

Capítulo III

Métodos de cálculo luminotécnico

Por Juliana Iwashita Kawasaki*

Para a elaboração de projetos luminotécnicos, é importante a utilização de algum método de cálculo para definição da quantidade de luminárias e equipamentos necessários para que um determinado ambiente tenha a iluminância adequada.

Os métodos de cálculo mais usuais são o método dos lúmens, definido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) e o método ponto a ponto, que se baseia na Lei de Lambert, que define que a iluminância é inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto iluminado ao foco luminoso.

O método dos lúmens geralmente é o mais utilizado, pois considera a quantidade total de fluxo luminoso necessária para determinado ambiente, baseada no tipo de atividade desenvolvida, nas refletâncias das superfícies (teto, paredes e piso) e nos tipos de equipamentos (luminárias, lâmpadas e equipamentos) escolhidos. Este método considera ambientes retangulares, superfícies de reflexão difusa, um tipo único de luminária e leva em conta a sua distribuição uniforme.

O método ponto a ponto, também chamado de “método das intensidades luminosas”, é utilizado quando as dimensões da fonte luminosa são muito pequenas em relação à distância do plano que deve ser iluminado. É utilizado para fontes pontuais, como lâmpadas halógenas tipo dicrônicas e PAR. Por este método, é possível determinar a iluminância

em qualquer ponto das superfícies por meio de cálculos trigonométricos considerando as fontes luminosas existentes no ambiente. A iluminância total pelo método ponto a ponto é a soma das iluminâncias advindas de cada fonte luminosa, cujo fecho atinge o ponto considerado.

Ambos os métodos serão apresentados a seguir e podem ser calculados de forma manual, porém, com a atual facilidade de acesso a computadores e existência de diversos softwares específicos de cálculo luminotécnico, quase não se fazem cálculos manuais. Com isso, os softwares acabam fazendo cálculos mais complexos e com algoritmos que levam em consideração mais variáveis, como mais de um tipo de luminária, diferentes refletâncias das superfícies e ambientes não retangulares.

A seguir, é apresentado o passo a passo do método dos lúmens e do método ponto a ponto, assim como exemplos de aplicação.

Método dos lúmens

O método dos lúmens é o método mais simples de cálculo e fornece um resultado numérico único da iluminância a ser obtida no ambiente em função dos equipamentos especificados e das características do ambiente ou da quantidade necessária de equipamentos em função da iluminância desejada.

Para início dos cálculos é necessário o

levantamento das características da instalação:

- Características construtivas da instalação – dimensões dos ambientes e classificação de acordo com uso para determinação da iluminância requerida conforme a norma ABNT NBR 5413.
- Refletâncias das superfícies – teto, paredes, piso.
- Frequência de manutenção e condições de limpeza do ambiente – para estimar o fator de manutenção (FM) ou fator de perdas luminosas (FPL).

Etapa 1 – Cálculo do Índice do local (K)

O Índice do local (K) é uma relação definida entre as dimensões (em metros) do local. É definida pelas fórmulas:

Iluminação direta:

$$K = \frac{c \times l}{h \times (c + l)}$$

Iluminação indireta:

$$K_i = \frac{3 \times c \times l}{2 \times h' \times (c + l)}$$

c = comprimento do ambiente

l = largura do ambiente

h = altura de montagem

h = distância do teto ao plano de trabalho

pd = pé-direito

hs = altura de suspensão da luminária

ht = altura do plano de trabalho

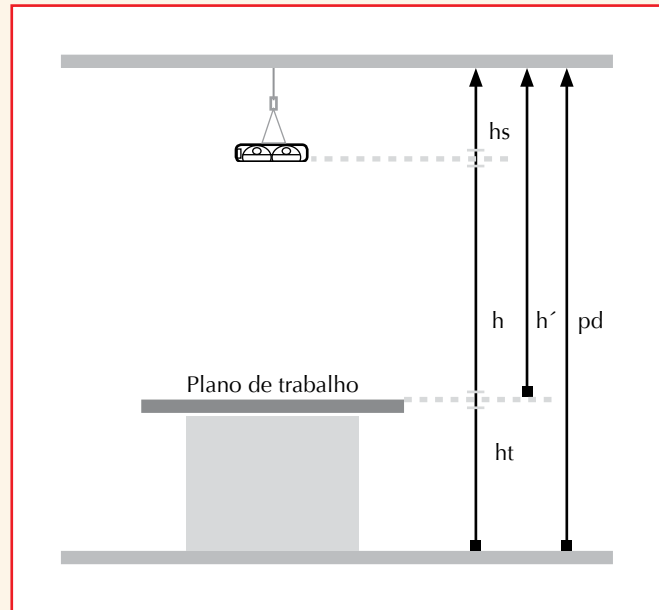


Figura 1 – Definição das alturas para cálculo do K.

