontro dessa radiação com a superfície do tubo de vidro coberta com pó fluorescente. Este tipo de lâmpada precisa de reator para controlar e limitar a corrente elétrica que faz com que a lâmpada funcione.

#### A. LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS

Com tamanho reduzido, foram criadas para substituir as lâmpadas incandescentes. Quando comparadas às incandescentes, essas lâmpadas possuem maior vida útil, rendimento até cinco vezes maior, e geram uma economia de energia de até 80%.

A economia de energia que o uso dessa lâmpada gera representa uma redução significativa da exploração dos recursos naturais, uma vez que, com menor consumo, menor será a necessidade de novas usinas para produzi-la.

#### B. LÂMPADAS FLUORESCENTES TUBULARES

Com alta eficiência e longa durabilidade, essas lâmpadas representam a forma clássica de iluminação econômica, utilizada nos mais diversos ambientes.

A descarga elétrica em seu interior emite quase que totalmente a radiação ultravioleta (visível ao olho humano), gerada pelo vapor de mercúrio, que é convertida em luz pelo pó fluorescente que reveste a superfície interna do bulbo.

Atualmente existem dois tipos disponíveis: a fluorescente standard, que apresenta eficiência de 70 lm/W e temperatura de cor entre 4.100 e 6.100 K com IRC entre 48 e 78%; e a fluorescente trifósforo, com eficiência de até 100 lm/W e temperatura de cor entre 3.500 e 6.000 K, com IRC de 85%.

O passo mais recente para a eficiência é o modelo T5 (16 mm) que, além do diâmetro, teve uma redução de comprimento. Essa compactação promoveu um aumento da eficiência luminosa, design e operação direta com reatores eletrônicos.

#### C. LÂMPADAS FLUORESCENTES DE ALTA POTÊNCIA SEM ELÉTRONS

A descarga nesta lâmpada não começa e termina com dois eletrodos como em uma lâmpada fluorescente convencional. A forma de anel fechado do vidro permite uma

descarga sem eletrodos, já que a energia é fornecida a partir do exterior de um campo magnético.

O campo magnético é produzido em dois anéis de ferrite, o que constitui uma vantagem importante na duração da lâmpada.

Além do tubo fluorescente sem eletrodos, o sistema consta de um equipamento eletrônico a uma frequência de 250 kHz aproximadamente, separado da lâmpada, o que permite alcançar a energia ótima para a descarga na lâmpada e um ótimo rendimento luminoso.

### 2.3.1.5 Lâmpadas a vapor de mercúrio de alta pressão

Consiste basicamente de um bulbo de vidro resistente, que contém um tubo de descarga feito de quartzo para suportar altas temperaturas. Possui em seu interior argônio e mercúrio que, quando vaporizado, produz o efeito luminoso.

Essas lâmpadas necessitam de um reator específico para funcionar, que serve para controlar a corrente e tensão elétrica da operação. São empregadas na iluminação pública, industrial, na iluminação de monumentos, jardins e fachadas de edifícios.

Devido à emissão ultravioleta, caso o bulbo da lâmpada quebre ou esteja sem o revestimento de fósforo, deve-se desligá-la, pois o ultravioleta é prejudicial à saúde, especialmente quando em contato com a pele ou os olhos.

### 2.3.1.6 Lâmpadas a vapor metálico

Semelhantes às lâmpadas a vapor de mercúrio, possuem um revestimento de alumínio nas extremidades do tubo de descarga, com a finalidade de refletir o calor produzido pela descarga dos eletrodos, impedindo a condensação dos iodetos em seu interior.

Assim como a fluorescente, as lâmpadas a vapor metálico necessitam de um reator, que produz picos de alta tensão de até 5.000 volts para ignição. Existem modelos que possuem um ignitor interno tipo starter.

Fontes de luz branca mais eficiente do mercado, são utilizadas para diversas aplicações, da iluminação de estádios de futebol e indústrias à iluminação de residências e automóveis.

### 2.3.1.7 Lâmpadas mistas

As lâmpadas mistas são uma combinação da lâmpada incandescente com a lâmpada a vapor de mercúrio, ou seja, possuem um filamento montado ao redor do tubo de descarga e ligado em série com este. Não necessitam de reator, uma vez que o filamento tem dupla função: emitir a energia luminosa e servir de elemento de estabilização da lâmpada.

Têm maior durabilidade e eficiência que a lâmpada incandescente, podem substituí-las sem necessidade de equipamento auxiliar. Dada a sua luz branca agradável e à boa reprodução de cores, podem ser empregadas em vias públicas, praças, estacionamentos, jardins e comércio em geral.

### 2.3.1.8 Lâmpadas a vapor de sódio

#### A. LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO DE BAIXA PRESSÃO

As lâmpadas de sódio de baixa pressão são comparáveis às lâmpadas fluorescentes na forma como são construídas e na forma como funcionam.

O arranque das lâmpadas a vapor de sódio é mais difícil do que nas lâmpadas a vapor de mercúrio, já que o estado sólido do sódio não produz vapor metálico à temperatura ambiente. Assim, o arranque é dado com a ajuda de um gás inerte. Essas lâmpadas requerem uma tensão de arranque elevada e um tempo de arranque mais longo, antes de ser atingido o rendimento máximo.

Para garantir a temperatura elevada, o tubo de descarga é geralmente constituído de um invólucro de vidro dentro da ampola da lâmpada, que é desenhada para refletir a radiação infravermelha.

A característica mais interessante dessa lâmpada talvez seja seu alto rendimento luminoso; devido à sua alta durabilidade, é a fonte de luz mais eficiente e econômica.

É necessária a utilização de ignitor e balastro (reator), mas normalmente é utilizado um transformador como dispositivo de arranque e estabilização de descarga. Elas emitem luz monocromática, o que limita sua utilização a lugares que não necessitam de um alto índice de reprodução de cor, como estradas, portos etc.

#### B. LÂMPADAS A VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO

Têm formato similar às lâmpadas de vapor de mercúrio, diferenciando-se pelo formato do tubo de descarga, que é feito de dióxido de alumínio sinterizado translúcido (material cerâmico que suporta altas temperaturas), comprido e estreito, além de possuir um eletrodo principal feito de nióbio em cada uma de suas extremidades. Seu funcionamento é similar ao das lâmpadas de descarga, mas necessita de tensões altas devido à geometria do tubo de descarga.

Elas demoram cerca de 3 a 4 minutos para atingir seu brilho máximo, e, nesse tempo, ocorrem várias mudanças de cor emitida devido à composição dos gases internos, até chegar a sua cor branco-dourado.

Pelo fato de possuir uma propriedade de cor mais agradável que as de baixa pressão, encontram um número maior de aplicações, sendo usadas em vias públicas, rodovias, ferrovias, estacionamentos, e todo tipo de iluminação externa, assim como interna, na indústria.

