

editorial

[Agenda & Cursos](#)
[Serviços & Produtos](#)
[Livros & Catálogos](#)
[Galeria de fotos](#)
[Últimas notícias](#)
[Links úteis](#)

Colunistas

[Curso de Fotometria](#)
[Artigos & Pesquisas](#)
[Luz e Biofísica](#)
[Iluminação Cênica](#)

editora lumière

[Revista Lumière](#)
[Revista L+D](#)
[Revista GTD](#)
[Anuário](#)
[Glossário](#)
[Quem somos](#)

publicidade

[Anuncie](#)
[Pautas 2005](#)

prêmio top10

[2001](#)
[2002](#)
[2003](#)
[O que é](#)

menu principal

[home](#)
[fale conosco](#)
[Banco de profissionais](#)
[Orçamento on-line](#)

cadastro

Usuário

Senha

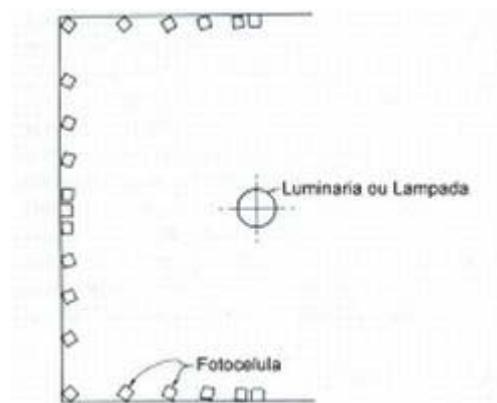
[Esqueceu a senha?](#)[Sem conta? Crie uma](#)**Aula 5** 23/Sep/04 17:09**CURSO DE FOTOMETRIA ON-LINE LUMIÈRE/IEE****Aula 5: Goniofotômetros e determinação de fluxo luminoso**

Por *Rinaldo Caldeira Pinto*
 Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE-USP)

Prezados leitores, vimos na aula 4 como funciona um luxímetro e estudamos alguns goniofotômetros. Nesta aula veremos mais alguns modelos desse equipamento e estudaremos os dois principais métodos de determinação de fluxo luminoso. Em um deles, estudaremos a esfera integradora de Ulbricht, outro importante equipamento utilizado em fotometria. Então vamos lá...

Goniofotômetro com várias fotocélulas fixas

Neste tipo de goniofotômetro existem várias fotocélulas que ficam dispostas em ângulos determinados, de modo que, nesse ângulo, a incidência de luz na fotocélula seja normal.

**Figura 1a: goniofotômetro com fotocélulas fixas****Goniofotômetro com fotocélula que se move em torno da fonte**

Neste tipo de goniofotômetro, a fotocélula se move em torno da fonte de luz por meio de um trilho, ou outro dispositivo, de modo a formar um arco.

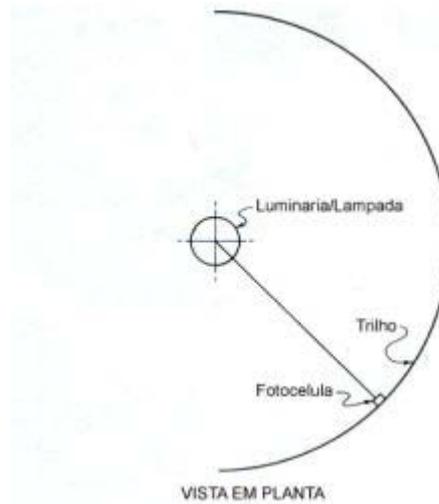


Figura 1b: goniofotômetro com fotocélula móvel

Goniofotômetro com espelho móvel

Este goniofotômetro é do Tipo C. Um espelho se move em torno da fonte de luz, refletindo a luz sobre a fotocélula. O espelho se move de tal forma que a fonte pode ser colocada a qualquer ângulo da fotocélula.