Etapa 2 – Definição dos equipamentos para cálculo

A definição dos equipamentos deve levar em consideração as características fotométricas das luminárias, o desempenho das lâmpadas e as características elétricas dos equipamentos auxiliares.

As principais características a serem consideradas são:

- Luminárias – curva de distribuição de intensidade luminosa, rendimento, controle de ofuscamento;
- Lâmpadas – eficiência luminosa (lm/W), fluxo luminoso, vida útil, depreciação luminosa;
- Equipamentos – potência consumida, fator de potência, fator de fluxo luminoso, distorção harmônica.

É recomendado, sempre que possível, o emprego de equipamentos mais eficientes e adequados às atividades desenvolvidas, pois quanto mais eficiente for o conjunto luminária-lâmpada-equipamento auxiliar maior será a economia de energia obtida no sistema de iluminação proposto.

Etapa 3 – Determinação do Fator de Utilização (U)

O Fator de Utilização (U) é dado em tabelas fornecidas pelos fabricantes de luminárias e indica o desempenho da luminária no ambiente considerado no cálculo. Para determinar o Fator de Utilização, basta cruzar o valor do Índice do Local (K) calculado anteriormente (dado na horizontal) com os dados de refletância das superfícies do teto, da parede e do piso (dado na vertical). Cada luminária possui uma tabela de fator de utilização distinta, que dependerá do tipo de material empregado na fabricação e no desempenho fotométrico do produto. Assim, este dado deve ser solicitado ao fabricante de luminárias.

| TETO (%) | | 70 | | 50 | | 30 | | 0 | |
|------------|----|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| PAREDE (%) | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 30 | 10 | 0 |
| PISO (%) | | 10 | | 10 | | | 10 | | 0 |
| KR | | FATOR DE UTILIZAÇÃO (X.01) | | | | | | | |
| 0.60 | 32 | 28 | 26 | 31 | 28 | 26 | 28 | 26 | 25 |
| 0.80 | 38 | 34 | 31 | 37 | 34 | 31 | 33 | 31 | 30 |
| 1.00 | 42 | 39 | 36 | 41 | 38 | 36 | 38 | 36 | 35 |
| 1.25 | 46 | 43 | 40 | 45 | 42 | 40 | 42 | 40 | 39 |
| 1.50 | 48 | 46 | 44 | 48 | 45 | 43 | 45 | 43 | 42 |
| 2.00 | 52 | 60 | 48 | 51 | 49 | 48 | 49 | 47 | 46 |
| 2.50 | 54 | 53 | 51 | 53 | 52 | 50 | 51 | 50 | 49 |
| 3.00 | 56 | 54 | 53 | 55 | 53 | 52 | 53 | 52 | 50 |
| 4.00 | 57 | 56 | 55 | 56 | 55 | 54 | 54 | 54 | 52 |
| 5.00 | 58 | 57 | 56 | 57 | 56 | 55 | 55 | 55 | 53 |

Figura 2 – Exemplo para determinação do Fator de Utilização de luminárias.

Etapa 4 – Determinar o fator de manutenção

A iluminância diminui progressivamente durante o uso do sistema de iluminação devido às depreciações por acúmulo de poeira nas lâmpadas e nas luminárias, à depreciação dos materiais da luminária, ao decréscimo do fluxo luminoso das lâmpadas e à depreciação das refletâncias das paredes.

O dimensionamento dos sistemas de iluminação deve considerar um fator de manutenção (FM) ou fator de perdas luminosas em função do tipo de ambiente e de atividade desenvolvida, do tipo de luminária e da lâmpada utilizada e da frequência de manutenção dos sistemas.

A Tabela 1 sugere valores de fatores de manutenção conforme período de manutenção e condições do ambiente.

