

# MÓDULO V

## EFICIÊNCIA NO CONSUMO DA ENERGIA ELÉTRICA

# CONTEUDO

Capítulo 1: Eficiência energética em sistemas elétricos.

Capítulo 2: Avaliação técnico-econômica da energia.

# INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica representa atualmente um fator de custo nos processos. Daí a importância de serem eficientes mediante o uso de materiais e equipamentos, considerando não somente os custos iniciais, mas também considerando os custos de operação e manutenção.

# INTRODUÇÃO

O presente módulo visa obter as ferramentas necessárias para reduzir os custos e consumos de energia, avaliando as diferentes oportunidades de economia energética.

# OBJETIVOS DO QUINTO MÓDULO

- Identificar oportunidades de economia de iluminação e perdas em condutores elétricos.
- Avaliar economicamente o consumo de energia elétrica.

# **CAPÍTULO 1**

## **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS ELÉTRICOS**

# INTRODUÇÃO

As perdas energéticas nos sistemas elétricos estão concentradas essencialmente nos seguintes itens:

- Condutores elétricos,
- Sistemas de iluminação,
- Cargas tais como: máquinas rotativas, transformadores e outras cargas diversas.

# OTIMIZAÇÃO DA SEÇÃO DO CONDUTOR

Para otimizar a seção de um condutor em um projeto existente temos as seguintes alternativas:

- **Substituir** os condutores por outros de maior seção, definidos de acordo com as normas de cada país.



# OTIMIZAÇÃO DA SEÇÃO DO CONDUTOR

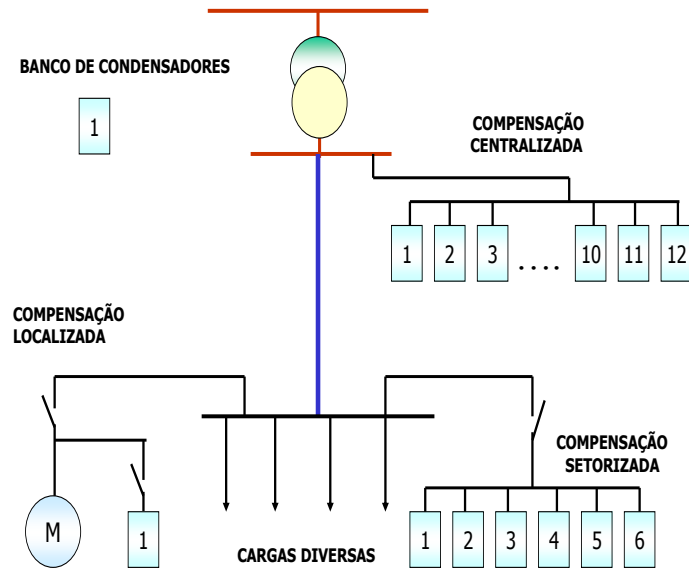
- **Acrescentar** condutores em paralelo aos já existentes, obtendo-se um condutor final de maior seção.
- **Incrementar** o nível de tensão de distribuição:
  - ✓ Se as máquinas podem trabalhar em 220/380 volts, muda-se para trabalhar em 380 volts.
  - ✓ Se as máquinas podem trabalhar em 220/440 volts, muda-se para trabalhar em 440 volts.

# OTIMIZAÇÃO DA SEÇÃO DO CONDUTOR

- **Acrescentar bancos de capacitores**

Completamente automatizados, podendo ser configurados para:

- ✓ Compensação localizada ou individual.
- ✓ Compensação setorizada.
- ✓ Compensação centralizada.

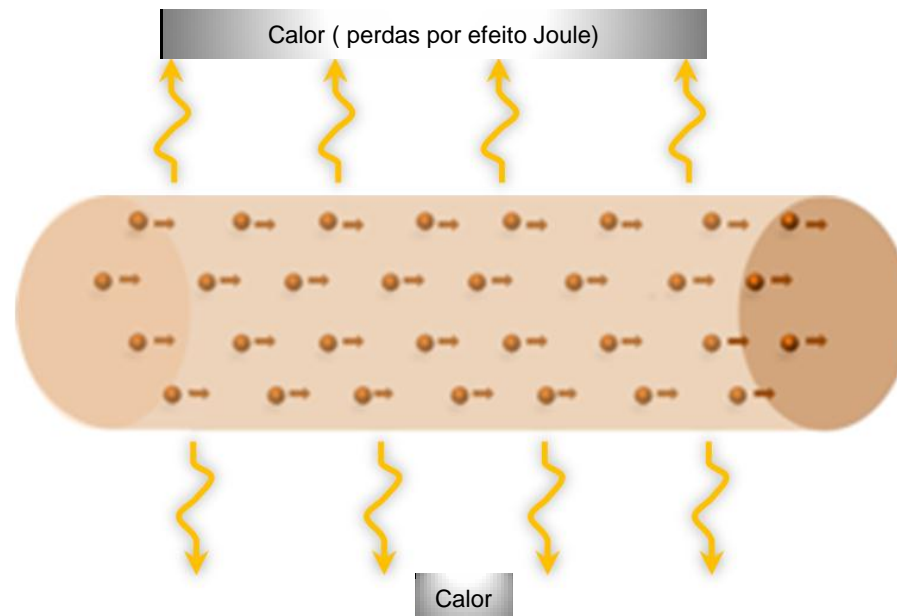


# OTIMIZAÇÃO DA SEÇÃO DO CONDUTOR

- **Equilibrar** as correntes das fases do sistema trifásico para contar com um sistema balanceado.
- **Selecionar** transformadores eficientes que apresentem baixos níveis de perdas.

