

# Projeto Elétrico Predial e Industrial

Prof. Dorival Rosa Brito

LUMINOTÉCNICA

Vitória-ES - 2020

# Tópicos

- ❑ A importância da boa iluminação
- ❑ Conceitos básicos de luminotécnica
- ❑ Grandezas e unidades utilizados em iluminação
- ❑ Histórico e desenvolvimento da lâmpada
- ❑ Características das lâmpadas e acessórios
- ❑ Principais tipos de lâmpadas

# A Importância da Boa Iluminação

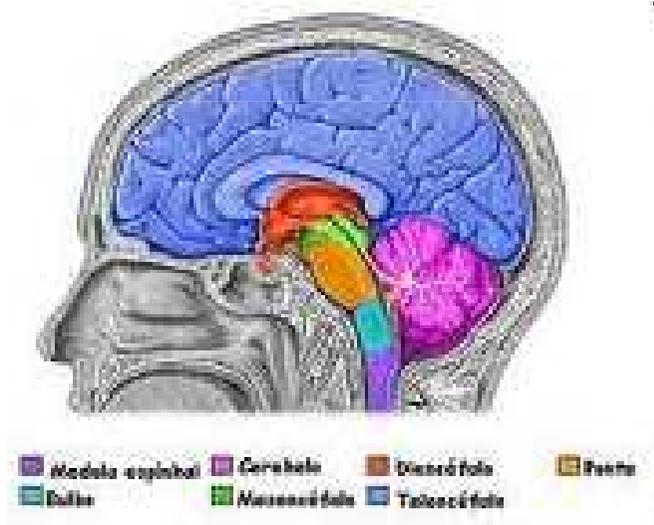
# Iluminação

- A construção do futuro da humanidade ocorre em função dos resultados das pesquisas e descobertas científicas e tecnológicas
- Uma das tecnologias mais benéficas desenvolvidas nos últimos 100 anos foi a iluminação elétrica



# Iluminação

- ❑ Benefícios da boa iluminação:
  - ❑ Proteção à vista
  - ❑ Influências positivas sobre os sistema nervoso autônomo (parte do sistema nervoso central que comanda o metabolismo e as funções do corpo)
  - ❑ Elevação do rendimento no trabalho
  - ❑ Diminuição de erros e acidentes
  - ❑ Maior conforto, bem-estar e segurança



# Iluminação

- ❑ Uma iluminação adequada, que não ofusque, mas que seja suave e agradável:
  - ❑ Diminui a fadiga e o cansaço
  - ❑ Exerce uma influência positiva sobre os ânimos
  - ❑ Melhora o ambiente de trabalho

Os estabelecimentos industriais e comerciais (e residenciais também) vêm dando cada vez mais uma maior importância a uma iluminação eficiente e adequada



# Iluminação

- Presente em: residências



# Iluminação

- Presente em: indústrias



# Iluminação

- Presente no: comércio



# Iluminação

- Presente no: lazer



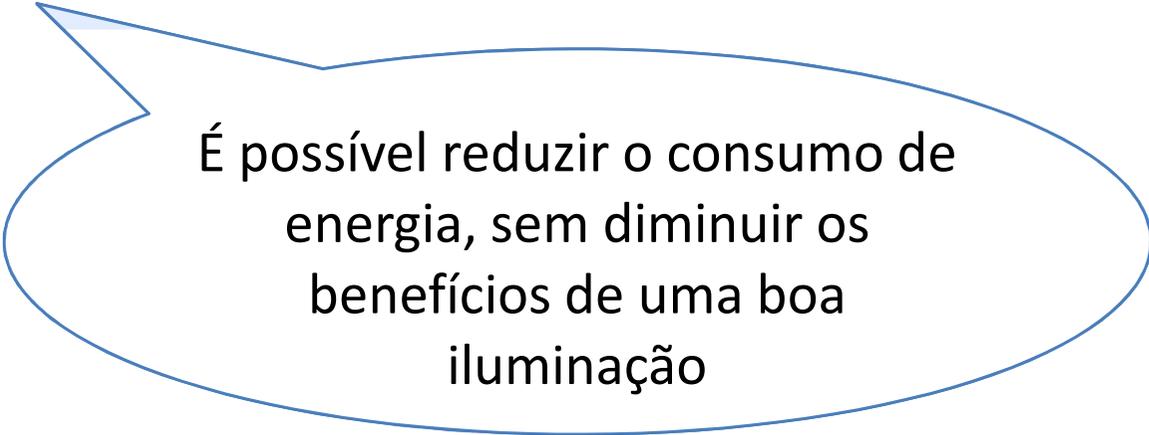
# Iluminação

- Presente na: medicina e odontologia



# Iluminação

- ❑ Iluminação é o maior consumidor de energia?
- ❑ Transformação da energia elétrica em luz
- ❑ Oportunidade de conservação de energia
- ❑ Iluminação adequada dentro dos padrões definidos pela norma
- ❑ A indústria da iluminação tem investido na eficiência e economia de energia :
  - ❑ lâmpadas fluorescentes em 80%
  - ❑ lâmpadas de descarga a vapor de mercúrio a alta pressão em 65%
  - ❑ lâmpadas de descarga em vapor de sódio a baixa pressão em 115%

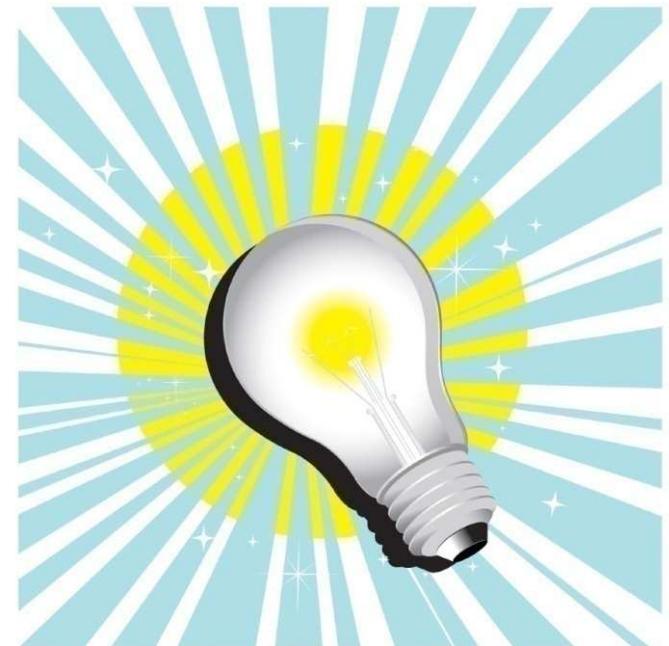


É possível reduzir o consumo de energia, sem diminuir os benefícios de uma boa iluminação

# Conceitos Básicos de Luminotécnica

# Luminotécnica

- Ao acendermos uma lâmpada elétrica, esta emite uma série de radiações
- Estas radiações são resultantes da transformação da energia elétrica em outras formas de energia: radiações infravermelhas, ultravioletas e luz visível

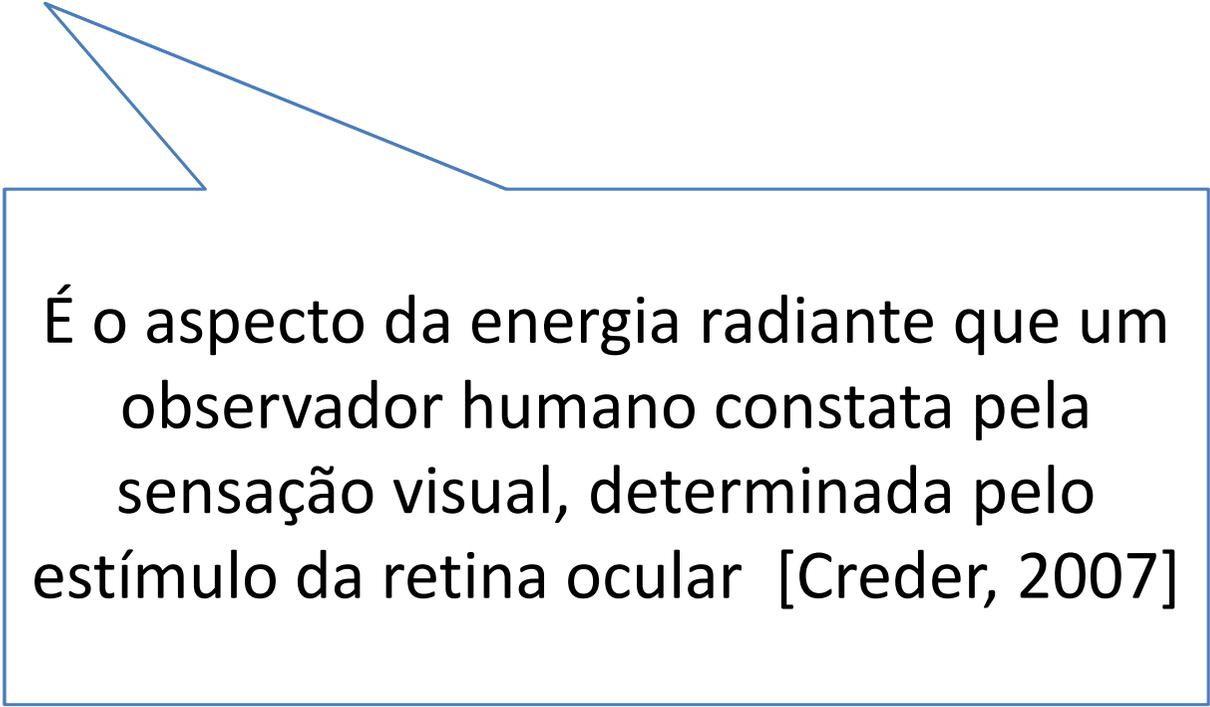


# Luminotécnica

- O que é a luz?

# Luminotécnica

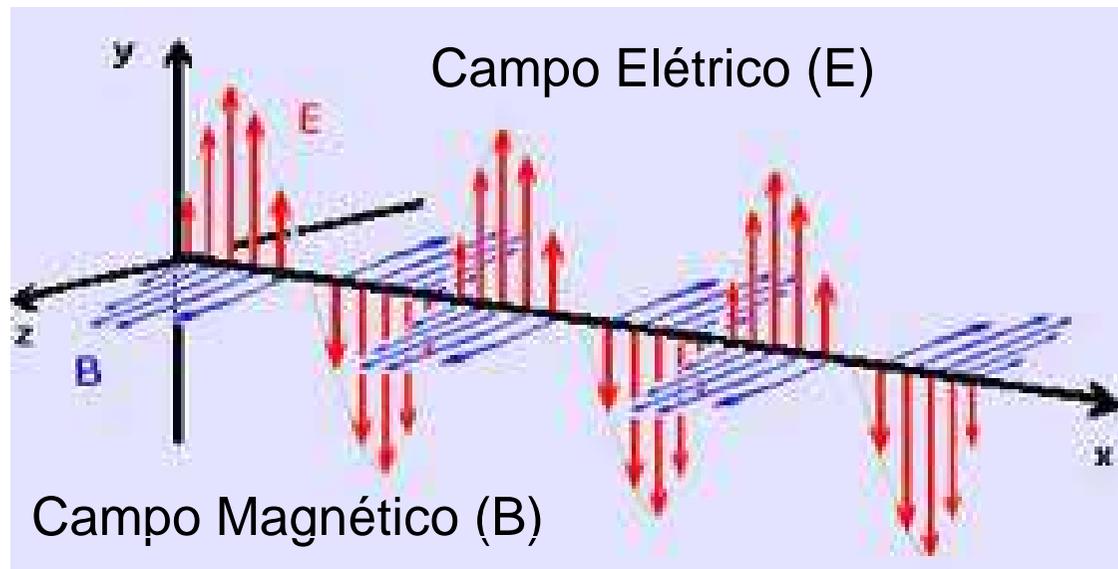
- O que é a luz?



É o aspecto da energia radiante que um observador humano constata pela sensação visual, determinada pelo estímulo da retina ocular [Creder, 2007]

# Luminotécnica

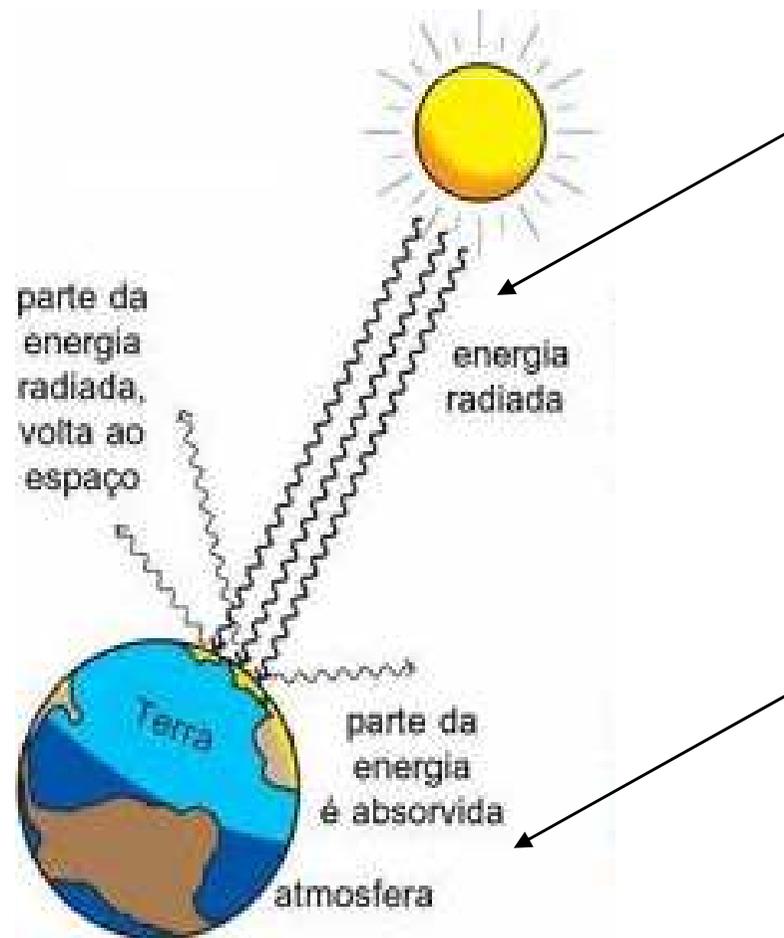
- ❑ O que é a luz?
- ❑ A luz é um conjunto de ondas eletromagnéticas



Ondas eletromagnéticas são ondas que se formam a partir da combinação dos campos magnético e elétrico que se propagam no espaço transportando energia

# Luminotécnica

## □ Ondas eletromagnéticas?

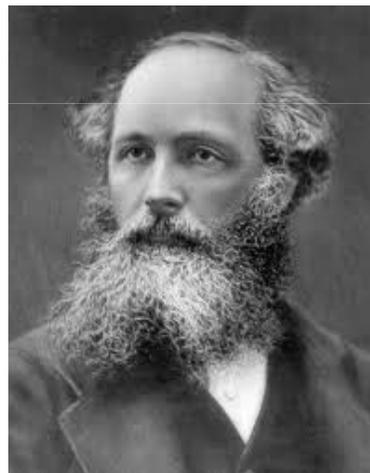


**Ondas eletromagnéticas:** emitidas pelas estrelas (Sol), “quasares” (objetos ópticos que se encontram nas galáxias, emissões na faixa de radiofrequências), “pulsares” (estrelas pequenas cuja densidade média é em torno de 10 trilhões de vezes a densidade média do Sol, pulsos intensos de radiação)

**Fontes terrestres:** as estações de rádio e de TV, os sistemas de telecomunicações à base de microondas, lâmpadas artificiais, corpos aquecidos e muitas outras

# Luminotécnica

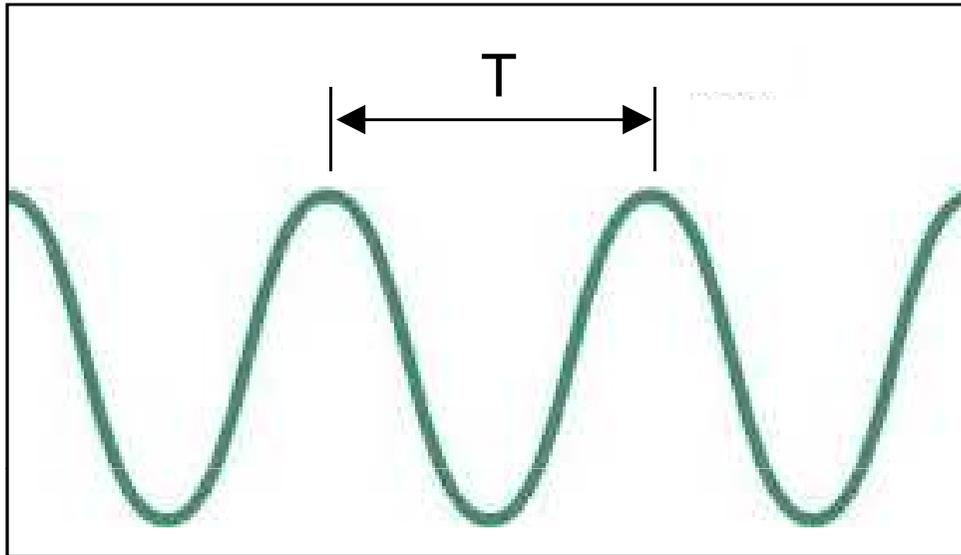
- ❑ Ondas eletromagnéticas?
- ❑ A primeira previsão da existência de ondas eletromagnéticas foi feita, em 1864, pelo físico escocês, James Clerk Maxwell
- ❑ Ele conseguiu provar teoricamente que uma perturbação eletromagnética devia se propagar no vácuo com uma velocidade igual à da luz



**James Clerk Maxwell, 13/06/1831 – 05/11/1879**

# Luminotécnica

- Ondas eletromagnéticas possuem diferentes comprimentos de onda (o olho humano é sensível a somente alguns)



Comprimento de onda, ou período ( $T$ ), é a distância entre valores repetidos num padrão de onda

Frequência

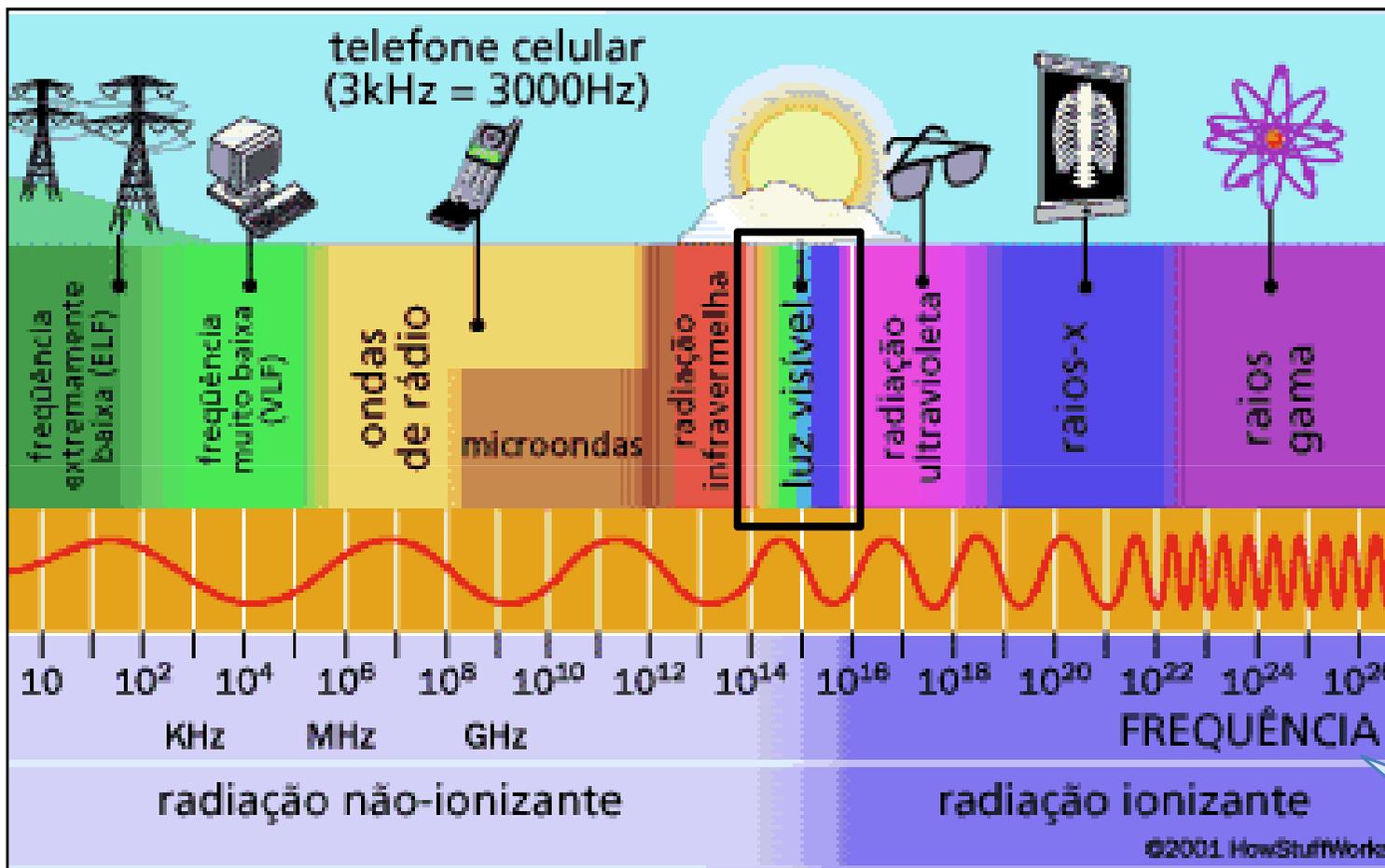
$$f = \frac{1}{T}$$

# Luminotécnica

- O espectro eletromagnético contém uma série de radiações, que são fenômenos vibratórios, cuja velocidade de propagação ( $v$ ) é constante ( $3 \times 10^8$  km/s) e que diferem entre si por sua frequência ( $f$ ) e por seu comprimento de onda ( $\lambda$ ), tal que  $v = \lambda \cdot f$
- Para o estudo da iluminação, é especialmente importante para o grupo de radiações compreendidas entre os comprimentos de onda de 380 nm e 760 nm ( $1\text{nm} = 10^{-9}$  m), pois elas possuem a capacidade de estimular a retina do olho humano, produzindo a sensação luminosa

# Luminotécnica

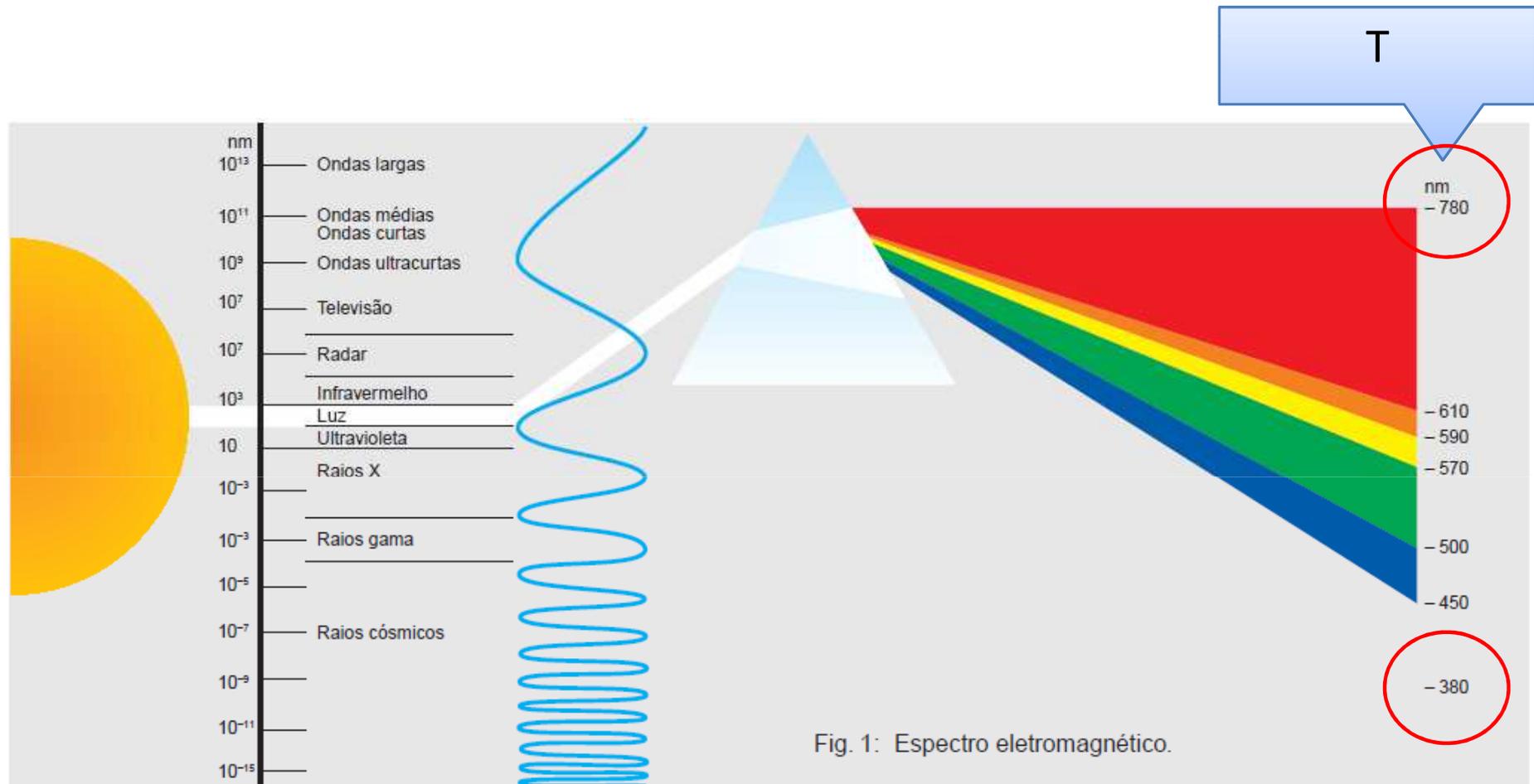
- Ondas eletromagnéticas possuem diferentes comprimentos de onda (o olho humano é sensível a somente alguns)



F

# Luminotécnica

- Ondas eletromagnéticas possuem diferentes comprimentos de onda (o olho humano é sensível a somente alguns)



Espectro Eletromagnético (fonte: manual prático da Osram)

# Luminotécnica

- ❑ Luz é, portanto, a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual (Figura 1)
- ❑ A sensibilidade visual para a luz varia não só de acordo com o comprimento de onda da radiação, mas também com a luminosidade

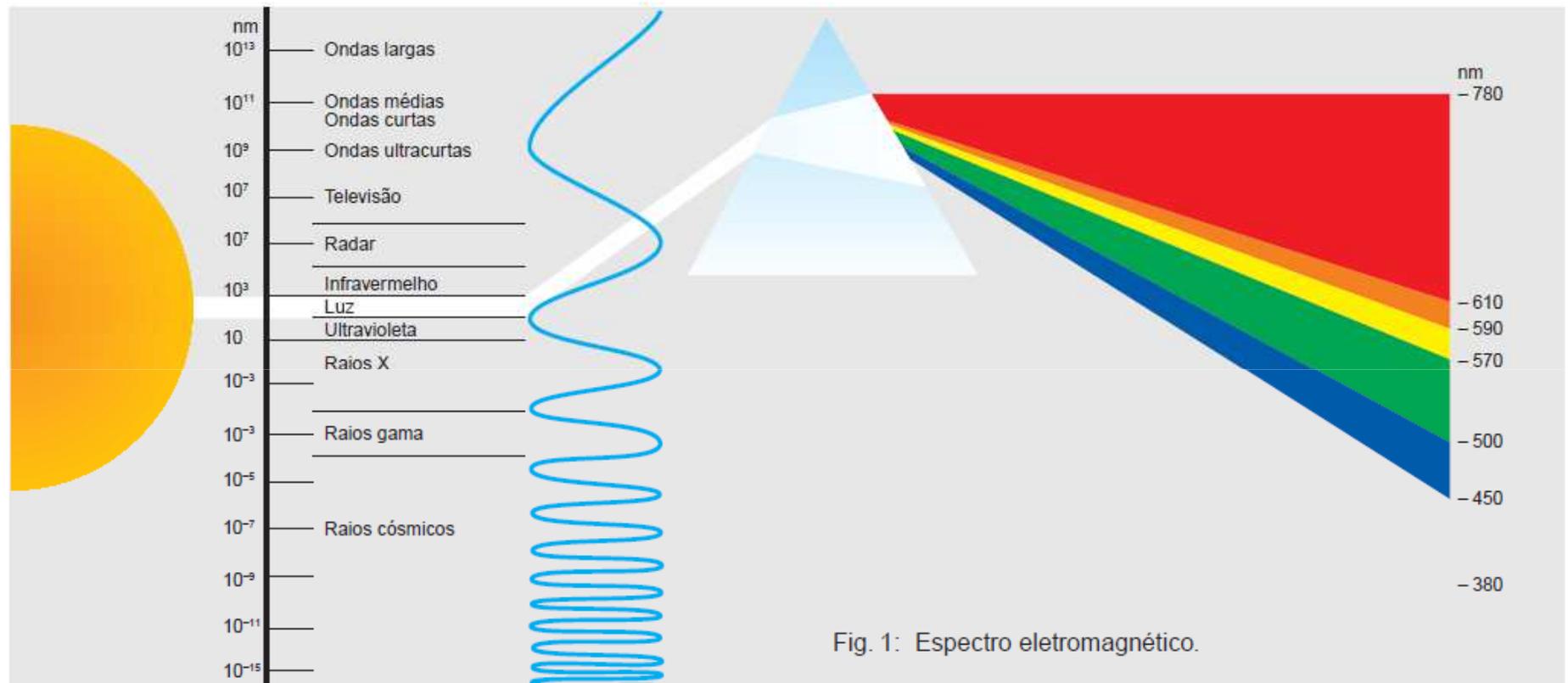


Fig. 1: Espectro eletromagnético.