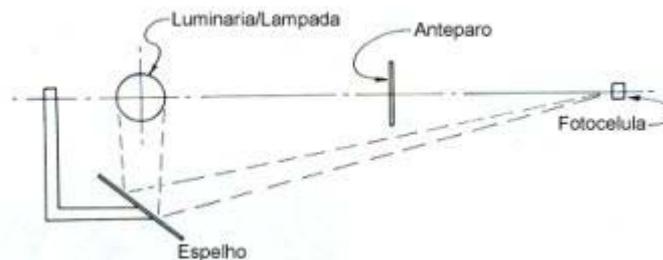


Figura 1c: goniofotômetro com espelho móvel

Existem outros tipos de goniofotômetros além destes apresentados. Há diversas maneiras de se construir um goniofotômetro. Apresentamos os tipos mais comuns. A finalidade exata dos goniofotômetros ficará mais clara quando começarmos a estudar as fotometrias de luminárias.

Métodos de Medição de Fluxo Luminoso

Bem, aqui começamos as nossas medições fotométricas propriamente ditas. Na maioria das vezes, toda fotometria de lâmpada ou de luminária passa por um levantamento de fluxo luminoso. Abordaremos aqui os dois métodos principais de determinação de fluxo luminoso: o método do fluxo zonal e o método da esfera integradora de Ulbricht. Existem outros métodos, como por exemplo, o Diagrama de Rousseau. Aqui vamos nos ater aos dois métodos, pois temos visto que são os mais utilizados.

A Esfera Integradora de Ulbricht

A Esfera Integradora de Ulbricht é uma esfera oca cuja parede interna é pintada com uma tinta branca de alta refletância (normalmente 85%). Numa das paredes existe uma janela em que é colocada uma fotocélula. Em frente a esta janela existe um anteparo para evitar que haja radiação direta da fonte sobre a fotocélula. Existe outra janela, diametralmente oposta a esta, com um anteparo em frente também. Por trás desta outra janela temos um compartimento aonde é instalada uma lâmpada chamada lâmpada auxiliar. A esfera serve para medir o fluxo luminoso total de uma fonte de luz. A teoria da esfera integradora assume que a parte interna da esfera é um difusor perfeito, isto é, é uma superfície

Lambertiana e a refletância não é seletiva, ou seja, para qualquer comprimento de onda temos o mesmo índice de refletância. Desta forma teremos que todo ponto dentro da esfera refletirá luz para todos os outros pontos. A iluminância em um ponto dentro da esfera é composta por dois componentes: um componente direto que provém diretamente da fonte e outro devido à reflexão do fluxo luminoso em outros pontos da esfera. Teremos, tanto iluminância como, conseqüentemente, a luminância, devido à luz refletida, em qualquer ponto da parede interna, proporcional ao fluxo luminoso, independente da distribuição da fonte. Existem tintas para esferas integradoras com diferentes refletâncias. De acordo com a refletância da tinta escolhida, teremos vantagens e desvantagens como por exemplo: uma esfera, cuja superfície interna está pintada com uma tinta de refletância de 80%, é menos susceptível a diferenças espectrais devido ao acúmulo de sujeira, do que uma esfera pintada com uma tinta que tenha refletância de 97%, porém as propriedades integratórias da esfera diminuem com a diminuição da refletância. Na Figura 2 temos uma vista em corte de uma esfera integradora com seus componentes internos.

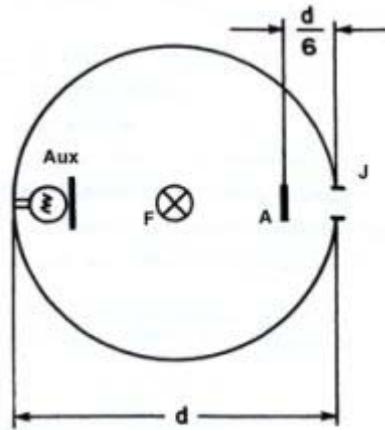


Figura 2: Esfera Integradora de Ulbricht

F: fonte de luz; A: anteparo; J: janela para a fotocélula; Aux: lâmpada auxiliar com anteparo; d: diâmetro da esfera

Teoria da Esfera Integradora de Ulbricht

Dada a esfera da Figura 3, abaixo:

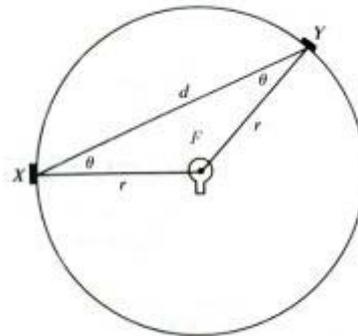


Figura 3: Esfera Integradora de Ulbricht ideal

A parede interna da esfera tem uma refletância ρ , onde ρ é a relação entre os lumens refletidos para os lumens incidentes em um ponto dentro da esfera. Vamos chamar a luminância do ponto X de L. Da aula 3 podemos dizer que a iluminância no ponto Y, dentro da esfera, devido a um pequeno elemento de área dA , no ponto X, é:

$$dE_y = (LdA \cos^2 \theta) / d^2$$

Podemos notar que $d = 2r\cos\theta$, daí temos que:

$$dE_y = (LdA)/(4r^2)$$

A partir desta equação podemos concluir que a iluminância no ponto Y, devido a um pequeno elemento de área no ponto X, é independente da posição do ponto Y (independe de θ). Assim esta equação nos dá a iluminância de todos os pontos dentro da esfera, devido ao elemento de área no ponto X. Esta equação, por não depender de θ , nos dá também a iluminância no ponto Y devido a qualquer outro elemento dentro da esfera. Conclusão geral: todo elemento dentro da esfera ilumina todos os outros elementos igualmente e a iluminância, devido a componentes indiretos, dentro da esfera é uniforme.

Agora vamos assumir que uma fonte de luz no centro da esfera emite Φ_v lumens. Após uma primeira reflexão este fluxo Φ_v será $\rho\Phi_v$. Após uma segunda reflexão será $\rho^2\Phi_v$ ou $\rho^2\Phi_v$. O fluxo total refletido será então:

$$\Phi_{v\text{refl.}} = \rho\Phi_v(1+\rho+\rho^2+\dots+\rho^n)$$

Desde que ρ é menor do que 1, da matemática, nós temos que a soma entre parênteses tem um valor finito de $1/(1-\rho)$. Reescrevendo a equação, temos:

$$\Phi_{v\text{refl.}} = (\rho\Phi_v)/(1-\rho)$$

A superfície de uma esfera, tem uma área de $4\pi r^2$, então a iluminância devido aos lumens refletidos, iluminância indireta, será

$$E = (\rho\Phi_v)/[4\pi r^2(1-\rho)]$$

Podemos dizer então que, se colocarmos uma fotocélula de um luxímetro na parede da esfera e um anteparo entre ela e a fonte, a medição de iluminância obtida por ele será proporcional ao fluxo luminoso emitido pela fonte. Na prática a fotocélula é instalada junto à parede externa da esfera e recebe luz através de uma janela.

A esfera pode ser calibrada através de uma lâmpada de fluxo conhecido (lâmpada padrão de fluxo luminoso). Desta forma podemos estabelecer a constante de calibração da esfera, $\rho/[4\pi r^2(1-\rho)]$. Daí o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada qualquer será:

$$\Phi_v = (1/k)E, \text{ onde } E \text{ é a iluminância medida pelo luxímetro na parede da esfera.}$$

O Diâmetro da Esfera

O diâmetro da esfera deve garantir uma distância suficiente entre a fonte e a parede da esfera de forma que possam ocorrer as múltiplas reflexões de luz dentro da esfera, sem interferência da própria fonte. Para lâmpadas fluorescentes tubulares, por exemplo, recomenda-se que o diâmetro da esfera seja, no mínimo, duas vezes a maior dimensão da lâmpada para medições mais rigorosas (em torno de 2,5 metros). Para medições menos rigorosas um diâmetro de 2 metros é aceito para a mesma medição.

A Lâmpada Auxiliar

Podemos verificar que a nossa teoria da esfera integradora foi desenvolvida em cima de um modelo (Figura 3) e a esfera real é um pouco diferente deste modelo (Figura 2). Os anteparos, tanto para a fotocélula quanto para a lâmpada auxiliar, representam desvios em relação ao modelo. Outro desvio também será o próprio suporte para a fonte. Recomenda-se que, se possível, todos estes elementos sejam pintados com a mesma tinta que foi pintada a esfera. Além disso podemos fazer também uma medição com uma lâmpada auxiliar de forma a compensar estas diferenças. A lâmpada auxiliar é posicionada no lado oposto da fotocélula, conforme Figura 2. O anteparo se destina a que a lâmpada auxiliar ilumine a esfera de uma forma difusa.