Valores mais precisos, conforme tipo de luminária e lâmpadas, podem ser obtidos em publicações da CIE e/ou por fabricantes de luminárias.

TABELA 1 – FATORES DE MANUTENÇÃO RECOMENDADOS

| AMBIENTE | 2.500 H | 5.000H | 7.500H |
|----------|---------|--------|--------|
| Limpo | 0,95 | 0,91 | 0,88 |
| Normal | 0,91 | 0,85 | 0,80 |
| Sujo | 0,80 | 0,66 | 0,57 |

Para reduzir a depreciação da luminária, deve-se adotar uma manutenção periódica dos sistemas: limpeza de lâmpadas e de luminárias e substituição programada de lâmpadas.

Etapa 5 – Dimensionamento

O cálculo do número de luminárias necessário para um determinado ambiente obedece a seguinte fórmula:

$$N = \frac{E_{med} \times A}{n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}$$

Em que:

N: número necessário de luminárias

E_{med}: iluminância média (lux)

A: área do ambiente (m²)

n: número de lâmpadas em cada luminária

φ_n: fluxo luminoso de cada lâmpada (lm)

U: fator de utilização

FM: fator de manutenção

FFL: fator de fluxo luminoso do reator

Quando o número de luminárias é conhecido, a iluminância média pode ser calculada pela fórmula:

$$E_{med} = \frac{N \times n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}{A}$$

Etapa 6 – Distribuição das luminárias

Definida a quantidade total de luminárias necessárias para atender aos níveis de iluminância e as condições requeridas de projeto, a distribuição das luminárias deve:

- Buscar uma distribuição uniforme no recinto;
- Procurar obter valores próximos de “a” e “b”, sendo a > b, desde que respeitando a curva de distribuição luminosa da luminária;
- Recomenda-se que as distâncias “a” e “b” entre luminárias sejam o dobro da distância entre estas e as paredes laterais;
- Recomenda-se sempre o acréscimo de luminárias quando a quantidade resultante do cálculo não for compatível com a distribuição desejada.

Exemplo de aplicação do método dos lúmens

Considerando um ambiente de escritório com as seguintes características:

- Comprimento: 12,0 m; Largura: 8,0 m; Pé-direito: 2,75 m; Altura do plano de trabalho: 0,75 m;
- Teto de gesso pintado na cor branca; paredes na cor amarela clara e piso cinza escuro;
- Condições do ambiente limpo, manutenção periódica a cada dois anos, com uso do ambiente de 10 horas/dia, em dias úteis;
- Necessita-se de uma iluminação eficiente e com controle de ofuscamento para uso com telas de computador.

Dimensione a quantidade de luminárias adequadas e faça sua distribuição.

Etapa 1 – Cálculo do índice do local (K)

Dadas as dimensões, calcula-se o K pela fórmula:

$$K = \frac{c \times l}{h \times (c + l)} \quad K = \frac{12 \times 8}{2 \times (12 + 8)} = 2,4$$

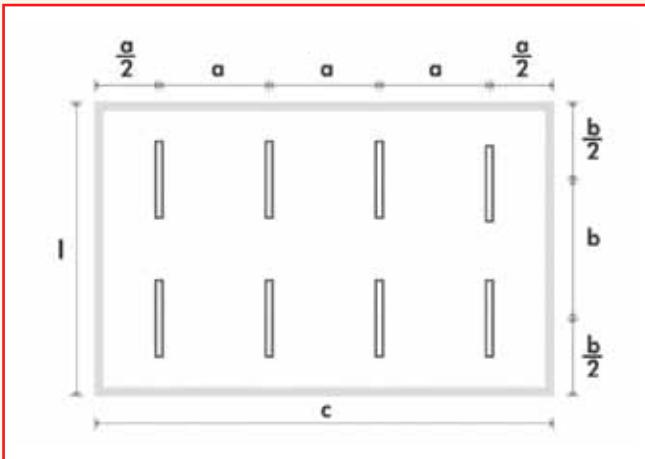


Figura 3 – Recomendação quanto à distribuição de luminárias.

Etapa 2 – Definição dos componentes

A escolha dos equipamentos tem como premissa alto desempenho energético e atendimento às características de uso de escritório. Assim, escolheu-se uma luminária de embutir com alto rendimento para lâmpadas fluorescentes T5 com elevado controle de ofuscamento. A seguir é mostrada a luminária escolhida e seus dados fotométricos.