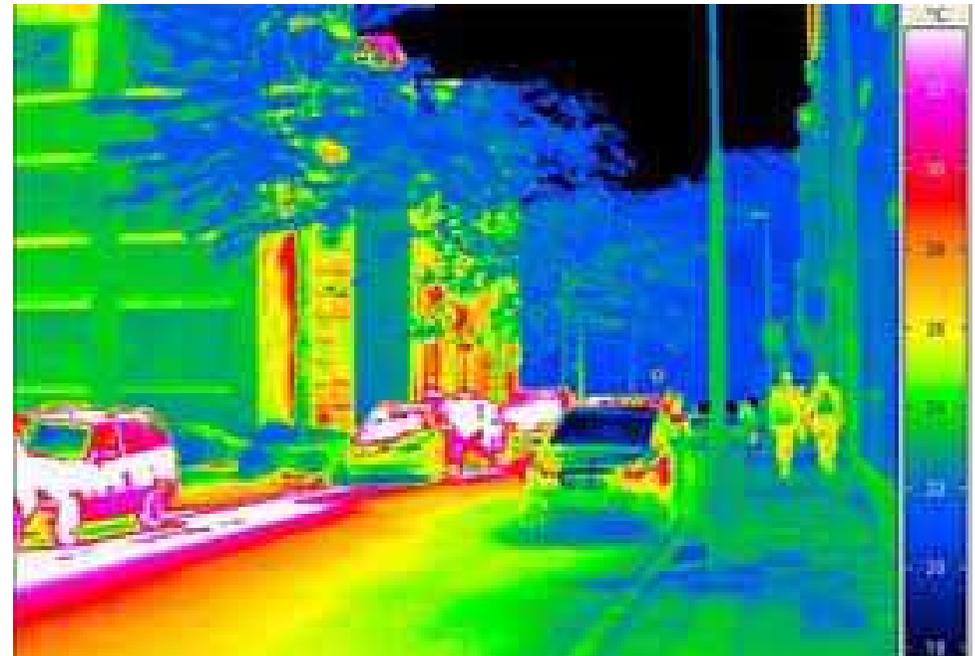
# Luminotécnica

- ❑ Radiações Infravermelhas
- ❑ A radiação infravermelha foi descoberta em 1800, pelo astrônomo alemão naturalizado inglês Friedrich William Herschel (1738-1822)
- ❑ Astrônomo e matemático descobriu Urano, o movimento intrínseco do Sol e as propriedades da radiação infravermelha
- ❑ Todo corpo sólido a uma temperatura acima do zero absoluto (menos 273 graus centígrados) emite radiação infravermelha, invisível ao olho humano



# Luminotécnica

- ❑ Radiações Infravermelhas (invisíveis ao olho humano)
- ❑ Possuem comprimentos de onda variando entre 780 e 10000 nm
- ❑ Apresentam forte efeito calorífero, sendo utilizadas em muitas aplicações
- ❑ São produzidas também através de resistores aquecidos ou lâmpadas incandescentes especiais (lâmpadas infravermelhas)



# Luminotécnica

- ❑ Aplicações do infravermelho
- ❑ Medicina: tratamento de luxações; ativamento da circulação; aquecimento
- ❑ Fotografia: fotografia com filmes sensíveis ao infravermelho
- ❑ Indústria: secagem de tintas, secagem de enrolamentos elétricos, secagem de grãos
- ❑ Bélicas: sistemas de orientação de foguetes
- ❑ No lar: aquecimento de ambientes, preparação de alimentos

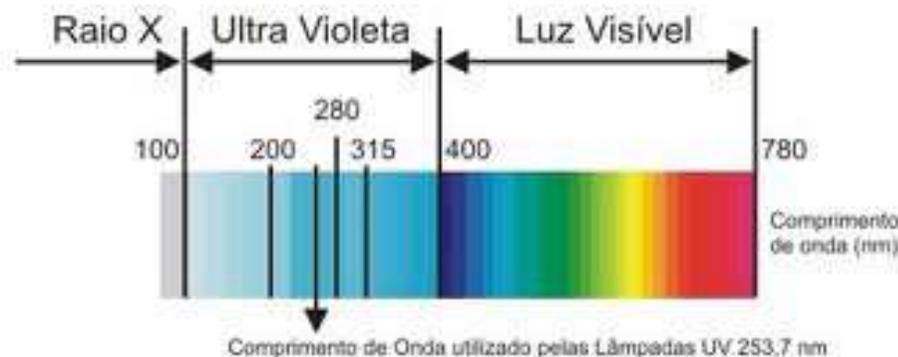


# Luminotécnica

- ❑ Radiações Ultravioletas
- ❑ A descoberta da radiação ultravioleta também foi realizada por Friedrich Herschel
- ❑ Ele estava convencido da existência de uma simetria no espectro da radiação, decidiu então investigar a possível existência de outra forma de radiação invisível, no lado oposto do espectro da luz visível, além do violeta
- ❑ Em 1801, ele descobriria a radiação ultravioleta
- ❑ Possuem elevada ação química

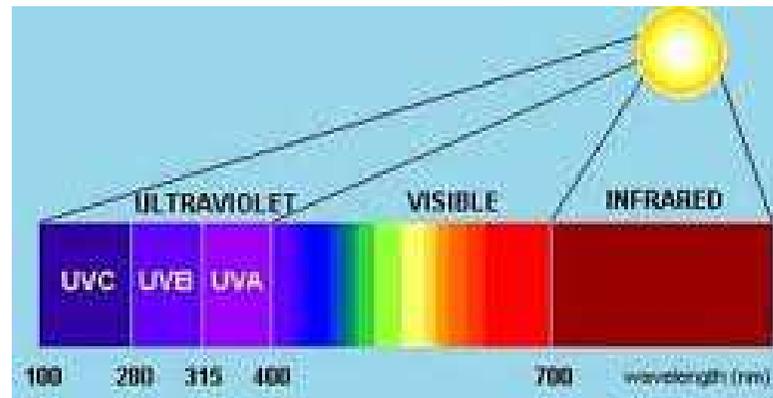
# Luminotécnica

- ❑ Radiações Ultravioletas
- ❑ A radiação ultravioleta (UV) é a radiação eletromagnética ou os raios ultravioletas com um comprimento de onda menor que a da luz visível e maior que a dos raios X, de 380 nm a 1 nm
- ❑ O nome significa mais alta que (além do) violeta (do latim ultra), pelo fato que o violeta é a cor visível com comprimento de onda mais curto e maior frequência



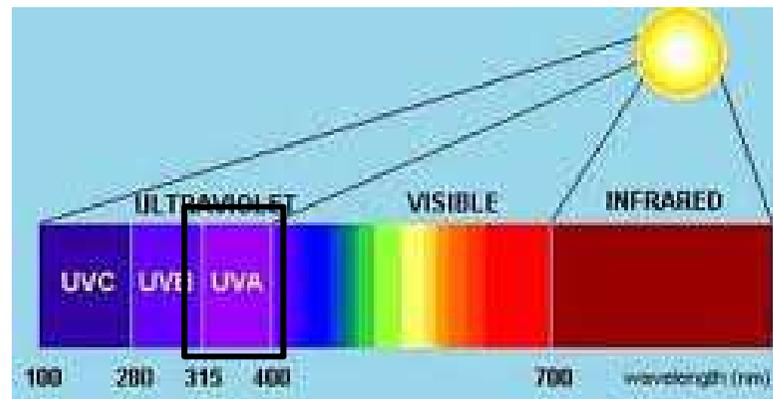
# Luminotécnica

- ❑ A radiação ultravioleta divide-se em três categorias: UV-A, UVB e UV-C -, de acordo com o comprimento de onda: 400-320 nm (UV-A), 320-280 nm (UV-B) e 280-15 nm (UV-C)
- ❑ Como a frequência da radiação eletromagnética é inversamente proporcional a seu comprimento de onda, quanto menor este último maior a frequência da radiação e, conseqüentemente, maior sua energia, já que a energia de um fóton é proporcional à sua frequência
- ❑ Assim, os fótons no UV-C têm mais energia que os fótons no UVB, e estes mais energia que os fótons no UV-A



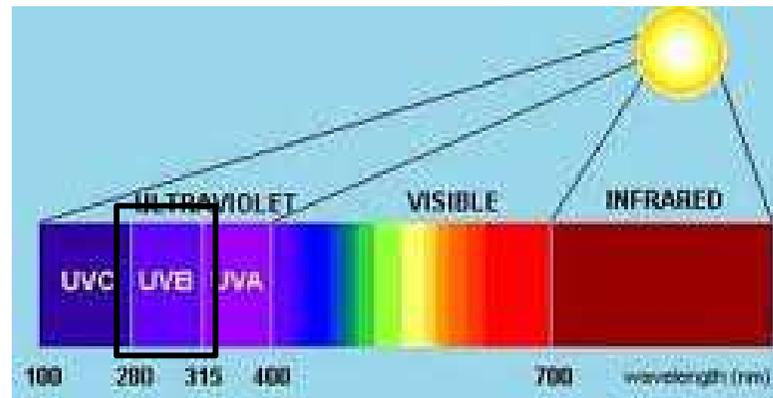
# Luminotécnica

- ❑ A radiação UV-A, caracteriza-se por ter comprimentos de onda próximos às radiações visíveis
- ❑ Pode ser gerada artificialmente através de lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão
- ❑ Essas radiações não afetam perniciosamente a vista humana, não possuem atividades pigmentárias e eritemáticas (vermelhidão) sobre a pele humana, e atravessam praticamente todos os tipos de vidros comuns



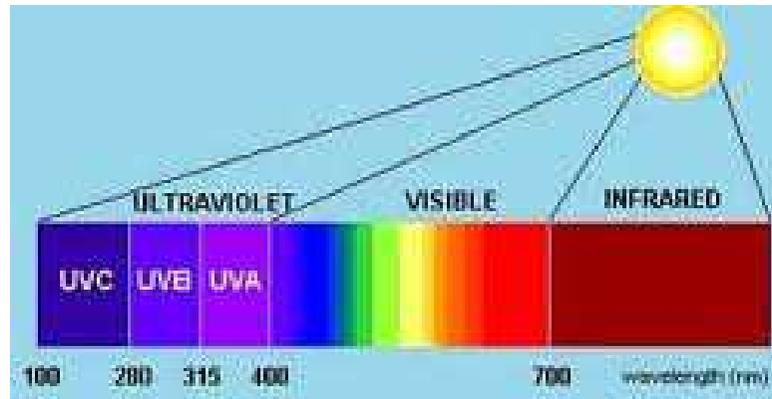
# Luminotécnica

- ❑ A radiação UV-B, tem elevada atividade pigmentária e eritemática
- ❑ Produz vitamina D (que possui ação anti-raquítica)
- ❑ Compreende as radiações do espectro eletromagnético que vão do 280 ao 315 nm
- ❑ Também pode ser gerada artificialmente através de lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão



# Luminotécnica

- ❑ A radiação UV-C, é caracterizada por as radiações do espectro eletromagnético que vão do 100 a 280 nm
- ❑ Afeta a vista humana, produzindo irritação no olhos
- ❑ São absorvidas quase integralmente pelo vidro comum, que funciona como filtro



# Luminotécnica

- ❑ A radiação ultravioleta é responsável pelo bronzeamento da pele de banhistas
- ❑ No entanto, uma superexposição aos raios ultravioleta pode causar sérios danos à saúde
- ❑ O DNA das células absorve radiação UV de alta energia, e a energia absorvida pode romper ligações químicas da molécula. As células da epiderme são danificadas e podem, em caso extremo, dar origem a um câncer de pele



# Luminotécnica

- ❑ Mas a radiação no UV não é inteiramente prejudicial à saúde. A vitamina D, necessária à boa saúde dos animais, é produzida quando a pele é irradiada por pequenas doses de UV
- ❑ O tratamento do raquitismo inclui a exposição do paciente a doses de luz ultravioleta, natural ou artificial



# Luminotécnica

- ❑ Embora esse tipo de radiação possa ser prejudicial aos seres vivos, são muitos os benefícios oriundos de seu emprego
- ❑ Lâmpadas de luz ultravioleta, por exemplo, são usadas para matar vírus e bactérias; esterilizar equipamentos hospitalares, tecidos humanos expostos, a água e o ar das salas de cirurgia; além de desinfetar produtos da indústria farmacêutica e alimentícia

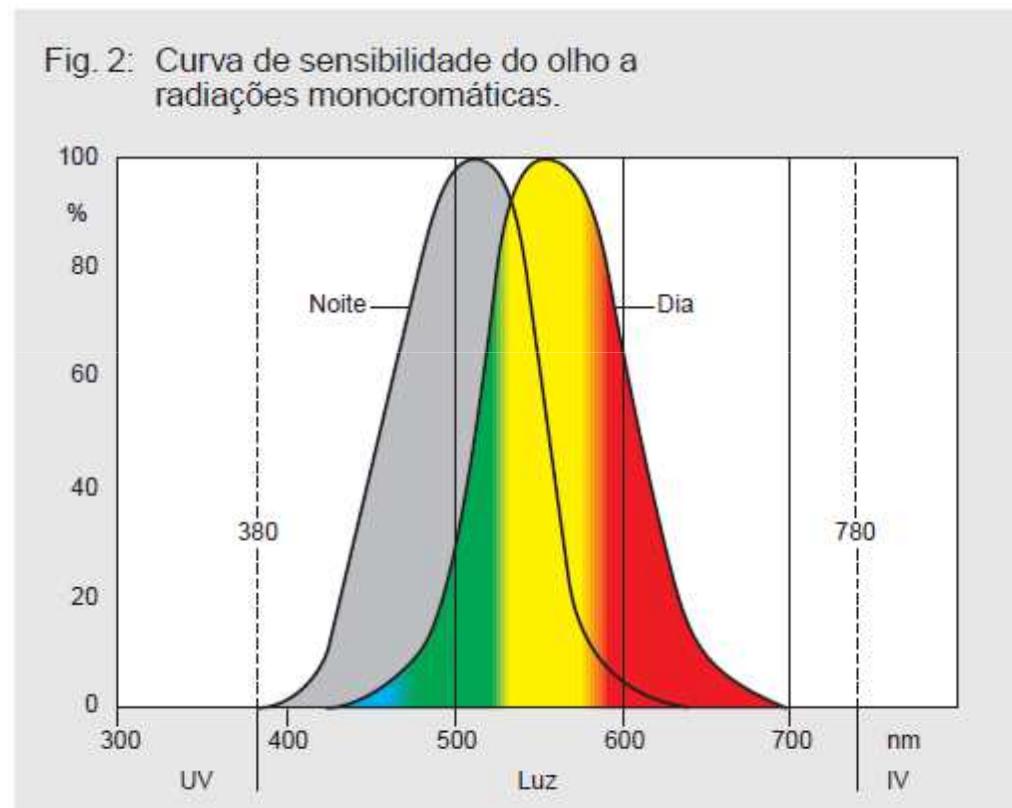


# Luminotécnica

- ❑ Examinando a radiação visível, verifica-se que, além da impressão luminosa, tem-se a impressão de cor
- ❑ Essa sensação de cor está intimamente ligada aos comprimentos de ondas das radiações
- ❑ Verifica-se que os diferentes comprimentos de onda (as diferentes cores) produzem diversas sensações de luminosidade; isto é, o olho humano não é igualmente sensível a todas as cores do espectro visível (ao longo do dia, por exemplo)

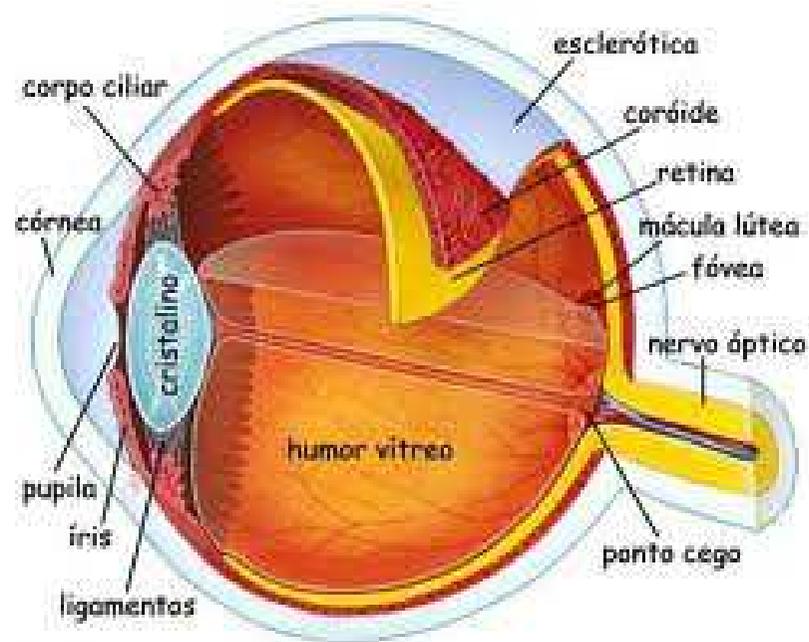
# Luminotécnica

- A curva de sensibilidade do olho humano demonstra que radiações de menor comprimento de onda (violeta e azul) geram maior intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz (ex. crepúsculo, noite, etc.), enquanto as radiações de maior comprimento de onda (laranja e vermelho) se comportam ao contrário (Figura 2)



# Luminotécnica

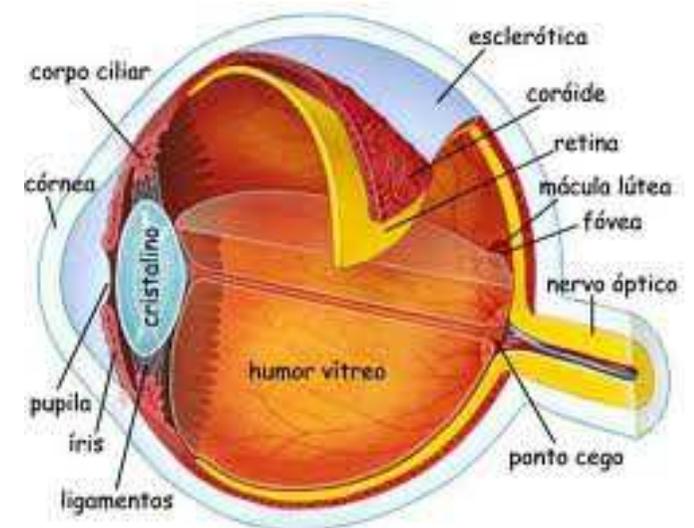
- ❑ O olho humano (principais partes)



Cones e Bastonetes

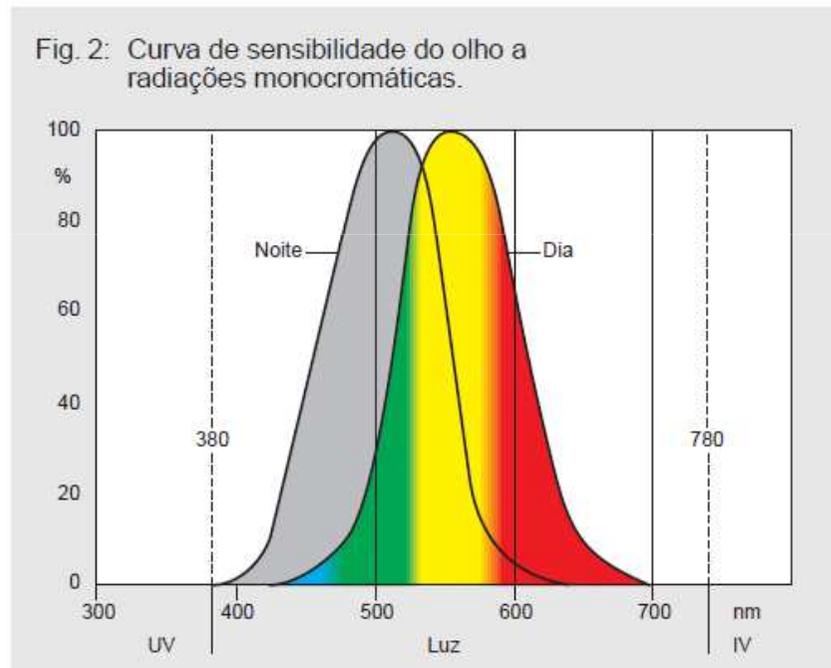
# Luminotécnica

- ❑ A retina do olho humano está provida de duas espécies de células sensíveis à luz: os cones e os bastonetes
- ❑ Essas células transformam a luz em impulsos elétricos que os nervos óticos conduzem ao cérebro
- ❑ O centro visual do cérebro recebe as informações e as interpreta, verificando-se a percepção visual



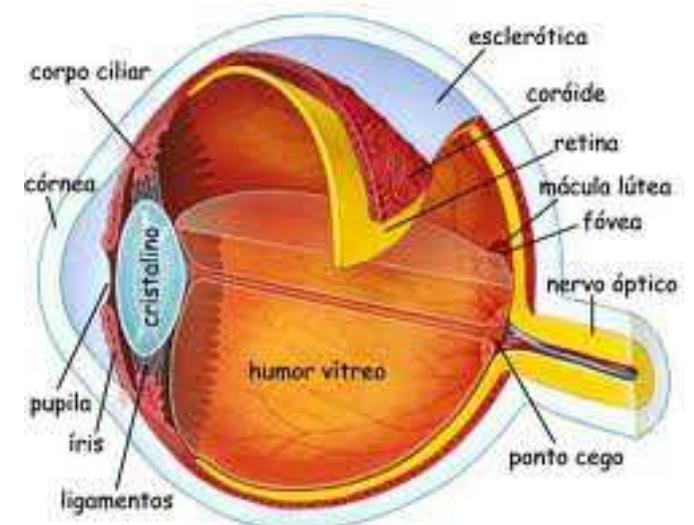
# Luminotécnica

- ❑ As células-bastonetes da retina são sensíveis unicamente à luz, sendo as responsáveis pela nossa visão para baixos níveis de iluminância. Neste caso, não existe percepção de cores
- ❑ Já as células-cone, sensíveis à luz e a cor, dão-nos o sentido da visão diurna para altos níveis iluminâncias
- ❑ Isto justifica o deslocamento, na escala dos comprimentos de onda, da curva de sensibilidade a luminosidade



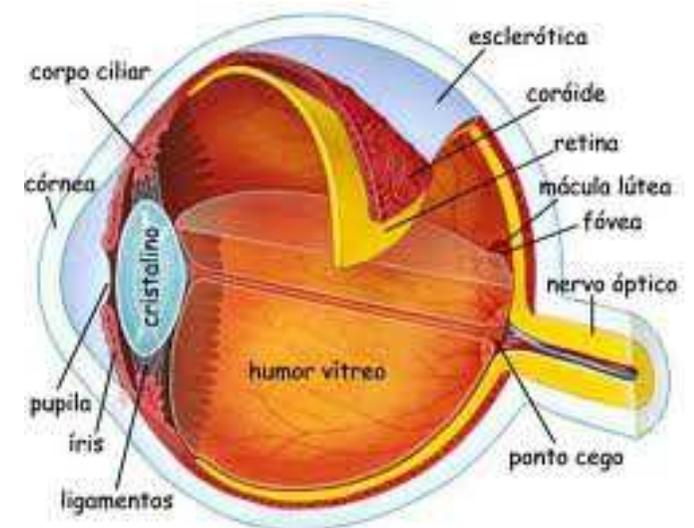
# Luminotécnica

- ❑ O olho humano (seu funcionamento se assemelha muito a uma câmara fotográfica convencional)
- ❑ A câmara fotográfica focaliza os objetos, próximos ou distantes, através da variação da distância entre a objetiva e o plano do filme fotográfico
- ❑ Já o olho humano faz essa focalização pelo modificação da curvatura da lente do cristalino
- ❑ Ela se aplaina para a visão à distância ou diminui seu raio de curvatura para a visão de objetos mais próximos