## B. Lâmpadas de descarga

| TIPO           | FLUORESCENTE   |            |           |                   |                |
|----------------|--|------------|-----------|-------------------|----------------|
| Utilização     | Instalações comerciais, escritórios, oficinas, hospitais, escolas etc.   |            |           |                   |                |
| Fluxo luminoso | eficiência   | potência   | vida útil | reprodução de cor | equipamentos   |
| 650 a 8.300 lm | 56 a 90 lm/W   | 15 a 110 W | 7.500 h   | regular/boa       | reator/starter |
| Observação     | Os acendimentos muito frequentes encurtam a vida útil da lâmpada. A eficiência energética do conjunto depende da utilização dos equipamentos auxiliares adequados e com poucas perdas. |            |           |                   |                |

| TIPO           | FLUORESCENTE COMPACTA  |          |           |                   |                |
|----------------|--|----------|-----------|-------------------|----------------|
| Utilização     | Residências, hotéis, restaurantes, teatros, luminárias de mesa, balizamentos e principalmente para substituição de lâmpadas incandescentes.  |          |           |                   |                |
| Fluxo luminoso | eficiência   | potência | vida útil | reprodução de cor | equipamentos   |
| 400 a 2.900 lm | 44 a 80 lm/W   | 7 a 26 W | 10.000 h  | muito boa         | reator/starter |
| Observação     | Podem reduzir até 80% de consumo de energia comparando-se à incandescente, mantendo o mesmo nível de iluminação, além de apresentar uma vida útil muito maior. A eficiência destas lâmpadas é similar à das lâmpadas fluorescentes comuns, porém têm a vantagem de apresentar dimensões reduzidas. |          |           |                   |                |

| TIPO              | VAPOR DE MERCÚRIO DE ALTA PRESSÃO  |            |           |                   |              |
|-------------------|--|------------|-----------|-------------------|--------------|
| Utilização        | Uso geral em grandes áreas, internas ou externas.  |            |           |                   |              |
| Fluxo luminoso    | eficiência   | potência   | vida útil | reprodução de cor | equipamentos |
| 1.800 a 22.000 lm | 40 a 55 lm/W   | 50 a 400 W | 15.000 h  | regular           | reator       |
| Observação        | Possui vida útil longa, sendo que os acionamentos constantes podem reduzir sua vida útil. Emite uma luz de cor branca azulada e apresenta pequena depreciação do fluxo luminoso durante a sua vida útil. |            |           |                   |              |

| TIPO               | VAPOR METÁLICO  |              |                  |                   |                |
|--------------------|---|--------------|------------------|-------------------|----------------|
| Utilização         | Galpões industriais, piscinas cobertas, supermercados, áreas desportivas ou para iluminação externa como fachadas, monumentos, canteiros de obra.   |              |                  |                   |                |
| Fluxo luminoso     | eficiência  | potência     | vida útil        | reprodução de cor | equipamentos   |
| 5.500 a 330.000 lm | 68 a 100 lm/W   | 70 a 3.500 W | 2.000 a 10.000 h | muito boa         | reator/ignitor |
| Observação         | São fontes de luz de alta eficiência. Alguns modelos aparecem em pequenos bulbos tubulares que possibilitam sua utilização em luminárias menores. São produzidas com contatos unilaterais ou bilaterais e bulbos de diversos formatos. Algumas versões dessas lâmpadas emitem uma grande quantidade de radiação ultravioleta, por isso devem ser instaladas em luminárias fechadas, com vidros que absorvam essa radiação. Devido sua boa reprodução de cores, são utilizadas em locais onde ocorrem filmagens ou televisionamento. |              |                  |                   |                |

| TIPO               | VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO   |              |           |                   |                |
|--------------------|--|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| Utilização         | Vias públicas, viadutos, estacionamentos, depósitos, fachadas etc.   |              |           |                   |                |
| Fluxo luminoso     | eficiência   | potência     | vida útil | reprodução de cor | equipamentos   |
| 5.600 a 125.000 lm | 80 a 140 lm/W  | 70 a 1.000 W | 15.000 h  | regular           | reator/ignitor |
| Observação         | É o tipo de lâmpada da maior eficiência luminosa entre fontes de luz policromáticas para uso generalizado. O inconveniente é a curva de distribuição espectral, pois a emissão de luz ocorre apenas em comprimentos de ondas próximos do amarelo, distorcendo parcialmente a percepção das outras cores. Por essa razão, sua aplicação é aconselhável apenas onde a distinção das cores tem menor importância e o reconhecimento dos objetos por contraste é predominante. |              |           |                   |                |

| TIPO              | LUZ MISTA  |             |           |                   |              |
|-------------------|--|-------------|-----------|-------------------|--------------|
| Utilização        | Postos de gasolina, jardins, vias públicas, indústrias.  |             |           |                   |              |
| Fluxo luminoso    | eficiência   | potência    | vida útil | reprodução de cor | equipamentos |
| 3.150 a 13.500 lm | 19 a 27 lm/W   | 160 a 500 W | 5.000 h   | regular           | nenhum       |
| Observação        | Estas lâmpadas são equipadas com bases compatíveis às lâmpadas incandescentes e não necessitam de reator, possibilitando a substituição imediata, permitindo um certo aumento da eficiência luminosa e o aproveitamento das instalações existentes. Entretanto, é preciso ter presente que as lâmpadas de luz mista são muito menos eficientes que outros tipos de lâmpadas que podem substituir as lâmpadas incandescentes. Por exemplo, possuem metade da eficiência luminosa das lâmpadas a vapor de mercúrio e apenas 25% das lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão. |             |           |                   |              |

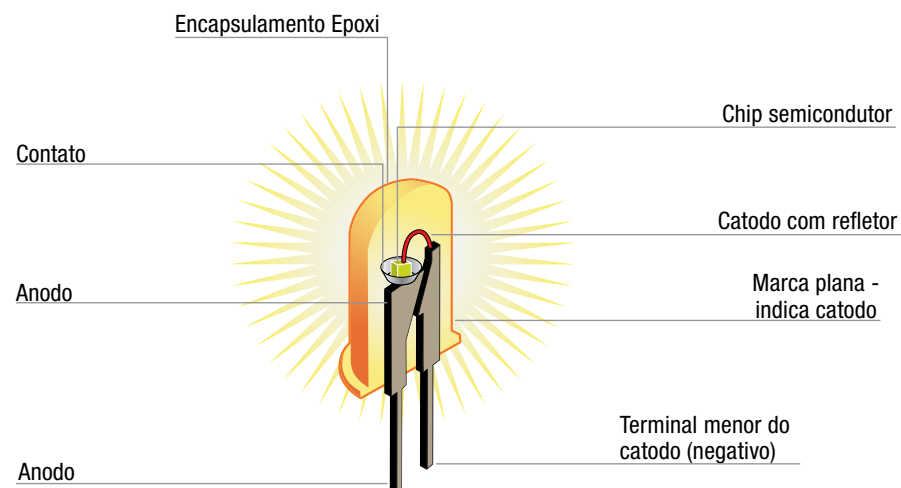
### 2.3.1.9 Lâmpadas de indução eletromagnética

São lâmpadas que apresentam um elevado fluxo luminoso, um arranque instantâneo, um excelente índice de restituição de cores, uma longa durabilidade e podem ser alimentadas em corrente contínua.

### 2.3.1.10 Diodo Emissor de Luz (LED)

O LED é um diodo semiconductor que quando energizado emite luz visível. São dispositivos semicondutores, de tecnologia similar à dos transistores e dos famosos chips, que convertem energia elétrica diretamente em energia luminosa.

O LED é monocromático, sendo a cor, portanto, dependente do cristal e da impureza de dopagem com que é fabricado. Emite luz quando os elétrons mudam de camada, — isso acontece durante a passagem da corrente elétrica, o que faz com que emita luz nessa transição. O processo foi otimizado com um arranjo similar a um refletor para melhorar o aproveitamento e a definição de um ângulo de fecho.



#### ALGUNS BENEFÍCIOS DO LED

- Baixo custo de manutenção: vida útil de 50.000 horas.
- Efeito visual máximo: possibilidade de colorir superfícies com luz, variando o aspecto de fachadas e ambientes em geral. Por ser uma fonte de luz monocromática, sem geração de ultravioleta e infravermelho, alcança uma saturação de cor e brilho maior que as opções atuais.
- Acendimento imediato: possibilita a criação de efeito tipo "flashing".
- Acendimento instantâneo (mesmo com temperaturas de até 20 °C): criação de ambientes diferenciados. A dimerização, além de economizar energia, ao contrário de outras fontes de luz, favorece o aumento da vida útil dos LEDs.
- Confiabilidade: resiste a grandes variações de temperatura e à vibração, o que garante a continuidade de operação independentemente das condições do local de uso, criando novas possibilidades para a aplicação da luz, por exemplo, a orientação do tráfego em vias públicas.
- Maior segurança: operam em baixa tensão (< 33V) e oferecem segurança para os usuários durante sua instalação e operação.

