

Instituto de Física Gleb Wataghin – Unicamp

Topicos de Ensino de Fisica I
F 609, 2º semestre de 2011



Coordenador: Prof. Dr. Jose Joaquim Lunazzi
Orientador: Antonio Carlos da Costa¹

Aluna: Poliana Malandrin²
Novembro de 2011

¹accosta@ifi.unicamp.br
²RA 084554, poliana.malandrin@gmail.com

Sumário

01 Introdução

02 A Fotometria

2.1 Leis da Fotometria

2.2 Intensidade e Fluxo Luminosos para uma Fonte não Pontual

2.3 Algumas Definições

03 O Fotômetro de Bunsen: Fotometria comparativa por mancha de óleo em papel

04 O Experimento

4.1 Montagem

4.2 Obtenção de Dados e Análise de Informações

05 Discussão e Conclusão

06 Comentários do Orientador

07 Comentários do Coordenador

Referências

Resumo Bibliográfico

Resumo

Proponho, neste trabalho, a verificação qualitativa de fenômenos fotométricos através da construção de um fotômetro com base na experiência de Bunsen. Tal experiência usa a comparação de fluxo luminoso de duas fontes esféricas, aproximadamente pontuais, incidente em um anteparo. Analisa-se ainda, dois tipos de fontes esféricas: lâmpada com bulbo revestido e de filamento, a fim de saber qual delas mais se aproxima do modelo ideal, apresentado a seguir.

1 – Introdução

É possível, diariamente, notar o efeito da óptica no cotidiano das pessoas. Especialmente da fotometria, que é o estudo da maneira com a qual percebemos o “brilho da luz”, ou, mais tecnicamente, o fluxo luminoso. Muitas são as aplicações da fotometria, variando de câmeras fotográficas a estudos astronômicos. Ou seja, indo do usual ao complexo. O trabalho que segue aborda a fotometria de maneira simples, através do fotômetro de Bunsen, criado por Robert Wilhelm Bunsen, cujo princípio consiste na comparação visual de fluxo luminoso. Assim, foi construído um fotômetro capaz de fornecer resultados análogos aos do fotômetro de Bunsen: permite chegar a conclusões acerca da capacidade de iluminação das lâmpadas em dadas circunstâncias (pré-estabelecidas), ou, até mesmo em que momento e com qual configuração a capacidade de iluminação é a mesma, através do fluxo luminoso incidente em um anteparo com mancha de óleo. Estuda-se ainda, o comportamento de duas diferentes fontes luminosas, tentando concluir acerca da eficiência de ambas.

2 – A fotometria

Fotometria é a parte da física que trata a intensidade das fontes luminosas. A intensidade luminosa é equivalente ao fluxo luminoso emitido por unidade de ângulo sólido. A intensidade será representada aqui pela letra “I” e sua unidade de medida é a candela, que é o mesmo que lumen dividido por esferorradiano. Assim, é possível montar a seguinte equivalência entre unidades de medida envolvidas:

$$\text{cd} = \text{lm} / \text{sr} = \text{lm} = \text{mW} \quad (1)$$

Para um maior entendimento, é necessário destacar as seguintes informações acerca de candela e esferorradiano:

- Candela: é a intensidade luminosa emitida por uma fonte de luz monocromática de frequência $f = 540 \times 10^{12} \text{ Hz}$, que é a frequência de luz verde, cor cuja capacidade de absorção do olho humano é maior.
- Esferorradiano: ângulo sólido “w” que, tendo vértice no centro de uma esfera subtende na superfície uma área “A” igual ao quadrado do raio “r” de uma esfera).

Assim, chega-se facilmente as seguintes relações:

$$w = A / r^2 = 4\pi r^2 / r^2 = 4\pi(\text{sr}) \quad (2)$$

E ao seguinte esquema explicativo abaixo:

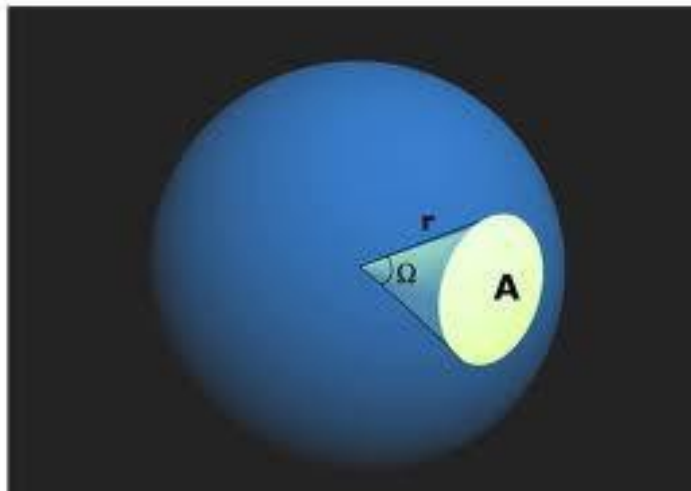


Figura 1 – Esquema explicativo acerca do Esferorradiano

Logo, é possível prever que a intensidade “I” será a potência ou luminosidade “φ” irradiada por uma **fonte puntiforme** (para a realização do experimento escolheu-se lâmpadas com características específicas, explicadas a seguir, de modo a obter-se fontes esféricas, aproximando-as de puntiformes) em um cone de angulo solido “w”, unitário. A equação matemática é a seguinte:

$$I = \phi / w = \phi / 4\pi(\text{sr}) \quad (3)$$

É necessário ainda ter bem fixado o conceito de fonte puntiforme, ou pontual. Assim, ressalto que uma fonte é considerada de tal modo quando suas dimensões são desprezíveis em relação ao ambiente em estudo ou um uma fonte representada por um único ponto emitindo

infinitos raios de luz.

Adote o seguinte esquema abaixo:

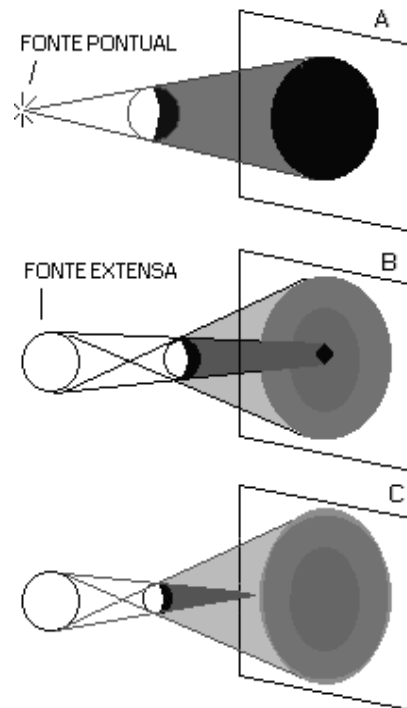


Figura 2 – Esclarecimentos acerca de uma fonte pontual

2.1 Leis da Fotometria

A intensidade luminosa “I” produzida sobre uma superfície é diretamente proporcional a intensidade de foco e inversamente proporcional ao quadrado da distância. A prova matemática de tal afirmação segue abaixo:

$$I = \int \phi \, dA = k \quad (4)$$

$$I = 4\pi d^2 \phi(d) \quad (5)$$

$$\text{Daí: } \phi(d) = I / 4\pi d^2 \quad (6)$$

Logo, pode-se notar que quando duas fontes de luz produzem a mesma luminosidade em um anteparo, as intensidades de cada uma são diretamente proporcionais ao quadrado da distância entre a fonte luminosa e o anteparo.

Para que todos os pontos da superfície sejam igualmente iluminados o tamanho desta deve ser pequeno. E ainda: a fonte deve ser pequena o suficiente para ser considerada pontual.