# Luminotécnica

- ❑ O diafragma da câmara fotográfica se fecha ao focalizar objetos de elevada luminância e se abre ao focalizar objetos na penumbra
- ❑ Esta ação, no olho humano, corresponde ao movimento da pupila, que através da pressão do músculo ciliar ajusta automaticamente seu diâmetro aos níveis de luminância



# Luminotécnica

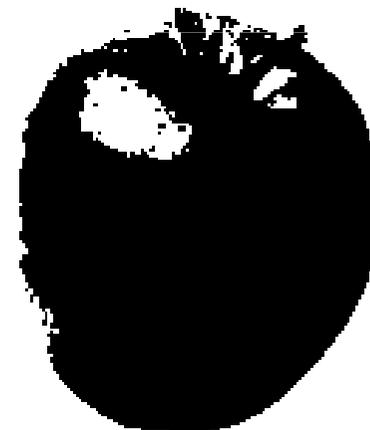
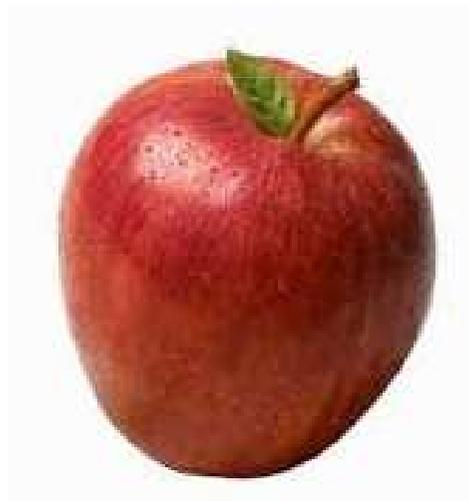
- ❑ Visão das cores
- ❑ A cor de um objeto iluminado consta da interação de três fatores:
  1. A composição espectral do fluxo luminoso emitido pela fonte luminosa
  2. A reflectância espectral do objeto iluminado
  3. A capacidade do observador de detectar e interpretar a composição espectral da luz recebida pelos seus olhos

A cor da luz é determinada pelo comprimento da onda [Creder, 2007]



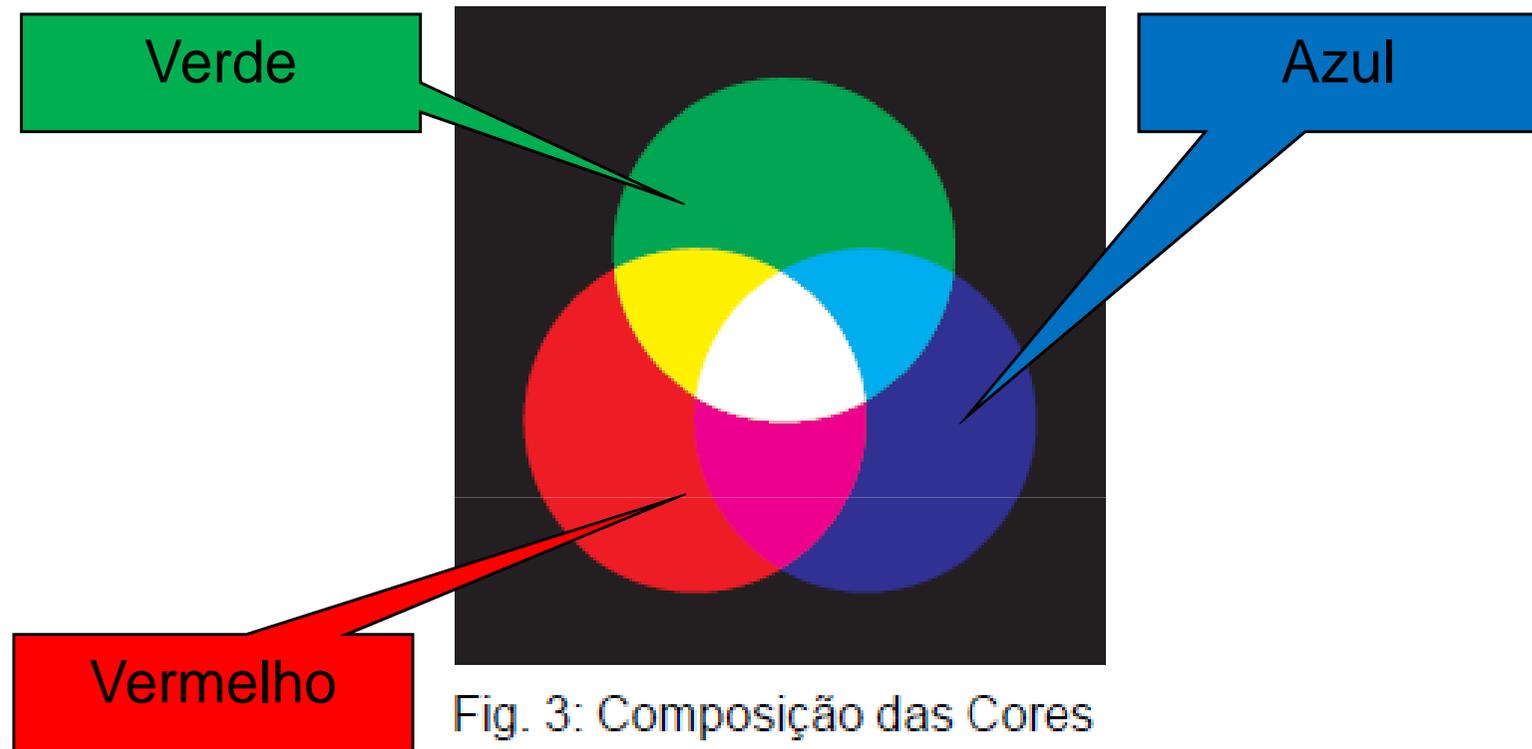
# Luminotécnica

- ❑ Há uma tendência em pensarmos que os objetos já possuem cores definidas. Na verdade, a aparência de um objeto é resultado da iluminação incidente sobre o mesmo
- ❑ Sob uma luz branca, a maçã aparenta ser de cor vermelha pois ela tende a refletir a porção do vermelho do espectro de radiação absorvendo a luz nos outros comprimentos de onda
- ❑ Caso utilizássemos um filtro para remover a porção do vermelho da fonte de luz, a maçã refletiria muito pouca luz parecendo totalmente negra



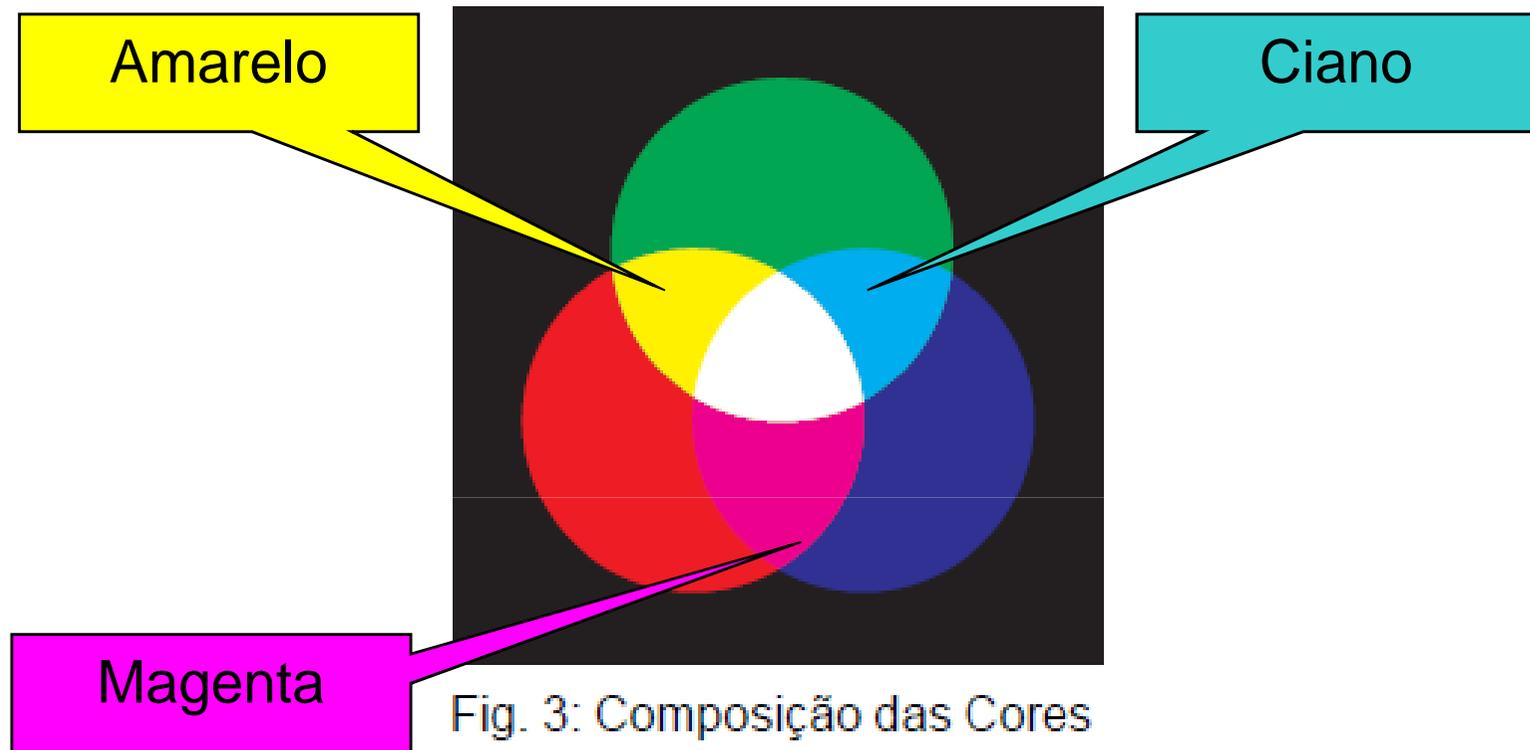
# Luminotécnica

- A luz é composta por três cores primárias (Figura 3): vermelho, verde e azul



# Luminotécnica

- Da combinação das três cores primárias surgem as cores secundárias (amarelo, ciano e a magenta) e outras cores



# Luminotécnica

- Da mesma forma que surgem diferenças na visualização das cores ao longo do dia (diferenças da luz do sol ao meio-dia e no crepúsculo), as fontes de luz artificiais também apresentam diferentes resultados



# Luminotécnica

- As lâmpadas incandescentes tendem a reproduzir com maior fidelidade as cores vermelha e amarela, em especial, do que as cores verde e azul, aparentando ter uma luz mais “quente”, por exemplo



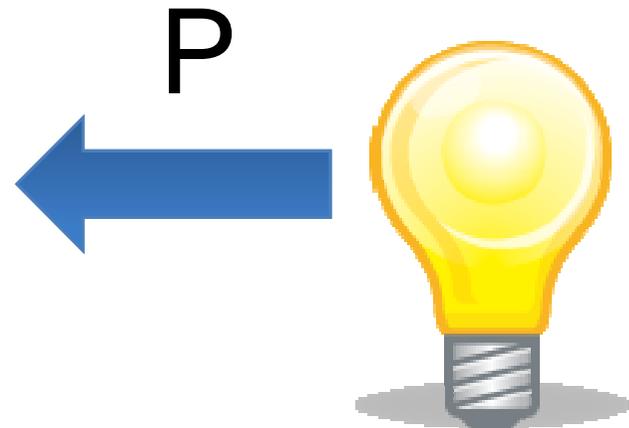
# Grandezas e Unidades Utilizadas em Iluminação

# Grandezas e Conceitos

- As grandezas e conceitos a seguir relacionados são fundamentais para o entendimento dos elementos da luminotécnica
- As definições são extraídas do Dicionário Brasileiro de Eletricidade, reproduzidas das normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT
- A cada definição, seguem-se as unidades de medida e símbolo gráfico do Quadro de Unidades de Medida, do Sistema Internacional - SI, além de interpretações e comentários destinados a facilitar o entendimento

# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Fluxo Radiante** é a quantidade de energia transportada por uma radiação
- ❑ Símbolo:  $P$
- ❑ Unidades: Joule (J), watt-hora (Wh), etc.



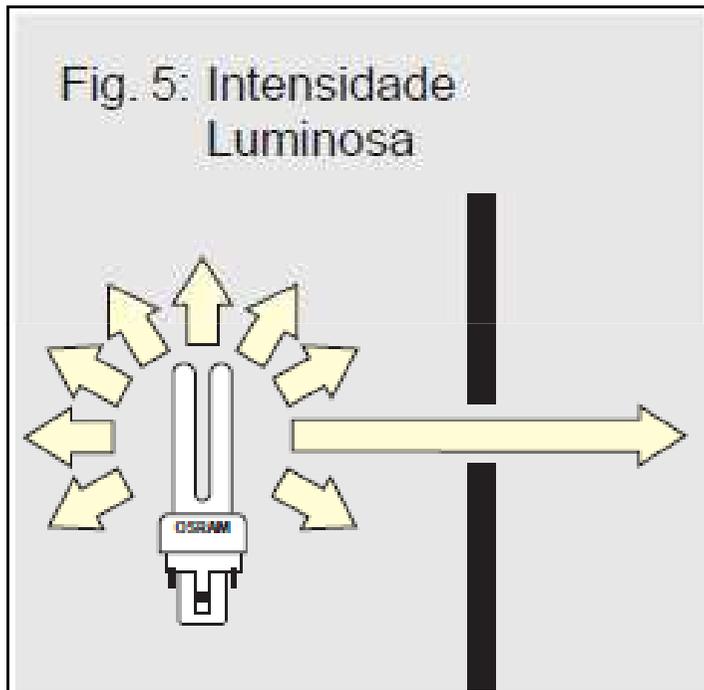
# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Fluxo Luminoso** é a radiação total de uma fonte luminosa, dentro do espectro visível: 380 e 780nm
- ❑ O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lúmens, na sua tensão nominal de funcionamento
- ❑ Símbolo:  $\varphi$  (Phi)
- ❑ Unidade: lúmen (lm)



# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Intensidade Luminosa** é o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto
- ❑ Símbolo:  $I$
- ❑ Unidade: candela (cd)



Se a fonte luminosa irradiasse a luz uniformemente em todas as direções, o fluxo luminoso se distribuiria na forma de uma esfera. Tal fato, porém, é quase impossível de acontecer, razão pela qual é necessário medir o valor dos lúmens emitidos em cada direção. Essa direção é representada por vetores, cujo comprimento indica a intensidade luminosa

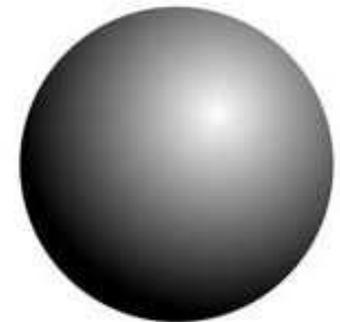
# Grandezas e Conceitos

## ❑ **Superfície fotométrica**

- ❑ A distribuição de luz realizada por uma fonte pode ser representada por uma superfície definida pela distribuição espacial dos valores da intensidade luminosa em cada direção
- ❑ Essa superfície recebe o nome de superfície fotométrica

# Grandezas e Conceitos

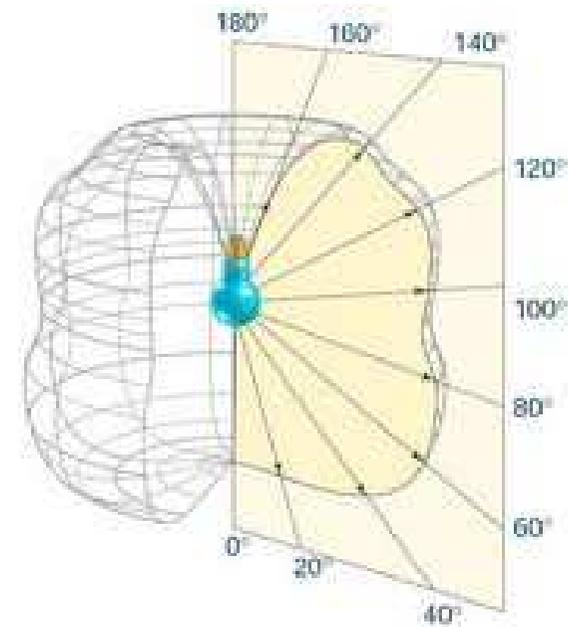
- ❑ **Superfície fotométrica**
- ❑ Quando a fonte realiza uma distribuição espacialmente uniforme, a superfície fotométrica é uma esfera
- ❑ A superfície fotométrica, sendo espacial, não pode ser representada diretamente sobre um plano; isto é, um diagrama de duas dimensões
- ❑ Para que a representação seja possível, adotam-se projeções dessa superfície sobre um plano



# Grandezas e Conceitos

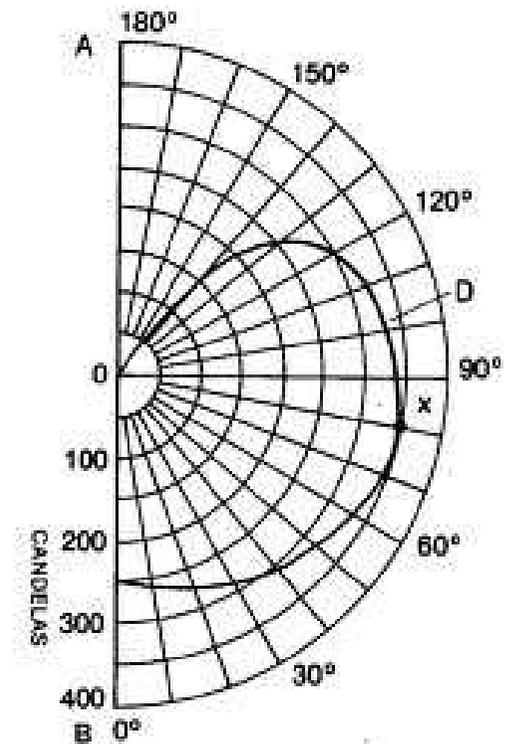
## □ **Curvas fotométricas**

- A intersecção de uma superfície fotométrica por um plano que passa pelo centro da fonte luminosa é uma curva fotométrica
- Pode-se assim traçar curvas fotométricas horizontais e verticais de uma fonte luminosa



# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Diagramas fotométricos**
- ❑ As curvas fotométricas horizontais e/ou verticais de uma fonte luminosa colocados em um plano são definidos como diagramas fotométricos



# Grandezas e Conceitos

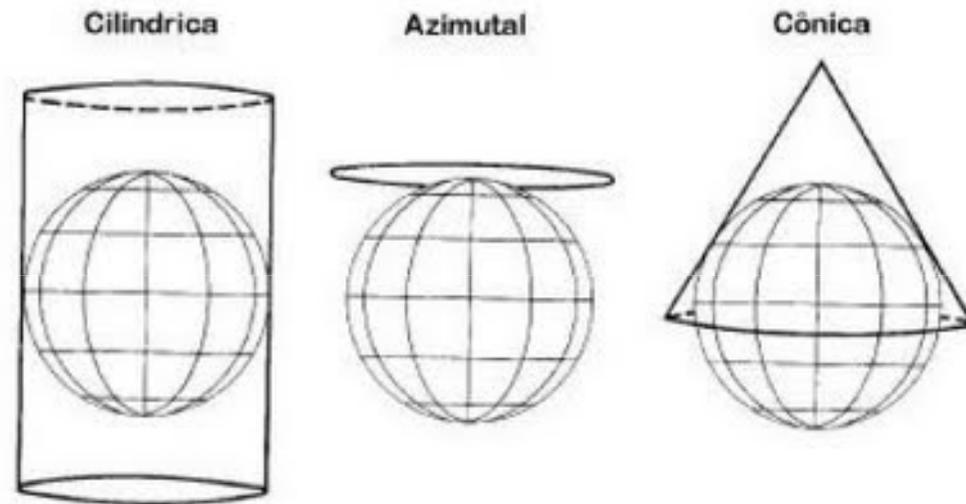
## □ **Diagramas de isocandelas**

- Linha isocandela é a linha traçada num plano e referida a um sistema de coordenadas que permita representar direções no espaço em torno de um ponto luminoso ligando os pontos do espaço em que as intensidades luminosas são iguais
- As linhas isocandelas ligam pontos de uma esfera nas quais vêm aflorar raios vetores, segundo as quais as intensidades luminosas são iguais

# Grandezas e Conceitos

## □ Diagramas de isocandelas

- Tais curvas são traças na superfície da esfera e, para que seja possível desenhar num plano deve-se aplicar um método de projeção dos utilizados em cartografia



# Grandezas e Conceitos

## ❑ **Curva de Distribuição Luminosa**

❑ Símbolo: CDL

❑ Unidade: candela (cd)

❑ Se num plano transversal à lâmpada, todos os vetores que dela se originam tiverem suas extremidades ligadas por um traço, obtém-se a Curva de Distribuição Luminosa (CDL)

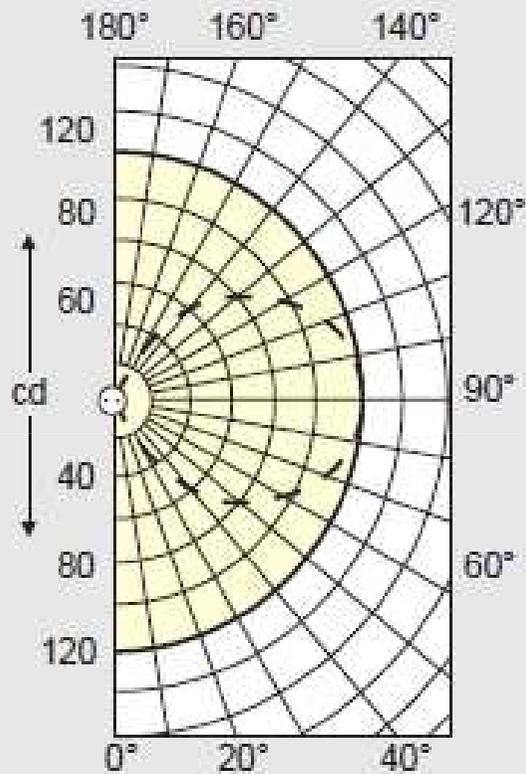
❑ Em outras palavras, é a representação da intensidade luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano

❑ Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente essas são referidas a 1000 lm. Nesse caso, é necessário multiplicar-se o valor encontrado na CDL pelo fluxo luminoso da lâmpada em questão e dividir o resultado por 1000 lm

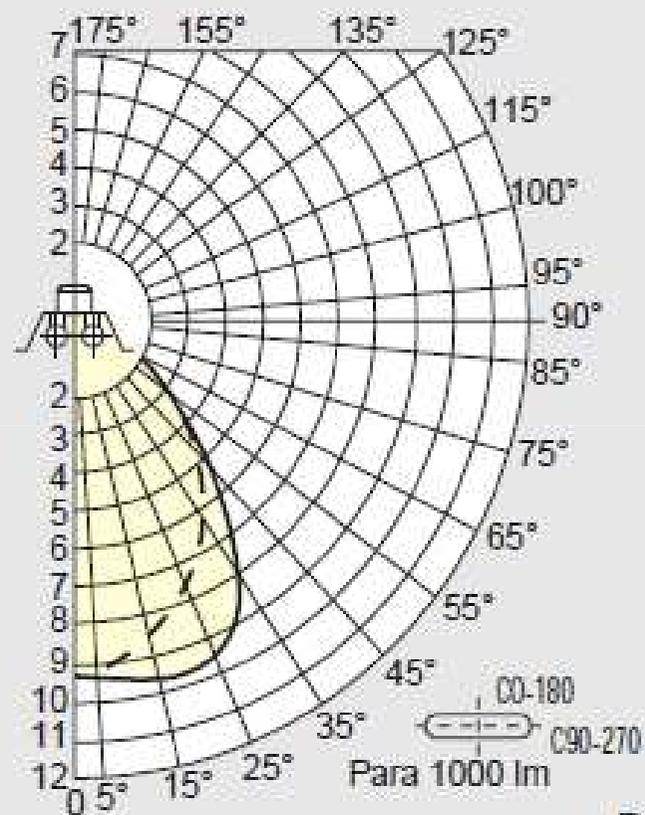
# Grandezas e Conceitos

## □ Curva de distribuição luminosa

Fig. 6: Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B).



