

# Manual Luminotécnico Prático



Desde o início da iluminação elétrica, há mais de cem anos, vêm sendo desenvolvidos sistemas cada vez mais aperfeiçoados de fontes de luz artificial, caracterizando-se principalmente por um aumento de sua durabilidade e eficiência.

A OSRAM tem acompanhado passo a passo essa evolução, sempre investindo em tecnologia e no preparo do mercado consumidor, fornecendo subsídios aos estudantes, engenheiros, arquitetos e profissionais na luminotécnica; um instrumento útil para o exercício de suas atividades, dentro dos requisitos atuais de eficiência e conservação de energia.

Aqui apresentamos uma orientação para a execução de um projeto luminotécnico:

- 1 - Conceitos Básicos de Luminotécnica**
- 2 - Fundamentos do Projeto de Iluminação**
- 3 - Cálculo Luminotécnico**
- 4 - Exemplos de Aplicação**
- 5 - Anexos**

**OSRAM**

## Conteúdo

### Conceitos Básicos de Luminotécnica

- Grandezas
- Conceitos
- Características das Lâmpadas

1

### Fundamentos do Projeto de Iluminação

- Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação
  - Nível de Iluminância Adequada
  - Limitação de Ofuscamento
  - Proporção Harmoniosa entre Luminâncias
  - Efeitos Luz e Sombra
  - Reprodução de Cores
  - Tonalidade de Cor da Luz
  - Ar-Condicionado e Acústica

2

### Fatores de Desempenho

- Eficiência do Recinto
- Eficiência da Luminária
- Fator de Utilização
- Cálculo da Iluminação Geral (Método das Eficiências)
- Adequação dos Resultados ao Projeto
- Cálculo de Controle
- Definição dos Pontos de Iluminação
- Cálculo de Iluminação Dirigida
- Dimensionamento do Grau de Abertura do Facho Luminoso
- Avaliação do Consumo Energético
- Avaliação de Custos
  - Custos de Investimento
  - Custos de Investimento
- Cálculo de Rentabilidade

3

### Exemplos de Aplicação

- Exemplo 1 - Cálculo de Iluminação Geral (Método das Eficiências)
- Exemplo 2 - Cálculo de Iluminância (Método Ponto a Ponto)
- Exemplo 3 - Cálculo de Iluminação Dirigida (Fonte de Luz com Refletor)
- Exemplo 4 - Cálculo de Iluminação Dirigida (Abertura do Facho de Luz - Fonte de Luz com Refletor)

4

### ANEXOS

- Anexo 1 - Níveis de Iluminância Recomendáveis para Interiores
- Anexo 2 - Coeficiente de Reflexão de Alguns Materiais e Cores
- Anexo 3 - Temperatura de Cor (K) e Índice de Reprodução de Cores (IRC / %)
- Anexo 4 - Eficiência Aproximada de Luminárias
- Anexo 5 - Tabela de Eficiência do Recinto
- Anexo 6 - Acessórios para Lâmpadas

A

## Conceitos Básicos de Luminotécnica

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 seu entendimento.

1

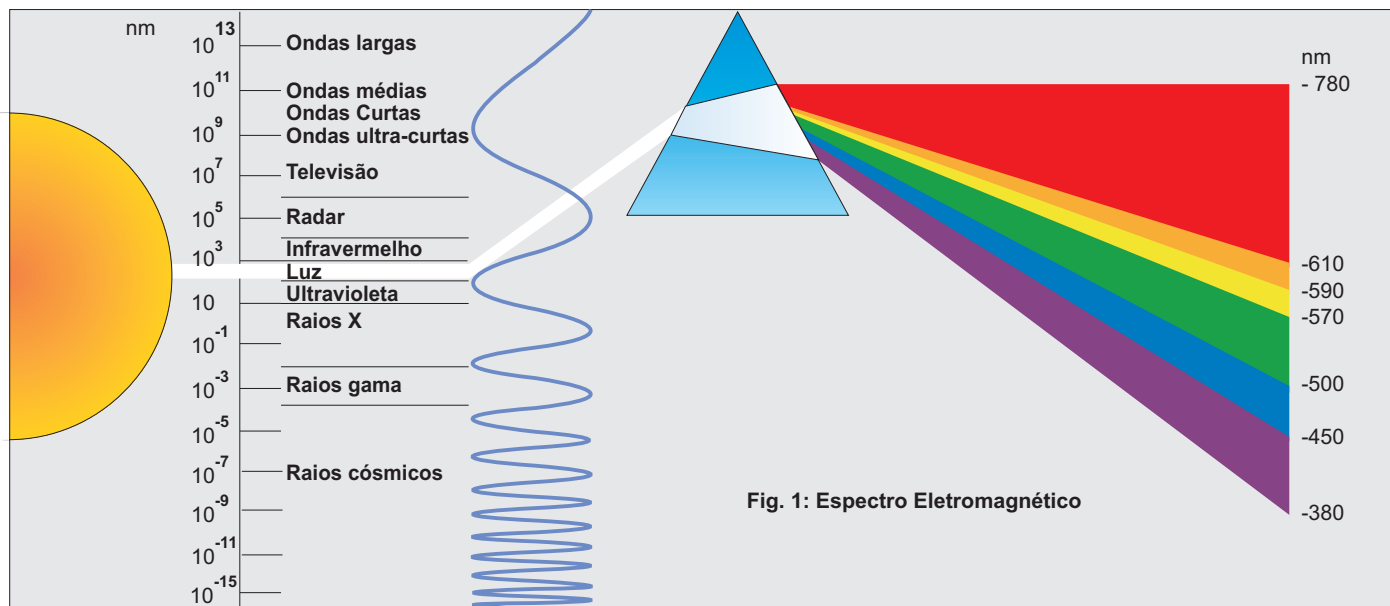


Fig. 1: Espectro Eletromagnético

### Grandezas

Uma fonte de radiação emite ondas eletromagnéticas. Elas possuem diferentes comprimentos, e o olho humano é sensível a somente alguns.

Luz é, portanto, a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual. (Figura 1)

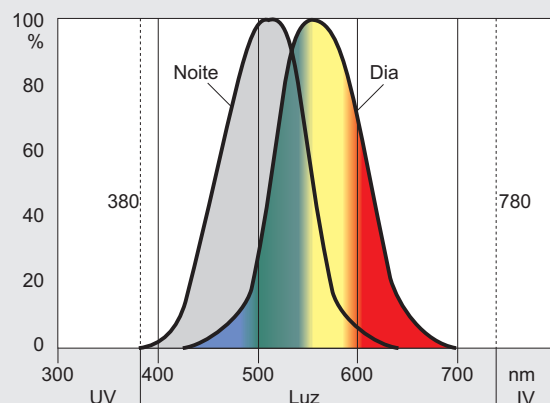
A sensibilidade visual para a luz varia não só de acordo com o comprimento de onda da radiação, mas também com a luminosidade.

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 (p. ex. Crepúsculo, noite, etc.), enquanto as radiações de maior comprimento de onda (laranja e vermelho) se comportam ao contrário. Este fenômeno se denomina Efeito Purkinje. (Figura 2)

Fluxo Luminoso é a radiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda mencionados (380 e 780 nm). (Figura 3)

Fig. 2: Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas



### Fluxo Luminoso

Fig. 3:



Símbolo:  $\Phi$   
Unidade: lúmen (lm)

### Fluxo Luminoso (lm)

O fluxo luminoso é a quantidade de luz emitida por uma fonte, medida em lúmens, na tensão nominal de funcionamento.

# Conceitos Básicos de Luminotécnica

## Conceitos

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. Portanto, é o Fluxo Luminoso irradiado na direção de um

determinado ponto.

(Figura 4)  
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. (Figura 5)

Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente essas são referidas a 1000 lm.

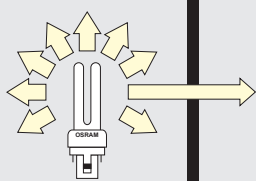
Nesse caso, é necessário multiplicar-se o valor encontrado na CDL pelo Fluxo Luminoso da lâmpada em questão e dividir o resultado por 1000 lm.

A luz que uma lâmpada irradia, relacionada à superfície na qual incide, define uma nova grandeza luminotécnica, denominada de Iluminamento ou Iluminância. (Figura 6)  
Em outras palavras, a equação que expressa essa grandeza é:

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

Como Fluxo Luminoso não é distribuído uniformemente, a Iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Considera-se por isso a Iluminância Média (Em). Existem normas especificando o valor mínimo de Em, para ambientes diferenciados pela atividade exercida. Alguns dos exemplos mais importantes estão relacionados no anexo 1.

Fig. 4: Intensidade Luminosa



Símbolo : I  
Unidade : cd (candela)

## Intensidade Luminosa (cd)

Expressa em candelas, é a intensidade do fluxo luminoso de uma fonte de luz com refletor ou de uma luminária, projetado em uma determinada direção. Uma candela é a intensidade luminosa de uma fonte pontual que emite um fluxo luminoso de um lúmen em um ângulo sólido de um esferoradiano.

Fig. 5: Curva de Distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B)

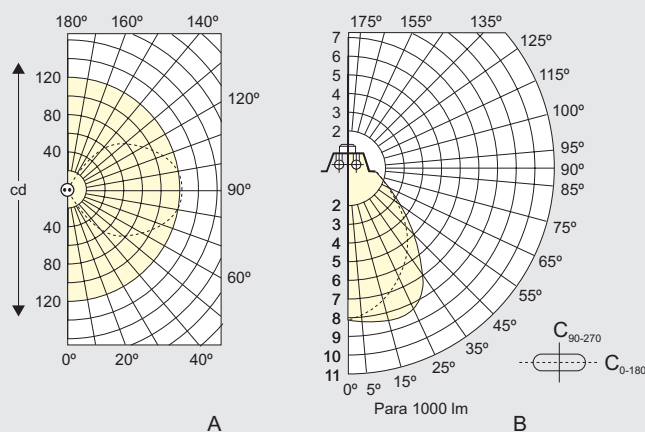
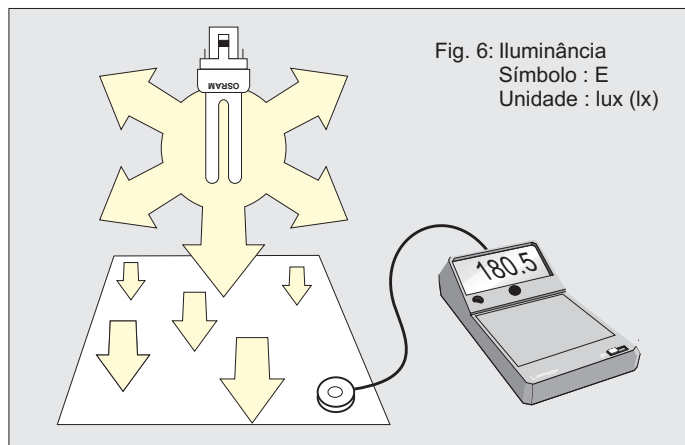


Fig. 6: Iluminância  
Símbolo : E  
Unidade : lux (lx)



## Iluminância (E)

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. É a relação entre intensidade luminosa e o quadrado da distância (I/d²). Na prática, é a quantidade de luz

dentro de um ambiente, e pode ser medida com o auxílio de um luxímetro. Para obter conforto visual, considerando a atividade que se realiza, são necessários certos níveis de iluminância médios. Os mesmos são recomendados por normas técnicas (ABNT - NBR 5523).

## Curva de Distribuição Luminosa

A distribuição espacial da intensidade luminosa de uma lâmpada refletora ou de uma luminária é definida como a distribuição luminosa na superfície. É conhecida como curva de distribuição luminosa que é apresentada em coordenadas polares (cd/1000 lm) para

diferentes planos. São estas curvas que indicam se, a lâmpada ou luminária, têm uma distribuição de luz concentrada, difusa, simétrica, assimétrica etc. de luz com refletor ou de uma luminária, projetado em uma determinada direção. Uma candela é a intensidade luminosa de uma fonte pontual que emite um fluxo luminoso de um lúmen em um ângulo sólido de um esferoradiano.

## Conceitos Básicos de Luminotécnica

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. (Figura 7)

Em outras palavras, é a Intensidade Luminosa que emana de uma superfície, pela sua superfície aparente. (Figura 8)

A equação que permite sua determinação é:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha}$$

onde

L = Luminância, em  $\text{cd}/\text{m}^2$

I = Intensidade Luminosa, em cd

A = área projetada, em  $\text{m}^2$

$\alpha$  = ângulo considerado, em graus

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

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

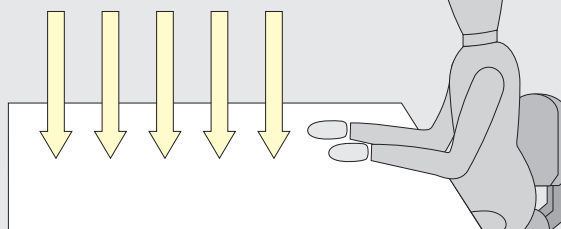
onde

$\rho$  = Refletência ou Coeficiente de Reflexão

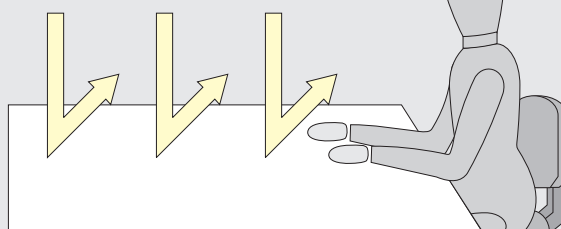
E = Iluminância sobre essa superfície, em lx

Como os objetos refletem a luz diferentemente uns dos outros, fica explicado porque a mesma Iluminância pode dar origem a Luminâncias diferentes. 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 (anexo 2).