Quando a luminosidade em uma superfície não é normal, mas forma um ângulo com relação à direção perpendicular, a luminosidade produzida é igual ao produto da luminosidade normal pelo cosseno do ângulo formado pela direção de incidência e a normal à superfície. Ou seja:

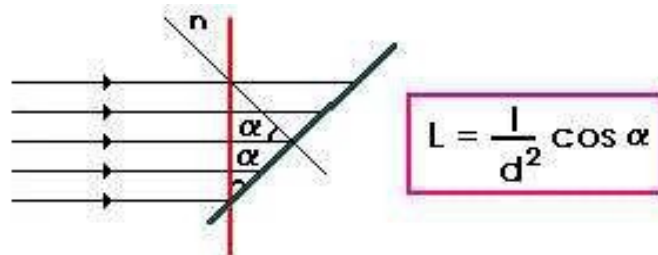


Figura 3 – Iluminação em uma superfície

2.2 Intensidade e Fluxo Luminosos para uma Fonte não Pontual

Quando a luz é emitida igualmente em todas as direções, ela se expande esfericamente. É como se a fonte estivesse no centro de uma esfera, composta de 4π ângulos sólidos unitários. O raio aumenta conforme a luz se propaga. A energia que atravessa a unidade de área da fonte, por unidade de tempo e por unidade de ângulo sólido, é chamada de intensidade específica. Assim:

$$I_{\perp} = \frac{dE}{dt dA d\omega}$$

(7)

Nem sempre a energia se propaga isotropicamente, como num feixe de laser. Nesse caso, a energia que atravessa a unidade de área é a mesma em todas as direções, dependendo do angulo Θ entre a direção de propagação e a normal a área, ou seja:

$$I_{\nu} = \frac{dE \cos \theta}{dt dA d\omega d\nu}$$

(8)

De tal modo:

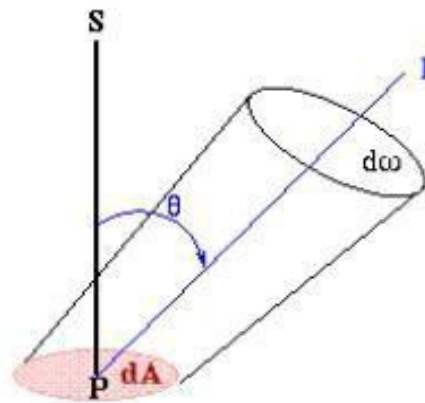


Figura 4 – A intensidade na direção de S é diferente do que na direção de I

Assim, nota-se que a intensidade específica **não depende da distância** da fonte luminosa.

2.3 Algumas Definições

Intensidade de um foco luminoso: O olho humano é sensível aos contrastes da luz, fato que faz com que a observação visual nos permita distinguir a intensidade luminosa, embora comparações entre intensidades sejam aproximadas (características exploradas no fotômetro de Bunsen);

Iluminância “E”: Fluxo luminoso recebido por uma superfície, cuja unidade e o lux = lx. Nota: lux = lm / m²;

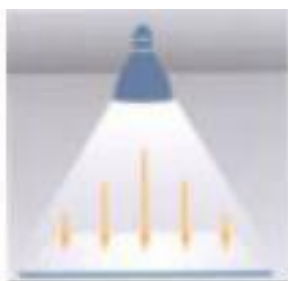


Figura 5 – Esquema Iluminância

Fluxo Luminoso: É o produto da iluminação normal da superfície por uma área iluminada. Assim, para uma superfície de 1m^2 iluminada por uma fonte de 1lx colocada a 1m de distância de todos os pontos da superfície, o fluxo é de 1lm . O melhor conceito sobre iluminância talvez seja uma densidade de luz necessária para a realização de uma determinada tarefa visual.



Figura 6 – Esquema Fluxo Luminoso

Eficiência Luminosa: É o quociente entre o fluxo luminoso emitido em lm , pela potência consumida em W . Ou seja, retrata a quantidade de luz que uma fonte luminosa pode produzir a partir da potência elétrica de 1W .

Refletância – ρ : É a relação entre o fluxo luminoso refletido por uma superfície e o fluxo luminoso incidente sobre ela, expressa normalmente em porcentagem. Varia em função das características da superfície, que no caso do experimento é considerada semitransparente, devido ao depósito de óleo (mais detalhes abaixo).

Absorbância – α : É o mesmo que fator de absorção, absorvância ou absorvência. É a capacidade intrínseca dos materiais em absorver radiações em frequência específica.

Transmitância – ζ : É a fração da luz incidente com um comprimento de onda específico, que

atravessa uma amostra de matéria. É diretamente relacionada com a absorbância. Consiste na passagem inalterada de radiação pela matéria.

3 – O fotômetro de Bunsen: Fotometria comparativa por mancha de óleo em papel

A experiência original de Bunsen constitui-se na construção de um dispositivo onde basicamente deposita-se uma mancha de óleo, azeite ou qualquer outro tipo de gordura em um papel branco, de modo a torná-lo uma superfície semitransparente. Em seguida, usa-se duas fontes luminosas com o intuito de analisá-las visualmente, observando o fluxo luminoso que chega/atravessa perpendicularmente o anteparo.

As etapas originais da construção de tal dispositivo são as que seguem:

- Uso de um papel em branco com mancha de azeite;
- Posicionamento da vela atrás do papel e observação de um clareamento na mancha, em relação ao resto do papel;

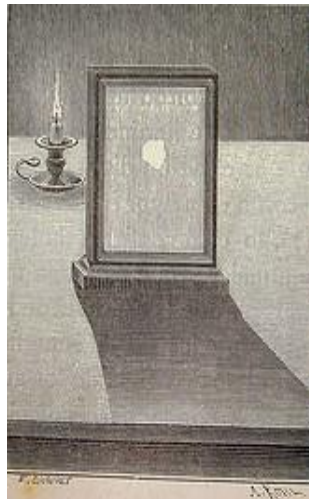


Figura 7 – Ilustração Fotômetro de Bunsen

- Posicionamento da vela a frente do papel (entre o observador e o papel) e observação de um escurecimento da mancha, com relação ao resto do papel;

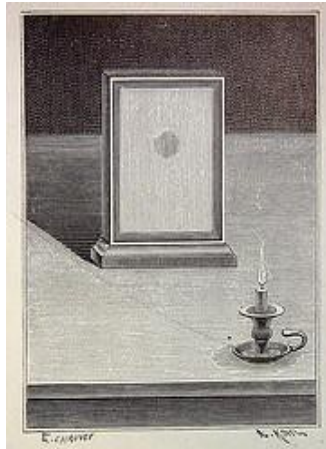


Figura 8 - Ilustração Fotômetro de Bunsen

- Uso de duas velas iguais e a mesma distância do papel (papel entre as velas) e observação da ausência de mancha.

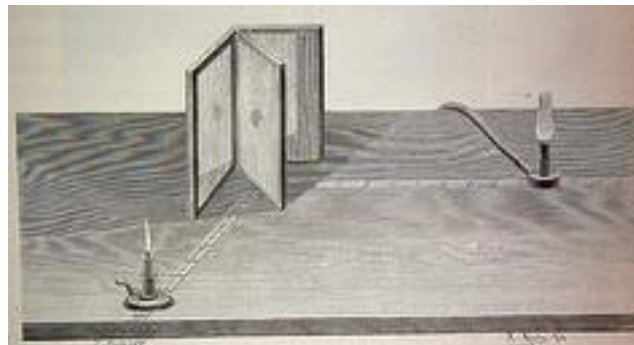


Figura 9 – Ilustração Fotômetro de Bunsen

Assim, se analisarmos os elementos presentes na iluminação de ambos os lados do anteparo, teremos:

$$\text{Fluxo Luminoso} = \text{Fator de Absorção} + \text{Fator de Reflexão} + \text{Fator de Transmissão} \quad (09)$$

$$\text{Fluxo Luminoso} = \text{Absorbância} + \text{Refletância} + \text{Transmitância} \quad (10)$$

O que permite:

$$E = \alpha + \rho + \zeta \quad (11)$$

É necessário considerar os iluminamentos da folha e também da mancha de papel, ou seja:

$$E = E_{\text{papel}} + E_{\text{mancha}} \quad (12).$$

Logo:

- Epapel = $\rho' \cdot (I_0 / x_0^2)$, uma vez que não há transmissão e nem absorção de luz.
- Emancha = $\rho \cdot (I_0 / x_0^2) + \zeta \cdot (I_1 / x_1^2)$, já que não há absorção de luz devido a mancha ser semitransparente.

Se ajustarmos o dispositivo para que a mancha desapareça, teremos o mesmo iluminamento. Chega-se então à seguinte relação:

$$\rho' \cdot (I_0 / x_0^2) = \rho \cdot (I_0 / x_0^2) + \zeta \cdot (I_1 / x_1^2) \quad (13)$$

Suponha que haja uma substituição da intensidade I_1 por outra intensidade, I_2 . Para que continuemos com o mesmo iluminamento, é necessário alterar x_1 por x_2 , então:

$$\rho' \cdot (I_0 / x_0^2) = \rho \cdot (I_0 / x_0^2) + \zeta \cdot (I_2 / x_2^2) \quad (14)$$

Através de manipulações algébricas entre as equações (13) e (14), temos:

$$I_1 / x_1^2 = I_2 / x_2^2 \quad (15)$$

A partir da configuração descrita acima e levando-se em consideração as observações físicas envolvidas, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- A luminosidade diminui com o quadrado da distância à fonte de luz;
- A luminosidade é máxima quando os raios de luz incidem perpendicularmente;
- Um objeto é iluminado quando recebe luz ou é uma fonte de luz;
- Nossa visão nos permite realizar uma análise comparativa entre dois objetos que iluminam uma mesma superfície;
- Quanto mais perto de uma fonte luminosa um objeto está, mais luz ele recebe;
- Pode-se afirmar que dois objetos tem mesma intensidade luminosa quando, dispostos na mesma configuração em relação a um objeto, sob mesmas condições de distância e ângulo de incidência, iluminam igualmente o objeto (fato comprovado quando temos a

sensação de que a mancha de óleo desaparece na experiência de Bunsen).