A

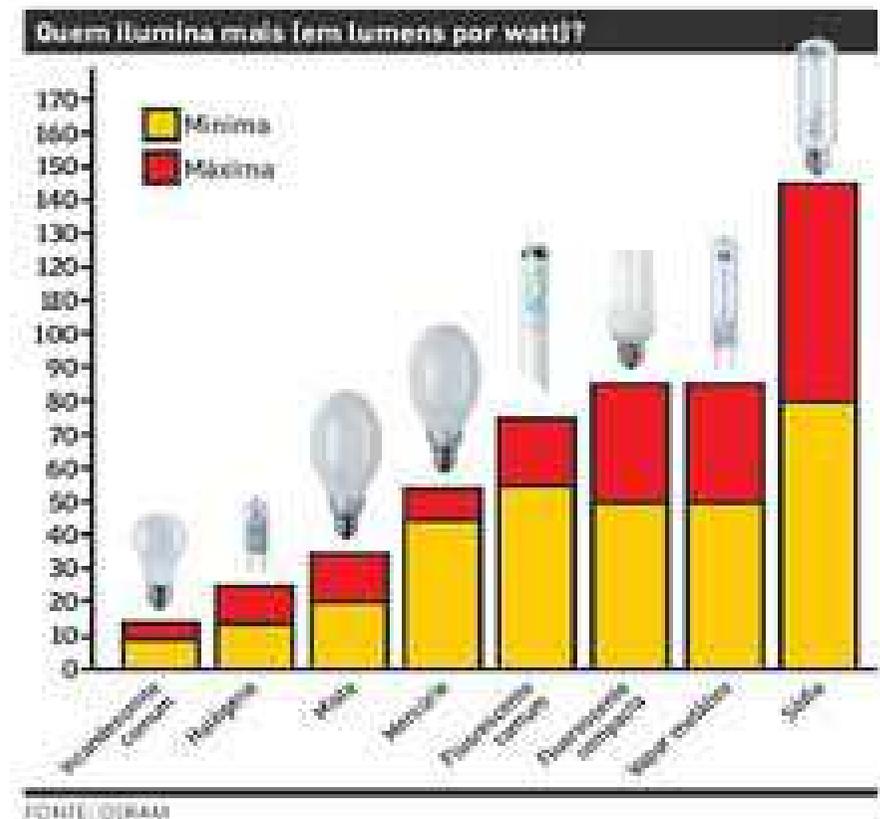


B

# Grandezas e Conceitos

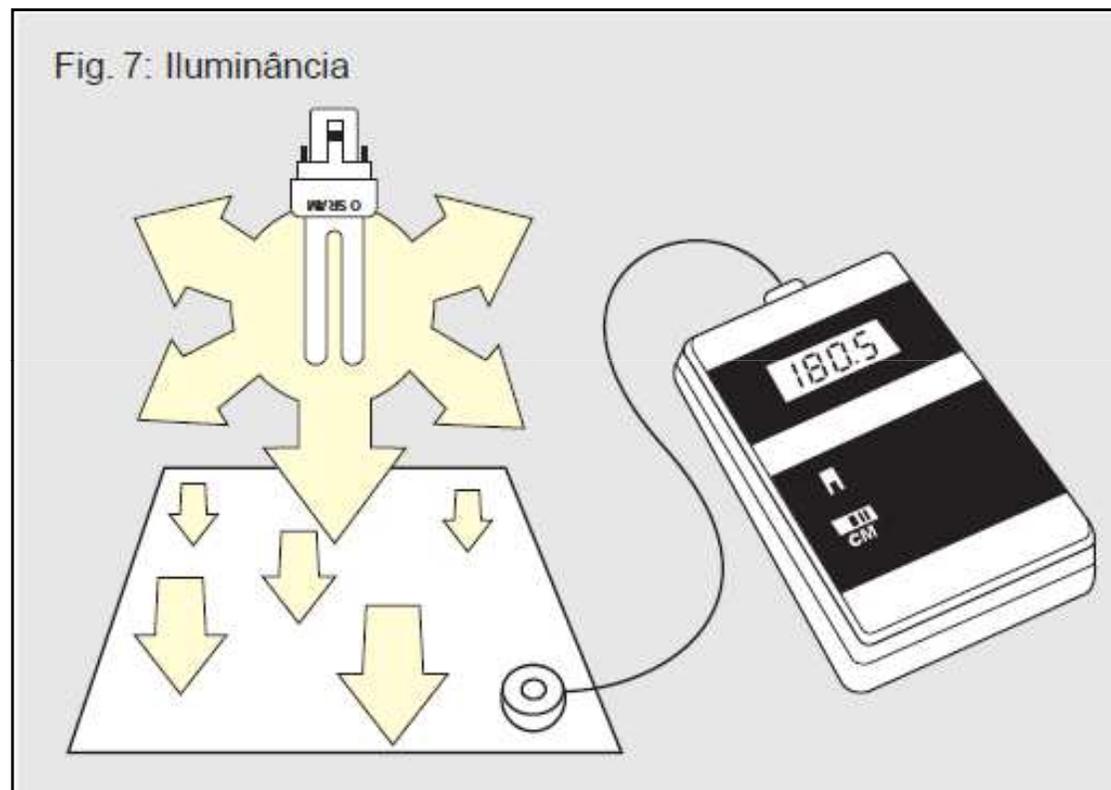
- Eficiência luminosa ( $\eta$ )
- É a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte e a potência por ele absorvida

$$\eta = \frac{\phi}{P} [lm / W]$$



# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Iluminância (Iluminamento)**
- ❑ Símbolo:  $E$
- ❑ Unidade: lux (lx)
- ❑ A luz que uma lâmpada irradia, relacionada à superfície a qual incide, define o Iluminamento ou Iluminância (Figura 7, Osram)



# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Iluminância (Iluminamento)**
- ❑ Símbolo:  $E$
- ❑ Unidade: lux (lx)
- ❑ A luz que uma lâmpada irradia, relacionada à superfície a qual incide, define o Iluminamento ou Iluminância (Figura 7). **Expressa em lux (lx), indica o fluxo luminoso de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada à uma certa distância desta fonte. Em outras palavras a equação que expressa esta grandeza é:**

$$E = \frac{\varphi}{A}$$

# Grandezas e Conceitos

- **Iluminância (Iluminamento)**

- Exemplos:

- a) supondo um fluxo luminoso igual a 10 lm emitido por uma lâmpada sobre uma área de 40m<sup>2</sup> obtenha a iluminância

$$E = \frac{10}{40} = 0,25 \text{ lx}$$

- b) supondo agora o mesmo fluxo luminoso igual a 10 lm emitido por uma lâmpada sobre uma área de 80m<sup>2</sup> obtenha a iluminância

$$E = \frac{10}{80} = 0,125 \text{ lx}$$

# Grandezas e Conceitos

- A iluminância também é expressa pela relação entre a intensidade luminosa e o quadrado da distância (entre a fonte e a superfície iluminada)

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

- Na prática, é a quantidade de luz dentro de um ambiente, e pode ser medida com o auxílio de um luxímetro
- Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão

# Grandezas e Conceitos

- Considera-se por isso a iluminância média ( $E_m$ ). Existem normas especificando o valor mínimo de  $E_m$ , para ambientes diferenciados pela atividade exercida relacionados ao conforto visual
- Alguns dos exemplos mais importantes estão relacionados na norma ABNT - NBR 5413



# Grandezas e Conceitos

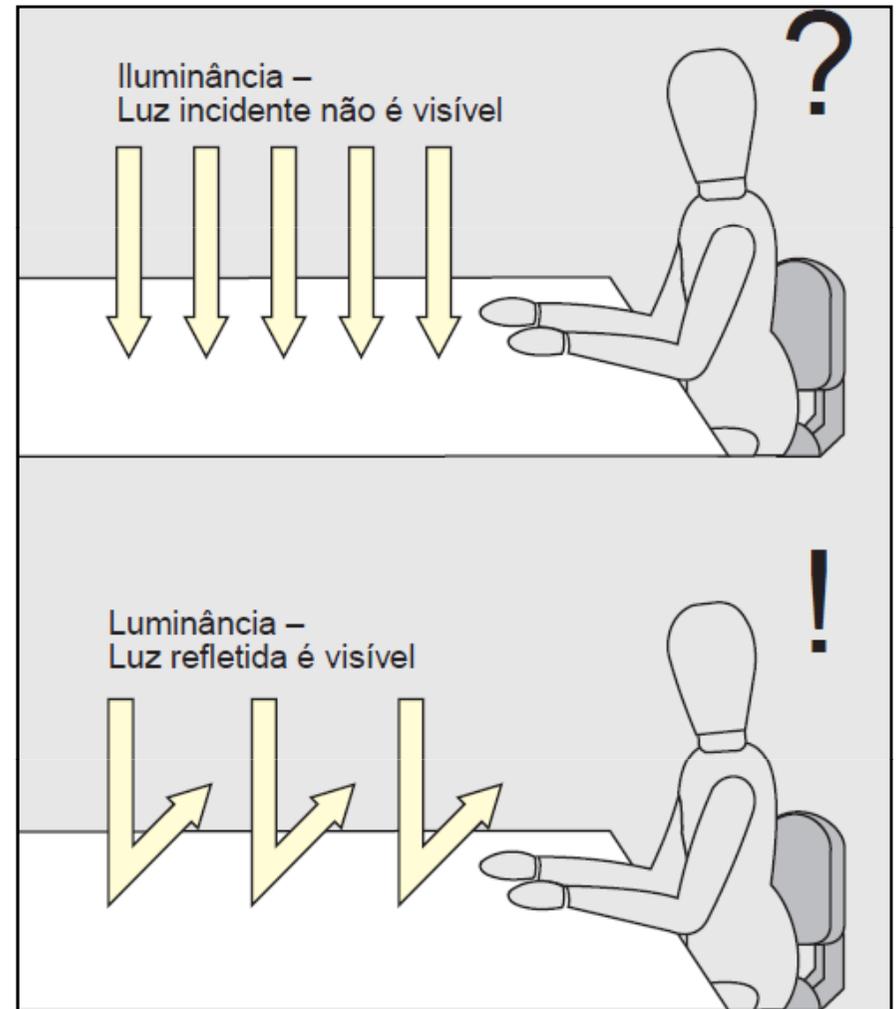
## □ Exemplificação da norma NBR -ISO CIE 8995-1

Descrição da Atividade	Em (lx)
Depósito	200
Circulação/corredor/escadas	150
Garagem	150
Residências (cômodos gerais)	150
Sala de leitura (biblioteca)	500
Sala de aula (escola)	300
Sala de espera (foyer)	100
Escritórios	500
Sala de desenhos (arquit.e eng.)	1000
Editoras (impressoras)	1000
Lojas (vitrines)	1000
Lojas (sala de vendas)	500
Padarias (sala de preparação)	200
Lavanderias	200
Restaurantes (geral)	150
Laboratórios	500
Museus (geral)	100
Indústria/montagem (ativ. visual de precisão média)	500
Indústria/inspeção (ativ. de controle de qualidade)	1000
Indústria (geral)	200
Indústria/soldagem (ativ. de muita precisão)	2000

Obs.: os valores são fornecidos para observadores com idade entre 40 e 55 anos, praticando tarefas que demandam uma velocidade e precisão médias

# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Luminância**
- ❑ Símbolo: L
- ❑ Unidade:  $\text{cd}/\text{m}^2$
- ❑ Das grandezas mencionadas, nenhuma é visível, isto é, os raios de luz não são vistos, a menos que sejam refletidos em uma superfície e aí transmitam a sensação de claridade aos olhos. Essa sensação de claridade é chamada de luminância



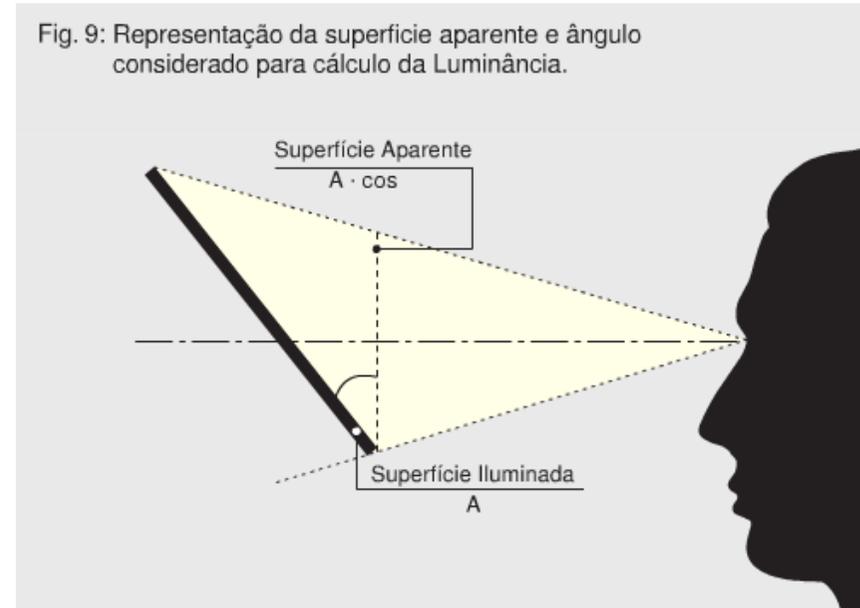
# Grandezas e Conceitos

- A equação que permite sua determinação é:

$$L = \frac{I}{A \cos(a)}$$

Onde:

- L é a luminância, em cd/m<sup>2</sup>
- I é a intensidade luminosa, em cd
- A é área projetada, em m<sup>2</sup>
- a é o ângulo considerado, em graus



# Grandezas e Conceitos

- Luminâncias, exemplos:
- a) supondo uma área de uma superfície ( $a$ ) igual a  $10\text{m}^2$ , iluminada com uma intensidade luminosa ( $I$ ) igual a  $100\text{ cd}$  por um ângulo ( $\alpha$ ) de  $30$  graus, obtenha a Luminância dessa superfície:

$$L = \frac{100}{10 \cos(30)} = 11,54 \text{ cd} / \text{m}^2$$

- b) supondo agora uma área de uma superfície ( $a$ ) igual a  $20\text{m}^2$ , iluminada com uma intensidade luminosa ( $I$ ) igual a  $200\text{ cd}$  por um ângulo ( $\alpha$ ) de  $40$  graus, obtenha a Luminância dessa superfície:

$$L = \frac{200}{20 \cos(40)} = 13,05 \text{ cd} / \text{m}^2$$

# Grandezas e Conceitos

- Como é difícil medir-se a intensidade luminosa que provém de um corpo não radiante (através de reflexão), pode-se recorrer a outra fórmula, a saber:

$$L = \frac{\rho E}{\pi}$$

Onde:

- $\rho$  é a refletância ou coeficiente de reflexão
- $E$  é a iluminância sobre essa superfície

# Grandezas e Conceitos

- Quando se ilumina uma superfície de vidro, por exemplo, uma parte do fluxo luminoso que incide sobre a mesma se reflete, outra atravessa a superfície transmitindo-se ao outro lado, e uma terceira parte do fluxo luminoso é absorvida pela própria superfície, transformando-se em calor
- Temos, pois, três fatores a definir: refletância, transmitância e fator de absorção

# Grandezas e Conceitos

- Refletância ou coeficiente de reflexão ( $\rho$ )
- É a relação entre o fluxo luminoso refletido por uma superfície ( $\varphi_r$ ) e fluxo luminoso incidente sobre ela ( $\varphi$ )

$$\rho = \frac{\varphi_r}{\varphi}$$

- O valor da refletância é normalmente dado em porcentagem

# Grandezas e Conceitos

- ❑ Como os objetos refletem a luz diferentemente uns dos outros, fica explicado porque a mesma iluminância pode dar origem a diferentes luminâncias
- ❑ Vale lembrar que o coeficiente de reflexão é a relação entre o fluxo luminoso refletido e o fluxo luminoso incidente em uma superfície
- ❑ Esse coeficiente é geralmente dado em tabelas, cujos valores são função das cores e dos materiais utilizados

# Grandezas e Conceitos

- Coeficientes de reflexão de alguns materiais e cores

<b>Materiais</b>	<b>%</b>
Rocha	60
Tijolos	5..25
Cimento	15..40
Madeira clara	40
Esmalte branco	65..75
Vidro transparente	6..8
Madeira aglomerada	50..60
Azulejos brancos	60..75
Madeira escura	15..20
Gesso	80

Materiais

<b>Cores</b>	<b>%</b>
Branco	70..80
Creme claro	70..80
Amarelo claro	55..65
Rosa	45..50
Verde claro	45..50
Azul celeste	40..45
Cinza claro	40..45
Bege	25..35
Amarelo escuro	25..35
Marrom claro	25..35
Verde oliva	25..35
Laranja	20..25
Vermelho	20..35
Cinza médio	20..35
Verde escuro	10..15
Azul escuro	10..15
Vermelho escuro	10..15
Cinza escuro	10..15
Azul marinho	5..10
Preto	5..10

Cores

# Grandezas e Conceitos

- Transmitância ou fator de transmissão ( $\tau$ )
- É a relação entre o fluxo luminoso absorvido por uma superfície ( $\varphi_\tau$ ) e o fluxo luminoso que incide sobre a mesma

$$\tau = \frac{\varphi_\tau}{\varphi}$$

# Grandezas e Conceitos

- ❑ Fator de absorção ( $\alpha$ )
- ❑ É a relação entre o fluxo luminoso absorvido por uma superfície ( $\varphi_\alpha$ ) e o fluxo luminoso que incide sobre a mesma

$$\alpha = \frac{\varphi_\alpha}{\varphi}$$

# Grandezas e Conceitos

- Exemplo: supondo um fluxo luminoso que incide sobre uma superfície ( $\varphi$ ) igual a 100 lm, o fluxo luminoso refletido ( $\varphi_r$ ) igual a 20 lm, o fluxo luminoso transmitido por esta superfície ( $\varphi_\tau$ ) igual a 10 lm e o fluxo luminoso absorvido ( $\varphi_\alpha$ ) igual 70 lm. Obtenha a refletância, a transmitância e o fator de absorção
- Solução:

$$\rho = \frac{\varphi_r}{\varphi} = \frac{20}{100} = 0,2$$

$$\tau = \frac{\varphi_\tau}{\varphi} = \frac{10}{100} = 0,1$$

$$\alpha = \frac{\varphi_\alpha}{\varphi} = \frac{70}{100} = 0,7$$

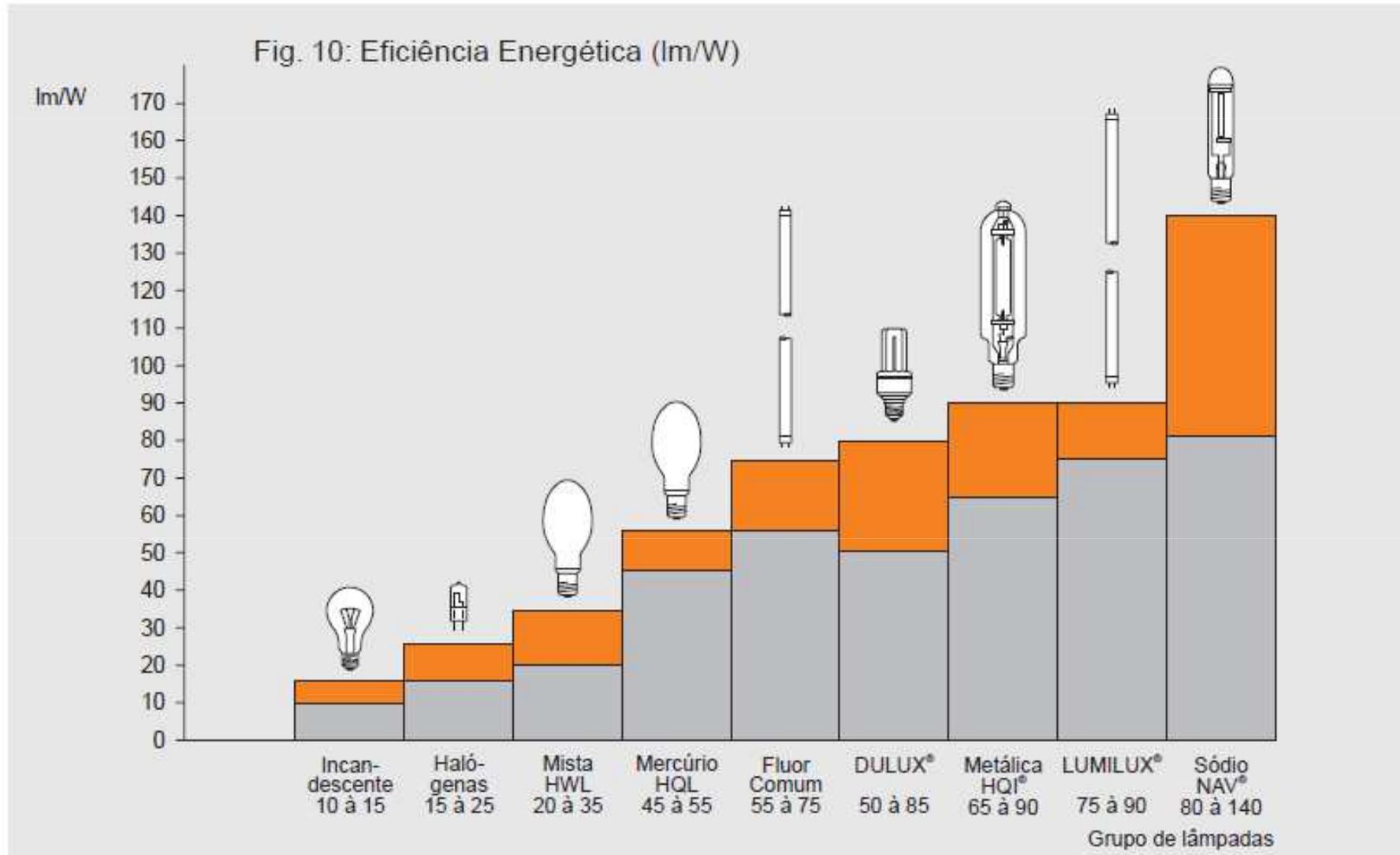
# Grandezas e Unidades Utilizadas em Iluminação (continuação)

# Grandezas e Conceitos

- ❑ Eficiência luminosa (ou energética)
- ❑ Símbolo:  $\eta$
- ❑ Unidade:  $\text{lm} / \text{W}$  (lúmen / watt)
- ❑ As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelos diferentes fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem
- ❑ Para poder compará-las, é necessário que se saiba quantos lúmens são gerados por watt absorvido
- ❑ A essa grandeza dá-se o nome de eficiência luminosa

# Grandezas e Conceitos

## □ Eficiência Energética



Eficiência energética (fonte: manual prático da Osram)

# Grandezas e Conceitos

- ❑ Temperatura de cor
- ❑ Símbolo: T
- ❑ Unidade: K (Kelvin)
- ❑ Em aspecto visual, admite-se que é bastante difícil a avaliação comparativa entre a sensação de **tonalidade de cor** de diversas lâmpadas
- ❑ Para estipular um parâmetro, foi definido o critério **Temperatura de Cor** (Kelvin) para classificar a luz
- ❑ Assim como um corpo metálico que, em seu aquecimento, passa desde o vermelho até o branco, quanto mais claro o branco (semelhante à luz diurna ao meio-dia), maior é a temperatura de cor (aproximadamente 6500K)

# Grandezas e Conceitos

- ❑ Temperatura de cor
- ❑ É a grandeza que expressa a aparência de cor de uma luz (Moreira, 1999)
- ❑ A temperatura de cor de aproximadamente 3000K corresponde à “luz quente” de aparência amarelada
- ❑ A “luz fria” (6000 K ou mais) tem uma aparência branco violeta
- ❑ A “luz branca natural” emitida pelo sol em céu aberto, ao meio dia, tem temperatura de cor de 5800K

Crepúsculo	12000° K
Sombra em dia claro	7500° K
Nublado	6500° K
Sol ao meio dia	5500° K
Flash Fotográfico	5000° K
Lâmpadas de Estúdio	3400° K
Entardecer	3000° K
Lâmpada de Tungstênio	2500° K
Luz de vela	1800° K

# Grandezas e Conceitos

- Temperatura de cor



2700K

4000K

6000K

# Grandezas e Conceitos

- Temperatura de cor
- A luz amarelada, como de uma lâmpada incandescente, está em torno de 2700 K
- É importante destacar que a cor da luz em nada interfere na eficiência energética da lâmpada, não sendo válida a impressão de que quanto mais clara, mais potente é a lâmpada



# Grandezas e Conceitos

- ❑ Objetos iluminados podem nos parecer diferentes, mesmo se as fontes de luz tiverem idêntica tonalidade
- ❑ As variações de cor dos objetos iluminados sob fontes de luz diferentes podem ser identificadas através de um outro conceito, **Reprodução de Cores**, e de sua escala qualitativa **Índice de Reprodução de Cores** (Ra ou IRC)

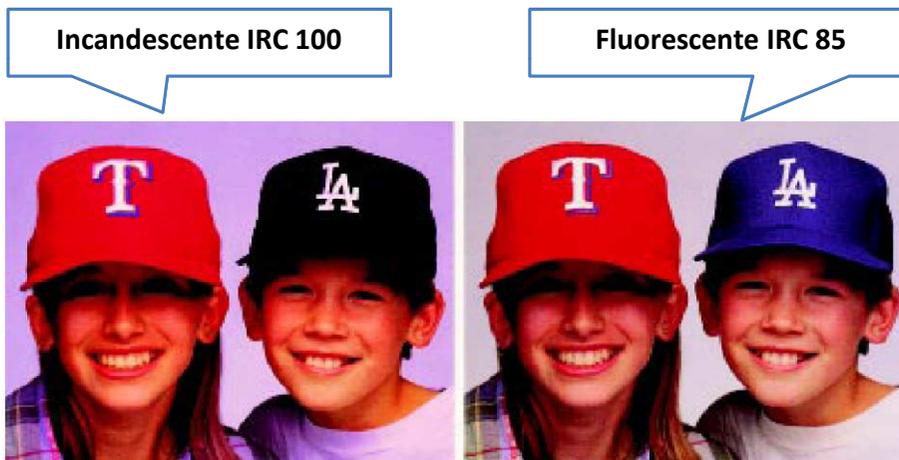


# Grandezas e Conceitos

- ❑ Índice de reprodução de cores
- ❑ Símbolo: IRC ou Ra
- ❑ Unidade: R
- ❑ Um metal sólido (padrão), foi aquecido até irradiar luz e utilizado como referência para se estabelecer níveis de reprodução de cores
- ❑ Definiu-se que o IRC neste caso seria um número ideal igual a 100
- ❑ A idéia da padronização é como dar uma nota (de 1 a 100) para o desempenho de outras fontes de luz em relação a este padrão