Fig. 7: Iluminância - Luz incidente não é visível



Luminância - Luz refletida é visível



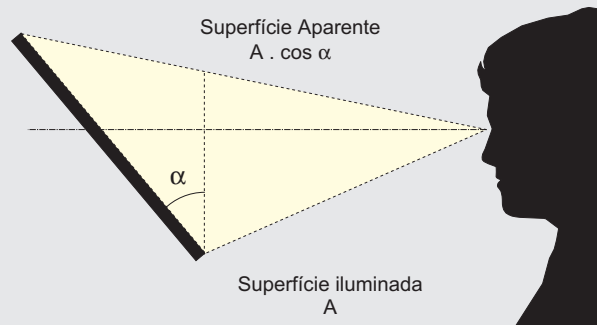
Luminância  
Símbolo : L  
Unidade :  $\text{cd} / \text{m}^2$  (candelas /  $\text{m}^2$ )

### Luminância (L)

Medida em  $\text{cd}/\text{m}^2$ , é a intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície existente.

Fig. 8:

Representação da superfície aparente e ângulo considerado para cálculo da Luminância.





## Conceitos Básicos de Luminotécnica

### Características das Lâmpadas

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 Energética (antigo "Rendimento Luminoso"). (Figura 10)

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 6500 K). 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.

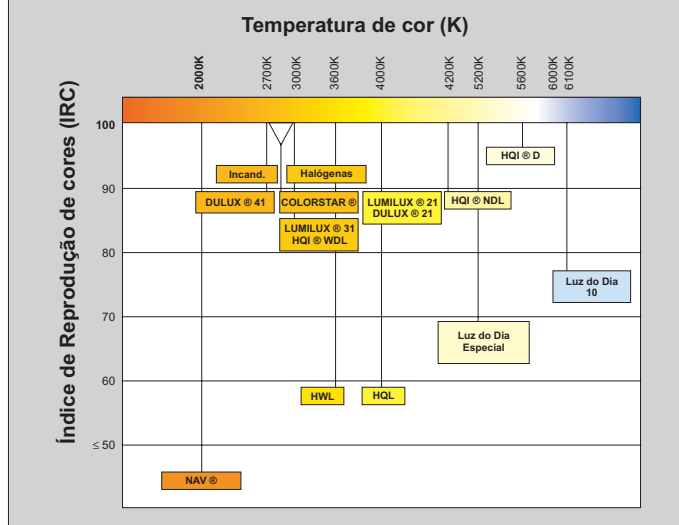
Objetos iluminados podem nos parecer diferentes, mesmo se as fontes de luz tiverem idêntica tonalidade. As variações de cor dos objetos iluminados sob fontes de luz diferentes podem ser identificadas através de um outro

conceito, Reprodução de Cores, e de sua escala qualitativa Índice de Reprodução de Cores (Ra ou IRC). O mesmo metal sólido, quando aquecido até irradiar luz, foi utilizado como referência para se estabelecer níveis de Reprodução de Cor. Define-se que o IRC neste caso seria um número ideal = 100. Sua função é como dar uma nota (de 1 a 100) para o desempenho de outras fontes de luz em relação a este padrão.

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. Com isso, explica-se o fato de lâmpadas de mesma Temperatura de Cor possuírem Índice de Reprodução de Cores diferentes. (Figura 9)

No anexo 3 vê-se um resumo de tipos de lâmpada com a indicação de suas Tonalidades de Cor e Índices de Reprodução de Cores.

Fig. 9: Tonalidade de Cor e Reprodução de Cores



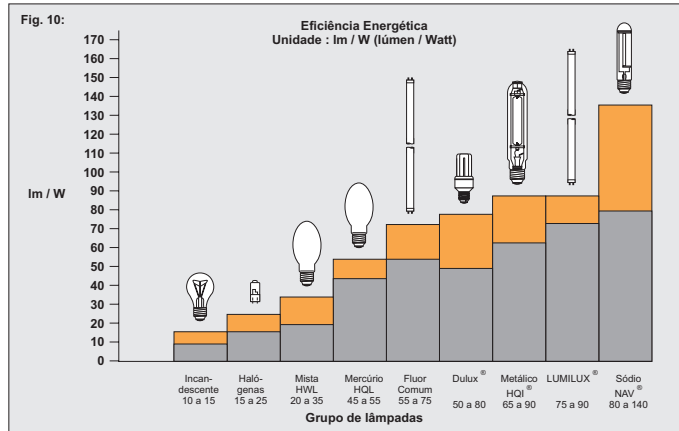
#### Temperatura de Cor (K) / Aparência de cor da Luz

Temperatura de Cor é a grandeza que expressa a aparência de cor da luz, sendo sua unidade o Kelvin (K). Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a cor da luz.

#### Eficiência Energética (lm/W)

Eficiência Energética é a relação entre o fluxo luminoso e a potência consumida. Portanto por um watt consumido, uma lâmpada incandescente standard clara produz de 10 a 15 lm/W, uma fluorescente compacta DULUX, de 50 a 80 lm/W, e uma vapor de sódio NAV, de 80 a 140 lm/W.

Fig. 10:



#### Índice de Reprodução de Cor (Ra / IRC)

O Índice de Reprodução de Cor é a medida de correspondência entre a cor das superfícies e sua aparência sob uma fonte de referência. Para determinar os valores do RA/IRC das fontes de luz, são definidas oito cores de teste, que predominam no meio ambiente. As mesmas são iluminadas com a fonte de luz de referência (com IRC de 100%) e a fonte de luz a ser testada. Quanto menor ou maior for o desvio de rendimento da cor iluminada e testada, melhor ou pior serão as propriedades de rendimento de

cor da fonte de luz. Uma fonte de luz com Ra de 100% faz com que todas as cores sejam apresentadas perfeitamente, como se estivessem sob a fonte de luz de referência. Quanto menor for o valor do Ra pior será o rendimento de cores da superfície iluminada. Exemplos: Lâmpadas Halógenas têm um índice de reprodução de cor  $RA > 99$ , portanto oferecem as propriedades ideais de rendimento de cor. Para outros exemplos consultar catálogo.

## Fundamentos do Projeto de Iluminação

Uma vez definidas as grandezas utilizadas nos projetos, pode-se partir para o planejamento de um sistema de iluminação.

Um projeto luminotécnico pode ser resumido em:

- Escolha da lâmpada e da luminária mais adequada.
- Cálculo da quantidade de luminárias.
- Disposição das luminárias no recinto.
- Cálculo de viabilidade econômica.

O desenvolvimento de um projeto exige uma metodologia para se estabelecer uma sequência lógica de cálculos.

A metodologia recomendada propõe as seguintes etapas:

- 1) Determinação dos objetivos da iluminação e dos efeitos que se pretende alcançar.
- 2) Levantamento das dimensões físicas do local, lay-out, materiais utilizados e características da rede elétrica no local.
- 3) Análise dos Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação.
- 4) Cálculo da iluminação geral (Método das Eficiências).
- 5) Adequação dos resultados ao projeto.
- 6) Cálculo de controle.
- 7) Definição dos pontos de iluminação.
- 8) Cálculo de iluminação dirigida.
- 9) Avaliação do consumo energético.
- 10) Avaliação de custos.
- 11) Cálculo de rentabilidade.

Supondo que os itens 1 e 2 sejam de domínio do leitor, analisaremos neste capítulo as etapas subsequentes.

### Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação

#### Nível de Iluminância Adequada

Quanto mais elevada a exigência visual da atividade, maior deverá ser o valor da Iluminância Média (Em) sobre o plano de trabalho. Deve-se consultar a norma NBR-5413 para definir o valor de Em 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. (Figura 14)

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.

Nesse Manual consideraremos 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  $F_d = 1,67$ .

Fig. 14: Compensação da depreciação no cálculo da Iluminância Média (Fator de Depreciação), para ambientes com boa manutenção

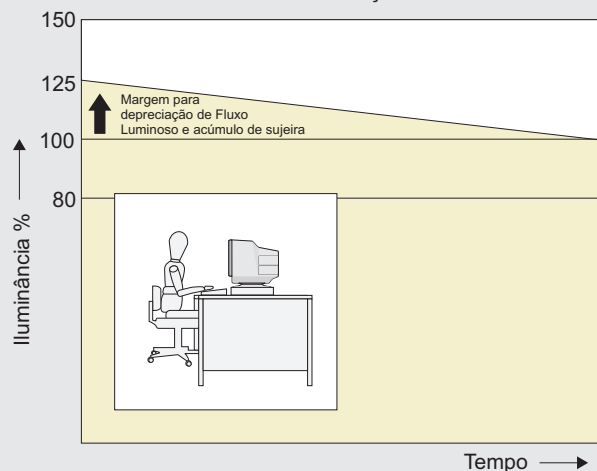


Fig. 15:



#### Limitação de Ofuscamento

Duas formas de ofuscamento podem gerar incômodos:

- Ofuscamento direto, através de luz direcionada diretamente ao campo visual.
  - Ofuscamento reflexivo, através da reflexão da luz no plano de trabalho, direcionando-a para o campo visual.
- 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 15.

O posicionamento e a Curva de Distribuição Luminosa devem ser tais que evitem prejudicar as atividades do usuário da iluminação.

## Fundamentos do Projeto de 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. (Figura 16)

### Efeitos 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.

### Reprodução de Cores

A cor de um objeto é determinada pela reflexão de parte do espectro de luz 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.

É importante notar que, assim como para Iluminância média, existem normas que regulamentam o uso de fontes de luz com determinados índices, dependendo da atividade a

ser desempenhada no local. (Figura 18)

### Tonalidade de Cor da Luz

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. (Figura 17)

Estudos subjetivos afirmam que para Iluminâncias mais elevadas são requeridas lâmpadas de Temperatura de Cor mais elevada também.

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.

### Ar-Condicionado e Acústica

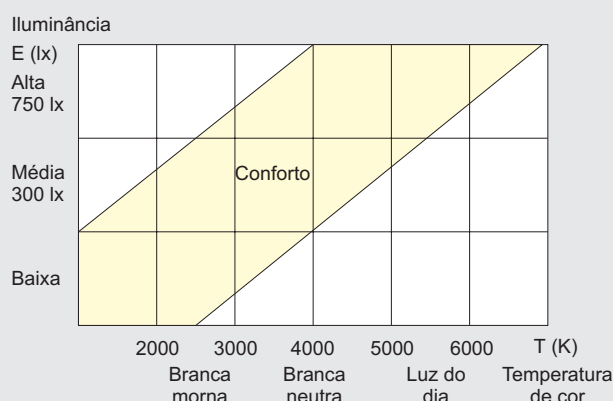
O calor gerado pela iluminação não deve sobrecarregar a refrigeração artificial do ambiente.

Há um consenso que estabelece que um adulto irradia o calor equivalente a uma lâmpada incandescente de 100W.

Portanto, fontes de luz mais eficientes colaboram para bem-estar, além de se constituírem em menos carga térmica ao sistema



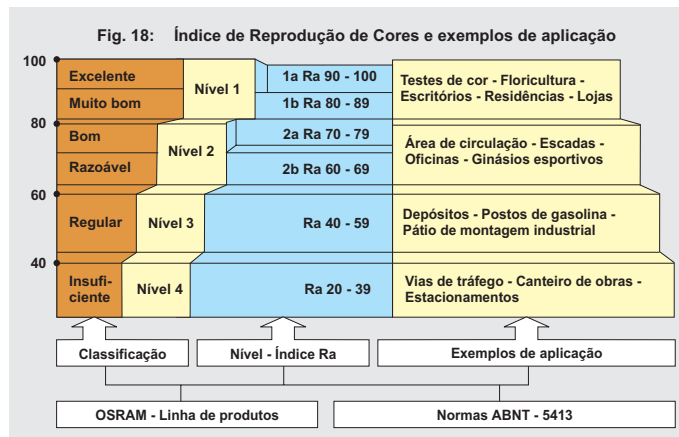
Fig. 17: Relação de conforto ambiental entre nível de Iluminância e Tonalidade de Cor da lâmpada



de condicionamento de ar.

O sistema de iluminação pode comprometer a acústica de um ambiente através da utilização de equipamentos auxiliares (reatores e

transformadores eletromagnéticos). Uma solução bastante eficiente, com ausência total de ruídos, é o emprego de sistemas eletrônicos nas instalações.





## 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.

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.

Esse valor é normalmente, indicado pelos fabricantes de luminárias. Não havendo informação disponível, podem ser usados os valores da tabela do anexo 4, que apresenta valores médios de eficiência para luminárias em geral, agrupadas por tipos.

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.

Essa condição de mais ou menos favorabilidade é avaliada pela Eficiência do Recinto.

O valor da Eficiência do Recinto é dado por tabelas, contidas no anexo 5, 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.

O Índice do Recinto é a relação entre as

dimensões do local, dada por:

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

para iluminação direta

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

para iluminação indireta

sendo

a = comprimento do recinto

b = largura do recinto

h = pé-direito útil

h' = distância do teto ao plano de trabalho

Pé-Direito Útil é o valor do pé-direito total do recinto (H), menos a altura do plano de trabalho (hpl.tr.), menos a altura do pendente da luminária (hpend). Isto é, é a distância real entre a luminária e o plano de trabalho (Figura 11).

Como já visto, o Fluxo Luminoso emitido por uma lâmpada sofre influência do tipo de luminária e a conformação física do recinto onde ele se propagará. O Fluxo Luminoso final (útil) que incidirá sobre o plano de trabalho, é avaliado pelo Fator de Utilização. Ele indica, portanto, a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto.

O produto da Eficiência do Recinto (hR) pela Eficiência da Luminária (hL) nos dá o Fator de Utilização (Fu).

$$Fu = \eta_L \cdot \eta_R$$

Determinados catálogos indicam tabelas de Fator de Utilização para suas luminárias. Apesar de

estas serem semelhantes às tabelas de Eficiência do Recinto, os valores nelas encontrados não precisam ser multiplicados pela Eficiência da Luminária, uma vez que cada tabela é específica para uma luminária e já considera a sua perda na emissão do Fluxo Luminoso.