### Principais características das lâmpadas

| TIPO                   | CARACTERÍSTICAS GERAIS  |
|------------------------|---|
| Incandescente comum    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente reprodução de cores</li> <li>- Baixa eficiência luminosa</li> <li>- Vida mediana: 1.000 horas</li> <li>- Não exige equipamentos auxiliares</li> <li>- Grande variedade de formas</li> </ul>  |
| Incandescente halógena | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente reprodução de cores</li> <li>- Vida média: 2.000 horas</li> <li>- Eficiência luminosa maior que a incandescente comum</li> <li>- Exige equipamentos auxiliares dependendo da tensão</li> <li>- Vários tamanhos, inclusive com refletores</li> </ul>  |
| Fluorescente           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente a moderada reprodução de cores, dependendo do tipo</li> <li>- Boa eficiência luminosa</li> <li>- Vida mediana: 7.500 a 20.000 horas</li> <li>- Exige equipamentos auxiliares: reator e starter (partida convencional) ou só reator (partida rápida)</li> <li>- Forma tubular em vários tamanhos</li> </ul> |
| Fluorescente compacta  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa reprodução de cores</li> <li>- Boa eficiência luminosa</li> <li>- Vida mediana: 3.000 a 12.000 horas</li> <li>- Exige equipamentos auxiliares</li> <li>- Pequenas dimensões</li> </ul>   |
| Mista                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada reprodução de cores</li> <li>- Vida mediana: 8.000 horas</li> <li>- Eficiência luminosa moderada</li> <li>- Não exige equipamentos auxiliares</li> </ul>  |

| TIPO                        | CARACTERÍSTICAS GERAIS  |
|-----------------------------|---|
| Vapor de mercúrio           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderada reprodução de cores</li> <li>- Vida mediana: 8.000 horas</li> <li>- Boa eficiência luminosa</li> <li>- Exige equipamento auxiliar: reator</li> </ul>  |
| Vapor metálico              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa reprodução de cores</li> <li>- Vida mediana: 3.000 a 20.000 horas</li> <li>- Boa eficiência luminosa</li> <li>- Exige equipamento auxiliar: reator</li> </ul>  |
| Vapor de sódio alta pressão | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pobre reprodução de cores</li> <li>- Alta eficiência luminosa</li> <li>- Vida mediana: 12.000 a 55.000 horas</li> <li>- Exige equipamentos auxiliares: reator e ignitor</li> </ul>                                 |
| Indução                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa reprodução de cores</li> <li>- Alta eficiência luminosa</li> <li>- Vida mediana: 60.000 a 100.000 de horas</li> <li>- Luz confortável, sem oscilações</li> <li>- Exige equipamento auxiliar: reator</li> </ul> |
| LED                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta eficiência luminosa</li> <li>- Tamanho diminuto</li> <li>- Vida mediana: 50.000 a 100.000 horas</li> <li>- Exige equipamento auxiliar dependendo da tensão de entrada</li> </ul>                              |

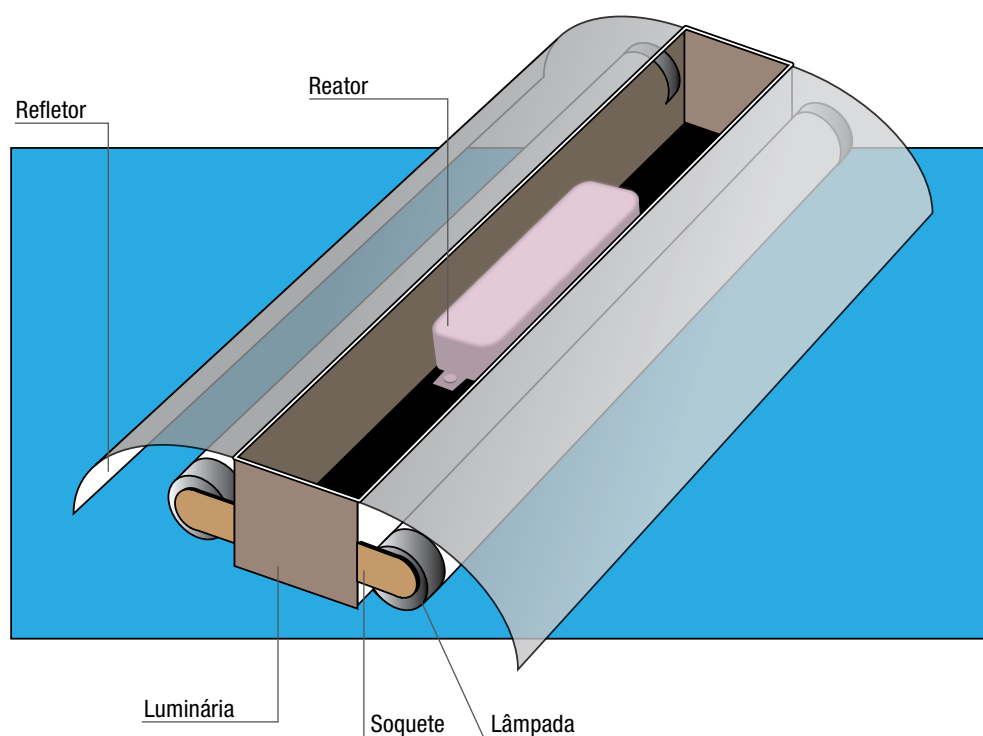


## 2.3.2 Luminárias

Uma luminária exerce três funções:

- 1ª) prover meios para a instalação da própria luminária e dos componentes elétricos;
- 2ª) manter as condições ambientais adequadas para operação dos componentes;
- 3ª) distribuir o fluxo luminoso proveniente da lâmpada.

Uma luminária eficiente é um critério importante na economia de energia e fator decisivo para os cálculos luminotécnicos. Ela maximiza o desempenho de um sistema de iluminação artificial. Existem diversos modelos, finalidades e modos de instalação de luminárias.



O valor da fração de emissão de luz depende do material que a luminária é feita, da refletância de sua superfície, de sua forma, de seu estado de conservação e dos dispositivos que protegem as lâmpadas.

### 2.3.2.1 Receptáculo para fonte luminosa

Elemento de fixação que funciona como contato elétrico entre o circuito elétrico e a lâmpada. Além da resistência à temperatura de funcionamento, deve-se verificar a estabilidade de fixação lâmpada/receptáculo quando a luminária estiver sujeita a intensas vibrações mecânicas; nessa situação, recomenda-se o uso de um soquete antivibratório.

### 2.3.2.2 Refletores

Superfície refletora que se encontra no interior da luminária e que modifica a distribuição espacial de um fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz. Essa superfície refletora permite aproveitar melhor a luz das lâmpadas, desde que estejam sempre limpas.

Os refletores mais utilizados são os circulares, parabólicos, elípticos e os de formas especiais; cada um deles possui uma utilidade específica. Podem ser feitos de vidro ou plástico espelhado, alumínio polido, chapa de aço esmaltada ou pintada de branco. Uma ótima opção é o refletor de alumínio polido, pois agrega a resistência mecânica às vantagens de alta refletância, peso reduzido e custo relativamente baixo.

### 2.3.2.3 Refratores

Os refratores modificam a distribuição do fluxo de luz de uma fonte luminosa através do fenômeno da transmitância. A principal finalidade dos refratores no caso de uma luminária é a vedação, protegendo, assim, a parte interna de chuvas, poeira, poluição etc.

### 2.3.2.4 Difusores e colmeias

Dispositivo que fecha a luminária na direção da radiação luminosa, evitando, dessa forma, que a luz das lâmpadas seja enviada diretamente para as pessoas ou os objetos. É o caso das placas de vidro fosco ou bacias de plástico, acrílico ou policarbonato das luminárias fluorescentes.

### 2.3.2.5 Carcaça, órgãos de fixação e de complementação

No caso das luminárias fluorescentes, a carcaça é o próprio refletor, constituída de placa de aço e com acabamento em tinta branca esmaltada.