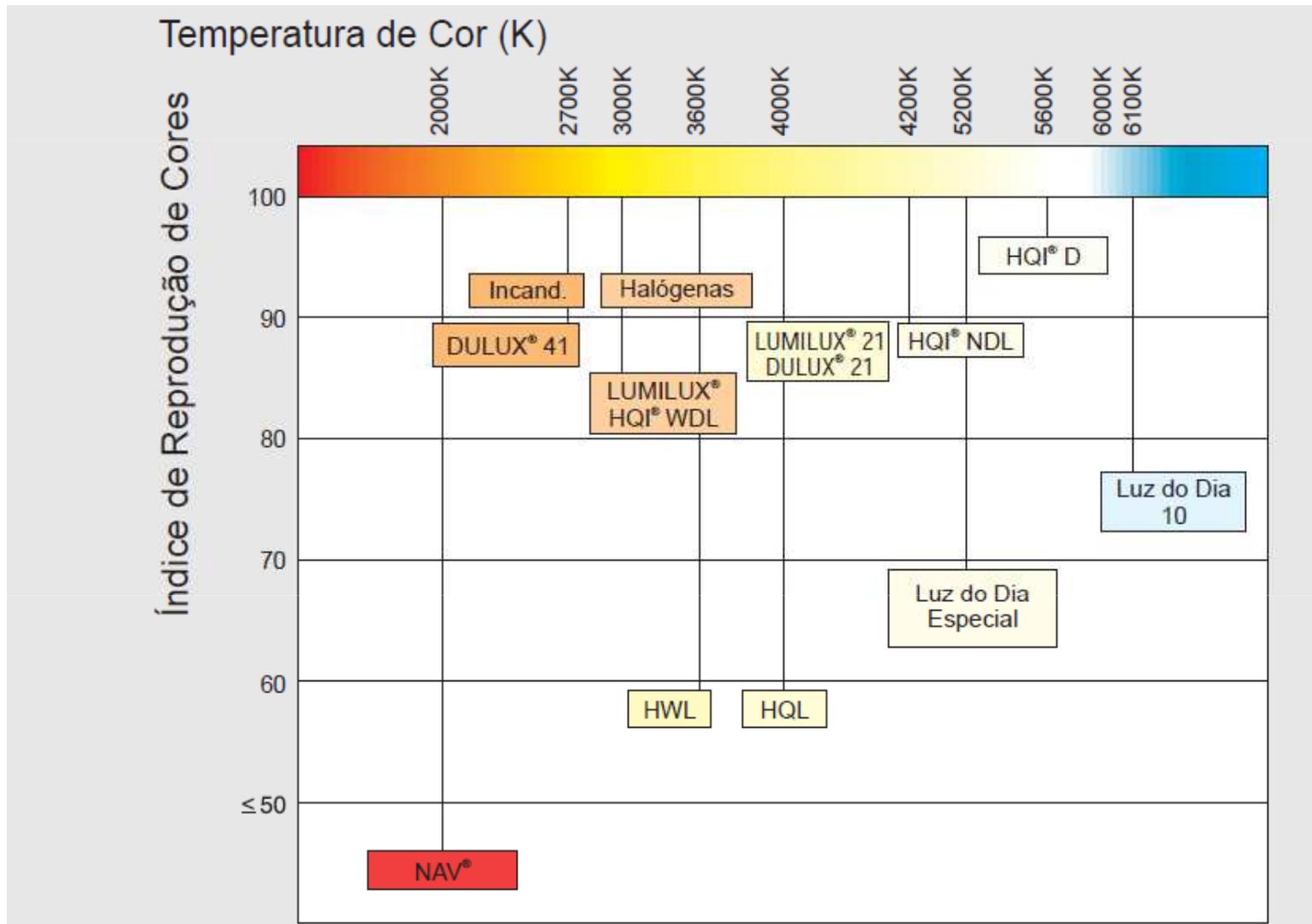
# Grandezas e Conceitos

- ❑ Índice de reprodução de cores
- ❑ Símbolo: IRC ou Ra / Unidade: R
- ❑ Portanto, quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão (sob a radiação do metal sólido) menor é seu IRC
- ❑ Isso explica-se o fato de lâmpadas de mesma temperatura de cor possuírem índice de reprodução de cores diferentes



# Grandezas e Conceitos

- Índice de reprodução de cores



Tonalidade de Cor e Reprodução de Cores (fonte: manual prático da Osram)

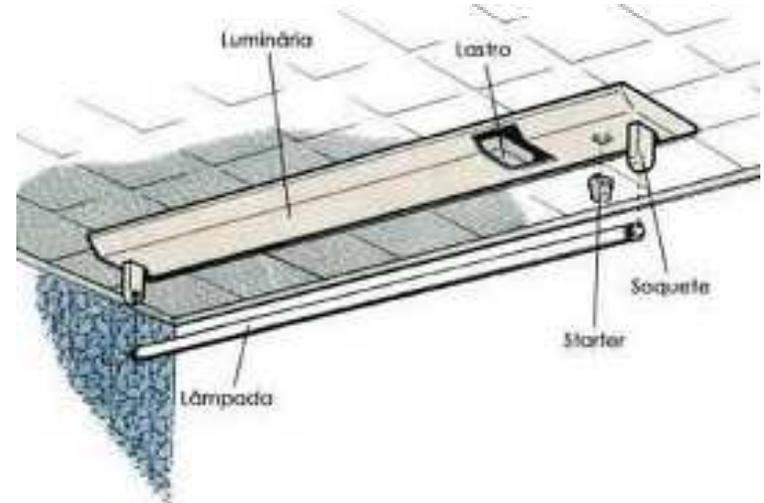
# Grandezas e Conceitos

- ❑ Fator de fluxo luminoso
- ❑ Símbolo:  $BF$
- ❑ Unidade: %
- ❑ A maioria das lâmpadas de descarga opera em conjunto com reatores. Neste caso, observamos que o fluxo luminoso total obtido neste caso depende do desempenho deste reator
- ❑ Este desempenho é chamado de fator de fluxo luminoso e pode ser obtido de acordo com a equação:

$$BF = \frac{\text{fluxo luminoso obtido}}{\text{fluxo luminoso nominal}}$$

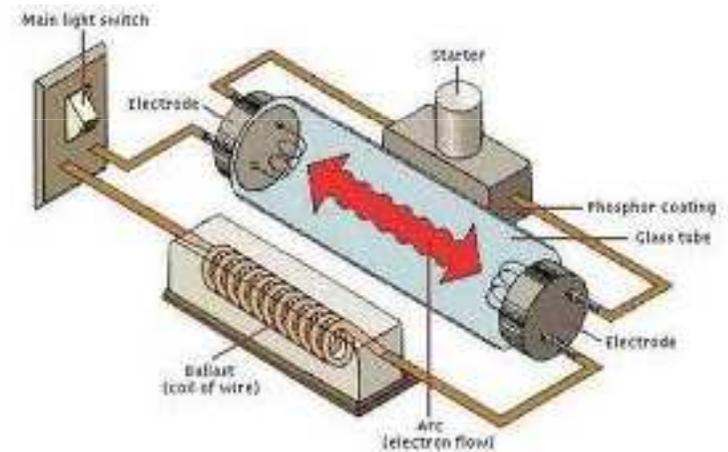
# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Equipamentos auxiliares utilizados em iluminação**
- ❑ **Luminária:** abriga a lâmpada e direciona a luz
- ❑ **Soquete:** tem como função garantir fixação mecânica e a conexão elétrica da lâmpada
- ❑ **Transformador:** equipamento auxiliar cuja função é converter a tensão de rede (tensão primária) para outro valor de tensão (tensão secundária). Um único transformador poderá alimentar mais de uma lâmpada, desde que a somatória das potências de todas as lâmpadas a ele conectadas, não ultrapasse a potência máxima do mesmo



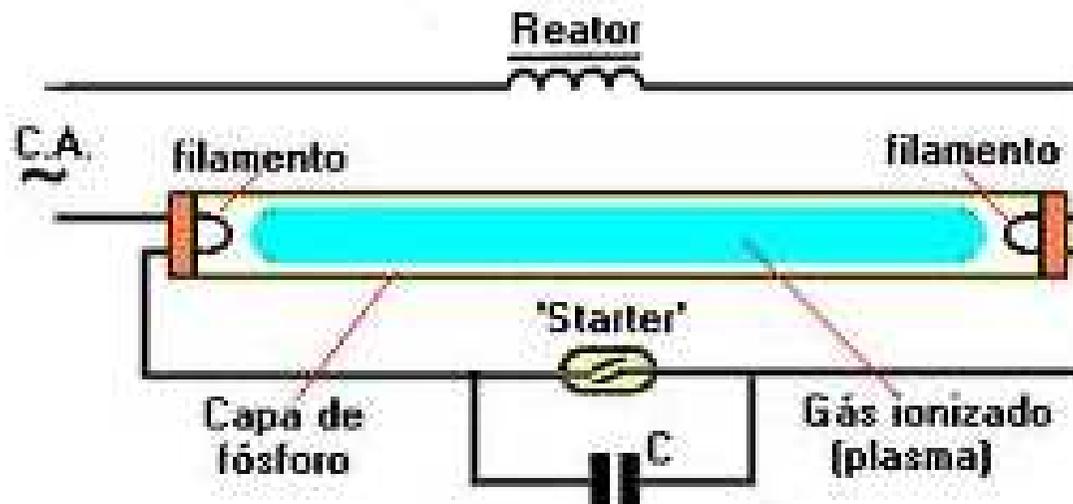
# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Equipamentos auxiliares utilizados em iluminação**
- ❑ **Reator:** equipamento auxiliar ligado entre a rede e as lâmpadas de descarga, cuja função é estabilizar a corrente através da mesma. Cada tipo de lâmpada requer um reator específico
- ❑ **Reator para corrente contínua:** oscilador eletrônico alimentado por uma fonte de corrente contínua, cuja função é fornecer as características necessárias para o funcionamento das lâmpadas



# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Equipamentos auxiliares utilizados em iluminação**
- ❑ **Starter:** elemento bimetálico cuja função é pré-aquecer os eletrodos das lâmpadas fluorescentes, bem como fornecer em conjunto com reator eletromagnético convencional, um pulso de tensão necessário para o acendimento da mesma. Os reatores eletrônicos e de partida rápida não utilizam starter
- ❑ **Ignitor:** dispositivo eletrônico cuja função é fornecer à lâmpada um pulso de tensão necessário para o acendimento



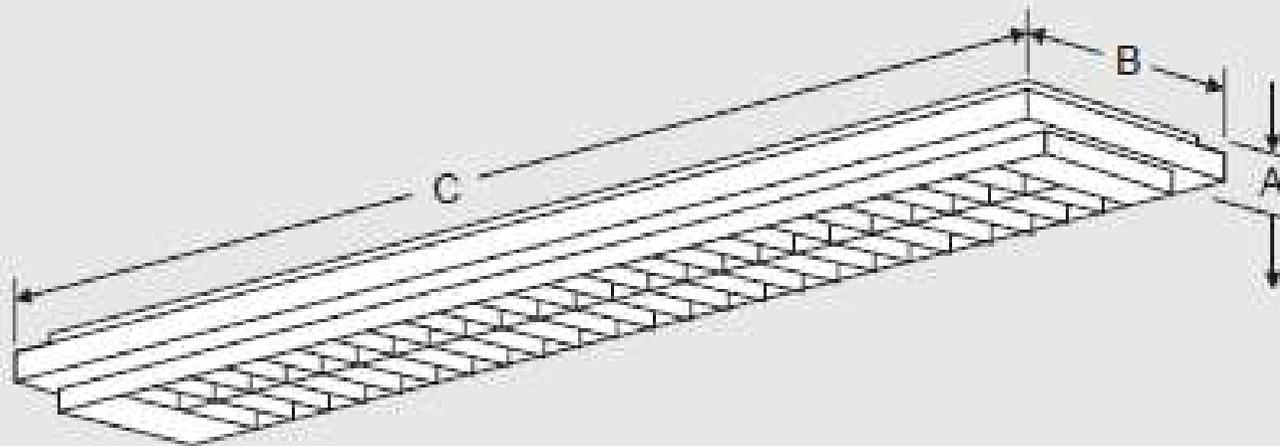
# Grandezas e Conceitos

- ❑ **Equipamentos auxiliares utilizados em iluminação**
- ❑ **Capacitor:** acessório que tem como função corrigir o fator de potência de um sistema que utiliza reator magnético. Da mesma forma que para cada lâmpada de descarga existe seu reator específico, existe também um capacitor específico para cada reator
- ❑ **Dimmer:** tem como função variar a intensidade da luz de acordo com a necessidade



# Grandezas e Conceitos

- Equipamentos auxiliares utilizados em iluminação:  
luminária (abriga a lâmpada e direciona a luz)



Luminária	Medidas		
	A	B	C
2x36W	75	260	1425
2x18W	75	260	815

# Grandezas e Conceitos

- Fatores de Desempenho
- Como geralmente a lâmpada é instalada dentro de luminárias, o fluxo luminoso final que se apresenta é menor do que o irradiado pela lâmpada, devido à absorção, reflexão e transmissão da luz pelos materiais com que são construídas



# Grandezas e Conceitos

- Fatores de Desempenho
- O fluxo luminoso emitido pela luminária é avaliado através da eficiência da luminária. Isto é, o fluxo luminoso da luminária em serviço dividido pelo fluxo luminoso da lâmpada



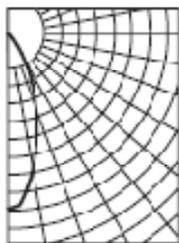
# Grandezas e Conceitos

- ❑ Eficiência de luminária (rendimento da luminária)
- ❑ Símbolo:  $\eta_L$
- ❑ Unidade: -
- ❑ “Razão do fluxo luminoso emitido por uma luminária, medido sob condições práticas especificadas, para a soma dos fluxos individuais das lâmpadas funcionando fora da luminária em condições específicas”
- ❑ Esse valor é normalmente, indicado pelos fabricantes de luminárias. Dependendo das qualidades físicas do recinto em que a luminária será instalada, o fluxo luminoso que dela emana poderá se propagar mais facilmente, dependendo da absorção e reflexão dos materiais e da trajetória que percorrerá até alcançar o plano de trabalho

# Grandezas e Conceitos

- ❑ Eficiência do Recinto
- ❑ Símbolo:  $\eta_R$
- ❑ Unidade: -
- ❑ O valor da eficiência do recinto é dado por tabelas, contidas no catálogo do fabricante onde relacionam-se os valores de coeficiente de reflexão do teto, paredes e piso, com a curva de distribuição luminosa da luminária utilizada e o índice do recinto (K)

Luminária	Refletâncias												
	Teto	$\rho_1$	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	$\rho_2$	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	$\rho_3$	0,3			0,1							
Índice do Recinto		K											
A 1	0,6	0,60	0,65	0,54	0,60	0,55	0,61	0,56	0,78	0,69	0,56	0,68	
	0,8	0,69	0,74	0,64	0,70	0,65	0,70	0,65	0,87	0,72	0,66	0,75	
	1	0,75	0,80	0,70	0,76	0,71	0,77	0,71	0,93	0,79	0,72	0,80	
	1,25	0,76	0,81	0,75	0,82	0,77	0,83	0,78	0,97	0,86	0,79	0,84	
	1,5	0,84	0,79	0,79	0,86	0,81	0,87	0,82	0,99	0,90	0,83	0,87	
	2	0,89	0,85	0,84	0,91	0,86	0,93	0,88	1,02	0,97	0,90	0,90	
2,5	0,92	0,88	0,87	0,94	0,90	0,97	0,92	1,04	1,02	0,96	0,93		
3	0,94	0,91	0,90	0,97	0,93	1,00	0,95	1,05	1,06	1,00	0,95		
4	0,97	0,93	0,94	0,99	0,97	1,04	1,00	1,06	1,11	1,05	0,97		
5	0,99	0,96	0,95	1,00	0,98	1,06	1,02	1,06	1,14	1,09	0,98		



# Grandezas e Conceitos

- ❑ Índice do Recinto
- ❑ Símbolo:  $K$
- ❑ Unidade: -
- ❑ O índice do recinto é a relação entre as dimensões do local:
  - ❑ para iluminação direta

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$$

- ❑ para iluminação indireta

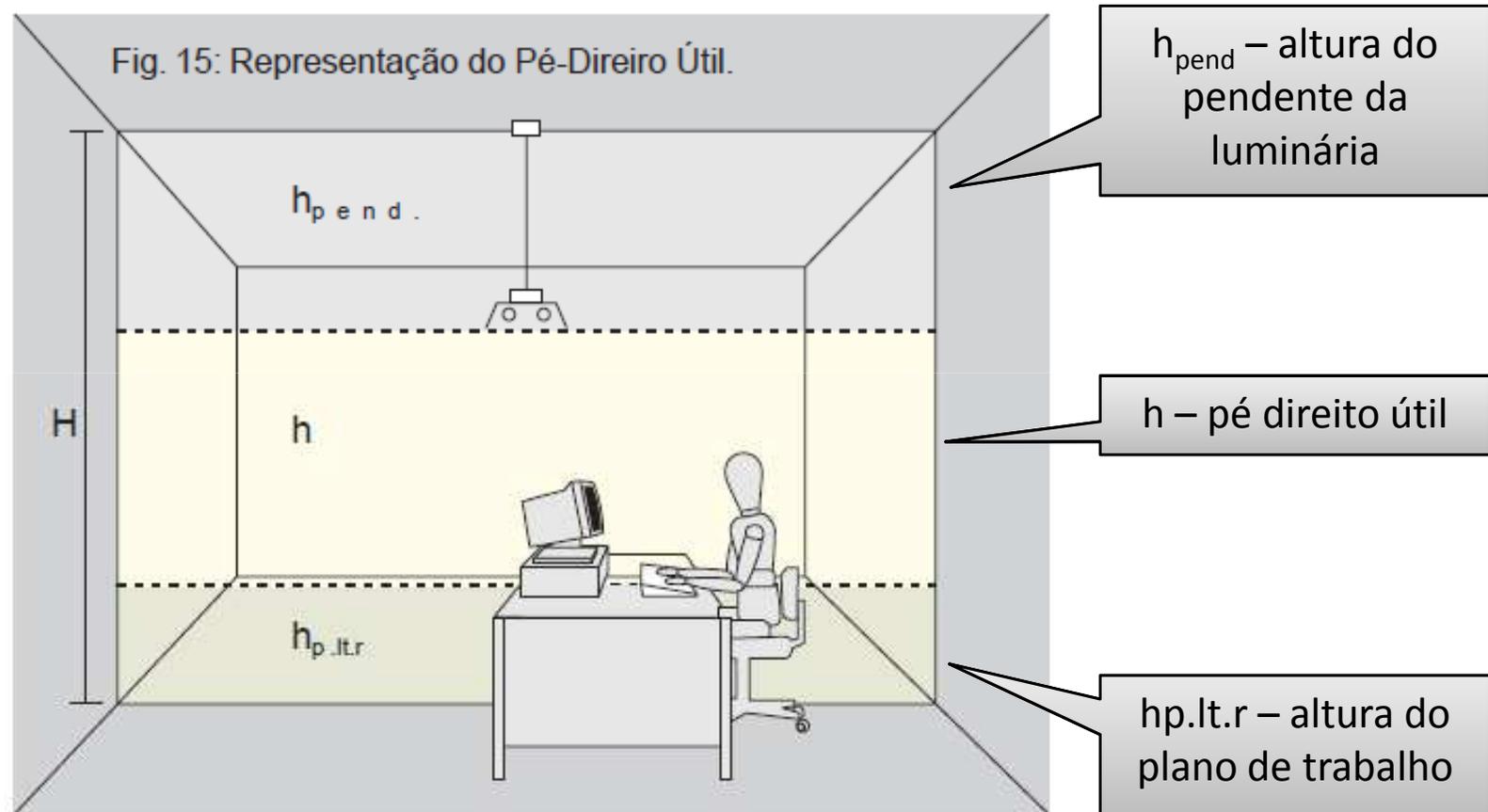
$$K = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot h'(a + b)}$$

Sendo:

- ❑  $a$  o comprimento do recinto
- ❑  $b$  a largura do recinto
- ❑  $h$  o pé-direito útil e  $h'$  o distância do teto ao plano de trabalho

# Grandezas e Conceitos

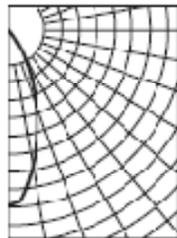
- ❑ **Pé-direito útil** é o valor do pé-direito total do recinto ( $H$ ), menos a altura do plano de trabalho ( $h_{p.ltr}$ ), menos a altura do pendente da luminária ( $h_{pend}$ ). Isto é, a distância real entre a luminária e o plano de trabalho
- ❑ Fluxo Luminoso emitido por uma lâmpada sofre influência do tipo de luminária e a conformação física do recinto onde ele se propagará



# Grandezas e Conceitos

- Eficiência do Recinto
- Uma vez que se calculou o índice do recinto (K), procura-se identificar os valores da refletância do teto, paredes e piso. Escolhe-se a indicação de curva de distribuição luminosa que mais se assemelha à da luminária a ser utilizada no projeto. Na interseção da coluna de refletâncias e linha de índice do recinto, encontra-se o valor da eficiência do recinto

Luminária	Refletâncias												
	Teto	$\rho_1$	0,8	0,5		0,8		0,5		0,3			
	Parede	$\rho_2$	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	$\rho_3$	0,3				0,1						
Índice do Recinto		K											
A 1	0,6	0,60	0,55	0,54	0,60	0,55	0,61	0,56	0,78	0,69	0,56	0,68	
	0,8	0,69	0,64	0,64	0,70	0,65	0,70	0,65	0,87	0,72	0,66	0,75	
	1	0,75	0,70	0,70	0,76	0,71	0,77	0,71	0,93	0,79	0,72	0,80	
	1,25	0,81	0,76	0,75	0,82	0,77	0,83	0,78	0,97	0,86	0,79	0,84	
	1,5	0,84	0,79	0,79	0,86	0,81	0,87	0,82	0,99	0,90	0,83	0,87	
	2	0,89	0,85	0,84	0,91	0,86	0,93	0,88	1,02	0,97	0,90	0,90	
	2,5	0,92	0,88	0,87	0,94	0,90	0,97	0,92	1,04	1,02	0,96	0,93	
	3	0,94	0,91	0,90	0,97	0,93	1,00	0,95	1,05	1,06	1,00	0,95	
	4	0,97	0,93	0,94	0,99	0,97	1,04	1,00	1,06	1,11	1,05	0,97	
	5	0,99	0,96	0,95	1,00	0,98	1,06	1,02	1,06	1,14	1,09	0,98	



# Grandezas e Conceitos

- ❑ Fator de Utilização
- ❑ Símbolo:  $F_u$
- ❑ Unidade: -
- ❑ O fluxo luminoso final (útil) que incidirá sobre o plano de trabalho é avaliado pelo fator de utilização. Ele indica a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto. O produto da eficiência do recinto ( $\eta_R$ ) pela eficiência da luminária ( $\eta_L$ ) nos dá o fator de utilização ( $F_u$ ), visto a seguir:

$$F_u = \eta_L \cdot \eta_R$$

# Grandezas e Conceitos

- ❑ Fator de Utilização
- ❑ Para se determinar o fator de utilização (Fu), deve-se multiplicar o valor da eficiência do recinto pelo valor da eficiência da luminária
- ❑ Muitas vezes, esse processo é evitado, se a tabela de fator de utilização for também fornecida pelo catálogo. Esta tabela nada mais é que o valor da eficiência do recinto já multiplicado pela eficiência da luminária, encontrado pela interseção do Índice do Recinto (K) e das Refletâncias do teto, paredes e piso (nesta ordem)

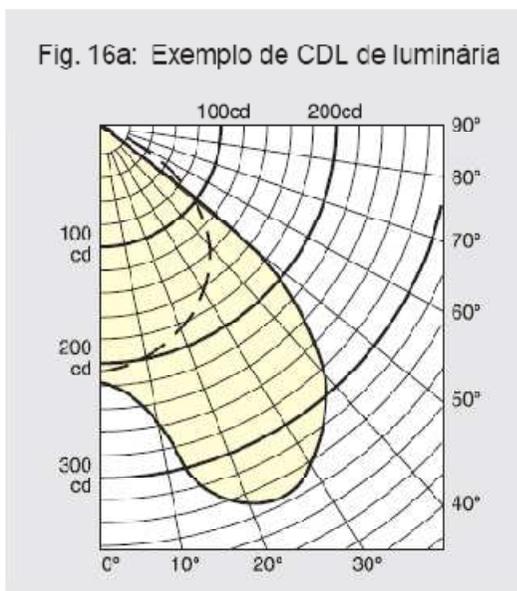
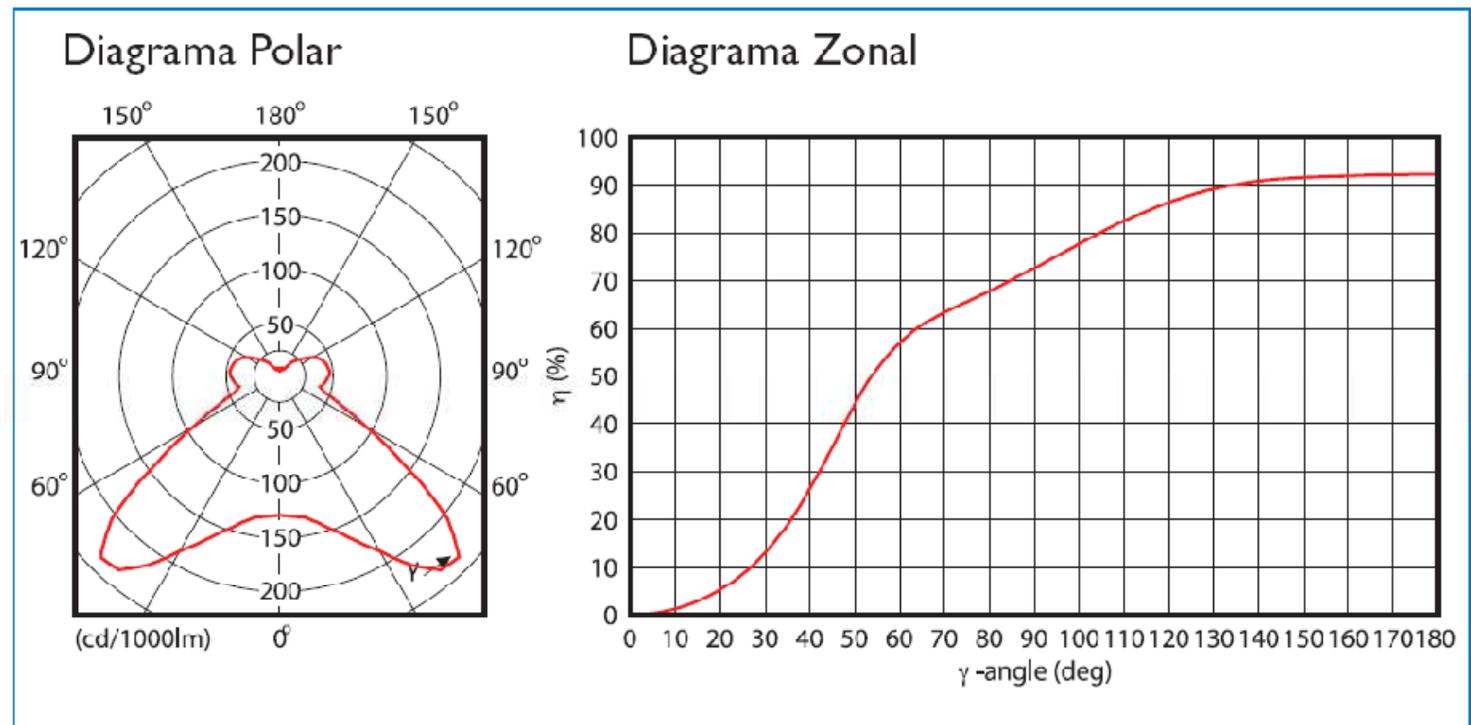
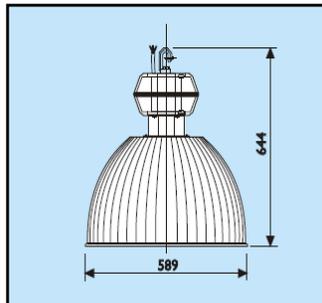


