

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Introdução

GL01

Em luminotecnia consideram-se basicamente 4 grandezas:

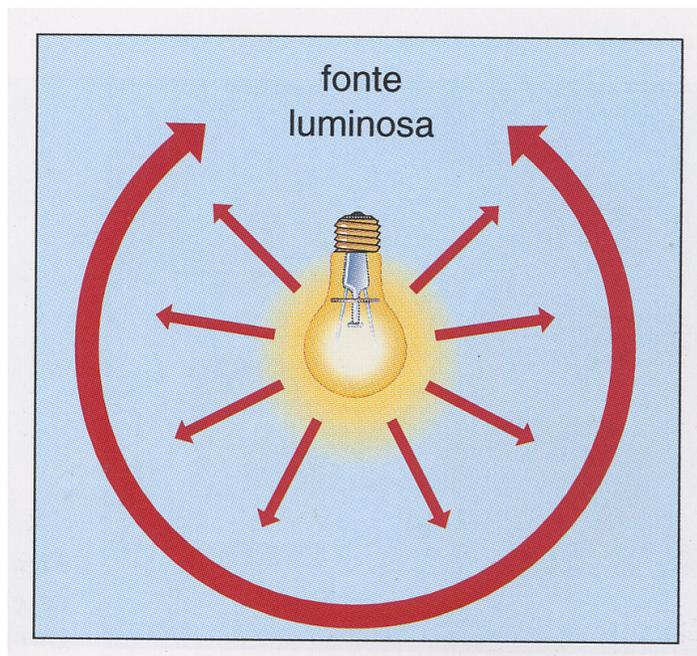
- fluxo luminoso;
- intensidade luminosa;
- iluminação ou iluminância;
- luminância;

Em relação a esta última grandeza, as fontes luminosas designam-se por fontes primárias e os corpos iluminados por fontes secundárias.

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Fluxo luminoso

GL02



OBS.

Fluxo luminoso (F ou Φ) – luz emitida ou observada num segundo.

Unidade: lm (lumen)

Quantidade de luz: $Q = F \cdot t$

Unidade: lm.s ou lm.h ou klm.h

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Medida do fluxo luminoso

GL03



Esfera de Ulbricht

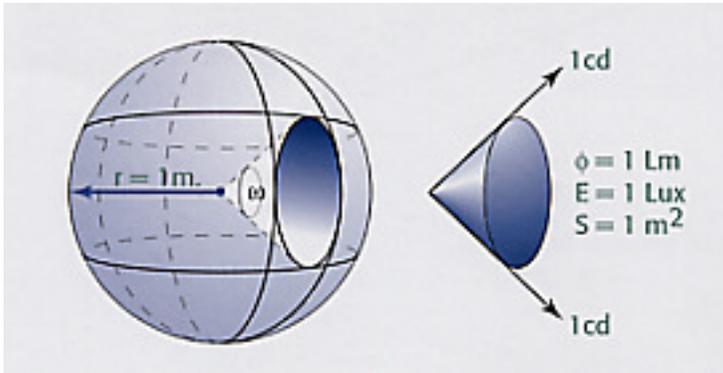
Utilizada para a medida do fluxo luminoso de uma lâmpada.

A fonte luminosa a medir é colocada no seu interior.

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Noção de ângulo sólido

GL04



Ângulo sólido: quociente entre a superfície abraçada sobre uma esfera com centro no vértice do ângulo e o quadrado do raio dessa esfera:

$$\omega = \frac{S}{r^2}$$

O conjunto de ângulos sólidos numa esfera representa:

$$\frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi$$

A unidade de ângulo sólido é o esterradiano (sr).

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Intensidade luminosa

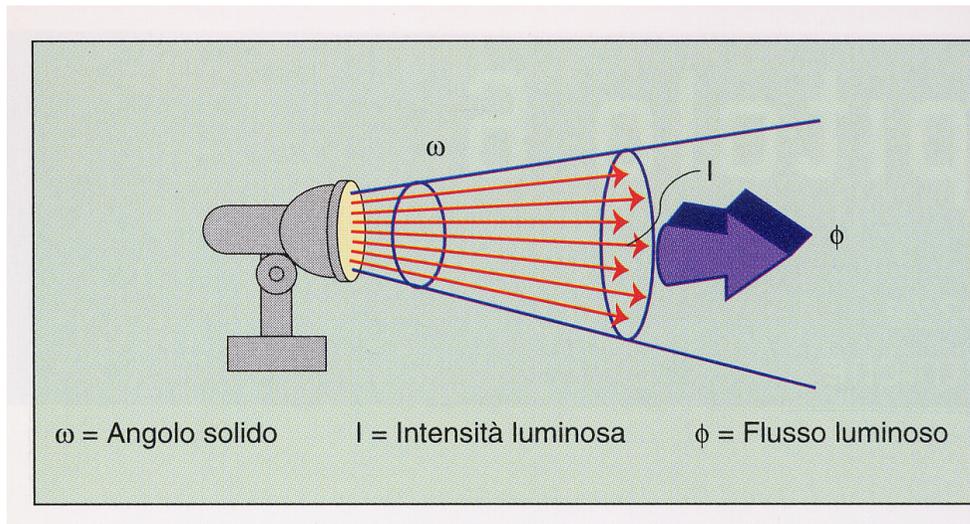
GL05

Intensidade luminosa (I) : fluxo luminoso compreendido na unidade de ângulo sólido no qual é emitido, pressupondo-se que a fonte luminosa é pontual

$$I = \frac{\phi}{\omega}$$

Unidade: candela (cd)

Sexagésima parte da intensidade luminosa de 1 cm² do corpo negro.

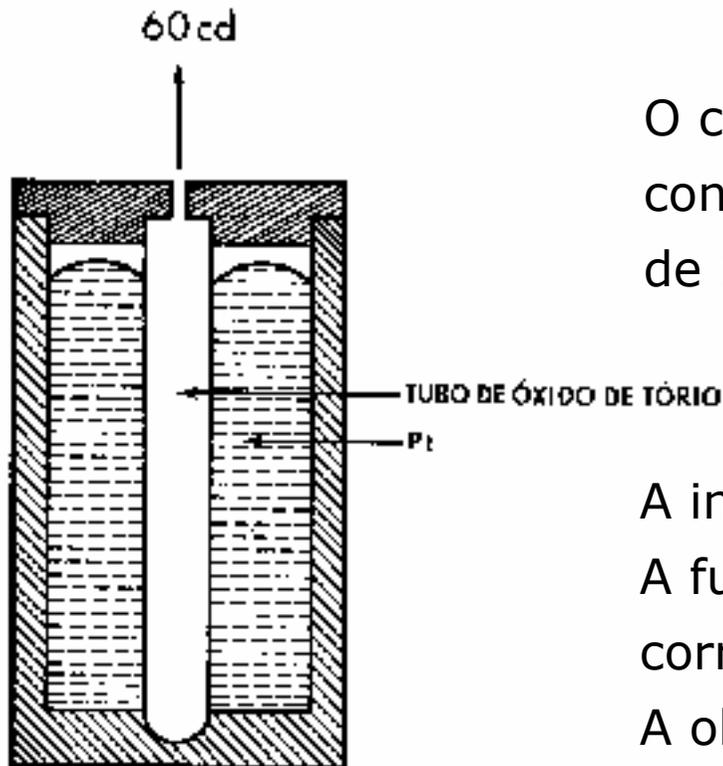


GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Noção de corpo negro

GL06

DEFINIÇÃO DE CANDELA



O corpo negro é realizado por um vaso fechado contendo platina fundida e com uma abertura de 1 cm².

A intensidade emitida vale então 60 cd.
A fusão da platina consegue-se por meio de correntes de indução de alta frequência.
A observação do orifício faz-se durante a solidificação para se evitar o inconveniente da desigual distribuição de temperatura que acompanha a fusão.