A Lâmpada Padrão

A lâmpada Padrão de Fluxo Luminoso utilizada deve ter, de preferência, as mesmas dimensões e formato, a mesma distribuição espectral e a mesma distribuição espacial de luz das lâmpadas a serem medidas.

Determinação do Fluxo Luminoso

Uma lâmpada padrão, de fluxo Φ_{vn} , é acesa dentro da esfera e medimos o valor indicado pela luxímetro:

Y_n .

A lâmpada padrão é apagada. Acendemos a lâmpada auxiliar e medimos o valor de Y_{hn} .

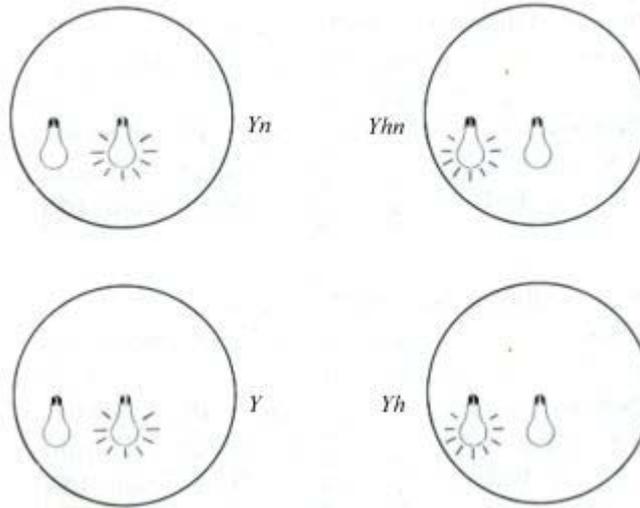


Figura 4: Medição de fluxo luminoso de uma lâmpada com esfera integradora

A lâmpada cujo fluxo luminoso queremos determinar é colocada dentro da esfera. Acendemos a lâmpada auxiliar e medimos Y_h . Em seguida a lâmpada cujo fluxo queremos determinar é acesa, com a lâmpada auxiliar apagada, e medimos Y (Veja Figura 4).

Podemos determinar o fluxo luminoso da seguinte forma:

$$\Phi_v = \Phi_{vn} \cdot (Y/Y_n) \cdot (Y_{hn}/Y_h)$$

Método do Fluxo Zonal

O método do fluxo zonal consiste em levantarmos o fluxo luminoso contido em cada zona de uma esfera imaginária e fazer a somatória para obtermos o fluxo total. Exemplo: na Figura 5, o anel subtendido por $d\theta$ forma uma zona de esfera.

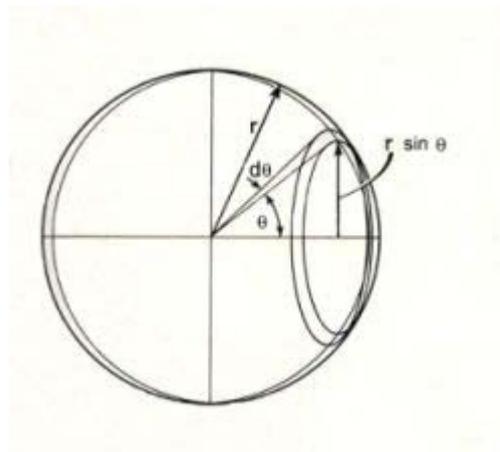


Figura 5: Elementos geométricos de uma esfera

Podemos trabalhar com zonas de 10° , de 5° ou menores. Quanto menor a zona mais precisa a determinação. A esfera da Figura 5 está orientada conforme a orientação normal dos quadrantes trigonométricos, mas em fotometria usamos o 0° voltado para baixo (nadir) conforme Figura 6. Vamos supor que a nossa fonte está no centro desta esfera imaginária e que ela pode ser considerada uma fonte pontual em função das dimensões. Nós já sabemos que:

$$\Phi_v = ES \text{ e } E = I/r^2 \rightarrow \Phi_v = (IS)/r^2$$

Precisamos obter a área S da zona de esfera. No nosso caso, devido à $d\theta$ ser muito pequeno, podemos aproximar esta área a área de um retângulo sendo a base o perímetro do círculo que, para a esfera, varia com o seno do ângulo considerado (Base = $2\pi r \text{sen}\theta$) e, a altura que é a seguinte:

$h = r \text{sen}d\theta$, mas, $\text{sen}d\theta$ é aproximadamente igual a $d\theta$, porque $d\theta$ é muito pequeno, então

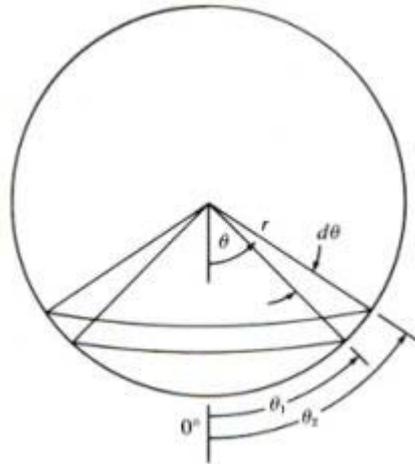


Figura 6: Sistema de referência fotométrico

$$h = r d\theta$$

A área S da zona de esfera é:

$$S = Bh = 2\pi r \text{sen}\theta r d\theta = 2\pi r^2 \text{sen}\theta d\theta$$

Então, temos que:

$$\Phi_v = (I 2\pi r^2 \text{sen}\theta d\theta) / r^2 = 2\pi I \text{sen}\theta d\theta$$

Para obtermos o fluxo de uma zona precisamos integrar esta equação dentro dos limites da zona (θ_1 - θ_2). Considerando que a intensidade é aproximadamente constante dentro da zona

$$\Phi_{v\text{zona}} = 2\pi I \text{sen}\theta d\theta = 2\pi I (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

Chamamos o valor de $2\pi I (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$ de constante zonal (Tabela I). Note que as constantes zonais para ângulos maiores de 90° são iguais as constantes para as zonas menores de 90° .

Para obtermos o fluxo luminoso total da fonte basta multiplicarmos a intensidade média de cada zona pela constante zonal e somarmos os valores obtidos.

Limites da zona	Constante zonal	Limites da zona
0-10	'0,095'	170-180
'10-20	'0,283	160-170
20-30	'0,463	150-160
30-40	'0,628	140-150
40-50	'0,774	130-140
50-60	'0,897	120-130
60-70	'0,993	110-120

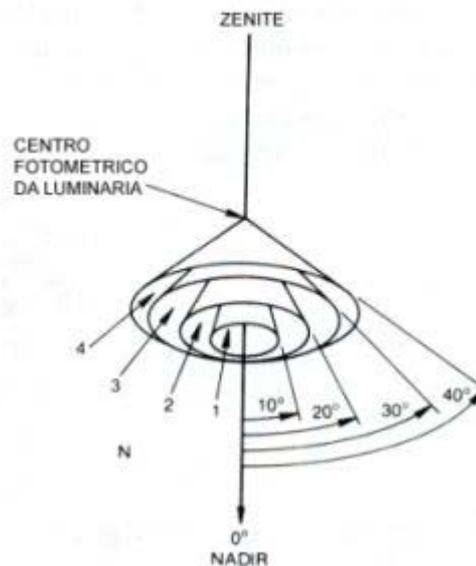
70-80	'1,058	100-110
80-90	'1,091	90-100

Tabela I – Constantes Zonais**O Método na Prática**

Na prática, numeramos as zonas de 1 a 18, sendo que as intensidades consideradas são as intensidades médias obtidas a partir de medições de iluminância no meio de cada zona, para vários planos horizontais (planos definidos por rotação da lâmpada ou luminária em torno do eixo vertical (nadir-zênite)). Exemplo:

Se vamos trabalhar com zona de 10°, precisamos determinar as intensidades médias para os ângulos verticais (definidos a partir do nadir) de 5°, 15°, 25°, etc. Considera-se que no intervalo da zona a intensidade não varia significativamente, de modo que podemos admitir um Imédio constante em toda zona.