Carcaças de alumínio ou plástico, devidamente estabilizadas contra radiações, são recomendáveis para ambientes úmidos.

Já as luminárias herméticas, a prova d'água ou vapor, requerem cuidados especiais com as juntas e a vedação, para que resistam às intempéries, à temperatura e ao envelhecimento.

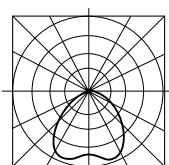
### Classificação da luminária

| CLASSIFICAÇÃO DA LUMINÁRIA | FLUXO LUMINOSO EM RELAÇÃO À HORIZONTAL (%) |            |
|----------------------------|--|------------|
|                            | Para cima                                  | Para baixo |
| Direta                     | 0 – 10                                     | 90 – 100   |
| Semidireta                 | 10 – 40                                    | 60 – 90    |
| Geral-difusa               | 40 – 60                                    | 40 – 60    |
| Direta-indireta            | 40 – 60                                    | 40 – 60    |
| Semi-indireta              | 60 – 90                                    | 10 – 40    |
| Indireta                   | 90 – 100                                   | 10 – 40    |

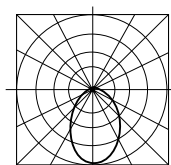
O rendimento de uma luminária é definido pela razão entre o fluxo luminoso fornecido pela luminária (direto e indireto) e o fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas. A comparação de rendimento entre duas ou mais luminárias deve ser feita com base na análise das Curvas de Distribuição Luminosa (figura da página seguinte) e dos Fatores de Utilização (ver página 67).

A curva de distribuição é a representação das intensidades luminosas proporcionadas pela luminária nas diversas direções, normalmente apresentada em gráficos de coordenadas polares.

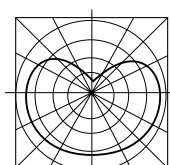
### Curvas de distribuição luminosa



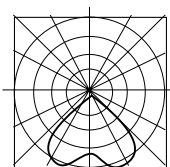
**Aplicação:** ambiente com nível médio de iluminância e necessidade de evitar reflexos (ex.: salas com terminais de vídeo).



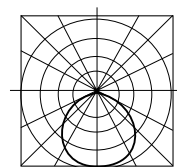
**Aplicação:** ambiente com nível médio/baixo de iluminância e pé-direito alto 4m ≤ 6m.



**Aplicação:** locais com nível baixo de iluminância.



**Aplicação:** ambiente com nível alto de iluminância e necessidade de evitar ofuscamento.

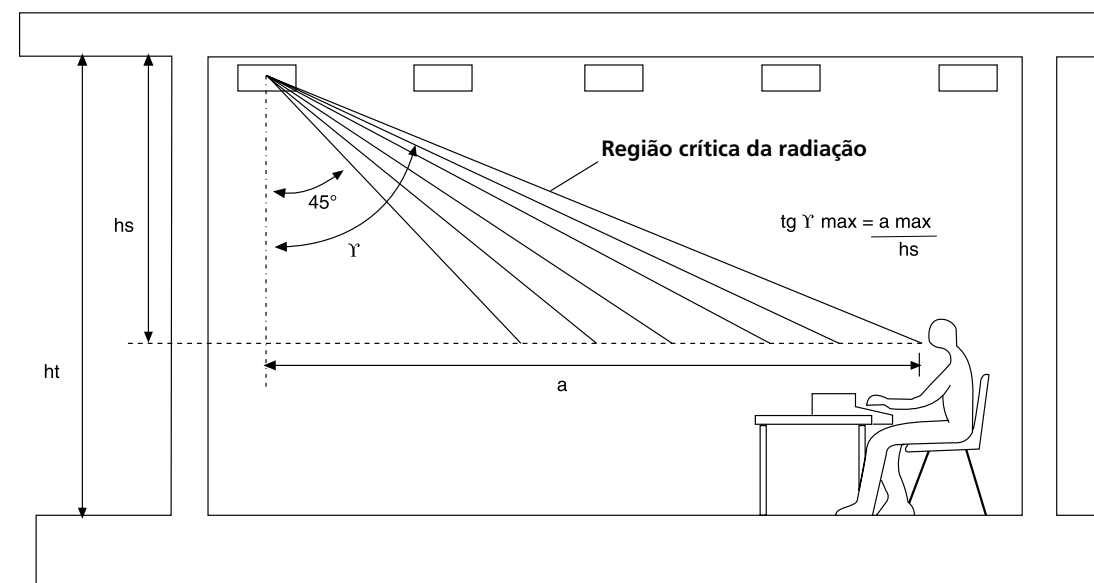


**Aplicação:** ambiente com nível médio/baixo de iluminância e pé-direito baixo.

O fator de utilização (K) é determinado pelas características do ambiente, isto é, pelas suas dimensões, e pelos fatores de reflexão ( $\rho$ ) das superfícies, que variam conforme a cor e a textura dos materiais de acabamento de tetos, paredes e pisos.

Alguns modelos de luminárias possuem elementos de controle de luz, cuja finalidade é dirigir a luz para as áreas desejadas, distribuindo-a melhor e reduzindo o efeito de ofuscamento. Esse ofuscamento ocorre quando a luz atinge o campo visual em um ângulo superior a 45 graus, tomado a partir da vertical do centro ótico da luminária, conforme a figura a seguir.

### Ofuscamento



Entre os materiais habitualmente utilizados como elementos de controle de luz, os espelhos de alumínio polido são os mais indicados devido ao seu alto grau de maleabilidade e elevado índice de reflexão. A forma dos espelhos refletores depende exclusivamente das direções em que se deseja obter maior intensidade de luz.

Outro efeito prejudicial à realização de tarefas, muito comum, é a reflexão das luminárias em telas de vídeo, o que pode ser reduzido com a utilização dos mais diferentes tipos de louveres, difusores e lamelas.

A manutenção das instalações também influi no nível de iluminação, pois a poeira e sujeira acumuladas nas lâmpadas e luminárias podem diminuir o fluxo emitido pelas lâmpadas, reduzindo assim o rendimento do conjunto em até 50%. Essa perda de rendimento pode variar de acordo com o tipo de acabamento do material, o ângulo de inclinação, a ventilação e a frequência da limpeza.

### Classificação das luminárias

| TIPO                              | CARACTERÍSTICAS GERAIS  |
|-----------------------------------|---|
| Embutidas                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Normalmente, são usadas com lâmpadas incandescentes comuns.</li> <li>- Apresentam baixo rendimento.</li> <li>- Apresentam problemas com superaquecimento.</li> <li>- Difícil manutenção.</li> </ul>  |
| Fechadas (lâmpadas fluorescentes) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- São encontradas com vários tipos de elementos de controle de luz (refletores espelhados com proteção visual, difusor prismático etc.).</li> <li>- Rendimento moderado dependendo do tipo de elemento de controle de luz.</li> <li>- Podem ser fixadas na superfície do teto e/ou embutidas.</li> <li>- Difícil manutenção.</li> </ul> <p>- As que dispõem de refletores sem elementos de controle de luz apresentam melhor rendimento.</p> |
| Abertas                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Podem ser encontradas com ou sem elementos de controle de luz.</li> <li>- Apresentam rendimento superior ao das luminárias fechadas.</li> <li>- Fácil manutenção.</li> <li>- Podem ser suspensas ou fixadas na superfície do teto.</li> </ul>  |
| Spots                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- São utilizados com vários tipos de lâmpadas incandescentes refletoras ou coloridas.</li> <li>- Utilizados para iluminação direcional do fluxo luminoso.</li> <li>- Fácil manutenção.</li> <li>- Podem ser fixados nas superfícies ou embutidos.</li> </ul>   |
| Projetores                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Encontrados em vários tamanhos.</li> <li>- Apresentam bom rendimento luminoso.</li> <li>- São fixados nas superfícies ou suspensos.</li> </ul> <p>- Podem ser usados com lâmpadas incandescentes comuns ou até com lâmpadas a vapor de sódio.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fácil manutenção.</li> </ul>  |

O primeiro ponto a ser analisado é que nem sempre a solução com custo inicial mais baixo é a mais econômica, se considerarmos o custo de operação durante toda a vida útil do equipamento. Inicialmente, deve-se optar por reatores que apresentem as menores perdas. As tabelas a seguir indicam os valores de perda (fornecidos pelos fabricantes) para reatores eletromagnéticos disponíveis atualmente no mercado.