## Eficiência da Luminária

Eficiência da luminária é um importante critério de economia de energia e decisivo para os cálculos luminotécnicos. É a relação entre o fluxo luminoso da luminária e o fluxo luminoso total de cada lâmpada, sob condições específicas. As condições específicas são: posição de funcionamento da luminária, temperatura ambiente padrão de 25° C para luminárias de uso interno e, 15° C para uso externo.

## Índice do Recinto (K)

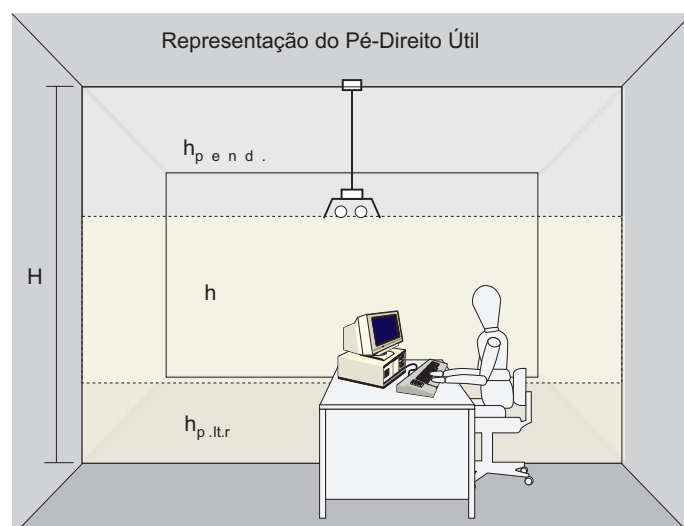
É a relação entre as dimensões do local seja, para iluminação direta ou para indireta.

## Eficiência do Recinto (%)

São valores apresentados em tabelas, onde estão relacionados os valores de Coeficiente de Reflexão do teto, parede e piso, com a Curva de Distribuição Luminosa da luminária utilizada e o índice do recinto.

## Fator de Utilização

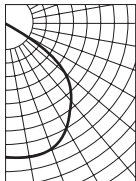
É o fator que indica a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto.



# OSRAM

Fatores de Desempenho

Fig.12 - Parte da Tabela de Eficiência do Recinto - extraída do anexo 5

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 1.2		0,6	0,72	0,48	0,42	0,47	0,42	0,68	0,47	0,41	0,47	0,41	0,40	
		0,8	0,85	0,61	0,54	0,59	0,53	0,80	0,59	0,53	0,58	0,52	0,52	
		1	0,94	0,69	0,62	0,67	0,61	0,87	0,67	0,61	0,65	0,60	0,59	
		1,25	1,01	0,78	0,71	0,75	0,69	0,92	0,75	0,68	0,73	0,68	0,66	
		1,5	1,05	0,83	0,75	0,80	0,74	0,96	0,80	0,73	0,77	0,72	0,71	
		2	1,11	0,91	0,84	0,87	0,81	1,00	0,86	0,80	0,84	0,79	0,78	
		2,5	1,15	0,97	0,90	0,92	0,87	1,02	0,91	0,85	0,88	0,83	0,82	
		3	1,18	1,02	0,96	0,96	0,91	1,04	0,94	0,89	0,91	0,87	0,86	
		4	1,21	1,09	1,02	1,02	0,96	1,05	0,97	0,94	0,95	0,91	0,90	
		5	1,23	1,12	1,06	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	0,97	0,94	0,92	

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 (respectivamente r1, r2, r3). 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, encontram-se o valor da Eficiência do Recinto (hR). (Figura 12 - Anexo 5)

Eficiência da Luminária

Certos catálogos (Figura 13) fornecem a Curva de Distribuição Luminosa junto à Curva Zonal de uma luminária. A Curva Zonal nos indica o valor da

Eficiência da Luminária, em porcentagem. (Figura 13A e Figura 13B)

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). (Figura 13C)

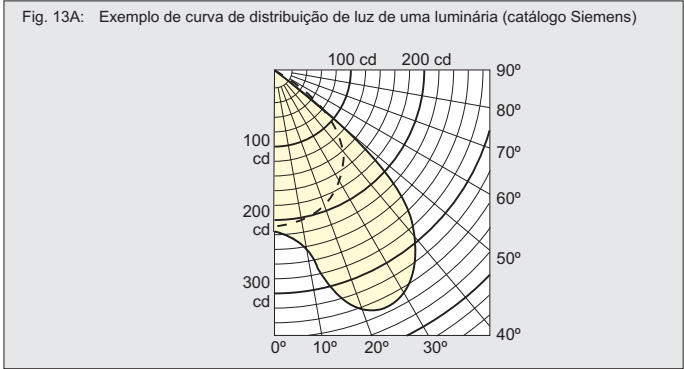
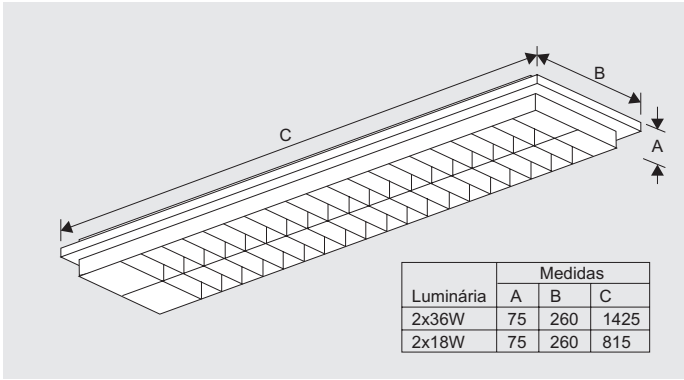
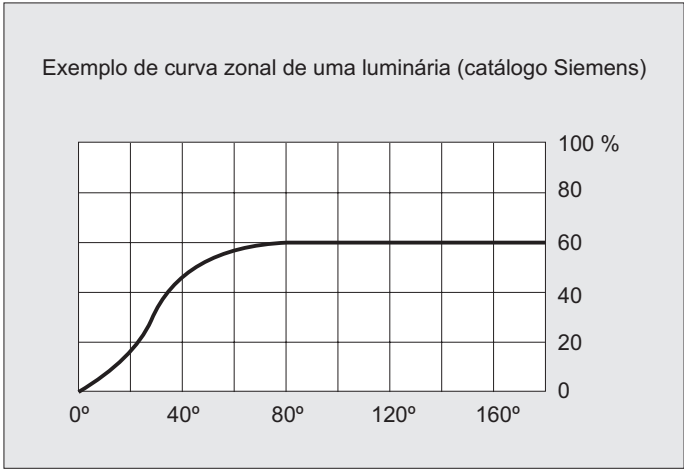


Fig.13C

Exemplo de tabela de Fator de Utilização de luminária (Catálogo Siemens)

K	751	731	711	551	531	511	331	331
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



## Fatores de Desempenho

### Cálculo da Iluminação Geral (Método das Eficiências)

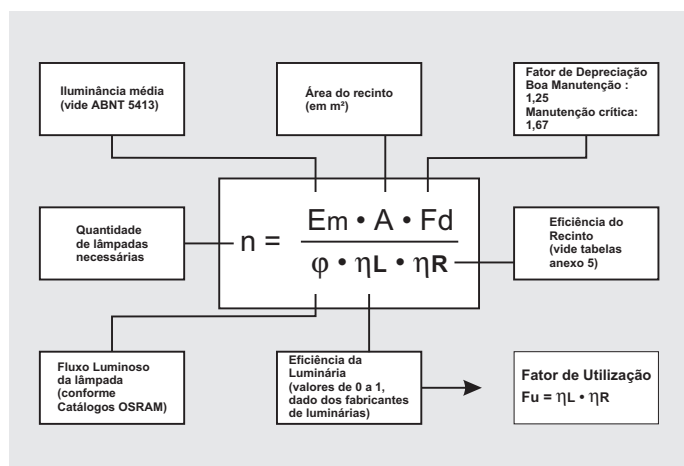
#### Sequência de cálculo:

1 - Escolha da lâmpada adequada

2 - Escolha da luminária adequada

### 3 - Cálculo da quantidade de luminárias:

Para o cálculo da quantidade de luminárias, usa-se o seguinte método, necessário para se chegar à Iluminância Média ( $E_m$ ) exigida por norma.



### Adequação dos Resultados ao Projeto

Se a quantidade de luminárias resultantes do cálculo não for compatível com sua distribuição desejada, recomenda-se sempre o acréscimo de luminárias e não a eliminação, para que não haja prejuízo do nível de Iluminância desejado.

### Cálculo de Controle

Definida a quantidade de luminárias desejada, pode-se calcular exatamente a Iluminância Média alcançada.

### Definição dos Pontos de Iluminação

Os pontos de iluminação devem preferencialmente ser distribuídos uniformemente no recinto, levando-se em conta o layout do mobiliário, o direcionamento da luz para a mesa de trabalho e o

próprio tamanho da luminária. Recomenda-se que a distância "a" ou "b" entre as luminárias seja o dobro da distância entre estas e as paredes laterais (vide Figura 20).

### Cálculo de Iluminação Dirigida

Se a distância "d" entre a fonte de luz e o objeto a ser iluminado for no mínimo 5 vezes maior do que as dimensões físicas da fonte de luz, pode-se calcular a Iluminância pelo Método de Iluminação Pontual, aplicando-se a fórmula:

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

onde:  
I = Intensidade Luminosa lançada verticalmente sobre o ponto considerado. (Figura 21)

Fig. 20: Recomendação quanto às distâncias entre luminárias e paredes laterais

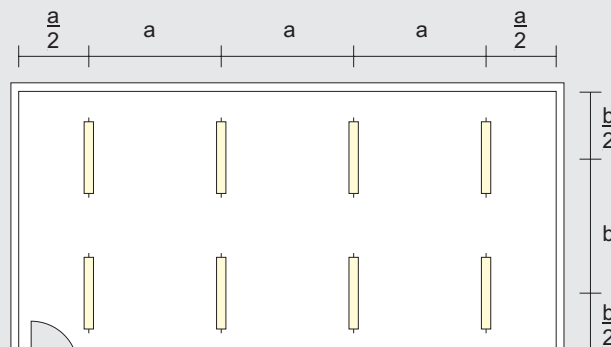
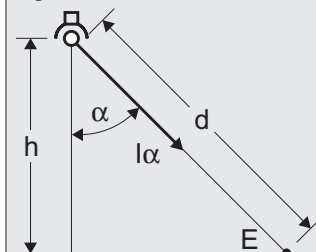


Fig.21:



Fig.22:



Esse método demonstra que a Iluminância ( $E$ ) é inversamente proporcional ao quadrado da distância. Por exemplo, dobrando-se a distância entre a fonte de luz e o objeto, reduz-se a distância entre a fonte de luz e o objeto, reduz-se a distância entre a fonte de luz e o objeto, reduz-se a Iluminância sobre o objeto a um quarto de seu valor anterior. Se a incidência da luz não for perpendicular ao plano do objeto, a fórmula passa a ser:

$$E = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{d^2}$$

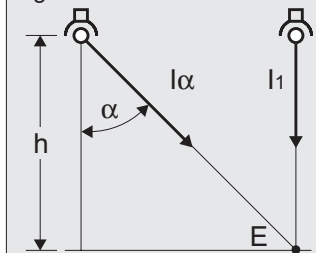
como

$$d = \frac{h}{\cos \alpha}$$

tem-se:

$$E = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}$$

Fig.23:



Assim a Iluminância ( $E$ ) em um ponto é o somatório de todas as Iluminâncias incidentes sobre esse ponto oriundas de diferentes pontos de luz, ou seja:

$$E = \frac{I_1}{h^2} + \sum \left( \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \right)$$

## Fatores de Desempenho

### Dimensionamento do Grau de Abertura do Facho Luminoso

O grau de abertura do fecho luminoso, é função do ângulo  $\beta$  dado por:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{r}{d}$$

$$r = d \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$D = 2 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$\beta = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r}{d}$$

$$2\beta = 2 \cdot \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r}{d}$$

$$\alpha = 2 \cdot \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r}{d}$$

As grandezas são representadas na figura 24.

O ângulo de radiação fornecido nos catálogos OSRAM é o ângulo definido pelo limite de 50% da Intensidade Luminosa máxima. (Figura 25)

### Avaliação do Consumo Energético

Além da quantidade de lâmpadas e luminárias, bem como do nível de Iluminância, é imprescindível a determinação da potência da instalação, para se avaliar os custos com energia e assim desenvolver-se um estudo de rentabilidade entre diversos projetos apresentados. O valor da "Potência por m<sup>2</sup>" é um índice amplamente divulgado e, quando corretamente calculado, pode ser o indicador de projetos luminotécnicos mais econômicos. Para tanto, calcula-se

inicialmente a Potência Total Instalada. É o somatório da potência de todos os aparelhos instalados na iluminação. Trata-se aqui da potência a lâmpada multiplicada pela quantidade de unidades utilizadas ( $n$ ), somado à potência consumida de todos os reatores, transformadores e/ou ignitores.

O anexo 6 contém as definições e recomendações sobre o uso destes equipamentos. Os catálogos OSRAM contém dados orientativos referentes as perdas dos equipamentos auxiliares (em watts) para as respectivas lâmpadas.

Uma vez que os valores resultantes são elevados, a Potência Total Instalada é expressa em quilowatts, aplicando-se portanto o quociente 1000 na equação.

$$P_t = \frac{n \cdot W^*}{1000}$$

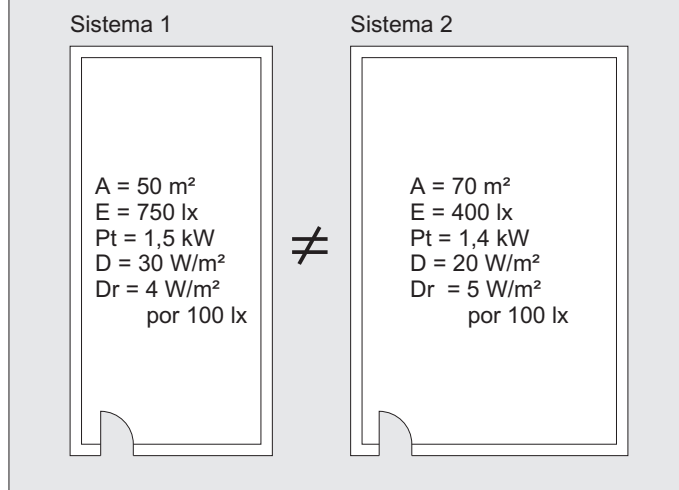
\*  $W$  = potência consumida pelo conjunto lâmpada + acessórios.