4 – O Experimento

O experimento consiste na construção de um fotômetro com base no funcionamento do fotômetro de Bunsen. Assim, é possível a comparação visual da intensidade luminosa de diferentes lâmpadas. Essa é uma análise qualitativa. Além disso, é proposto um método quantitativo para obtenção de curvas e valores que comparam o comportamento de dois tipos de fontes pontuais (lâmpadas com bulbo revestido e com filamento), vendo qual delas mais se aproxima de uma curva ideal, obtida através de uma fonte pontual, obedecendo então, à “Lei do Quadrado da Distância”.

4.1 Montagem

Para a montagem do experimento utilizei os seguintes materiais:

- Mesa que acondicione o conjunto;
- Lâmpadas incandescentes;
- Lâmpadas fluorescentes;
- 02 soquetes;
- 01 fio paralelo com pino macho;
- 01 extensão elétrica com 5m de comprimento;
- 01 suporte horizontal que permita o deslocamento do conjunto (lâmpada + soquete) - madeira;
- 02 suportes que agreguem o conjunto (lâmpada + soquete) a serem deslizados sobre o suporte horizontal – placas de metal;
- 02 parafusos para fixarem o soquete;
- Lixa para madeira;
- Tinta;
- Pincéis;
- Serrote;
- Lixadeira;
- Furadeira;
- Pedacos de papel em branco;
- Suporte para os pedacos de papel;
- Fita adesiva;

- Azeite ou óleo;
- 01 pipeta;
- Duas réguas para medir a distância entre as velas e o conjunto “suporte + papeis”;
- 01 fotômetro J16 Techtronix para obtenção de alguns valores numéricos.

4.2 Obtenção de Dados e Análise de Informações

A fim de uma análise relativamente quantitativa estabeleu-se condições para a obtenção de uma curva ideal e foi proposto um método em que é possível analisar o comportamento de dois tipos de fontes luminosas, segundo a “Lei do Quadrado da Distância”.

Para a construção de uma curva ideal, faz-se necessária a utilização da seguinte relação (obtida com o uso da equação (6) e com prova matemática que chega a equação (15)):

$$I_1 / d_1^2 = I_2 / d_2^2 \quad (9),$$

onde I_1 é a intensidade luminosa da lâmpada 1, d_1 é a distância fixa (conhecida) do anteparo a lâmpada 1, I_2 é a intensidade luminosa da lâmpada 2 e d_2 é a distância em que a lâmpada 2 deve estar se obedece à “Lei do Quadrado da Distância”.

Observação: Os valores de I_1 e I_2 foram retirados de informações fornecidas pelo próprio fabricante.

O método proposto é o que segue:

- Selecionar duas lâmpadas distintas (de diferentes potências), sendo ambas ou revestidas ou de filamentos;
- Fazer a medição com um fotômetro digital da intensidade luminosa de uma delas, ou utilizar a informação fornecida pelo fabricante;
- Posicionar a primeira lâmpada com intensidade luminosa conhecida a uma distancia fixa do anteparo;
- Variar a posição da segunda lâmpada, também com intensidade luminosa conhecida, a uma distância onde nota-se o desaparecimento da mancha de óleo;
- Anotar os dados e repetir o processo, até que se obtenha um conjunto de dados suficiente para obtenção da curva;
- Analisar a curva, vendo se obedece ou não às Leis da Fotometria, concluindo acerca do tipo de fonte (pontual, esférica) e eficiência do equipamento construído.

Assim, a partir de tal método, é possível a construção de muitas curvas, dada a variedade de lâmpadas que se tem, combinando-as de duas a duas, segundo seu tipo principal (bulbo revestido / filamento). É importante notar que, se as lâmpadas forem idênticas, independentemente do tipo principal, teoricamente, seria necessário posicioná-las a uma mesma distância do anteparo, como previsto por Bunsen.

É possível ainda analisar a precisão de tal método, comparando as curvas obtidas para cada tipo de lâmpada com a curva ideal.

Quando observamos o desaparecimento da mancha, podemos analisar sobre a eficiência das lâmpadas em uso, comparando a distância das mesmas ao anteparo. Em outras palavras: quando a mancha desaparece, devemos observar a distância de cada uma delas ao anteparo, aquela que tiver a respectiva maior distância, é a mais eficiente, já que precisou ilumina do mesmo modo que uma lâmpada mais próxima.

Apresento a partir de agora um exemplo do método proposto.

- Considerei as lâmpadas de filamento de 40W e 60W para cálculos que permitam traçar a curva ideal. As respectivas intensidades luminosas são 516lm e 864lm;
- Assim, conhecendo-se uma das distâncias, é possível descobrir qual seria a segunda, em

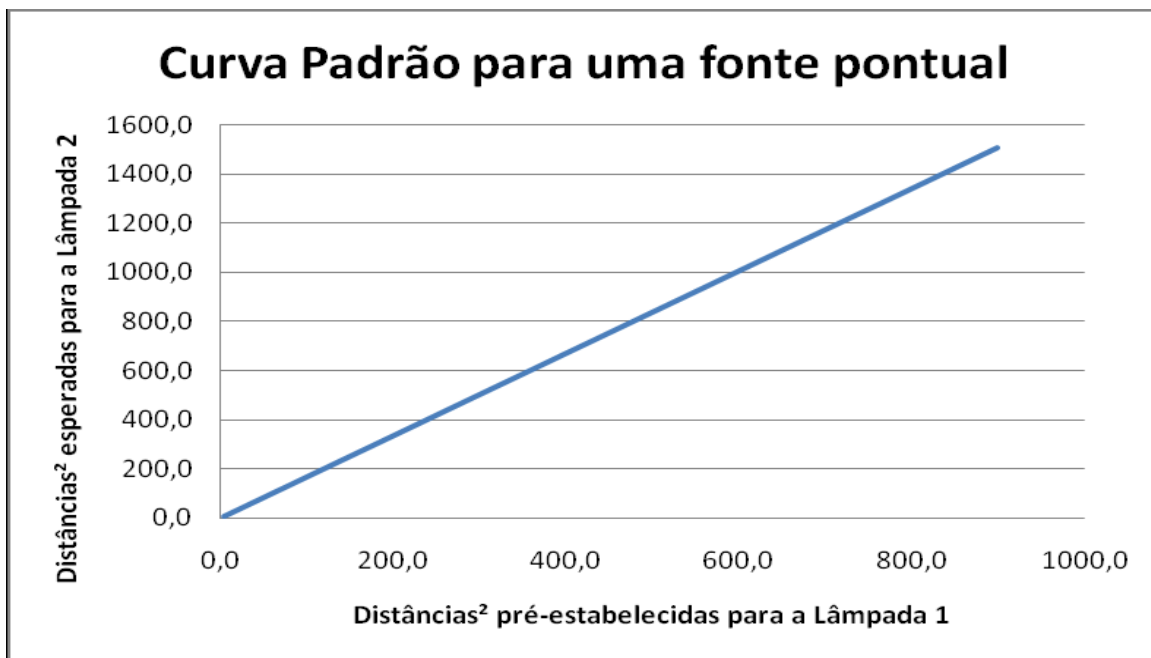
um modelo ideal. Para melhor visualização do gráfico, variei a distância conhecida de 02 em 02 unidades;

- Em seguida, tracei a curva ideal, que deve obedecer o mesmo padrão, independentemente das potências e dos tipos das lâmpadas, desde que ambas sejam sempre do mesmo modo (ou filamento ou bulbo revestido).

$d1^2$ (cm)	$d2^2$ (cm)
4,0	6,7
16,0	26,8
36,0	60,3
64,0	107,2
100,0	167,4
144,0	241,1
196,0	328,2
256,0	428,7
324,0	542,5
400,0	669,8
484,0	810,4
576,0	964,5
676,0	1131,9
784,0	1312,7
900,0	1507,0

Tabela 1 – Valores da distância² da Lâmpada 02 – $d2^2$ dada distâncias pré-estabelecidas para a Lâmpada 01 – $d1^2$

Gráfico 01 – Curva Ideal, para fontes pontuais que obedecem a “Lei do Quadrado da Distância”



Assim, parti então para a análise dos dois tipos de lâmpadas citados, vendo qual mais se aproxima de tal curva padrão obtida.