# SEÇÃO ECONÔMICA

No condutor elétrico, a perda de calor dependerá da resistência elétrica ( $R$ ) do condutor e da corrente que transporta ( $I^2$ ); portanto, a fórmula  $I^2R$  permite determinar as perdas elétricas.



# SEÇÃO ECONÔMICA

Empregar uma maior seção dos condutores elétricos permite reduzir a resistência destes condutores e economizar energia.

Por conseguinte, é necessário e importante projetar com visão e avaliar as vantagens comparativas reais.

A seguir será apresentado um exemplo de cálculo por perdas de energia elétrica nos condutores.

# ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA UMA SEÇÃO ECONÔMICA

Passos	Características	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Dados
1	Distância (m)	50	50	50	50	
2	Potência (kW)	50	50	50	50	
3	Corrente (A)	164	164	164	164	
4	Cabo (mm <sup>2</sup> )	25	35	50	70	Seções nominais
5	Resistência C.A.(ohm/km)	0,848	0,611	0,452	0,313	
6	Perda de potência (kW)	3,42	2,47	1,82	1,26	
7	Perda de energia (kWh)	6 840	4 940	3 640	2 520	167 h/mês 2.000 horas ano

# ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA UMA SEÇÃO ECONÔMICA

Passos	Características	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Dados
8	Custo de perdas anuais Potência horário ponta (\$)	474,01	342,34	252,25	174,64	11,55 \$/kW-mês
9	Energia horário ponta (\$)	337,89	244,04	179,82	124,49	4,94 \$/kWh
10	Total perdas horário ponta(\$)	811,90	586,38	432,07	299,13	
11	Diferença anual de perdas horário ponta (\$)		225,52	379,83	512,77	
12	Potência fora de ponta (\$)	434,61	313,89	231,29	160,12	10,59 \$/kW-mês
13	Energia fora de ponta (\$)	248,98	179,82	132,50	91,73	3,64 \$/kWh

# ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA UMA SEÇÃO ECONÔMICA

Passos	Características	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Dados
14	Total perdas horário fora de ponta (\$)	683,59	493,70	363,78	251,85	
15	Diferença anual de perdas horário fora de ponta (\$)		189,89	319,81	431,74	
16	Diferença custo de conductores (\$)		133,35	333,38	600,08	Custo médio mercado
17	Recuperação horário ponta		7 meses	10,5 meses	1 ano 2 meses	
18	Recuperação horário fora de ponta		8,4 meses	1 ano 0,5 meses	1 ano 4,6 meses	



# PASSOS DE CÁLCULO PARA A ALTERNATIVA 2

- **Passos 1, 2, 3, 4 e 5:**

Dados do projeto e do fabricante de condutores

- **Passo 6: Cálculo das perdas de potência (kW)**

Perda de Potência (kW) =  $3 \times I^2 \times R = 3 \times 1642 \times 0,611 \text{ (ohm/km)} \times 0,050 \text{ (km)} = 2,47 \text{ kW}$

- **Passo 7: Cálculo das perdas de energia (kWh)**

Perda de Energia (kWh) = perda de potência x horas-ano =  $2,47 \text{ (kW)} \times 2\,000 \text{ (h-ano)} = 4\,940 \text{ kWh}$

# PASSOS DE CÁLCULO PARA A ALTERNATIVA 2

- **Passo 8: Cálculo de custo de perdas anuais por potência em horário de ponta**

Custo de perdas anuais por potência horário ponta (\$) = perda de potência (kW) x custo (\$/kW-mês) x 12 =  
 $2,47 \text{ (kW)} \times 11,55 \text{ (\$/kW-mês)} \times 12 = \$ 342,34$

- **Passo 9: Cálculo da energia em horário de ponta**

Energia horário ponta (\$) = perda de energia (kWh) x custo energia horário ponta (\$/kWh) =  $4\ 940 \text{ (kWh)} \times 4,94 \text{ \$/kWh} = \$ 244,04$

# PASSOS DE CÁLCULO PARA A ALTERNATIVA 2

- **Passo 10: Cálculo do total de perdas em horário de ponta**

Total perdas horário ponta (\$) = custo de potência horário ponta + custo energia horário ponta = 342,34 + 244,04 = \$ 586,38