Densidade de Potência é a Potência Total Instalada em watt para cada metro quadrado de área.

$$D = \frac{P_t \cdot 1000}{A}$$

Essa grandeza é muito útil para os futuros cálculos de dimensionamento de sistemas de ar-condicionado ou mesmo dos projetos elétricos de uma instalação. A comparação entre projetos luminotécnicos somente se torna efetiva quando se leva em conta níveis de Iluminância

Fig. 26: Exemplos de avaliação do consumo energético



iguais para diferentes sistemas. Em outras palavras, um sistema luminotécnico só é mais eficiente do que outro, se, ao apresentar o mesmo nível de Iluminância do outro, consumir menos watts por metro quadrado. Portanto, faz-se necessário o conceito de Densidade de Potência Relativa. É a Densidade de Potência Total Instalada para cada 100 lx de Iluminância. Logo:

$$D_r = \frac{P_t}{\frac{A \cdot E}{100}}$$

$$D_r = \frac{D \cdot 100}{E}$$

Tomando-se como exemplo duas instalações comerciais, (Figura 26) tem-se a primeira impressão de que a instalação 2 é mais eficiente do que a 1, já que a Densidade de Potência é:

$$D_{r1} = \frac{1500}{50} = 30 \text{ W/m}^2$$

$$D_{r2} = \frac{1400}{70} = 20 \text{ W/m}^2$$

Porém, ao avaliar-se a eficiência, é preciso verificar a Iluminância em ambos os casos. Supondo-se

$$E_1 = 750 \text{ lx}$$

$$E_2 = 400 \text{ lx}$$

com esses dados, a Densidade de Potência Relativa ( $D_r$ ) é:

$$D_{r1} = \frac{30 \text{ W/m}^2}{\frac{750 \text{ lx}}{100 \text{ lx}}} = 4 \text{ W/m}^2 \text{ por } 100 \text{ lx}$$

e

$$D_{r2} = \frac{20 \text{ W/m}^2}{\frac{400 \text{ lx}}{100 \text{ lx}}} = 5 \text{ W/m}^2 \text{ por } 100 \text{ lx}$$

Logo, a instalação 2 consome menos energia por metro quadrado, mas também fornece menos luz. Na realidade, a instalação 1 é mais eficiente.



## Fatores de Desempenho

### Avaliação de Custos

Um projeto luminotécnico somente é considerado completo quando se atentar para o cálculo de custos, quais sejam:

#### Custos de Investimento:

É o somatório dos custos de aquisição de todos os equipamentos que compõem o sistema de iluminação, tais como lâmpadas, luminárias, reatores, transformadores, ignitores e a fiação, acrescidos dos custos de mão de obra dos profissionais envolvidos, desde a elaboração do projeto à instalação final. (Figura 27)

#### Custos Operacionais:

É o somatório de todos os custos apresentados após a completa instalação do sistema de iluminação, concentrados nos custos de manutenção das condições luminotécnicas do projeto e os custos de energia consumida. (Figura 28)

O custo mensal de manutenção das lâmpadas engloba o custo de aquisição de novas unidades e o custo da mão de obra necessária a executar a manutenção. Esse custo resulta da soma das horas mensais de utilização das lâmpadas dividida pela sua vida útil. O quociente que assim se obtém, informa o número de lâmpadas que serão repostas, e seu valor deve ser multiplicado pelo preço da lâmpada nova. Já o custo da mão de obra para realizar essa reposição é dado em função da remuneração por hora de trabalho do respectivo profissional. O tempo de reposição por

lâmpada deve ser multiplicado pelo número de lâmpadas repostas por mês. Esse custo é bastante significativo em instalações de difícil acesso, como iluminação pública, quadras de esporte, etc. O fator decisivo no custo operacional é o custo de energia elétrica, que corresponde à Potência Total Instalada (Pt), multiplicada pelas horas de uso mensal e pelo preço do kWh. Ao se optar por um sistema mais eficiente, este custo sofre substancial redução.

#### Cálculo de Rentabilidade

A análise comparativa de dois sistemas luminotécnicos, para se estabelecer qual deles é o mais rentável, leva em consideração tanto os custos de investimento quanto operacionais. Geralmente o uso de lâmpadas de melhor Eficiência Energética leva a um investimento maior, mas proporciona economia nos custos operacionais.

Decorre daí a amortização dos custos, ou seja, há o retorno do investimento dentro de um dado período. O tempo de retorno é calculado pelo quociente da diferença no investimento pela diferença na manutenção. Feitos os cálculos, os valores podem ser alocados em gráficos, como por exemplo o da figura 29, onde visualiza-se a evolução das despesas no tempo. O ponto de interseção das linhas indica o instante de equalização destes custos.

Fig. 27: Comparação entre custos operacionais

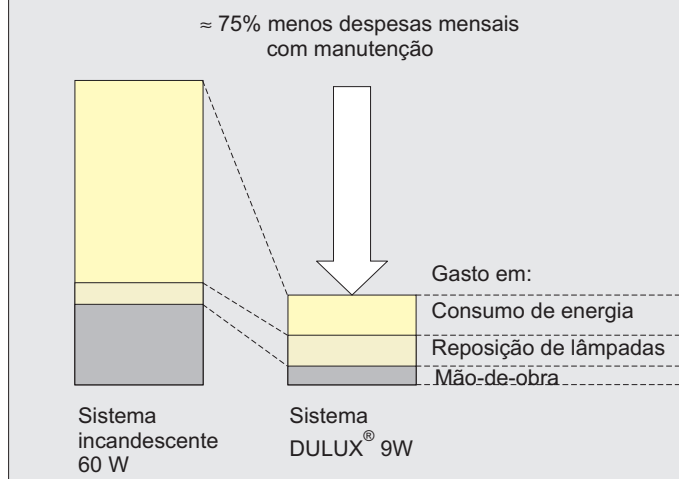


Fig. 28 Comparação entre custos de investimento

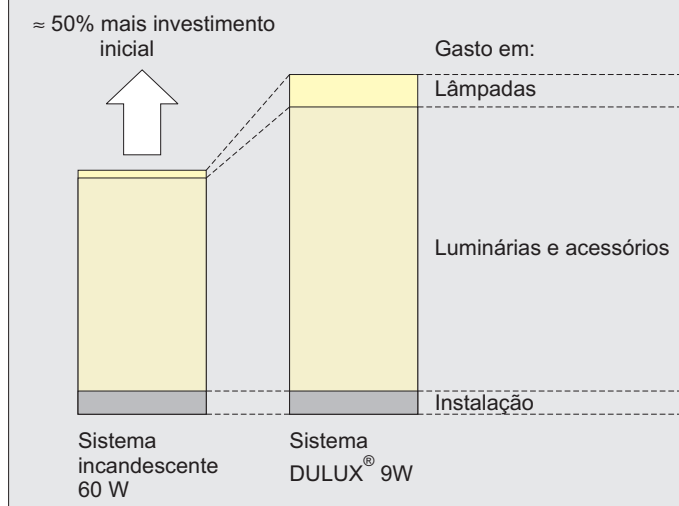
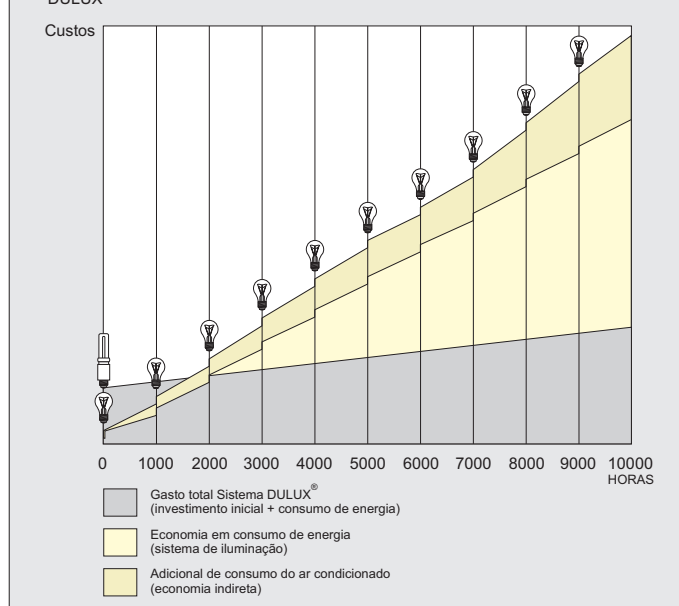


Ilustração da evolução das despesas entre sistemas de iluminação incandescente e DULUX®



## Exemplos de Aplicação

### Exemplo 1 - Cálculo de Iluminação Geral (Método das Eficiências):

#### Iluminação da sala de um escritório:

Empregando-se o Método das Eficiências para quantificar-se o número de luminárias ou calcular-se a Iluminância para um recinto qualquer, pode-se fazer uso da sequência de cálculo a seguir, apresentada em forma de planilha.

Foi elaborado um cálculo, como exemplificação, que desenvolve passo a passo o processo, e deve ser consultado como guia, sempre que necessário. A planilha completa se encontra anexa, e servirá de formulário de resolução da maioria dos casos de iluminação interna que se apresentarem. Para tanto, recomenda-se que suas colunas sejam mantidas em branco e que ela sirva de modelo para cópias.

Vamos seguir o processo descrito no capítulo 3 (Fundamentos do Projeto de Iluminação)

#### Dados Básicos Pré-Cálculo:

##### Local:

- Escritório de contabilidade (Figura 30)

##### Atividades:

- Administrativas (leitura, datilografia, etc.)
- Operação de microcomputadores.

##### Objetivos da iluminação:

- Proporcionar boas condições de trabalho.
- Evitar reflexos no vídeo do terminal/conforto visual.
- Evitar alto consumo de energia.

#### Dimensões físicas do recinto:

- Comprimento: 10,00 m
- Largura: 7,50 m
- Pé-direito: 3,50 m
- Altura do plano de trabalho: 0,80 m

#### Materiais de construção/equipamentos

- Teto: Forro de gesso pintado/cor bege palha.
- Paredes: pintadas/cor bege palha; duas paredes com persiana/cor bege palha;
- Piso: carpete/cor caramelo.
- Mobiliário: mesas e armários de fórmica/cor bege palha; cadeiras forradas/cor caramelo.
- Ar-condicionado central com acionamento individualizado.

#### Características do fornecimento de energia elétrica:

- Tensão estável na rede (220V)
- Custo de kWh: US\$ 0,10
- Acendimento individualizado (interruptor na entrada da sala)
- Pontos de energia próximo às mesas.

#### Análise dos Fatores de Influência na Qualidade da Iluminação:

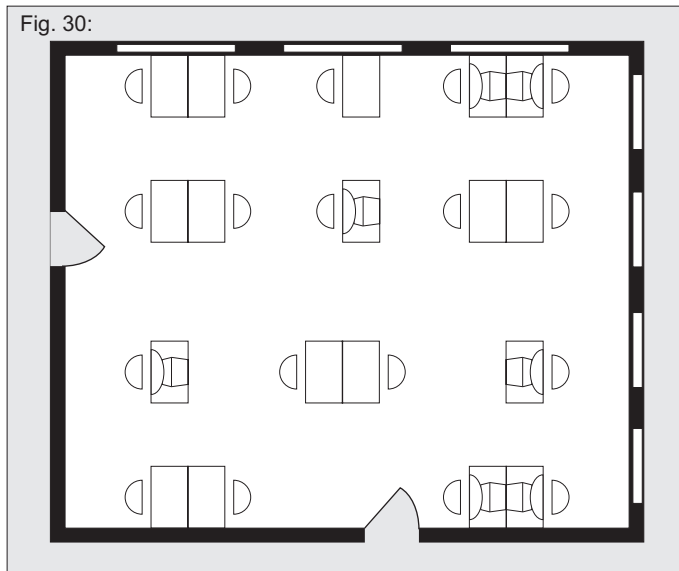
##### Nível de Iluminância

##### Adequado

Consultando-se a norma NBR-5413 ou o resumo fornecido no anexo 1 deste Manual, estipula-se a Iluminância Média de escritórios em  $E_m = 500 \text{ lx}$ .

Fator de Depreciação ( $F_d$ ): ambiente salubre, com boa manutenção (em caso de queima, troca imediata; limpeza das luminárias a cada 6 meses).  $F_d = 1,25$  (corresponde a uma margem de depreciação de

Fig. 30:



20% da Iluminância Média necessária).

#### Limitação de Ofuscamento

Ofuscamento não deverá ocorrer, uma vez que superfícies dos móveis e objetos não são lisas ou espelhadas. O Ofuscamento Direto será evitado se forem empregadas luminárias, cujo ângulo de abertura de fecho acima de  $45^\circ$  não apresentar Luminância acima de  $200 \text{ cd/m}^2$ .

Obs.: algumas luminárias para lâmpadas fluorescentes são já indicadas pelos seus fabricantes para sua utilização em áreas de terminais de vídeo ou microcomputadores.

#### Proporção Harmoniosa entre Luminâncias

Partindo-se do princípio de que a iluminação se distribuirá de uma forma homogênea pela sala, e que as janelas estarão recobertas por persianas, conclui-se que não haverá diferenças muito grandes entre as Luminâncias, já que os Coeficientes de Reflexão dos componentes da sala (Refletâncias) também não se

diferenciam acentuadamente. A proporção entre as Luminâncias recomendada será provavelmente alcançada através da natural variação de Luminâncias incidentes sobre as diferentes superfícies.

#### Efeitos Luz e Sombra

As luminárias deverão ser colocadas lateralmente às mesas de trabalho, para se evitar que haja reflexo ou sombra que prejudique as atividades.