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Fluxo luminoso e intensidade luminosa

No caso de uma fonte luminosa pontual, que emite todo o seu fluxo luminoso de um modo uniforme num ângulo sólido Ω temos:

$$\phi = \int_0^{\Omega} I d\omega$$

Se I for constante, temos:

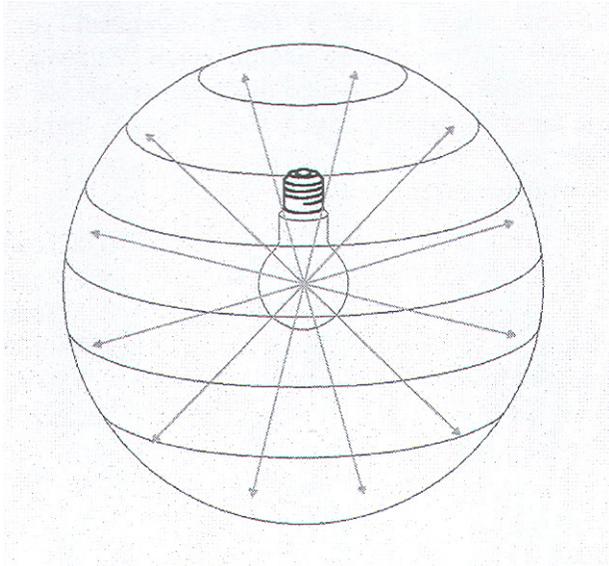
$$\phi = \int_0^{\Omega} I d\omega = I \times \Omega$$

Por exemplo, se uma lâmpada desprovida de reflector for suspensa (ver figura), todo o seu fluxo é emitido no ângulo sólido $\Omega = 4\pi$. Se Φ for o fluxo da lâmpada, temos:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}$$

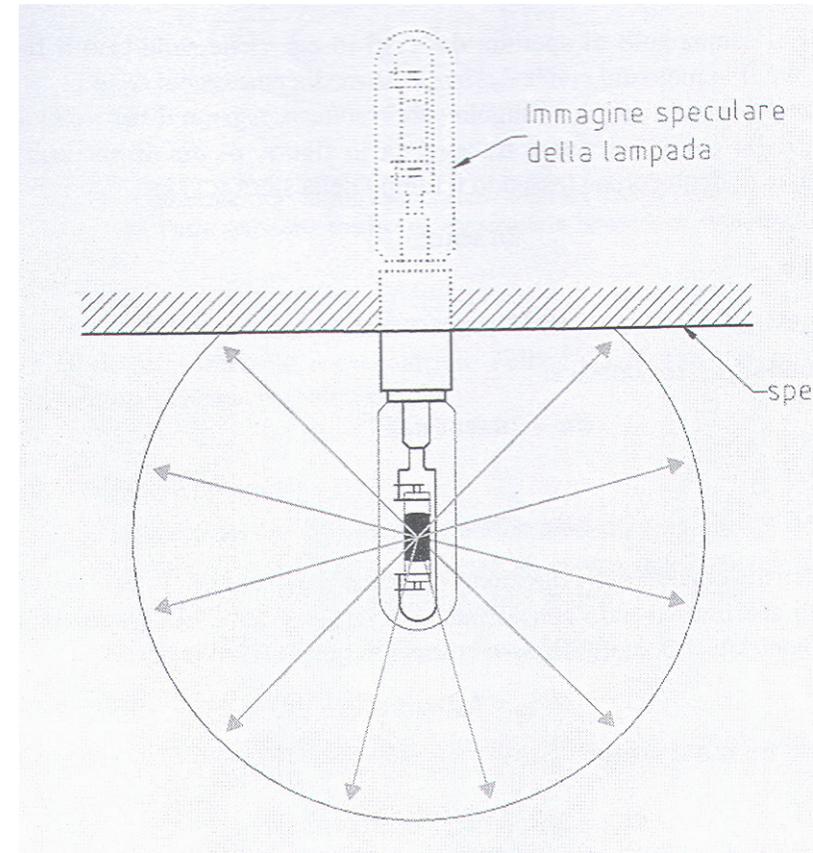
GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Fluxo luminoso e intensidade luminosa



Se uma lâmpada emitir todo o seu fluxo num só hemisfério ($\Omega=2\pi$), por exemplo uma lâmpada colocada numa armadura (ver figura), pode obter-se com uma boa aproximação:

$$I = \frac{\Phi}{2\pi}$$

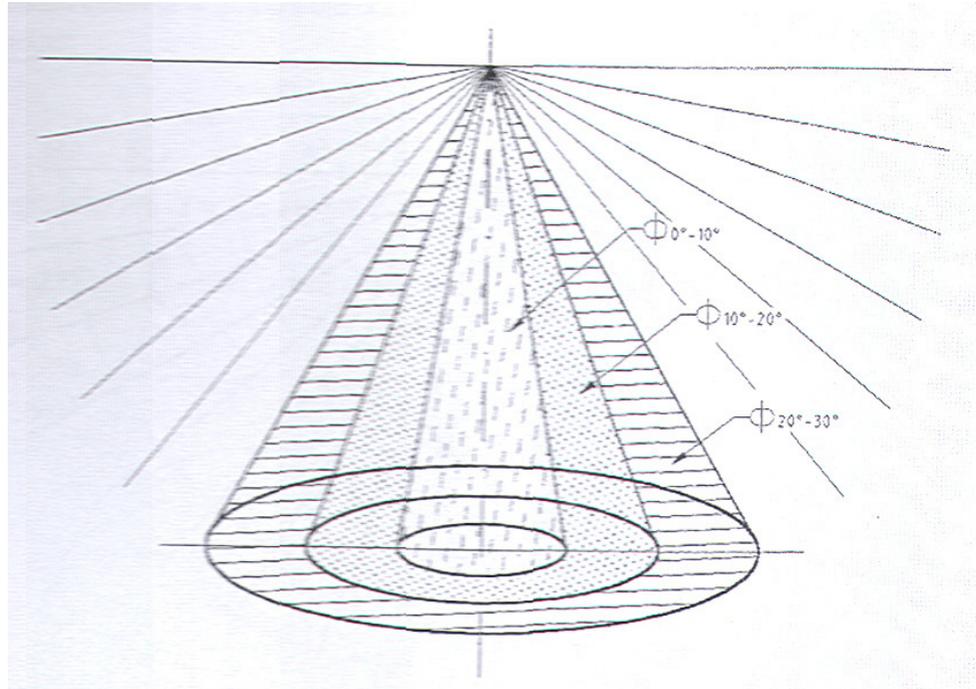


GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Fluxo luminoso e intensidade luminosa

No caso de uma fonte luminosa que emita todo o seu fluxo com uma curva de distribuição luminosa idêntica para qualquer plano vertical que passe pelo seu eixo, temos:

$$\phi = \int_0^{\Omega} I d\omega$$



Que pode ser calculado mediante a seguinte expressão:

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Fluxo luminoso e intensidade luminosa

$$\Phi = 2\pi \sum_{i=0}^{i=n} I_{\alpha} [\cos \alpha_i - \cos(\alpha_i + \Delta\alpha)]$$

em que:

$\Delta \alpha$ = semi-ângulo de abertura do cone no qual é subdividido o fluxo luminoso;

I_{α} = intensidade média emitida no cone i ;

n = número de cones;

Por exemplo, se o fluxo emitido pela fonte luminosa tiver um diagrama de repartição da intensidade como o indicado na figura seguinte, podemos utilizar a expressão indicada, tendo:

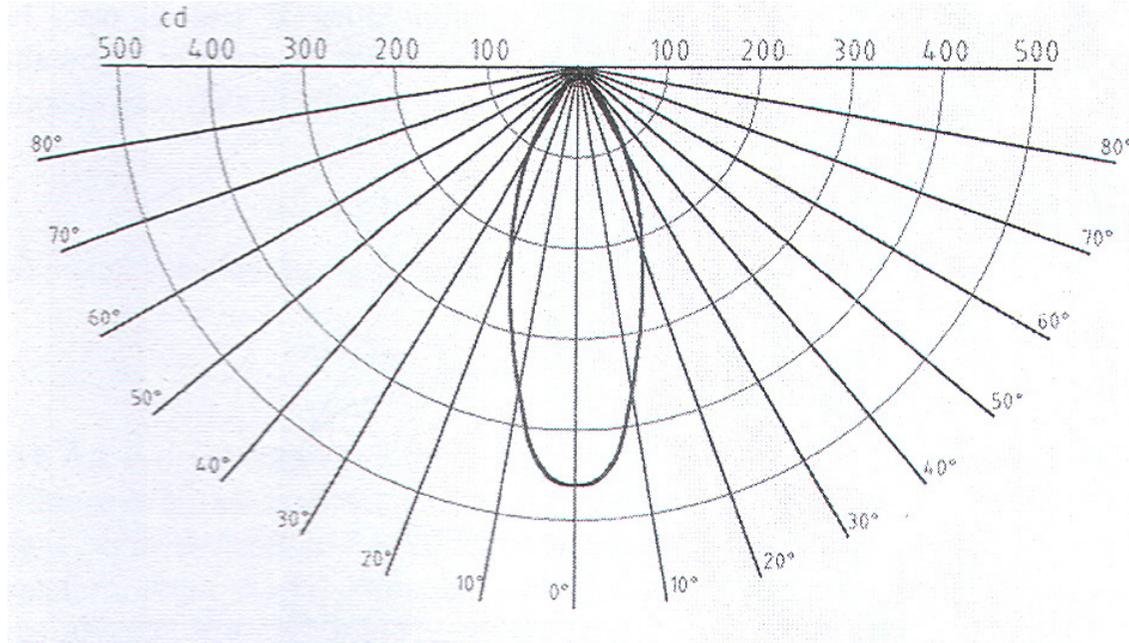
$$n = 4;$$

$$\Delta \alpha = 10^{\circ};$$

Sendo I_{\max} indicada no diagrama 450 cd, retiramos do mesmo as intensidades no centro de cada uma das zonas:

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Fluxo luminoso e intensidade luminosa



$$I_1 = 450 \text{ cd}; I_2 = 280 \text{ cd}; I_3 = 150 \text{ cd}; I_4 = 50 \text{ cd}$$

E o fluxo total é dado por:

$$\Phi = 2\pi[450(\cos 0^\circ - \cos 10^\circ) + 280(\cos 10^\circ - \cos 20^\circ) + 150(\cos 20^\circ - \cos 30^\circ) + 50(\cos 30^\circ - \cos 30^\circ)] = 335 \text{ lm}$$

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Iluminação ou iluminância

GL07

Iluminação ou iluminância: fluxo luminoso recebido por unidade de área iluminada.

$$E = \frac{\phi_r}{S}$$

Unidade (no sistema internacional): lux (lx).

Um lux é a iluminância produzida por um fluxo de 1 lm, distribuído de modo uniforme sobre uma superfície de 1 m².

Unidade inglesa: footcandle (fc). $1fc = 1lm / ft^2 = 10.764lux$

Por exemplo, um campo de futebol cuja iluminância horizontal média seja de 300 lux, sobre uma área de 105 m por 65 m, ou seja 6825 m², recebe um fluxo luminoso de 300 x 6825 = 2 047 500 lm.

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Iluminação ou iluminância

O fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas que iluminam o campo deve ser superior a esse valor, para ter em atenção o fluxo perdido no interior do projector e o fluxo que incide no exterior da área de jogo.

A iluminância é uma unidade base da luminotecnica, à qual fazem referência todas as recomendações e tabelas relativas ao nível de iluminação recomendado, que deve ser assegurado nas diversas aplicações.

A iluminância natural varia desde 0 até cerca de 100 000 lux, num dia com sol limpo.

A iluminação artificial necessária varia de 5 a 30 lux, para a iluminação pública, até a centenas ou milhares de lux para iluminação interior, em função das tarefas visuais que é necessário realizar.

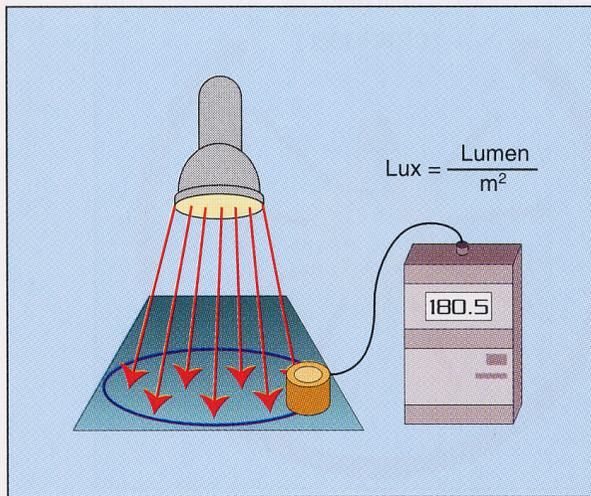
GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Medição da iluminância: luxímetro

GL08



A medida do nível de iluminância realiza-se por meio de um aparelho especial chamado luxímetro, o qual consiste numa célula fotoelétrica, sobre a qual se faz incidir o fluxo luminoso, que gera uma fraca corrente eléctrica, a qual aumenta em função do fluxo incidente.



Essa corrente mede-se com um miliamperímetro, de forma analógica ou digital, calibrado directamente em lux.

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Luminância

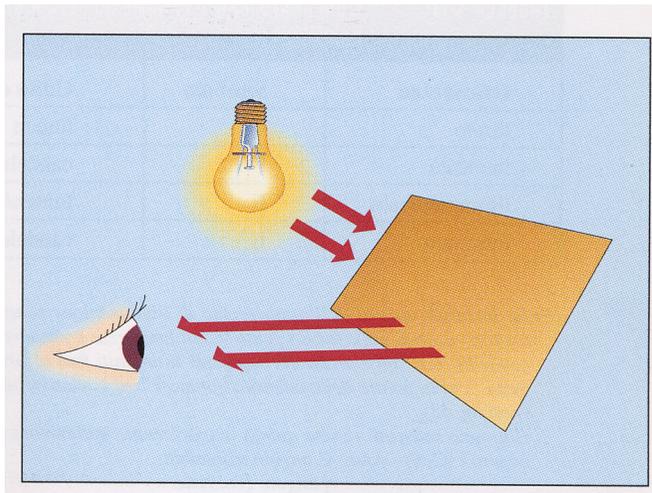
GL09

Luminância: quociente entre a intensidade I emitida por uma fonte luminosa ou por uma superfície reflectora e a sua área aparente.

$$L = \frac{I}{S_a}$$

A área aparente é a área projectada num plano perpendicular à direcção de observação.

Unidade: cd/m²



GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Luminância

Se considerarmos uma armadura de iluminação constituída por uma esfera opalina, com a considerada na figura (ver figura), com um diâmetro de 30 cm, emitindo em todas as direcções uma intensidade luminosa de 100 cd, a sua luminância em qualquer direcção é dada por:

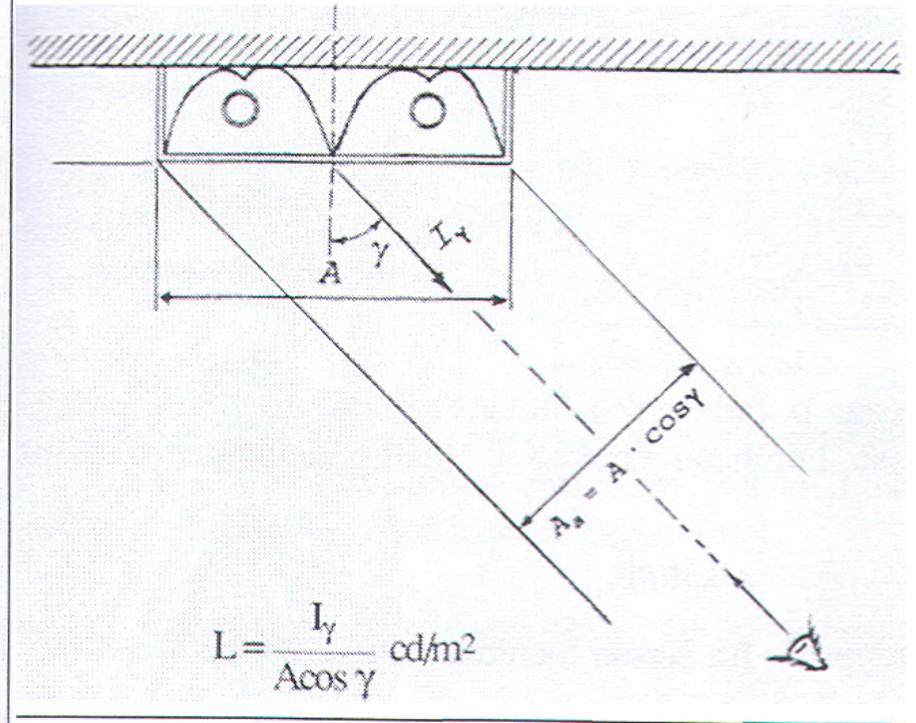
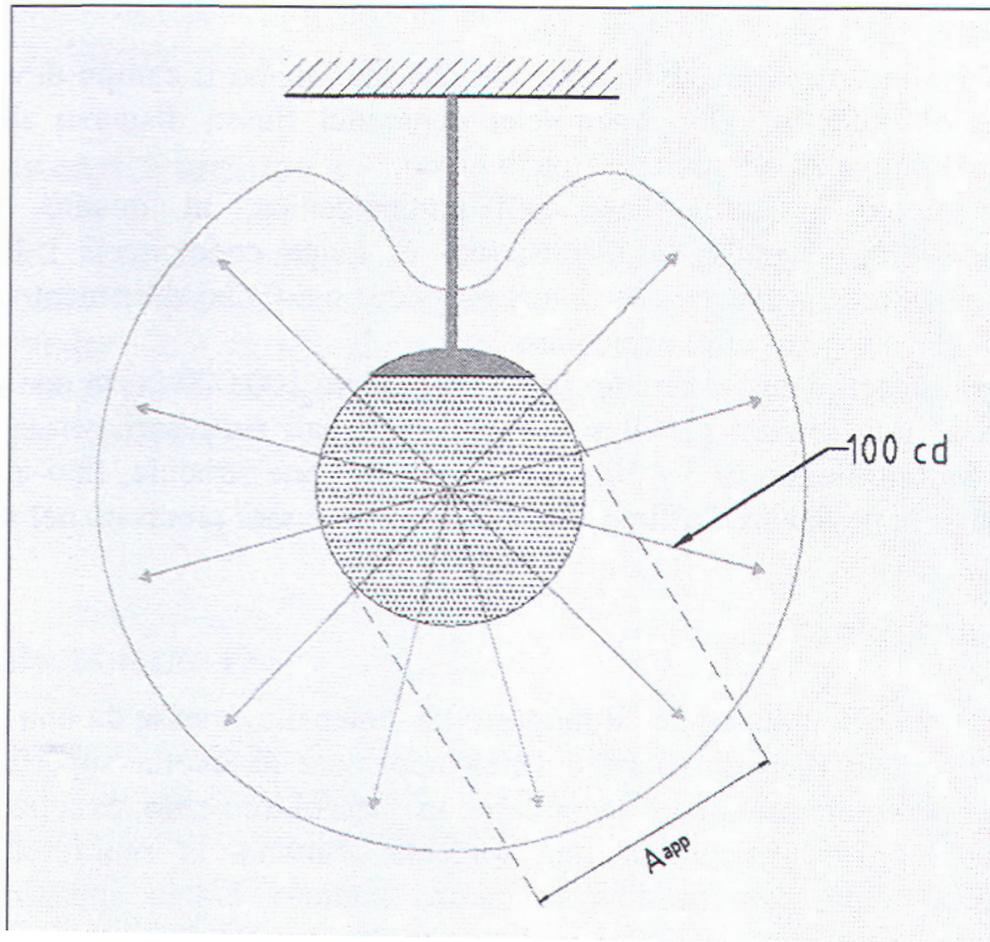
$$L = \frac{I}{S_a} = \frac{100}{\frac{\pi}{4} \times 0,3^2} = 1415 \text{ cd / m}^2$$

Verifica-se que, neste caso, a luminância permanece constante qualquer que seja a direcção considerada.

A luminância é uma grandeza fundamental para a visão, dado que é a luminância dos objectos que nos dá a sensação visual.

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Luminância



GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Luminância

Do mesmo modo, a luminância L_γ de uma armadura de iluminação, com uma área luminosa horizontal de 4500 cm^2 , numa dada direcção (ver figura), que faça um ângulo γ com a vertical e que emite nessa direcção uma intensidade de 2000 cd , pode ser calculada da seguinte forma:

$$L_\gamma = \frac{I_\gamma}{S_\gamma} = \frac{I_\gamma}{S \times \cos \gamma} = \frac{2000}{0,45 \times \cos 45^\circ} = 6285,4 \text{ cd / m}^2$$

em que:

I_γ = intensidade emitida na direcção considerada;

S_γ = área aparente da armadura vista da direcção considerada

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Luminância

Indicam-se de seguida alguns valores de luminância de vários tipos de fontes luminosas:

Superfície do sol	$1\,650 \times 10^6 \text{ cd / m}^2$
O céu na direcção sul	$16\,000 \text{ cd / m}^2$
O céu na direcção norte	$8\,000 \text{ cd / m}^2$
Uma folha branca bem iluminada artificialm.	100 cd / m^2
Uma estrada bem iluminada artificialmente	2 cd / m^2

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Medida da luminância

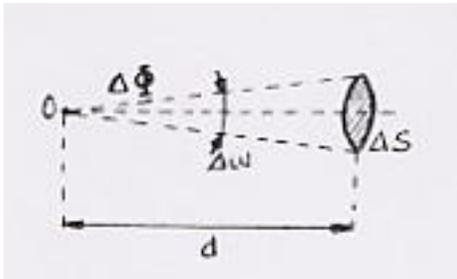
GL10



A medida da luminância realiza-se por meio de um aparelho especial chamado luminôncimetro. Baseia-se em dois sistemas ópticos: um de direcção e outro de medição.

Em relação à direcção, o aparelho orienta-se de forma a que a imagem coincida com o ponto a medir. Uma vez orientado, a luz que lhe chega é convertida em corrente eléctrica medida de forma analógica ou digital, sendo os valores dados em cd/m^2 .

LEI DO INVERSO DO QUADRADO DA DISTÂNCIA



$$E = \frac{\Delta\phi}{\Delta S} = I \frac{\Delta\omega}{\Delta S} = \frac{I}{d^2}$$

Se $I = 200$ cd e $d = 1$ m temos:

$$E = 200 / 1^2 = 200 \text{ lux}$$

Se $I = 200$ cd e $d = 8$ m, teremos:

$$E = 200 / 8^2 = 3,1 \text{ lux}$$

A iluminação num ponto de uma superfície, situado no pé da perpendicular baixada da fonte, varia proporcionalmente à intensidade luminosa e é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Esta lei só é válida para fontes luminosas cujas dimensões são pequenas em relação à distância d , e que se podem considerar como pontuais.

Admite-se que esta lei é praticamente exacta com a condição de que a distância d seja igual a mais de 5 vezes o maior diâmetro da fonte.