Foram escolhidas lâmpadas T5 de 14 W, com 1.350 lm por lâmpada, e reatores eletrônicos com alto fator de potência, baixo THD e fator de fluxo luminoso igual a 1,0.

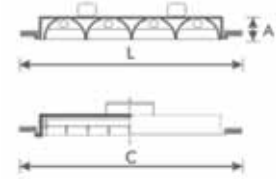
Etapa 3 – Determinação do Fator de Utilização (U)

Para determinação do fator de utilização (U), devem ser interpolados os valores da tabela de fator de utilização para as refletâncias: Teto 70%, Paredes 50% e Piso 10%, conforme a cores do ambiente.

$$U = 0,67$$



DESENHO



FATOR DE UTILIZAÇÃO

| TETO (%) | 70 | | | 50 | | | 30 | | | 0 | | |
|------------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| PAREDE (%) | 50 | 30 | 10 | 50 | 30 | 10 | 30 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PISO (%) | 10 | | | 10 | | | 10 | | | 0 | | |
| KR | FATOR DE UTILIZAÇÃO (X 0.01) | | | | | | | | | | | |
| 0.60 | 39 | 35 | 31 | 38 | 34 | 31 | 34 | 31 | 30 | 30 | 27 | 24 |
| 0.80 | 46 | 42 | 38 | 45 | 41 | 38 | 41 | 38 | 37 | 34 | 31 | 28 |
| 1.00 | 52 | 47 | 44 | 51 | 47 | 44 | 46 | 44 | 42 | 40 | 38 | 36 |
| 1.25 | 57 | 53 | 50 | 55 | 52 | 49 | 51 | 49 | 48 | 46 | 44 | 42 |
| 1.50 | 60 | 56 | 54 | 59 | 56 | 53 | 55 | 53 | 51 | 50 | 48 | 46 |
| 2.00 | 65 | 62 | 60 | 64 | 61 | 59 | 60 | 58 | 57 | 55 | 53 | 51 |
| 2.50 | 68 | 65 | 63 | 66 | 64 | 63 | 63 | 62 | 60 | 60 | 58 | 56 |
| 3.00 | 70 | 68 | 66 | 68 | 66 | 65 | 65 | 64 | 62 | 62 | 60 | 58 |
| 4.00 | 72 | 70 | 69 | 70 | 69 | 68 | 68 | 67 | 65 | 65 | 63 | 61 |
| 5.00 | 73 | 71 | 70 | 71 | 70 | 69 | 69 | 68 | 66 | 66 | 64 | 62 |

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

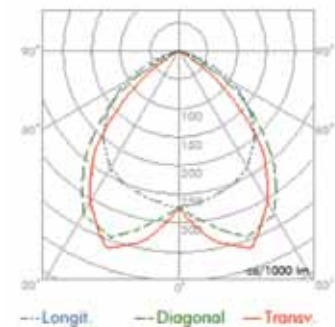


DIAGRAMA DE LUMINÂNCIA

| CLASSE | ILUMINÂNCIA EM SERVIÇO (lx) | | | | | | | |
|--------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| A | 2000 | 1000 | 500 | ≤300 | | | | |
| B | | 2000 | 1000 | 500 | ≤300 | | | |
| C | | | 2000 | 1000 | 500 | ≤300 | | |
| D | | | | 2000 | 1000 | 500 | ≤300 | |
| E | | | | | 2000 | 1000 | 500 | ≤300 |
| | a | b | c | d | e | f | g | h |

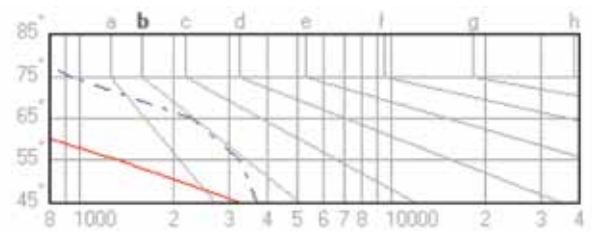


Figura 4 – Luminária escolhida para o método dos lúmens e seus respectivos dados fotométricos.