Em geral procuramos fazer coincidir o eixo vertical com um eixo de simetria da luminária ou da lâmpada. Outro detalhe da aplicação do método, que veremos com maior detalhamento na aula 6 é que os planos horizontais devem ter um passo constante, de modo a cobrir os 360° em torno do eixo vertical.

**Figura 7: Ilustração do método do fluxo zonal****Exemplo:**

Uma luminária apresentou os valores médios de intensidade para zona de 10° mostrados na tabela abaixo. Calcular o fluxo luminoso da luminária.

Zona	Fluxo luminoso zonal (lm)
1	2
2	7
3	19
4	48
5	94
6	144
7	201

8	322
9	519

$\Phi_{vzona1} = 2 \times 0,095 = 0,190\text{lm}$
 $\Phi_{vzona2} = 7 \times 0,283 = 1,981\text{lm}$
 $\Phi_{vzona3} = 19 \times 0,463 = 8,797\text{lm}$
 $\Phi_{vzona4} = 48 \times 0,628 = 30,144\text{lm}$
 $\Phi_{vzona5} = 94 \times 0,774 = 72,756\text{lm}$
 $\Phi_{vzona6} = 144 \times 0,897 = 129,168\text{lm}$
 $\Phi_{vzona7} = 201 \times 0,993 = 199,593\text{lm}$
 $\Phi_{vzona8} = 322 \times 1,058 = 340,676\text{lm}$
 $\Phi_{vzona9} = 519 \times 1,091 = 566,229\text{lm}$

$\Phi_{Vtotal} = 1.349,534\text{lm}$

Resposta: O fluxo luminoso total emitido pela luminária é de 1.349,534lm.

Exercícios Propostos:

1) Explique a Teoria da Esfera Integradora de Ulbricht e como podemos determinar o fluxo luminoso de uma lâmpada com ela.

2) Obtivemos os seguintes dados para determinação de fluxo luminoso de uma lâmpada, através de esfera integradora:

$\Phi_{vn} = 3.000\text{ lm}$; $Y = 2,0$; $Y_n = 3,0$; $Y_{hn} = 0,15$; $Y_h = 0,15$.

Calcule o fluxo luminoso da lâmpada.

3) Explique o método do fluxo zonal.

4) Uma luminária apresentou os valores de intensidade média por zona, para zona de 10° , que estão na tabela abaixo:

Zona	Fluxo luminoso zonal (lm)
1	4
2	13
3	25
4	59
5	142
6	194
7	264
8	344
9	423

Qual o fluxo luminoso total da luminária?

5) Qual dos tipos de goniofotômetros estudados você usaria numa determinação de fluxo luminoso? Porquê?

Bem, vamos ficando por aqui.. Na próxima aula estaremos estudando como fazer fotometrias de luminárias para interiores. Até lá...

Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5461 : Iluminação. São Paulo, 2002.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. Lighting handbook : reference & application. New York : Illuminating Engineering Society of North America, 9ª Ed., 2000.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. Lighting handbook : reference &

application. New York : Illuminating Engineering Society of North America, 8ª Ed., 1993.

- MURDOCH, Joseph B. Illumination engineering : from Edison 's lamp to the laser, Visions Communications, Pennsylvania, 1994.
- IES approved method for photometric testing of floodlights using incandescent filament or discharge lamps : LM-35(89) Journal of the Illuminating Engineering Society, p.173-191, summer, 1990.
- MOREIRA, Vinicius de Araújo. Iluminação elétrica. São Paulo : Edgard Blucher, 1999.189p.
- COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE CIE 84 : The measurement of luminous flux. Vienna, 1989

Organização e promoção

Lumière revista

Este material não pode ser reproduzido sem a devida autorização da Editora Lumière e do IEE/USP

Editora Lumière ©2003 - 2004 Todos direitos reservados.

Copyright (C) 2000 - 2004 Miro International Pty Ltd :: Mambo Open Source is Free Software under GNU/GPL