Lembrando que:

- Tipo 01: lâmpadas com o bulbo revestido
- Tipo 02: lâmpadas de filamento

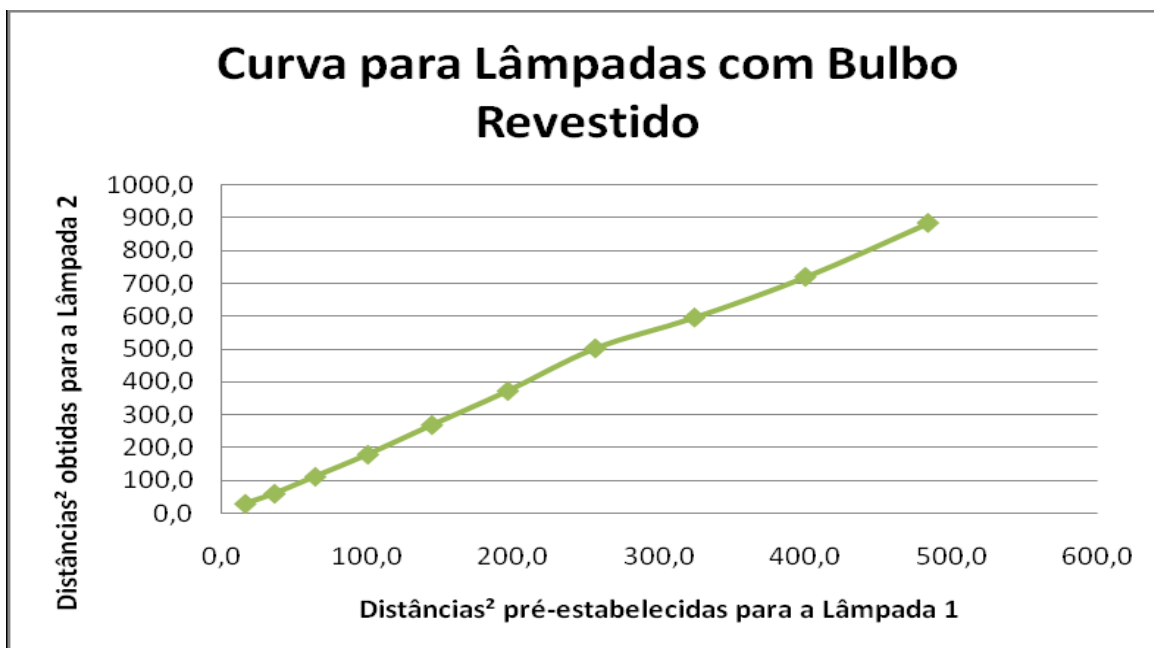
- Para o **primeiro tipo** foram utilizadas lâmpadas de 60W e 100W, com respectivos valores de 864lm e 1620lm;
- Analogamente ao método realizado para a obtenção da curva padrão, variei a distância ao anteparo da lâmpada 1 – 60W de duas em duas unidades, observando em que momento a mancha de óleo desaparecia, em tal momento, olhava e anotava a distância ao anteparo da lâmpada 2 – 100W;
- Em seguida, construí a tabela e o gráfico que seguem, procurando compará-lo à curva padrão.

Os dados obtidos são:

$d1^2$ (cm)	$d2^2$ (cm)
16,0	30,3
36,0	60,8
64,0	112,4
100,0	179,6
144,0	269,0
196,0	372,5
256,0	501,8
324,0	595,4
400,0	718,2
484,0	882,1

Tabela 2 – Valores da distância² da Lâmpada 02 – $d2^2$ dada distâncias pré-estabelecidas para a Lâmpada 01 – $d1^2$

Gráfico 02 – Curva para lâmpadas com bulbo revestido



- Para o **segundo tipo** foram utilizadas lâmpadas de 40W e 60W, com respectivos valores de 516lm e 864m;
- Analogamente ao método realizado para a obtenção da curva padrão, variei a distância ao anteparo da lâmpada 1 – 40W de duas em duas unidades, observando em que momento a mancha de óleo desaparecia, em tal momento, olhava e anotava a distância ao

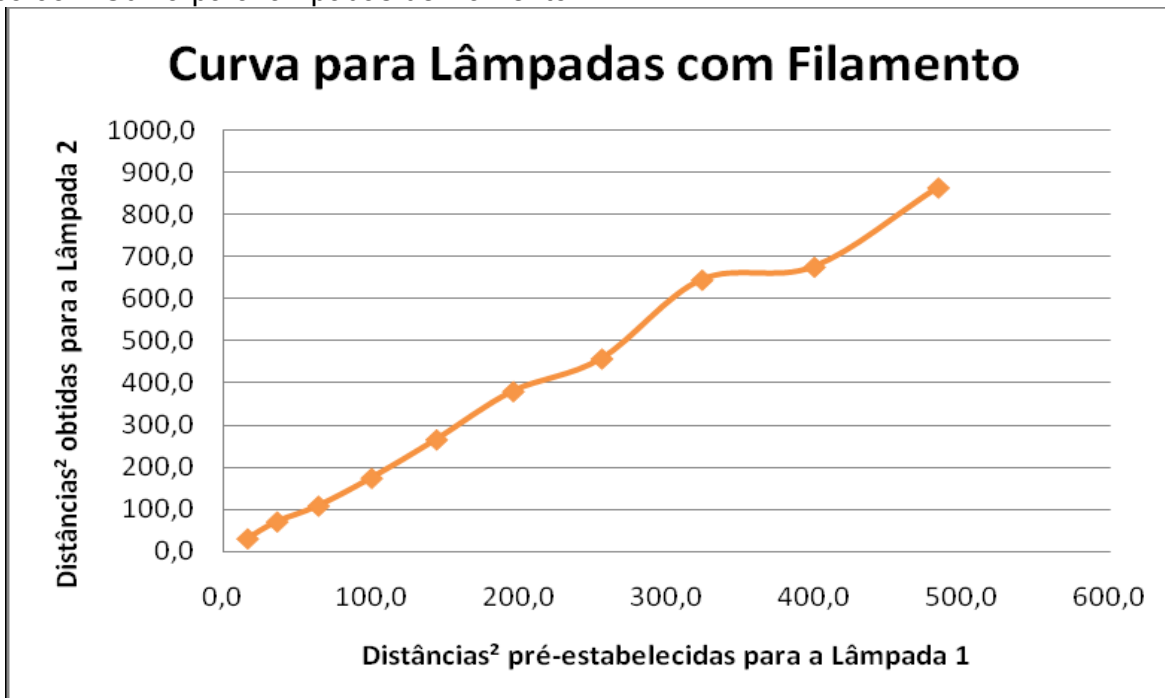
anteparo da lâmpada 2 – 60W;

- Em seguida, construí a tabela e o gráfico que seguem, procurando compará-lo à curva padrão.

$d1^2$ (cm)	$d2^2$ (cm)
16,0	30,3
36,0	70,6
64,0	108,2
100,0	174,2
144,0	265,7
196,0	380,3
256,0	458,0
324,0	645,2
400,0	676,0
484,0	864,4

Tabela 3 – Valores da distância² da Lâmpada 02 – $d2^2$ dada distâncias pré-estabelecidas para a Lâmpada 01 – $d1^2$

Gráfico 03 – Curva para lâmpadas de filamento



Logo, observa-se que a lâmpada de bulbo revestido, experimentalmente, mais de

aproxima a uma fonte pontual, uma vez que seu gráfico foi mais próximo que a curva padrão, embora as lâmpadas tivessem comportamento parecido, observado através dos gráficos 02 e 03.

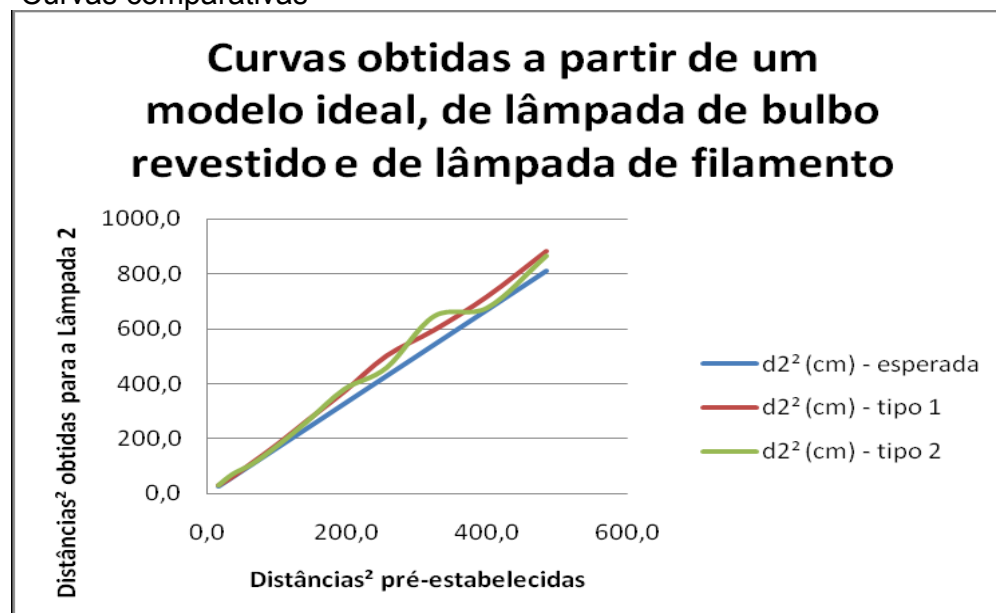
Construí ainda a seguinte tabela comparativa abaixo, levando em consideração os dois tipos de lâmpada:

$d1^2$ (cm) – fixa	$d2^2$ (cm) – esperada	$d2^2$ (cm) – tipo 1	$d2^2$ (cm) – tipo 2
16,0	26,8	30,3	30,3
36,0	60,3	60,8	70,6
64,0	107,2	112,4	108,2
100,0	167,4	179,6	174,2
144,0	241,1	269,0	265,7
196,0	328,2	372,5	380,3
256,0	428,7	501,8	458,0
324,0	542,5	595,4	645,2
400,0	669,8	718,2	676,0
484,0	810,4	882,1	864,4

Tabela 4 – Valores esperados e obtidos segundo distâncias pré-estabelecidas da lâmpada 01 ao anteparo

E também o seguinte gráfico com as três curvas:

Gráfico 04 – Curvas comparativas



O gráfico 04 evidencia a aproximação melhor de lâmpadas do tipo 01 (revestidas) com relação à curva esperada, em azul.

5 – Discussão e Conclusão

Nota-se que o experimento é uma excelente maneira de análise qualitativa de intensidades luminosas entre duas lâmpadas, segundo método proposto por Bunsen, onde nota-se visualmente os efeitos fotométricos. Porém, da análise quantitativa, segue que é importante fazer uma escolha adequada de fontes luminosas, de modo a ter uma diminuição no erro experimental, que é relativamente alto. Isso se deve, entre outras coisas, ao fato de sermos nós os observadores, não tendo nenhum equipamento que faça a leitura dos valores.

6 – Comentários do Orientador

A aluna apresentou um projeto bem interessante que resgata uma técnica bem antiga - a comparação visual. Obviamente este método perde de longe na precisão para os atuais métodos digitais, no entanto resgata a criatividade de estabelecer medidas usando uma fonte conhecida como padrão. A aluna se dedicou tanto na construção do seu pequeno aparato, como na pesquisa bibliográfica e medidas para estabelecer uma curva de referência. O método tem seu valor pela história, criatividade e simplicidade.

7 – Comentários do Coordenador

Referências

Sobre fotometria:

- <http://en.wikipedia.org/wiki/Photometry>
- <http://www.dee.ufcg.edu.br/~jluisn/trabalhos/fotometria.pdf>
- http://www.lcs.poli.usp.br/~gstolfi/mack/Ap1_Fotometria_M8.pdf
- http://www.catalogosiluminacao.philips.com.br/imagem/produto/incandescentes/manual/incandescente_standard_out2009.pdf

Sobre Bunsen e seu fotometro:

- <http://www.slideshare.net/guest357bfa/fotometro-de-bunsen>
- <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/robertwilhelmbunsen/robert-wilhelm-bunsen.php>
- <http://www.youtube.com/watch?v=QMZz9WFLcE&feature=related>
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_27.asp
- <http://www.donboscobaires.com.ar/acad/sec/fisica/05/optica.doc>
- [http://www.infopedia.pt/\\$densitometro](http://www.infopedia.pt/$densitometro)
- <http://translate.google.com.br/translate?hl=ptBR&langpair=en%7Cpt&u=http://kr.cs.ait.ac.th/~radok/physics/l2.htm>

Resumo Bibliográfico

- <http://en.wikipedia.org/wiki/Photometry>

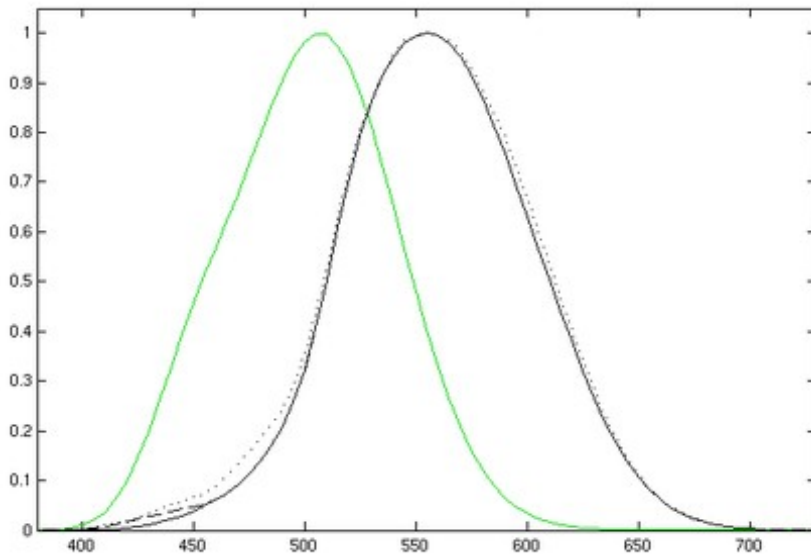
The image is a screenshot of a web browser displaying the Wikipedia article for 'Photometry'. The browser's address bar shows 'en.wikipedia.org/wiki/Photometry'. The page features the Wikipedia logo on the left and a navigation menu. The main content area has a 'Please read: A personal appeal from Wikipedia programmer Brandon Harris' banner with a 'Read now' button. Below this, the article title 'Photometry' is followed by a disambiguation section listing three related topics: 'Photometry (optics)', 'Photometry (astronomy)', and 'A photometric study'. A 'See also' section lists 'Radiometry'. At the bottom, there is a note about the page's last modification date and a Creative Commons license notice.

Definições curtas acerca de fotometria, relacionada à óptica e à astronomia. Dá link para:

- [http://en.wikipedia.org/wiki/Photometry_\(optics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Photometry_(optics))
Publicação um tanto quanto completa sobre fotometria, define-a, relaciona-a rapidamente com o olho humano, apresenta as unidades de medidas envolvidas, aborda a diferença entre radiometria e fotometria, bem como a consequência disso nas unidades de medidas. Fala rapidamente sobre técnicas de medição fotométricas (fotômetros).

Photometry (optics)

From Wikipedia, the free encyclopedia



Photopic (daytime-adapted, black curve) and scotopic [1] (darkness-adapted, green curve) luminosity functions. The photopic includes the CIE 1931 standard [2](solid), the Judd-Vos 1978 modified data [3] (dashed), and the Sharpe, Stockman, Jagla & Jägle 2005 data [4] (dotted). The horizontal axis is wavelength in nm.

Not to be confused with [photometric study](#).

For other uses, see [photometry \(disambiguation\)](#).

Photometry is the science of the [measurement](#) of [light](#), in terms of its *perceived* brightness to the human eye.[1] It is distinct from [radiometry](#), which is the science of measurement of radiant energy (including light) in terms of absolute power; rather, in photometry, the radiant power at each wavelength is weighted by a [luminosity function](#) (a.k.a. visual sensitivity function) that models human brightness sensitivity. Typically, this weighting function is the photopic sensitivity function, although the scotopic function—and others—may also be applied in the same way.

Contents

[hide]

- [1 Photometry and the eye](#)
- [2 Photometric quantities](#)
 - [2.1 Photometric versus radiometric quantities](#)
 - [2.2 Watts versus lumens](#)
- [3 Photometric measurement techniques](#)
- [4 Non-SI photometry units](#)
 - [4.1 Luminance](#)
 - [4.2 Illuminance](#)
- [5 See also](#)
- [6 Notes](#)
- [7 References](#)
- [8 External links](#)

[edit]Photometry and the eye

The [human eye](#) is not equally sensitive to all [wavelengths](#) of [visible light](#). Photometry attempts to account for this by weighing the measured power at each wavelength with a factor that represents how sensitive the eye is at that wavelength. The standardized model of the eye's response to light as a function of wavelength is given by the [luminosity function](#). Note that the eye has different responses as a function of wavelength when it is adapted to light conditions ([photopic vision](#)) and dark conditions ([scotopic vision](#)). Photometry is typically based on the eye's photopic response, and so photometric measurements may not accurately indicate the perceived brightness of sources in dim lighting conditions where colors are not discernible, such as under just moonlight or starlight.^[1] Photopic vision is characteristic of the eye's response at luminance levels over three candela per square metre. Scotopic vision occurs below 2×10^{-5} cd/m². [Mesopic vision](#) occurs between these limits and is not well characterised for spectral response.^[1]

[edit]Photometric quantities

Measurement of the effects of electromagnetic radiation became a field of study as early as the end of 18th century. Measurement techniques varied depending on the effects under

study and gave rise to different nomenclature. The total heating effect of [infrared](#) radiation as measured by thermometers led to development of radiometric units in terms of total energy and power. Use of the human eye as a detector led to photometric units, weighted by the eye's response characteristic. Study of the chemical effects of [ultraviolet](#) radiation led to characterization by the total dose or actinometric units expressed in photons per second. [1]

Many different units of measure are used for photometric measurements. People sometimes ask why there need to be so many different units, or ask for conversions between units that can't be converted ([lumens](#) and [candelas](#) , for example). We are familiar with the idea that the adjective "heavy" can refer to weight or density, which are fundamentally different things. Similarly, the adjective "bright" can refer to a light source which delivers a high luminous flux (measured in lumens), or to a light source which concentrates the luminous flux it has into a very narrow beam (candelas), or to a light source that is seen against a dark background. Because of the ways in which light propagates through three-dimensional space — spreading out, becoming concentrated, reflecting off shiny or matte surfaces — and because light consists of many different wavelengths, the number of fundamentally different kinds of light measurement that can be made is large, and so are the numbers of quantities and units that represent them.