Fig. 16c: Exemplo de tabela de Fator de Utilização de luminária Teto/Parede/Piso

K	751	731	711	551	531	511	331	311
0,6	0,32	0,28	0,26	0,31	0,28	0,26	0,28	0,25
0,8	0,39	0,36	0,33	0,39	0,35	0,33	0,35	0,35
1,0	0,44	0,41	0,39	0,43	0,40	0,38	0,40	0,38
1,25	0,48	0,45	0,43	0,47	0,45	0,42	0,44	0,42
1,5	0,51	0,48	0,45	0,49	0,47	0,45	0,46	0,45
2,0	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,50	0,49
2,5	0,55	0,54	0,52	0,55	0,53	0,52	0,52	0,51
3,0	0,57	0,55	0,54	0,56	0,54	0,53	0,54	0,52
4,0	0,58	0,57	0,56	0,57	0,56	0,55	0,53	0,54
5,0	0,60	0,58	0,57	0,58	0,57	0,56	0,56	0,55

# Grandezas e Conceitos

- ❑ Eficiência da Luminária
- ❑ Certos catálogos fornecem a curva de distribuição luminosa junto à curva zonal de uma luminária. A curva ou diagrama zonal nos indica o valor da eficiência da luminária em porcentagem



# Grandezas e Conceitos

- Exemplo 1: consultar os catálogos das seguintes lâmpadas e luminárias e encontrar os valores de  $F_u$  para  $K=5$  e refletâncias iguais a: teto (80%), parede (50) e piso (30%)
- Catálogos:
  - Luminária Philips TBS 910 414/C5
  - Luminária Indelpa BNI 512 2 x 16W (70%, 50% e 10%)
  - Luminária Philips HDK 472 - ZDK 472 – 1 x HPLN 400 W
  - Luminária Philips MDK 500 - 1 x HPI 250 W

# Grandezas e Conceitos

- Exemplo 2: consultar os catálogos das seguintes lâmpadas e luminárias e encontrar os valores de intensidade luminosa para um ângulo igual a 0 graus (curva polar)
- Catálogos:
  - Luminária Philips TBS 910 414/C5
  - Luminária Indelpa BNI 512 2 x 16W (70%, 50% e 10%)
  - Luminária Philips HDK 472 - ZDK 472 – 1 x HPLN 400 W
  - Luminária Philips MDK 500 - 1 x HPI 250 W

# Grandezas e Conceitos

- Exemplo 3: consultar os catálogos das seguintes lâmpadas e luminárias e encontrar os valores de fluxo luminoso
- Catálogos:
  - Lâmpada Philips HPI Plus 250 W
  - Luminária Philips HPLN 400 W
  - Luminária Philips TLDRS 16W-S83-ECO

# Grandezas e Conceitos

- Exemplos e exercícios sobre cálculo do fator de utilização para diferentes índices de refletância



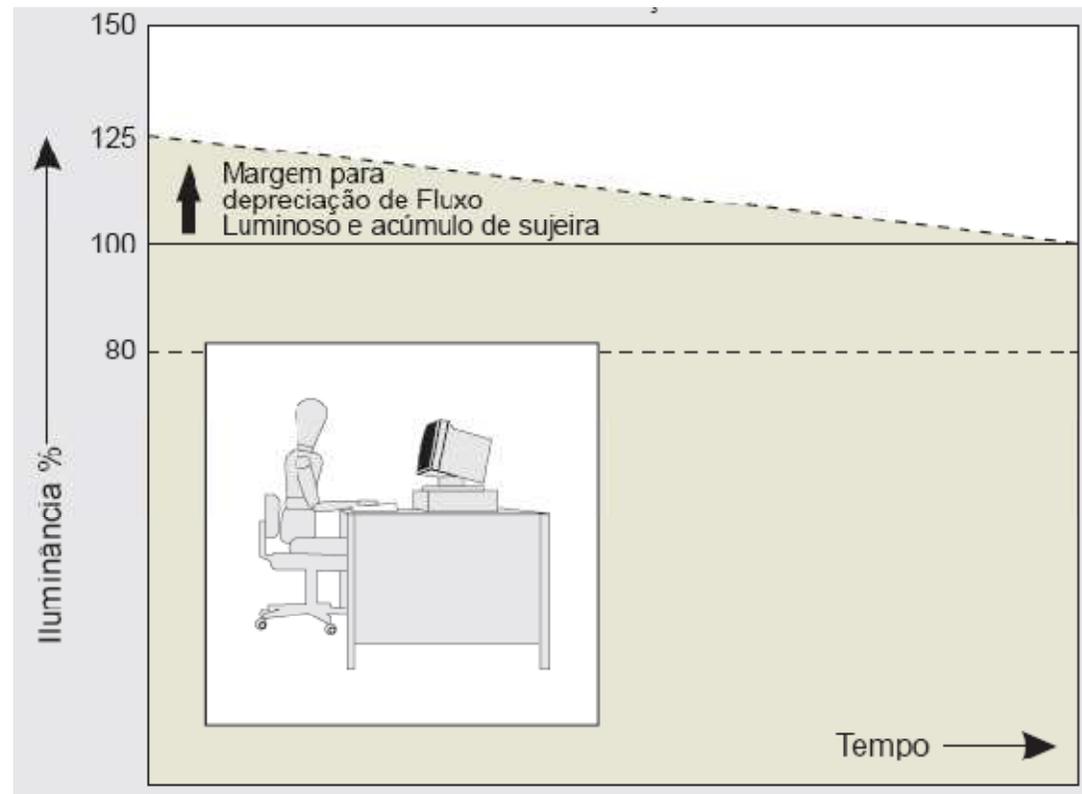
# Fatores que Influenciam a Qualidade da Iluminação

# Qualidade da Iluminação

- ❑ **Nível de Iluminância Adequada**
- ❑ Quanto mais elevada a exigência visual da atividade, maior deverá ser o valor da iluminância média ( $E_m$ ) sobre o plano de trabalho
- ❑ Deve-se consultar a norma NBR-5413 para definir o valor de  $E_m$  pretendido
- ❑ Deve-se considerar também que, com o tempo de uso, se reduz o fluxo luminoso da lâmpada devido tanto ao desgaste, quanto ao acúmulo de poeira na luminária, resultando em uma diminuição da iluminância
- ❑ Por isso, quando do cálculo do número de luminárias, estabelece-se um Fator de Depreciação (Fd), o qual, elevando o número previsto de luminárias, evita que, com o desgaste, o nível de iluminância atinja valores abaixo do mínimo recomendado

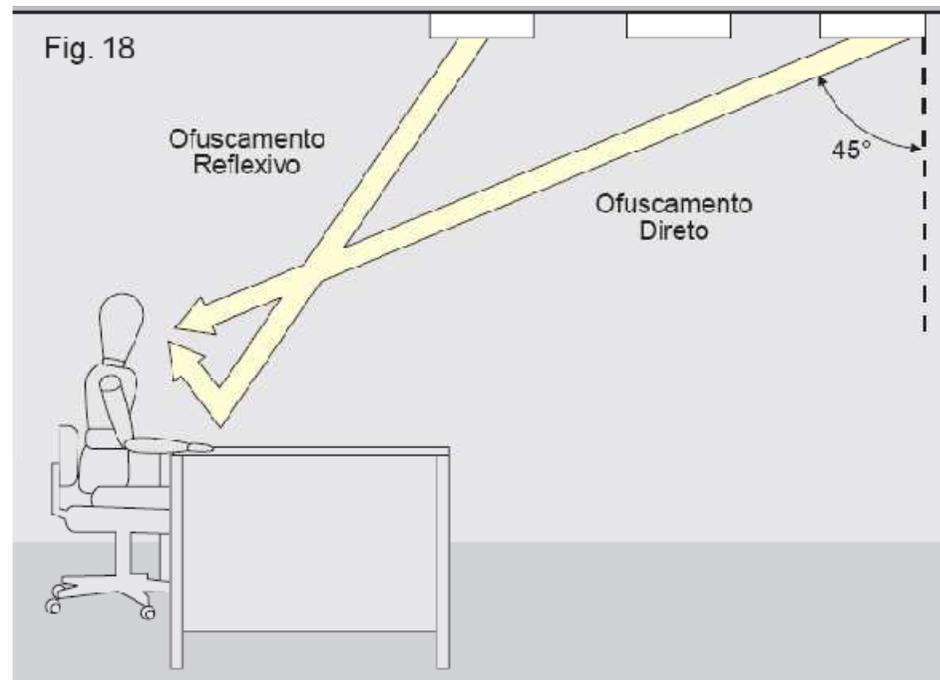
# Qualidade da Iluminação

- ❑ **Nível de Iluminância Adequada**
- ❑ Considera-se, por exemplo uma depreciação de 20% para ambientes com boa manutenção (escritórios e afins), e de 40% para ambientes com manutenção crítica (galpões industriais, garagens, etc.), dando origem a Fatores de Depreciação, respectivamente, de  $F_d=1,25$  e  $F_d= 1,67$  (Fonte: Osram)



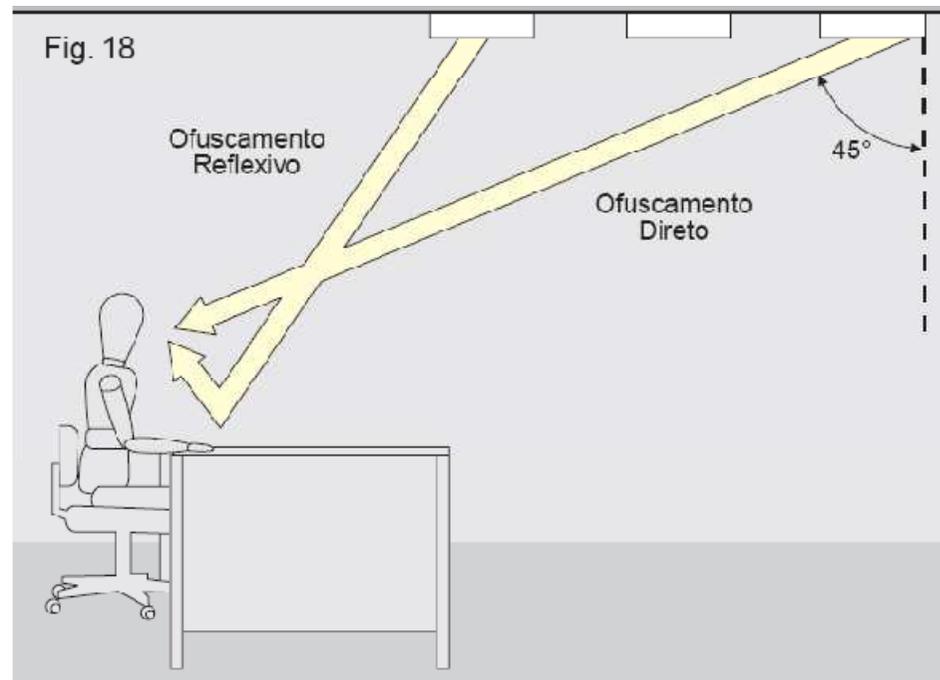
# Qualidade da Iluminação

- ❑ **Limitação de Ofuscamento**
- ❑ Duas formas de ofuscamento podem gerar incômodos:
  - ❑ Ofuscamento direto, através de luz direcionada diretamente ao campo visual do observador ou usuário
  - ❑ Ofuscamento reflexivo, através da reflexão da luz no plano de trabalho, direcionando-a para o campo visual



# Qualidade da Iluminação

- ❑ **Limitação de Ofuscamento**
- ❑ Considerando que a luminância da própria luminária é incômoda a partir de  $200 \text{ cd/m}^2$ , valores acima deste não devem ultrapassar o ângulo indicado na figura
- ❑ O posicionamento e a curva de distribuição luminosa devem ser tais que evitem prejudicar as atividades do usuário da iluminação



# Qualidade da Iluminação

- ❑ **Proporção Harmoniosa entre Luminâncias**
- ❑ Acentuadas diferenças entre as luminâncias de diferentes planos causam fadiga visual, devido ao excessivo trabalho de acomodação da vista, ao passar por variações bruscas de sensação de claridade
- ❑ Para evitar esse desconforto, recomenda-se que as luminâncias de piso, parede e teto se harmonizem numa proporção de 1:2:3, e que, no caso de uma mesa de trabalho, a luminância desta não seja inferior a  $1/3$  da do objeto observado, tais como livros, etc.



# Qualidade da Iluminação

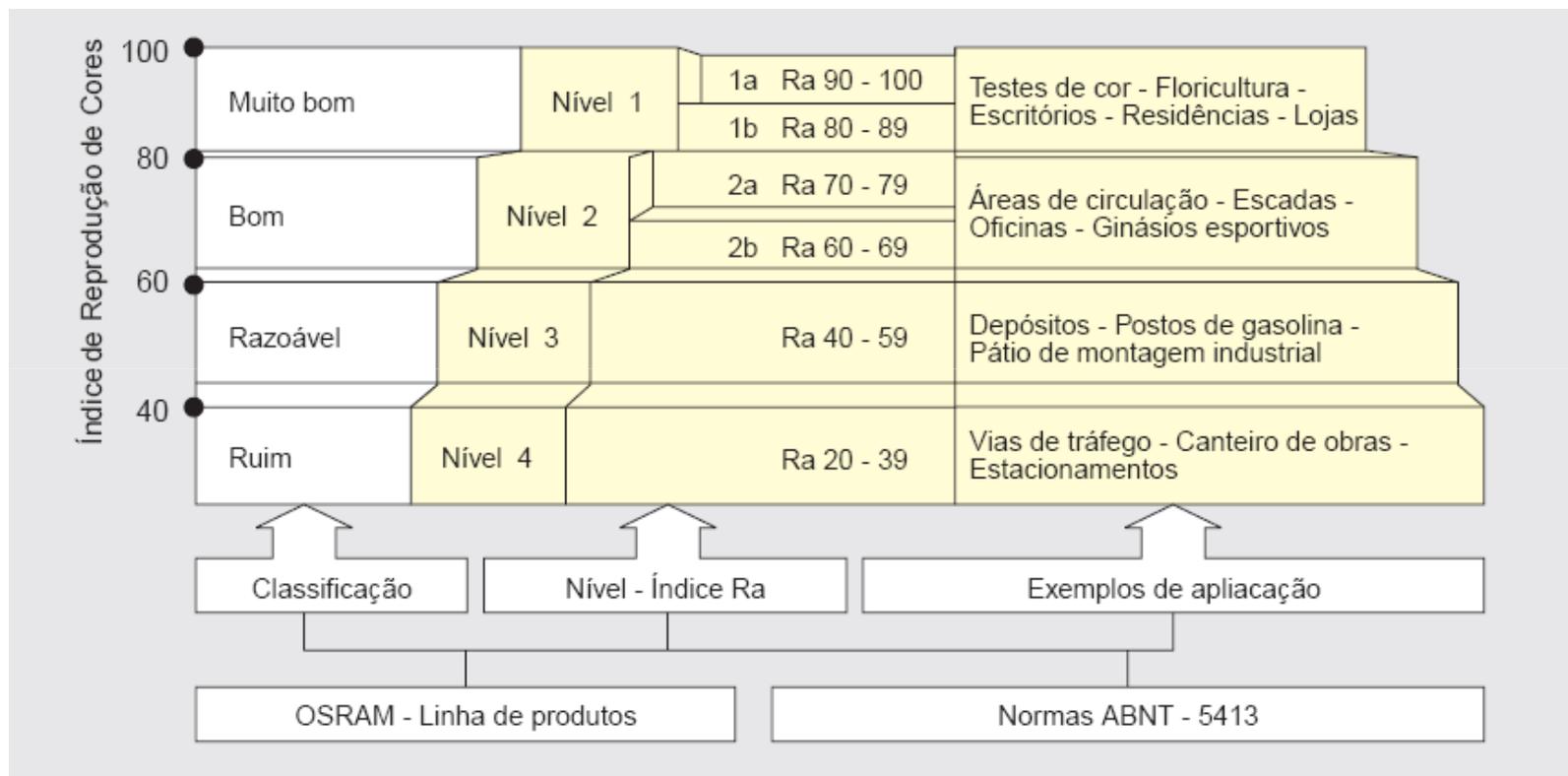
- ❑ **Efeitos de Luz e Sombra**
- ❑ Deve-se tomar cuidado no direcionamento do foco de uma luminária, para se evitar que essa crie sombras perturbadoras, lembrando, porém, que a total ausência de sombras leva à perda da identificação da textura e do formato dos objetos
- ❑ Uma boa iluminação não significa luz distribuída por igual



# Qualidade da Iluminação

## ❑ Reprodução de Cores

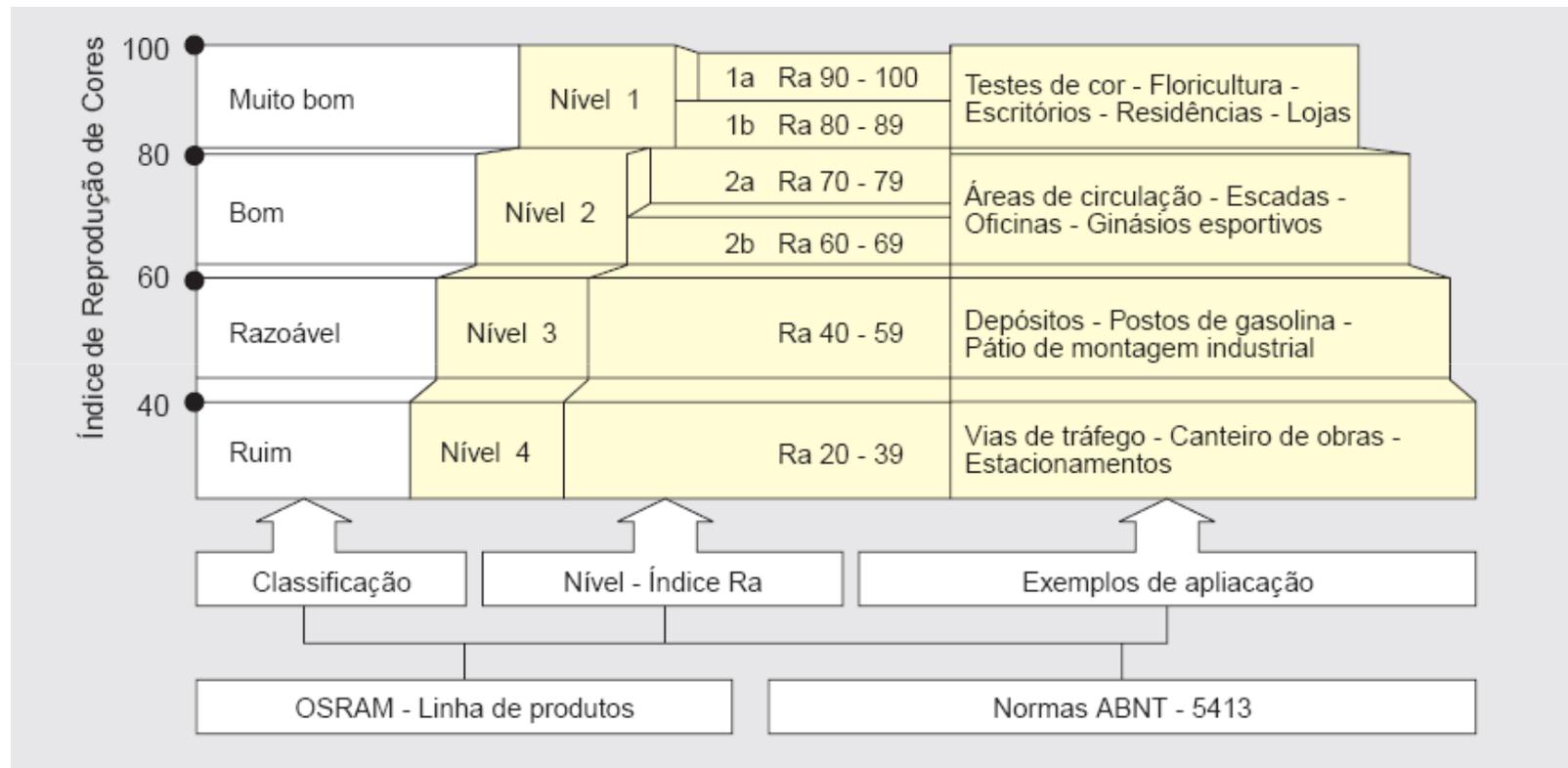
- ❑ A cor de um objeto é determinada pela reflexão de parte do espectro de luz (380 e 780nm) que incide sobre ele
- ❑ Isso significa que uma boa reprodução de cores está diretamente ligada à qualidade da luz incidente, ou seja, à equilibrada distribuição das ondas constituintes do seu espectro



# Qualidade da Iluminação

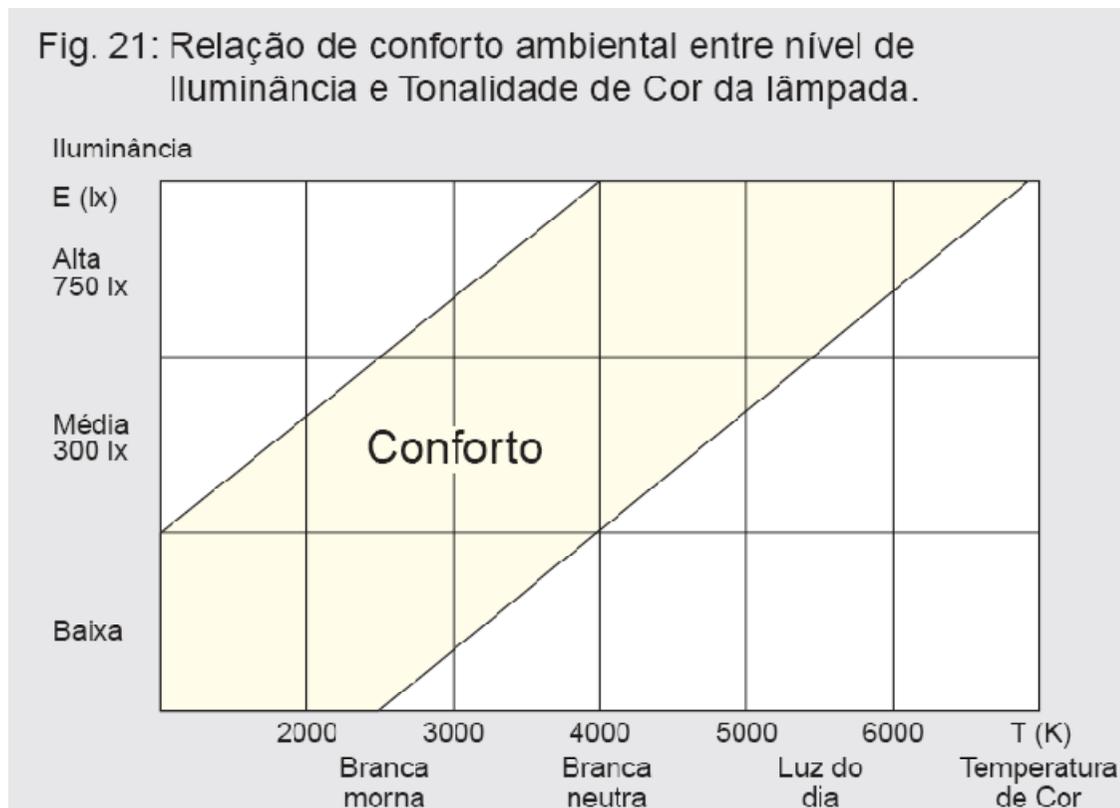
## ❑ Reprodução de Cores

- ❑ É importante notar que, assim como para luminância média, existem normas (ABNT) que regulamentam o uso de fontes de luz com determinados índices, dependendo da atividade a ser desempenhada no local



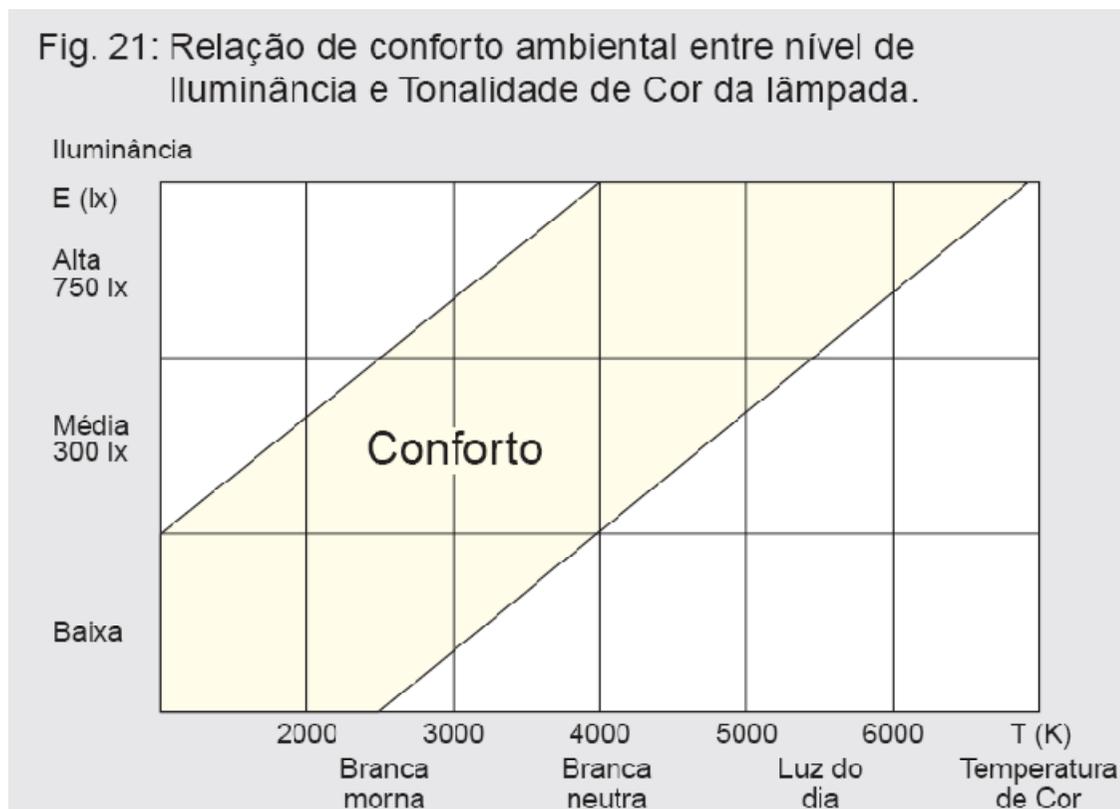
# Qualidade da Iluminação

- ❑ **Tonalidade de Cor da Luz ou Temperatura de Cor**
- ❑ Um dos requisitos para o conforto visual é a utilização da iluminação para dar ao ambiente o aspecto desejado
- ❑ Sensações de aconchego ou estímulo podem ser provocadas quando se combinam a correta tonalidade de cor da fonte de luz ao nível de iluminância pretendido