- **Passo 11: Cálculo da diferença anual de perdas horário de ponta**

Diferença anual de perdas horário ponta (\$) = Total perdas horário ponta (25 mm<sup>2</sup>) – Total perdas horário ponta (35 mm<sup>2</sup>) = 811,90 – 586,38 = \$ 225,52

# PASSOS DE CÁLCULO PARA A ALTERNATIVA 2

- **Passo 12: Cálculo custo de perdas anuais por potência fora de horário de ponta (\$)**

Custo de perdas anuais por potência fora de horário ponta (\$) = 2,47 (kW) x 10,51 (\$/kW-mês) x 12 = \$ 313,89

- **Passo 13: Cálculo da energia fora de ponta**

Energia fora de ponta = perda de energia (kWh) x custo energia fora de ponta (\$) = 4 940 (kWh) x 3,64 \$/kWh = \$ 179,82

# PASSOS DE CÁLCULO PARA A ALTERNATIVA 2

- **Passo 14: Cálculo do total de perdas horário fora de ponta**

Total perdas horário fora de ponta (\$) = custo de potência horário fora de ponta + custo de energia horário fora de ponta = 313,89 + 179,82 = \$ 493,70

- **Passo 15: Cálculo da diferença anual de perdas horário fora de ponta**

Diferença anual de perdas horário fora de ponta (\$) = Total perdas horário fora de ponta (25 mm<sup>2</sup>) – Total perdas horário fora de ponta (35 mm<sup>2</sup>) = 683,59 - 493,70 = \$ 189,89

# PASSOS DE CÁLCULO PARA A ALTERNATIVA 2

- **Passo 16: Preço do fabricante**
- **Passo 17: Recuperação do investimento segundo custo horário de ponta**  
Recuperação horário ponta = Diferença custo de condutores (\$) / (Diferença anual de perdas horário ponta (\$)) / 12 =  $133,35 / (225,52 / 12) = 7$  meses
- **Passo 18: Recuperação investimento segundo custo horário fora de ponta**  
Recuperação fora horário ponta =  $133,35 / (189,89 / 12) = 8,4$  meses

# CONCLUSÃO

Dos resultados podemos concluir que a recuperação do investimento ao usar condutores de maior seção ocorre em um tempo relativamente curto, onde, depois de amortizado, a economia vai a favor da empresa pela economia do consumo de energia perdida, além dos benefícios técnicos obtidos em consequência de baixas quedas de tensão ao terem os condutores uma menor resistência.

# EFICIÊNCIA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

A vida depende da luz. A visão somente é possível graças à presença da luz; mediante ela somos capazes de compreender o meio que nos rodeia e através dos seus efeitos podemos criar e transformar os espaços para a vida privada e urbana.

O objetivo do tema é proporcionar dados e orientação que sirvam para fomentar a economia de energia elétrica em sistemas de iluminação.



# UNIDADES E CONCEITOS

- **Fluxo Luminoso ( $\phi$ )**

É a quantidade de energia luminosa emitida por um foco luminoso em todas as direções na unidade de tempo (segundo). A sua unidade é o lúmen (lm).

Valores aproximados de fluxo luminoso de algumas fontes de luz:

Vela de cera	:10 lm
Lâmpada de 100 W	:1 380 lm
Tubo fluorescente de 40 W	: 3 200 lm

- **Rendimento Luminoso**

É o quociente entre o fluxo luminoso obtido e a potência elétrica necessária para gerá-lo.

Para poder avaliar a rentabilidade de uma fonte luminosa deve-se conhecer a proporção da potência elétrica que se transforma em potência luminosa. Nem toda energia se transforma em luz; uma parte se transforma em calor e outra em energia radiante não visível.

- **Illuminance (E)**

Mede a luz ou fluxo luminoso que chega a uma determinada superfície. A unidade é o lux (lm/m<sup>2</sup>).

$$E = \frac{\phi}{S} \text{ lx}$$

Luz do sol em condições máximas	100 000	lx
Luz de meio dia de verão	10 000 – 20 000	lx
Luz em um posto de trabalho muito bem iluminado	1 000	lx
Luz em um posto de trabalho aceitavelmente iluminado	300 – 500	lx
Luz sobre estrada bem iluminada	40	lx
Luz de lua cheia	0,2	lx
Luz em noite sem lua	0,003	lx