Etapa 4 – Determinar o Fator de Manutenção (FM)

Considerando o ambiente normal e manutenção periódica a cada dois anos, com uso do ambiente de 10 horas/dia, em dias úteis, obtém-se um intervalo de manutenção de aproximadamente 5.000 horas. Pela Tabela 1, pode-se considerar um fator de manutenção igual a 0,85.

Etapa 5 – Determinar o fator de fluxo luminoso

O fator de fluxo luminoso considerado é igual a 1,0, em função de se escolher um reator eletrônico com essa característica.

Etapa 6 – Dimensionamento

Para determinação da quantidade de luminárias, utiliza-se a fórmula:

$$N = \frac{E_{med} \times A}{n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}$$

Em que:

N : número necessário de luminárias

$E_{med} = 500 \text{ lux}$ (segundo recomendação de iluminância da ABNT NBR 5413)

$A = 12 \times 8 = 96 \text{ m}^2$

$n = 4$ (a luminária utiliza 4 lâmpadas de 14 W)

$\phi_n = 1350 \text{ lm}$ (fluxo luminoso de cada lâmpada)

$U = 0,67$ (fator de utilização definido na Etapa 3)

$FM = 0,85$ (definido na Etapa 4)

$FFL = 1,0$ (definido na Etapa 5)

Calculando-se N pela fórmula, obtém-se que são necessárias 15,6 luminárias para que o ambiente considerado tenha um nível médio de 500 lux.

Dessa forma, distribuindo-se 16 luminárias, o nível médio do ambiente pela fórmula a seguir é de 512 lux.

$$E_{med} = \frac{N \times n \times \phi_n \times U \times FM \times FFL}{A}$$

Etapa 7 – Distribuição das luminárias

Embora as 16 luminárias atendam às condições de projeto para a sala considerada, para melhor distribuição espacial foi considerada a instalação de 18 luminárias no ambiente. Assim, o nível de iluminância resultante é de 576 lux e obtém-se uma melhor distribuição das luminárias e das luminâncias.

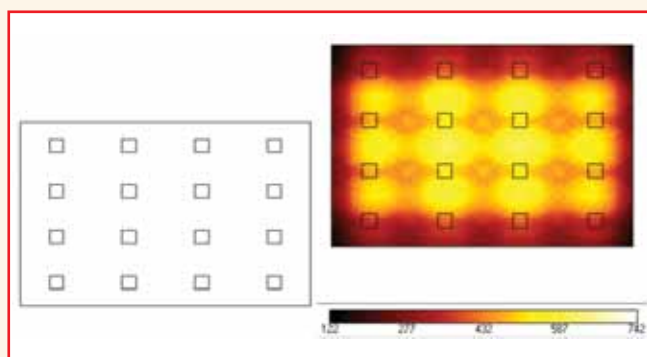


Figura 5 – Distribuição de 16 luminárias.

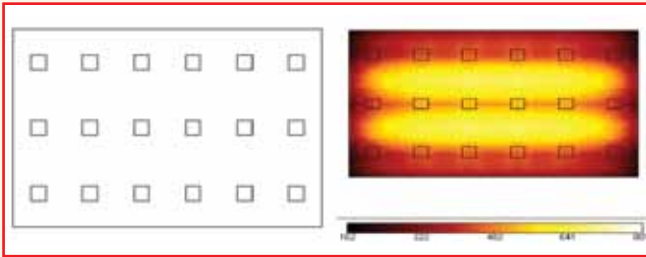


Figura 6 – Distribuição de 18 luminárias.

Método do ponto a ponto

Se a distância “d” entre a fonte de luz e o objeto a ser iluminado for no mínimo cinco vezes as dimensões física da fonte de luz, pode-se calcular a iluminância pelo método ponto a ponto.