For example, offices are typically "brightly" illuminated by an array of many recessed fluorescent lights for a combined high luminous flux. A [laser pointer](#) has very low luminous flux (it could not illuminate a room) but is blindingly "bright" in one direction (high luminous intensity in that direction).

Table 1. SI photometry units v · d · e

Quantity	Symbol[nb 1]	SI unit	Symbol	Dimension	Notes
Luminous energy	Q_v [nb 2]	lumen second	lm·s	T·J	units are sometimes called <i>talbots</i>
Luminous flux	Φ_v [nb 2]	Lumen (= cd·sr)	lm	J	also called <i>luminous power</i>
Luminous intensity	I_v	Candela (= lm/sr)	cd	J [nb 3]	An SI base unit , luminous flux per unit solid angle
Luminance	L_v	candela per square metre	cd/m ²	L ⁻² ·J	units are sometimes called <i>nits</i>

Illuminance	E_v	Lux (= lm/m ²)	lx	L ⁻² ·J	used for light incident on a surface
Luminous emittance	M_v	Lux (= lm/m ²)	lx	L ⁻² ·J	used for light emitted from a surface
Luminous exposure	H_v	lux second	lx·s	L ⁻² ·T·J	
Luminous energy density	ω_v	lumen second per metre ³	lm·s·m ⁻³	L ⁻³ ·T·J	
Luminous efficacy	H [nb 2]	lumen per watt	lm/W	M ⁻¹ ·L ⁻² ·T ³ ·J	ratio of luminous flux to radiant flux
Luminous efficiency	ν			1	also called <i>luminous coefficient</i>

[edit]Photometric versus radiometric quantities

There are two parallel systems of quantities known as photometric and radiometric quantities. Every quantity in one system has an analogous quantity in the other system. Some examples of parallel quantities include:[1]

- [Luminance](#) (photometric) and [radiance](#) (radiometric)
- [Luminous flux](#) (photometric) and [radiant flux](#) (radiometric)
- [Luminous intensity](#) (photometric) and [radiant intensity](#) (radiometric)

See [chart](#) for more. (*full page*)

In photometric quantities every wavelength is weighted according to how sensitive the human eye is to it, while radiometric quantities use unweighted absolute power. For example, the eye responds much more strongly to green light than to red, so a green source will have greater luminous flux than a red source with the same radiant flux would. Radiant energy outside the visible spectrum does not contribute to photometric quantities at all, so for example a 1000 [watt](#) space heater may put out a great deal of radiant flux (1000 watts, in fact), but as a light source it puts out very few lumens (because most of the energy is in the infrared, leaving only a dim red glow in the visible).

Table 2. SI radiometry units *v · d · e*

Quantity	Symbol[nb 4]	SI unit	Symbol	Dimension	Notes
Radiant energy	Q_e [nb 5]	joule	J	M·L ² ·T ⁻²	energy
Radiant flux	Φ_e [nb 5]	watt	W	M·L ² ·T ⁻³	radiant energy per unit time, also called

Spectral power	$\Phi_{e\lambda}$ [5]	watt per metre	$W \cdot m^{-1}$	$M \cdot L \cdot T^{-3}$	<i>radiant power.</i> radiant power per wavelength.
Radiant intensity	I_e	watt per steradian	$W \cdot sr^{-1}$	$M \cdot L^2 \cdot T^{-3}$	power per unit solid angle.
Spectral intensity	$I_{e\lambda}$ [6]	watt per steradian per metre	$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-1}$	$M \cdot L \cdot T^{-3}$	radiant intensity per wavelength. power per unit solid angle per unit projected source area.
Radiance	L_e	watt per steradian per square metre	$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$	$M \cdot T^{-3}$	confusingly called "intensity" in some other fields of study.
Spectral radiance	$L_{e\lambda}$ [6] or or $L_{e\nu}$ [7]	watt per steradian per metre ³ or watt per steradian per square metre per hertz	$W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-3}$ or $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-3}$ or $M \cdot T^{-2}$	commonly measured in $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ with surface area and either <u>wavelength</u> or <u>frequency</u> .
Irradiance	E_e [5]	watt per square metre	$W \cdot m^{-2}$	$M \cdot T^{-3}$	power incident on a surface, also called <i>radiant flux density</i> . sometimes confusingly called "intensity" as well.
Spectral irradiance	$E_{e\lambda}$ [6] or $E_{e\nu}$ [7]	watt per metre ³ or watt per square metre per hertz	$W \cdot m^{-3}$ or $W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-3}$ or $M \cdot T^{-2}$	commonly measured in $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ or $10^{-22} W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$, known as solar flux unit. [8]
Radiant exitance	M_e [5]	watt per square metre	$W \cdot m^{-2}$	$M \cdot T^{-3}$	power emitted from a surface.
Spectral radiant exitance	$M_{e\lambda}$ [6] or $M_{e\nu}$ [7]	watt per metre ³ or watt per square metre per hertz	$W \cdot m^{-3}$ or $W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-3}$ or $M \cdot T^{-2}$	power emitted from a surface per wavelength or frequency.
Spectral radiant					

emittance						
Radiosity	J_e	or watt per square metre	$W \cdot m^{-2}$	$M \cdot T^{-3}$		emitted plus reflected power leaving a surface.
Radiant exposure	$J_e \lambda$ ^[nb 6]	joule per square metre	$J \cdot m^{-2}$	$M \cdot T^{-2}$		
Radiant energy density	H_e	joule per metre ³	$J \cdot m^{-3}$	$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$		

[\[edit\]](#) **Watts versus lumens**

Watts are units of radiant flux while lumens are units of luminous flux. A comparison of the watt and the lumen illustrates the distinction between radiometric and photometric units.

The watt is a unit of power. We are accustomed to thinking of light bulbs in terms of power in watts. This power is not a measure of the amount of light output, but rather indicates how much energy the bulb will use. Because [incandescent bulbs](#) sold for "general service" all have fairly similar characteristics (same spectral power distribution), power consumption provides a rough guide to the light output of incandescent bulbs.

Watts can also be a direct measure of output. In a radiometric sense, an incandescent light bulb is about 80% efficient: 20% of the energy is lost (e.g. by conduction through the lamp base). The remainder is emitted as radiation, mostly in the [infrared](#). Thus, a 60 watt light bulb emits a total radiant flux of about 45 watts. Incandescent bulbs are, in fact, sometimes used as heat sources (as in a chick incubator), but usually they are used for the purpose of providing light. As such, they are very inefficient, because most of the radiant energy they emit is invisible infrared. A [compact fluorescent lamp](#) can provide light comparable to a 60 watt incandescent while consuming as little as 15 watts of electricity.

The lumen is the photometric unit of light output. Although most consumers still think of light in terms of power consumed by the bulb, in the U.S. it has been a trade requirement for several decades that light bulb packaging give the output in lumens. The package of a 60 watt incandescent bulb indicates that it provides about 900 lumens, as does the package of the 15 watt compact fluorescent.

The lumen is defined as amount of light given into one [steradian](#) by a [point source](#) of one candela strength; while the candela, a base SI unit, is defined as the luminous intensity of a source of monochromatic radiation, of frequency 540 terahertz, and a radiant intensity of

1/683 watts per steradian. (540 THz corresponds to about 555 [nanometres](#), the wavelength, in the green, to which the human eye is most sensitive. The number 1/683 was chosen to make the candela about equal to the standard candle, the unit which it superseded).

Combining these definitions, we see that 1/683 watt of 555 nanometre green light provides one lumen.