Recomenda-se que as janelas localizadas diante dos terminais de vídeo sejam protegidas por persianas ou cortinas, para se evitar que a alta Luminância seja refletida e que o operador faça sombra sobre a tela.

#### Tonalidade de Cor da Luz

Para o ambiente de um escritório, e Iluminância de  $500 \text{ lx}$ , recomenda-se que a Tonalidade de Cor da luz seja Branca Neutra (aproximadamente  $4000 \text{ K}$ ). Na linha fluorescente OSRAM, o código para esta tonalidade é cor 21 (anexo 3).

## Exemplos de Aplicação

### Reprodução de Cores

Aconselha-se que o Índice de Reprodução de Cores para este tipo de trabalho seja acima de 80 (anexo 3). As lâmpadas fluorescentes de pó trifósforo preenchem este requisito.

### Ar-condicionado e Acústica

O ruído que fosse originado pelo funcionamento das luminárias, caso sejam elas equipadas com lâmpadas fluorescentes e seus respectivos reatores, seria facilmente absorvido pelo forro de gesso onde elas estariam embutidas, não prejudicando o trabalho no local.

O ar-condicionado será cerca de 25% menos carregado se a instalação for feita com lâmpadas fluorescentes, e não incandescentes, já que as primeiras irradiam muito menos calor.

### Escolha das Lâmpadas

Os dados anteriores nos levam a concluir que o tipo de lâmpadas indicado para este projeto é a fluorescente LUMILUXâ cor 21. Ela existe nas versões de 18, 36 e 58W. Optaremos pela versão LUMILUXâ 36W/21, porque o salão é amplo, não há limitação física de comprimento da lâmpada, e sua aquisição é mais compensadora.

Os dados da lâmpada são obtidos nos catálogos OSRAM. À saber:

- LUMILUXâ 36W cor 21
- Fluxo luminoso: 3350 lm
- Temperatura de cor: 4000 K Branca Fria
- Índice de reprodução de cor: 85%.

### Escolha da Luminária

A luminária poderá ser de

embutir, de alta eficiência, e aletas metálicas que impeçam o ofuscamento. Os modelos mais modernos possuem refletores parabólicos que limitam a angulação do fecho luminoso, tornando-se adequados para o seu emprego em salas de computadores.

### Cálculo da Quantidade de Luminárias

Uma vez já definidas todas as bases conceituais para o cálculo, seguiremos a sequência da planilha.

### Cabeçalho

Seu preenchimento é recomendado, para uma futura identificação do projeto, ou mesmo para uma simples apresentação ao cliente.

### Descrição do Ambiente

Estes dados já foram anteriormente levantados,

quando da definição das dimensões físicas do recinto, dos materiais que o compõem e do Fator de Depreciação. É necessário, no entanto, definir-se o Grau de Reflexão do teto, paredes e piso, que servirão de parâmetro na tabela de Eficiência do Recinto. Para tal, deve-se consultar os dados do anexo 2.

### Características da Iluminação

Esses dados vêm especificar o que se pretende como iluminação (Iluminância, Tonalidade de Cor e Reprodução de Cor). Já foram anteriormente definidos.

Obs.: a planilha agora se subdivide em duas colunas de preenchimento dos dados, para que possam ser feitas duas opções de iluminação e que se comparem uma com a

outra. A Tonalidade de Cor e o Nível de Reprodução de Cores servem como referências para a especificação da lâmpada.

#### Cabeçalho

Empresa : Exemplo Construtora Ltda.	Obra : Sede geral
Recinto : Sala de contabilidade	Atividade : Administrativa
Projetista : Leitor	Data : dezembro / 97

Descrição do ambiente	01	Comprimento	a	m	10,00
	02	Largura	b	m	7,5
	03	Área	$A = a \cdot b$		75,00
	04	Pé-Direito	H	m	3,00
	05	Pé-Direito Útil	$h = H - h_{pl.tr} - h_{pend}$		2,20
	06	Índice do Recinto	$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)}$		1,95
	07	Fator de Depreciação	Fd		1,25
	08	Coefficiente de Reflexão	Teto p1		0,70
	09	Coefficiente de Reflexão	Paredes p2		0,50
	10	Coefficiente de Reflexão	Piso p3		0,10

Características da iluminação	11	Iluminância planejada	Em	lx	500
	12	Tonalidade ou Temperatura de Cor		K	Branca fria
	13	Índice de Reprodução de Cores		Ra	85

## Exemplos de Aplicação

### Lâmpadas e Luminárias

Aqui são discriminados os dados das lâmpadas e a Eficiência do Recinto e da Luminária (ou diretamente o Fator de Utilização da luminária). Têm-se no final todos os componentes da fórmula para cálculo do número de lâmpada/luminárias.

Obs.: O Grupo da Luminária é determinado consultando-se a tabela de Eficiência do Recinto (anexo 5), localizando uma Curva de Distribuição Luminosa entre seus itens que seja semelhante à da luminária do projeto. Após a escolha do Grupo da Luminária, faz-se a consulta da sua tabela correspondente para a determinação da Eficiência do Recinto.

A Eficiência da Luminária quando não fornecida pelo fabricante pode ser levantada por dados aproximados contidos no anexo 4.

Quando a luminária escolhida já fornece os dados de seu Fator de Utilização, os itens 18, 19 e 20 poderão ser poupados de preenchimento e pode-se seguir diretamente ao item 21, Fator de utilização (Fu).

De posse de todos os dados necessários, pode-se calcular a quantidade de lâmpadas.

### Adequação dos Resultados ao Projeto

A quantidade de lâmpadas deve ser arredondada para o valor múltiplo mais próximo da quantidade de lâmpadas por luminária (neste caso, não haveria necessidade), de tal forma que a quantidade de luminárias (N) sempre seja um número inteiro.

### Definição dos Pontos de Iluminação

Escolhe-se a disposição das luminárias levando-se em conta o lay-out do mobiliário, o direcionamento correto da luz para a mesa de trabalho e o próprio tamanho das luminárias.

Neste exemplo, sugere-se a disposição destas em três linhas contínuas lateralmente às mesas de trabalho, evitando o ofuscamento sobre a tela de computador. Para tanto, a quantidade de luminárias (N = 13) deverá ser elevada para N = 15, para que possa ser subdividida por três. A dimensão de 10,00 m comporta a linha contínua formada por 5 luminárias, cada uma de aproximadamente 1,20 m, não havendo perigo de não adaptação ao projeto. (Figura 31)

### Cálculo de Controle

Uma vez de acordo com o resultado fornecido podemos nos certificar do valor exato da Iluminância

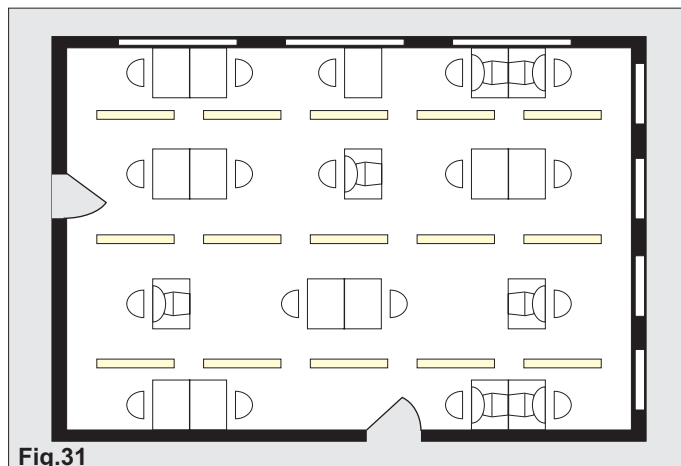


Fig.31

Média obtida, através dos itens 24 e 25.

### Avaliação do Consumo Energético

Os itens 26, 27 e 28 da planilha podem ser calculados da seguinte maneira:

$$P_t = \frac{30 \cdot 47}{1000} = 1,41 \text{ kW}$$

$$D = \frac{1,41 \cdot 1000}{75} = 18,8 \text{ W/m}^2$$

$$D_r = \frac{18,8 \cdot 100}{579} = 3,25 \text{ W/m}^2 \text{ p/100 lx}$$

Obs.: 47 W = 36 W (lâmpada) + 11 W (reator)

### Cálculo de Custos e Rentabilidade

Na rotina de cálculo do capítulo 2, os itens Cálculo de Custos e Cálculo de Rentabilidade são complementares ao cálculo luminotécnico até aqui concluído, e podem ser desenvolvidos utilizando-se o guia orientativo "Cálculo de Rentabilidade" que segue anexo.

Lâmpada e Luminárias	14	Tipo de Lâmpada		Lumilux® 36/21
	15	Fluxo Luminoso de Cada Lâmpada	$\phi$ lm	3350
	16	Lâmpadas por Luminária	Z unid	2
	17	Tipo de Luminária		SIEMENS 5LB
	18	Grupo da Luminária (tab. Efic. Recinto)		-
	19	Eficiência da Luminária	$\eta_L$	-
	20	Eficiência do Recinto	$\eta_R$	-
	21	Fator de Utilização	$F_u = \eta_L \cdot \eta_R$	0,54
	22	Quantidade de Lâmpadas	$n = \frac{E_m \cdot A \cdot F_d}{\phi \cdot F_u}$	unid 26
	23	Quantidade de Luminárias	$N = n / z$	unid 13
Cálculo de Controle	24	Quantidade de luminárias na Instalação	$N_i$ unid	15
	25	Iluminância Alcançada	$E = \frac{z \cdot N_i \cdot \phi \cdot F_u}{A \cdot F_d}$ lx	579
Consumo da Instalação	26	Potência Instalada	$P_t = n_i \cdot W^* / 1000$ kW	1,41
	27	Densidade de Potência	$D = P_t \cdot 1000 / A$ W / m <sup>2</sup>	18,80
	28	Densidade de Potência Relativa	$D_r = D \cdot 100 / E$ W / m <sup>2</sup> p/ 100 lx	3,25



## Exemplos de Aplicação

### Exemplo 2 - Cálculo de Iluminância (Método Ponto a Ponto):

Exemplo orientativo para leitura das curvas de distribuição luminosa (CDL), cálculo da intensidade luminosa nos diferentes pontos e a respectiva iluminância. (Figura34)

Consultando-se a luminária, cuja CDL está representada na página 9 e supondo-se que esta luminária esteja equipada com 2 lâmpadas fluorescentes LUMILUX 36W/21 (Figura33), qual será a Iluminância incidida num ponto a 30° de inclinação do eixo longitudinal da luminária, que se encontra a uma altura de 2,00 m do plano do ponto? (Figura32)

LUMILUX® 36W/21  
j = 3350 lm

Luminária para 2x  
LUMILUX® 36W/21  
n = 2

Na CDL, lê-se que:

$I_{30^\circ} = 340 \text{ cd}$

Como este valor se refere a 1000 lm, tem-se que:

$$I_{30^\circ} = \frac{340}{1000} \cdot (2 \cdot 3350) = 2278 \text{ cd}$$

Seguindo-se a fórmula:

$$E = \frac{I_{\alpha}}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha$$

$$E = \frac{I_{30^\circ}}{h^2} \cdot \cos^3 30^\circ$$

$$E = \frac{2278}{4} \cdot 0,65$$

$$E = 370 \text{ lx}$$

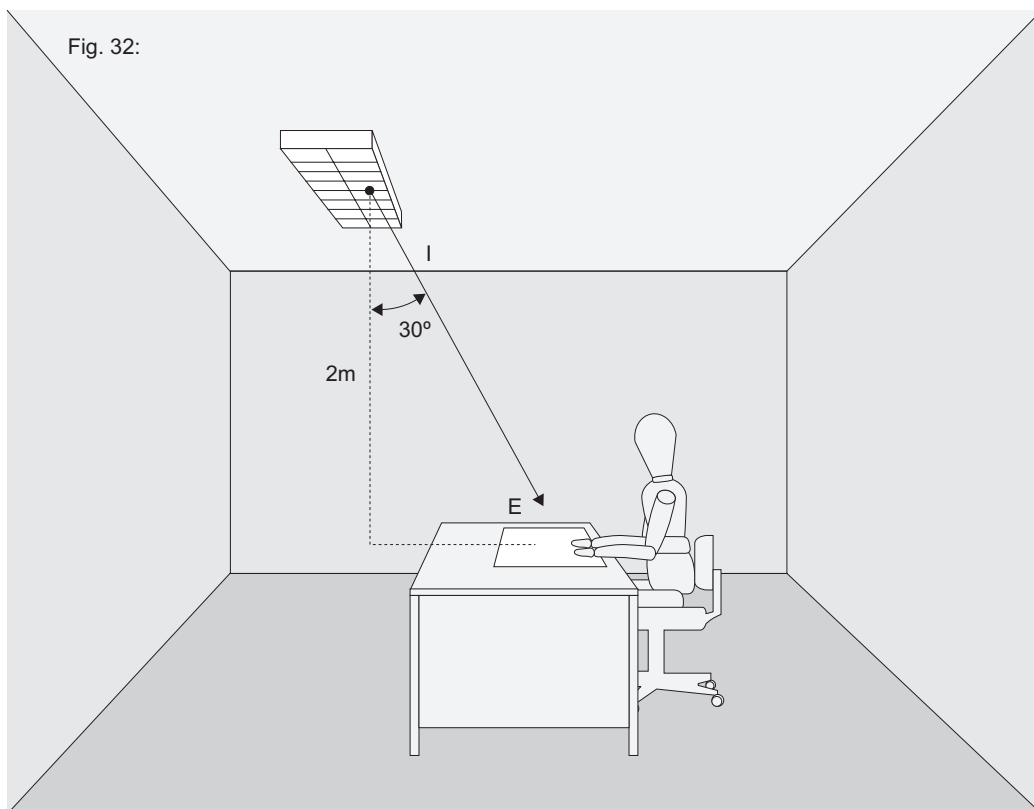
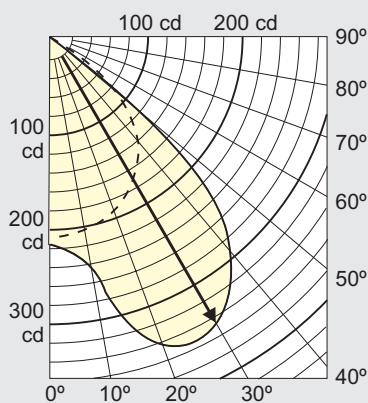


Fig. 33:



LUMILUX® 36W/21  
 $\phi = 3350 \text{ lm}$

Fig. 34:



## Exemplos de Aplicação

### Exemplo 3 - Cálculo de Iluminação Dirigida (Fonte de Luz com Refletor):

Qual será a distância ( $d'$ ) de uma luminária equipada com DECOSTAR® 51 50W/12V 10°, cujo fecho de luz incide em uma superfície de 0,50 m de diâmetro (figura 35)?

$$D = 2 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$0,50 = 2 \cdot d \cdot \operatorname{tg} \frac{10^\circ}{2}$$

$$d = 2,5\text{m}$$

Partindo de um  $h = 1,4\text{ m}$  temos:

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

$$E = \frac{12500}{2,50^2}$$

$$E = 2000\text{ lx}$$

Qual será também a Iluminância no ponto central da incidência do fecho de luz?