Este método é utilizado, portanto, para fontes pontuais para determinação da iluminância obtida com lâmpadas de dimensões pequenas e de fechos de luz bem definidos como lâmpadas dicróicas, PAR, alguns tipos de luminárias de Leds, entre outros. Aplicam-se as seguintes fórmulas para determinar as iluminâncias:

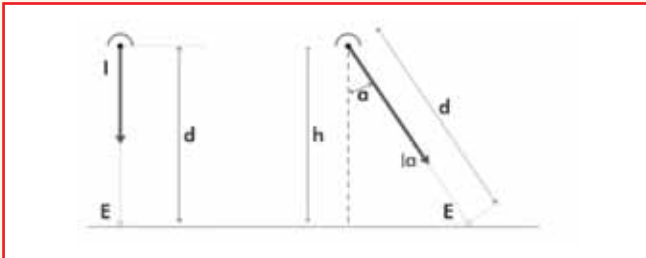


Figura 7 – Considerações para cálculo pelo método ponto a ponto.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

para luz incidindo perpendicularmente ao plano do objeto, e:

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

para luz que não incide perpendicularmente ao plano do objeto.

I = intensidade luminosa (vertical), em cd

E = iluminância no ponto, em lx

d = distância da fonte luminosa ao objeto

α = ângulo de abertura do fecho

h = distância vertical entre a fonte de luz e o plano do objeto

I_α = intensidade luminosa no ângulo α , em cd

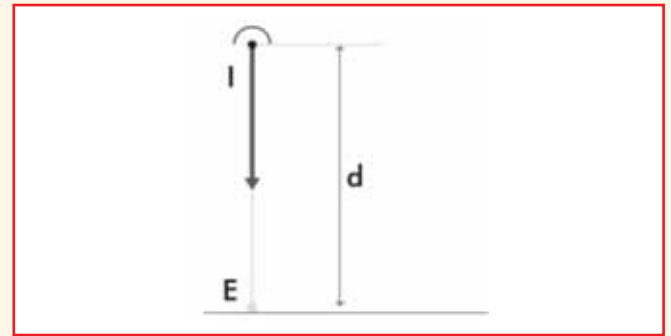
A iluminância (E) em um ponto é o somatório de todas as iluminâncias incidentes sobre esse ponto provenientes de diferentes pontos de luz, ou seja:

$$E = \frac{I_i}{h^2} + \sum \left(\frac{I_\alpha \times \cos^3 \alpha}{h^2} \right)$$

Neste método não são consideradas as refletâncias das superfícies (teto, paredes e piso) e pode ser considerado bem trabalhoso para ser executado manualmente em ambientes com várias fontes luminosas.

Exemplo de aplicação do método ponto a ponto

Determine a iluminância no centro do fecho de uma luminária com lâmpada dicróica de 50 W 36° e intensidade máxima de 2.200 cd, sendo que o pé-direito da sala é de 3 m. Determine o espaçamento entre luminárias de forma que a iluminância fique uniforme.



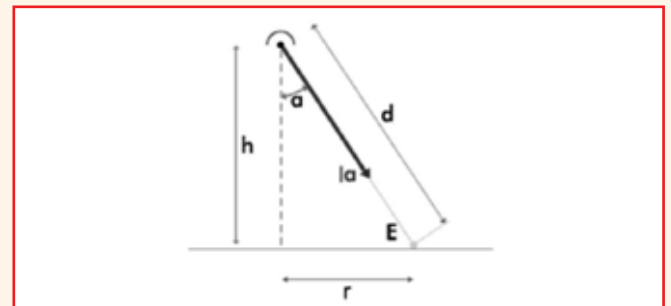
Considerando a fórmula:

$$E = \frac{I}{d^2}$$

Tem-se que $E = \frac{2200}{9} = 244 \text{ lux}$

Há 244 lux no centro do fecho da luminária no piso.

Para determinar a distância entre luminárias para que a iluminância seja uniforme, considera-se que a intensidade luminosa a 18° (metade do ângulo de abertura) é metade da intensidade luminosa no centro do fecho. Por trigonometria tem-se que a distância entre luminárias é igual a 2r, assim:



$$\text{tg } \alpha = \frac{r}{h}$$

$$r = \text{tg } 18^\circ \times 3 = 0,97$$

A distância entre fontes deve ser igual a 2r, isto é, 1,95 m.

** Juliana Iwashita Kawasaki é arquiteta, mestre em engenharia elétrica, membro do Comitê Brasileiro de Eletricidade (Cobei) CB-3 da ABNT, em que participa atualmente como coordenadora da comissão revisora da norma de iluminação de interiores (ABNT NBR 5413). É diretora da Arquilm Arquitetura e Iluminação.*

Continua na próxima edição
Confira todos os artigos deste fascículo em
www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados
para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br