#### Reatores para lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão

| POTÊNCIA NOMINAL DA LÂMPADA (W) | PERDAS (W) | POTÊNCIA DO SISTEMA (W) |
|---------------------------------|------------|-------------------------|
| 35                              | 11         | 46                      |
| 50                              | 12         | 62                      |
| 70                              | 15         | 85                      |
| 150                             | 26         | 176                     |
| 250                             | 27         | 267                     |
| 400                             | 54         | 450                     |
| 1.000                           | 111        | 1.111                   |

#### Reatores para lâmpadas a vapor de mercúrio

| POTÊNCIA NOMINAL DA LÂMPADA (W) | PERDAS (W) | POTÊNCIA DO SISTEMA (W) |
|---------------------------------|------------|-------------------------|
| 80                              | 10,9       | 90,9                    |
| 125                             | 25,5       | 140,4                   |
| 250                             | 27,7       | 277,7                   |
| 400                             | 39,5       | 439,5                   |
| 700                             | 52,6       | 752,6                   |
| 1.000                           | 75,2       | 1075,2                  |
| 2.000                           | 105,2      | 2105,2                  |

### 2.3.3 Reatores

São dispositivos utilizados para a operação adequada das lâmpadas de descarga, cuja função é limitar a corrente e fornecer as condições necessárias para a partida. Como cada tipo de lâmpada demanda uma corrente diferente, para cada uma é necessário um tipo específico de reator. Assim, ao definir o tipo de lâmpada a ser usado, estabelecemos os parâmetros para a escolha do reator mais adequado. A questão que se coloca a partir daí é como escolher um conjunto reator-lâmpada que seja eficiente do ponto de vista energético.

## Reatores para lâmpadas fluorescentes

| POTÊNCIA NOMINAL DA LÂMPADA (W) | PERDAS (W) | POTÊNCIA DO SISTEMA (W) |
|---------------------------------|------------|-------------------------|
| 1x5                             | 3.0        | 8.0                     |
| 1x5                             | 4.5        | 9.5                     |
| 1x7                             | 3.5        | 10.5                    |
| 1x7                             | 5.5        | 12.5                    |
| 1x9                             | 3.0        | 12.0                    |
| 1x9                             | 5.0        | 14.0                    |
| 1x11                            | 4.5        | 15.5                    |
| 1x13                            | 4.0        | 17.0                    |
| 1x16                            | 13.0       | 29.0                    |
| 1x20                            | 14.0       | 34.0                    |
| 1x40                            | 16.0       | 56.0                    |
| 1x16                            | 15.0       | 31.0                    |
| 1x20                            | 15.0       | 35.0                    |
| 1x32                            | 15.0       | 47.0                    |
| 1x40                            | 16.0       | 56.0                    |
| 2x16                            | 17.0       | 49.0                    |
| 2x20                            | 18.0       | 58.0                    |
| 2x32                            | 19.0       | 83.5                    |
| 2x40                            | 20.0       | 100.0                   |
| 2x16                            | 18.5       | 50.0                    |
| 2x20                            | 18.0       | 58.0                    |
| 2x32                            | 22.0       | 86.0                    |
| 2x40                            | 19.0       | 99.0                    |
| 1x110                           | 32.0       | 142.0                   |
| 1x110                           | 37.0       | 147.0                   |
| 2x110                           | 43.0       | 263.0                   |
| 2x110                           | 46.0       | 266.0                   |

Os reatores podem ser classificados conforme suas características básicas de funcionamento; os encontrados atualmente no mercado são divididos em eletromagnéticos e eletrônicos.

Os reatores eletromagnéticos são classificados em:

- reatores de alto fator de potência;
- reatores de baixo fator de potência;
- reatores de partida rápida;
- reatores de partida convencional (com starter).

Esses reatores possuem, por suas próprias características construtivas, um fator de potência que é necessariamente baixo, da ordem de 0,35 a 0,50. Isso, sem dúvida, pode prejudicar e sobrecarregar o sistema de alimentação. Para minimizar essa situação, utilizam-se os reatores com fator de potência mais alto, ou então recorre-se à instalação de capacitores que contrabalançam o efeito indutivo que os reatores causam.

Reatores de baixo fator de potência consomem, em termos de potência aparente, o mesmo valor que os de alto fator de potência. A escolha entre utilizar reatores de alto ou baixo fator de potência deve ser feita com base em um estudo de custo-benefício, comparando as vantagens de uso de ambos, mas com compensação em grupo (capacitores na rede).

Os reatores de partida convencional e de partida rápida apresentam uma diferença importante no que se refere ao consumo de energia. Os de partida rápida não necessitam de starters, possibilitam um acendimento praticamente instantâ-

neo e mantêm as lâmpadas livres de cintilamento. Porém, é importante considerar que, além de consumirem uma potência final maior, esses reatores ainda utilizam uma parcela dessa potência para manter o filamento da lâmpada aquecido, até quando a lâmpada está desligada.

Atualmente, existem no mercado lâmpadas que, mesmo operando com reatores de partida rápida, desligam os filamentos após a partida, permitindo dessa forma o mesmo consumo que os reatores de partida convencional. A melhoria da qualidade dos reatores levou ao desenvolvimento de tecnologias para reatores de partida eletrônica e, mais recentemente, para reatores eletrônicos.

Os reatores de partida eletrônica são iguais aos convencionais, porém, no lugar do starter, usam um circuito eletrônico, e podem ser utilizados apenas em lâmpadas fluorescentes.

Os reatores eletrônicos apresentam perdas reduzidas, maior eficiência energética, fator de potência elevado – em torno de 0,95 – e operam em frequências entre 20 e 100 kHz, faixas em que as lâmpadas apresentam eficiência luminosa máxima.

### Reatores eletrônicos

|    | POTÊNCIA DA LÂMPADA (W) | PERDA NO REATOR (W) | POTÊNCIA DO SISTEMA (W) |
|----|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1x | 16                      | 5 a 8               | 20 a 23                 |
|    | 18                      |                     | 20 a 23                 |
|    | 20                      |                     | 22 a 25                 |
|    | 32                      |                     | 33 a 38                 |
|    | 36                      |                     | 37 a 40                 |
|    | 40                      |                     | 43 a 46                 |
|    | 50                      |                     | 55 a 58                 |
|    | 58                      |                     | 55 a 60                 |
| 2x | 16                      | 7 a 10              | 38 a 42                 |
|    | 18                      |                     | 38 a 42                 |
|    | 20                      |                     | 40 a 45                 |
|    | 32                      |                     | 65 a 70                 |
|    | 36                      |                     | 70 a 75                 |
|    | 40                      |                     | 85 a 90                 |
|    | 50                      |                     | 108 a 112               |
|    | 58                      |                     | 108 a 112               |

Os reatores eletrônicos permitem que as lâmpadas fluorescentes operem com potências diferentes da sua potência nominal. Por exemplo, a lâmpada de 32 W pode operar com 29 W de potência, emitindo a mesma quantidade de luz como se estivesse operando com 32 W com reator eletromagnético. Os reatores eletrônicos, em função da alta frequência, aumentam a eficiência das lâmpadas em cerca de 10%. Nesse sentido, o reator eletrônico apresenta grandes vantagens, entre as quais se destacam:

- aumento da vida útil em até 50% por operarem em altas frequências;
- evita o efeito estroboscópico;
- não produz ruído, pois sua frequência está acima da faixa de audição humana;
- reduz o aquecimento do ambiente, pois possui menores perdas;
- alto fator de potência;
- possibilidade de dimmerização;
- economia de até 70% de energia consumida pelo reator.