Dado da lâmpada:  
 $I = 12500\text{ cd}$

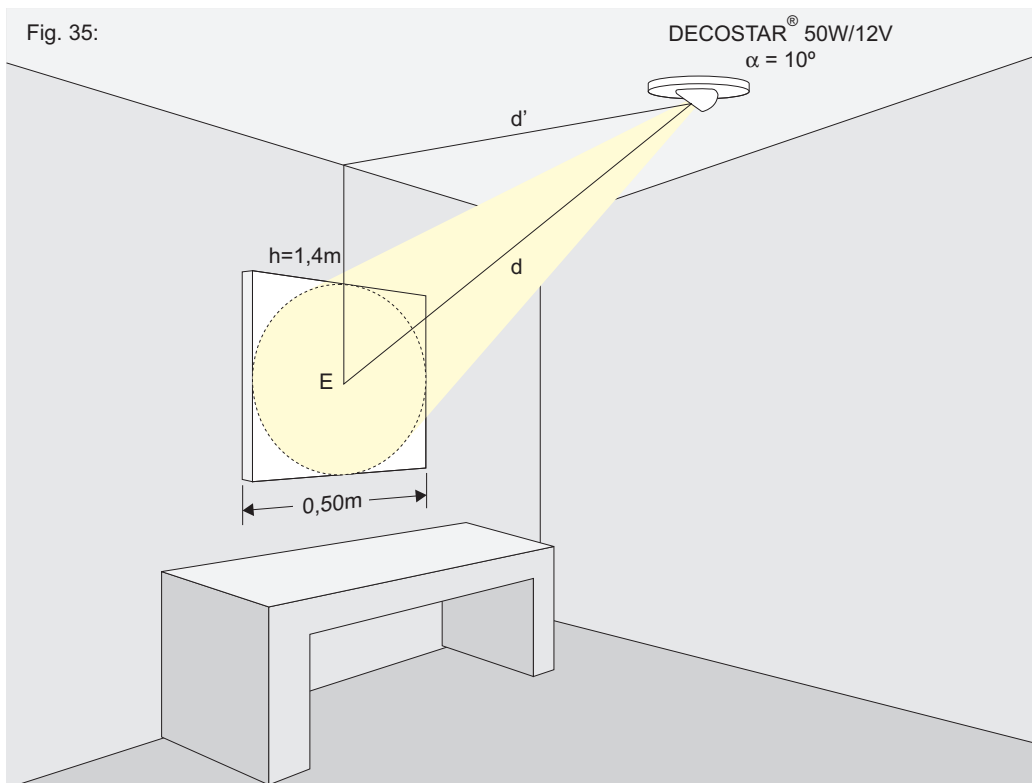
$$d^2 = h^2 + d'^2$$

$$d'^2 = d^2 - h^2$$

$$d' = \sqrt{d^2 - h^2}$$

$$d' = \sqrt{(2,5)^2 - (1,4)^2}$$

$$d' = 2,0\text{ m}$$



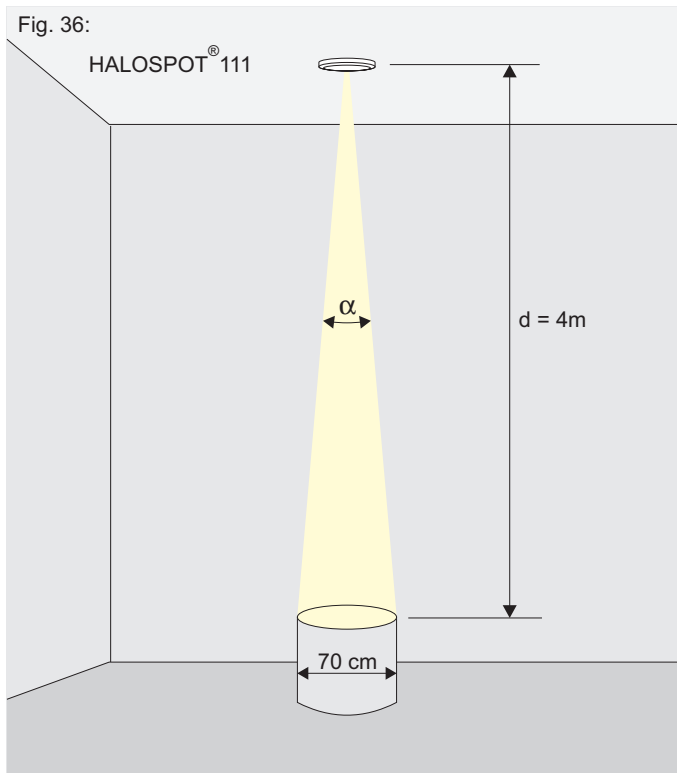
### Exemplo 4 - Cálculo de Iluminação Dirigida (Abertura do Fecho de Luz - Fonte de Luz com Refletor):

Qual será o ângulo de fecho de luz de uma lâmpada HALOSPOT® 111, para que se consiga iluminar uma área de 0,70 m de diâmetro, a 4,00 m de distância (Figura 36)?

$$\alpha = 2 \cdot \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{r}{d}$$

$$\alpha = 2 \cdot \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{0,35}{4,00}$$

$$\alpha = 10^\circ$$



## Anexos

### Anexo 1 - Níveis de Iluminância Recomendáveis para Interiores

#### Exemplificação da Norma NBR-5413

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

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

## Anexos

### Anexo 2 - Coeficiente de Reflexão de Alguns Materiais e Cores

Materiais	%
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

Cores	%
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
Marron 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



## Anexos

### Anexo 3 - Temperatura de Cor (K) e Índice de Reprodução de Cores (IRC / %)

#### IRC = 90..100

Lâmpadas	IRC	Temperatura de cor
Incandescentes, CONCENTRA®	100	2700 K
HALOPAR, HALOSTAR®, HALOLINE®	100	3000 K
DECOSTAR®, HALOPOST®	100	3100 K
HQI T 400 W/D	90	5200 K
HQI-T 250W/D	90	5200 K
HQI TS 2000W/D/S	93	5800 K
HQI-E 250W/D, HQI E 400W/D,		
HQI TS* 1000W/D/S	90/*93	5900 K
HQI T 1000W/D, HQI T 3500W/D	90	6000 K

#### IRC = 80..89

Lâmpadas	IRC	Temperatura de Cor
COLORSTAR® DSX T 80W	85	2600 OU 3000 K
DULUX® cor 41	85	2700 K
Fluor LUMILUX® cor 31,		
HQI T/TS* 70 e 150W WDL	85/*80	3000 K
HQI TS 250W WDL	80	3200 K
Fluor LUMILUX® cor 21	85	4000 K
HQI T/TS 70 e 150W NDL,		
HQI TS 250W NDL	85	4200 K

#### IRC = 70..79

Lâmpadas	IRC	Temperatura de cor
HQI R 70W WDL	75	3200 K
HQI E 70 e 150W NDL	75	4000 K
Fluor LDE	72	5250 K
Fluor Standard cor 10	78	6100 K
Fluor Circular 22W 32W/Luz do Dia cor 10	76	6300 K

#### IRC = 60..69

Lâmpadas	IRC	Temperatura de Cor
HWL 160W	60	3600 K
HWL 250W	60	3800 K
Fluor Comfort White/CW, HWL 500W	66	4100 K
Fluor Circular 22W 32W?Luz do Dia cor 10	60	4500 K

#### IRC = 40..59

Lâmpadas	IRC	Temperatura de Cor
HQL 700 e 1000W	40	3550 K
HQL 400W	40	3800 K
HQL 250W	40	3900 K
HQL 125W	40	4000 K
HQL 80W	40	4100 K
Fluor Lite White/LW	48	4150 K

#### IRC < 40

Lâmpadas	IRC	Temperatura de Cor
NAV E 70/150/250/400/1000W,		
NAV T 250/400/1000W, NAV e		
PLUG IN 210/350W	20	2000 K

A

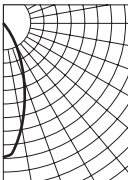
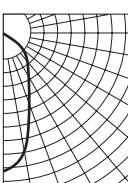
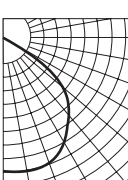
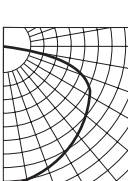
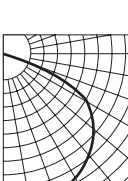
## Anexos

### Anexo 4 - Eficiência Aproximada de Luminárias

Luminárias abertas com lâmpadas nuas	0,9
Luminárias com refletor ou embutidas abertas	0,7
Luminárias com refletor e lamelas de alta eficiência	0,7
Luminárias com refletor ou embutidas com lamelas	0,6
Luminárias tipo "plafond" com acrílico anti-ofuscante	0,6
Luminárias de embutir com acrílico anti-ofuscante	0,5

## Anexos

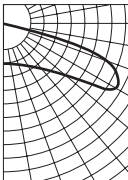
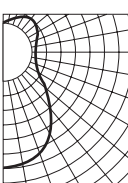
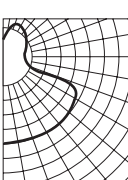
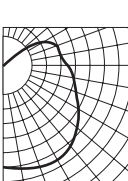
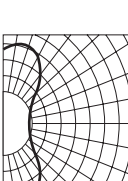
### Anexo 5 - Tabela de Eficiência do Recinto

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
A 1.1		0,6	0,93	0,74	0,70	0,74	0,69	0,89	0,73	0,70	0,72	0,68	0,82
		0,8	1,01	0,82	0,77	0,81	0,76	0,91	0,78	0,77	0,80	0,76	0,93
		1	1,05	0,88	0,82	0,86	0,82	0,98	0,83	0,82	0,84	0,81	1,00
		1,25	1,10	0,93	0,88	0,91	0,87	1,01	0,90	0,86	0,88	0,85	1,06
		1,5	1,13	0,97	0,92	0,94	0,90	1,03	0,93	0,89	0,92	0,88	1,09
		2	1,17	1,03	0,97	0,99	0,95	1,05	0,87	0,93	0,95	0,92	1,14
		2,5	1,20	1,07	1,01	1,03	0,98	1,05	0,99	0,96	0,97	0,94	1,17
		3	1,21	1,10	1,05	1,05	1,00	1,06	1,00	0,98	0,98	0,96	1,20
		4	1,24	1,15	1,10	1,08	1,03	1,06	1,02	1,00	1,00	0,98	1,23
		5	1,25	1,17	1,13	1,10	1,06	1,07	1,03	1,01	1,01	0,99	1,24
A 1.2		0,6	0,72	0,48	0,42	0,47	0,42	0,68	0,47	0,41	0,47	0,41	0,40
		0,8	0,85	0,61	0,54	0,59	0,53	0,80	0,59	0,53	0,58	0,52	0,52
		1	0,94	0,69	0,62	0,67	0,61	0,87	0,67	0,61	0,65	0,60	0,59
		1,25	1,01	0,78	0,71	0,75	0,69	0,92	0,75	0,68	0,73	0,68	0,66
		1,5	1,05	0,83	0,75	0,80	0,74	0,96	0,80	0,73	0,77	0,72	0,71
		2	1,11	0,91	0,84	0,87	0,81	1,00	0,86	0,80	0,84	0,79	0,78
		2,5	1,15	0,97	0,90	0,92	0,87	1,02	0,91	0,85	0,88	0,83	0,82
		3	1,18	1,02	0,96	0,96	0,91	1,04	0,94	0,89	0,91	0,87	0,86
		4	1,21	1,09	1,02	1,02	0,96	1,05	0,97	0,94	0,95	0,91	0,90
		5	1,23	1,12	1,06	1,04	1,00	1,06	1,00	0,96	0,97	0,94	0,92
A 2		0,6	0,63	0,39	0,33	0,39	0,33	0,61	0,38	0,34	0,37	0,33	0,32
		0,8	0,78	0,53	0,45	0,51	0,45	0,74	0,51	0,45	0,50	0,45	0,44
		1	0,88	0,62	0,54	0,60	0,54	0,82	0,60	0,53	0,58	0,53	0,52
		1,25	0,95	0,71	0,63	0,68	0,62	0,88	0,68	0,62	0,66	0,60	0,60
		1,5	1,02	0,78	0,70	0,76	0,69	0,93	0,75	0,68	0,72	0,68	0,66
		2	1,10	0,89	0,81	0,85	0,78	0,98	0,83	0,77	0,80	0,77	0,74
		2,5	1,14	0,96	0,88	0,91	0,85	1,01	0,89	0,83	0,85	0,82	0,80
		3	1,17	1,01	0,94	0,95	0,89	1,03	0,92	0,87	0,88	0,86	0,84
		4	1,21	1,07	1,01	1,00	0,95	1,04	0,96	0,92	0,93	0,90	0,89
		5	1,23	1,12	1,06	1,03	0,98	1,05	0,99	0,95	0,96	0,93	0,92
A 2.1		0,6	0,61	0,36	0,29	0,35	0,29	0,58	0,33	0,29	0,35	0,29	0,28
		0,8	0,74	0,47	0,39	0,45	0,38	0,69	0,46	0,39	0,45	0,38	0,37
		1	0,82	0,55	0,46	0,52	0,45	0,77	0,53	0,45	0,51	0,44	0,45
		1,25	0,90	0,63	0,54	0,61	0,53	0,82	0,61	0,53	0,59	0,53	0,51
		1,5	0,95	0,69	0,60	0,66	0,59	0,87	0,67	0,59	0,64	0,57	0,56
		2	1,02	0,79	0,70	0,75	0,68	0,92	0,75	0,67	0,72	0,65	0,64
		2,5	1,08	0,87	0,78	0,81	0,74	0,96	0,81	0,73	0,77	0,72	0,70
		3	1,13	0,93	0,84	0,86	0,79	0,99	0,85	0,78	0,81	0,78	0,75
		4	1,17	1,01	0,92	0,94	0,87	1,02	0,90	0,85	0,88	0,83	0,81
		5	1,18	1,04	0,96	0,95	0,90	1,02	0,93	0,87	0,89	0,85	0,83