# FONTES LUMINOSAS

- **Lâmpada**

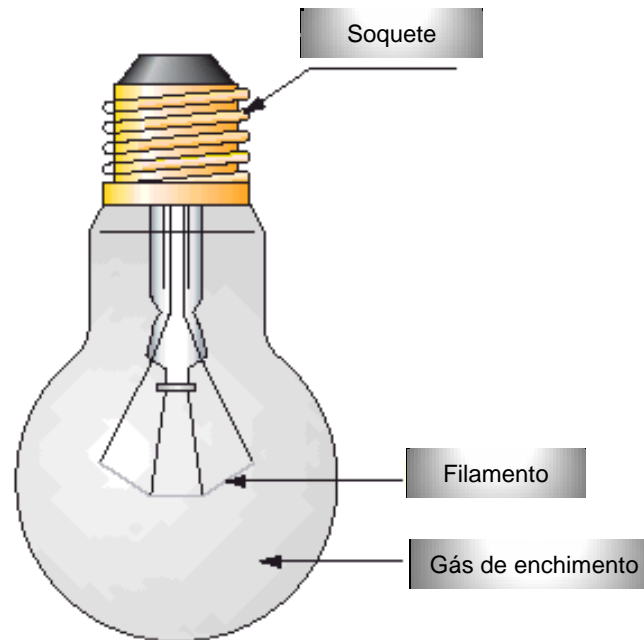
Dispositivo destinado a transformar a energia elétrica em luz. Podem ser classificados dois grupos primários: lâmpadas incandescentes e lâmpadas de descarga.

- **Luminária**

Aparelho que distribui, filtra ou transforma a radiação luminosa procedente de uma lâmpada ou lâmpadas e que inclui todos os elementos necessários para fixar e proteger estas lâmpadas e para ligá-las à fonte de energia.

# LÂMPADAS INCANDESCENTES

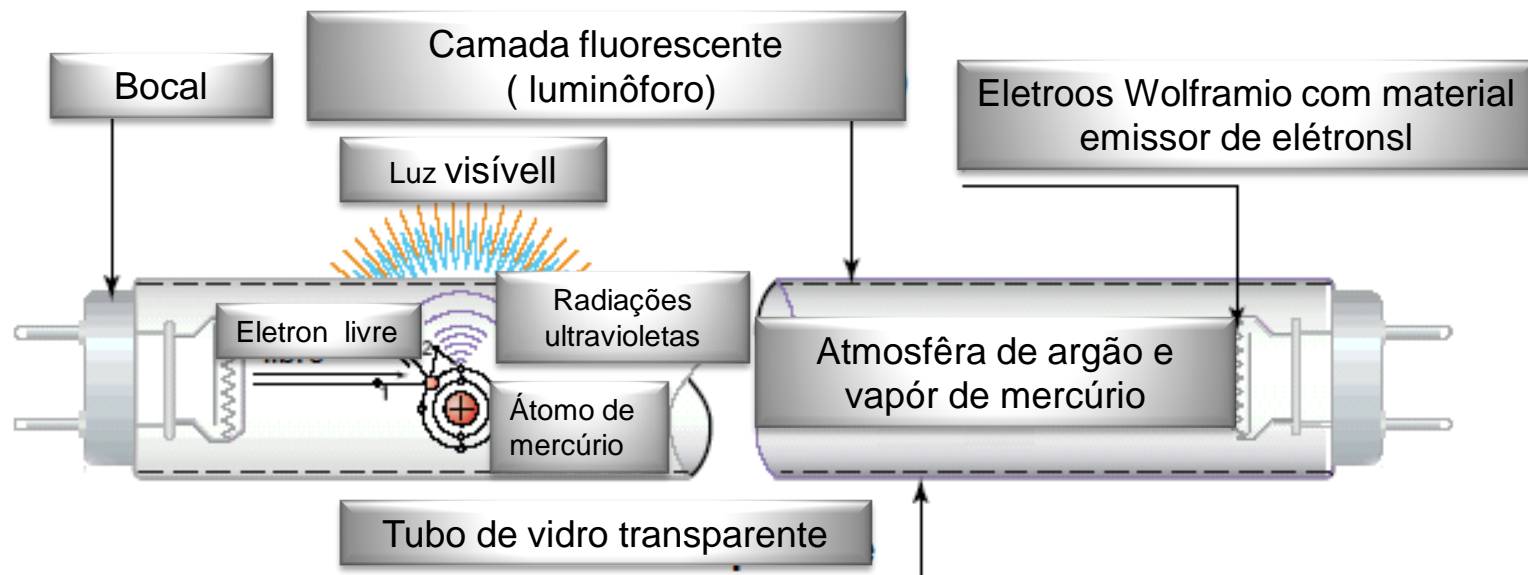
Neste tipo de lâmpadas a emissão luminosa ocorre em um filamento de tungstênio que é levado à temperatura de incandescência pela passagem de uma corrente elétrica pelo mesmo.



# LÂMPADAS FLUORESCENTES

Os tubos fluorescentes são lâmpadas de descarga em vapor de mercúrio sob baixa tensão. A radiação ultravioleta ativa os póis fluorescentes que cobrem o interior do tubo, produzindo a luz.