The relation between watts and lumens is not just a simple scaling factor. We know this already, because the 60 watt incandescent bulb and the 15 watt compact fluorescent can both provide 900 lumens.

The definition tells us that 1 watt of pure green 555 nm light is "worth" 683 lumens. It does not say anything about other wavelengths. Because lumens are photometric units, their relationship to watts depends on the wavelength according to how visible the wavelength is. Infrared and ultraviolet radiation, for example, are invisible and do not count. One watt of infrared radiation (which is where most of the radiation from an incandescent bulb falls) is worth zero lumens. Within the visible spectrum, wavelengths of light are weighted according to a function called the "photopic spectral luminous efficiency." According to this function, 700 nm red light is only about 4% as efficient as 555 nm green light. Thus, one watt of 700 nm red light is "worth" only 27 lumens.

Because of the summation over the visual portion of the EM spectrum that is part of this weighting, the unit of "lumen" is color-blind: there is no way to tell what color a lumen will appear. This is equivalent to evaluating groceries by number of bags: there is no information about the specific content, just a number that refers to the total weighted quantity.

[\[edit\]](#)Photometric measurement techniques

Photometric measurement is based on [photodetectors](#), devices (of several types) that produce an electric signal when exposed to light. Simple applications of this technology include switching luminaires on and off based on ambient light conditions, and light meters, used to measure the total amount of light incident on a point.

More complex forms of photometric measurement are used frequently within the lighting industry. Spherical photometers can be used to measure the directional luminous flux produced by lamps, and consist of a large-diameter globe with a lamp mounted at its center. A [photocell](#) rotates about the lamp in three axes, measuring the output of the lamp from all sides.

Lamps and lighting fixtures are tested using [goniophotometers](#) and rotating mirror photometers, which keep the photocell stationary at a sufficient distance that the luminaire can be considered a point source. Rotating mirror photometers use a motorized system of mirrors to reflect light emanating from the luminaire in all directions to the distant photocell; goniophotometers use a rotating 2-axis table to change the orientation of the luminaire with respect to the photocell. In either case, luminous intensity is tabulated from this data and used in lighting design.

[\[edit\]](#)Non-SI photometry units

[\[edit\]](#)**Luminance**

- [Footlambert](#)
- [Millilambert](#)
- [Stilb](#)

[\[edit\]](#)**Illuminance**

- [Foot-candle](#)
- [Phot](#)

[\[edit\]](#)See also

- [Reflectivity](#)
- [List of light sources](#)
- [Photometry \(astronomy\)](#)
- [Spectrometer](#)
- [Radiometer](#)

[\[edit\]](#)Notes

1. [^] [Standards organizations](#) recommend that photometric quantities be denoted with a suffix "v" (for "visual") to avoid confusion with radiometric or [photon](#) quantities.
2. [^] [a b c](#) Alternative symbols sometimes seen: *W* for luminous energy, *P* or *F* for luminous flux, and ρ or *K* for luminous efficacy.
3. [^] "J" is the recommended symbol for the dimension of luminous intensity in the [International System of Units](#).

4. ^ [Standards organizations](#) recommend that radiometric [quantities](#) should be denoted with a suffix "e" (for "energetic") to avoid confusion with photometric or [photon](#) quantities.
5. ^ [a b c d e](#) Alternative symbols sometimes seen: W or E for radiant energy, P or F for radiant flux, I for irradiance, W for radiant emittance.
6. ^ [a b c d e f](#) Spectral quantities given per unit [wavelength](#) are denoted with suffix " λ " (Greek) to indicate a spectral concentration. Spectral *functions* of wavelength are indicated by " (λ) " in parentheses instead, for example in [spectral transmittance](#), [reflectance](#) and [responsivity](#).
7. ^ [a b c](#) Spectral quantities given per unit [frequency](#) are denoted with suffix " ν " (Greek) —not to be confused with the suffix "v" (for "visual") indicating a photometric quantity.
8. ^ [NOAA / Space Weather Prediction Center](#) includes a definition of the [solar flux unit](#) (SFU).

[edit]References

1. ^ [a b c d e](#) Michael Bass (ed.), *Handbook of Optics Volume II - Devices, Measurements and Properties, 2nd Ed.*, McGraw-Hill 1995, ISBN978-0-07-047974-6 pages 24-40 through 24-47

[edit]External links

- [Realization of the Candela, the Lumen, and Other Photometric Units](#) (nist.gov)
- [Radiometry and photometry FAQ](#) Professor Jim Palmer's Radiometry FAQ page (University of Arizona).
- <http://www.dee.ufcg.edu.br/~jluisn/trabalhos/fotometria.pdf>
Trabalho realizado na Universidade Federal de Campina Grande envolvendo fotometria. Não copiei aqui por ser relativamente extenso.
- http://www.lcs.poli.usp.br/~gstolfi/mack/Ap1_Fotometria_M8.pdf
Aborda conceitos de fotometria envolvidos em uma televisão digital. É uma ótima referência para aplicação dos conceitos. Não copiei aqui por ser relativamente extenso.

- <http://www.catalogosiluminacao.philips.com.br/home/>
Catálogo Philips de objetos de iluminação. Nele encontram-se diversas informações acerca das lâmpadas utilizadas. Não copiei aqui por ser relativamente extenso.
- <http://www.slideshare.net/guest357bfa/fotometro-de-bunsen>
Página da internet onde encontram-se diversos slides explicativos, que vão desde a óptica até os tipos de fotômetros, incluindo o de Bunsen, objeto de pesquisa. Não copiei os slides aqui devido à incompatibilidade de formatos.
- <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/robert-wilhelm-bunsen/robert-wilhelm-bunsen.php>
Aqui encontram-se informações da biografia de Robert Bunsen.

Bunsen foi um cientista alemão, nascido em Gottingen, a 31 de Março de 1811, e falecido em Heidelberg, a 16 de Agosto de 1899. O texto:

Foi professor das universidades de Marburgo, Breslau e Heidelberg. Procedeu a investigações, com o auxílio de um espectroscópio, do rubídio e do cézio. Deixou o seu nome ligado para sempre aos seguintes aparelhos utilizados em Física: bico de Bunsen (dispositivo usado nos laboratórios para aquecimento por combustão de gás), efusiómetro de Bunsen (aparelho que permite a determinação da densidade de um gás por medição da velocidade de escoamento deste através de um pequeno orifício) e fotómetro de Bunsen (dispositivo para a comparar intensidades luminosas de duas origens de luz).

Fonte: nautilus.fis.uc.pt



Robert Wilhelm Bunsen

Após ter escapado duas vezes da morte em acidentes no laboratório, e já parcialmente cego, Robert Bunsen, um dos pioneiros da espectroscopia química, morreu, há 102 anos. Para o mundo, ele deixou todo o legado de seu trabalho, muito mais do que o bico de bunsen - peça onipresente em todos os laboratórios de química geral.

A invenção do bico de bunsen abriu o campo da espectroscopia química. Pela primeira vez era possível se observar, sem interferência da fonte, as linhas de emissão espectral dos elementos, tais como o Rubídio e o Césio, que foram descobertos por Bunsen; "I'm calling the new metal "caesium" on account of the splendid blue line in its spectrum", dizia em uma carta para Kirchhoff.

Suas contribuições não param por aí: ele foi o inventor do primeiro antídoto contra o arsênio; ajudou Frankland a desenvolver o conceito de valência; forneceu os primeiros suportes experimentais para a teoria de radicais em compostos orgânicos; inventou toda uma metodologia para análise de gases; criou vários instrumentos (ele era um excelente vidraceiro!) para laboratório; estudou o efeito da luz em certas reações orgânicas; e, finalmente, desenvolveu um aparelho para produzir o máximo de luz possível de uma reação de combustão. Um aparelho que faz uma mistura controlada entre o ar e o gás, produzindo uma chama forte, quente, limpa e uniforme: este aparelho ficou conhecido como "bico de bunsen". Impressionante, não?!

Fonte: www.qmc.ufsc.br

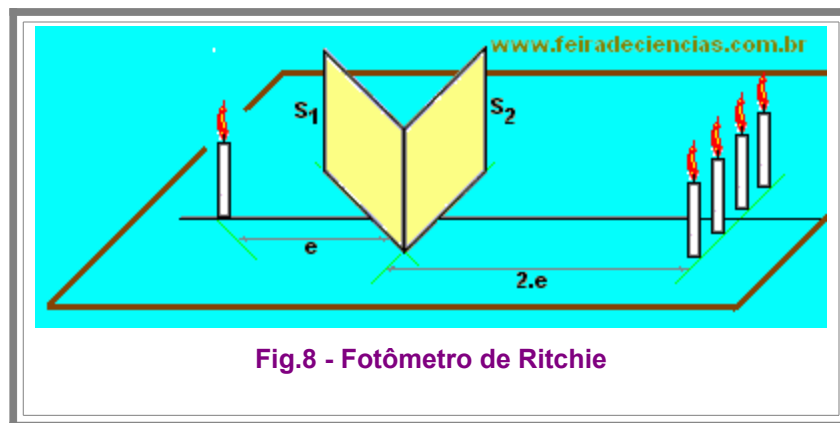
- <http://www.youtube.com/watch?v=YQhPbUfB6IA>

Vídeo ilustrativo sobre o Fotômetro de Bunsen. Construção de um análogo.