É evidente que esses benefícios têm reflexo direto no custo do equipamento, mas uma análise simples dos custos de operação de um sistema de iluminação pode comprovar que o uso de reatores eletrônicos é atualmente uma ótima solução energética.

## 2.3.4 Equipamentos auxiliares

### 2.3.4.1 Ignitores

Os ignitores proporcionam impulso de alta tensão para lâmpadas de sódio de alta pressão, metálico e de multivapor metálico para provocar a sua descarga inicial. Por essa razão, os disjuntores de proteção da rede devem ser do tipo retardado para suportar a corrente necessária para a partida da lâmpada. Após a partida, o ignitor desliga-se automaticamente.

### 2.3.4.2 Sensor de presença

É um comando inteligente que se destina ao acionamento de cargas temporárias. Ele assegura que as luzes fiquem apagadas enquanto o recinto estiver desocupado. O sensor de presença detecta o movimento de fontes de calor como pessoas e carros, através de um sensor infravermelho, acionando e desligando a carga após a ausência de calor, de acordo com o tempo programado. É um instrumento importante para a economia de energia.

Existem no mercado três tipos de tecnologias disponíveis:

- infravermelho: sensível a fontes de calor (corpo humano);
- ultrassom: emite ondas que são rebatidas de volta ao receptor do sensor que aciona a iluminação;
- dual: é a combinação das duas tecnologias anteriores em um só equipamento.

Um ponto importante a ser considerado quando se opta pela instalação desses sistemas de controle é que não é aconselhável utilizá-los para acionar lâmpadas fluorescentes tubulares ou compactas. Isso porque há uma drástica redução da vida útil das lâmpadas quando submetidas a um regime intenso de acendimentos e desligamentos.

### 2.3.4.3 Sistema por controle fotoelétrico

Este sistema possui sensores que identificam a luz natural, fazendo o bloqueio ou diminuição da luz artificial através de dimmers controlados automaticamente. Quanto maior a incidência de luz natural, menor será a utilização de luz artificial.

#### 2.3.4.4 Minuterias

Este é um dispositivo elétrico que permite manter acesas as lâmpadas de ambientes por um período de tempo determinado, suficiente para o usuário chegar ao seu destino. O uso de minuterias é comum para comandar lâmpadas de ambientes de acesso comum como corredores de andares de prédios, antessalas, garagens etc.

#### 2.3.4.5 Dimmers

Controlam, através de um circuito eletrônico, a potência fornecida à lâmpada. Este aparelho é destinado ao controle de lâmpadas incandescentes. Alguns reatores incorporam a função do dimmer, permitindo o controle contínuo da luminosidade em lâmpadas fluorescentes. Alguns modelos de lâmpadas fluorescentes compactas também permitem a utilização do dimmer.

Pode ser utilizado em lâmpadas incandescentes e dicróicas (que não utilizam transformador não dimerizável).

#### 2.3.4.6 Sistemas de controle de luz

Sensor de luz instalado em luminárias para controlar o nível de iluminação, ligado diretamente no sistema de iluminação, lâmpadas e modelos de reatores eletrônicos dimerizáveis HF-R.

#### 2.3.5 Circuitos

A divisão dos circuitos de iluminação é um recurso que pode ser utilizado para a redução do consumo de energia e para a melhoria de desempenho dos sistemas de iluminação.

Em diversas edificações, em particular nos edifícios de escritórios, verifica-se em muitos casos que o andar inteiro é servido por apenas um circuito, o que causa grande desperdício, pois todas as luzes do ambiente são acesas quando se quer iluminar apenas um posto de trabalho. Para evitar esse tipo de problema, o mais indicado é dividir os circuitos por área ou conforme o tipo de tarefas desenvolvidas, que, caso possuam requisitos específicos iguais quanto à iluminação, devem ser agrupadas fisicamente e atendidas por circuitos independentes.

Outro ponto importante na divisão dos circuitos diz respeito à separação daqueles que servem áreas de circulação e áreas de trabalho. Mesmo nos espaços abertos, as áreas de circulação apresentam necessidades de iluminação e características de operação diferentes, normalmente com necessidades de iluminação menores do que as áreas de trabalho.

A divisão por circuito pode permitir também o funcionamento de apenas uma parte das luminárias com o objetivo de reduzir o consumo de energia no horário da limpeza, normalmente, duas ou três horas após o expediente, período em que não é exigido um alto nível de iluminamento.

Para integrar o sistema de iluminação artificial à iluminação natural é indispensável fazer a divisão dos circuitos de forma que as luminárias próximas às janelas possam ser desligadas quando houver luz natural suficiente.



Nos edifícios modernos, estão sendo introduzidos sistemas automáticos de operação do sistema de iluminação, tais como sensores de presença e sensores fotoelétricos que, sob condições estabelecidas pelo projetista, ligam ou desligam as luzes. Neste caso, é necessário que a divisão dos circuitos seja feita considerando-se a priori que existirá tal tipo de controle, pois sua presença impõe soluções específicas que não se aplicam em sistemas operados manualmente. Em geral, as empresas que fornecem tais equipamentos estão capacitadas a orientar a definição desses circuitos.

### 2.3.6 Superfícies internas e mobiliário

A decoração dos ambientes e os revestimentos de teto, piso e paredes têm uma grande interferência no resultado da iluminação de um determinado ambiente. Quando compostos por materiais com altos coeficientes de reflexão e cores claras, reduzem as perdas e o consumo de energia, tornando o ambiente mais agradável e o sistema mais eficiente.

## 2.4 Cálculo da iluminação artificial interna

Na elaboração de um projeto de iluminação artificial interna, deve-se atender a alguns requisitos:

- obter nível de iluminação adequado em função das características de utilização do ambiente e de acordo com as normas técnicas que recomendam os níveis de iluminação;
- garantir uma iluminação uniforme dos planos de trabalho, evitando grandes diferenças de luminâncias dentro do campo visual, que podem causar ofuscamento e impressão de mal-estar;
- oferecer uma correta reprodução de cores dos objetos e ambientes iluminados;
- utilizar equipamentos energeticamente eficientes;
- adaptar o sistema de iluminação às características estéticas do local.

Os processos mais utilizados para o cálculo da iluminação artificial interna partem do princípio que existe um nível ideal de iluminação para cada tipo de tarefa, que pode ser calculado levando-se em conta o iluminamento médio geral, que a somatória das fontes de luz produz no ambiente (método da luminância média geral), ou levando-se em conta a contribuição das diversas fontes de luz para um determinado ponto no ambiente (método ponto a ponto).

## 2.4.1 Método da iluminância média geral

A iluminação de interiores é normalmente calculada para o plano de trabalho, isto é, um plano imaginário com altura entre 0,75 m e 0,85 m, medido a partir do piso.

O primeiro passo é fixar o valor da iluminância média (E) em função do tipo de tarefa visual a ser exercida no ambiente. Por exemplo, 500 lux. Em seguida, calcula-se o valor do índice do recinto (K), que varia em função das dimensões do recinto.

$$K = \frac{a \times b}{h \times (a + b)}$$

em que:

a = largura do ambiente

b = comprimento do ambiente

h = distância entre luminária e plano de trabalho

Com base no índice de reflexão e no índice do recinto, apresentados em uma mesma tabela pelos fabricantes, define-se o fator de utilização ( $\eta$ ) da luminária para o ambiente em questão, exemplificado na tabela a seguir.