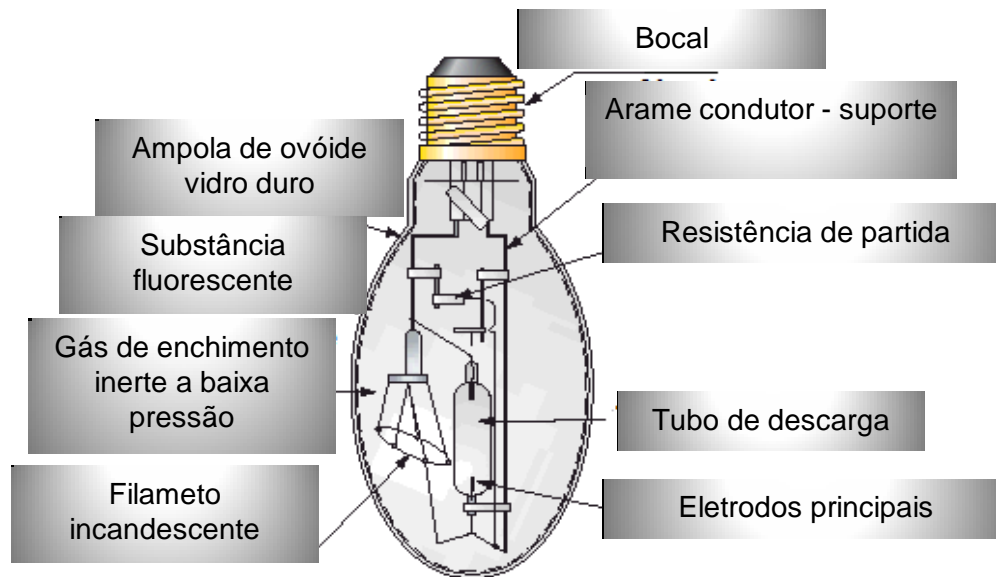
O rendimento luminoso vai de 80 lm/W em uma lâmpada de 18 W até 90 lm/W em uma de 58 W.



# LÂMPADAS DE LUZ MISTA

Dispõem de um tubo de descarga de quartzo, em cujo interior há mercúrio, conectado em série com um filamento de tungstênio.

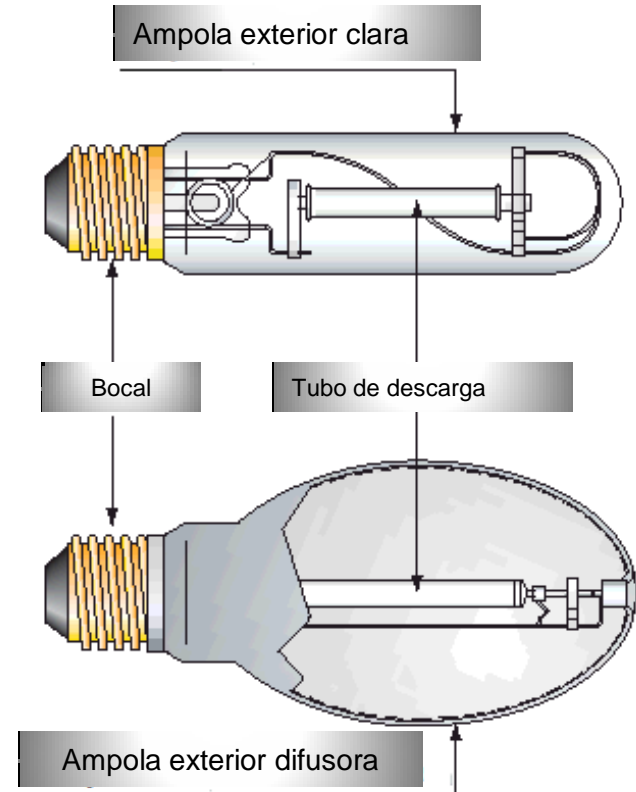
O seu rendimento luminoso é entre 19 e 25 lm/W e com uma vida útil de aproximadamente 6.000 horas.



# LÂMPADAS DE DESCARGA DE ALTA PRESSÃO

São formadas por uma ampola de vidro ou quartzo, em cujos extremos há dois eletrodos. Esta ampola está cheia de gás inerte e uma pequena quantidade de metal, que pode ser mercúrio ou sódio.

Tem um rendimento luminoso de 34 a 110 lm/W, com uma vida útil de 14.000 a 20.000 horas.

