

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 3 12/Jul/04 14:07

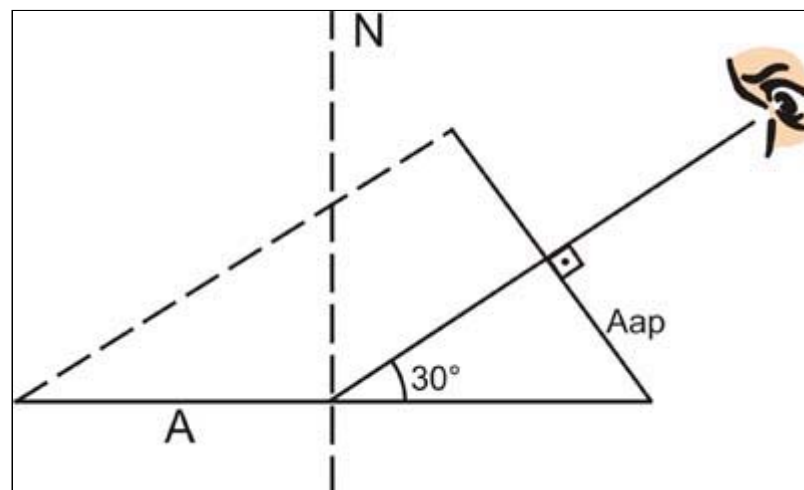
**CURSO DE FOTOMETRIA ON-LINE LUMIÈRE/IEE****Aula 3: Conhecendo mais conceitos e grandezas fotométricas**

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

Prezados Leitores, esta aula é uma complementação da aula 2, na qual definimos as principais grandezas utilizadas em fotometria a partir do fluxo luminoso. Existem outras grandezas que vamos conhecer ao longo do curso, conforme a necessidade.

Área Aparente

A figura 1 ilustra o conceito de área aparente, que consiste na área de uma superfície projetada na direção do observador.

**Figura 1: Área Aparente de uma superfície**

Já vimos que $A_{ap} = A \cos \theta$, onde θ é o ângulo entre a normal da superfície e a direção de visão daquela área. No caso da figura acima o ângulo entre a normal da superfície e a direção de observação é $\theta = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$. Supondo então que a área A seja de 10 m^2 , a área aparente será igual a $A_{ap} = 10 \cos 60^\circ = 5 \text{ m}^2$

Lei de Lambert(ou lei do coseno)

Outra lei importante que usamos no nosso dia-a-dia é a lei do coseno, também conhecida como lei de Lambert. Ela estabelece que a iluminância sobre uma superfície varia de acordo com o coseno do ângulo de incidência. O ângulo de incidência é o ângulo entre a normal da superfície e a direção da luz incidente. A lei do inverso do quadrado da distância e a lei do coseno podem ser combinadas, resultando na seguinte equação: $E = (I/d^2) \cos \theta$. Para incidência normal $E = I/d^2$. Na maioria dos ensaios de laboratório, a montagem estabelece a condição de incidência normal.