## Fator de utilização de uma luminária

| K    | 751  | 731  | 711  | 551  | 531  | 511  | 331  | 311  | 000  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,60 | 0,27 | 0,24 | 0,21 | 0,26 | 0,23 | 0,21 | 0,23 | 0,21 | 0,20 |
| 0,80 | 0,32 | 0,28 | 0,26 | 0,31 | 0,28 | 0,26 | 0,28 | 0,26 | 0,25 |
| 1,00 | 0,35 | 0,32 | 0,30 | 0,35 | 0,32 | 0,30 | 0,32 | 0,30 | 0,29 |
| 1,25 | 0,39 | 0,36 | 0,34 | 0,38 | 0,36 | 0,34 | 0,35 | 0,33 | 0,32 |
| 1,50 | 0,41 | 0,39 | 0,37 | 0,40 | 0,38 | 0,36 | 0,38 | 0,36 | 0,35 |
| 2,00 | 0,45 | 0,42 | 0,41 | 0,44 | 0,42 | 0,40 | 0,41 | 0,40 | 0,39 |
| 2,50 | 0,47 | 0,45 | 0,43 | 0,46 | 0,44 | 0,43 | 0,44 | 0,42 | 0,41 |
| 3,00 | 0,48 | 0,46 | 0,45 | 0,47 | 0,46 | 0,45 | 0,45 | 0,44 | 0,43 |
| 4,00 | 0,49 | 0,48 | 0,47 | 0,48 | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,46 | 0,45 |
| 5,00 | 0,50 | 0,49 | 0,48 | 0,49 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,47 | 0,46 |

O índice de reflexão de teto, paredes e piso é geralmente apresentado na tabela dos catálogos dos fabricantes das luminárias por três Algarismos que se baseiam nas cores e nos tipos de materiais utilizados para os revestimentos. Por exemplo, para 551, temos:

- fator de reflexão do teto = 0,5 (50%)
- fator de reflexão das paredes = 0,5 (50%)
- fator de reflexão do piso = 0,1 (10%)

Calcula-se então, o fluxo total necessário com a seguinte fórmula:

$$\Phi = \frac{E \times A}{\eta \times d}$$

em que:

$\Phi$  = fluxo luminoso total necessário

E = valor da iluminância média (iluminamento desejado)

A = área do local

$\eta$  = fator de utilização da luminária

d = depreciação (alguns fabricantes indicam um valor de 0,85 considerando o período de manutenção de 5.000 h e ambiente normal)

A próxima providência é a escolha dos demais equipamentos (lâmpada, reatores etc.), levando em conta suas características de eficiência.

A partir do fluxo total necessário e do fluxo emitido pela lâmpada escolhida, é fácil calcular a quantidade de luminárias necessárias para proporcionar o iluminamento desejado.

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_L \times \eta}$$

em que:

N = número de luminárias necessárias

$\Phi$  = fluxo total necessário

L = fluxo emitido por lâmpada

$\eta$  = número de lâmpadas por luminária

Vejam um exemplo de cálculo.

Admitindo que se queira saber quantas luminárias com duas lâmpadas serão necessárias num escritório com 19 metros de comprimento por 10 metros de largura e 3 metros de pé-direito, o raciocínio a ser feito é o seguinte:

#### a) Escolha do nível de iluminação (E)

A primeira providência será a de escolher o valor da iluminância média em função do tipo de atividade visual a ser exercida no local. Considerando que o valor de 500 lux seja escolhido, conforme a tabela a seguir.

|   |                    |
|---|--------------------|
| Mínimo para o ambiente de trabalho  | 150 lux            |
| Tarefas visuais simples e variadas (trabalho bruto)                             | 500 – 250 lux      |
| Observações contínuas de detalhes médios e finos (trabalho normal)              | 1.000 – 500 lux    |
| Tarefas visuais contínuas e precisas (trabalho fino, por exemplo, desenho)      | 2.000 – 1.000 lux  |
| Trabalho muito fino (geralmente iluminação local, exemplo, conserto de relógio) | acima de 2.000 lux |

#### b) Fator do local (K)

A segunda providência será calcular o fator do local, que depende das dimensões do recinto.

$$K = \frac{a \times b}{h \times (a+b)}$$

em que:

a = largura do ambiente (10 m)

b = comprimento do ambiente (19 m)

h = distância entre luminária e plano de trabalho 2,2 m (3,0 – 0,8), pressupondo o plano de trabalho a 0,80 m do piso.

Portanto:

$$K = \frac{10 \times 19}{2,2 \times (10+19)} = 2,98$$

**c) Fator de utilização ( $\eta$ )**

Para determinar o valor do fator de utilização da luminária, tipo duas lâmpadas, conforme a tabela com os fatores de utilização de uma luminária, vamos admitir para K um valor mais próximo do calculado no item anterior ( $K = 3$ ) e avaliar as reflexões médias do teto e das paredes.

Considere que o local tenha teto e paredes claras e piso escuro. O primeiro algarismo representa a reflexão do teto, o segundo algarismo representa a reflexão da parede e o terceiro algarismo representa a reflexão do piso. Assim:

|                  |                  |
|------------------|------------------|
| branco = 7 (70%) | médio = 3 (30%)  |
| claro = 5 (50%)  | escuro = 1 (10%) |

Logo, para 551 e  $K = 3$ , obtém-se  $\eta = 0,47$  (conforme a tabela com os fatores de utilização de uma luminária).

**d) É possível determinar o fluxo total ( $\Phi$ ) pela fórmula:**

$$\Phi = \frac{E \times A}{\eta \times d}$$

em que:

$\Phi$  = fluxo luminoso total necessário da lâmpada

$E = 500$  lux (iluminamento desejado)

$A = 19 \times 10 = 190$  m<sup>2</sup> (área do local)

$\eta$  = fator de utilização da luminária = 0,47 (conforme tabela com os fatores de utilização de uma luminária)

$d$  = fator de depreciação = 0,80 ou conforme tabela abaixo.

**e) Fator de depreciação (d)**

Com o tempo, paredes e tetos ficarão sujos.

Os equipamentos de iluminação acumularão poeira, e as lâmpadas fornecerão menor quantidade de luz. Alguns desses fatores podem ser eliminados por meio da manutenção. Na prática, para amenizarmos o efeito desses fatores, admitindo-se uma boa manutenção a cada seis meses, podemos adotar os seguintes valores:

| AMBIENTE | D   |
|----------|-----|
| Limpo    | 0,9 |
| Médio    | 0,8 |
| Sujo     | 0,6 |

Portanto:

$$\Phi = \frac{500 \times 190}{0,47 \times 0,80} = 252.659 \text{ lúmens}$$

Sabendo que cada lâmpada fluorescente de 65 W fornece aproximadamente 4.000 lúmens (dado fornecido pelo catálogo do fabricante), então, cada luminária fornece 8.000 lúmens. Assim, conclui-se que a quantidade necessária é de:

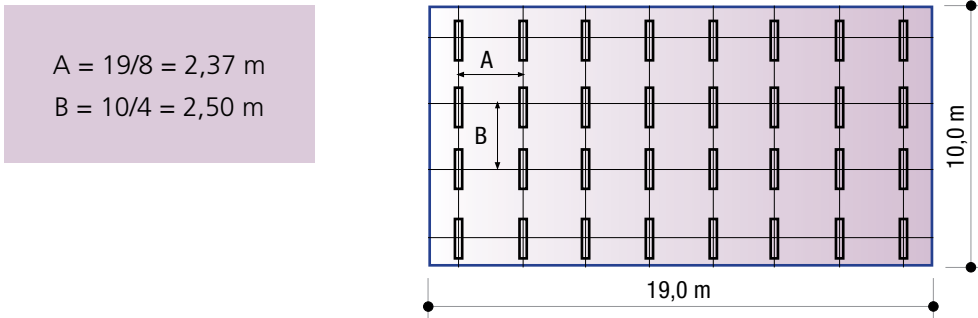
$$N = \frac{\Phi}{\Phi_L \times n} \quad N = \frac{252.659}{4.000 \times 2} = 31,58$$

N = 32 luminárias

**f) Distribuição das luminárias**

O espaçamento entre as luminárias depende da altura do plano de trabalho (altura útil) e da distribuição de luz. Esse valor situa-se, geralmente, entre 1 a 1,5 vez a altura útil, em ambas as direções. O espaçamento até as paredes deverá corresponder à metade desse valor.