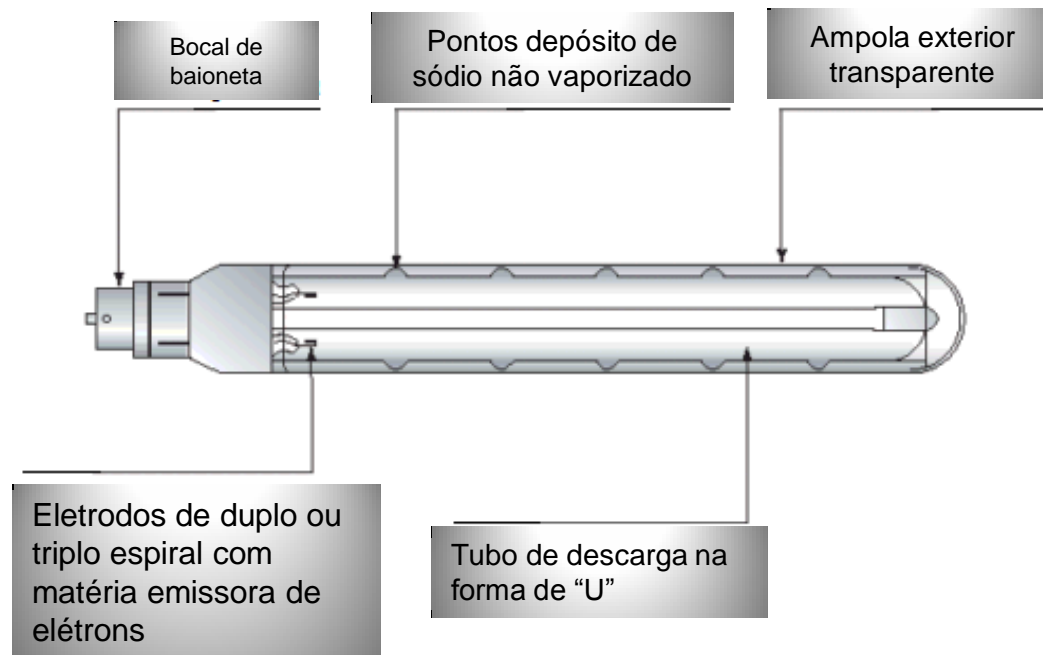




# LÂMPADAS DE SÓDIO DE BAIXA PRESSÃO

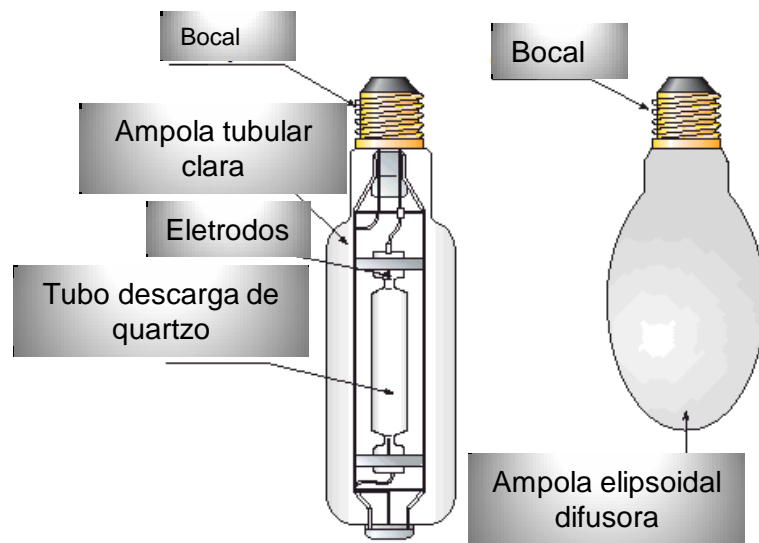
São lâmpadas nas quais a descarga elétrica ocorre através do vapor de sódio a baixa pressão contido em um tubo de descarga montado no interior de uma ampola tubular clara.

A vida útil desta lâmpada é da ordem de 20.000 horas.



# LÂMPADAS DE HALOGÊNIOS METÁLICOS

São lâmpadas de mercúrio às quais são acrescentados certos halogênios metálicos de terras raras (iodetos de índio, disprósio, tálio, sódio, hólmio, túlio, európio). A sua cor é excelente e são econômicas. O seu rendimento luminoso fica entre 80 e 100 lm/W e a sua vida útil é compreendida entre 10.000 e 15.000 horas.