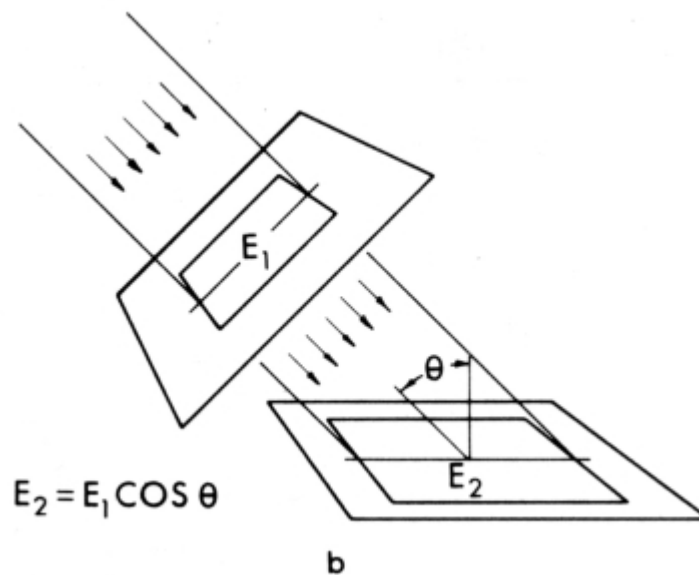


Figura 2: Ilustração da Lei de Lambert

Grandezas fotométricas a partir do conceito de luminância

Existe um outro caminho para definirmos as grandezas fotométricas. Em uma primeira abordagem definimos as grandezas fotométricas a partir do fluxo luminoso. Agora definiremos as mesmas grandezas por meio do conceito de luminância. Existem algumas razões para isto: a luminância é o parâmetro do corpo negro que é usado para definir a candela. Trata-se de uma quantidade relacionada com o raio de luz e assim pode ser usada para descrever as superfícies da fonte e do receptor, bem como do meio entre eles. Ela representa uma densidade, e assim é melhor para descrever áreas diferenciais de fontes de luz.

Através da luminância podemos descrever áreas diferenciais de fontes de luz de uma forma melhor. Simplificando: feche os olhos e abra-os novamente...tudo que você vê é luminância.

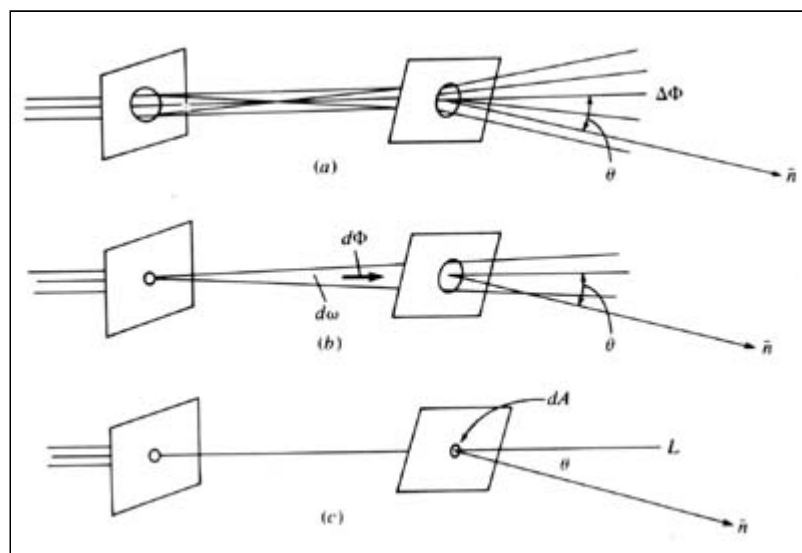


Figura 3: A definição de luminância

Considere a situação da figura 3a. Um fluxo luminoso que caminha da esquerda para a direita e encontra duas aberturas, uma delas com certo ângulo θ em relação à direção de propagação. Uma porção do fluxo $\Delta\Phi_v$ diverge da abertura da direita.

Se diminuirmos a abertura da esquerda tal que ela quase feche, como mostrado na Figura 3b, teremos uma quantidade diferencial de $d\Phi_v$ que emerge da abertura da esquerda dentro de um ângulo sólido $d\omega$. Este pequeno feixe de raios diverge da linha reta na abertura da direita. Fechando mais a abertura da

direita de tal forma que apenas um raio do feixe passe por ela, conforme figura 3c, e, sabendo que, a área projetada da abertura da direita na direção do raio é $dA_p = dA \cdot \cos\theta$, podemos definir a luminância do raio como:

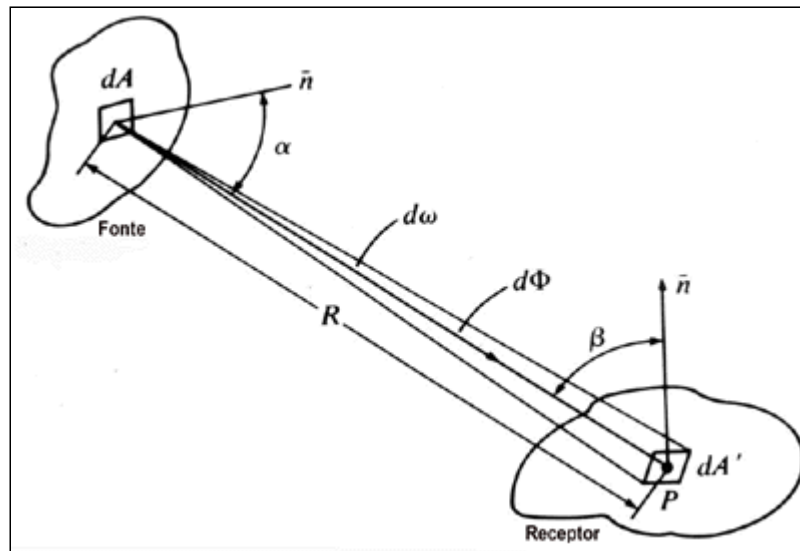
$$L = d^2\Phi_v / (d\omega dA \cos\theta)$$

Assim, poderemos definir luminância (de um ponto numa dada direção) como o quociente do fluxo luminoso diferencial de um elemento diferencial da superfície, em torno do dado ponto, que se propaga num cone diferencial na direção considerada, pelo produto do ângulo sólido diferencial do cone e a projeção da área diferencial num plano perpendicular à direção considerada. Agora que já definimos luminância, podemos definir as outras grandezas a partir dela.

<u>Iluminância:</u>	
$L = [d(d\Phi_v/dA)] / (d\omega \cos\theta) = dE / (d\omega \cos\theta) \rightarrow E = \int L \cos\theta d\omega$	
<u>Intensidade Luminosa:</u>	
$L = [d(d\Phi_v/d\omega)] / (dA \cos\theta) = dI / (dA \cos\theta) \rightarrow I = \int L \cos\theta dA$	

Lei do inverso do quadrado da distância

Na figura 4 temos uma situação geral de uma fonte que não é de tamanho desprezível e que não é uma fonte uniforme de fluxo luminoso.



Situação da Lei do Inverso do Quadrado da distância

O elemento de área dA tem uma luminância L na direção do ponto P do elemento de área dA' do receptor. A fonte emite $d\Phi_v$ lumens no ângulo sólido $d\omega$. Daí, temos que:

$$d\Phi_v = Id\omega = (IdA' \cos\beta) / R^2$$

Assim a iluminância em P é $E = d\Phi_v / dA' = (I \cos\beta) / R^2$, que é a forma da lei do inverso do quadrado da distância para fonte pontual. Se considerarmos agora a fonte não pontual, podemos fazer o seguinte: considerar um elemento diferencial da área da fonte, de tal forma que ele represente uma fonte pontual, e integrar para a área total. Assim teremos

$dE = (dI \cos\beta) / R^2$, e, como
$dI = L \cos\alpha dA$, temos que,
$dE = (L \cos\alpha \cos\beta dA) / R^2 \rightarrow E = \int (L \cos\alpha \cos\beta dA) / R^2$

Esta equação é geral e pode ser usada para calcular a iluminância para fontes de qualquer formato e qualquer distribuição de luminância. A esta altura do curso precisaremos fazer mais algumas definições:

Exitância Luminosa(M): A exitância luminosa é a relação entre a quantidade de fluxo luminoso que emerge de uma superfície e a área desta. Sua unidade é o **lm/m²**. Podemos dizer que:

$$M = \Phi_v/S \text{ [lm/m}^2\text{]}, \text{ onde:}$$

- Φ_v = fluxo luminoso que emerge da superfície;
- S = área da superfície.