No nosso exemplo, as 32 luminárias poderão ser distribuídas do seguinte modo:



Mas, além da solução aqui apresentada, outras distribuições que tenham A e B menores que 3,3 metros (1,5 altura útil) também são aceitáveis.

### 2.4.2 Método do iluminamento verificado ponto a ponto

Para se fazer o cálculo do iluminamento produzido por uma fonte de luz em um ponto determinado, aplica-se a seguinte fórmula:

$$E = \frac{I \times \cos^3 \alpha}{h^2}$$

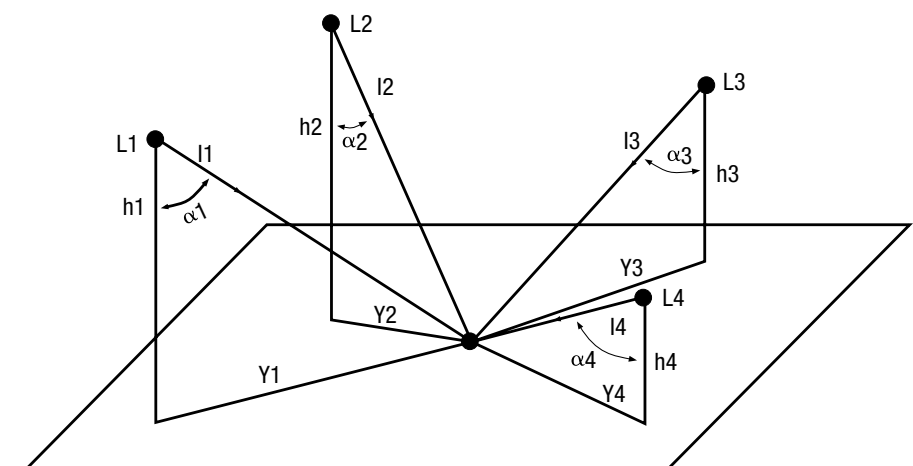
em que:

E = iluminamento no ponto

I = intensidade luminosa no ângulo = ângulo vertical (vide  $\alpha_1, \alpha_2$ , na figura abaixo )

h = distância entre luminária e plano de trabalho

#### Iluminamento promovido simultaneamente por várias fontes puntiformes sobre um ponto de um plano horizontal



Para os ambientes com mais de uma fonte de luz para o iluminamento do ponto, deve-se repetir o cálculo para cada fonte de luz, e o resultado é obtido pela soma-tória da contribuição de cada uma das fontes.

Dessa forma, pode-se calcular a incidência em qualquer ponto do ambiente e, a partir dos resultados, redistribuir as luminárias de maneira a tornar o sistema mais eficiente e reduzir o consumo de energia.



## 3. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

### Recomendações

- A tensão de operação deve ser compatível com a tensão de rede da concessionária. Se a tensão da rede estiver acima da nominal, haverá maior emissão de luz e maior consumo de energia, o que encurtará a vida útil das lâmpadas. Se a tensão estiver abaixo da nominal, haverá menor emissão de luz, o que aumentará a necessidade de número de pontos de luz instalados para recuperar a perda.
- Lâmpadas embutidas no teto ou em luminárias do tipo spot sem refletor constituem uma péssima solução, pois, além de provocar perda de luz, produzem um aquecimento excessivo do conjunto, causando falha prematura de funcionamento e reduzindo a eficiência. Nesses casos, devem ser utilizadas sempre lâmpadas refletoras e, se a luminária for de corpo profundo, lâmpadas com refletores.
- Quando for necessária uma iluminação dirigida sobre o plano de trabalho, devem ser utilizadas lâmpadas refletoras a fim de se obter um maior rendimento do sistema de iluminação.
- Não devem ser utilizadas lâmpadas incandescentes de bulbo fosco ou leitoso dentro de globos translúcidos, pois isso reduz em cerca de 40% o fluxo emitido. Nesse caso, devem ser utilizadas lâmpadas transparentes.

- Devem-se utilizar lâmpadas de bulbo leitoso apenas quando houver problemas de ofuscamento.
- Deve-se sempre verificar a possibilidade de substituir as lâmpadas por outras de menor potência, mais eficientes, de maior durabilidade e que produzam a mesma quantidade luminosa.
- A vida útil das lâmpadas de descarga pode ser aumentada ao se reduzir o número de vezes que são acesas ou apagadas, pois isso desgasta o material ativo dos eletrodos no momento da ignição, além de submeter a lâmpada às variações de temperatura e pressões internas.
- Onde for possível, deve-se usar uma única lâmpada de maior potência, pois, geralmente, lâmpadas do mesmo tipo, de maior potência, são mais eficientes.
- Os reatores devem ser compatíveis com as lâmpadas utilizadas. Deve-se observar também a tensão de alimentação do local, pois uma mesma lâmpada pode receber reatores diferentes se operar em 220V ou 127V. Para se saber qual conjunto reator-lâmpadas será o mais eficiente sob o ponto de vista da conservação de energia, algumas alternativas devem ser analisadas. Normalmente, a alternativa com menor custo inicial nem sempre é a solução mais econômica, considerando-se o custo de operação. O melhor é escolher um conjunto que apresente o menor consumo de energia possível durante sua vida útil e que tenha maior rendimento, isto é, menores perdas.
- Quanto ao projeto de iluminação, ele deve ser compatível com as necessidades do local a ser iluminado.
- A luminária escolhida deve apresentar a curva de distribuição mais adequada ao seu caso particular e fator de utilização mais alto.
- A manutenção do conjunto de iluminação deve ser periódica para se evitar o acúmulo de sujeira e poeira, pois isso diminui o fluxo emitido e reduz o rendimento do conjunto de iluminação.
- Os elementos de controle de luz mal projetados em um determinado ambiente ou luminária diminuem a quantidade de luz emitida, aumentam o consumo de energia e tornam o conjunto menos eficiente.
- A fim de tornar o projeto de iluminação artificial mais eficiente, deve-se considerar a parcela de luz natural que entra em um ambiente e distribuir os circuitos paralelamente ao sentido das janelas, para que as luminárias possam ser desligadas quando houver luz natural suficiente.
- Quando o ambiente apresenta necessidades de diferentes níveis de iluminação, deve-se combinar a iluminação geral com a localizada, reduzindo o consumo geral de energia.
- Deve-se sempre estudar a possibilidade de substituir lâmpadas por outras de maior luminosidade, sem alterar a iluminação adequada para o local.
- A luz natural deve ser utilizada ao máximo.
- É importante seguir as normas NBR5413, Iluminância de Interiores, para a iluminação de cada ambiente.
- Considerar o emprego de lâmpadas e luminárias que proporcionem conforto visual com mínima carga térmica ambiental.
- Dar prioridade à utilização de luminárias sem difusores.



- Deve-se usar sensores de presença em ambientes com menor circulação de pessoas.
- As luminárias espelhadas para lâmpadas fluorescentes são altamente eficientes, possibilitam cerca de 70% de diminuição no número de lâmpadas e geram grande economia de energia.
- Manter o ambiente limpo (paredes, tetos e pisos) e utilizar cores claras, pois elas refletem melhor a luz.
- Se o uso de divisórias não puder ser evitado, escolher divisórias baixas para reduzir a absorção de luz e permitir que ela alcance áreas adjacentes.
- Verificar a possibilidade de rebaixar luminárias em ambientes de pé-direito muito alto.
- Utilizar mobília de cor clara, de preferência sem superfície brilhante ou que não proporcione reflexão indesejada.
- Dar preferência a ambientes claros, porque absorvem pouca luz e a iluminação sobre o plano de trabalho é melhor.
- Oscilações excessivas na rede elétrica podem ocasionar redução na vida média da lâmpada.
- No momento da aquisição de um novo aparelho de iluminação, deve-se exigir o Selo Procel de Economia de Energia, dando preferência aos mais econômicos.