# MINI-FLUORESCENTES COMPACTAS OU LÂMPADAS ECONÔMICAS

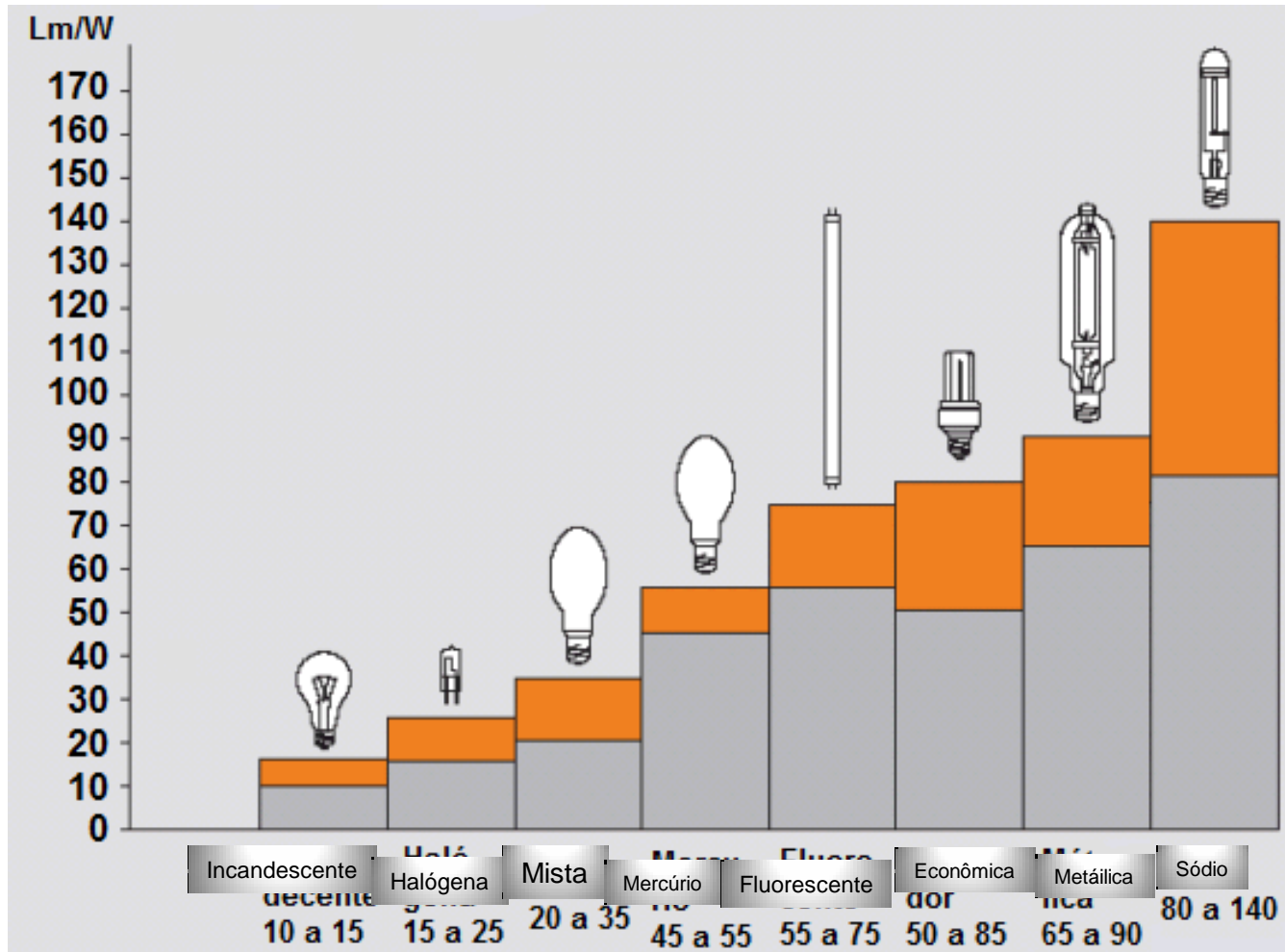
Tubo fluorescente que é enrolado para reduzir o tamanho incorporado e uma rosca normal (E 27). As lâmpadas econômicas são fabricadas em potências tais como 10, 20, 23 e 50 W.



# VANTAGENS DAS LÂMPADAS ECONÔMICAS

- Luz clara como lâmpadas fluorescentes de 50, 75 e 100 W.
- Luz amena e agradável como a lâmpada incandescente.
- Reprodução cromática excelente.
- Usam o porta-lâmpada normal com rosca E 27.
- Alto rendimento, baixo custo e consumo de até 5 vezes menos energia que uma lâmpada incandescente.
- Duração média de aproximadamente 10.000 horas.

# RENDIMENTO LUMINOSO POR TIPO DE LÂMPADA



# LUMINÁRIA

É o aparelho que serve para distribuir, filtrar ou transformar a luz das lâmpadas, e que inclui todas as peças das lâmpadas para fixá-las, protegê-las e conectá-las ao circuito de alimentação.



# USO EFICIENTE E AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA

As lâmpadas fluorescentes compactas comparadas às lâmpadas incandescentes convencionais consomem até 80% menos energia, entregam mais luz por watt, tem uma vida útil superior, mas são mais caras; portanto, há que considerar que é conveniente usar estas lâmpadas em locais que requerem permanecer ligadas durante 6 ou mais horas por dia.

# USO EFICIENTE E AVALIAÇÃO DA ECONOMIA DE ENERGIA

<b>Variáveis</b>	<b>Lâmpadas Fluorescentes Compactas 18 W</b>	<b>Lâmpadas Incandescentes Tradicionais 75 W</b>
horas de vida, eficiência luminosa	8 000 horas, 67 lm/W	1 000 horas, 13 lm/W
Consumo de energia em 8 000 horas	144 kWh	600 kWh
Consumo (em \$) em 8 000 horas	17	70,6
Economia em 8 000 horas (\$)	53,56	---



# SISTEMAS DE CONTROLE

Outra forma de fazer um uso eficiente da energia elétrica é utilizar sistemas de controle de luz permitindo uma real economia derivada dos seguintes benefícios:

- Prolongamento da vida útil das lâmpadas.
- Menor depreciação do fluxo luminoso.
- Menor custo de manutenção e reposição.
- Economia de energia elétrica ao usar os diferentes métodos de controle de luz.

# REQUISITOS PARA UMA BOA ILUMINAÇÃO

A qualidade de uma instalação de iluminação não somente consiste em que proporcione uma iluminação suficiente, mas também depende de outros fatores, tais como:

- O nível e distribuição da luminosidade.
- Direção da luz, formação e sombras e ofuscamento.
- Temperatura da cor.