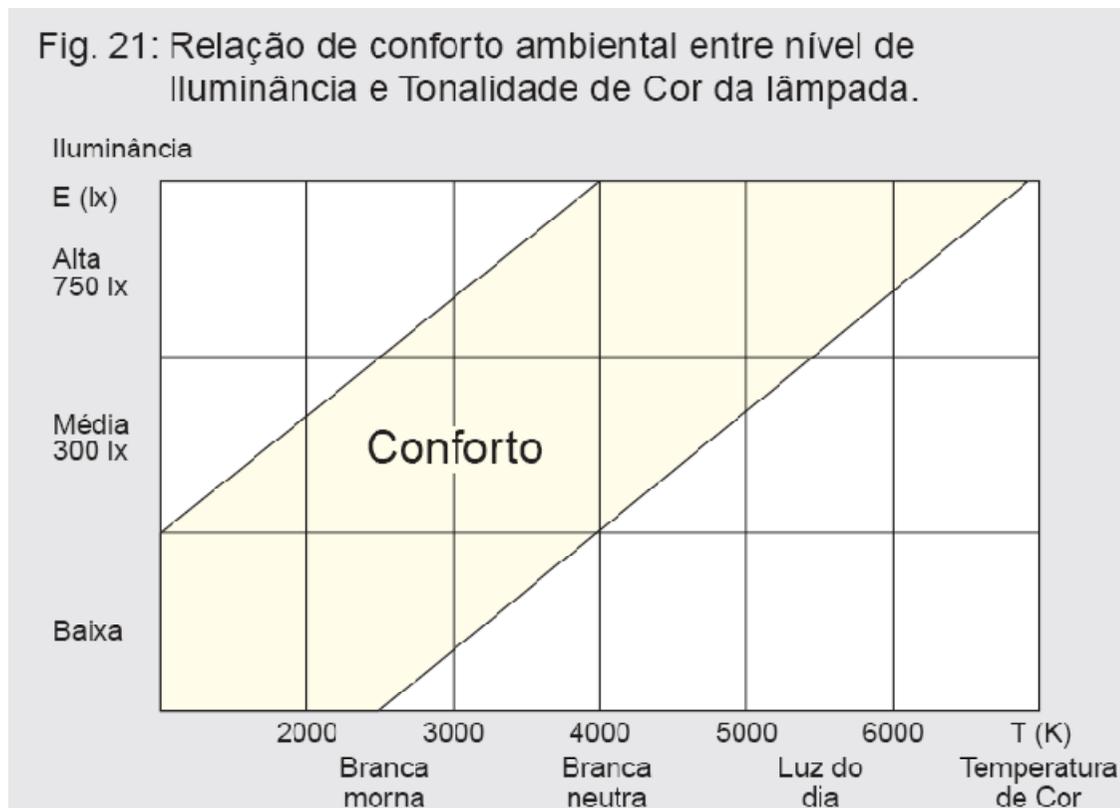
# Qualidade da Iluminação

- ❑ **Tonalidade de Cor da Luz ou Temperatura de Cor**
- ❑ Estudos subjetivos afirmam que para iluminâncias mais elevadas são requeridas lâmpadas de temperatura de cor mais elevada também



# Qualidade da Iluminação

- ❑ **Tonalidade de Cor da Luz ou Temperatura de Cor**
- ❑ Chegou-se a esta conclusão baseando-se na própria natureza, que ao reduzir a luminosidade (crepúsculo), reduz também sua temperatura de cor. A ilusão de que a tonalidade de cor mais clara ilumina mais, leva ao equívoco de que com as “lâmpadas frias” precisa-se de menos luz



# Histórico e Desenvolvimento das Lâmpadas

# Desenvolvimento da Lâmpada

- ❑ As primeiras pesquisas realizadas sobre as fontes de luz de origem elétrica já têm mais de 200 anos
- ❑ **Século XVII** - Jean Picard e Johann Bernoulli demonstraram que a agitação do mercúrio era capaz de produzir luminosidade
- ❑ Jean Felix Picard, foi um clérigo e astrônomo francês. Ficou reconhecido por executar medições exatas em graus dos meridianos e por calcular a circunferência do globo terrestre
- ❑ Jean Bernoulli foi matemático, físico, químico e astrônomo com importantes contribuições para a ciência e a matemática



Jean-Felix Picard - França  
21/07/1620 – 12/07/1682



Johann Bernoulli – Suíça  
27/07/1667 – 01/01/1748

# Desenvolvimento da Lâmpada

- ❑ Em **1850**, Heinrich Geissler, físico e inventor, construiu uma lâmpada (tubo com mercúrio) que fazia uso de descargas elétricas para produzir luz, o "Tubo de Geissler"
- ❑ Heinrich Geissler, dominava a técnica do assopramento de cristais derretidos e possuía um negócio de fabricação de instrumentos científicos
- ❑ Ele inventou uma bomba de vácuo sem elementos mecânicos móveis, baseado nos trabalhos de Evangelista Torricelli



Heinrich Geissler - Alemanha  
26/05/1814 – 24/01/1879



Tubo de Geissler

# Desenvolvimento da Lâmpada

- ❑ Aproveitando o vácuo criado pela coluna de mercúrio encerrado no interior de um tubo, conseguiu alcançar níveis de vácuo não obtidos anteriormente
- ❑ Os recipientes nos quais se pratica o vácuo desta maneira, tiveram um papel muito importante nos experimentos de descarga em tubos de vácuo, contribuindo para o estudo da eletricidade e dos átomos (Wikipédia)



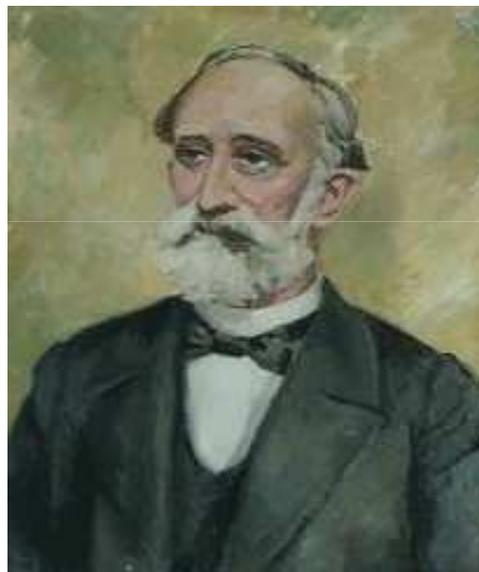
Heinrich Geissler - Alemanha  
26/05/1814 – 24/01/1879



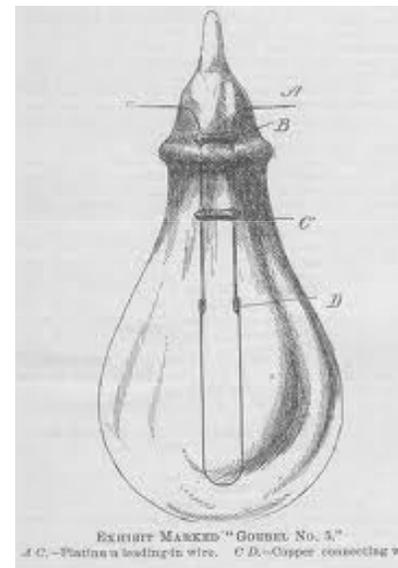
Tubo de Geissler

# Desenvolvimento da Lâmpada

- Em torno de **1854**, Heinrich Göebel, construiu e usou pela primeira vez uma lâmpada incandescente usando um filamento de carvão, dentro de um bulbo de vidro
- Heinrich Göebel foi mecânico e inventor alemão, que naturalizou-se cidadão estadunidense em 1865



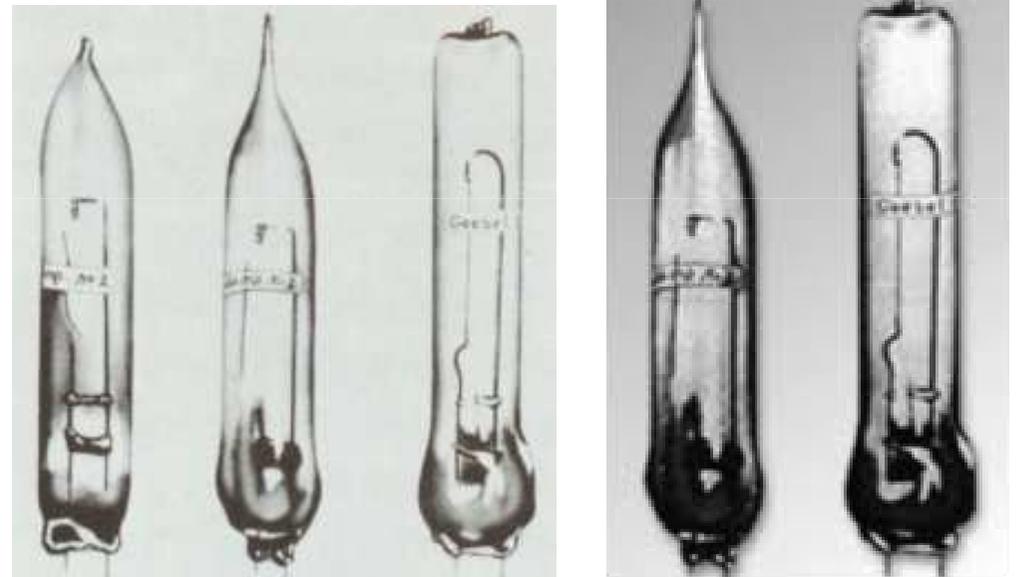
Göebel, 1818 –1893 - Alemanha



A lâmpada de Göebel

# Desenvolvimento da Lâmpada

- ❑ No entanto, devido à falta de incentivo e outras dificuldades, o seu trabalho não teve continuidade
- ❑ Nota: Göebel não requereu a patente de seu invento



Lâmpadas de Göebel

# Desenvolvimento da Lâmpada

- ❑ **Em 1878**, Joseph Wilson Swan, físico e químico britânico, apresentou um nova lâmpada incandescente por ele construída
- ❑ O falta de um bom vácuo e uma apropriada fonte elétrica, resultou em uma breve vida e um ineficiente claridade para a lâmpada
- ❑ Sem apoio, a invenção de Swan teve o mesmo destino da invenção de Göebel



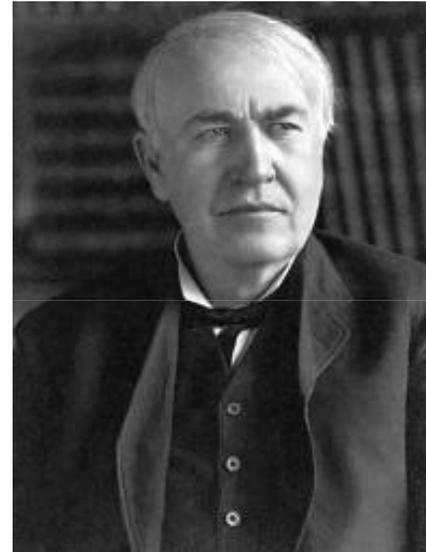
Swan - 1828 –1914 - Inglaterra



Lâmpadas de Swan

# Desenvolvimento da Lâmpada

- ❑ Quem obteve a patente da invenção da lâmpada incandescente foi Thomas Alva Edison
- ❑ Em **1879** Thomas Alva Edison obteve o registro do seu invento, as lâmpadas com filamento de carvão, que foi o primeiro modelo de lâmpada produzido industrialmente
- ❑ Iniciando-se assim a produção de lâmpadas em escala industrial



Edison, 1847 – 1931 - Estados Unidos



Lâmpadas de Edison

# Desenvolvimento da Lâmpada

- ❑ Em **1898**, Auer von Welsbach conseguiu substituir o filamento de carvão pelo filamento metálico (ósmio) aperfeiçoando a **lâmpada incandescente**
- ❑ Já em **1907**, o filamento de ósmio foi substituído pelo de tungstênio, cujo ponto de fusão é de  $3.387^{\circ}\text{C}$
- ❑ Em **1913**, o filamento passa a ser construído na forma de espiral, melhorando o seu rendimento luminoso



Welsbach – 1858 – 1929 - Áustria



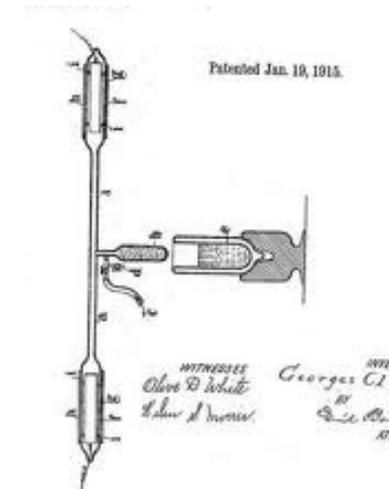
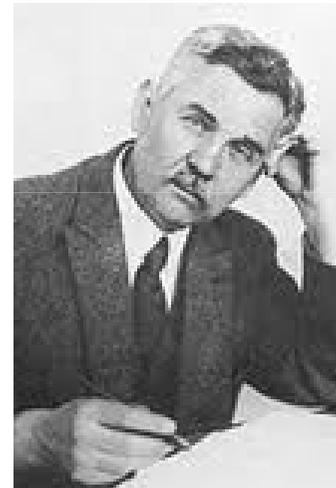
Lâmpadas de Welsbach

# Desenvolvimento da Lâmpada

- ❑ Em **1901**, Leon Arons inventou a lâmpada a vapor de mercúrio para uso comercial e industrial
- ❑ Já em **1910**, Georges Claude apresentou a lâmpada com funcionamento à base de gases nobres (argônio, xenônio, criptônio, néon e hélio) e de vapor de sódio
- ❑ Em **1934**, apareceu a primeira **lâmpada fluorescente** que é muito empregada atualmente na indústria, comércio e residências



Arons – 15/02/1860 – 10/10/1919 - Alemanha



Claude – 24/09/1870 – 23/05/1960 - França

# Desenvolvimento da Lâmpada

- ❑ Hoje já existem **Lâmpadas Fluorescentes** que possuem uma grande eficiência (maior que as incandescentes) pois emitem mais energia eletromagnética em forma de luz do que calor
- ❑ Foram desenvolvidas as lâmpadas LED, recentemente
- ❑ **São lâmpadas de** estado sólido que utilizam diodos emissores de luz (LEDs) como a fonte de luz
- ❑ Os diodos podem ser de diodos convencionais, orgânicos ou fabricados a base de polímeros



Lâmpadas Fluorescentes



Lâmpadas do tipo LED

# Principais Acessórios das Lâmpadas



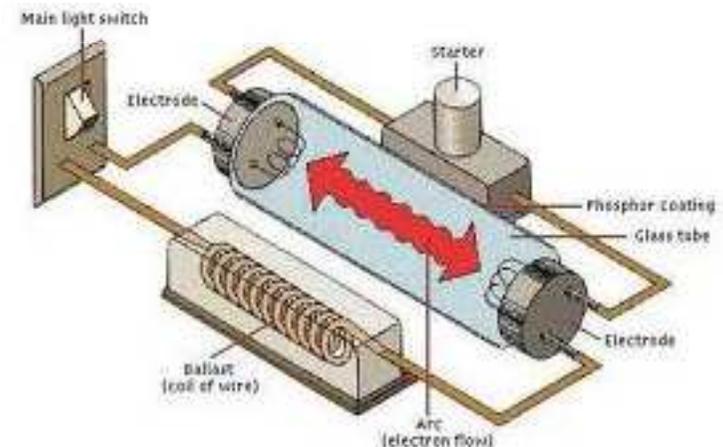
# Principais Acessórios das Lâmpadas

- ❑ **Soquete:** tem como função garantir fixação mecânica e a conexão elétrica da lâmpada
- ❑ **Transformador:** equipamento usado para converter a tensão de rede (tensão primária) para outro valor de tensão (tensão secundária). Um único transformador poderá alimentar mais de uma lâmpada, desde que a somatória das potências de todas as lâmpadas a ele conectadas, não ultrapasse a sua potência máxima



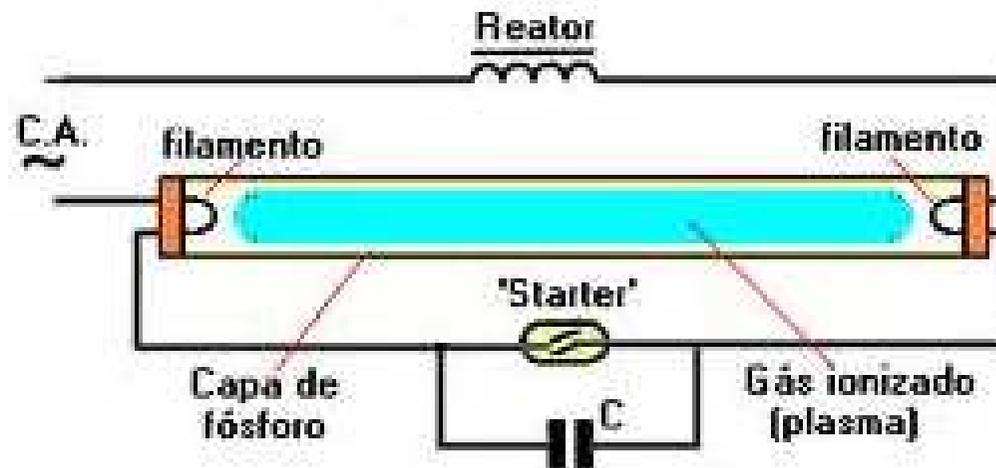
# Principais Acessórios das Lâmpadas

- ❑ **Reator:** equipamento auxiliar ligado entre a rede e as lâmpadas de descarga, cuja função é estabilizar a corrente através da mesma. Cada tipo de lâmpada requer um reator específico
- ❑ **Reator para corrente contínua:** oscilador eletrônico alimentado por uma fonte de corrente contínua, cuja função é fornecer as características necessárias para o funcionamento das lâmpadas



# Principais Acessórios das Lâmpadas

- ❑ **Starter:** elemento bimetálico cuja função é pré-aquecer os eletrodos das lâmpadas fluorescentes, bem como fornecer em conjunto com reator eletromagnético convencional, um pulso de tensão necessário para o acendimento da mesma. Os reatores eletrônicos e de partida rápida não utilizam starter
- ❑ **Ignitor:** dispositivo eletrônico cuja função é fornecer à lâmpada um pulso de tensão necessário para o acendimento



# Principais Acessórios das Lâmpadas

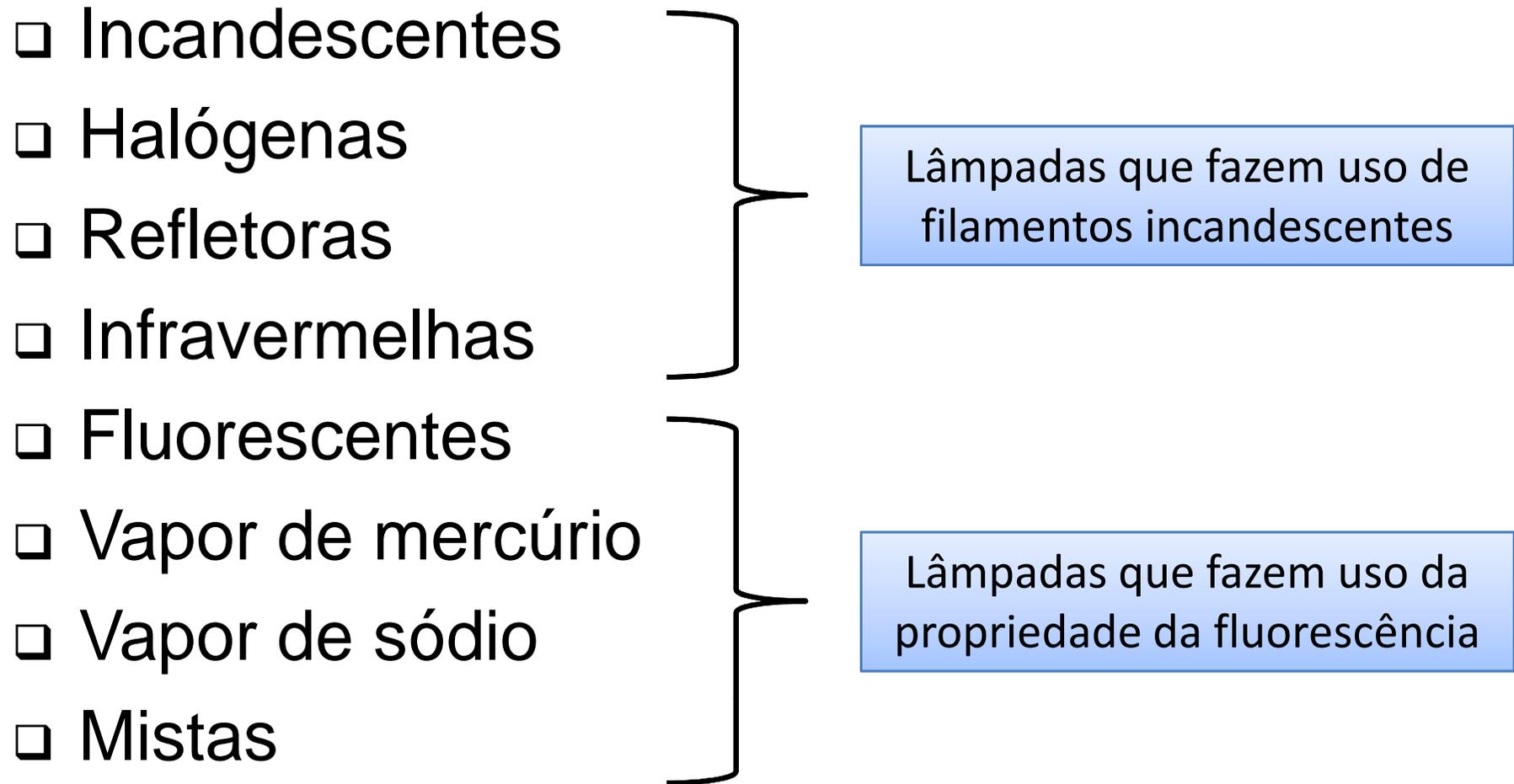
- ❑ **Capacitor:** acessório que tem como função corrigir o fator de potência de um sistema que utiliza reator magnético. Da mesma forma que para cada lâmpada de descarga existe seu reator específico, existe também um capacitor específico para cada reator
- ❑ **Dimmer:** tem como função variar a intensidade da luz de acordo com a necessidade



# Principais Tipos de Lâmpadas

# Principais Tipos de Lâmpadas

- ❑ Incandescentes
- ❑ Halógenas
- ❑ Refletores
- ❑ Infravermelhas
- ❑ Fluorescentes
- ❑ Vapor de mercúrio
- ❑ Vapor de sódio
- ❑ Mistas



Lâmpadas que fazem uso de filamentos incandescentes

Lâmpadas que fazem uso da propriedade da fluorescência

# Lâmpadas Incandescentes

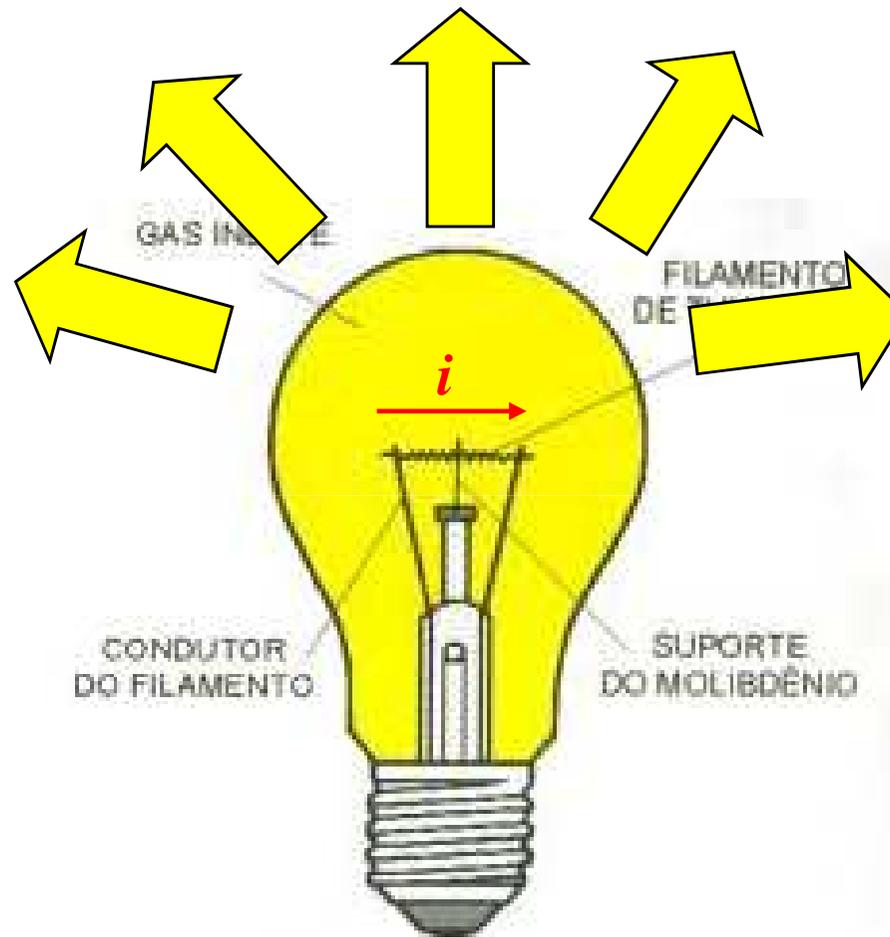
# Lâmpadas Incandescentes

- Estas lâmpadas possuem um bulbo de vidro, em cujo interior existe um filamento de tungstênio enrolado que pela passagem da corrente elétrica o torna incandescente