A

## Anexos

### Anexo 5 - Tabela de Eficiência do Recinto

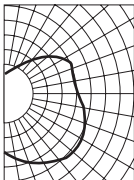
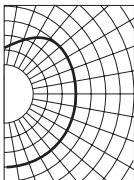
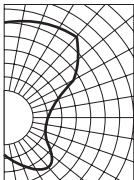
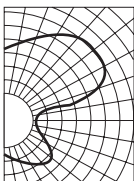
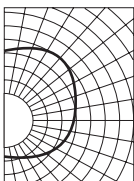
Luminária	Refletâncias												
	Teto	$\rho_1$	0,8			0,5		0,8			0,5		0,3
	Parede	$\rho_2$	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,8	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
	Piso	$\rho_3$	0,3					0,1					
Índice do Recinto		K											
A 3		0,6	0,51	0,23	0,17	0,24	0,16	0,48	0,23	0,18	0,22	0,16	0,16
		0,8	0,65	0,36	0,27	0,36	0,28	0,61	0,34	0,28	0,34	0,28	0,26
		1	0,76	0,47	0,36	0,45	0,37	0,70	0,44	0,37	0,42	0,36	0,35
		1,25	0,87	0,57	0,48	0,54	0,46	0,80	0,55	0,47	0,52	0,45	0,44
		1,5	0,95	0,66	0,56	0,62	0,55	0,86	0,64	0,55	0,60	0,53	0,52
		2	1,05	0,79	0,69	0,75	0,67	0,94	0,75	0,68	0,72	0,66	0,64
		2,5	1,11	0,88	0,79	0,83	0,76	0,99	0,82	0,76	0,79	0,74	0,72
		3	1,15	0,94	0,86	0,89	0,82	1,02	0,87	0,81	0,83	0,78	0,77
		4	1,20	1,03	0,95	0,95	0,89	1,04	0,93	0,88	0,89	0,85	0,84
		5	1,23	1,09	1,01	1,00	0,94	1,05	0,96	0,92	0,92	0,88	0,88
B 2		0,6	0,51	0,30	0,22	0,26	0,21	0,48	0,29	0,23	0,26	0,21	0,20
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,34	0,27	0,58	0,35	0,30	0,33	0,27	0,26
		1	0,70	0,43	0,35	0,39	0,32	0,64	0,41	0,35	0,38	0,31	0,30
		1,25	0,76	0,50	0,41	0,44	0,37	0,70	0,48	0,40	0,43	0,36	0,34
		1,5	0,82	0,56	0,47	0,48	0,42	0,74	0,54	0,45	0,47	0,40	0,37
		2	0,60	0,65	0,56	0,55	0,48	0,79	0,61	0,54	0,53	0,47	0,42
		2,5	0,95	0,72	0,62	0,60	0,53	0,83	0,67	0,60	0,57	0,51	0,46
		3	0,99	0,77	0,68	0,64	0,57	0,85	0,71	0,65	0,60	0,55	0,50
		4	1,04	0,86	0,77	0,70	0,63	0,87	0,78	0,71	0,65	0,60	0,55
		5	1,07	0,91	0,84	0,73	0,67	0,90	0,80	0,75	0,68	0,64	0,58
B 3		0,6	0,53	0,27	0,22	0,27	0,21	0,51	0,27	0,22	0,26	0,21	0,20
		0,8	0,66	0,39	0,32	0,36	0,30	0,62	0,38	0,31	0,35	0,29	0,28
		1	0,75	0,47	0,39	0,43	0,36	0,69	0,46	0,38	0,42	0,30	0,34
		1,25	0,82	0,55	0,46	0,50	0,43	0,75	0,53	0,45	0,48	0,42	0,40
		1,5	0,88	0,61	0,52	0,55	0,49	0,80	0,59	0,51	0,54	0,47	0,45
		2	0,96	0,72	0,63	0,64	0,58	0,86	0,67	0,60	0,61	0,56	0,52
		2,5	1,02	0,80	0,71	0,70	0,64	0,90	0,73	0,67	0,66	0,61	0,57
		3	1,05	0,85	0,76	0,74	0,68	0,92	0,77	0,71	0,69	0,65	0,60
		4	1,09	0,92	0,84	0,79	0,74	0,94	0,83	0,77	0,74	0,70	0,65
		5	1,12	0,97	0,89	0,83	0,78	0,96	0,86	0,81	0,76	0,73	0,68
B 4		0,6	0,51	0,25	0,18	0,24	0,18	0,48	0,25	0,19	0,23	0,18	0,17
		0,8	0,62	0,34	0,26	0,32	0,25	0,58	0,33	0,26	0,31	0,25	0,24
		1	0,71	0,41	0,32	0,38	0,31	0,64	0,40	0,32	0,37	0,30	0,29
		1,25	0,78	0,48	0,39	0,44	0,37	0,71	0,47	0,39	0,43	0,35	0,34
		1,5	0,83	0,54	0,45	0,49	0,41	0,75	0,53	0,44	0,47	0,40	0,38
		2	0,91	0,64	0,54	0,57	0,49	0,81	0,60	0,52	0,55	0,47	0,45
		2,5	0,96	0,72	0,61	0,63	0,55	0,85	0,66	0,59	0,59	0,53	0,49
		3	0,99	0,77	0,67	0,67	0,59	0,88	0,70	0,63	0,63	0,57	0,52
		4	1,04	0,85	0,75	0,72	0,66	0,91	0,77	0,69	0,67	0,62	0,57
		5	1,07	0,90	0,81	0,76	0,70	0,92	0,80	0,73	0,70	0,66	0,60
C 2		0,6	0,51	0,27	0,21	0,23	0,18	0,48	0,27	0,20	0,23	0,19	0,18
		0,8	0,62	0,36	0,29	0,32	0,26	0,58	0,34	0,28	0,31	0,26	0,24
		1	0,70	0,44	0,35	0,38	0,32	0,64	0,41	0,34	0,37	0,31	0,28
		1,25	0,77	0,50	0,41	0,43	0,37	0,70	0,48	0,41	0,42	0,36	0,33
		1,5	0,83	0,56	0,47	0,47	0,41	0,75	0,54	0,46	0,46	0,40	0,36
		2	0,91	0,66	0,57	0,55	0,48	0,80	0,62	0,55	0,53	0,46	0,41
		2,5	0,96	0,74	0,64	0,60	0,54	0,84	0,66	0,61	0,57	0,51	0,46
		3	0,99	0,79	0,69	0,63	0,58	0,87	0,72	0,66	0,60	0,55	0,48
		4	1,04	0,87	0,78	0,69	0,64	0,90	0,78	0,72	0,64	0,60	0,53
		5	1,07	0,92	0,84	0,72	0,67	0,91	0,80	0,76	0,67	0,63	0,55

A



## Anexos

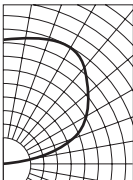
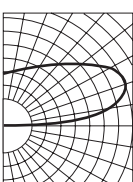
### Anexo 5 - Tabela de Eficiência do Recinto

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											
C 3		0,6	0,47	0,21	0,14	0,20	0,13	0,46	0,20	0,15	0,19	0,14	0,13
		0,8	0,58	0,30	0,22	0,27	0,21	0,55	0,29	0,22	0,26	0,20	0,19
		1	0,66	0,37	0,28	0,32	0,26	0,61	0,36	0,27	0,32	0,24	0,23
		1,25	0,73	0,43	0,33	0,38	0,30	0,67	0,42	0,33	0,36	0,29	0,27
		1,5	0,78	0,49	0,39	0,43	0,35	0,71	0,47	0,38	0,41	0,33	0,31
		2	0,87	0,80	0,49	0,51	0,43	0,77	0,56	0,47	0,49	0,41	0,37
		2,5	0,92	0,68	0,57	0,56	0,49	0,81	0,61	0,54	0,54	0,46	0,42
		3	0,96	0,74	0,63	0,60	0,53	0,85	0,66	0,59	0,57	0,50	0,46
		4	1,01	0,82	0,72	0,66	0,60	0,88	0,72	0,66	0,62	0,56	0,51
		5	1,05	0,87	0,78	0,70	0,64	0,90	0,77	0,70	0,65	0,60	0,54
C 4		0,6	0,47	0,21	0,14	0,19	0,14	0,45	0,20	0,16	0,19	0,14	0,14
		0,8	0,57	0,30	0,21	0,26	0,20	0,55	0,29	0,22	0,25	0,19	0,18
		1	0,65	0,36	0,27	0,31	0,24	0,61	0,35	0,27	0,30	0,23	0,21
		1,25	0,72	0,42	0,32	0,36	0,29	0,67	0,41	0,32	0,35	0,28	0,25
		1,5	0,77	0,48	0,37	0,40	0,33	0,71	0,46	0,36	0,39	0,32	0,28
		2	0,85	0,58	0,46	0,47	0,39	0,77	0,54	0,45	0,46	0,38	0,33
		2,5	0,90	0,65	0,54	0,53	0,45	0,81	0,60	0,51	0,50	0,43	0,38
		3	0,94	0,71	0,60	0,57	0,50	0,84	0,65	0,56	0,53	0,47	0,41
		4	0,99	0,79	0,70	0,63	0,56	0,87	0,71	0,64	0,58	0,53	0,46
		5	1,02	0,84	0,75	0,66	0,60	0,90	0,75	0,68	0,62	0,56	0,49
D 2		0,6	0,47	0,20	0,14	0,17	0,12	0,42	0,20	0,15	0,17	0,12	0,11
		0,8	0,55	0,28	0,21	0,24	0,18	0,52	0,27	0,21	0,24	0,18	0,16
		1	0,63	0,36	0,27	0,29	0,23	0,59	0,34	0,27	0,29	0,22	0,20
		1,25	0,70	0,43	0,33	0,34	0,28	0,65	0,41	0,33	0,33	0,27	0,24
		1,5	0,76	0,49	0,39	0,39	0,32	0,69	0,47	0,39	0,37	0,31	0,27
		2	0,84	0,59	0,49	0,46	0,39	0,74	0,55	0,48	0,44	0,37	0,31
		2,5	0,90	0,67	0,57	0,51	0,44	0,78	0,61	0,54	0,48	0,42	0,35
		3	0,93	0,72	0,63	0,55	0,49	0,82	0,65	0,59	0,51	0,46	0,39
		4	0,99	0,81	0,72	0,60	0,54	0,85	0,72	0,66	0,55	0,51	0,43
		5	1,02	0,86	0,78	0,63	0,58	0,87	0,76	0,70	0,58	0,54	0,45
D 3		0,6	0,44	0,19	0,13	0,17	0,11	0,42	0,19	0,14	0,16	0,12	0,10
		0,8	0,55	0,27	0,19	0,23	0,17	0,51	0,26	0,20	0,22	0,16	0,15
		1	0,63	0,34	0,25	0,28	0,22	0,58	0,33	0,25	0,27	0,21	0,18
		1,25	0,69	0,42	0,32	0,33	0,26	0,64	0,40	0,32	0,32	0,26	0,22
		1,5	0,75	0,48	0,38	0,37	0,31	0,68	0,46	0,37	0,36	0,30	0,25
		2	0,82	0,58	0,48	0,44	0,38	0,74	0,54	0,46	0,42	0,36	0,30
		2,5	0,88	0,66	0,56	0,49	0,44	0,78	0,60	0,53	0,46	0,41	0,34
		3	0,92	0,72	0,62	0,53	0,48	0,81	0,64	0,58	0,50	0,45	0,36
		4	0,97	0,80	0,71	0,58	0,53	0,84	0,71	0,65	0,54	0,50	0,40
		5	1,00	0,85	0,77	0,61	0,57	0,85	0,75	0,69	0,57	0,53	0,42
D 4		0,6	0,43	0,17	0,12	0,16	0,095	0,41	0,17	0,12	0,15	0,10	0,095
		0,8	0,53	0,25	0,17	0,21	0,14	0,49	0,24	0,17	0,20	0,14	0,13
		1	0,61	0,31	0,22	0,25	0,19	0,55	0,30	0,21	0,24	0,17	0,16
		1,25	0,68	0,38	0,28	0,30	0,23	0,61	0,36	0,27	0,29	0,22	0,19
		1,5	0,72	0,43	0,33	0,34	0,27	0,65	0,41	0,32	0,33	0,26	0,22
		2	0,80	0,53	0,42	0,41	0,34	0,71	0,50	0,41	0,40	0,33	0,27
		2,5	0,86	0,61	0,50	0,46	0,39	0,76	0,56	0,48	0,44	0,38	0,31
		3	0,90	0,67	0,56	0,50	0,43	0,79	0,61	0,53	0,48	0,42	0,34
		4	0,96	0,75	0,65	0,56	0,49	0,82	0,68	0,60	0,52	0,47	0,38
		5	0,99	0,81	0,72	0,59	0,53	0,84	0,71	0,65	0,55	0,51	0,41