Corpo Negro: é um radiador de temperatura, de temperatura uniforme, cuja exitância radiante em todas as partes do espectro é a máxima obtida. Ele é chamado corpo negro porque absorve toda a energia radiante que incide sobre ele. Todos os outros radiadores de temperatura, tendo o mesmo tamanho e a mesma temperatura do corpo negro, irradiam menos do que o corpo negro em alguns ou em todos os comprimentos de onda.

Difusor perfeito: Uma superfície difusora perfeita é aquela que emite ou reflete o fluxo luminoso de tal forma que a luminância é a mesma de qualquer ângulo de visão. Esta superfície é chamada de Lambertiana. Para uma superfície Lambertiana, a exitância luminosa é:

$$M = \pi \cdot L$$

O padrão de intensidade luminosa

Em 1909, o U.S. National Bureau of Standards (NBS) redefiniu a candela em termos de um grupo de lâmpadas incandescentes com filamento de carbono com dimensões precisamente determinadas e operando com tensão controlada. Este padrão foi aceito tanto nos EUA quanto na Europa porque a vela e as chamas de gás não eram completamente satisfatórias como padrões, devido as dificuldades em controlar as diversas variáveis envolvidas.

Em 1937, o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) adotou a seguinte resolução: "A partir de 1 de janeiro de 1940, a unidade de intensidade luminosa deverá ser tal que o brilho do corpo negro na temperatura de solidificação da platina é 60 cd/cm²". A escolha de 60 era para fazer a "vela nova" e a "vela velha" quase a mesma em termos de brilho.

No período da segunda guerra mundial pouca coisa foi feita para se implementar uma nova definição, até que em 1948, quando a CIE recomendou que a nova unidade de intensidade luminosa se chamasse candela. No mesmo ano, a Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) refinou a definição feita antes da guerra: "A candela é a unidade de intensidade luminosa. A magnitude da candela é tal que a luminância do corpo negro, à temperatura de solidificação da platina, é de 60 cd/cm²".

O resultado do corpo negro padrão de Waidner e Burgess está ilustrado na Figura 5. O tubo de teste com Óxido de Tório é imerso em platina que está num recipiente termicamente isolado. A platina é mantida a pressão de 101,325 N/m² e é aquecida pela aplicação de um campo eletromagnético até que ela se funde (o ponto de fusão do óxido de tório é muito maior do que o da platina). Então deixamos a platina esfriar até a temperatura de solidificação (2042 K) e, a luminância do óxido de tório é medida através da abertura do tubo. A esta luminância é atribuído o valor de 60 cd/cm² e assim cada centímetro quadrado tem uma intensidade luminosa de 60 cd.

O corpo negro era muito superior ao filamento de carbono, como padrão, porque sua densidade de potência radiante poderia ser calculada precisamente, e, porque as variáveis associadas à medição poderiam ser rigidamente controladas, e ela ainda era baseada, em parte, numa medição fotométrica (luminância). Havia considerável interesse no mundo, em ter um padrão de iluminação que dependesse somente de quantidades radiométricas (watts). Em 1979, a CGPM adotou a definição atual da candela **(Ver Aula 2)**.

O que esta definição faz é relatar a candela para uma única linha espectral de radiação no pico da curva de eficiência luminosa espectral do olho humano (555 nm). Assim ela elimina a necessidade de uma medição fotométrica e define a candela estritamente em termos radiométricos.