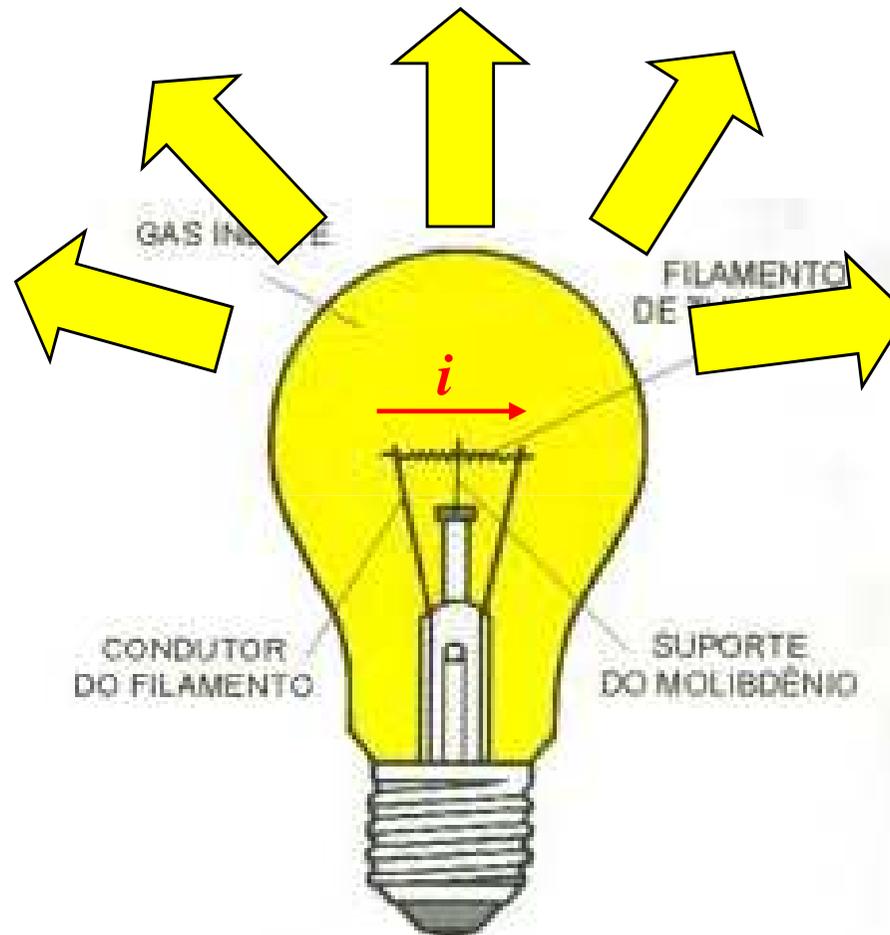
# Lâmpadas Incandescentes

- Na medida que o filamento de tungstênio fica incandescente, ele começa a emitir radiação eletromagnética; ou seja, luz e calor



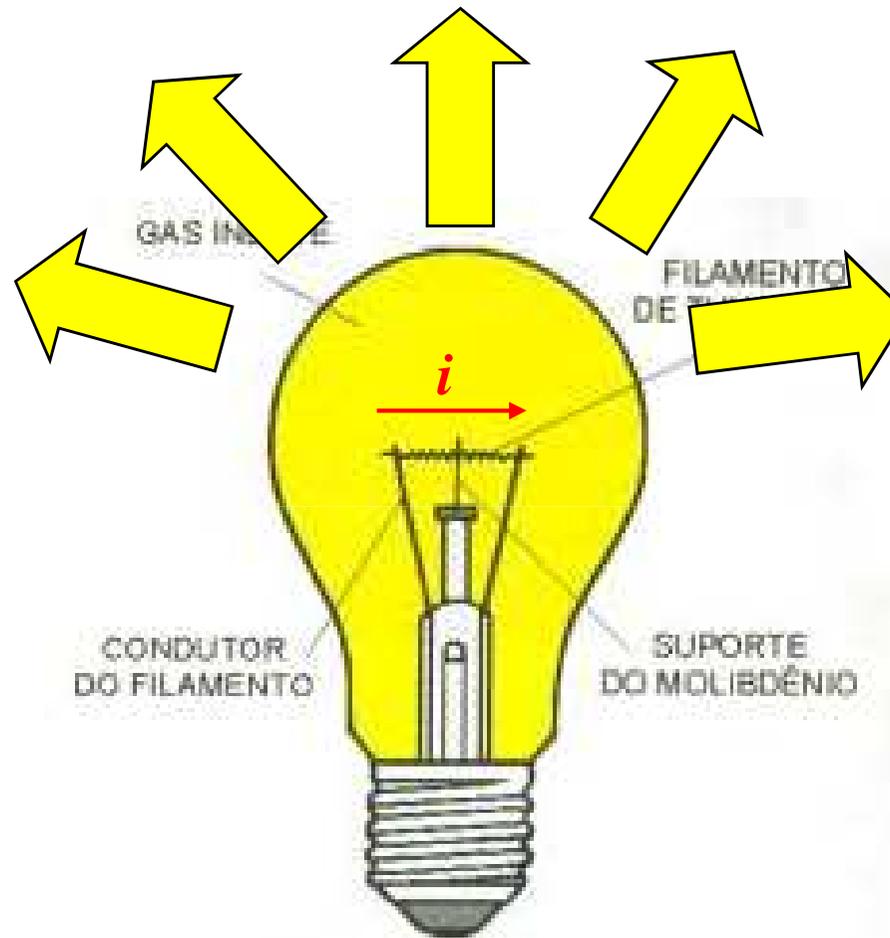
# Lâmpadas Incandescentes

- Para evitar que o filamento entrem em combustão e se queimem rapidamente, remove-se todo o ar da lâmpada, enchendo-a com uma mistura de gases inertes: nitrogênio e argônio ou criptônio



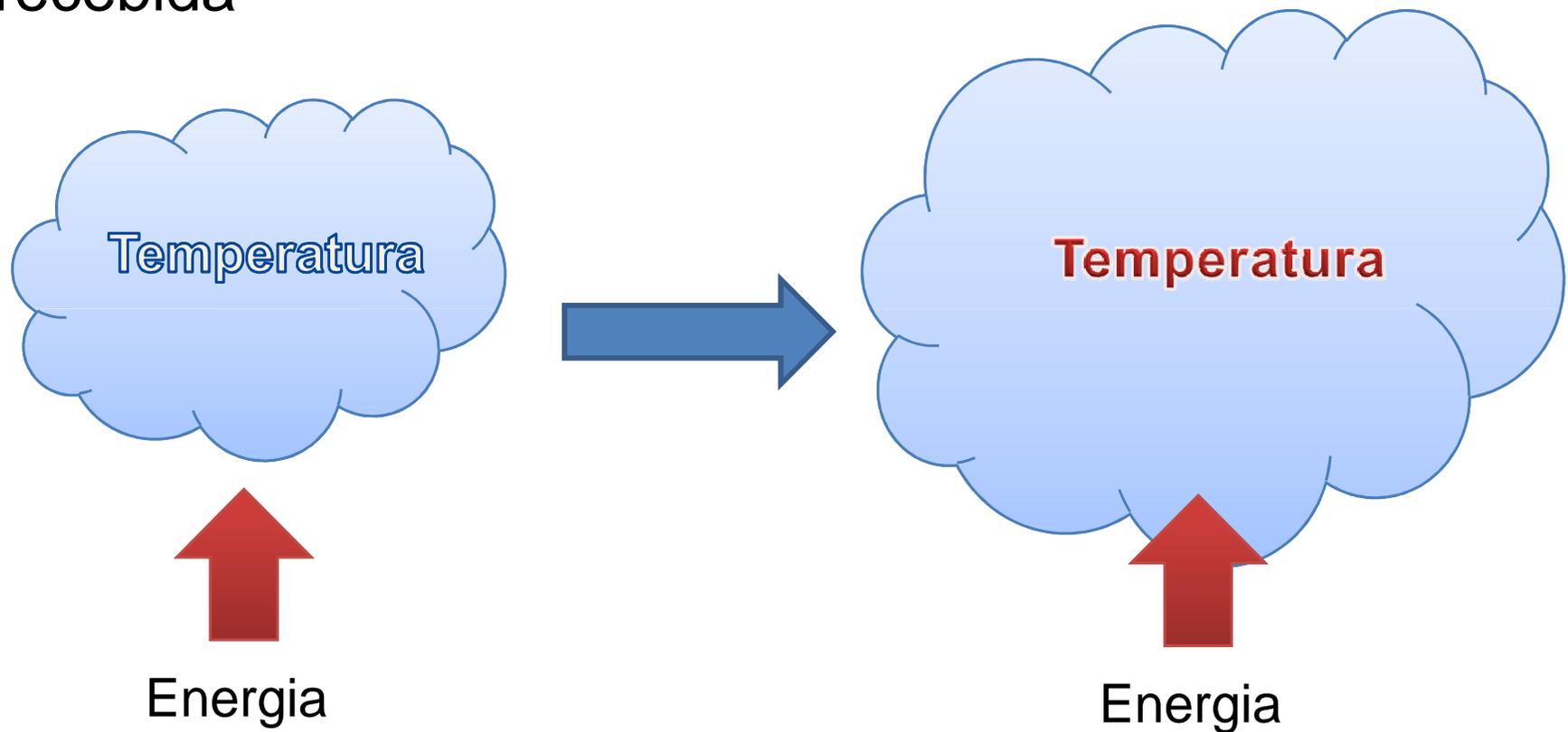
# Lâmpadas Incandescentes

- As lâmpadas incandescentes funcionam a baixas pressões, fazendo com que o gás rarefeito funcione com um isolante térmico



# Lâmpadas Incandescentes

- Um gás quando recebe energia tende a expandir e a esquentar
- O ar rarefeito dentro da lâmpada ao receber a energia térmica do filamento ( $\approx 2800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\approx 3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) expande ao máximo e depois começa a transmitir a energia recebida



# Lâmpadas Incandescentes

- Graças a esse mecanismo é possível conter 3000 °C, aproximadamente, dentro de um globo de vidro sem fundi-lo e sem fundir os outros materiais que formam uma lâmpada



# Lâmpadas Incandescentes

- ❑ Proporciona uma luminosidade muito mais agradável, aconchegante, em certos ambientes
- ❑ Apresenta uma grande durabilidade em ambientes onde se acende e apaga um lâmpada com frequência,
- ❑ Possui um rendimento mínimo: aproximadamente 5% da energia elétrica consumida é transformada em luz, os outros 95% são transformados em calor



# Lâmpadas Incandescentes

- Segundo dados da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério da Minas e Energia, uma lâmpada incandescente de 60W ligada 4 horas por dia, pode resultar em 7,2 kWh de consumo no final do mês (= \$ por mês = )
- Na comparação, uma lâmpada fluorescente compacta equivalente proporciona uma economia de 75%, ou seja, este resultado pode cair para 1,8 kWh/mês. Os resultados podem variar por conta da frequência de utilização e da potência de cada tipo de lâmpada (fonte: [www.brasil.gov.br](http://www.brasil.gov.br))



# Lâmpadas Incandescentes

- ❑ Assim, foi proibida produção nacional e importação de lâmpadas incandescentes de 150W e 200W (Portaria n° 1007, de dezembro de 2010)
- ❑ A substituição das lâmpadas incandescentes, de menor potência, e o fim da produção desse tipo de lâmpadas, foi gradativa e ocorreu em 2017
- ❑ A norma tem como objetivo reduzir a quantidade de lâmpadas incandescentes na casa dos brasileiros e aumentar a participação de unidades mais eficientes, como as fluorescentes

As medidas são para alinhar o país com as premissas e diretrizes do Plano Nacional de Eficiência Energética



# Lâmpadas Incandescentes

- Dependendo da finalidade e exigência luminosa do ambiente, os fabricantes destas lâmpadas dispõem de diversos modelos
- **Comuns ou de uso geral** que são utilizadas em locais que não exijam índice de iluminação elevados. Podem ser de bulbo transparente, translúcido ou colorido
- **Lâmpadas Halógenas ...**



# Lâmpadas Halógenas

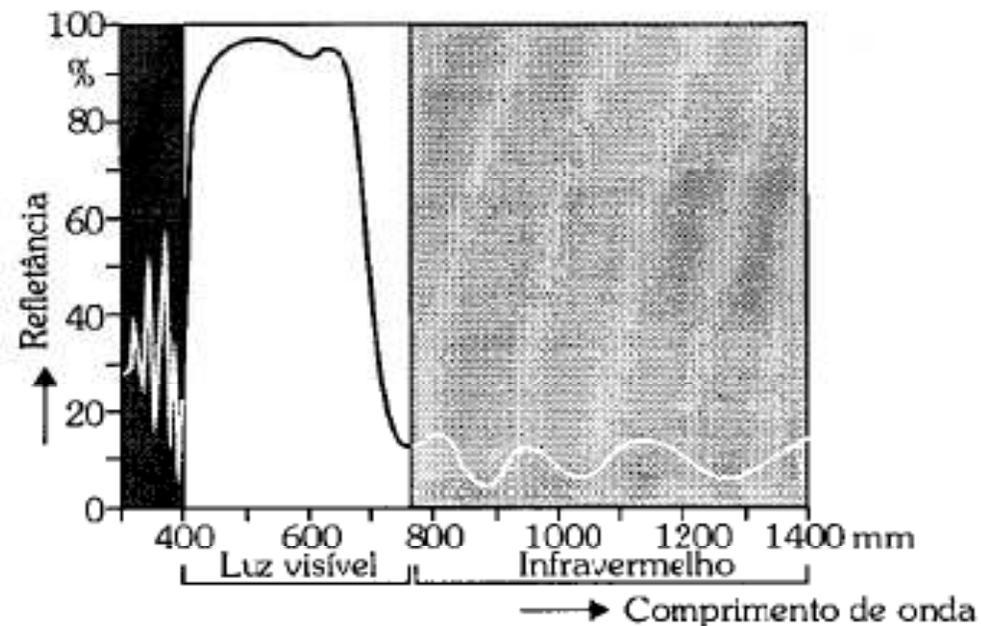
# Lâmpadas Halógenas

- ❑ Possuem um bulbo tubular de quartzo no qual são colocados aditivos de iodo ou bromo, sendo utilizadas principalmente em praças de esportes, pátios de armazenamento de mercadorias, teatros, estúdios de TV, etc.
- ❑ São lâmpadas de grande potência, mais duráveis, de melhor rendimento luminoso, menores dimensões e que reproduzem mais fielmente as cores, porém, são mais caras



# Lâmpadas Halógenas

- A curva de reflexão de uma lâmpada Halógena atinge valores próximos do 100% dentro do espectro de luz visível ao ser humano

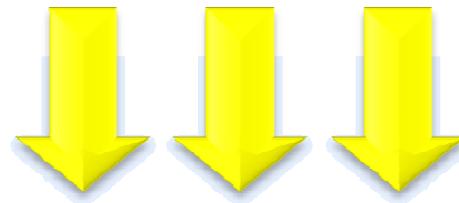


**Figura 4.27 - Curva de reflexão típica de um espelho dicróico.**

# Tipos de Lâmpadas

- Devido às características do refletor dicróico, das lâmpadas Halógenas, a luz é emitida para a frente, enquanto o calor (radiação infravermelha) é desviado para trás

Radiação infravermelha



Luz visível

# Tipos de Lâmpadas

- Em termos de economia, as lâmpadas Halógenas oferecem mais luz com potência menor ou igual a das incandescentes comuns, além de possuírem vida útil mais longa, variando entre 2.000 e 4.000 horas



# Lâmpadas Refletoras

# Lâmpadas Refletores

- São fontes de luz de alto rendimento luminoso, dimensões reduzidas e fecho dirigido
- O formato dos bulbos são especiais e internamente uma parte de suas superfícies são revestidas de alumínio para concentrar e orientar o fecho de luz



# Lâmpadas Refletores

- Além das lâmpadas coloridas ornamentais e das empregadas em faróis de veículos, existem as específicas para flashes fotográficos, projetores cinematográficos e as miniaturas chamadas de “espanta insetos”



# Lâmpadas Infravermelhas

# Lâmpadas Infravermelhas

- A lâmpada infravermelha é um tipo de lâmpada especialmente construída para emitir a radiação infravermelha
- Ela emite menos raios visíveis do que a lâmpada incandescente normal, mas emite muita radiação infravermelha



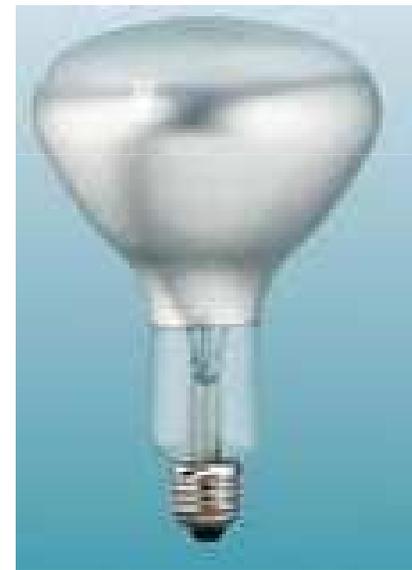
# Lâmpadas Infravermelhas

- Usadas em secagem de tintas, lacas, vernizes, aquecimento em certa estufas, fisioterapia, etc. Possuem uma vida média de 5000 horas e nunca devem ser usadas como fonte luminosa devido sua alta radiação calorífica



# Lâmpadas Infravermelhas

- Em geral, a eficiência da radiação da lâmpada infravermelha empregando o filamento de tungstênio tem um aquecimento muito alto
- A lâmpada infravermelha, quando usada para gerar calor, é mais eficiente que um aquecedor



# Lâmpadas de Descarga

# Lâmpadas de Descarga

- ❑ Nestas lâmpadas a energia é emitida sob forma de radiação, que provoca uma excitação de gases (nobres) ou vapores metálicos, devido à tensão elétrica entre eletrodos especiais
- ❑ Esta radiação, que se estende da faixa do ultravioleta até a do infravermelho, depende, entre outros fatores, da pressão interna da lâmpada, da natureza do gás ou da presença de partículas metálicas ou halógenas no interior do tubo
- ❑ Dentre as lâmpadas de descarga destacam-se:
  - ❑ Lâmpadas fluorescentes
  - ❑ Lâmpadas de vapor de mercúrio
  - ❑ Lâmpadas a vapor de sódio
  - ❑ Lâmpadas mistas



O que é fluorescência?

# Lâmpadas de Descarga

- ❑ **Lâmpadas de Descarga**
- ❑ Nestas lâmpadas a energia é emitida sob forma de radiação, que provoca uma excitação de gases (nobres) ou vapores metálicos, devido à tensão elétrica entre eletrodos especiais
- ❑ Esta radiação, que se estende da faixa do ultravioleta até a do infravermelho, depende, entre outros fatores, da pressão interna da lâmpada, da natureza do gás ou da presença de partículas metálicas ou halógenas no interior do tubo.
- ❑ Dentre as lâmpadas de descarga destacam-se:
  - ❑ Lâmpadas fluorescentes
  - ❑ Lâmpadas de vapor de mercúrio
  - ❑ Lâmpadas a vapor de sódio
  - ❑ Lâmpadas mistas

O que é fluorescência?

R.: fluorescência é definida como a propriedade que tem um material de se auto-iluminar quando sob a ação de uma energia radiante, como o ultravioleta, ou raio X

# Lâmpadas Fluorescentes

# Lâmpadas Fluorescentes

- ❑ **Principais partes**
- ❑ **Bulbo (tubo):** serve como compartimento à prova de ar e sob baixa pressão, onde são inseridos o mercúrio, o gás de enchimento, os cátodos e camada de pó fluorescente
- ❑ **Bases:** cada base é cimentada em cada extremidade do tubo, unindo a lâmpada ao circuito de iluminação por dois contatos. As bases podem ser do tipo bipino médio e duplo contato embutido



# Lâmpadas Fluorescentes

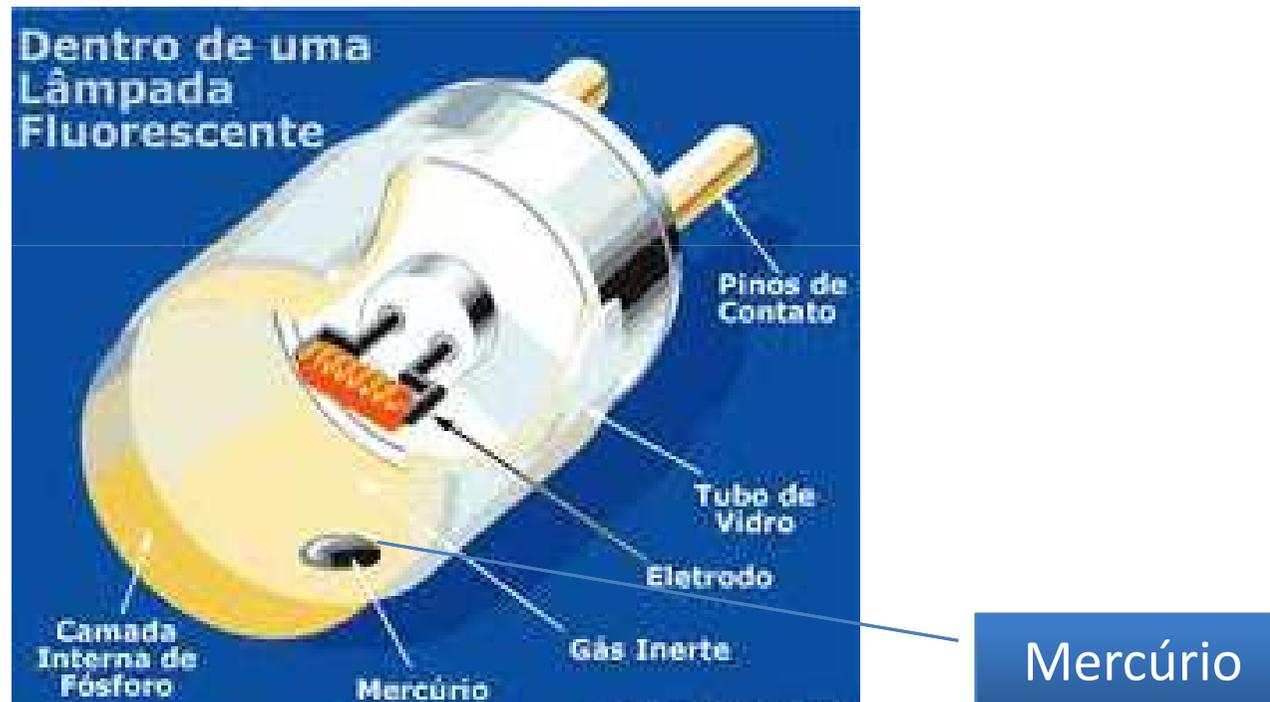
- ❑ **Catodos:** conhecidos como filamentos ou eletrodos, servem de terminais para o estabelecimento do arco elétrico, sendo uma fonte de elétrons para a corrente da lâmpada
- ❑ **Estemes:** correspondem às extremidades do tubo, fechando-o, e suportam cada um dos catodos



Estemes

# Lâmpadas Fluorescentes

- ❑ **Vapor de mercúrio:** no interior do tubo fluorescente são colocadas gotículas de mercúrio líquido, durante a montagem da lâmpada
- ❑ Com a lâmpada em operação o mercúrio vaporiza-se numa pressão muito baixa. A essa pressão, a corrente, através do vapor de mercúrio, faz com ele irradie energia mais fortemente a um comprimento de onda específico na região do ultravioleta



# Lâmpadas Fluorescentes

- ❑ **Gás de enchimento:** é injetada no interior do tubo uma pequena quantidade de um gás raro e de alta pureza. O argônio é o mais empregado
- ❑ O gás de enchimento ioniza rapidamente quando uma tensão suficiente é aplicada através da lâmpada. Uma vez ionizado, sua resistência decresce, permitindo que a corrente flua e o mercúrio se vaporize



Gás

# Lâmpadas Fluorescentes

- ❑ Camada de pó fluorescente: transforma a radiação ultravioleta em luz visível. As partículas (ou cristais) de pó fluorescente na camada são muito pequenas - 0,0018cm de diâmetro
- ❑ O pó fluorescente é designado tecnicamente por luminóforo, composto normalmente de Fósforo



Pó fluorescente

# Lâmpadas de Vapor de Mercúrio

# Lâmpadas de Mercúrio

- ❑ Estas lâmpadas são constituídas de um tubo de quartzo ou vidro duro, contendo uma pequena quantidade de mercúrio e cheio de gás argônio
- ❑ Possuem dois estágios de funcionamento, sendo um para estabelecer o arco de ignição preliminar para vaporizar o mercúrio e o segundo para formar o arco luminoso definitivo entre os eletrodos principais



# Lâmpadas de Mercúrio

- ❑ A pintura interna é de fosfato de “ítrio vanadato” que transforma a radiação ultravioleta em luz avermelhada
- ❑ Devido a todo este processo de ignição, a lâmpada leva cerca de três minutos para atingir sua claridade total após a ligação; o mesmo tempo se verifica após o seu desligamento, enquanto ocorre o resfriamento da mesma



# Lâmpadas de Luz Mista

# Lâmpadas de Luz Mista

- ❑ Esta lâmpada reúne em uma só lâmpada as vantagens da lâmpada incandescente, da fluorescente e da vapor de mercúrio
- ❑ Como resultado, consegue-se uma luz semelhante à luz observada durante o dia
- ❑ Comparada à lâmpada incandescente, o fluxo luminoso é de 20 a 35% maior



# Lâmpadas de Luz Mista

- ❑ A durabilidade é em média cerca de seis vezes maior\*
- ❑ Podem ser utilizadas sem reator
- ❑ Baixo rendimento (26 lm/W)



# Lâmpadas de Vapor de Sódio

# Lâmpadas de Vapor de Sódio

- As lâmpadas de vapor de sódio fazem uso de um plasma de vapor de sódio para produzir luz
- Emitem uma luz quase que perfeitamente monocromática, com um comprimento de onda médio de 589,3 nm



# Lâmpadas de Vapor de Sódio

- O resultado (luz monocromática) é que os objetos iluminados adquirirem uma luminosidade incomum e cores dificilmente distinguíveis, resultado da reflexão da pequena largura de banda de luz amarelada emitida pela lâmpada



# Lâmpadas de Vapor de Sódio

- Em função da lâmpada produzir luz monocromática amarela, sem ofuscamento, é por esta razão a melhor solução para iluminação de locais sujeitos à formação de névoas onde é necessária grande percepção visual (pontes, viadutos, cais, túneis, aeroportos, indústrias pesadas, etc.)