A

## Anexos

### Anexo 5 - Tabela de 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												
E 2		0,6	0,39	0,15	0,095	0,11	0,06	0,34	0,15	0,10	0,12	0,08	0,05	
		0,8	0,48	0,21	0,14	0,15	0,095	0,44	0,21	0,14	0,16	0,10	0,085	
		1	0,56	0,28	0,20	0,18	0,13	0,51	0,27	0,19	0,19	0,13	0,085	
		1,25	0,62	0,35	0,26	0,22	0,17	0,57	0,33	0,25	0,22	0,16	0,11	
		1,5	0,68	0,41	0,31	0,26	0,20	0,62	0,39	0,30	0,25	0,19	0,13	
		2	0,76	0,51	0,41	0,32	0,26	0,68	0,48	0,40	0,30	0,25	0,16	
		2,5	0,81	0,59	0,49	0,36	0,31	0,72	0,54	0,47	0,34	0,29	0,18	
		3	0,85	0,65	0,55	0,39	0,34	0,75	0,58	0,52	0,37	0,32	0,20	
		4	0,90	0,72	0,64	0,43	0,39	0,77	0,64	0,58	0,40	0,36	0,22	
		5	0,93	0,77	0,70	0,45	0,42	0,78	0,68	0,63	0,43	0,39	0,24	
E 3		0,6	0,41	0,16	0,08	0,13	0,06	0,36	0,14	0,085	0,13	0,06	0,05	
		0,8	0,49	0,21	0,12	0,16	0,085	0,44	0,21	0,13	0,15	0,095	0,065	
		1	0,55	0,27	0,17	0,19	0,12	0,50	0,26	0,17	0,18	0,12	0,08	
		1,25	0,61	0,32	0,23	0,22	0,16	0,56	0,31	0,23	0,21	0,15	0,10	
		1,5	0,66	0,38	0,28	0,25	0,19	0,60	0,36	0,28	0,24	0,18	0,12	
		2	0,73	0,48	0,37	0,31	0,24	0,66	0,43	0,37	0,29	0,23	0,15	
		2,5	0,79	0,56	0,45	0,35	0,28	0,70	0,49	0,43	0,33	0,27	0,17	
		3	0,83	0,62	0,52	0,38	0,32	0,72	0,55	0,48	0,35	0,30	0,19	
		4	0,88	0,70	0,61	0,42	0,37	0,75	0,62	0,55	0,39	0,35	0,21	
		5	0,91	0,75	0,68	0,44	0,40	0,78	0,66	0,60	0,42	0,38	0,23	

## Anexos

### Anexo 6 - Acessórios para Lâmpadas

#### Transformador (uso em iluminação)

Equipamento auxiliar, cuja função é "transformar" a tensão de rede (tensão primária) para outro valor de tensão (tensão secundária).

Dados básicos para especificação:

- Tensão primária (p.ex. 220 V)
- Tensão secundária (p.ex. 12 V)
- Potência máxima (p.ex. 300 W)
- Frequência de rede (p.ex. 60 Hz)

Obs.: um único transformador poderá alimentar mais de uma lâmpada, desde que a soma das potências de todas as lâmpadas, a ele conectadas, não ultrapasse a potência máxima do mesmo.  
Ex.: num transformador de 300 W podem ser ligados 1,2,3,4,5 ou 6 lâmpadas de 50 W (6 x 50 W = 300 W).

#### Starter (uso em iluminação)

Elemento bimetálico cuja função é pré-aquecer os eletrodos de lâmpadas fluorescentes, bem como fornecer, em conjunto com o reator (tipo convencional), um pulso de tensão necessário para o acendimento da mesma.

Os reatores tipo partida rápida não utilizam starter.

Dados básicos para especificação:

- Tipo de lâmpada (p. ex. Fluorescentes tubular LUMILUX®)
- Potência de lâmpada (p.ex. 36 W)

#### Reator (uso em iluminação)

Equipamento auxiliar ligado entre a rede e as lâmpadas de descarga, cuja função é estabilizar a corrente através da mesma.

Dados básicos para especificação:

- Tipo de lâmpada (p.ex. Multivapores metálicos HQI-T)
- Potência de lâmpada (p.ex. 400 W)
- Tensão de rede (p.ex. 220 V)
- Frequência de rede (p.ex. 60 Hz)

Obs.: cada tipo de lâmpada requer um reator específico.

Ex.:

Reator para HQI-250 W

≠

Reator para NAV-70 W

≠

Reator para HQL-250 W

#### Ignitor (uso em iluminação)

Dispositivo eletrônico cuja função é fornecer à lâmpada um pulso de tensão, necessário para o acendimento da mesma.

Dados básicos para especificação:

- Tipo de lâmpada (p.ex. Alta pressão, vapor de sódio NAV-T)
- Potência de lâmpada (p.ex. 250 W)

#### Reator para corrente contínua

Oscilador eletrônico alimentado por uma fonte de corrente contínua, cuja características necessárias para o perfeito funcionamento de lâmpadas de descarga.

Tipo de Lâmpada	Acessório
Incandescentes	-
Halógenas:	
DECOSTAR®, HALOSPOT®, HALOSTAR® (baixa tensão)	Transformador eletromagnético ou transformador eletrônico
HALOLINE®, HALOPAR® (tensão de rede)	-
Fluorescentes tubulares:	
Comuns	Reator partida convencional e starter, reator partida rápida ou reator eletrônico
Standard 18 W, 36 W, 58 W LUMILUX® 18 W, 36 W, 58 W	Reator partida convencional e starter ou reator eletrônico
LUMILUX® RS 16 W, 32 W	Reator partida convencional ou reator eletrônico
Fluorescentes compactas:	
DULUX® S, DULUX® D	Reator partida convencional ou reator eletrônico
DULUX® L	Reator partida convencional e starter ou reator eletrônico
DULUX® S/E	Inversor ou reator eletrônico
DULUX® EL, DULUX® EL-REFL	-
DULUX® EL-GL	-
Descarga alta pressão:	
Mista - HWL	-
Vapor de Mercúrio - HQL	Reator
Vapor de Sódio (Plug in)	Reator
VIALOX® NAV 210 W, 350 W	
Vapor de Sódio (pura)	Reator e Ignitor
VIALOX® NAV	
Multivapores Metálicos	Reator e Ignitor*
POWERSTAR® HQI	

\*HQI-T 2000W / N dispensa ignitor

Dados básicos para especificação:

- Tipo de lâmpada (p.ex. DULUX® S/E)
- Potência de lâmpada (p.ex. 9 W)
- Tensão da fonte corrente contínua (p.ex. 24 V)

#### Capacitor (uso em iluminação)

É um acessório que tem como função, corrigir o fator de potência.

Da mesma forma que, para cada lâmpada de descarga específico, existe também um capacitor específico para cada reator.

Exemplo: um reator OSRAM RQI 70 (baixo fator de potência) que atende a lâmpada HQI de 70 W - multivapores metálicos, necessita de um capacitor de 12 mF para correção do fator de potência.

# Cálculo de rentabilidade

Compare, com seus próprios cálculos, dois sistemas de iluminação distintos. Verifique qual é o mais eficiente e em quanto tempo se dá o retorno de investimento.

Sistema (A)	Sistema (B)
(Convencional)	(Inovativo)

## Características da Iluminação

1	Tipo da lâmpada		
2	Vida média da lâmpada	h	
3	Quantidade de lâmpadas	unid.	
4	Quantidade de luminárias (quant. lâmpadas ÷ quant. lâmpadas por luminárias)	unid.	
5	Potência do conjunto lâmpada + acessório	W	
6	Potência total instalada $\frac{3 \times 5}{1000}$	kW	

## Características de uso

7	Tempo de uso mensal (horas/dia x dia/mês)	h/mês	
8	Consumo mensal de kWh $6 \times 7$	kW/mês	
9	Durabilidade média da lâmpada nesta aplicação $2 \div 7$	meses	

## Custos dos materiais envolvidos

10	Preço de cada lâmpada	R\$	
11	Preço de cada luminária	R\$	
12	Preço de acessórios para cada lâmpada	R\$	
13	Custo do projeto + instalação	R\$	
14	Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	R\$	

## Custos de investimentos

15	Custo de equipamento para instalação $3 \times (10 + 12) + (11 \times 4) + 13$	R\$	
16	Diferença entre os custos de investimentos $15(B) - 15(A)$	R\$	

## Custos operacionais

17	Custo do consumo mensal de energia $8 \times 14$	R\$	
18	Custo médio mensal de reposição das lâmpadas $\frac{3 \times 7 \times 10}{2}$	R\$	
19	Somatório dos custos operacionais $17 + 18$	R\$	
20	Diferença mensal entre custos operacionais $19(A) - 19(B)$	R\$	

## Avaliação de rentabilidade

21	Retorno de investimento $16 \div 20$	meses	
----	--------------------------------------	-------	--

## Siga o exemplo: Iluminação de área comum de condomínio

Comparação entre sistemas de iluminação **(A)**  
(incandescente) e sistema mais eficiente **(B)**  
(DULUX®).

Em um condomínio com 100 unid. de pontos de luz ligados 12 horas por dia, obtém-se as seguintes vantagens com a troca para DULUX® S 9 W + reator adaptador:

**Redução de potência instalada de 6.000 W para 1.250 W**

A potência conservada fica disponível para outras finalidades, além de aliviar a carga térmica de ar-condicionado (se instalado).

**Redução do custo de energia de US\$ 280,00 para US\$ 56,00.**

A próxima conta de luz vem imediatamente menor.

**Economia média mensal de US\$ 250,00 !!!**

O custo de manutenção também diminui, pois compram-se menos lâmpadas e gasta-se menos energia. Com essa economia, o gasto a mais no investimento da primeira instala(ão 6 pago em apenas 4 meses.

**Menor frequência de troca de lâmpadas**













Em utilização usual de 12 horas noturnas, a lâmpada DULUX® dura aproximadamente 2 anos. É ligar e esquecer. É tranquilidade assegurada.

**Para maiores informações  
Disk-OSRAM:  
(011) 703-4497**

## A OSRAM lembra:

Comparada com a incandescente 60 W, cada lâmpada DULUX® S 9 W dá uma economia em consumo de energia de aproximadamente US\$ 50,00. Com essa economia você paga as próximas 5 lâmpadas!!!

## Equivalências

											
DULUX® S	INCAND.	DULUX® D	INCAND.	DULUX® EL	INCAND.	POWERSTAR® HQI-TS	HALOLINE®	NAV-VIALOX® S	HQL	NAV-PLUG-IN*	HQL
5 W	25 W										
7 W	40 W										
9 W	= 60 W	9 W	60 W	15 W	75 W	70 W	= 300 W	70 W	125 W	210 W	= 250 W
11 W	75 W	18 W	= 100 W	20 W	= 100 W	150 W	= 500 W	150 W	= 250 W	350 W	= 400 W
13 W	75 W	26 W	2 x 75 W	23 W	120 W			250 W	400 W		
10.000 h	1.000 h							400 W	700 W		
		10.000 h	1.000 h	10.000 h	1.000 h	10.000 h	2.000 h	16.000 h	9.000 h	12.000 h	9.000 h

\* Aumento da iluminação em mais de 40%

### Características da Iluminação

1	Tipo da lâmpada	inc. 60W	DULUX® 9W
2	Vida média da lâmpada	h	1.000
3	Quantidade de lâmpadas	unid.	100
4	Quantidade de luminárias (quant. lâmpadas + quant. lâmpadas por luminárias)	unid.	100
5	Potência do conjunto lâmpada + acessório	W	60
6	Potência total instalada	$\frac{3 \times 5}{1000}$ kW	1,2

### Características de uso

7	Tempo de uso mensal (horas/dia x dias/mês)	h/mês	360
8	Consumo mensal de kWh $\frac{6}{1000} \times 7$	kWh/mês	2.160
9	Durabilidade média da lâmpada nesta aplicação $\frac{2}{1000} \times 7$	meses	3

### Custos dos materiais envolvidos

10	Preço de cada lâmpada	US\$	0,75
11	Preço de cada luminária	US\$	-
12	Preço de acessórios para cada lâmpada	US\$	5,0
13	Custo do projeto + instalação	US\$	-
14	Custo médio da energia elétrica (preço do kWh)	US\$	0,13

### Custos de investimentos

15	Custo de equipamento para instalação $\frac{3}{1000} \times (\frac{10}{1000} + \frac{12}{1000} + (\frac{11}{1000} \times \frac{4}{1000}) + \frac{13}{1000})$	US\$	75,00
16	Diferença entre os custos de investimentos $\frac{15}{1000} \times \frac{6}{1000} - \frac{15}{1000} \times \frac{6}{1000}$	US\$	925,00


### Custos operacionais

17	Custo do consumo mensal de energia $\frac{8}{1000} \times \frac{14}{1000}$	US\$	280,80
18	Custo médio mensal de reposição das lâmpadas $\frac{3}{1000} \times \frac{7}{1000} \times \frac{10}{1000}$	US\$	27,00
19	Somatório dos custos operacionais $\frac{17}{1000} + \frac{18}{1000}$	US\$	307,80
20	Diferença mensal entre custos operacionais $\frac{19}{1000} \times \frac{6}{1000} - \frac{19}{1000} \times \frac{6}{1000}$	US\$	251,64

### Avaliação de rentabilidade

21	Retorno de investimento $\frac{16}{1000} \times \frac{20}{1000}$	meses	3,8
----	--	-------	-----

**Redução**



**Despesas totais:**

Durante a vida de uma DULUX®, você economiza US\$ 47 !!!

**CONSUMO DE ENERGIA**  
480 kWh  
US\$ 62,40

**CONSUMO DE ENERGIA**  
100 kWh  
US\$ 13

1 x DULUX® S 9 W  
US\$ 5,0

1 x REATOR ADAP.  
US\$ 5,0

1 x DULUX® 9W

10 x INCAN. 60 W  
US\$ 7,5

10 x INC. 60W