LEI DO COS DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA

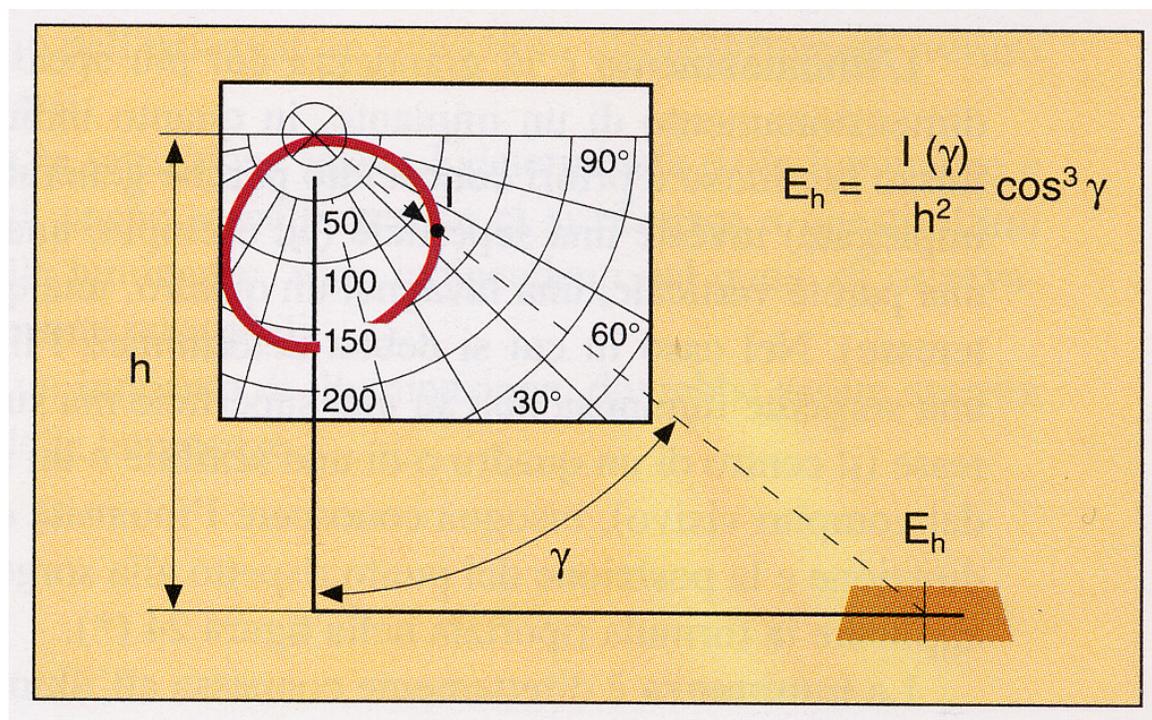
Se considerarmos $I(\gamma)$ a intensidade emitida segundo o ângulo γ , a iluminância no plano horizontal num ponto do plano nessa direcção é inversamente proporcional ao quadrado da altura da fonte luminosa, directamente proporcional à intensidade luminosa emitida nessa direcção e varia com o \cos^3 do ângulo de incidência.

$$\text{Se } I(\gamma) = 125 \text{ cd}$$

$$h = 3 \text{ m}$$

$$\gamma = 45^\circ$$

$$E_h = 125 / 3^2 \times \cos^3 45^\circ = \\ = 4,9 \text{ lux}$$



GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA

Lei de Lambert

Existem superfícies que apresentam a mesma luminância seja qual for o ângulo a partir do qual sejam observadas

Se for L_0 a luminância de uma superfície deste tipo, segundo uma direcção perpendicular à mesma e L_α a sua luminância, quando observada a partir de um ângulo α , temos:

$$L_0 = L_\alpha$$

e portanto:

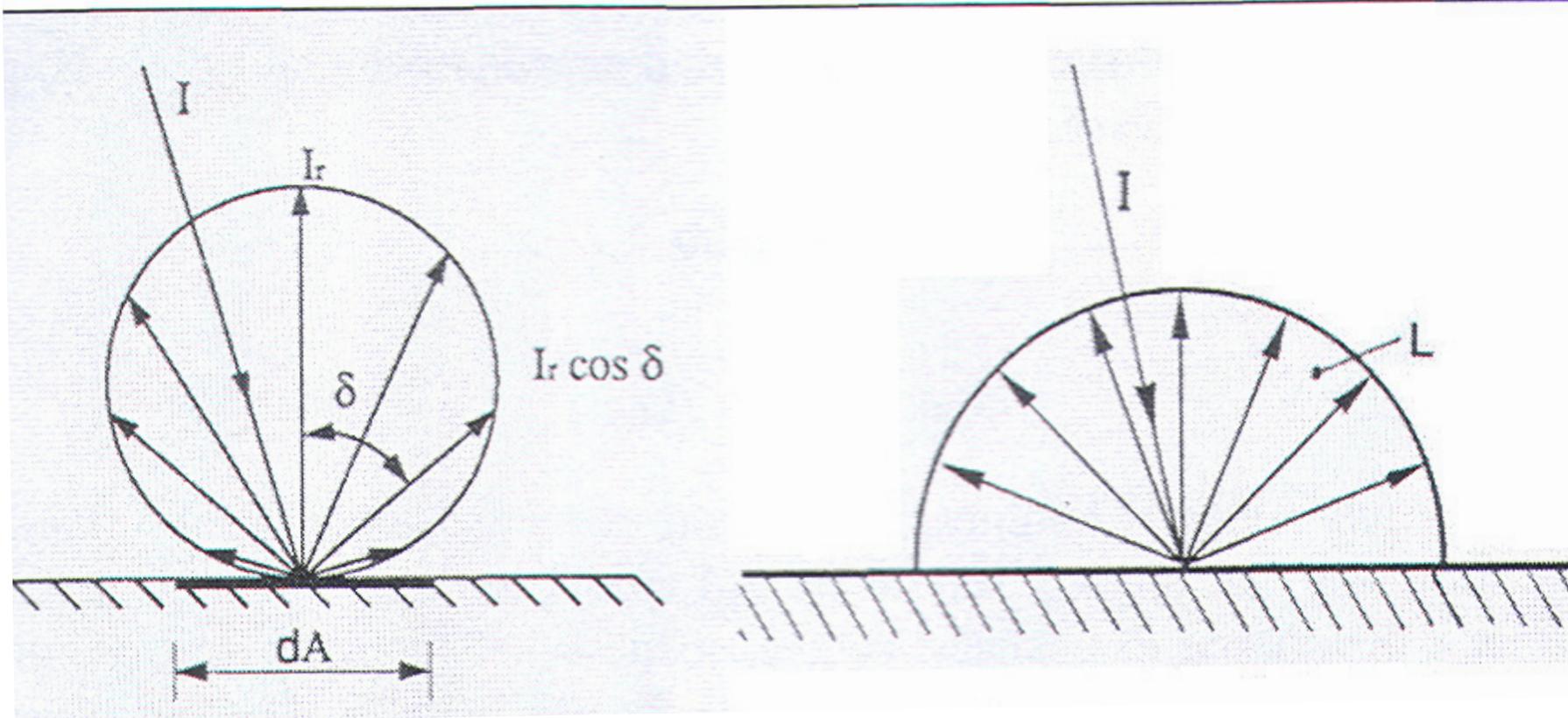
$$I_0/S = I_\alpha / (S \times \cos \alpha)$$

ou seja:

$$I_\alpha = I_0 \times \cos \alpha$$

conhecida como lei de Lambert.

GRANDEZAS USADAS EM LUMINOTECNIA



RELAÇÃO ENTRE ILUMINAÇÃO E LUMINÂNCIA

Se uma superfície satisfaz à lei de Lambert, temos:

$$L = \rho E / \pi$$

em que ρ é o factor de reflexão da superfície em causa, ou seja é o quociente entre o fluxo emitido e o fluxo incidente na superfície:

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}$$

Assim, a luminância de uma superfície perfeitamente difusora, com um factor de reflexão de 70% e com uma iluminância de 1000 lux, é dada por:

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi} = \frac{0,7 \times 1000}{\pi} = 223 \text{ cd / m}^2$$

RELAÇÃO ENTRE ILUMINAÇÃO E LUMINÂNCIA

Se a superfície que obedece à lei de Lambert for translúcida teremos:

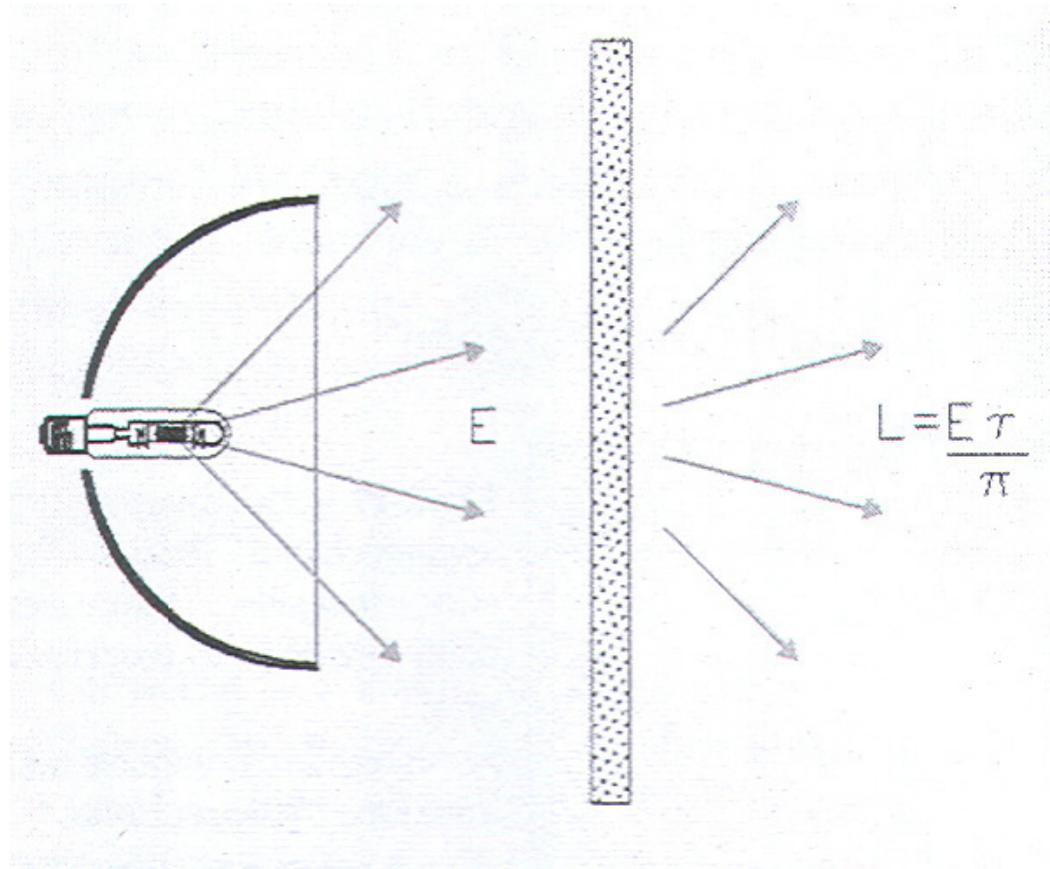
$$L = \frac{\tau \times E}{\pi}$$

em que τ é o factor de transmissão do material que constitui a superfície em causa, ou seja é o quociente entre o fluxo transmitido e o fluxo incidente:

$$\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_i}$$

Temos na figura seguinte uma situação deste tipo, em que o fluxo proveniente de uma armadura incide numa superfície translúcida, cuja luminância pode ser calculada pela lei de Lambert.

RELAÇÃO ENTRE ILUMINAÇÃO E LUMINÂNCIA

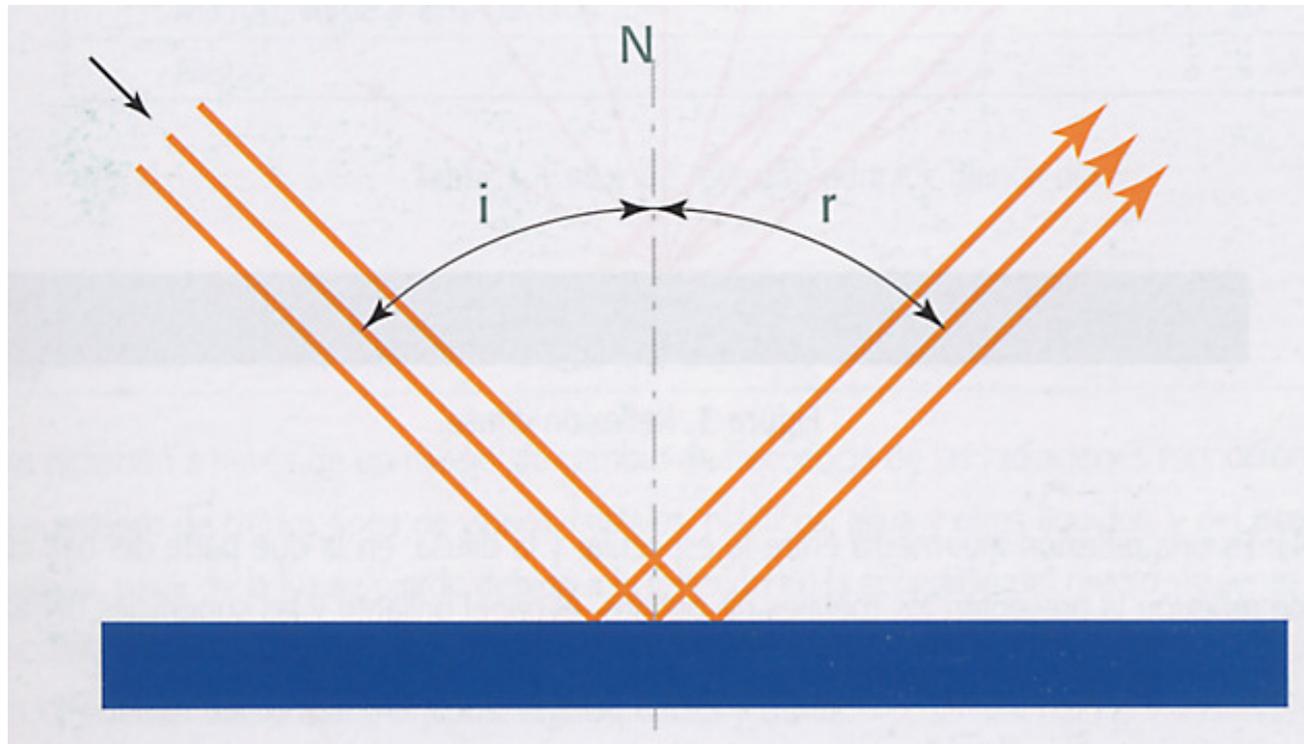


PROPRIEDADES ÓPTICAS DA MATÉRIA

Reflexão especular

Na reflexão regular ou especular o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.

Têm este tipo de reflexão as superfícies polidas ou espelhadas.

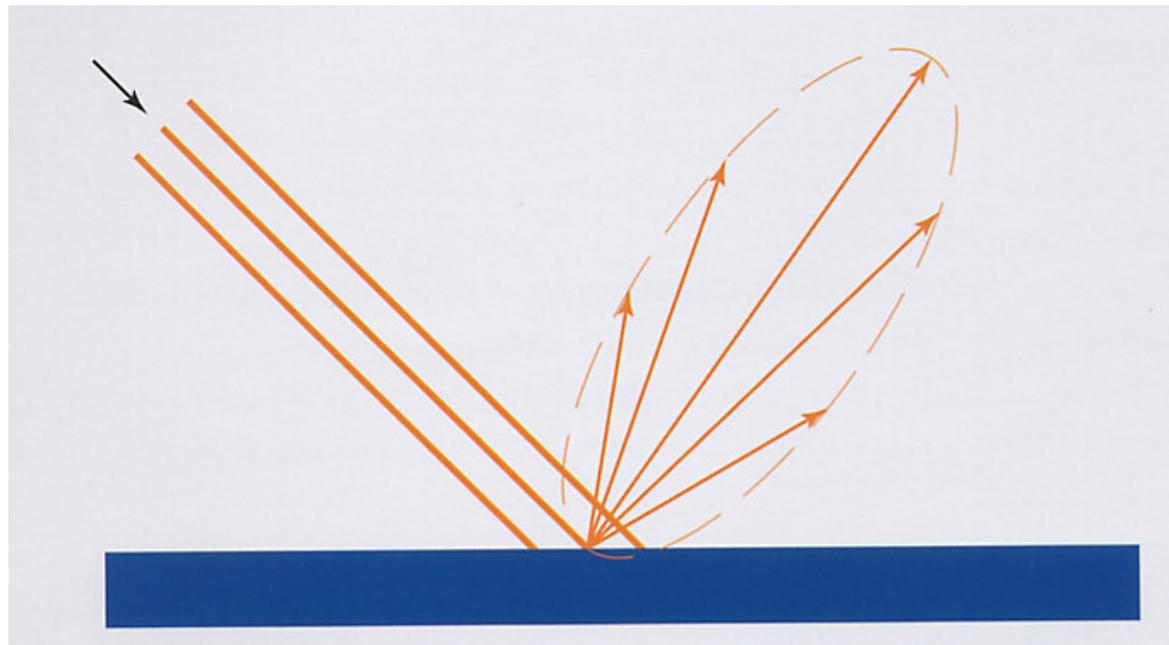


PROPRIEDADES ÓPTICAS DA MATÉRIA

Reflexão composta

Ao contrário do que acontece com a reflexão especular neste caso não há imagem da fonte de luz, mas o ângulo de intensidade máxima reflectida é igual ao ângulo de incidência.