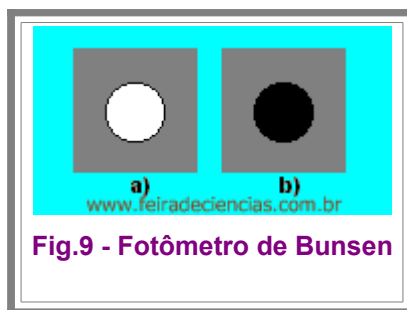
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_27.asp

Página da internet que mostra a aplicação dos conceitos relacionados a uma câmara escura, incluindo breve explicação acerca do fotômetro de Bunsen. A parte do texto que faz referência aos fotômetros é:

Dobramos uma folha de cartolina branca, formando um ângulo reto, e a colocamos como mostra a Fig.8. A superfície de área S_1 , da cartolina será iluminada por uma vela à distância e ; a de área S_2 por quatro velas, ao dobro dessa distância ($2e$). As duas áreas estão igualmente iluminadas; você não conseguirá enxergar a dobra da folha de cartolina. Se afastarmos a vela solitária, veremos com nitidez a dobra da cartolina e portanto as duas áreas estarão diferentemente iluminadas. Dessa experiência conclui-se que o acima abordado está correto.



A folha dobrada, que permite comparar luminosidades, chama-se fotômetro (de Ritchie). Em seu lugar podemos usar o chamado fotômetro de mancha de gordura (de Bunsen, 1811-1894). Seu funcionamento é baseado no fato de que uma mancha de gordura num papel de escrever parecerá mais clara que o papel quando este é colocado entre o olho e uma lâmpada (Fig.9-a). Ela parecerá mais escura que o papel, quando a observamos do mesmo lado que a fonte de luz (Fig.9-b).



A mancha de gordura desaparecerá quando o papel for iluminado com a mesma intensidade dos dois lados.

- [http://www.infopedia.pt/\\$densitometro](http://www.infopedia.pt/$densitometro)

Pequena explicação acerca de fotômetros. Faz referência ao de Bunsen. O texto:

Um densitômetro é um aparelho usado para medir a densidade ótica das imagens sobre negativos e diapositivos fotográficos e sobre suportes opacos. Estes aparelhos funcionam permitindo a transmissão ou a reflexão de um feixe luminoso e medindo a intensidade da luz transmitida ou refletida, pelo que, segundo a medição, existem dois tipos de densitômetros: os de transmissão e os de reflexão. O seu fundamento teórico é análogo ao de um fotómetro. Inicialmente, os densitômetros não eram mais do que fotômetros visuais. Um fotómetro visual consiste, em geral, num dispositivo ótico que possibilita a visão simultânea de dois campos visuais, cada um deles iluminado pela luz de uma das fontes que se deseja comparar. O fotómetro visual mais simples, designado por fotómetro de mancha de gordura, foi construído em 1843 pelo químico alemão Robert Bunsen. Este aparelho assenta no facto de que uma mancha de gordura sobre o papel não sobressai em relação ao que se encontra à sua volta quando se faz incidir sobre ambos os lados a mesma intensidade luminosa. Atualmente, a maioria dos densitômetros são instrumentos fotoelétricos. O mais simples de transmissão é formado por uma fonte luminosa, uma célula fotosensível e um microamperímetro. A densidade é medida em termos de leitura métrica com ou sem a amostra no local. Os densitômetros apresentam diversas aplicações, das quais se destacam a deteção

da pista sonora numa película cinemática, a medição de intensidades em discos espectralmente gráficos e a confrontação de fotografias.

- www.donboscobaires.com.ar/acad/sec/fisica/05/optica.doc

Módulo de uma apostila de física, onde a óptica é o assunto. Porém, a fotometria e seus conceitos são amplamente abordados. O documento não foi copiado aqui devido ao seu tamanho e à incompatibilidade de formatos.

- <http://www.fisicafacil.pro.br/optica.htm>

Alguns conceitos sobre óptica geométrica, tal como fonte pontual. Parte do texto levada em consideração:

INTRODUÇÃO

Para enxergar as coisas a seu redor (luz do Sol, de tocha, de vela, de lâmpada), o ser humano sempre necessitou de luz. Sem ela seria impossível viver. Afinal como seria o mundo sem luz ?

Podemos dizer que a luz é uma forma de energia radiante que se propaga por meio de ondas eletromagnéticas. É o agente físico responsável pela produção da sensação visual.

O estudo da luz é realizado pela Óptica, que é dividida, em:

ÓPTICA GEOMÉTRICA - Estuda e analisa o comportamento e a trajetória da propagação luminosa.

ÓPTICA FÍSICA - Estuda a natureza da luz.

FONTES DE LUZ

Todos os corpos que emitem luz são chamados fontes de luz. Podemos distinguir dois tipos:

Fontes primárias ou corpos luminosos são as fontes que possuem luz própria. Exemplos: O Sol, as estrelas, uma lâmpada acesa, etc. Fontes secundárias ou corpos iluminados são

as fontes que não têm luz própria. Exemplos: a Lua, o livro, sua roupa, uma caneta, uma parede, etc.

ATENÇÃO:

Quanto as dimensões, as fontes de luz podem ser classificadas em:

Fontes pontuais ou puntiformes, quando suas dimensões são desprezíveis em relação a um ambiente em estudo ou uma fonte representada por um único ponto emitindo infinitos raios de luz. Exemplo: uma pequena lâmpada num estádio de futebol.

Fontes extensas, quando suas dimensões são relevantes a um ambiente em estudo ou uma fonte constituída de infinitos pontos de luz. Exemplos: Uma lâmpada próxima a um livro, o Sol iluminando a Terra, etc.

Quanto ao tipo, classificamos a luz emitida pelas fontes em:

Luz monocromática ou simples é a luz de uma única cor, como a luz monocromática amarela emitida pelo vapor de sódio, nas lâmpadas.

Luz policromática ou luz composta é a luz resultante da mistura de duas ou mais cores, como a luz branca do Sol ou a luz emitida pelo filamento incandescente da lâmpada comum.

A luz branca emitida pelo Sol, é uma luz policromática constituída por um número infinito de cores, as quais podem ser divididas em sete cores principais (as cores do arco íris) : vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

VELOCIDADE DA LUZ

Para qualquer que seja o tipo de luz, verifica-se que sua velocidade de propagação no vácuo é constante e, aproximadamente, igual a 300.000 km/s. Mas nos meios materiais a velocidade da luz assume valores diferentes, sempre menores que 300.000 km/s, e em qualquer meio decresce no sentido da luz vermelha para a violeta.

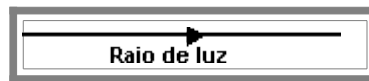
ANO-LUZ

É uma unidade de comprimento muito utilizada para medir distâncias astronômicas. O ano-luz corresponde a distância que a luz percorre no período de um ano e equivale a aproximadamente $9,46 \times 10^{15}$ m.

A estrela Alfa da constelação do Centauro é a estrela mais próxima do Sol, e dista "apenas" 4,3 anos-luz do Sol.

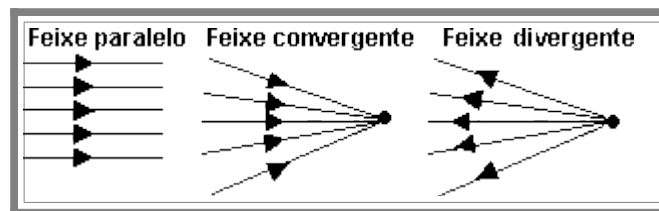
RAIO DE LUZ

Linha orientada que representa a trajetória seguida pela luz.



FEIXE LUMINOSO OU PINCEL DE LUZ

É um conjunto de raios luminosos. Existem três tipos de feixes (pincel) luminosos.



MEIOS ÓPTICOS

Meio Transparente é aquele meio que permite a propagação regular da luz possibilitando a formação de uma imagem nítida dos objetos. Exemplos: ar, vidro, papel celofane, etc.

Meio Translúcido é o meio que permite a propagação irregular da luz e observador não vê o objeto com nitidez através do meio. Exemplos: vidro fosco, papel vegetal, tecido fino, etc.

Meio Opaco é o meio que não permite a propagação da luz. Exemplos: parede, madeira, tijolo, etc.