# NIÍVEL E DISTRIBUIÇÃO DA LUMINOSIDADE

Em qualquer local deve haver um nível de iluminação que não dependa somente do fluxo luminoso irradiado pelas diferentes lâmpadas instaladas, mas que também seja alterada pela quantidade de luz refletida pelo teto, as paredes, os móveis e o chão.



# NÍVEL E DISTRIBUIÇÃO DA LUMINOSIDADE

Geralmente calcula-se para um plano de referência situado a 0,80 m acima do solo (altura de uma mesa).

Com um luxímetro (medidor de iluminação) pode-se comprovar se realmente é atingida a iluminação nominal necessária.

# **DIREÇÃO DA LUZ, SOMBRAS E OFUSCAMENTO**

A formação de sombras e o ofuscamento dependem da direção da luz, que resulta, por sua vez, da distribuição de intensidade das diferentes lâmpadas, bem como da sua disposição na sala.

## Formação de sombras

Quando os objetos em uma sala forem iluminados tão uniformemente que não produzam sombras, serão difíceis de reconhecer.

O manejo de ferramentas e o reconhecimento de materiais se tornam difíceis, ou às vezes inclusive fica falseado, com o que aumenta o perigo de acidentes. Deve ser evitada, assim sendo, uma iluminação totalmente isenta de sombras.

Mas, por outro lado, tampouco são recomendáveis as sombras fortes demais, como as que pode proporcionar uma lâmpada.

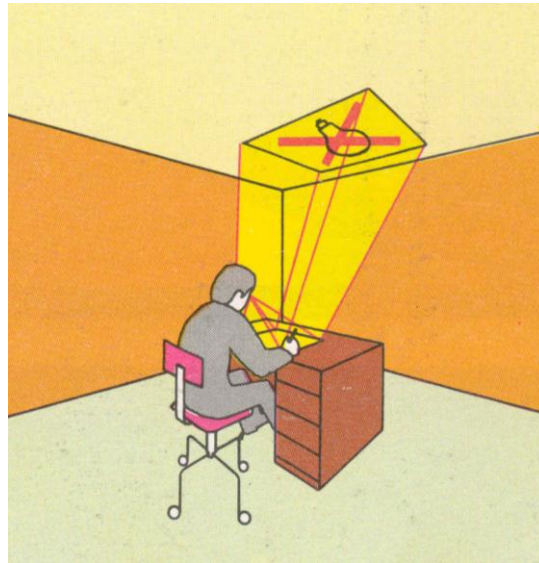
## **Ofuscamento**

O ofuscamento ocorre quando no campo visual encontra lâmpadas ou luminárias de grande iluminação, como, por exemplo, lâmpadas fluorescentes sem tela.

O ofuscamento reduz a capacidade visual, além de produzir fadiga no caso de permanecer um longo período na sala em questão.

# Ofuscamento

O ofuscamento pode ser evitado quando a escolha das lâmpadas e a sua disposição na sala é feita de maneira adequada.





# TEMPERATURA DE COR

As fontes luminosas emitem luz de diferentes comprimentos de onda, de tal modo que proporcionam diferentes cores.

Por conseguinte, para poder reconhecer perfeitamente um objeto é um fator decisivo a cor da luz da fonte.

# TEMPERATURA DE COR

A combinação de luminosidade, cor da luz e cor própria dos corpos em uma sala levam à chamada temperatura de cor, que repercute sobre o humor e bem-estar das pessoas. Ajustando cuidadosamente os diferentes componentes pode-se obter uma temperatura de cor harmônica.

# BOAS PRÁTICAS PARA UM EFICIENTE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

- Limpar periodicamente as luminárias, pois a sujeira diminui o nível de iluminação de uma lâmpada em até 20%.
- Desligar as luzes que não precisar.
- Avaliar a possibilidade de utilizar luz natural.
- Usar cores claras nas paredes, pisos e tetos, pois as cores escuras absorvem uma grande quantidade de luz e obrigam a utilizar mais lâmpadas.

# BOAS PRÁTICAS PARA UM EFICIENTE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

- Fazer circuitos de iluminação separados e por setor. Isso ajudará a iluminar somente os locais que precisa.
- Instalar superfícies refletoras, pois orienta e incrementa a iluminação e possibilita a redução de lâmpadas na luminária.
- Selecionar as lâmpadas que fornecem os níveis de iluminação requeridos em normas de acordo com o tipo de atividade que for desenvolvida.

# BOAS PRÁTICAS PARA UM EFICIENTE SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

- Utilizar lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão na iluminação de exteriores.
- Utilizar reatores eletrônicos, pois permitem economizar energia em até 10% e corrigem o fator de potência, bem como incrementam a vida útil das lâmpadas fluorescentes.
- Avaliar a possibilidade de instalar sensores de presença, temporizadores e/ou dimmers para o controle dos sistemas de iluminação.