Este tipo de reflexão ocorre quando a superfície é irregular ou rugosa.

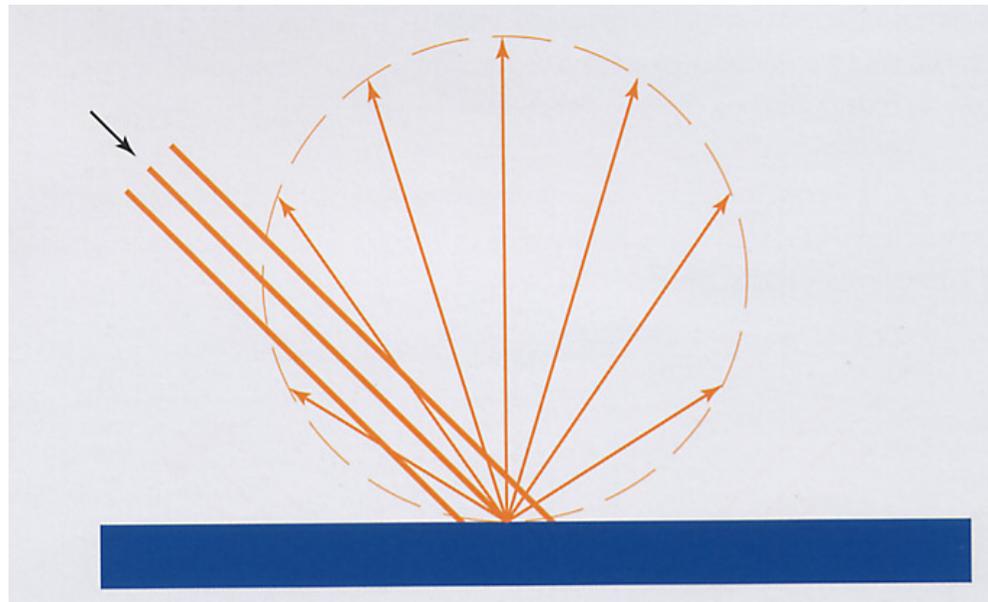


PROPRIEDADES ÓPTICAS DA MATÉRIA

Reflexão difusa

Produz-se quando a luz que incide sobre uma superfície é reflectida em todas as direcções, com um máximo perpendicular à superfície, satisfazendo à lei de Lambert.

Este tipo de reflexão produz-se em superfícies como o papel branco mate, os revestimentos de paredes e tectos, etc.

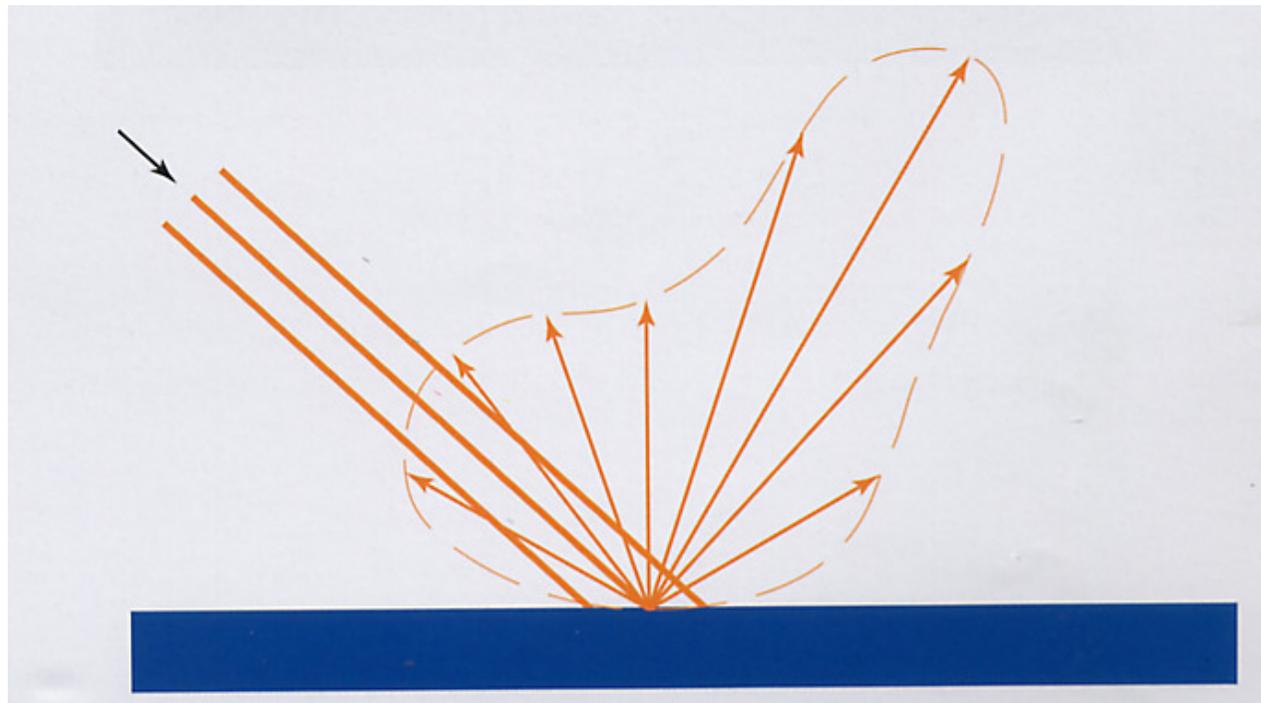


PROPRIEDADES ÓPTICAS DA MATÉRIA

Reflexão mista

É uma reflexão intermédia entre a reflexão especular e a difusa em que parte do feixe incidente se reflecte e outra parte se difunde.

Este tipo de reflexão é a que apresentam os metais não polidos, o papel brilhante e as superfícies envernizadas.



RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA E GAMA DE RADIAÇÃO VISIVEL

A figura seguinte representa um quadro geral da radiação electromagnética na qual é indicada a gama de radiações visíveis, que constitui uma estreita zona da radiação electromagnética.

Quando a radiação tem um comprimento de onda de 555 nm, a resposta dos olhos é máxima e apresenta o valor 1, com se pode ver numa figura mais adiante.

Para as radiações de comprimento de onda menor ou maior de 555 nm, a resposta decresce até anular-se no extremo da gama das radiações visíveis: 380 nm a 780 nm.

Essa curva, de sensibilidade dos olhos, exprime o factor espectral de visibilidade é chamada curva ou função $V(\lambda)$.

A unidade energética que corresponde à resposta máxima ($V(\lambda) = 1$) dá lugar a uma quantidade de luz, ou mais correctamente a um fluxo luminoso de 683 lm.

RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA E GAMA DE RADIAÇÃO VISIVEL

$$\Phi = 683 \times \int_{380}^{780} \varepsilon V(\lambda) d\lambda$$

O fluxo luminoso exprime portanto a quantidade total de radiação emitida na unidade de tempo por uma fonte luminosa primária ou secundária, ponderada de acordo com a sensibilidade espectral dos olhos humanos.

A radiação que dá lugar a um valor máximo de fluxo luminoso é a relativa a um comprimento de onda de 555 nm.

O rendimento luminoso é o quociente entre o fluxo luminoso e a potência absorvida por uma fonte luminosa, podendo afirmar-se que uma fonte luminosa que converta 1W em radiação com um comprimento de onda de 555 nm, tem um rendimento luminoso de 683 lm/W, o qual é o rendimento máximo que é possível obter.