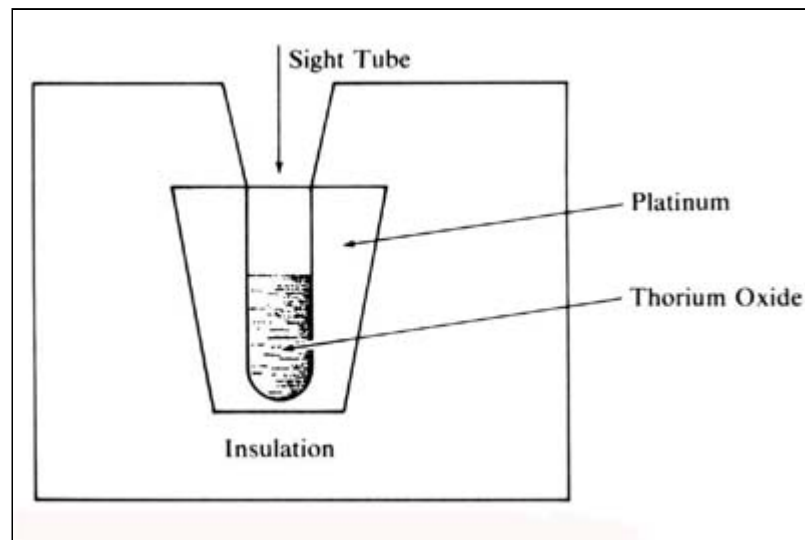


Figura 5: Padrão de Intensidade de Waidner e Burgess

O lúmen e o watt

Na **aula 2**, nós vimos algumas limitações das curvas $V(\lambda)$ e $V'(\lambda)$ referentes a ângulos de abertura e cores. Cabe observar também que, estas curvas, são curvas médias para observadores padrões. Trabalhos de vários pesquisadores mostram que podem haver divergências significativas, de valores, em função do observador. Por exemplo, para o comprimento de onda de 590nm, onde encontramos o valor de 0,757 para eficiência luminosa espectral na curva $V(\lambda)$, a variação encontrada em alguns trabalhos vai de 0,62 até 0,95.

Se olharmos bem para as duas curvas (**ver aula 2**), poderemos observar que os picos de eficiência luminosa espectral estão deslocados de 50 nm aproximadamente. Para a visão fotópica ele ocorre em 555 nm e para visão escotópica em 507nm. Este fenômeno é chamado de efeito Purkinje, e, significa, qualitativamente que o olho humano é relativamente menos sensível ao vermelho e mais sensível ao azul durante à noite do que de dia. Johannes Von Purkinje observou este efeito quando caminhava num campo. Ele notou que as flores azuis vistas ao amanhecer brilhavam mais do que as vermelhas e, que acontecia o contrário no meio do dia.

Cabe aqui ressaltar que aquele experimento do $V(\lambda)$ descrito na aula 2 não foi o mesmo para o $V'(\lambda)$. Os valores para a curva $V'(\lambda)$ foram definidos a partir de outro experimento e a CIE adotou os valores em 1951. Já existem propostas de equações matemáticas para obter os valores da curva $V(\lambda)$ e que até então são dados sob a forma de tabela.

Podemos dizer que é através da curva $V(\lambda)$ que quantidades, a princípio radiométricas, podem ser estudadas pela Fotometria. Ou seja, se pegarmos toda a radiação ótica emitida por uma fonte e multiplicarmos pela curva $V(\lambda)$, teremos como resultado a sensação visual que esta radiação causaria em nossos olhos. Resumindo:

Grandeza Radiométrica → $V(\lambda)$ → Grandeza Fotométrica

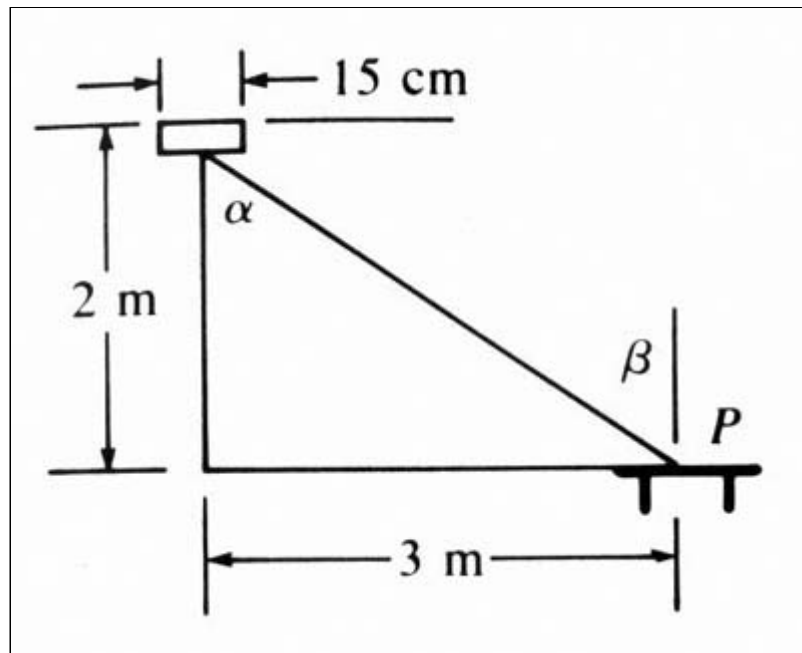
Vamos agora relacionar o lúmen e o watt. Nós sabemos que o corpo negro tem uma luminância de 60 cd/cm^2 à 2042 K. Sendo ele um difusor perfeito, podemos dizer que sua exitância luminosa é de 60 nlm/cm^2 nesta temperatura. Se nós plotarmos a curva de potência espectral do corpo negro para 2042 K e multiplicá-la ponto-a-ponto pela curva $V(\lambda)$, obteremos a curva de densidade de potência luminosa espectral para o corpo negro nessa temperatura. Se calcularmos a área sob a figura obtida teremos a densidade de potência luminosa total do corpo negro. Esta curva tem sido calculada com precisão e o valor obtido é $0,27598 \text{ 1W/cm}^2$.

Nós temos então que, 60 nlm/cm^2 é equivalente a $0,27598 \text{ 1W/cm}^2$. Isto significa que cada 1W de luz deverá produzir $60 \text{ nlm} / 0,27598 = 683 \text{ lm}$, que é o valor de Km (que nós chamamos de fator de escala na **aula 2**) para visão fotópica. Assim para uma fonte, é necessário multiplicar o número de watts de luz pela constante $K = 683 \text{ lm/IW}$ para determinarmos o número de lúmens produzidos. O que K nos diz é que se conseguíssemos concentrar toda a potência radiante de uma fonte em um único comprimento de onda (555nm), cada watt dessa potência produziria 1W de luz e assim 683lm de luz verde-amarela.

Exercícios propostos:

Envie a resposta do exercício para redacao@edlumiere.com.br, para ser corrigida pelo professor

1. Qual a área aparente de uma superfície de 20 m² cuja direção de visão forma um ângulo de 10° com a normal?
2. Um led hipotético emite radiação óptica somente no comprimento de onda de 600 nm com potência de 1W. Sabendo que o valor de $V(\lambda)$ para este comprimento de onda é de 0,631. Qual será o valor do fluxo luminoso emitido por este led?
3. Uma luminária circular de 15 cm de diâmetro está montada no teto de uma sala, conforme figura. Sua luminância na direção do ponto P é de 40 cd/m² (valor tirado de uma tabela). Determine a intensidade luminosa na direção de P e a iluminância na mesa que contém o ponto P (a espessura da luminária é desprezível).



Bem, vamos ficando por aqui. Se houverem dúvidas até esta parte do curso seria bom esclarecê-las pois, os conhecimentos expostos até aqui vão ser a base para o desenvolvimento do curso. Na próxima aula vamos estudar os instrumentos utilizados nas medições fotométricas. Até lá!

Referências bibliográficas:

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5461 : Iluminação. São Paulo, 2002.
- COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. CIE 18.2 : Physical Basis of Photometry. Vienna, 1986.
- 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.

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