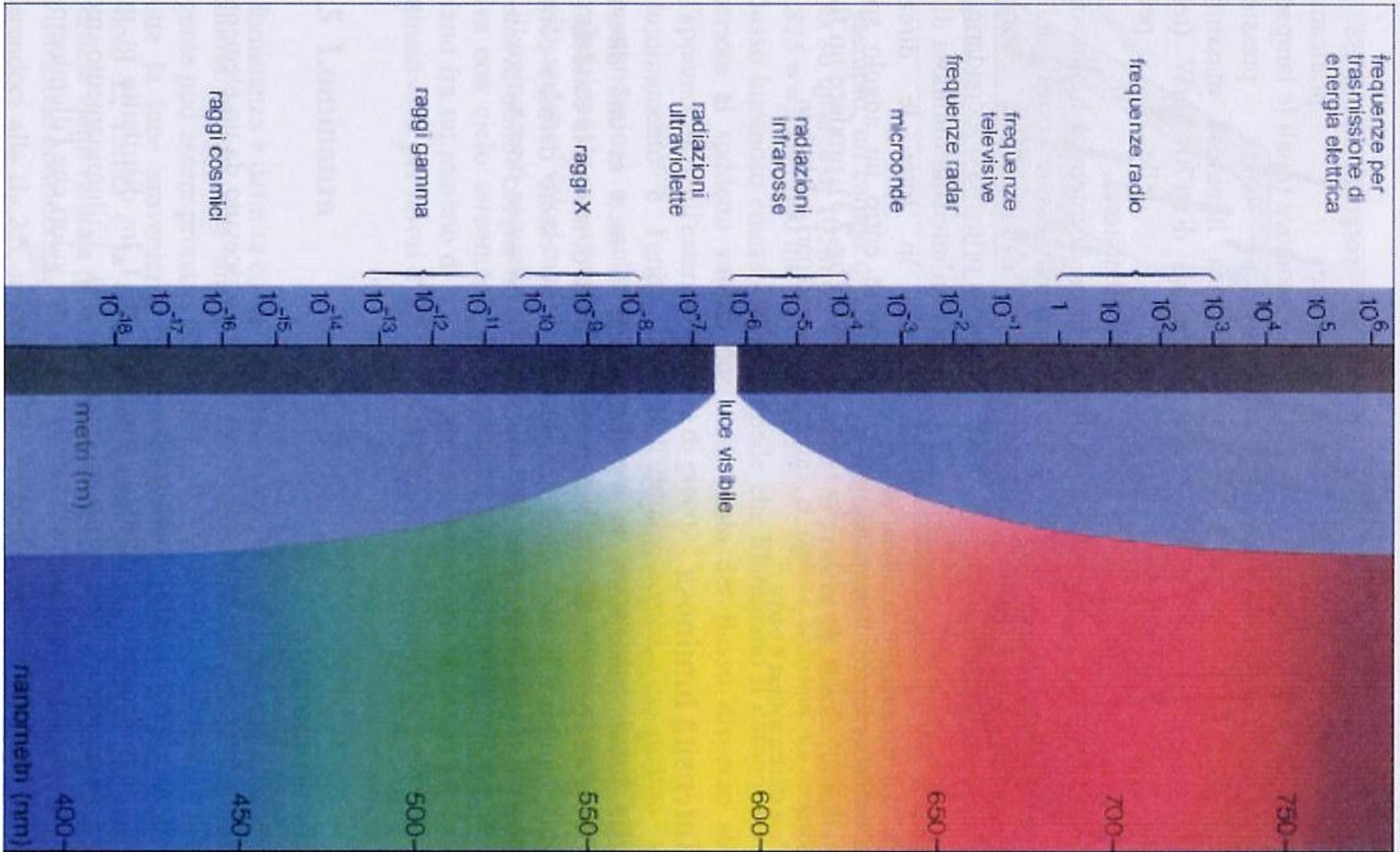
RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA E GAMA DE RADIAÇÃO VISIVEL

As radiações com um comprimento de onda inferior a 380 nm (de 100 a 380 nm), que não produzem qualquer sensação visual pertencem à zona dos ultravioletas.

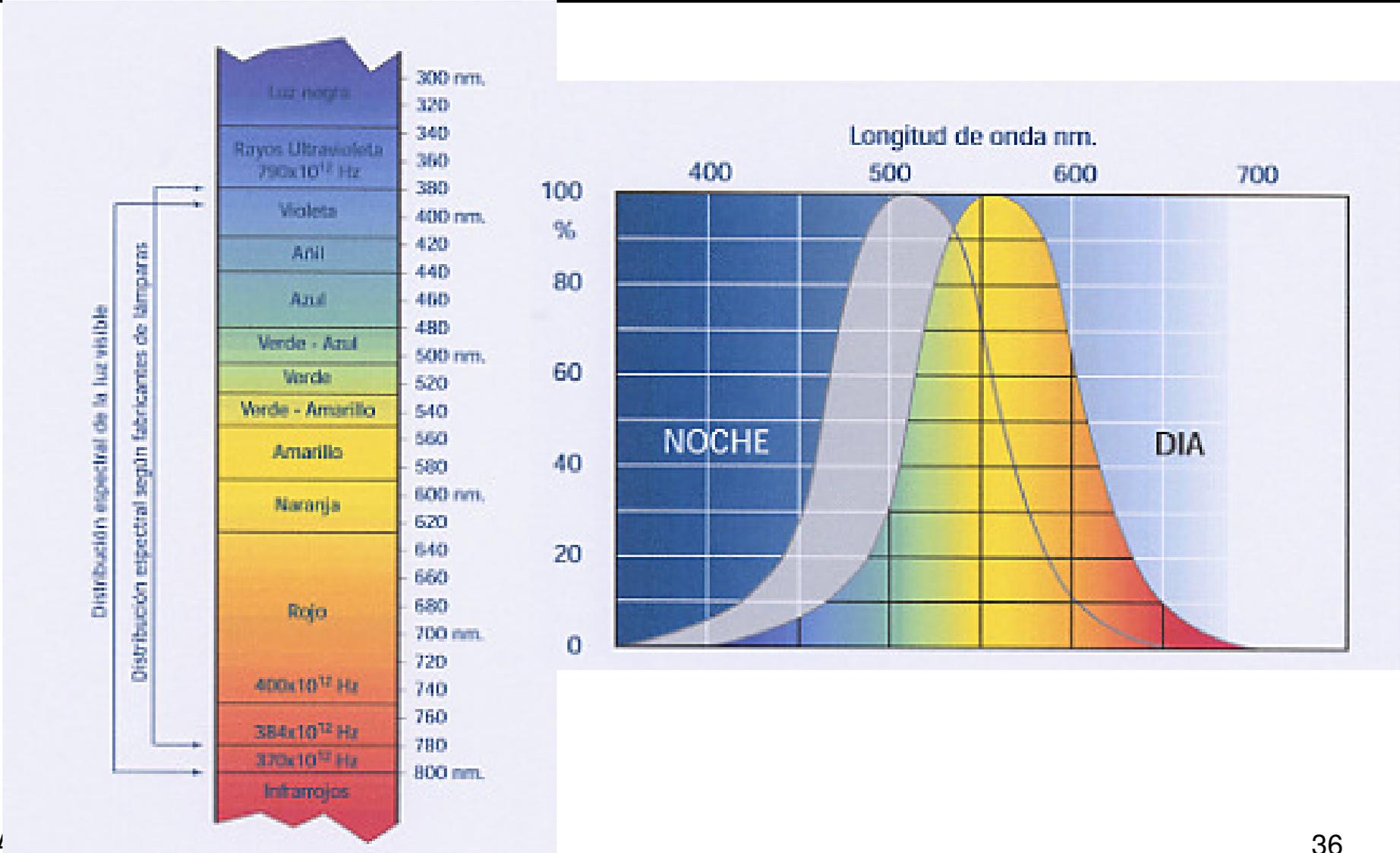
As radiações ultravioletas mais próximas da gama da radiação visível são consideradas benéficas para a saúde humana, enquanto que as de menor comprimento de onda são potencialmente perigosas para os olhos e para a pele, mas são utilizadas como desinfectantes (bactericidas).

As radiações com um comprimento de onda superior a 780 nm são as radiações infravermelhas, as quais produzem uma sensação de calor.

RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA E GAMA DE RADIAÇÃO VISIVEL



ESPECTRO VISÍVEL E SENSIBILIDADE DOS OLHOS



ESPECTRO VISÍVEL E SENSIBILIDADE DOS OLHOS

